

Universität Hohenheim

Fakultät Agrarwissenschaften

Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen

Fg. Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen



Einfluss von Bodentemperatur auf Wachstum und Entwicklung von Sommergerste

Sascha Groß

Zum Erreichen des Grades B.Sc. Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie

Hohenheim, Juli 2011

Erstgutachter: Prof. Dr. F. Asch

Zweitgutachter: Prof. Dr. A. Fangmeier

Abstract

Temperatur ist einer der wesentlichen klimatischen Faktoren, die den Ertrag von Getreide determinieren. Bisher wurde in der Klimawandelfolgenforschung der zu erwartenden Bodentemperaturerhöhung und deren Auswirkung auf Getreide jedoch wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Die Zielsetzung dieses Experiments war daher zu untersuchen, wie sich um 2,5 °C erhöhte Bodentemperatur auf Pflanzenentwicklung, oberirdische Trockenmasse, Blattfläche und Pflanzenhöhe von Sommergerste auswirkt. Die Temperatureinstellung der Bodenheizung ist an den Temperaturprognosen für die Region Stuttgart im Jahr 2100 orientiert. Die Bodenerwärmung begann während dem BBCH-Makrostadium 2 und führte letztlich zu einer durchschnittlichen Erwärmung von 1,44 °C. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass die Bodenerwärmung die Entwicklung beschleunigte und zu signifikant mehr oberirdischer Trockenmasse führte. Außerdem bewirkte die Bodenerwärmung während frühen Entwicklungsphasen einen signifikant höheren Blattflächenindex und eine höhere Pflanzenhöhe. Die Kontrollgersten bei Umgebungsbodentemperatur wiesen zwischen dem Schossen und dem Ährenschieben ein signifikant höheres Blattflächenverhältnis aus und hatten nach dem Ährenschieben eine signifikant höhere Pflanzenhöhe.

Schlüsselwörter: Bodenerwärmung, Gerste, Pflanzenhöhe, Blattflächenindex, Blattflächenverhältnis, oberirdische Trockenmasse, Klimawandel

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einleitung.....	7
2 Material und Methoden	9
2.1 Standortbeschreibung	9
2.2 Versuchsaufbau	11
2.3 Feld- und Parzellenmanagement	13
2.4 Beprobung.....	14
2.5 Analyse	14
2.6 Statistik.....	15
3 Ergebnisse.....	16
3.1 BBCH-Stadium.....	16
3.2 Trockenmasseakkumulation.....	16
3.3 Blattflächenindex.....	18
3.4 Pflanzenhöhe	18
3.5 Nettoassimilationsrate	20
3.6 Relative Wachstumsrate	20
3.7 Spezifische Blattfläche	20
3.8 Blattflächenverhältnis	20
4 Diskussion	23
5 Schlussfolgerung und Ausblick	25
6 Literatur.....	26
7 Anhang	28
8 Danksagung.....	34
9 Eidesstattliche Erklärung	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Maximal-, Minimal- und Durchschnittslufttemperatur [°C] und Niederschlag [mm] zwischen den jeweiligen Ernteterminen.	10
Abbildung 2: Versuchsdesign des HoCC-Experiments.	12
Abbildung 3: Entwicklung des BBCH-Stadiums und der oberirdischen Trockenmasse [g m ⁻²] während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010	17
Abbildung 4: Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) und der Pflanzenhöhe [m] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010	19
Abbildung 5: Die Nettoassimilationsrate (NAR) [g m ⁻² t ⁻¹] und die relative Wachstumsrate (RGR) [g g ⁻¹ t ⁻¹] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010	21
Abbildung 6: Die spezifische Blattfläche (SLA) [m ² kg ⁻¹] und das Blattflächenverhältnis (LAR) [m ² kg ⁻¹] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010	22

Abkürzungsverzeichnis

BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
ET	Erhöhte Bodentemperatur
HoCC	Hohenheim Climate Change Experiment
LAI	Blattflächenindex
LAR	Blattflächenverhältnis
NHN	Normalhöhennull
RGR	Relative Wachstumsrate
SLA	Spezifische Blattfläche
NAR	Nettoassimilationsrate
UT	Umgebungstemperatur

1 Einleitung

Die Temperatur ist neben dem Niederschlag einer der wesentlichen klimatischen Faktoren, die den Ertrag von Getreide determinieren (Peltonen-Sainio et al., 2010). In Deutschland ist die durchschnittliche Oberflächentemperatur in den vergangenen 100 Jahren um 0,8 °C gestiegen. Je nach Entwicklung zukünftiger Treibhausgasemissionen wird sich die durchschnittliche Oberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 in der Region Stuttgart um 2 bis 3 °C erhöhen (Umweltbundesamt, 2006).

Für deutsche Landwirte sind die klimatischen Veränderungen essentiell und führen schon heute zu Adaptionen. Betriebe passen die Bodenbearbeitung an, bevorzugen stresstolerantere Pflanzen und säen Sommerkulturen früher aus, um heiße und trockene Phasen während der Sommermonate zu vermeiden (Olesen et al., 2010). Lang (2007) prognostiziert eine Produktivitätssteigerung in der deutschen Landwirtschaft, solange die durchschnittliche Oberflächentemperatur nicht höher als 0,6 °C über das derzeitige Niveau steigt. Erhöht sich der Durchschnittswert um mehr als 1,0 °C, würde dies in der deutschen Landwirtschaft zu Produktivitätseinbußen führen.

In den letzten beiden Jahrzehnten wurden in vielen Studien unterschiedliche klimatische Parameter und deren Einfluss auf Nutzpflanzen untersucht. Wenig Aufmerksamkeit wurde allerdings der zu erwartenden Bodentemperaturerhöhung in gemäßigten Breiten und deren Auswirkung auf Getreide gewidmet (Patil et al., 2010). Es wird angenommen, dass geringe Erhöhungen in der Bodentemperatur zu weitreichenden Veränderungen in Pflanzenwachstum und Pflanzenentwicklung führen können (Gavito et al., 2001). Die Temperatur beeinflusst viele Entwicklungsprozesse und alle Wachstumsvorgänge in einer Pflanze. Vorrangig ist hierbei die Regulierung der Wachstumsintensität. Die Produktionsleistung von Pflanzen wird durch die temperaturabhängige Wachstumsdauer und Wachstumsrate determiniert. Mit steigender Temperatur nimmt die Wachstumsdauer ab, während sich die Wachstumsrate erhöht (Diepenbrock et al., 2005).

Patil et al. (2010) beschreiben eine beschleunigte Entwicklung durch erhöhte Bodentemperatur von Weizen während früher Wachstumsphasen. Der Entwicklungsvorsprung war in ihrem Experiment vor dem Schossen ausgeprägter, als in der Phase bis zur Reife. In der frühen Wachstumsphase wurde zudem durch erhöhte Bodentemperatur eine Steigerung der oberirdischen Trockenmasse und des Blattflächenindex festgestellt.

In einem finnischen Experiment wurde die Pflanzenhöhe von Gerste in 2 verschiedenen Zeiträumen gemessen, die als repräsentativ für ihre jeweilige Klimaperiode gelten. Wie sich herausstellte, waren die Gersten der wärmeren Periode 2010 bis 2039 kleiner als die der Periode 1971 bis 2000 (Peltonen-Sainio et al., 2010).

Die Zielsetzung dieser Arbeit war es zu untersuchen, wie sich um 2,5 °C erhöhte Bodentemperatur (ET) auf das Wachstum und die Entwicklung von Sommergerste (*Hordeum vulgare*) auswirkt. Im Vergleich zu Gersten die unter Umgebungsbodentemperatur (UT) gedeihen, weisen ET-Gersten (1) eine beschleunigte Pflanzenentwicklung, (2) mehr oberirdische Trockenmasse, (3) mehr Blattfläche und (4) eine geringere Pflanzenhöhe auf.

Die aufgestellten Hypothesen sollen in dieser Bachelorarbeit verifiziert werden.

2 Material und Methoden

Die vorliegende Bachelorarbeit ist Teil des „Hohenheim Climate Change (HoCC) Experiments“. Seit dem Jahr 2007 erforscht das Institut für Bodenkunde und Standortlehre der Universität Hohenheim in diesem Freifeldversuch den Einfluss von erhöhter Bodentemperatur und reduziertem Niederschlag auf den Kohlenstoffkreislauf und den Gasaustausch im Ackerboden.

Das Fachgebiet Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen begann im Jahr 2009 zusätzlich den Einfluss der Manipulation auf Sommerweizen zu untersuchen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf das Wachstum und die Entwicklung von Sommergerste unter erhöhter Bodentemperatur im Versuchsaufbau des Jahres 2010.

2.1 Standortbeschreibung

Das HoCC-Experiment wird auf dem Heidfeldhof (48°42'50"N, 9°11'26"O, 395 m NHN) der Universität Hohenheim durchgeführt. Die annuelle Durchschnittstemperatur des Standorts beträgt 8,7 °C und der Durchschnittsniederschlag beläuft sich auf 679 mm pro Jahr. Die klimatischen Bedingungen zwischen den Ernteterminen zeigt Abbildung 1¹. Der Bodentyp ist eine von Löss abgeleitete pseudovergleyte Parabraunerde mit einem pH-Wert von 6,8 und einem organischem Kohlenstoffgehalt von 15 g kg⁻¹, die Bodenart ist schluffiger Lehm.

¹ Die Messdaten stammen vom LTZ Augustenberg

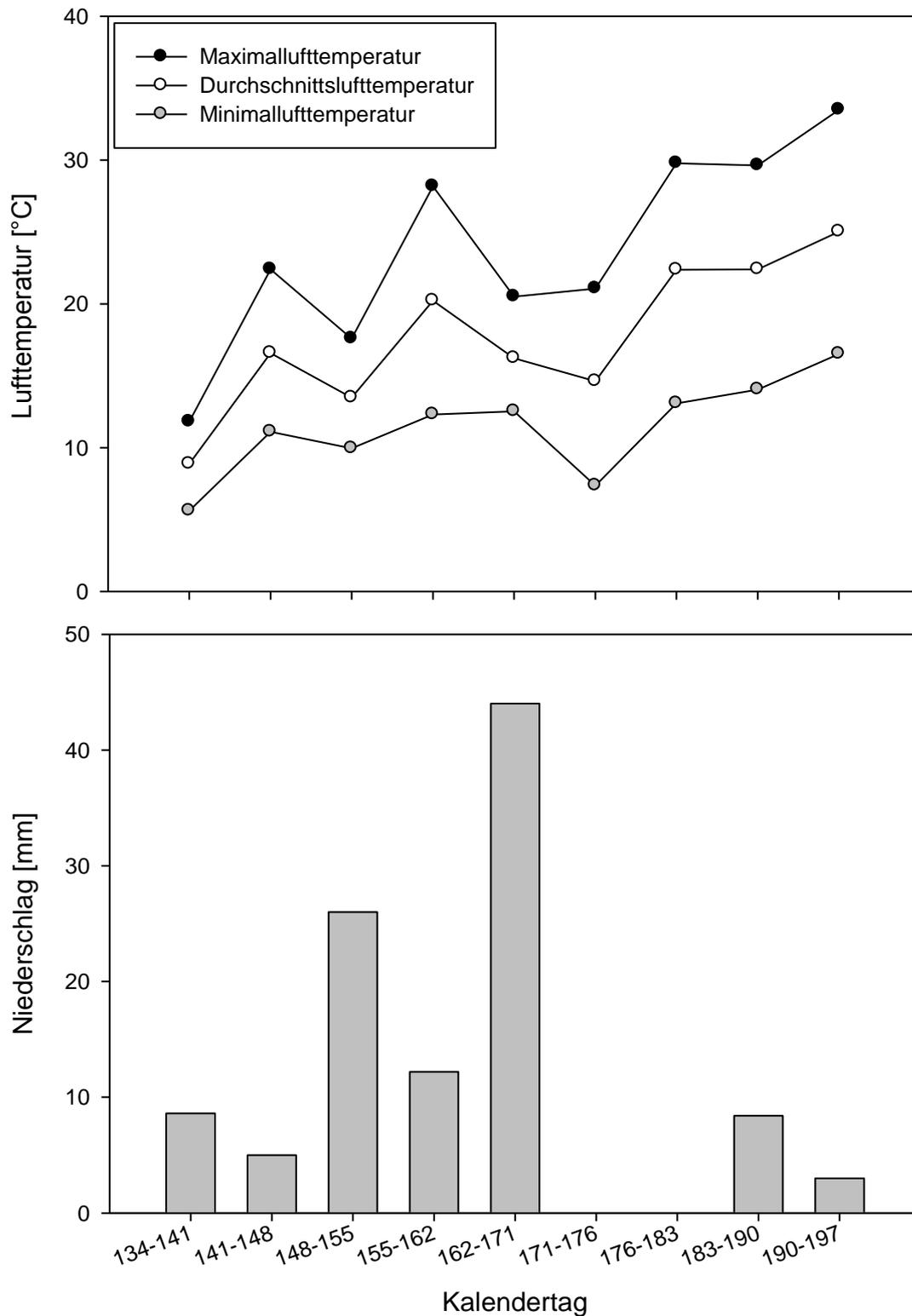


Abbildung 1: Maximal-, Minimal- und Durchschnittslufttemperatur [°C] und Niederschlag [mm] zwischen den jeweiligen Ernteterminen am Standort des HoCC-Experiments im Jahr 2010. Die Darstellung beginnt ab dem ersten Erntetermin. Die Messwerte stammen vom LTZ Augustenberg.

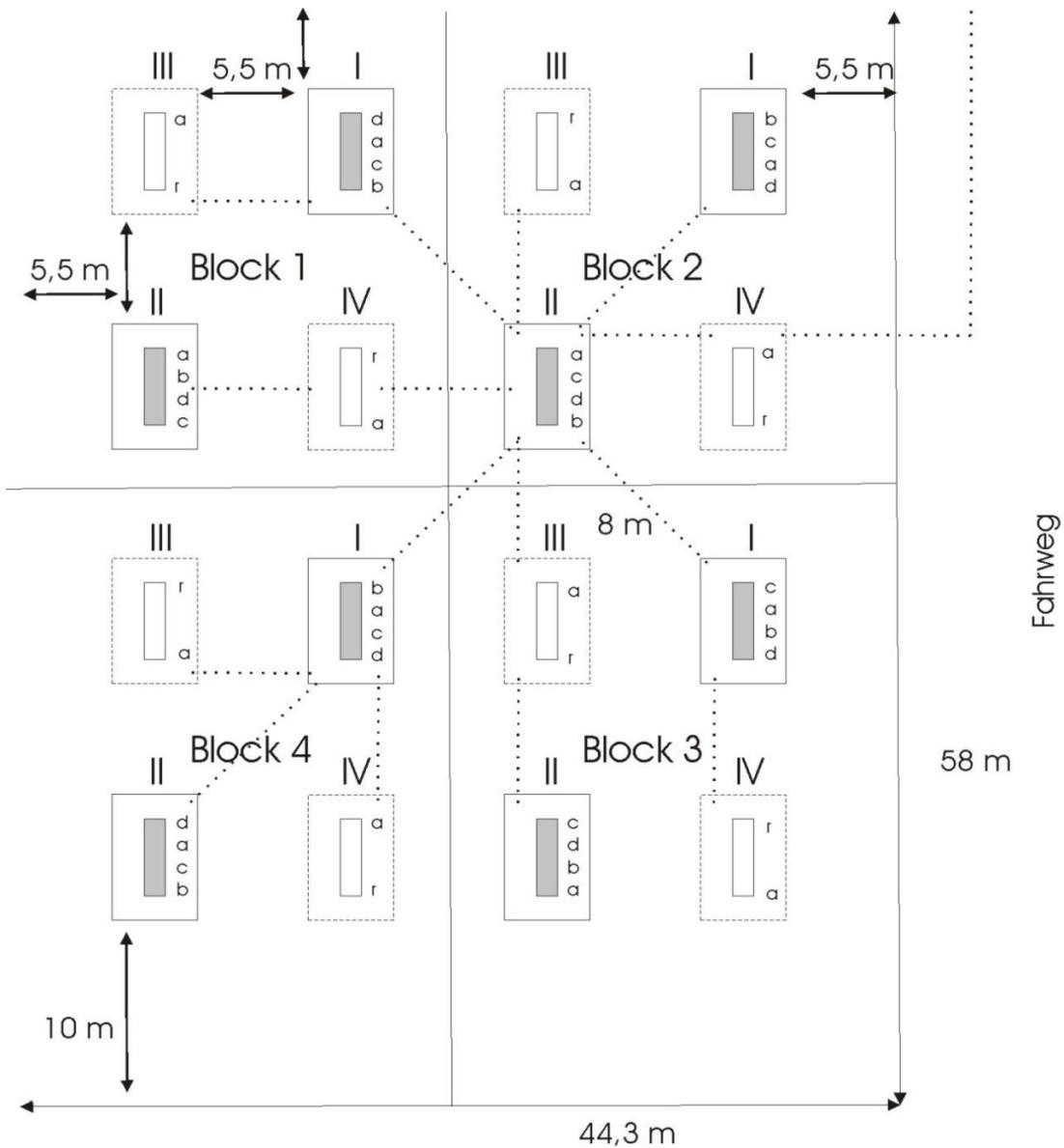
2.2 Versuchsaufbau

Das Umweltbundesamt prognostiziert für das Jahr 2100 eine Erhöhung der annualen Durchschnittstemperatur in der Region Stuttgart um 2 bis 3 °C (Umweltbundesamt, 2006). Die Manipulation der Bodentemperatur orientierte sich an diesem Wert und sollte während des gesamten Experiments um 2,5 °C höher gehalten werden als die Umgebungsbodentemperatur. Daraus ergab sich eine Behandlung mit erhöhter Bodentemperatur (ET) und die Kontrolle mit der Umgebungsbodentemperatur (UT).

Die Versuchsfläche maß 58 m x 44,3 m und war in 4 gleichgroße Blöcke mit jeweils 4 Parzellen unterteilt (Abbildung 2). Jede Parzelle befand sich in der Mitte einer Brachfläche von 6,5 m x 4,2 m, die einen Abstand von 5,5 m zur nächsten Parzelle und deren Brachfläche hatte. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden die 8 Parzellen mit den Markierungen III (ET ohne Dach) und IV (UT ohne Dach) untersucht. Die Parzellen maßen 4 m x 1 m und waren in 4 1 m x 1 m Unterparzellen unterteilt. Zur Unterbindung des Wasseraustausches innerhalb der Parzelle wurde jede Unterparzelle von einer nach unten geöffneten 0,5 m tief reichenden PVC-Barriere umgeben. Für dieses Experiment wurde jeweils zufällig eine Unterparzelle pro Parzelle ausgewählt.

Die Erhöhung der Bodentemperatur wurde in den ET-Parzellen durch Heizkabel (RS 611-7918, RS Components GmbH) realisiert, die auf die Bodenoberfläche nach den Vorgaben von Ineson et al. (1998) aufgelegt wurden. Der gleiche Aufbau wurde ohne Stromversorgung auf den UT-Parzellen angebracht, um Effekte, die aus den Kabeln resultieren, auszugleichen. In 4 cm Tiefe wurde in den Hauptversuchsparzellen² des HoCC-Experiments die Bodentemperatur anhand einer Temperatursonde gemessen und diese an 2 Datenlogger (DT85, UMS GmbH) übermittelt. Die Datenlogger glichen minütlich die Temperatur ab und passten die Stromversorgung des Heizsystems automatisch an (Poll et al., 2010).

² Die Temperatursonden befanden sich in den anderen Unterparzellen des HoCC-Experiments, daher waren keine Temperatursonden direkt in den Unterparzellen dieses Versuchs installiert.



Treatments temperature:
 I Roof, elevated temperature
 II Roof, ambient temperature
 III No roof, elevated temperature
 IV No roof, ambient temperature

Treatments precipitation:
 a Ambient
 b Low amount
 c Low frequency
 d Low amount + frequency
 r Exclusion earthworms



Abbildung 2: Versuchsdesign des HoCC-Experiments (48°42'50"N, 9°11'26"O, 395 m NHN). Es handelt sich um ein randomisiertes Blockdesign mit 4 Wiederholungen für jede Behandlung. Die für diese Arbeit relevanten 8 Parzellen sind mit III (ET) bzw. IV (UT) gekennzeichnet. In den 4 m x 1 m Parzellen befinden sich jeweils 4 randomisierte 1 m x 1 m Unterparzellen, von denen jeweils eine für diesen Versuch näher betrachtet wurde. Die gepunkteten Linien stellen die Stromversorgung des Heizsystems dar (erstellt von Christian Poll).

2.3 Feld- und Parzellenmanagement

Im Vorjahresversuch im April 2009 wurde als Hauptfrucht Sommerweizen (*Triticum aestivum*) der Sorte Triso angebaut. Nachfolgend wurde im August 2009 ein Phacelia-Klee Gemisch gesät. Die Saat ging allerdings nicht auf.

Der Sommerbraugerstentyp Quench wurde als Hauptfrucht dieses Experiments gewählt und am 30.03.2010 gesät. Quench ist eine von der Syngenta Seeds GmbH gezüchtete „Kurzstrohsorte mit hoher Bestandsdichte und sehr guter Standfestigkeit“ (Syngenta, 2010). Die Braugerste ist seit 2006 vom Bundessortenamt zugelassen und wird vom Bundessortenamt (2006) als „gering krankheitsanfällig bei hohem Ertragspotenzial“ beschrieben. Für dieses Experiment wurde Quench gewählt, da der Sortentyp „eine gute Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Anbaubedingungen“ (Syngenta, 2007) vorweist.

Die Ackerfläche wurde am 29.04.2010 mit 60 kg Kalkammonsalpeter ha⁻¹ gedüngt. Am 14.05.2010 wurde die Pflanzenzahl pro Unterparzelle auf 290 vereinheitlicht. Die Kultur wurde am 07.06.2010 mit den Herbiziden Ariane C (1,5 l ha⁻¹) und Ralon Super (1 l ha⁻¹) behandelt. Weiter erfolgte am 07.07.2010 eine Ausbringung des Fungizids Stratego mit 0,8 l ha⁻¹. Ergänzend wurden die Brachflächen um die Parzellen von Hand von Ackerwildkräutern befreit. Auch zwischen den Versuchspartellen wurde die Nutzpflanze gesät, um den Umweltbedingungen eines Gerstenfeldes möglichst nahe zu kommen.

In der Unterparzelle wuchsen 290 Gersten in 8 Reihen, die in einem Reihenabstand von 13 cm gepflanzt und einen Abstand von 5 cm zum Rand aufwiesen. Innerhalb der Reihe betrug der Pflanzabstand 2 cm. Weiter wurde eine 10 cm breite Randzone ausgewiesen, um Pflanzen mit möglichst homogenen Wachstumsbedingungen in Zentrumsnähe der Unterparzelle zu erforschen.

2.4 Beprobung

Am 14.05.2010 begann während der Bestockungsphase die wöchentliche destruktive Beprobung der Pflanzen³. ET befand sich im BBCH⁴-Stadium 24 und UT im BBCH-Stadium 23. Pro Unterparzelle wurden nach einer Randomisierung 2 Pflanzen ausgewählt. Für jede Pflanze wurde das BBCH-Stadium bestimmt und die Pflanzenhöhe gemessen. Daraufhin wurde die Blattfläche jeder Blattetage des Haupttriebs zeitnah mit Hilfe der Hohenheimer Oberflächenmessapparatur gescannt und separat verpackt. Verwelkte Blätter wurden nur zur Trockenmasseanalyse berücksichtigt. Der Haupttrieb wurde 1 cm über dem Boden abgeschnitten, vermessen und verpackt. Nach dem Zählen und dem Vermessen der Bestockungstriebe wurde jede Blattetage der Bestockungstriebe gescannt und in einer Tüte verpackt. Die Bestockungstriebe wurden einzeln verpackt. Danach trockneten die Proben mindestens 48 h bei 70 °C und kühlten hinterher in einem mit Silicagel gefüllten Exsikkator auf Zimmertemperatur herunter. Abschließend wurden die Proben Milligramm genau gewogen, um deren Trockenmasse zu bestimmen. Die beiden Datensätze pro Unterparzelle wurden für die Berechnungen gemittelt, womit sich jeweils 4 ET- und 4 UT-Datensätze pro Erntetermin ergaben.

2.5 Analyse

Folgende Formeln wurden zur Bestimmung der Nettoassimilationsrate (NAR), der relativen Wachstumsrate (RGR), der spezifischen Blattfläche (SLA) und des Blattflächenverhältnisses (LAR) genutzt. Das „dG“ steht dabei für Trockensubstanzzuwachs pro Zeiteinheit „dt“. „A“ steht für die gemittelte Blattfläche zwischen 2 Ernteterminen, „G“ steht für Ausgangstrockengewicht und „G_L“ für Blättergewicht.

$$NAR = \frac{dG}{dt} \cdot \frac{1}{A} [g \cdot m^{-2} \cdot t^{-1}]$$

³ Die Ausnahme bildeten die Kalendertage 162, 171 und 176. Die restlichen Erntetermine waren Tag 134, 141, 148, 155, 183, 190 und 197.

⁴ BBCH: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie

$$\text{RGR} = \frac{dG}{dt} \cdot \frac{1}{G} [\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}]$$

$$\text{SLA} = \frac{A}{G_L} [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$\text{LAR} = \frac{A}{G} [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

2.6 Statistik

Die Daten wurden mit dem t-Test des Programms Microsoft Excel 2007 analysiert. Es handelte sich um einen einfaktoriellen Versuch im Blockdesign mit 4 Wiederholungen.

3 Ergebnisse

Die Bodenheizung führte zu einer durchschnittlichen Erwärmung des Bodens um 1,44 °C. Da die Heizkabel auf der Bodenoberfläche auflagen, war die Differenz zu dem vorgegebenen Wert von 2,5 °C wahrscheinlich auf den Wind zurückzuführen, der zu einem Wärmeübertrag an die Luft führte (Poll et al., 2010). Darüber hinaus kam es zu einer Unterbrechung des Stromkreises vom 07.04. bis 23.04.2010 und damit zu einem 16-tägigen Ausfall der Heizung innerhalb der BBCH-Makrostadien 0 - Keimung und 1 - Blattentwicklung.

Alle gesammelten Daten sind sortiert nach Versuchstag im Anhang aufgeführt.

3.1 BBCH-Stadium

ET-Gersten hatten zu jedem Zeitpunkt einen Entwicklungsvorsprung gegenüber den UT-Gersten (Abbildung 3a). An den ersten 3 Erfassungsterminen betrug der Unterschied etwa 0,5 bis 1,6 BBCH-Stadien. An Tag 155 befanden sich ET-Gersten etwa im BBCH-Stadium 44,5 und UT-Gersten etwa im BBCH-Stadium 32,4. An den folgenden Tagen lag der Entwicklungsvorsprung von ET- gegenüber UT-Gersten etwa zwischen 1,4 (Tag 171) und 4,0 (Tag 190) BBCH-Stadien.

3.2 Trockenmasseakkumulation

Die ET-Gersten bildeten von Tag 141 bis 190 durchschnittlich mehr Trockenmasse [g m^{-2}] als die UT-Gersten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Tagen 148 bis 176 (Abbildung 3b). ET- und UT-Gersten verzeichneten während dem Ährenscheiden bzw. -schieben⁵ die höchsten Zuwachsraten, wobei ET-Gersten in kürzerer Zeit mehr Trockenmasse akkumulierten. Besonders zwischen den Tagen 155 bis 162 waren bei ET und UT starke Wachstumsraten zu beobachten. Den höchsten gemittelten Trockenmassewert erreichten ET-Gersten am Tag 176 mit $1687 \pm 266 \text{ g m}^{-2}$ und UT-Gersten 14 Tage später mit $1514 \pm 146 \text{ g m}^{-2}$. Ab Tag 176 (ET) bzw. 190 (UT) nahm die Trockenmasseakkumulationsrate folglich ab. Am letzten Versuchstag (197) sank der ET- unter den UT-Wert.

⁵ BBCH-Makrostadien 4 bzw. 5 – Abbildung 4d visualisiert die jeweiligen BBCH-Stadien der ET- und UT-Gersten zum Zeitpunkt der Erntetermine.

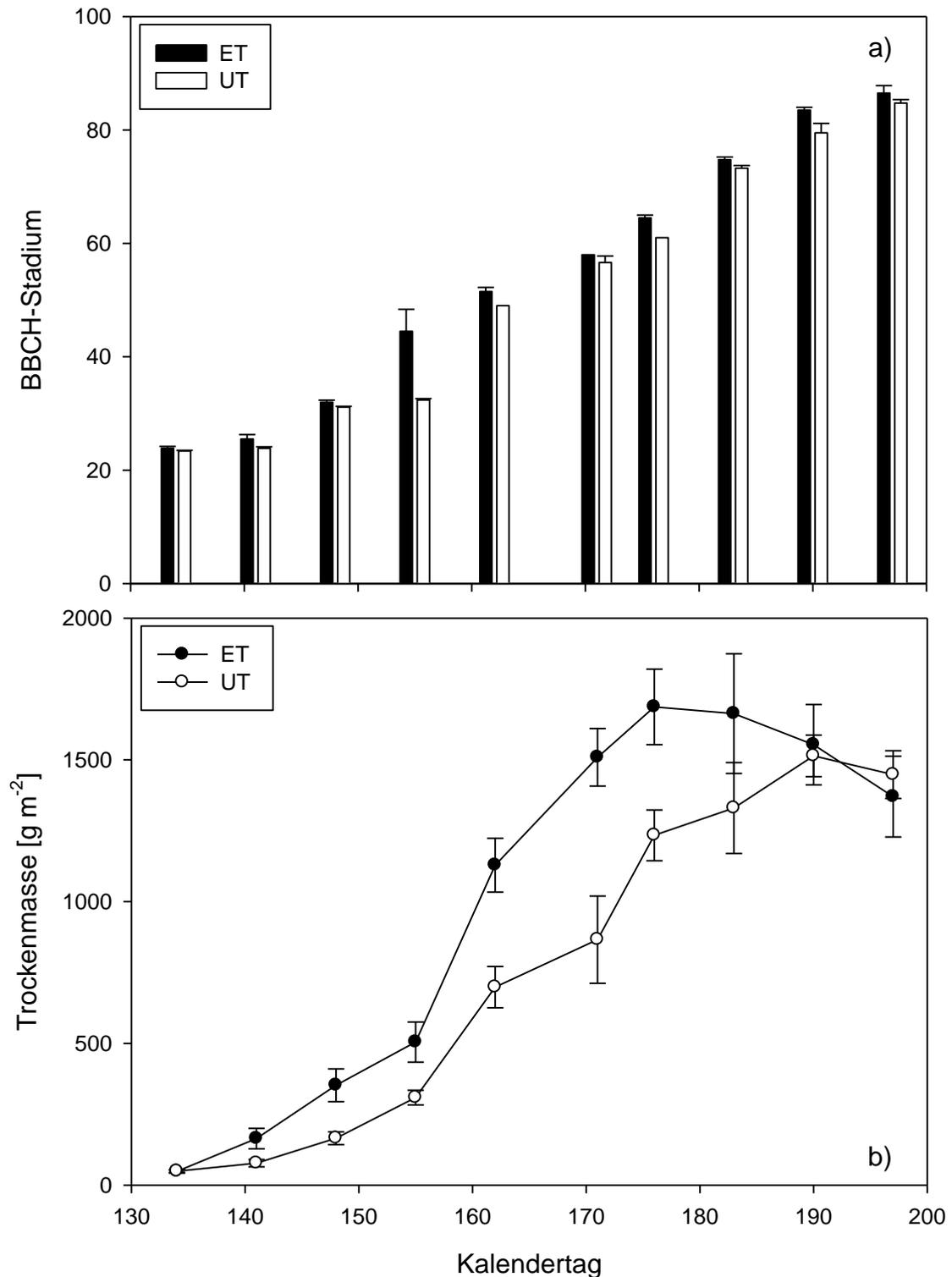


Abbildung 3: Entwicklung des BBCH-Stadiums und der oberirdischen Trockenmasse [g m⁻²] während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010. Verglichen werden Gersten in Umgebungsbodentemperatur (UT) mit Gersten bei 1,44 °C erhöhter Bodentemperatur (ET). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts, n = 4.

3.3 Blattflächenindex

Die Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) wurde nur bis zum Tag 183 aufgenommen, da an den Tagen 190 und 197 die Mehrheit der Blätter welk waren und nur noch zur Trockenmassebestimmung herangezogen werden konnten.

Der gemittelte LAI von ET war zwischen den Tagen 141 bis 183 größer als von UT (Abbildung 4a). Die höchsten Zuwachsraten von ET waren an den Tagen 141 und 148, bei signifikanten Unterschieden gegenüber UT ($p < 0,05$). UT verzeichnete zwischen den Tagen 134 und 162 ebenfalls eine steile Wachstumskurve (Zunahme um 388%), wenn auch auf niedrigerem Niveau als ET (Zunahme um 503%). ET und UT erreichten am Tag 162 ihre maximale Ausprägung. Darauf folgend fiel der LAI von ET und UT.

3.4 Pflanzenhöhe

Nach dem ersten Erntetermin war bei den ET-Gersten am Tag 141 eine Steigerung der Pflanzenhöhe [m] um 41% auf $0,28 \pm 0,04$ zu beobachten, wohingegen die UT-Gersten einen Zuwachs um 10% auf $0,23 \pm 0,02$ verzeichneten (Abbildung 4b). Abgesehen vom unterschiedlichen Ausgangsniveau verliefen anschließend bis zum Tag 162 die Zuwachsraten von ET und UT ähnlich. ET war dabei von Tag 141 bis 162 signifikant größer als UT ($p < 0,05$). Danach wurden beide Kurven flacher, wobei die ET-Kurve stärker abflachte und in $0,71 \pm 0,03$ ihr Maximum erreichte. Wie in Abbildung 4b zu sehen, sank die ET-Kurve an Tag 176 unter die UT-Kurve. An Tag 190 waren die ET-Gersten durchschnittlich signifikant kleiner als die UT-Gersten ($p < 0,05$).

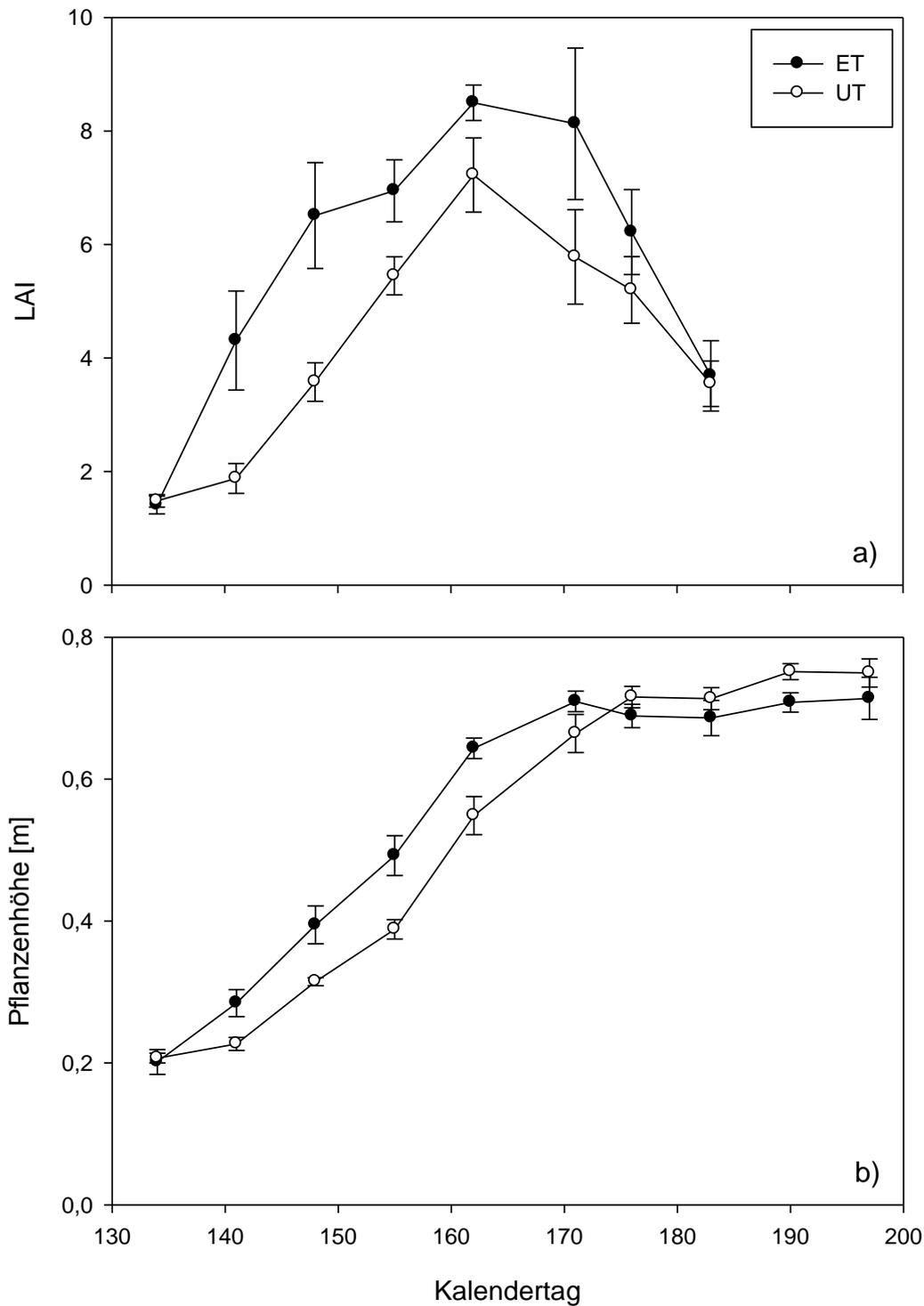


Abbildung 4: Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) und der Pflanzenhöhe [m] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010. Verglichen werden Gersten in Umgebungsbodentemperatur (UT) mit Gersten bei 1,44 °C erhöhter Bodentemperatur (ET). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts, n = 4.

3.5 Nettoassimilationsrate

Die NAR [$\text{g m}^{-2} \text{t}^{-1}$] der ET- und UT-Gersten schwankte während den ersten und den letzten 3 Messintervallen um etwa 3,5 (ET) bzw. 3,9 (UT) $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Abbildung 5a). Zwischen den Tagen 155 bis 162 verzeichneten beide einen starken Trockenmassezuwachs im Verhältnis zur Blattfläche. Es traten keine signifikanten Unterschiede auf.

3.6 Relative Wachstumsrate

Die RGR [$\text{g g}^{-1} \text{t}^{-1}$] schwankte während den ersten 4 Messintervallen bei ET etwa um den Wert 0,15 und UT um 0,14 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ (Abbildung 5b). Ab dem Messintervall 161 bis 171 befand sich der RGR-Wert beider Gruppen auf niedrigerem Niveau und sank schwankend bis zum Tag 190 bis 197. Es traten keine signifikanten Unterschiede auf.

3.7 Spezifische Blattfläche

Die SLA [$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$] lag zu Beginn bei $36,16 \pm 2,39$ (ET) bzw. $36,12 \pm 1,97$ (UT) (Abbildung 6a). Im weiteren Verlauf bildeten die ET-Gersten bis zum Tag 162 durchschnittlich mehr Blattfläche pro Einheit Blattmasse als die Kontrolle, wobei die Tendenz beider Kurven fallend war. Ab Tag 162 kehrte sich dieser Trend um, so dass der UT-Wert bis zum Tag 183 über dem ET-Wert lag. Am letzten Tag lagen beide Werte ungefähr auf gleicher Höhe. Es traten keine signifikanten Unterschiede auf.

3.8 Blattflächenverhältnis

Den maximalen Wert der LAR [$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$] erreichten die ET- und UT-Gersten während des ersten Tages mit $29,23 \pm 1,21$ bzw. $30,26 \pm 1,85 \text{ m}^2 \text{kg}^{-1}$ (Abbildung 6b). Exklusive Tag 141 bildeten die UT-Gersten durchschnittlich mehr Blattfläche pro Einheit Pflanzenmasse als die ET-Gersten. Signifikante Unterschiede zwischen den ET- und UT-Gersten traten an den Tagen 155 und 162 auf ($p < 0,05$).

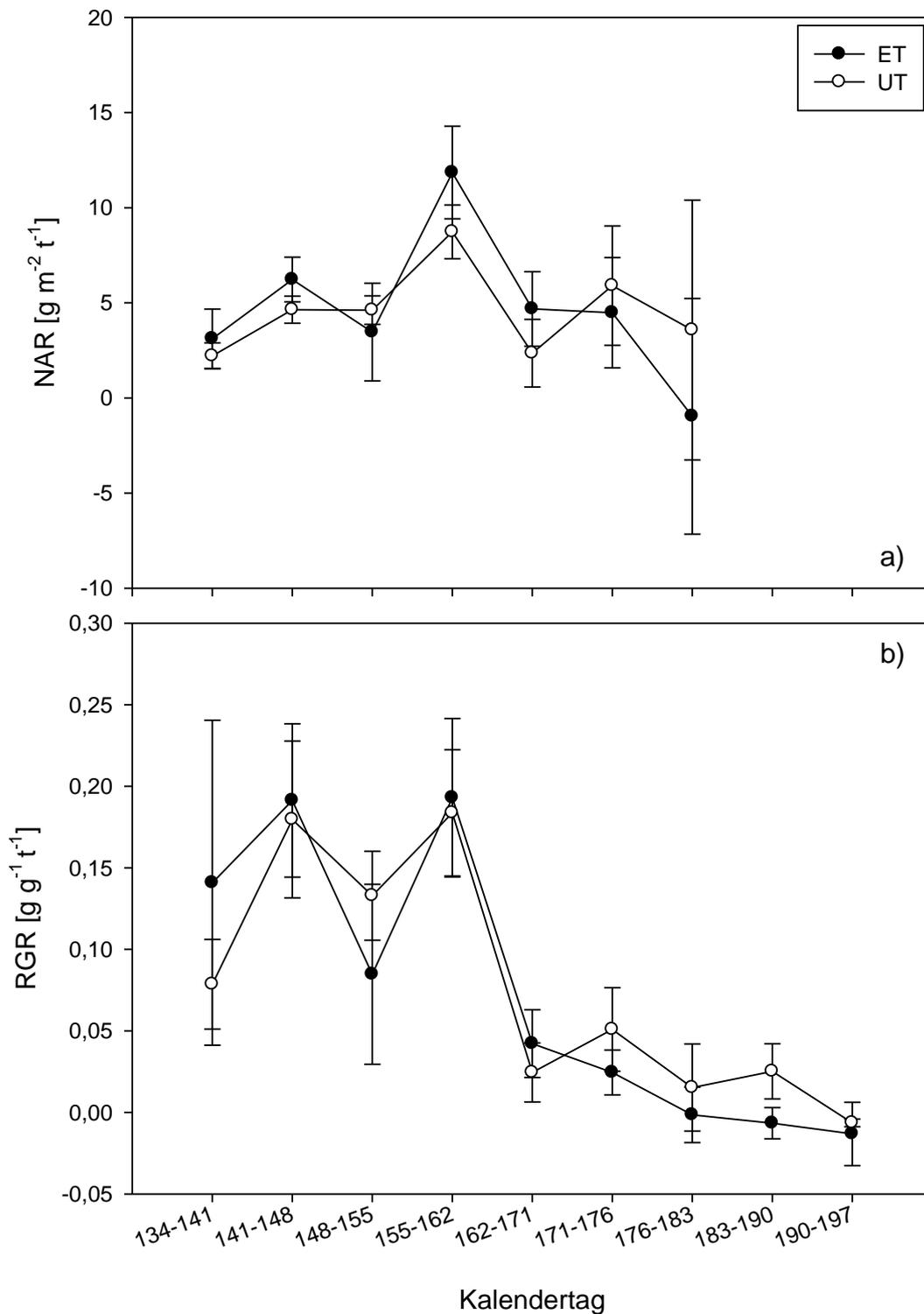


Abbildung 5: Die Nettoassimilationsrate (NAR) [$\text{g m}^{-2} \text{t}^{-1}$] und die relative Wachstumsrate (RGR) [$\text{g g}^{-1} \text{t}^{-1}$] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010. Verglichen werden Gersten in Umgebungsbodentemperatur (UT) mit Gersten bei 1,44 °C erhöhter Bodentemperatur (ET). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts, $n = 4$.

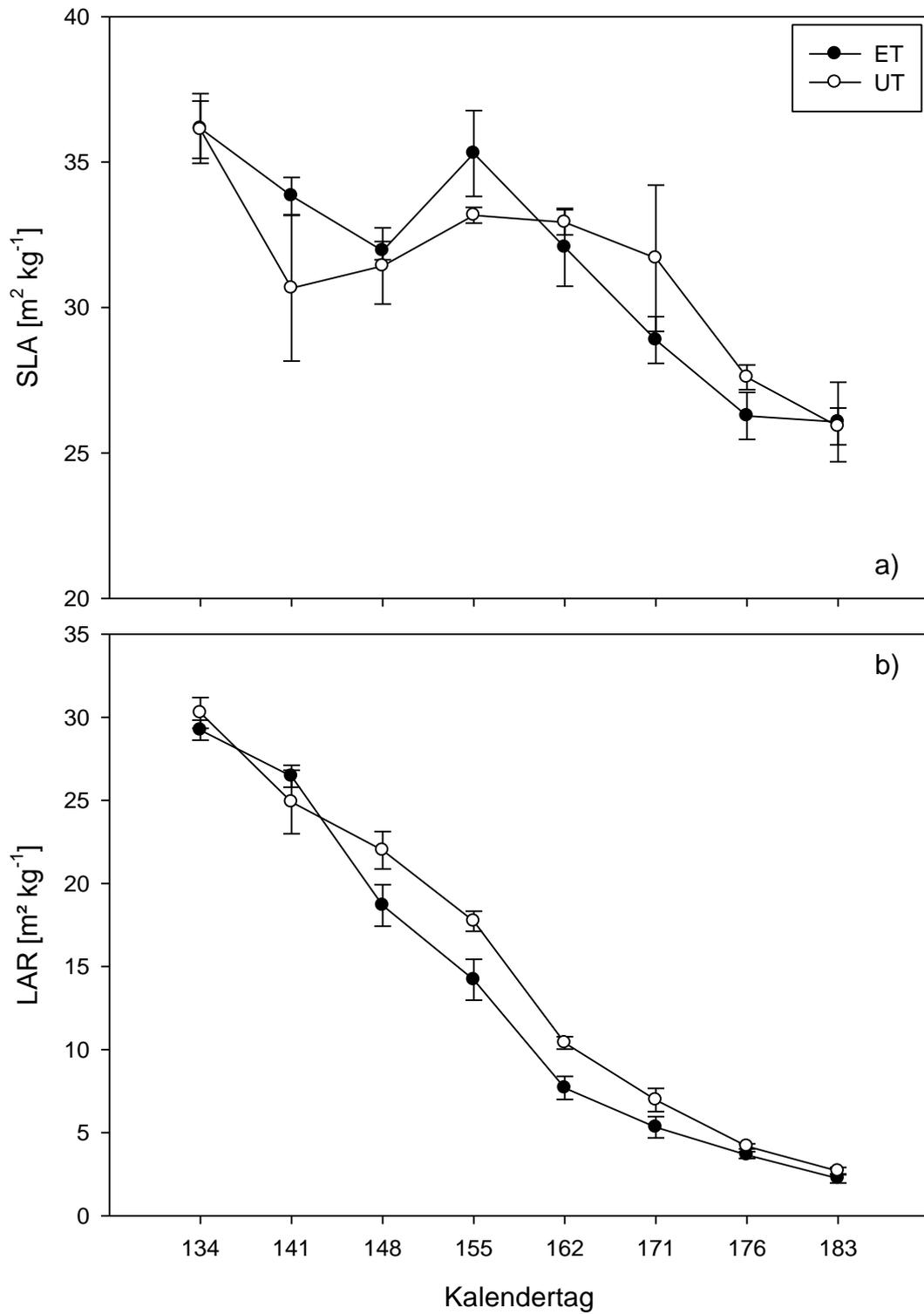


Abbildung 6: Die spezifische Blattfläche (SLA) [m² kg⁻¹] und das Blattflächenverhältnis (LAR) [m² kg⁻¹] von Gerste während des HoCC-Versuchszeitraums im Jahr 2010. Verglichen werden Gersten in Umgebungsbodentemperatur (UT) mit Gersten bei 1,44 °C erhöhter Bodentemperatur (ET). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts, n = 4.

4 Diskussion

Der Einfluss von Bodenerwärmung auf Kulturpflanzen ist ein bisher wenig untersuchtes Gebiet in der Klimawandelfolgenforschung. Diese Arbeit verglich Entwicklung und Wachstum von Sommergerste der Sorte Quench bei 1,44 °C erhöhter Bodentemperatur, mit jener der gleichen Pflanze bei Umgebungsbodentemperatur. Es wurde angenommen, dass Gersten unter erhöhter Bodentemperatur (1) eine beschleunigte Pflanzenentwicklung, (2) mehr oberirdische Trockenmasse, (3) mehr Blattfläche und (4) eine geringere Pflanzenhöhe aufweisen.

Der 16-tägige Ausfall der Stromversorgung während der BBCH-Makrostadien 0 und 1 und die Differenz von 1,06 °C zur vorgegebenen Bodentemperaturerhöhung von 2,5 °C, führten wahrscheinlich zu einer weniger starken Ausbildung der ET-Daten. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass der Aufbau des Heizsystems nach Ineson et al. (1998), zu einer ungleichmäßigen Erwärmung der ET-Pflanzen führte, da die Heizdrähte unterschiedliche Abstände zu den Pflanzen aufwiesen.

Wie prognostiziert, führte die Bodenerwärmung bei ET-Gersten im Vergleich zu UT zu einer beschleunigten Pflanzenentwicklung, die anhand der Einteilung in BBCH-Stadien (Abbildung 3a) festgestellt wurde. Dieses Ergebnis deckt sich mit jenem von Patil et al. (2010), die den Einfluss von Bodenerwärmung auf Weizen in Dänemark untersuchten. Insbesondere während frühen vegetativen Entwicklungsphasen stellten sie bei Weizen auf beheizten Flächen einen Entwicklungsvorsprung von bis zu 44 Tagen fest. Die stärkere Ausprägung der Entwicklungsbeschleunigung bei Patil et al. (2010) ist wahrscheinlich auf die geographische Lage in Verbindung mit der höheren Bodenerwärmung von 5 °C zurückzuführen.

Unter Bodenerwärmung akkumulierten ET-Gersten mehr oberirdische Trockenmasse als UT-Gersten (Abbildung 3b). Während den Tagen 141 bis 178 kam es dabei zu signifikanten Unterschieden ($p < 0,05$). Die hohen Zuwachsraten zwischen den Tagen 155 bis 162 bei ET- und UT-Gersten stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit dem sprunghaften Anstieg der Lufttemperatur. Die steilere Ausprägung der ET-Kurve rührt vermutlich von der zusätzlichen Bodenerwärmung

her. Auch Patil et al. (2010) maßen signifikante Unterschiede an ihrem ersten⁶ und an ihrem zweiten⁷ Versuchstag. Zudem stellten sie ebenso während dem späteren BBCH-Makrostadium 8, der Fruchtreife, keine signifikanten Unterschiede mehr fest.

Abbildung 4a visualisiert die Entwicklung des LAI. Aufgrund der Erwärmung des Bodens wiesen ET-Gersten ab dem Versuchstag 141 einen durchschnittlich höheren LAI aus als UT-Gersten. Während der Bestockung bzw. dem Schossen (Tag 141 bzw. 148) kam es zu signifikanten Unterschieden im LAI ($p < 0,05$). Patil et al. (2010) beobachteten ebenfalls die Interaktion von Bodenerwärmung und Blattfläche von Weizen. Beim ersten ihrer 4 Versuchstage befand sich der ET-Weizen bereits im Schossen (BBCH 31) und der UT-Weizen stand kurz davor (BBCH 27). Wie auch in diesem Gerstenexperiment, hatte der ET-Weizen in diesem Entwicklungsstadium einen signifikant höheren Blattflächenindex als der UT-Weizen ($p < 0,05$). Zudem wurde auch in Dänemark in einem späteren Entwicklungsstadium kein signifikanter Unterschied mehr festgestellt. Die Auswertung der LAR (Abbildung 6b) zeigte, dass UT-Gersten an den Tagen 155 und 162 aufgrund der Bodenerwärmung signifikant mehr Blattfläche in m^2 pro kg Trockenmasse bildeten als ET-Gersten.

Von der Bestockung (Tag 141) bis zum Ährenschieben (Tag 162) waren ET-Gersten aufgrund der Bodenerwärmung signifikant höher als UT-Gersten (Abbildung 4b). Ab Tag 176 jedoch waren UT-Gersten durchschnittlich größer und am Tag 190 wiesen sie gegenüber ET-Gersten eine signifikant höhere Pflanzenhöhe auf. Peltonen-Sainio et al. (2010) verglichen Gersten, die in einem typischen Klima Finnlands der Periode 1971 bis 2000 aufwuchsen, mit solchen, die in einem wärmeren Klima aufwuchsen, das für die Periode 2010 bis 2039 prognostiziert wird. Gersten, die sich im wärmeren Klima der letzteren Periode entwickelten, waren wie in diesem Experiment signifikant kleiner als Gersten in der kühleren Periode.

Die Bodenerwärmung hatte keinen signifikanten Einfluss auf NAR, RGR und SLA.

⁶ Der ET-Weizen befand sich im BBCH-Stadium 31 und der UT-Weizen im BBCH-Stadium 27

⁷ Der ET-Weizen befand sich im BBCH-Stadium 68 und der UT-Weizen im BBCH-Stadium 59

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Bodenerwärmung beschleunigte die Entwicklung von Sommergerste und führte zu mehr oberirdischer Trockenmasse. Außerdem bildeten ET-Gersten während frühen Entwicklungsphasen einen höheren LAI aus. UT-Gersten wiesen zwischen dem Schossen und dem Ährenschieben eine höhere LAR vor. ET-Gersten waren bis zum Ährenschieben größer als UT-Gersten. Danach kehrte sich das Bild ins Gegenteil.

Insbesondere Sommerkulturen wie beispielsweise Gerste, könnten während der Sommermonate zukünftig verstärkt unter Trockenstress leiden (Olesen et al., 2010). Ergänzend zu den Ergebnissen dieser Arbeit sollten daher zukünftige Untersuchungen den Einfluss der zu erwartenden Niederschlagsvariabilität mit einbeziehen. Die Erhöhung der CO₂-Konzentration ist ein weiterer interessanter Faktor. Ferner sind aufgrund der klimatischen Veränderungen wahrscheinlich neue Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten zu erwarten, deren Auswirkungen einer näheren Betrachtung bedürfen.

Eine weitere Arbeit des Fachgebiets Wasserstress-Management beschäftigt sich mit dem Einfluss von Bodentemperatur und Niederschlagsvariabilität auf Ertrag und Ertragskomponenten von Gerste.

6 Literatur

Bundessortenamt (2006). Neuzulassungen im Vergleich - Sommergerste.

http://www.bundessortenamt.de/Downloads/WP/Neuzulassungen_Kurz/kurz_gs_2006.pdf (18.07.2011).

Diepenbrock, W., Ellmer, F., und Léon, J. (2005). Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 1, 368.

Gavito, M. E., Curtis, P. S., Mikkelsen, T. N., und Jakobsen, I. (2001). Interactive effects of soil temperature, atmospheric carbon dioxide and soil N on root development, biomass and nutrient uptake of winter wheat during vegetative growth. *Journal of Experimental Botany* 52, 1913-1923.

Ineson, P., Taylor, K., Harrison, A. F., Poskitt, J., Benham, D. G., Tipping, E., und Woof, C. (1998). Effects of climate change on nitrogen dynamics in upland soils. 1. A transplant approach. *Global Change Biology* 4, 143-152.

Lang, G. (2007). Where are Germany's gains from Kyoto? Estimating the effects of global warming on agriculture. *Climatic Change* 84, 423-439.

Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvag, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., und Micale, F. (2010). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34, 96-112.

Patil, R. H., Laegdsmand, M., Olesen, J. E., und Porter, J. R. (2010). Growth and yield response of winter wheat to soil warming and rainfall patterns. *Journal of Agricultural Science* 148, 553-566.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., und Hakala, K. (2010). Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *Journal of Agricultural Science* 149, 49-62.

Poll, C., Marhan, S., Back, F., und Kandeler, E. (2010). Field scale manipulation of temperature and precipitation change soil CO₂ flux in a temperate agricultural ecosystem. (*Unveröffentlicht*).

Syngenta (2007). Amistar Opti stark gegen Braunrost.

http://www.syngenta.de/syngenta_scripts/_asp/news/news_popup.asp?country=kom&id=283&area=archive (18.07.2011).

Syngenta (2010). Sommerbraugerste Quench - Ertrag und Qualität.

http://www.nk.com/media/374201/quench_profil_oktober_2010.pdf
(18.07.11).

Umweltbundesamt (2006). Künftige Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert.

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3552.pdf> (18.07.11).

7 Anhang

Die Tabellen 1 bis 20 geben die ET- und UT-Rohdaten am jeweiligen Erntetermin wieder. „TM“ steht für Trockenmasse, „MT“ für „main tiller“, „ST“ für „sub tiller“, „L“ für Länge, „G“ für Gewicht, „BG“ für Blattgewicht und „BA“ für Blattanzahl.

8 Danksagung

Herzlichst möchte ich mich bei Prof. Dr. F. Asch für die Betreuung und Vermittlung dieser spannenden Bachelorarbeit bedanken. Prof. Dr. A. Fangmeier danke ich für die Zweitkorrektur dieser Arbeit.

Weiter gilt mein Dank Dr. H. Brück, der mir in Fragen zur Statistik und zur Pflanzenanalyse behilflich war.

Dr. Christian Poll danke dafür, dass ich am HoCC-Experiment teilnehmen durfte und für die Beantwortung meiner Fragen.

Bei Tanja Berndl möchte ich mich für die Laboreinführung bedanken.

Weiterer Dank gebührt Stefanie Pfeiffer, Katrin Heer, Gabriele Schmid, Gabi Schröter und Thomas Mezger.

9 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Name, Vorname: Groß, Sascha

Geboren am: 20.09.1986

Matrikelnummer: 424136

an Eides statt, dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte Bachelor-Arbeit selbständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde.

Betreuender Dozent: Prof. Dr. F. Asch

Thema der Arbeit: Einfluss von Bodentemperatur auf Wachstum und Entwicklung von Sommergerste

Semester: 8

Ort, Datum, Unterschrift