



**BUNDESMINISTERIUM  
FÜR NACHHALTIGKEIT  
UND TOURISMUS**

.....  
HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN  
LANDWIRTSCHAFT

DIPLOMARBEIT

**PRODUKTIVITÄT VON  
DAUERGRÜNLAND UNTER  
KLIMAWANDELBEDINGUNGEN**

LEITNER Juliana Michaela

**BUNDESMINISTERIUM  
FÜR NACHHALTIGKEIT  
UND TOURISMUS**

.....  
HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN  
LANDWIRTSCHAFT

**SCHULE**

HBLFA RAUMBERG-GUMPENSTEIN

**SCHULART**

HÖHERE BUNDESLEHR- UND FORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

**FACHRICHTUNG/AUSBILDUNGSSCHWERPUNKT**

AGRARMARKETING

**TITEL DER DIPLOMARBEIT**

PRODUKTIVITÄT VON DAUERGRÜNLAND UNTER KLIMAWANDELBEDINGUNGEN

**VERFASST VON**

JULIANA MICHAELA LEITNER

**BETREUER/INNEN**

DR MARKUS HERNDL

**PROJEKTPARTNER/INNEN**

DAVID REINTHALER MSC

**VERFASST IM**

MÄRZ 2018

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorgelegte Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe. Weiters stimme ich zu, dass die Inhalte der Arbeit von den Betreuern der Diplomarbeit und von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein für Publikationen und Vorträge uneingeschränkt verwendet werden dürfen.

Raumberg-Gumpenstein, am 23. März 2018

.....  
Juliana Michaela Leitner

## Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit „Produktivität von Dauergrünland unter Klimawandelbedingungen“ wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Markus Herndl, als Betreuer von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, und Herrn David Reinthaler MSc, als externer Betreuer von der Universität Innsbruck, verfasst. Vorerst wurde diese Diplomarbeit von zwei ehemaligen Schülerinnen im Jahr 2015/2016 begonnen. Die beiden brachen die Schule im Laufe der Zeit aber ab. Aus eigenem Interesse zu diesem Versuch und den Auswirkungen des Klimawandels auf das Dauergrünland, habe ich diese Arbeit übernommen und zu Ende verfasst. Die Messungen für die Auswertungen der Daten wurden, mit Unterstützung von Herrn Reinthaler, selbst vorgenommen.

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen bedanken, die mich im Rahmen meiner Diplomarbeit und meiner gesamten Schulzeit, begleitet und unterstützt haben. Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Markus Herndl für die Betreuung meiner Diplomarbeit und jederzeitigen Hilfestellung sowie bei Herrn David Reinthaler MSc bedanken. Herr Reinthaler war immer zur Stelle wenn Fragen auftauchten und hatte immer eine Antwort parat. Bei den Messungen konnten wir auf seine Unterstützung zählen und er gab sein Bestes um uns die Versuche so verständlich wie möglich zu erklären. Er stand mir bei der Auswertung der Ergebnisse und Verfassung meiner Diplomarbeit immer zur Seite.

Auch bedanken möchte ich mich bei Jeannine Brandmüller, sie musste die Schule nach der zweiten Klasse abbrechen und überließ mir, dankenswerter Weise, ihren bis dorthin verfassten Teil der Diplomarbeit.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern - Manuela Leitner und Michael Huber - sie haben es mir ermöglicht die HBLFA Raumberg-Gumpenstein zu besuchen und mich egal in welcher Situation und Schwierigkeit unterstützt und motiviert.

*Juliana Michaela Leitner*

## Zusammenfassung

Der Klimawandel ist in der heutigen Zeit ein wichtiges Thema, nicht nur für die Landwirtschaft. Gletscher schmelzen, der Meeresspiegel steigt und Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erhöhen sich. Man muss sich in naher Zukunft an den Klimawandel anpassen bzw. versuchen weiteres Erhöhen der Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration zu verringern. Um die dem globalen Kohlenstoffkreislauf zugrundeliegenden Prozesse besser verstehen zu können, werden weltweit Studien in verschiedenen Ökosystemen bezüglich ihrer Eigenschaften, Kohlenstoff zu fixieren und frei zu setzen, durchgeführt. Ziel dieser Arbeit ist, die Produktivität von Dauergrünland unter Einfluss des Klimawandels zu untersuchen.

Die Messungen der einzelnen Daten wurden im Zuge eines Projektes der Universität Innsbruck freigegeben. Die Ermittlung der Daten erfolgte auf der Versuchsfläche in der Clim-Grass-Anlage an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit unterschiedlichen Geräten. Es wurde der Netto-Kohlenstoff-Austausch und die Bestandes Respiration gemessen, um damit die daraus zu berechnende Komponente GPP (Bruttoprimärproduktivität) zu erlangen.

Die Ergebnisse waren an den fünf Messungstagen unterschiedlich. Die gemessenen Effekte von NEE zeigten den Trend zu geringerer NEE durch erhöhtes CO<sub>2</sub>, erhöhte Temperatur und deren Kombination, waren aber nicht konsistent und können durch bekannte Klimavariablen wie Bodentemperatur und -feuchte nur zum Teil erklärt werden. Durch die Erhöhung der Bodentemperatur stieg die Stoffwechselaktivität der Bodenmikroorganismen (Bakterien, Pilze), was zu verstärkter CO<sub>2</sub>-Produktion und Freisetzung führte (KUZUYAKOV, 2006). Die vorliegenden Ergebnisse von R<sub>eco</sub> verdeutlichen diesen Effekt, dass auf den erwärmten Parzellen höhere Atmungsraten gemessen wurden. Die Steigerung der R<sub>eco</sub> durch atmosphärische CO<sub>2</sub> Konzentrationen wurde schon zuvor in Begasungsexperimenten nachgewiesen. Im Saisonmittel war die GPP bei allen Behandlungen fast identisch, wobei die Kontrolle tendenziell leicht höher ist als die Klimabehandlungen. Die GPP stellt die Summe aus NEE und R<sub>eco</sub> dar, wodurch sich die Unterschiede der NEE und R<sub>eco</sub> in der vorliegenden Untersuchung auf allen Behandlungen ausgleicht und die GPP, welche ein

Maß für die Produktivität eines Systems (Kohlenstoffaufnahme ohne durch Atmungsprozesse bedingte Verluste) ist, im Saisonmittel nicht mehr unterscheidet.

Da die Klimabehandlungen auf der Versuchsfläche im Jahr 2014 gestartet, und auf ähnlichen Langzeitversuchen und Anpassungszeiträumen von bis zu vier Jahren beobachtet wurden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die gefundenen Inkonsistenzen der Behandlungseffekte auf NEE und  $R_{eco}$  für die einzelnen Messtermine auf Übergangseffekte in der Anpassungsdynamik des Systems zurückzuführen sind. Laut Herrn Reinthaler haben Auswertungen der Messungen im Folgejahr (2017) gezeigt, dass sich diese Anpassungseffekte eingependelt haben und mittlerweile konsistente Unterschiede in den Klimabehandlungen gemessen werden. Die hier vorliegenden Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass sich die GPP durch den simulierten Klimawandel kaum bis gar nicht verändert. Jedoch zeigt sich bei genauerer Betrachtung der Einzelergebnisse, dass sich eine solche Aussage aufgrund der Inkonsistenz der Systemreaktionen auf den Behandlungseffekt nicht treffen lässt.

## Summary

### *Productivity of permanent grassland under climate change conditions*

Climate change has become an important topic in public discourse, especially with regard to agriculture. Glaciers are melting, the sea levels and temperatures are rising and CO<sub>2</sub>-concentrations in the atmosphere are increasing. We have to adapt to climate change and try to counteract the rise in temperatures as well as in CO<sub>2</sub> emissions. In order to understand the different processes of the carbon cycle, different studies of ecosystems around the globe have been conducted, to find out about their features, how they fix carbon and how they release it. Aim of this diploma thesis is to examine the productivity of permanent grassland under the influence of climate change.

We received the data needed for our research project from courtesy of the University of Innsbruck. Our project was carried out at the test area in the ClimGrass facility of the HBLFA Raumberg-Gumpenstein, where different kinds of sensors helped us to take measurements and collect data. The net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange (NEE) and ecosystem respiration (R<sub>eco</sub>) were measured in order to receive data on the GPP (Gross Primary Productivity).

The results of our analyses were different on most of the five measurement days. NEE showed lower values in the climate-manipulation treatments (elevated CO<sub>2</sub>-concentration, elevated temperature and their combination), but not in a consistent manner. When the soil temperature is higher, microorganisms in the soil produce more CO<sub>2</sub> and release it (KUZYAKOV, 2006). The results of R<sub>eco</sub> show that if the soil temperature is higher, also the metabolism rates are higher. That R<sub>eco</sub> increases when the CO<sub>2</sub> concentration is higher is something that could already be determined from different fumigation experiments. The average of GPP shows us that all treatments nearly achieve the same results, whereas the control group is a little bit higher in GPP than the climate altered groups. GPP is the sum of NEE and R<sub>eco</sub> whereby the differences of NEE and R<sub>eco</sub> are nearly the same in all treatments. We could not observe any differences in GPP in the season average.

The climate treatments on this test area started in the year 2014. The long-term study has been carried out since and shows - like similar studies in that research field - that inconsistencies in treatment effects with NEE and  $R_{eco}$  might occur due to transition effects within the adjustment dynamics of the system which happen between the individual measurement units.

Mister Reinthaler said, that these effects have shown consistent differences in the climate altered plots since 2017. Due to these results we can see that the average GPP differs among the treatments evaluated. When having a closer look at the individual results however, you can see that there are differences in systemic reactions to different forms of treatment.



# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	III
Vorwort und Danksagung.....	IV
Zusammenfassung .....	V
Summary .....	VII
Inhaltsverzeichnis .....	IX
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung und Stand des Wissens .....	1
2 Fragestellungen und Ziele .....	3
3 Material und Methoden .....	4
3.1 Versuchsaufbau .....	4
3.1.1 Methodik der Temperaturerhöhung und der CO <sub>2</sub> -Gehaltserhöhung .....	4
Versuchsstandort .....	6
Messungen des Netto-Kohlenstoff-Austausches (NEE) .....	6
Messungen der Ökosystematmung (R <sub>eco</sub> ) .....	7
3.2 Messgrößen .....	9
3.2.1 NEE <sub>CO<sub>2</sub></sub> .....	9
3.2.2 Ökosystematmung (R <sub>eco</sub> ) .....	10
3.2.3 Mikroklima.....	10
3.2.3.1 Bodenfeuchte .....	10
3.2.3.2 Bodentemperatur .....	10
3.2.4 Berechnung der Bruttoprimärproduktivität (GPP).....	11
Messvorgang .....	12
4 Ergebnisse und Diskussion .....	14
4.1 Tagesmessungen .....	14
4.1.1 Tagesmessungen 18.05.2016.....	14
4.1.1.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle .....	15
4.1.2 Tagesmessungen 22.06.2016.....	16

4.1.2.1	Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle .....	17
4.1.3	Tagesmessungen 23.06.2016.....	18
4.1.3.1	Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle .....	19
4.1.4	Tagesmessungen 19.07.2016.....	20
4.1.4.1	Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle .....	21
4.1.5	Tagesmessungen 26.08.2016.....	22
4.1.5.1	Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle .....	23
4.2	Saisonverlauf.....	24
4.2.1	Saisonverlauf NEE.....	24
4.2.2	Saisonverlauf $R_{eco}$ .....	25
4.2.3	Saisonverlauf GPP .....	26
4.2.4	Saisonverlauf GPP nach Behandlungen.....	27
4.2.5	Saisonmittelwert GPP nach Klimabehandlungen.....	28
4.2.6	Saisonverlauf der Tagesmittelwerte für Bodentemperatur und Bodenfeuchte .....	29
4.3	Diskussion .....	30
4.3.1	NEE .....	30
4.3.2	$R_{eco}$ .....	31
4.3.3	GPP.....	32
5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	33
6	Literaturverzeichnis .....	34
7	Anhang .....	38

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

### **Abbildungen**

Abbildung 1: Versuchsdesign der ClimGrass-Anlage (Quelle: PÖTSCH et al., 2014) .....	5
Abbildung 2: Infrarotheizungssystem am Gerüst der Parzelle (links) und der Begasungsring über der Parzelle (rechts) (Quelle: PÖTSCH et al., 2014).....	5
Abbildung 3: NEE-Kammer mit Ventilatoren, CO <sub>2</sub> -Sensor und einem Lufttemperatur- und -feuchtmessgerät (Quelle: LEITNER, 2016) .....	8
Abbildung 4: Photometer (Quelle: LEITNER, 2016) .....	9
Abbildung 5: Messgerät zur Erfassung der Bodentemperatur und Bodenfeuchte (Quelle: LEITNER, 2016) .....	11
Abbildung 6: Lüften der NEE-Kammer vor jeder Messung (Quelle: LEITNER, 2016) .....	13
Abbildung 7: R <sub>eco</sub> (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 18.05.2016.....	14
Abbildung 8: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 18.05.2016 .....	15
Abbildung 9: R <sub>eco</sub> (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 22.06.2016.....	16
Abbildung 10: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 22.06.2016 .....	17
Abbildung 11: R <sub>eco</sub> (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 23.06.2016.....	18
Abbildung 12: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 23.06.2016 .....	19
Abbildung 13: R <sub>eco</sub> (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 19.07.2016.....	20

Abbildung 14: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 19.07.2016 .....	21
Abbildung 15: $R_{eco}$ (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 26.08.2016.....	22
Abbildung 16: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 26.08.2016 .....	23
Abbildung 17: Netto-Kohlenstoff-Austausch der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (COT0).....	24
Abbildung 18: Ökosystematmung der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (COT0) .....	25
Abbildung 19: Bruttoprimärproduktivität (GPP) der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (COT0).....	26
Abbildung 20: Bruttoprimärproduktivität (GPP) der Klimamanipulationen aller Behandlungen.....	27
Abbildung 21: Saisonale Darstellung der mittleren Bruttoprimärproduktivität inklusive Standardabweichungen.....	28
Abbildung 22: Saisonverlauf der Bodentemperatur und Bodenfeuchte .....	29
 <b>Tabellen</b>	
Tabelle 1: Werte der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen .....	32

## Abkürzungsverzeichnis

C.....	Kohlenstoff
Jhd. ....	Jahrhundert
PE.....	Polyethylen
PAR.....	Photosynthetic Active Radiation → Photosynthetisch Aktive Strahlung
NEE.....	Net Ecosystem Exchange → Netto-Kohlenstoff-Austausch
R <sub>eco</sub> .....	Ecosystem respiration → Ökosystematmung
GPP .....	Gross Primary Productivity → Bruttoprimärproduktivität
SH .....	Shading (1-4) → Beschattung in unterschiedlicher Größenordnung (1-4)
Ac .....	Bestandesphotosynthese
Rs .....	Soil Respiration → Bodenatmung
ppm .....	parts per million
SWC .....	soil water content → Bodenfeuchte
T <sub>soil</sub> .....	Bodentemperatur
NS .....	Niederschlagsmenge

## 1 Einleitung und Stand des Wissens

Die Klimaerwärmung ist eindeutig und kann seit den 1950er Jahren, anhand von Veränderungen beobachtet werden (IPCC, 2013). Die Atmosphäre, Erdoberfläche und die Ozeane haben sich beispielsweise erwärmt. Der Anteil von Eis und Schnee hat sich verringert und der Meeresspiegel ist somit gestiegen (KROHN, 2015). Kohlenstoffdioxid-, Methan- und Stickstoffdioxidkonzentrationen sind seit den letzten 800.000 Jahren derzeit an ihrem Maximum. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre sind seit der Industrialisierung um 40% angestiegen. Durch weitere Treibhausgas-Emissionen wird im 21. Jahrhundert die Temperatur weiter ansteigen und zu weiteren Veränderungen der Komponenten des Klimasystems führen. Um die Klimaerwärmung zu reduzieren bzw. in Grenzen zu halten, erfordert es an bedeutender und anhaltender Reduktion der Treibhausgasemissionen (IPCC, 2013).

Es wird davon ausgegangen, dass sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration fast verdoppelt, was die Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um mehr als 2°C erhöhen wird (IPCC, 2013). Es kann zu erhöhtem Auftreten von Extremereignissen wie zum Beispiel Dürren oder Hitzewellen mit erhöhter Intensität kommen (IPCC, 2013). Auch in Zentraleuropa und somit auch im zentralalpinen Raum wird es verschiedenen Szenarien nach wärmer und trockener (SENEVIRATNE et al., 2012). Laut IPCC wird auch die Bodenfeuchte in verschiedenen Ökosystemen, auch in Mitteleuropa und dem alpinen Raum, bis Ende des 21. Jhd. stark zurückgehen (IPCC, 2013; GOBIET et al., 2014). Diese Klimaänderungen können sich stark auf pflanzenphysiologische und biogeochemische Kreisläufe auswirken, was wiederum zu Rückkopplungen mit dem Klimasystem führen kann (IPCC, 2012). Ein Beispiel hierfür wäre die Hitzewelle in Westeuropa, im Sommer 2003, welche zu einem Einbruch der Bruttoprimärproduktivität um 30% führte und in weiterer Folge die Ökosysteme in diesem Jahr zu einer Nettoquelle von CO<sub>2</sub> wurden, was wiederum den Effekt von vier Jahren der CO<sub>2</sub>-Fixierung in diesen Ökosystemen kompensierte (CIAIS et al., 2005). Somit können Klimaveränderungen zu einer positiven Rückkopplung auf die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration führen, da freigesetztes CO<sub>2</sub> die Erwärmung weiter vorantreibt und den Klimawandel dadurch beschleunigt.

nigt (HEIMANN und REICHSTEIN, 2008; ARNETH et al., 2010; REICHSTEIN et al., 2013).

Während die Auswirkungen einzelner Klimafaktoren auf die Produktivität und Stoffkreisläufe von Ökosystemen verhältnismäßig gut erforscht sind, gibt es deutlich weniger Studien zu erwarteten kombinierten Auswirkungen mehrerer Faktoren, wie Erwärmung, erhöhtem CO<sub>2</sub> und Dürreereignissen (SHAW et al., 2002; BLOOR et al., 2010; MORGAN et al., 2011). Das stellt eine bedeutsame Wissenslücke dar, insbesondere da Metaanalysen darauf hinweisen, dass die Reaktion von Ökosystemen auf kombinierte Umweltveränderungen anhand der Ergebnisse von Einzelfaktorexperimenten nicht vorhersagbar ist (LEUZINGER et al., 2011; WU et al., 2011; DIELEMANN et al., 2012). Entsprechend fehlen auch noch multifaktorielle Studien, die den komplexen Einfluss des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Biomasseproduktion und die zugrundeliegenden Prozesse im Grünland untersuchten.

40% der weltweiten Landfläche nehmen Grünländer ein und spielen im globalen CO<sub>2</sub> Haushalt eine große Rolle (WHITE et al., 2000). Zwar ist bekannt, dass erhöhte Temperatur und atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen die Produktivitätskomponenten NEE (Net Ecosystem Exchange) und R<sub>eco</sub> (Ecosystem Respiration) beeinflussen (BOECK et al., 2007b; DIELEMAN et al., 2012), jedoch sind in Vorgängerstudien beschriebene Effekte zum Teil nicht konsistent oder gar widersprüchlich (RUSTAD, 2008). Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit der Produktivität von Dauergrünland unter Klimawandelbedingungen und versucht Beihilfe zu geben, diese Lücke im derzeitigen Wissensstand zu schließen.

## 2 Fragestellungen und Ziele

Seit dem Jahr 2010 gibt es die Versuchsanlage ClimGrass an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Kooperation mit der Universität Innsbruck, der Universität Wien und der Universität für Bodenkultur (BOKU).

Aktuell werden die Auswirkungen des Klimawandels und der Düngung auf die Produktivität und die Kohlenstoffdynamik im Grünland untersucht (PÖTSCH, 2014). Durch meine Mithilfe bei den Messungen für die Universität Innsbruck wurden die Daten für die Diplomarbeit übermittelt und ich konnte somit diese Arbeit verfassen.

Übergeordnetes Ziel der Arbeit ist, das Verhalten der Produktivität von Dauergrünland unter Klimawandelbedingungen in der Versuchsanlage ClimGrass zu beobachten, wobei aus den daraus ermittelten Daten folgende Fragen beantwortet werden sollen:

- Wie verhält sich die Produktivitätskomponente Netto-Kohlenstoff-Austausch unter Klimawandelbedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt?
- Wie verhält sich die Produktivitätskomponente Ökosystematmung unter Klimawandelbedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt?

Aufgrund des plötzlichen Schulabbruches meiner ehemaligen Kollegin, Jeannine Brandmüller, habe ich diese Arbeit alleine verfasst und daher die Fragestellung 2. „Produktivitätskomponente Ökosystematmung“ nicht im Detail ausgearbeitet, sondern mich auf die Analyse des Netto-Kohlenstoff-Austausches fokussiert.



## 3 Material und Methoden

### 3.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage ClimGrass befindet sich an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Irnding-Donnersbachtal und besteht aus 54 Grünlandparzellen, die eine Größe von 4x4 m aufweisen. In den beiden östlichen Reihen enthalten 6 Parzellen einen wägbaren Monolith-lysimeter. Jeweils 4 Parzellen in den Reihen 5, 7 und 8 sind mit einer Regenabschattung ausgestattet (Abbildung 1).

Parzellen mit roten Balken zeigen an, dass diese mit einer Infrarotheizung ausgestattet sind und der Pflanzenbestand um +1,5°C (T1) bzw. +3°C (T2), von der Umgebungstemperatur ausgehend erwärmt werden.

Die Parzellen mit den Blauen Balken sind mit einem Lüfter bestückt und begasen den jeweiligen Pflanzenbestand mit CO<sub>2</sub> in zwei Abstufungen, +150 ppm (C1) und +300 ppm (C2), über einen Begasungsring.

#### 3.1.1 Methodik der Temperaturerhöhung und der CO<sub>2</sub>-Gehaltserhöhung

Die Temperaturerhöhung der jeweiligen Parzellen erfolgt mit einem speziellen Infrarotheizungssystem, dass an den Gerüsten der Parzellen befestigt ist.

Die CO<sub>2</sub>-Gehaltserhöhung erfolgt mittels kontinuierlichem CO<sub>2</sub>-Zustrom über einen sogenannten Begasungsring (KIMBALL, 2008; Abbildung 2).



## **Versuchsstandort**

Der Standort der Versuchsanlage ClimGrass liegt zentral im alpenländischen Raum (Ennstal), am Schnittpunkt der Kalk- und Zentralalpen. Das Ennstal erstreckt sich über etwa 90 Kilometer von Westen nach Osten zwischen dem Mandlingpass und dem Gesäuse.

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 7,9°C. Die höchste durchschnittliche Tagestemperatur wird in den Monaten Juli und August erreicht und liegt bei 18°C. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge liegt bei 1014 mm. Die monatliche Höchstmenge wird in den Monaten Juli und August mit über 100 mm NS erreicht.

Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung am Versuchsstandort ist Gneis, Kalk und kristalliner Schiefer. Der Bodentyp ist eine Braunerde mit einem A-Horizont von 0-30 cm, einem B-Horizont bis ca. 100 cm und einem C-Horizont >100 cm (HERNDL, 2011).

Im Jahr 2007 wurde am Versuchsstandort eine Dauerwiesenmischung angesät. In dieser „Dauerwiesenmischung B“ befanden sich folgende neun Futtergräser: Wiesen-Fuchsschwanz, gewöhnlicher Glatthafer, gewöhnliches Knäuelgras, gewöhnlicher Rotschwingel, Wiesenschwingel, deutsches Weidelgras, Wiesen-Lieschgras, Wiesen-Rispengras, Wiesen-Goldhafer, und zwei Futterleguminosen: Weißklee und gewöhnlicher Hornklee.

## **Messungen des Netto-Kohlenstoff-Austausches (NEE)**

Um den Netto Kohlenstoffdioxid Austausch (Net Ecosystem Exchange = NEE) der einzelnen Bestände messen zu können, wurde eine Plexiglaskammer (NEE-Kammer) verwendet. Die grundlegende Idee für die Kammer kam von DI Droesler (TU München, 1998) und wurde den eigenen Anforderungen entsprechend umgestaltet (SCHMITT, 2005; SCHMITT et al., 2010). Die Kammer ist quadratisch und hat eine Seitenlänge von 50 cm. Dies wiederum ergibt ein Volumen von 0,125 m<sup>3</sup>.

Diese NEE-Kammer enthält einen CO<sub>2</sub>-Sensor (Vaisala GMP 343) einen kombinierten Lufttemperatur und -feuchte-Sensor (Vaisala HMP155) sowie vier Ventilatoren im inneren der Kammer (Abbildung 3). Die abnehmbaren, von Akku angetriebenen, Ventilatoren be-

wirken eine gleichmäßige Luftzirkulation im inneren der begasten Kammer. Zur besseren Luftabdichtung zwischen Kammer und Rahmen befindet sich ein Gummi am unteren Rand. Am oberen Teil der Kammer ist ein kleines Loch gebohrt worden, welches man nach dem Aufsetzen der Kammer mit einem Gummistopfen luftdicht verschließen kann, um Druckeffekte ausgleichen zu können. Bei den Griffen wurde jeweils ein Spanngummi angebracht, um die Kammer besser auf dem Rahmen zu halten und das Verrutschen zu verhindern.

### **Messungen der Ökosystematmung ( $R_{eco}$ )**

Die Kammer zur Messung von  $R_{eco}$  ist baugleich mit der NEE-Kammer, mit dem Unterschied, dass diese aus einem lichtundurchlässigen Material (PE) hergestellt wird, um jeglichen Lichteinfall zu vermeiden. Durch die Abdunkelung des Bestandes wird die Photosynthese der Pflanzen unterbunden und es stellen sich zusätzlich zu Bodengasemissionen pflanzliche Atmungsprozesse ein. Dadurch steigt die  $CO_2$ -Konzentration innerhalb der Kammer an, die daraus errechnete  $CO_2$ -Flussrate ist eine wichtige Größe zur Berechnung der Bruttoprimärproduktivität ( $GPP = \text{Gross Primary Productivity}$ ).

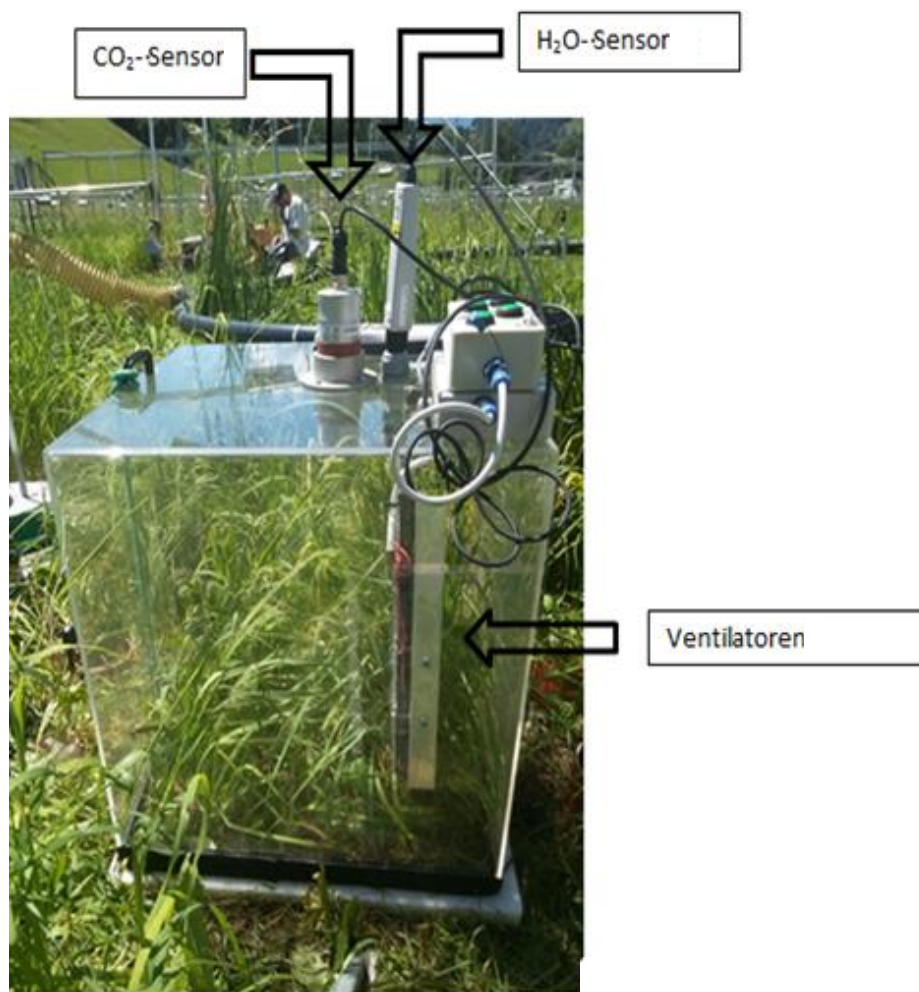


Abbildung 3: NEE-Kammer mit Ventilatoren, CO<sub>2</sub>-Sensor und einem Lufttemperatur- und -feuchtmessgerät  
(Quelle: LEITNER, 2016)

Zu der Messung mit der NEE-Kammer gehört noch ein Photometer, zur Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) (Abbildung 4), der die Strahlung der Sonne auf der Erde misst und drei Beschattungstücher, die für die Beschattungsreihen benötigt werden.

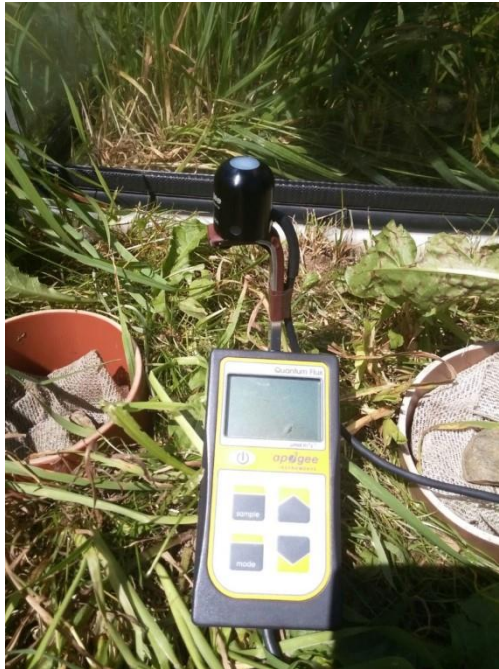


Abbildung 4: Photometer (Quelle: LEITNER, 2016)

## 3.2 Messgrößen

### 3.2.1 $NEE_{CO_2}$

Die Bestandesphotosynthese ( $A_c$ ) und die Bodenrespiration ( $R_s$ ) laufen parallel in einem Ökosystem ab und bilden die zwei Komponenten aus denen sich der Bestandes- $CO_2$ -Gehaltswechsel oder Net ecosystem  $CO_2$  exchange ( $NEE_{CO_2}$ ) zusammensetzt. Bei der Photosynthese wird Kohlenstoff (C) aufgenommen und bei der Respiration wird Kohlenstoff veratmet. Das bedeutet, dass es zu einer C-Abgabe kommt und je nach Dominanz eines Prozesses wird  $CO_2$  aufgenommen oder freigegeben. Das Gleichgewicht von der Kohlenstoffbilanz wird mit der Gleichung 1 überprüft.

$$NEE_{CO_2} = A_c - R_s \quad \text{Gleichung 1, (Flanagan et al., 2002)}$$

$NEE_{CO_2}$  wird von photochemischen Prozessen, die von der Intensität der Strahlung beeinflusst werden, und von biochemischen Prozessen der Photosynthese, die durch Temperatur,

Wasser- und Mineralstoffversorgung und des CO<sub>2</sub>-Angebotes abhängig sind, beeinflusst. Durch ein erniedrigtes Wasserpotential setzt sich eine Reaktion der Stomata in Gang, die den stomatären Eintritt von CO<sub>2</sub> limitiert (LARCHER, 2001).

Um einen NEE Wert zu erhalten, wird dieser mit der oben erwähnten NEE-Kammer gemessen. Hierbei wird der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen. Sinkt der Wert ab, bedeutet dies, dass der Ablauf der Bestandesphotosynthese über den Prozess der Bodenrespiration steht. Dominiert aber die Bodenrespiration über die Bestandesphotosynthese, so steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration. Das Vaisala-Messgerät gibt die gemessene CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Einheit parts per million (ppm) aus.

### 3.2.2 Ökosystematmung ( $R_{eco}$ )

Durch die Abdunkelung des Bestandes wird CO<sub>2</sub> von den Pflanzen nicht für Photosyntheseprozesse aufgenommen, sondern durch Atmungsprozesse freigesetzt. Innerhalb der Kammer summieren sich Bodenatmung und Pflanzenatmung zur sogenannten Ökosystematmung oder kurz  $R_{eco}$  (ecosystem respiration).

### 3.2.3 Mikroklima

#### 3.2.3.1 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte ist neben der Temperatur einer der wichtigsten Faktoren im Experiment, da sie sowohl Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-, als auch auf die H<sub>2</sub>O Flüsse hat. Bei einer Bodentiefe von 5 cm, 10 cm und 20 cm wird mittels manuellen und automatisierten Systemen der Bodenfeuchtegehalt oder soil water content (SWC) gemessen.

#### 3.2.3.2 Bodentemperatur

Die Bodentemperatur hat aufgrund ihrer Wirkung auf die Enzymkinetik einen erheblichen Einfluss auf Stoffwechselprozesse und hat daher einen wesentlichen Effekt auf Atmungsprozesse.



Die manuelle Messung der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur erfolgt mit einem WET-2 Sensor der Firma Delta-T Systems (Abbildung 5). Die Messsensoren befinden sich auf den drei Metallstäben. Die „Messgabel“ wird zwischen den beiden roten Rohren mit einer Entfernung von ca. 2-5 cm pro Rohr in die Erde gesteckt. Pro Parzelle werden zwei Messungen durchgeführt. Vor Beginn der ersten Messung sollte man 1-2 Minuten warten, damit sich die Messsensoren den Bodenbedingungen anpassen und somit genaue Ergebnisse ermittelt werden können. Die Messungen dauern nur wenige Sekunden, danach werden die Werte im Gerät abgespeichert und zusätzlich auf dem Protokoll mitgeführt.



*Abbildung 5: Messgerät zur Erfassung der Bodentemperatur und Bodenfeuchte  
(Quelle: LEITNER, 2016)*

### 3.2.4 Berechnung der Bruttoprimärproduktivität (GPP)

Die Bruttoprimärproduktivität (GPP) ist das Maß für die potentielle Produktivität eines Systems unter optimalen Bedingungen, oder anders ausgedrückt: das Kohlenstoffaufnahmevermögen eines Systems ohne durch Atmungsprozesse bedingte Verluste. Es setzt sich aus NEE, den Netto-Kohlenstoff-Austausch eines Ökosystems und  $R_{eco}$ , der Ökosystematmung, zusammen und wird wie folgt berechnet.

$$GPP = R_{eco} - NEE$$

Da NEE negative Werte aufweist und  $R_{eco}$  positive, werden in dieser Formel die Ergebnisse, nach den Regeln der Mathematik, in Folge addiert.



Weiters werden die Ergebnisse auf die Messungstage aufgeteilt und jeweils der Durchschnitt der einzelnen Parzellen ausgewertet. Die ausgewerteten Messungen werden in Folge auf die Behandlungen aufgeteilt, berechnet, grafisch dargestellt und die Unterschiede ermittelt. Diese Berechnungen werden pro Messungstag, im ganzen Jahr und in normalisierter Form grafisch dargestellt.

## **Messvorgang**

Für jede Messung gibt es ein eigenes Messprotokoll, wo Datum, Luftdruck, Grad der Wolkendecke in Prozent (0% = wolkenlos – 100% = stark bewölkt), Name des Durchführenden, Versuchsort und Temperatur, vor der eigentlichen Messung angegeben werden.

Die einzelnen Messungen wurden mit der jeweiligen Plot-Nummer (Parzellen-Nummer) und der angezeigten Uhrzeit nummeriert, um bei der Auswertung die Daten leichter zu finden. Parallel wird während der Messung mit den Kammern jeweils die photosynthetisch aktive Strahlung der Sonne mit einem Photometer (Apogee MQ-200) gemessen und mitgeschrieben. Auf ein horizontales Halten des Photometers beim Messen der Strahlen ist zu achten. Mit dieser Strahlung wird festgelegt, welche Art der Messung gerade durchgeführt wird. Eine Volllichtmessung wird mit dem Kürzel „NEE“ abgekürzt und sollte über 1500  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}$  Strahlung aufweisen, da die Photosynthese im Bestand dann gesättigt ist. Weitere Messungen sind die vier Abdunkelungsreihen (Beschattungsreihen), die mit SH1 bis SH4 abgekürzt werden. Um mit dem Photometer die jeweilige Strahlung messen zu können, wie sie in den Kammern bei den Beschattungsreihen herrscht, wird das Photometer ebenso wie die Kammer mit den Beschattungstüchern überdeckt. Die letzte Messung wird mit der Atmungskammer gemessen und im Messblatt mit  $R_{\text{eco}}$  (Ökosystematmung) eingetragen.

Bevor die Messung starten kann muss bei der NEE-Kammer der Gummistopfen auf der Oberseite geöffnet, sowie die Ventilatoren gestartet werden. Nach dem Lüften (Abbildung 5) wird zuerst die NEE-Kammer auf den Rahmen gesetzt. Dabei ist zu beachten, dass der Bestand nicht zwischen dem Gummirand der Kammer und dem Rahmen eingeklemmt wird. Die Kammer wird mit den Spanngurten auf beiden Seiten an einem Nagel festgespannt und der Gummistopfen an der Oberseite in das gebohrte Loch gesteckt um die Kammer vollständig zu schließen. Anschließend beobachtet man den  $\text{CO}_2$ -Gehalt auf dem

Vaisala Gerät. Wenn der Wert konsistent steigt, startet man die Messung. Zu langes Warten wird nicht empfohlen, da durch die Pflanzen Wasserdampf freigesetzt wird, was zu Kondenswasserbildung an der Kammer führen kann. Dieses könnte die Messung verfälschen. Auch sollte man keinen Schatten auf die NEE-Kammer werfen, da dieser auch Einfluss auf die gemessenen Werte nimmt. Während der Kammermessung misst man die Strahlung mit dem Photometer. Nach der einminütigen Messung wird der Gummistopfen entfernt, die Spanngurte gelöst, die Kammer vom Rahmen gehoben und belüftet. Nach dem Lüften kann eine neue Messung gestartet werden, wenn sich die H<sub>2</sub>O- und die CO<sub>2</sub>-Werte wieder im Normalbereich eingependelt haben. Jede Parzelle erfordert eine Volllichtmessung (NEE), vier Abdunkelungsreihen (SH1 bis SH4) und eine Atmungsmessung (R<sub>eco</sub>), um eine Lichtabhängigkeitskurve erstellen zu können.



*Abbildung 6: Lüften der NEE-Kammer vor jeder Messung  
(Quelle: LEITNER, 2016)*

Um jede einzelne Abdunkelungsreihe messen zu können, werden jeweils ein bis vier Beschattungstücher über die NEE-Kammer und das Photometer gelegt, sodass die gesamte Messfläche abgedeckt ist. Die Dunkelatmungsmessung bildet den letzten Punkt für die Lichtkurve. Durch ihre Lichtundurchlässigkeit erhält man eine Strahlung von 0  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ .

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Tagesmessungen

#### 4.1.1 Tagesmessungen 18.05.2016

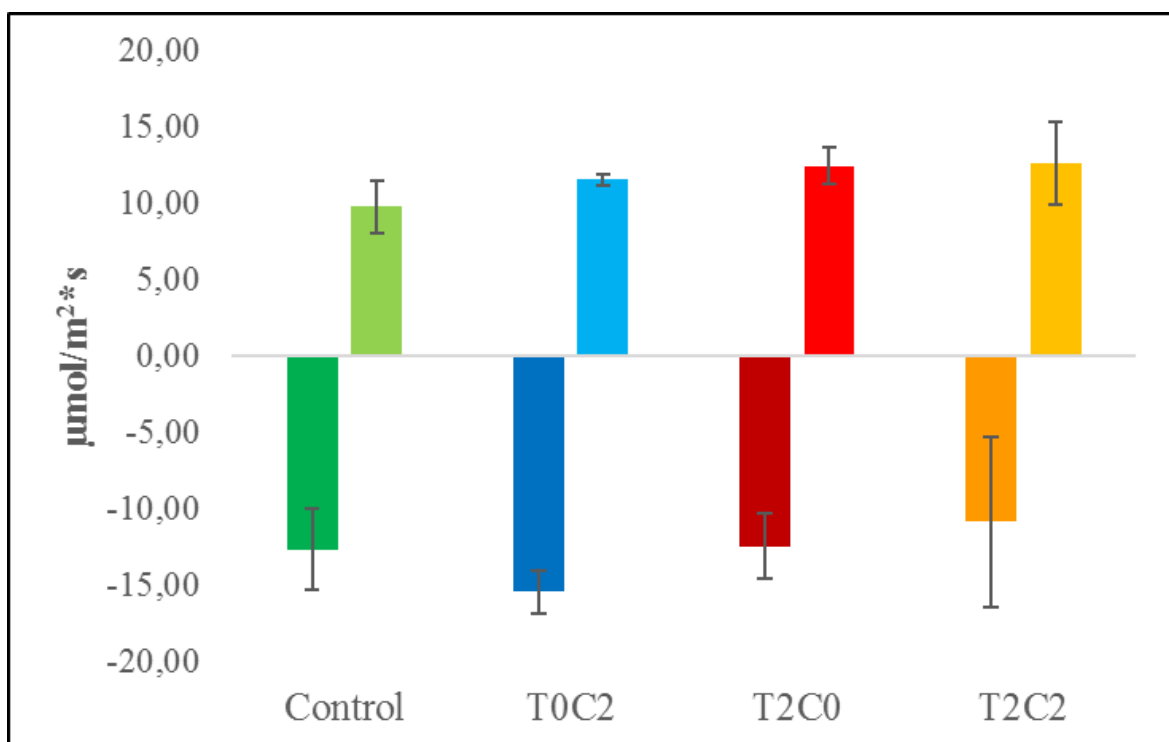


Abbildung 7:  $R_{eco}$  (positive Werte) und  $NEE$  (negative Werte) der Messungen vom 18.05.2016

Bezüglich der Messungen von  $R_{eco}$  und  $NEE$ , am 18.05.2016, kann von links nach rechts ein leichter Anstieg von  $R_{eco}$  mit zunehmender Behandlungs-Intensität beobachtet werden (Abbildung 7). Die höchsten  $R_{eco}$  Raten wurden an den kombinierten Parzellen T2C2 gemessen. An den  $NEE$  Messungen waren größere Unterschiede zu erkennen. Die höchsten  $NEE$  Raten wurden an den Parzellen mit einer Begasung von 300ppm (T0C2) gemessen. Die niedrigste  $NEE$  wurde an den kombinierten Parzellen (T2C2) gemessen. Die Kontrollen und die erwärmten Flächen lagen aufgrund ihrer Werte im Mittelfeld zwischen den beiden begasten Behandlungen.

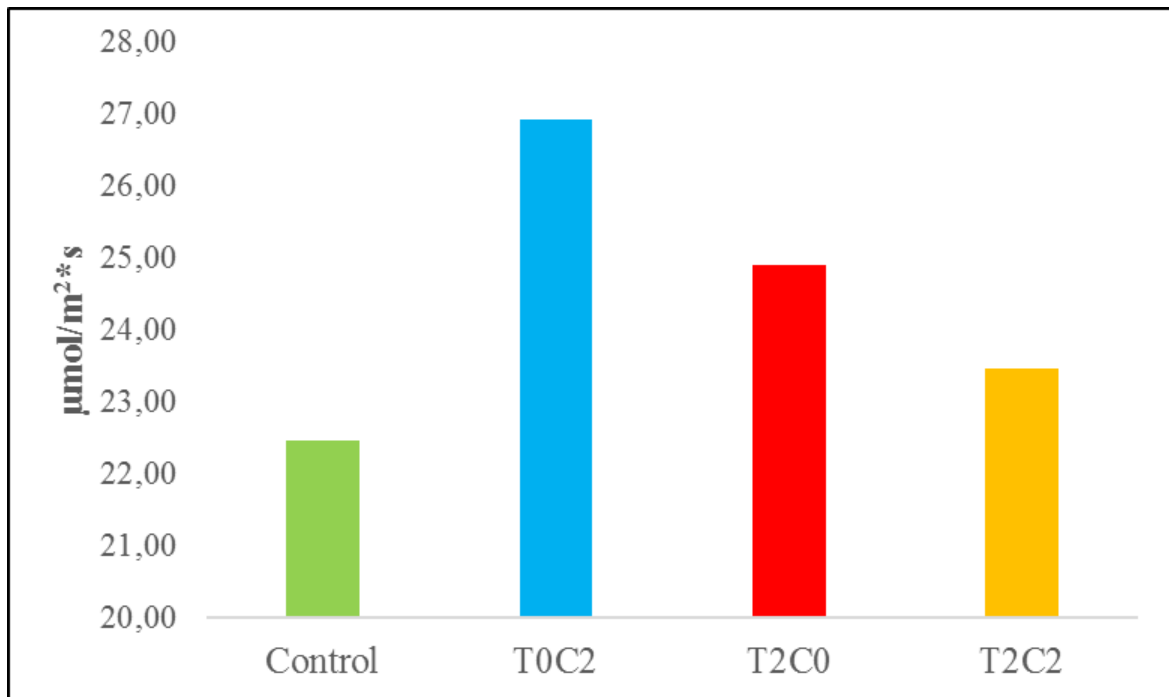


Abbildung 8: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 18.05.2016

Die Bruttoprimärproduktivität war am 18.5.2016 auf den Kontrollflächen mit 22,46  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  am geringsten (Abbildung 8). Darauf folgten die kombinierten Parzellen mit 23,47  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  und die mit +3°C erwärmten Parzellen mit 24,91  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ . Die höchste GPP ergab sich aus den 300ppm Parzellen mit 26,92  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .

#### 4.1.1.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle

##### NEE

Der Wert der Kontrollflächen wird hier als 100% gesehen. Die größten Abweichungen ergaben sich aus den kombinierten Parzellen mit +21% und den kombinierten Parzellen mit -14,4%. Die niedrigste Abweichung ergab sich aus den beheizten Parzellen mit -1,8%.

##### GPP

Die größte Abweichung von den Kontrollflächen ergab sich aus den begasten Parzellen mit +19,8%, gefolgt von den beheizten Parzellen mit +10,9% und zum Schluss die kombinierten Parzellen mit +4,5%. Im Vergleich zu den einzelnen Messungen sind die Unterschiede in den Bruttoprimärproduktivitätsmessungen zwischen den Behandlungen kleiner.

## 4.1.2 Tagesmessungen 22.06.2016

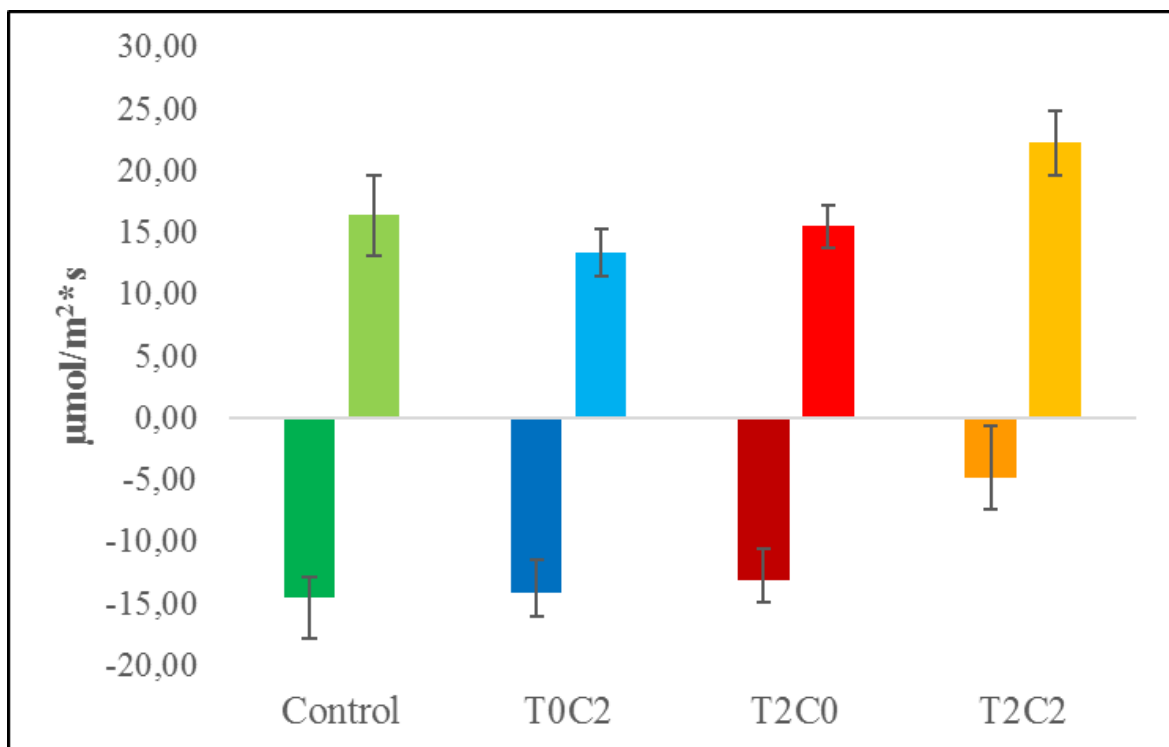


Abbildung 9:  $R_{\text{eco}}$  (positive Werte) und NEE (negative Werte) der Messungen vom 22.06.2016

An den Messungen von  $R_{\text{eco}}$ , vom 22.06.2016 (Abbildung 9), war zu sehen, dass die höchsten Atmungsraten auf den kombinierten Parzellen T2C2 gemessen wurden. Die begasten Parzellen T0C2 wiesen die niedrigsten Raten auf. Die Kontrollflächen und erwärmten Flächen befanden sich bezüglich der Ökosystematmung somit im Mittelfeld der begasten und kombinierten Parzellen. Die Messungen von NEE zeigten im Gegensatz zu den Messungen von  $R_{\text{eco}}$  kaum Unterschiede zwischen den ersten Behandlungen. Die höchsten NEE Raten waren an den Kontrollflächen, eng gefolgt von den begasten und beheizten Parzellen, zu sehen. Die geringsten Raten ergaben sich an den kombinierten Parzellen mit knapp einem Drittel der Kontrollflächen.

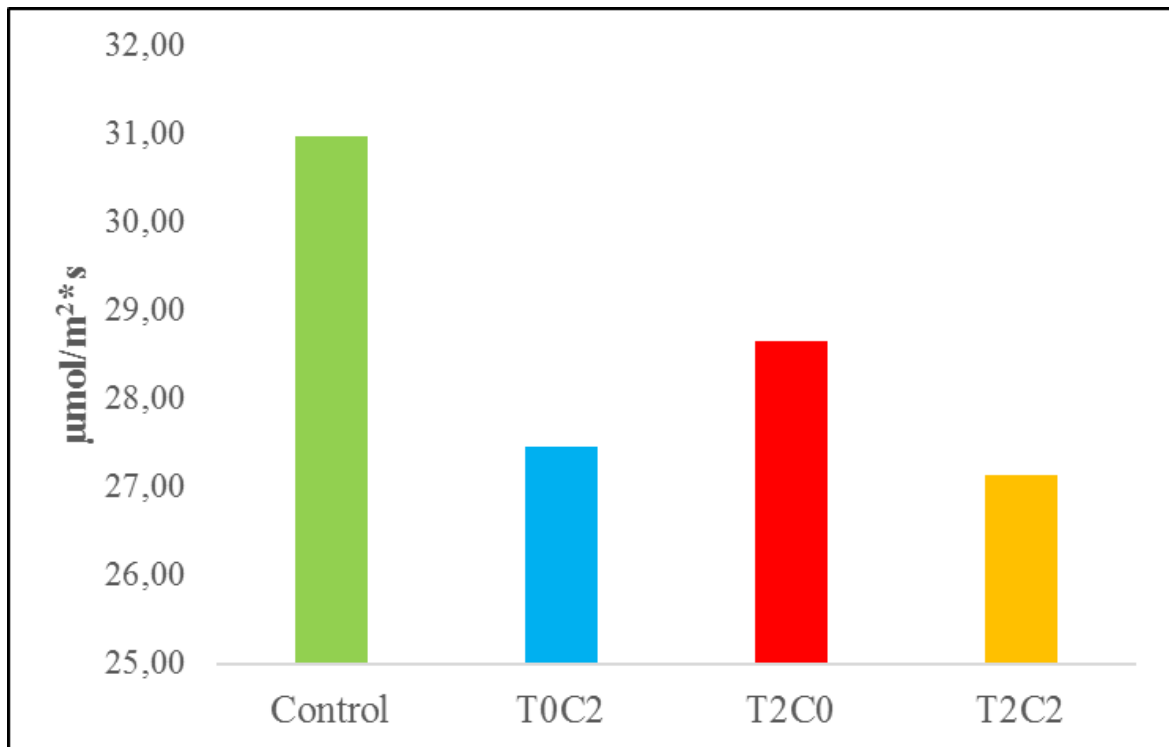


Abbildung 10: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 22.06.2016

Bei der Bruttoprimärproduktivität, am 22.06.2016 (Abbildung 10), ergaben sich die höchsten Messungen an den Kontrollflächen mit  $30,97 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Mit einem größeren Unterschied gefolgt von den mit  $+3^\circ\text{C}$  beheizten Parzellen T2C0 mit  $28,66 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  und den 300ppm begasten Parzellen T0C2 mit  $27,46 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Am niedrigsten, wie bei den NEE Messungen (in Abbildung 9), waren die Messungen bei den kombinierten Parzellen mit  $27,13 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ .

#### 4.1.2.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle

##### NEE

Die größten Abweichungen von den Kontrollflächen (100%) ergaben sich aus den kombinierten Parzellen mit -66,5%. Mit größerem Unterschied folgen die beheizten Parzellen mit -9,7% und die begasten Parzellen mit -3,2%.

##### GPP

Die niedrigste Abweichung mit -7,5% stammte von den beheizten Parzellen. Die größte Abweichung ergab sich aus den kombinierten Parzellen mit -12,4%. Den Mittelpunkt bildeten die begasten Parzellen mit -11,3%.

## 4.1.3 Tagesmessungen 23.06.2016

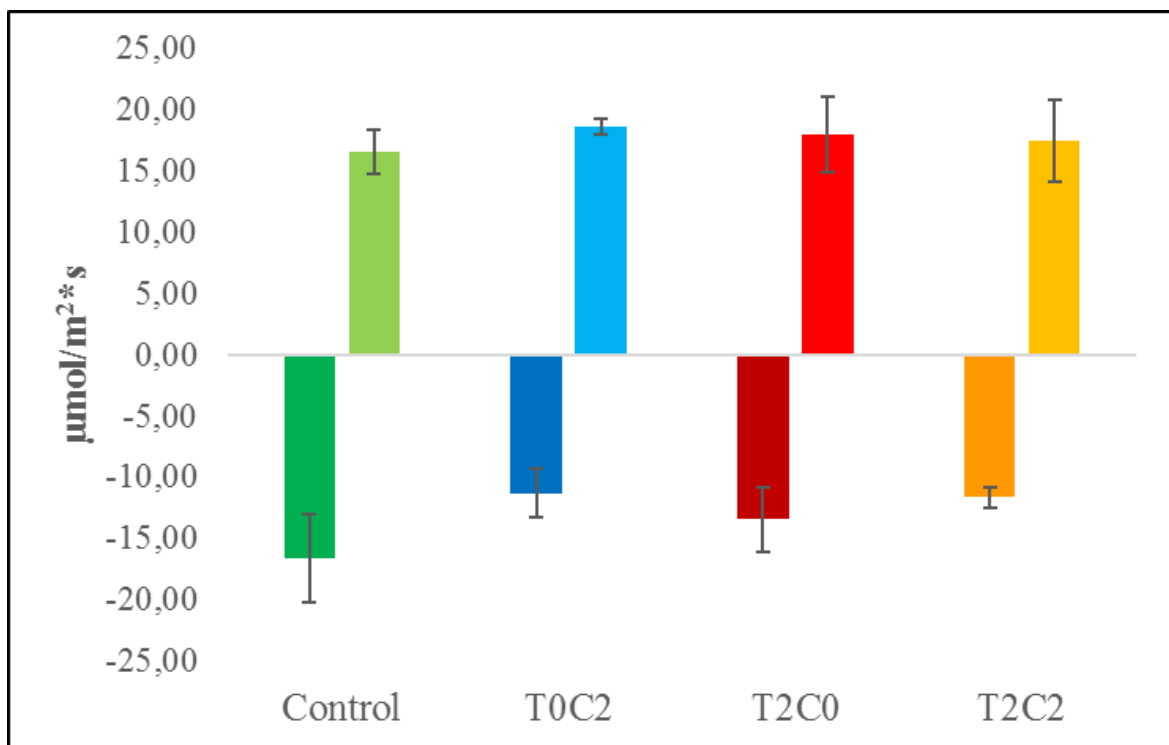


Abbildung 11:  $R_{eco}$  (positive Werte) und  $NEE$  (negative Werte) der Messungen vom 23.06.2016

Die Messungen von  $R_{eco}$ , vom 23.06.2016, wiesen kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen auf (Abbildung 11). Die höchsten Raten ergaben sich aus den begasteten Parzellen T0C2, dicht gefolgt von den beheizten und kombinierten Parzellen. Letzteres folgten die Kontrollflächen mit den niedrigsten Raten.

Die Messungen von  $NEE$  verliefen mit etwas größeren Unterschieden im Gegensatz zu den  $R_{eco}$  Messungen (Abbildung 11). Im Vergleich zu den  $R_{eco}$  Raten waren hier die Raten der Kontrollflächen am höchsten. Die geringsten Raten ergaben sich aus den Messungen der begasteten Parzellen. Die kombinierten und beheizten Parzellen befanden sich im Mittelfeld der beiden Behandlungen.

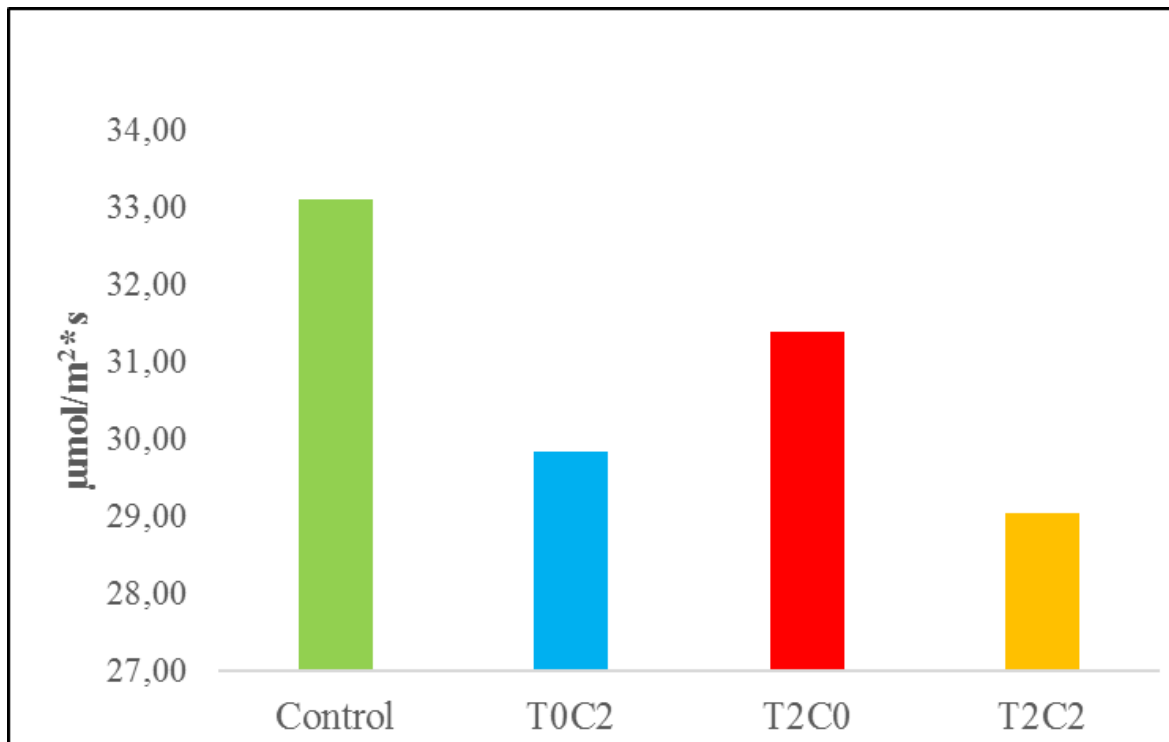


Abbildung 12: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 23.06.2016

Bei den Bruttoprimärproduktivitätsmessungen, vom 23.06.2016, wiesen die höchsten Messungen die Kontrollflächen mit  $31,67 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  auf (Abbildung 12). Im Mittelfeld befanden sich die beheizten Parzellen T2C0 mit  $31,38 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  und die begasten Parzellen T0C2 mit  $29,83 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Die niedrigsten Messungen ergaben sich aus den kombinierten Parzellen mit  $29,04 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ .

#### 4.1.3.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle

##### NEE

Es wird mit 100% der Kontrollflächen ausgegangen. Die größte Abweichung ergab sich aus den begasten Parzellen mit -25,6%, gefolgt von den kombinierten Parzellen mit -23,5%. Die kleinste Abweichung ergab sich aus den beheizten Parzellen mit -11,6%.

##### GPP

Die Höhe der Abweichungen war, im Gegensatz zu den Abweichungen in Bezug auf die NEE Messungen, wesentlich kleiner. Die größte Abweichung ergab sich hier aus den kombinierten Parzellen mit -8,3%. Die kleinste Abweichung kam von den beheizten Parzellen mit -0,9% und den Mittelpunkt bildeten die begasten Parzellen mit -5,8%.



## 4.1.4 Tagesmessungen 19.07.2016

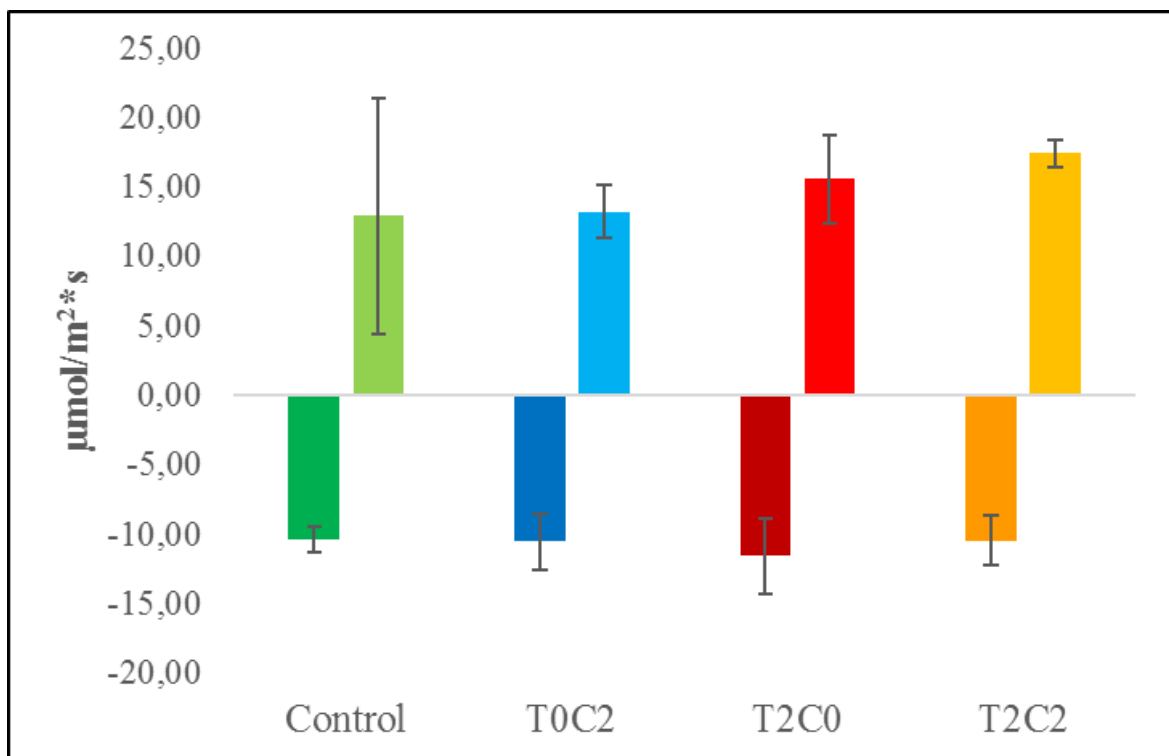


Abbildung 13:  $R_{eco}$  (positive Werte) und  $NEE$  (negative Werte) der Messungen vom 19.07.2016

An den Messungen von  $R_{eco}$ , vom 19.07.2016 (Abbildung 13), ergaben sich folgende Ergebnisse der Messungen. Die  $R_{eco}$  Flussraten erfolgten, wie am 18.5.2016 (Abbildung 7), von links nach rechts ansteigend. Somit ergaben sich die niedrigsten Raten aus den Kontrollflächen. Anschließend die beheizten und begasten Parzellen. Die höchsten Raten ergaben sich aus den kombinierten Parzellen.

Kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen kann man an den  $NEE$  Messungen, vom 19.07.2016, erkennen. Die höchsten Flussraten stammten von den beheizten Parzellen, gefolgt von den begasten und kombinierten Parzellen. Die niedrigsten Raten ergaben sich aus den Kontrollflächen.

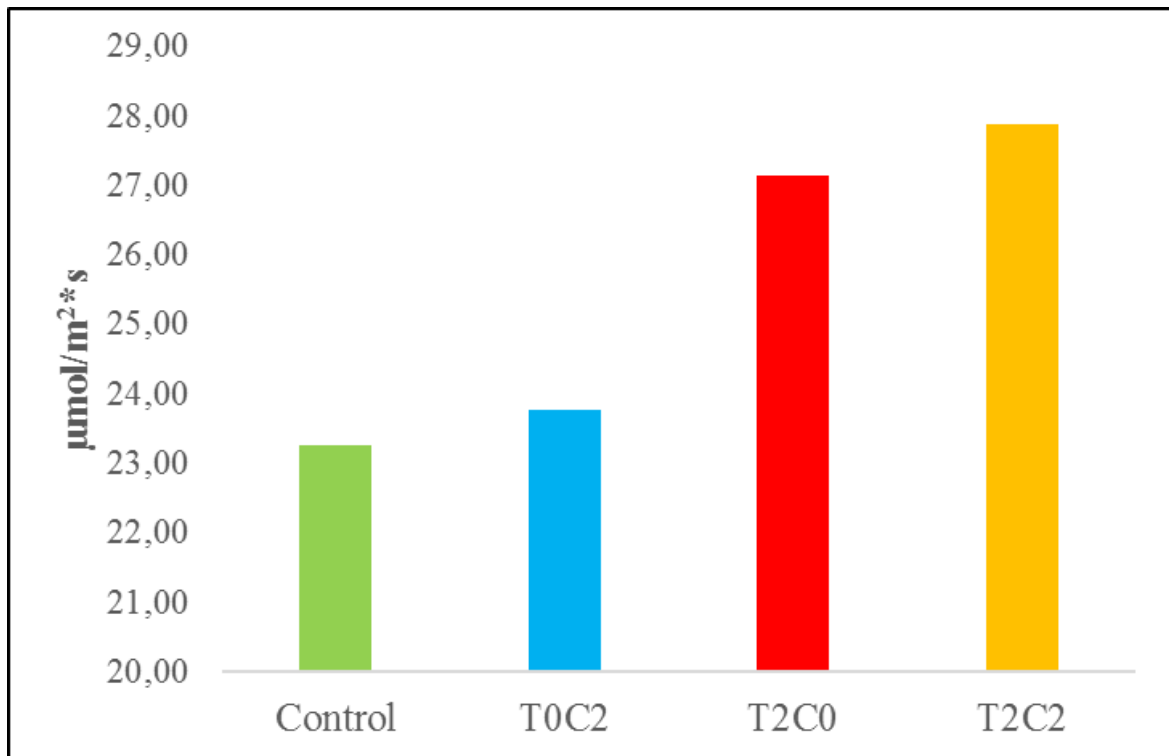


Abbildung 14: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 19.07.2016

Wie in Abbildung 13, bei den Messungen von  $R_{eco}$ , verlaufen auch hier die Messungen der Bruttoprimärproduktivität von links nach rechts aufsteigend. Beginnend mit den Kontrollflächen mit  $23,26 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , gefolgt von den 300ppm begasten Parzellen mit  $23,77 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  und den  $+3^\circ\text{C}$  beheizten Parzellen mit  $27,13 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Die höchsten Atmungsraten wurden auf den kombinierten Parzellen mit  $27,87 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  gemessen (Abbildung 14).

#### 4.1.4.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle

##### NEE

Die größte Abweichung zu den Kontrollflächen stammte von den beheizten Parzellen mit  $+11,6\%$ . Die kleineren Abweichungen stammten von den begasten Parzellen mit  $+1,8\%$  und die kleinste von den kombinierten Parzellen mit  $+0,9\%$ .

## GPP

Auch hier befanden sich alle Abweichungen oberhalb der Kontrollflächen. Die kleinste Abweichung ergab sich aus den begasten Parzellen mit +2,2%, die größte Abweichung ergab sich aus den kombinierten Parzellen mit +19,8%, nahe gefolgt von den beheizten Parzellen mit +16,6%.

### 4.1.5 Tagesmessungen 26.08.2016

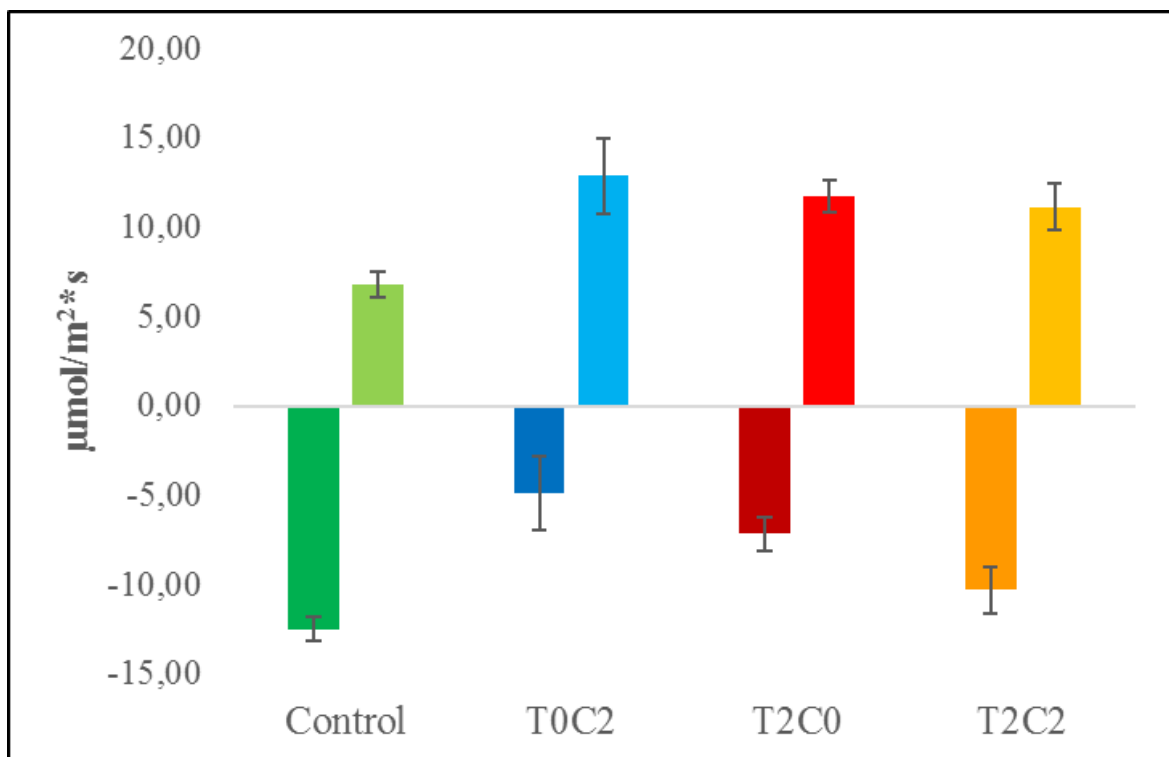


Abbildung 15:  $R_{eco}$  (positive Werte) und  $NEE$  (negative Werte) der Messungen vom 26.08.2016

Am 26.08.2016 waren bezüglich  $R_{eco}$  nur geringe Unterschiede zwischen den klimabehandelten Flächen feststellbar, jedoch wiesen die Klimabehandlungen durchwegs höhere Atmungsraten auf als die Kontrollflächen (Abbildung 15). Die im Vergleich zu den Kontrollen höchsten Raten ergaben sich auf den begasten Parzellen T0C2, streng gefolgt von den beheizten T2C0 und den kombinierten Parzellen T2C2.

Das komplette Gegenteil der Messungen wird in den  $NEE$  Messungen widergespiegelt. Hier wurden die höchsten Raten an den Kontrollflächen gemessen und die niedrigsten Raten ergaben sich aus den begasten Parzellen T0C2. An zweiter und dritter Stelle befanden

sich, wie bei den Messungen von  $R_{eco}$ , die beheizten Parzellen T2C0 und kombinierten Parzellen T2C2.

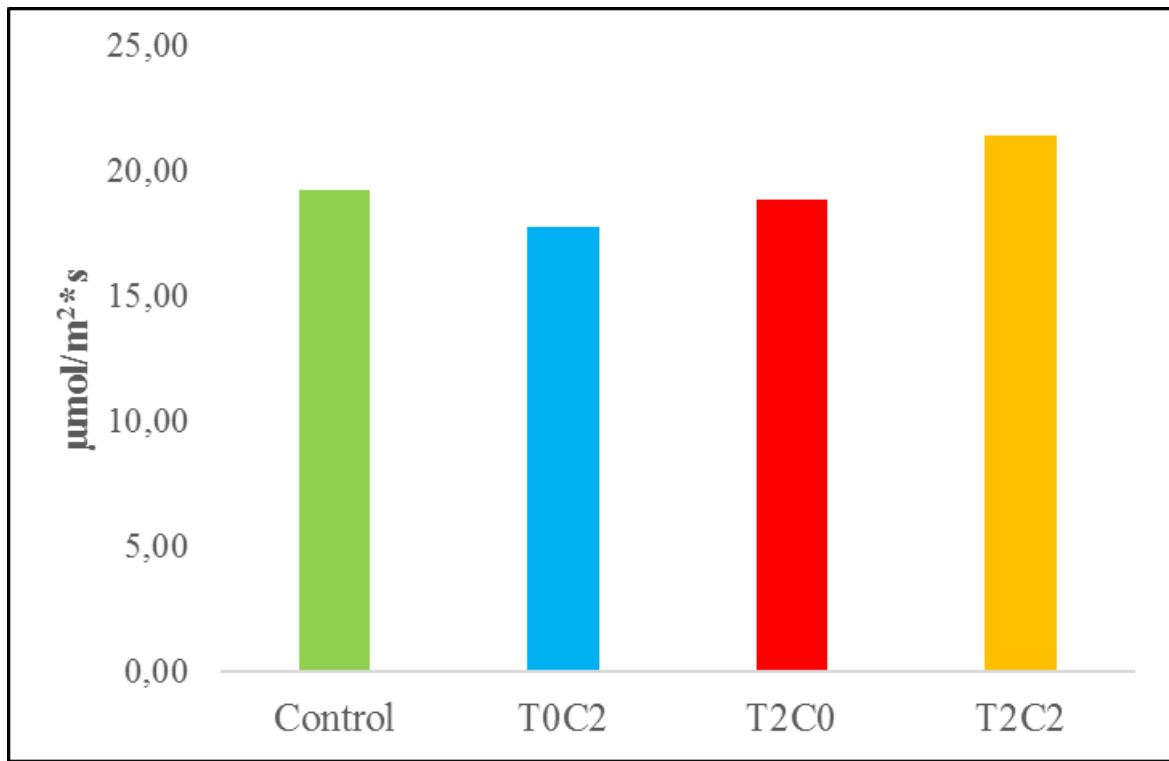


Abbildung 16: Bruttoprimärproduktivität der Messungen vom 26.08.2016

Die Bruttoprimärproduktivitätsmessungen befand sich zwischen  $\sim 16$  und  $23 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Die höchste Produktivität wurde für die kombinierten Parzellen T2C2 errechnet, mit Werten von  $21,44 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  (Abbildung 16). Darauf folgten die Kontrollflächen mit  $19,29 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  und die mit  $+3^\circ\text{C}$  beheizten Parzellen mit  $18,88 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . Der niedrigste Wert ergab sich aus den mit  $300\text{ppm}$  begasten Parzellen mit  $17,78 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ .

#### 4.1.5.1 Abweichung NEE und GPP zur Kontrolle

##### NEE

Die größten Abweichungen von den Kontrollflächen, von denen mit  $100\%$  ausgegangen wurde, ergaben sich aus den begasten Parzellen mit  $-60,9\%$ . Dahinter folgten die beheizten Parzellen mit  $-42,7\%$ . Die kleinsten Abweichungen stammten aus den kombinierten Parzellen mit  $-17,4\%$ .

## GPP

Die Werte wiesen im Gegensatz zur NEE kleinere Abweichungen auf. Die größte Abweichung, und oberhalb der Kontrollflächen, kam von den kombinierten Parzellen mit +11,1%. Die kleinste Abweichung ergab sich aus den beheizten Parzellen mit -2,1%. Den Mittelpunkt bildeten die begasten Parzellen mit -7,8%

## 4.2 Saisonverlauf

### 4.2.1 Saisonverlauf NEE

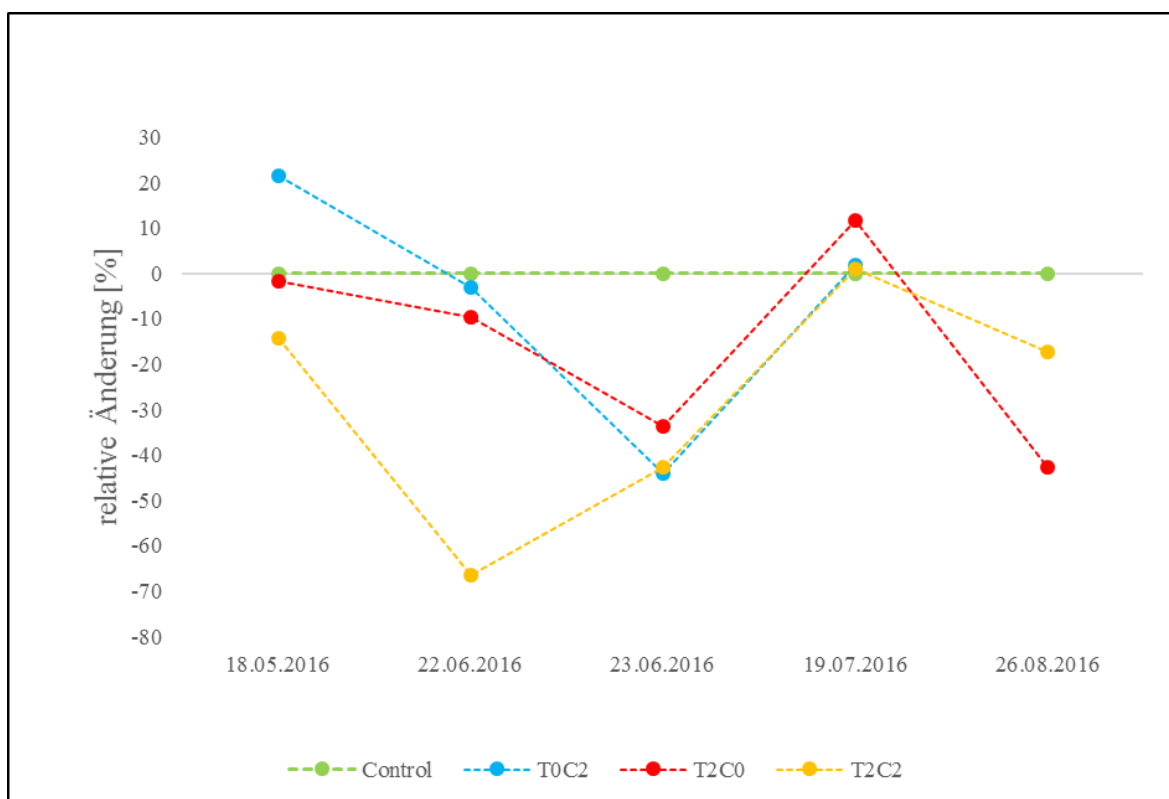


Abbildung 17: Netto-Kohlenstoff-Austausch der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (C0T0)

Zu Beginn der Messungen, am 18.05.2016, befanden sich alle NEE Messungen, außer der begasten Parzellen, der Behandlungen im negativen Bereich (Abbildung 17), wiesen also geringere NEE auf als die Kontrollen. Die größte Abweichung auf die Kontrollflächen wiesen die begasten Parzellen mit +21,42% relativer Änderung auf. Die Abweichungen sanken bis zum 23.06.2016 noch weiter. Wobei die Messungen der kombinierten Parzellen ihr Minimum am 22.06.2016 mit -66,5% relativer Änderung erreichten und am 23.06.2016 wieder leicht anstiegen. Am 19.07.2016 gelangten alle Behandlungen in den positiven Be-

reich, wobei die Abweichungen der kombinierten (T2C2) und begasten (T0C2) Parzellen auf eine ähnliche Abweichung kamen.

Am 26.08.2016 lag der Netto-Kohlenstoff-Austausch aller Behandlungen unter dem der Kontrollen, wo die begasten Parzellen die größte Abweichung mit -60,86% relativer Änderung aufwiesen.

#### 4.2.2 Saisonverlauf $R_{eco}$

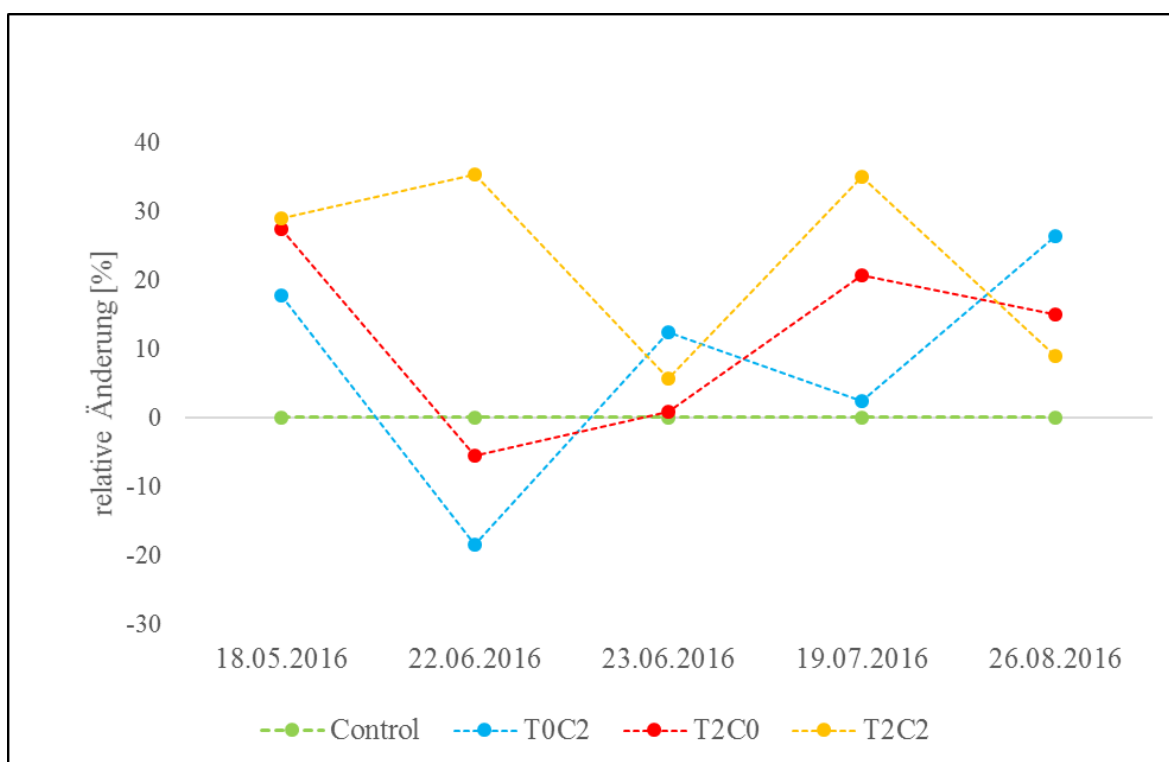


Abbildung 18: Ökosystematmung der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (COT0)

Zu Beginn der Messsaison, am 18.05.2016, wiesen alle Klimabehandlungen eine höhere  $R_{eco}$  als die Kontrollen auf (Abbildung 18). Am 22.06.2016 waren die Atmungsraten auf den begasten und beheizten Parzellen im Verhältnis zu den Kontrollen geringer. Am 23.06.2016 stiegen sie wieder über die der Kontrollen an, jedoch die beheizten Parzellen mit nur knapp +0,87% relativer Änderungsrate. Am 26.08.2016 erreichten sie eine Atmungsrate zwischen +9% und +27%. Die höchste Abweichung erreichten die kombinierten Parzellen am 22.06.2016 mit +35,39% relativer Änderung, wobei wiederum die begasten Parzellen das Minimum mit -18,53% relativer Änderung ebenfalls am 22.06.2016 aufwiesen.

## 4.2.3 Saisonverlauf GPP

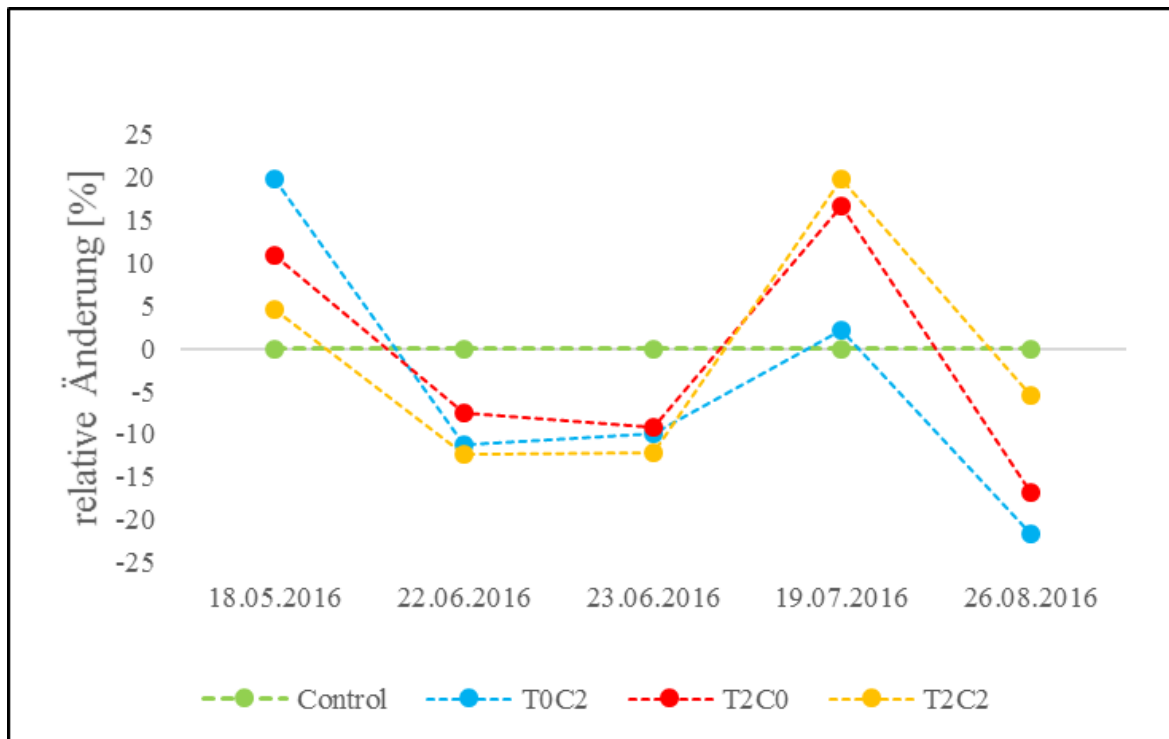


Abbildung 19: Bruttoprimärproduktivität (GPP) der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen (COT0)

Ab der ersten Berechnung der GPP-Werte lagen diese im positiven Bereich über den Kontrollen (Abbildung 19). Die Werte sanken jedoch am 22.06. und 23.06.2016 ab und stiegen am 19.07.2016 zurück in den positiven Bereich, wo die kombinierten Parzellen die größte Abweichung mit +19,81% relativer Änderung aufwiesen, welcher auch das Maximum aller 5 Messungstage ist. Am 26.08.2016 sank die GPP auf allen Behandlungen unter die Kontrolle. Die niedrigste GPP der Messsaison zeigten die begasten Parzellen mit -21,64% relativer Änderung am 26.08.2016.

## 4.2.4 Saisonverlauf GPP nach Behandlungen

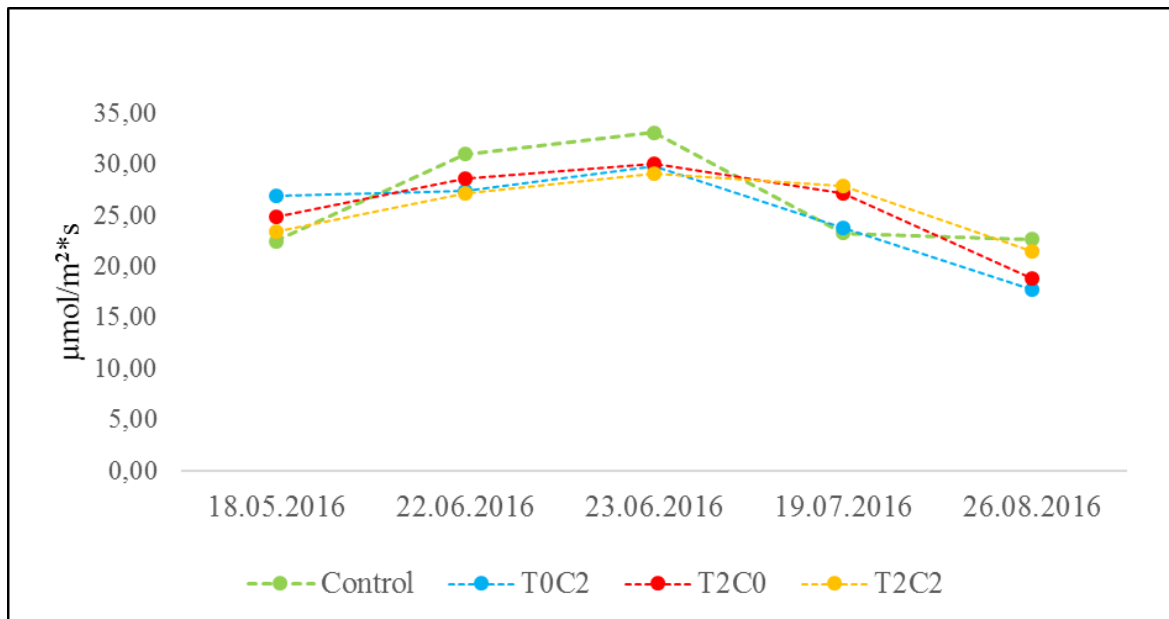


Abbildung 20: Bruttoprimärproduktivität (GPP) der Klimamanipulationen aller Behandlungen

Zu Beginn, am 18.05.2016, befanden sich alle Parzellen zwischen 22,5 und 17  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ . Bis zum 23.06.2016 stiegen alle leicht an (Abbildung 20). Den größten Unterschied zeigten uns die Kontrollflächen von 22,46  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  auf 33,10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ . Am 26.08.2016 sind die Werte der klimabehandelten Parzellen wieder gesunken. Die Kontrollflächen wiederum sanken stark vom 23.06.2016 bis 19.07.2016 auf 23,26  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  und weiter leicht auf 22,69  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  ab. Das Maximum erreichten in dieser Saison die Kontrollflächen mit 30,10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  und das Minimum die begasten Parzellen mit 17,78  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .



#### 4.2.5 Saisonmittelwert GPP nach Klimabehandlungen

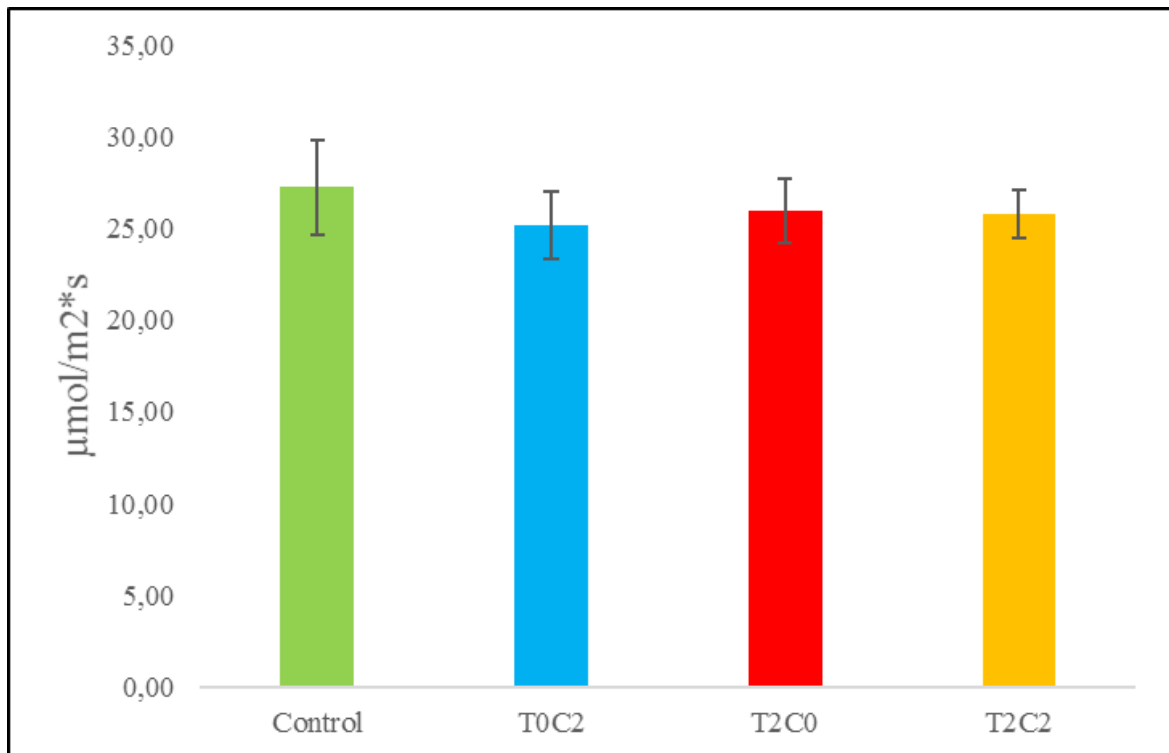


Abbildung 21: Saisonale Darstellung der mittleren Bruttopräproduktivität inklusive Standardabweichungen

Die mittlere Bruttopräproduktivität der Messungen aus 2016 zeigte eine Verminderung der einzelnen Behandlungen gegenüber der Kontrollen, welche somit die höchste GPP von  $27,22 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  aufwies. Die geringste GPP der Klimabehandlungen wiesen die begasten Parzellen mit  $25,15 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  auf und die höchste die beheizten Parzellen mit  $25,93 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .

Im Mittelfeld zwischen den Kontrollen mit  $27,22 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  und den mit 300ppm begasten Parzellen mit  $25,15 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  lagen damit die mit  $+3^\circ\text{C}$  beheizten Parzellen mit  $25,93 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ , und die kombinierten Parzellen mit  $25,79 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .

Daraus ergaben sich Abweichungen der Behandlungen zu den Kontrollflächen mit  $-0,05\%$  der beheizten Parzellen,  $-0,08\%$  der begasten und  $-0,05\%$  der kombinierten Parzellen.

#### 4.2.6 Saisonverlauf der Tagesmittelwerte für Bodentemperatur und Bodenfeuchte

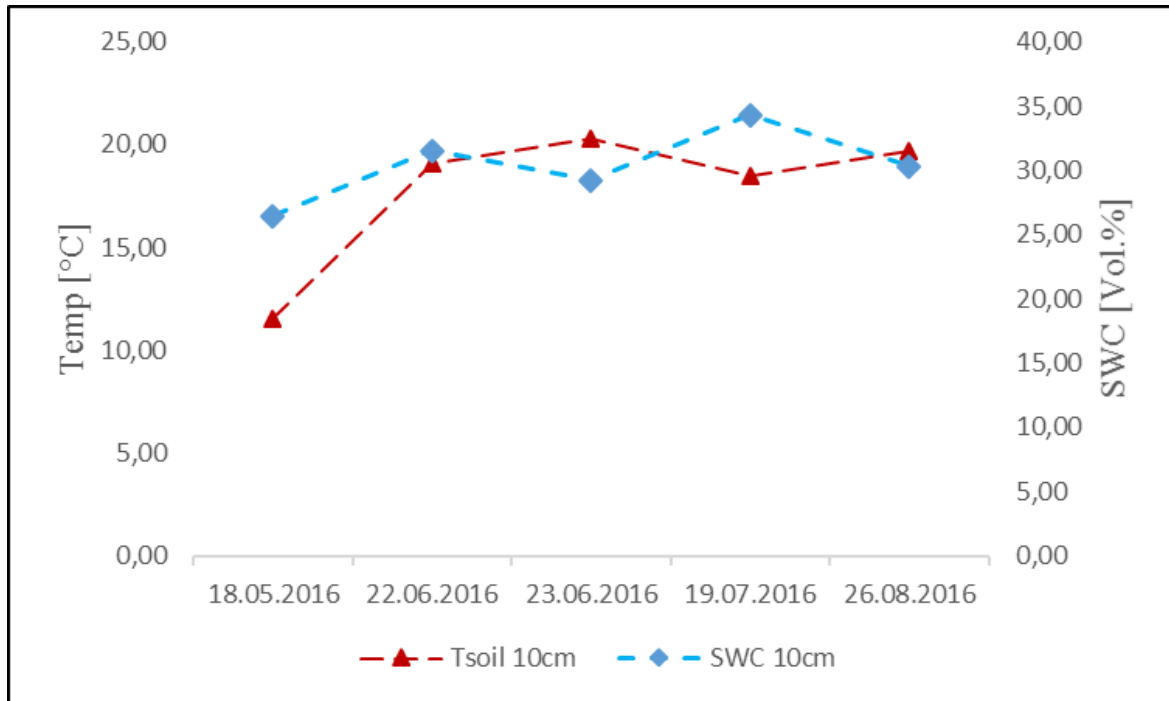


Abbildung 22: Saisonverlauf der Bodentemperatur und Bodenfeuchte

Zu Beginn, am 18.05.2016, waren die Werte am niedrigsten. Die Bodentemperatur mit 11,50°C und die Bodenfeuchte mit 26,44 Vol.%. Beide stiegen bis am 22.06.2016 an, jedoch sank die Bodenfeuchte auf 29,20 Vol.% ab, während die Bodentemperatur auf 20,30°C weiter anstieg. Am 19.07.2016 machten die beiden kehrt und die Bodenfeuchte stieg auf 34,30 Vol.% an, während die Bodentemperatur auf 18,44°C absank. Am letzten Tag stieg die Bodentemperatur wieder auf 19,65°C und die Bodenfeuchte sank auf 30,33 Vol.% ab, wobei hier der Unterschied der beiden Werten nur gering ist im Gegensatz zum ersten Tag.

## 4.3 Diskussion

### 4.3.1 NEE

- Wie verhält sich die Produktivitätskomponente Netto-Kohlenstoff-Austausch unter Klimawandelbedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt?

Die in der Einleitung dieser Arbeit aufgeworfenen Fragestellung, wie sich die Produktivitätskomponente NEE unter Klimawandelbedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt verändert, kann nach Durchsicht der Ergebnisse folgendermaßen beantwortet werden:

Im Vergleich zu den Klimabehandlungen zeigten die Kontrollflächen an drei von fünf Messterminen die höchsten Netto-Kohlenstoff-Aufnahmeraten unter Volllichtbedingungen. Die kombinierten Flächen erlitten die stärksten Einschränkungen (im Schnitt bei -28% bei T2C2), gefolgt von den begasteten Flächen (-17%) und dem erwärmten Flächen T2C0 (-15,26%) (Tabelle 1). Trotz all dem zeigte sich hohe Variabilität zwischen den Messterminen, mit einer zeitweiligen Umkehr der Effekte (T0C2) am 18.05.2016, T2C0 am 19.07.2016) (Abbildung 17). Die gemessenen Effekte zeigten also den Trend zu geringerer NEE durch erhöhtes CO<sub>2</sub>, erhöhte Temperatur und deren Kombination, waren aber nicht konsistent und können durch bekannte Klimavariablen wie Bodentemperatur und -feuchte nur zum Teil erklärt werden. So führt zum Beispiel erhöhte Bodentemperatur zur Erhöhung der Bodenatmung (BAHN et al., 2010), was sich auf die Netto-Kohlenstoff-Aufnahme des untersuchten Ökosystems auswirkt. Mit Ausnahme der Messung vom 22.06.2016 kann die geringere NEE auf klimabehandelte Flächen auf die Erhöhung der Ökosystematmung ( $R_{eco}$ ) zurückgeführt werden, welche von bis zu über 50% von Boden-CO<sub>2</sub> Emissionen beeinflusst ist (BOECK et al., 2007). Durch die Erhöhung der Bodentemperatur steigt die Stoffwechselaktivität der Bodenmikroorganismen (Bakterien, Pilze), was zu verstärkter CO<sub>2</sub>-Produktion und Freisetzung führt (KUZJAKOV, 2006).

### 4.3.2 $R_{eco}$

Die zweite aufgeworfene Kernfrage, wie sich die Produktivitätskomponente Ökosystematmung unter Klimawandelbedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt verhält, wird wie folgt beantwortet:

Im Saisonmittel wiesen die Kontrollflächen die geringsten Atmungsraten auf (T2C2: +22,81%, T2C0: +11,67%, T0C2: +8,11%) und wurden nur am Messungstag vom 22.06.2016 von den Behandlungen T2C0 (-5,47%) und T0C2 (-18,53%) unterboten (Tabelle 1). Die Gesamtatmung des Ökosystems wird maßgeblich von der Bodenatmung beeinflusst, welche sehr stark von der Bodentemperatur abhängt (SCHMITT et al., 2010; LUO et al., 2001). Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen diesen Effekt, dass auf den erwärmten Parzellen (T2C0 und T2C2) höhere Atmungsraten gemessen wurden. Die Steigerung der  $R_{eco}$  durch atmosphärischen  $CO_2$  Konzentrationen wurde schon zuvor in Begasungsexperimenten nachgewiesen und in der Fachliteratur beschrieben (RUSTAD, 2008; DIELEMAN et al., 2012), was die hohe  $R_{eco}$  auf T0C2 und T2C2 erklärt. Einer der dafür verantwortlichen Prozesse könnte zum Beispiel der sogenannte „Rhizosphären-Priming-Effekt“ sein. Dabei werden vom Pflanzenbestand aktiv Assimilate über die Wurzeln an die in der Rhizosphäre ansässigen Mikroorganismen abgegeben. Durch diesen Effekt verbessern sich die Stoffwechselbedingungen und wiederum die Freigabe wichtiger organischer mineralisierter Kohlenstoffe für die Pflanzen (KUZYAKOV, 2010; CHENG et al., 2014).

Die durch Priming erhöhte Stoffwechselaktivität führt wiederum zu erhöhter  $CO_2$  Produktion und Freisetzung aus dem Boden. Aufgrund der Messmethodik kann eine Verschiebung der Quellenverhältnisse (Bodenatmung/pflanzliche Atmung; autotroph/heterotroph) nicht genau quantifiziert werden. Das Verhältnis von pflanzlicher- zu Bodenatmung kann zwar durch die Differenz zwischen NEE und  $R_{eco}$  abgeschätzt werden, jedoch müssten zur genauen Analyse der Quellen Bodenatmungsdaten analog zu den untersuchten Parzellen vorliegen. Das Verhältnis zwischen autotropher und heterotropher Komponente würde zusätzlich zu den Bodenatmungsdaten noch zusätzliche Messungen der Bodenatmung auf sogenannten „Deep Collars“ erfordern, in welchen die Komponente Wurzelatmung (=autotrophe Komponente) methodisch ausgeschlossen wird. Aufgrund dieser Lücke im vorliegenden Datensatz kann leider keine quantitative Aussage zu den oben erwähnten Verhältnissen gemacht werden.

### 4.3.3 GPP

Im Saisonmittel war die GPP bei allen Behandlungen fast identisch, wobei die Kontrolle tendenziell leicht höher ist als die Klimabehandlungen. Die GPP stellt die Summe aus NEE und  $R_{\text{eco}}$  dar, wodurch sich die Unterschiede der NEE und  $R_{\text{eco}}$  in der vorliegenden Untersuchung auf allen Behandlungen ausgleicht und die GPP, welche ein Maß ist für die Produktivität eines Systems (Kohlenstoffaufnahme ohne durch Atmungsprozesse bedingte Verluste), im Saisonmittel nicht mehr unterscheidet. Jedoch wurde an drei von fünf Messterminen eine Reduktion der GPP in allen Klimabehandlungen festgestellt (-5,52% bis -21,64%), an zwei Terminen eine Erhöhung der GPP auf klimabehandelten Flächen (+2,18% bis +19,85%) (Tabelle 1). Eine Erhöhung der GPP durch Temperaturerhöhung, wie in der Fragestellung behandelt, konnte durch die vorliegenden Daten nicht belegt werden. Der Grund dafür dürfte der sein, dass durch Erwärmung die Atmungskomponenten im Ökosystem steigen, die Kohlenstoffaufnahme dadurch jedoch nicht gesteigert wird. Selbiges gilt für Erhöhung der atmosphärischen  $\text{CO}_2$  Konzentration. Würde  $\text{CO}_2$ -Erhöhung neben höherer  $R_{\text{eco}}$  auch zu höherem NEE führen, würde auch die GPP steigen. Da NEE jedoch in dem Maß verringert wird, in dem  $R_{\text{eco}}$  ansteigt, hebt die Verschiebung der Einzelkomponenten die beobachteten Effekte bei der Berechnung der GPP, zumindest im Saisonmittel, wieder auf.

		18.05.2016	22.06.2016	23.06.2016	19.07.2016	26.08.2016	Mittelwert
NEE	<b>TOC0</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOC2</b>	21,42	-3,21	-44,22	1,84	-60,86	-17,01
	<b>T2C0</b>	-1,77	-9,73	-33,68	11,63	-42,74	-15,26
	<b>T2C2</b>	-14,41	-66,50	-42,61	0,89	-17,39	-28,01
Reco	<b>TOC0</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOC2</b>	17,80	-18,53	12,45	2,45	26,37	8,11
	<b>T2C0</b>	27,30	-5,47	0,87	20,62	15,03	11,67
	<b>T2C2</b>	28,99	35,39	5,67	34,98	9,04	22,81
GPP	<b>TOC0</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOC2</b>	19,85	-11,34	-9,87	2,18	-21,64	-4,17
	<b>T2C0</b>	10,88	-7,47	-9,19	16,62	-16,76	-1,19
	<b>T2C2</b>	4,47	-12,40	-12,27	19,81	-5,51	-1,18

Tabelle 1: Werte der Klimamanipulationen normalisiert auf die Kontrollflächen

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Da die Klimabehandlungen auf der Versuchsfläche im Jahr 2014 gestartet, und auf ähnlichen Langzeitversuchen und Anpassungszeiträumen von bis zu vier Jahren beobachtet wurden (z.B. FACE2FACE Gießen-Geisenheim), kann nicht ausgeschlossen werden, dass die gefundenen Inkonsistenzen der Behandlungseffekte auf NEE und  $R_{eco}$  für die einzelnen Messtermine auf Übergangseffekte in der Anpassungsdynamik des Systems zurückzuführen sind. Laut Herrn Reinthaler haben Auswertungen der Messungen im Folgejahr (2017) gezeigt, dass sich diese Anpassungseffekte eingependelt haben und mittlerweile konsistente Unterschiede in den Klimabehandlungen gemessen werden.

Die hier vorliegenden Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass sich die GPP durch den simulierten Klimawandel kaum bis gar nicht verändert. Jedoch zeigt sich bei genauerer Betrachtung der Einzelergebnisse, dass sich eine solche Aussage aufgrund der Inkonsistenz der Systemreaktionen auf den Behandlungseffekt nicht treffen lässt. Einerseits sind Unterschiede in den Einzelkomponenten NEE und  $R_{eco}$  vorhanden, andererseits sind die Reaktionen des Systems auf die Klimabehandlungen nicht an allen Messterminen gleich ausgeprägt, weder in Stärke noch in Richtung der Abweichung zur Kontrolle. Um eine Aussage bezüglich der Effekte von erhöhtem  $CO_2$  und Erwärmung auf die GPP treffen zu können, wird es unausweichlich sein, die Versuchsreihe bis nach der vollständigen Systemadaptation fortzusetzen. Darüber hinaus sind weitere, stärker prozessorientierte Versuche nötig, um die Kennvariablen von NEE und  $R_{eco}$  besser zu verstehen. Weiters ist durch die vorliegende Datendichte und Qualität nicht abzuleiten, ob die Effekte der Klimaparameter Erwärmung und  $CO_2$ -Erhöhung der kombinierte Behandlung einen additiven Effekt auf die GPP ausüben, oder ob der kombinierte Effekt kleiner ist als die Summe der Einzeleffekte. Um diese Aussage treffen zu können, sind einerseits Behandlungseffekte nötig, die stärker miteinander übereinstimmen, andererseits wären zu deren Analyse multivariate statistische Methoden notwendig, die die Komplexität dieser Arbeit bei weitem übersteigen würden.

## 6 Literaturverzeichnis

ARNETH, A.; HARRISON, S. P.; ZAEHLE, S. et al. (2010): Terrestrial biogeochemical feedbacks in the climate system. *Nature Geoscience* 3:525-532

BOECK, H. J.; LEMMENS, CMHM; VICCA, S.; VAN DEN BERGE, J.; VAN GONGAN, S.; JANSSENS, I. A. et al. (2007): How do climate warming and species richness affect CO<sub>2</sub> fluxes in experimental grasslands?. *New Phytologist* 175 (3)

BOECK, H. J.; LEMMENS, C. M. H. M.; GIELEN, B.; BOSSUYT, H.; MALCHAIR, S.; CARNOL, M.; MERCKX, R.; CEULEMANS, R. und NIJS, I. (2007): Combined Effects of climate warming and plant diversity loss on above- and belowground grassland productivity. *Environmental and Experimental Botany* 60

BLOOR, J.M.G.; PICHON, P.; FALCIMAGNE, R.; LEADLEY, P.; SOUSSANA, J.F. (2010): Effects of Warming, Summer Drought, and CO<sub>2</sub> Enrichment on Aboveground Biomass Production, Flowering Phenology, and Community Structure in an Upland Grassland Ecosystem *Ecosystems* 13: 888-900

CHENG, W. X.; PARTON, W. J.; GONZALEZ-MELER, M. A.; PHILLIPS, R.; ASAO, S.; MCNICKLE, G. G. et al. (2014): Synthesis and modeling perspectives of rhizosphere priming. *New Phytologist* 201 (1)

CIAIS, P.; REICHSTEIN, M.; VIOVY, N.; GRANIER, A. und OGEE, J. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437:529-533

DIELEMAN, W. I.J.; VICCA, S.; DIJKSTRA, F. A.; HAGEDORN, F.; HOVENDEN, M. J.; LARSEN, K. S. et al. (2012): Simple additive effects are rare: a quantitative review of plant biomass and soil process responses to combined manipulations of CO<sub>2</sub> and temperature. *Global Change Biology* 18 (9)

FLANAGAN, L.B.; WEVER, L.A.; CARLSON, P.J. (2002): Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland. *Global Change Biology*, 8

GOBIET, A.; KOTLARSKI, S.; BENISTON, M.; HEINRICH, G.; RAJCZAK, J. und STOFFEL, M. (2014): 21st century climate change in the European Alps - A review. s.l.

HEIMANN, M.; REICHSTEIN, M. (2008): Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature* 451

HERNDL, M.; PÖTSCH, E.M.; BOHNER, A.; KANDOLF M.; (2011): Lysimeter als Bestandteil eines technischen Versuchskonzeptes zur Simulation der Erderwärmung im Grünland. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, 03.-04.05.2011. Gumpenstein, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein 2011

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,

KIMBALL, B.A., CONLEY, M.M., WANG, S., LIN, X., LUO, C., MORGAN, J., SMITH, D. (2008): Infrared heater arrays for warming ecosystem field plots. *Global Change Biology* 14

KROHN, M. (2015): Einflüsse von wiederholter Sommerdürre auf ökosystemare CO<sub>2</sub>- und Wasserflüsse in einer Bergwiese. Innsbruck: Masterarbeit an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

KUZYAKOV, Y. (2006): Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry* 38 (3)

KUZYAKOV, Y. (2010): Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 42 (9)



- LARCHER, W. (2001): *Physiological Plant Ecology – Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Springer–Verlag, Heidelberg.
- LEUZINGER, S.; LUO, Y.; BEIER, C.; DIELEMANN, W.; VICCA, S.; KÖRNER, C. (2011): Do global change experiments overestimate impacts on terrestrial ecosystems? *Trends in Ecology & Evolution*, 26
- LUO, Y. Q.; WAN, S. Q.; HUI, D. F. und WALLACE, L. L. (2001): Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature* 413 (6856)
- MORGAN J.A.; LECAIN, D.R.; PENDALL, E.; BLUMENTHAL, D.M. et al. (2011): C4 grasses prosper as carbon dioxide eliminates desiccation in warmed semi-arid grassland. *Nature* 476
- NIU, S.; WU, M.; HAN, Y.; XIA, J.; LI, L. und WAN, S. (2008): Water-mediated responses of ecosystem carbon fluxes to climatic change in a temperate steppe. s.l.
- PÖTSCH, E. 2014: *ClimGrass - Klimafolgenforschung im Grünland*. HBLFA Raumberg-Gumpenstein: <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/1604-3564-wt-climclass/27028-clim-grass-infoblatt-fuer-landwirte.html> (05.12.2014)
- REICHSTEIN, M.; BAHN, M.; CIAIS, P. et al. (2013): Climate extremes and the carbon cycle. *Nature* 500
- RUSTAD, L.E. (2008): The response of terrestrial ecosystems to global climate change: Towards an integrated approach. *Science of the Total Environment* 404 (2-3)
- SCHMITT, (2005): *Bestandes-CO<sub>2</sub> Gaswechsel unterschiedlich bewirtschafteter Gebirgsgraslandökosysteme*. Diplomarbeit Universität Innsbruck
- SCHMITT, M.; BAHN, M.; WOHLFAHRT, G.; TAPPEINER, U. und CERNUSCA, A. (2010): Land use affects the net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and its components in mountain grasslands. *Biogeosciences* 7 (8)

SENEVIRATNE, S.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D.; GOODESS, C.; KANAE, S.; KOSSIN, J.; LUO, Y.; MARENGO, J.; MCINNES, K.; RAHIMI, M.; REICHSTEIN M.; SORTEBERG, A.; Vera, C. und ZHANG, X. (2012): Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. Cambridge: Cambridge University Press

SHAW, R.M.; ZAVALETA, E.S.; CHIARIELLO, N.R.; CLELAND, E.E.; MOONEY, H.A.; FIELD, C.B. (2002): Grassland responses to global Environment Changes suppressed by elevated CO<sub>2</sub>. *Science* 298

WHITE, R.; MURRAY, A. und ROHWEDER, M. (2000): Pilot Analysis of Global Ecosystems – Grassland Ecosystems. Washington D.C.: World Resources Institute

WU, Z.; DIJKSTRA, P.; KOCH, G.W.; PENUELAS, J.; HUNGATE, B. (2011): Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: a meta-analysis of experimental manipulation. *Global Change Biology* 17

YU, G.; SONG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; GUAN, D.; YAN, J.; SUN, X.; ZHANG, L. und WEN, X. (2008): Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. s.l.

# 7 Anhang



## Produktivität von Dauergrünland unter Klimawandelbedingungen

Leitner Juliana Michaela, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

### Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage ClimGrass befindet sich an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Irdning und besteht aus 54 Grünlandparzellen, die eine Größe von 4x4m aufweisen. Ziel ist es, den von Klimamodellen prognostizierten Klimawandel zu simulieren und dessen Effekt auf das Grünland zu untersuchen. Die Temperaturerhöhung erfolgt mittels Infrarot Heizungssystem und die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gehaltserhöhung mittels kontinuierlichem CO<sub>2</sub>-Zustrom über einen sogenannten Begasungsring.

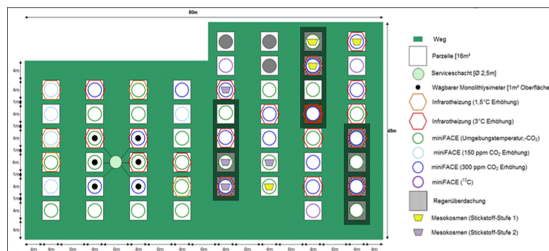


Abb. 1: Übersicht der ClimGrass-Anlage mit seitlicher Legende und Beschriftung

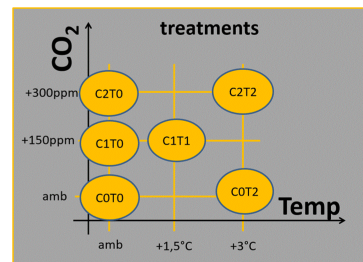


Abb. 2: Klimamanipulation und daraus resultierende Treatments

### Messgrößen

**GPP** = Bruttopräprimärproduktivität -  
 > Maß für die potentielle Produktion eines Systems unter optimalen Bedingungen

GPP setzt sich zusammen aus:

**NEE**: Netto Kohlenstoffaustausch eines Ökosystems

**R<sub>eco</sub>**: Ökosystematmung

$$GPP = R_{eco} - NEE$$

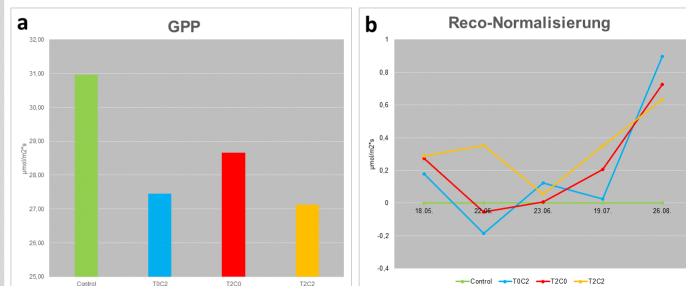


Abb. 3: Tagesergebnis vom 22.6.2016 (a) und normalisiert im Jahresverlauf (b) nach Treatments

Im Jahr 2016 konnten zu den einzelnen Messterminen zwar Unterschiede zwischen Parzellen mit verschiedenen Klimabehandlungen zu den Kontrollflächen festgestellt werden, jedoch waren diese im Jahresverlauf nicht konsistent (Abb.3). Laut Herrn Reinthaler dauert es mehrere Jahre, bis sich das System auf die veränderten Bedingungen einpendelt. Seit 2017 werden konsistente Effekte beobachtet (Inbetriebnahme ClimGrass im Jahr 2014).

