PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

A) Projektdaten

Kurztitel:	LYSTRAT
Langtitel:	Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area.
Programm inkl. Jahr:	ACRP, 2nd call, 2010
Dauer:	1.1.2011 – 31.12.2013
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
Kontaktperson Name:	Dr. Andreas Baumgarten
Kontaktperson Adresse:	Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien
Kontaktperson Telefon:	050555 34100
Kontaktperson E-Mail:	andreas.baumgarten@ages.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	BOKU - Universität für Bodenkultur (Wien), Abteilung für integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Institut für Zoologie BFW – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Institut für Forstökologie und Boden BAW – Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt Universität Wien, Abteilung für terrestrische Ökologie und Ökosystemforschung
Schlagwörter:	Klimawandel, Boden, Ökosystemfunktionen, Lysimeter, Bodenorganismen
Projektgesamtkosten:	661.844.- €
Fördersumme:	445.720.- €
Klimafonds-Nr:	B060382
Erstellt am:	24.3.2014

Projektübersicht

1 Kurzfassung

Projektbeschreibung

Regionale Klimawandelszenarien für den Zeitraum nach 2050 prognostizieren für das ostösterreichische Produktionsgebiet (Pannonikum) geringere, aber intensivere Regenfälle während der Vegetationsperiode, allerdings ohne wesentliche Änderungen in der Gesamtmenge. Um die Effekte dieses neuen Klimaszenarios zu studieren, wurde die Lysimeteranlage der AGES, in der die drei wesentlichen Bodentypen des Produktionsgebietes „Marchfeld“ umfasst (sandiger Tschernosem „S“, Feuchtschwarzerde „F“, tiefgründiger Tschernosem „T“) vertreten sind, während eines Zeitraumes von drei Jahren zwischen März und November mit einem Folientunnel abgedeckt. Die Menge und Häufigkeit der Bewässerung wurden auf Grundlage des für die zweite Hälfte des Jahrhunderts (2050 – 2100) prognostizierten Klimamodells errechnet und mit dem aktuellen Niederschlagsszenario verglichen. Ziel des Projektes war es, Informationen über Detailprozesse und mögliche Veränderungen im System Boden-Pflanze zu sammeln und deren Folgen für Agro-Ökosysteme und unterschiedliche Bodentypen aufgrund der länger andauernden Trockenperioden und häufigeren Starkregenereignissen abzuschätzen. Folgende Themenbereiche wurden untersucht:

- Bodenhydrologie und Massentransport (Arbeitspaket 1): Beschreibung der bodenhydrologischen Bedingungen, Simulation der bodenhydrologischen Prozesse unter Freilandbedingungen; Massentransportprozesse
- Primärproduktion (Arbeitspaket 2): Reaktion der Biomasseproduktion, Unkrautbeatz, Wurzelproduktion, Mykorrhizierung, Wasserstress, oberirdische Arthropoden
- Boden – Biodiversität (Arbeitspaket 3): Häufigkeit und Artenvielfalt der Bodenarthropoden aus der Gruppe der Springschwänze (Collembola), Raubmilben (Gamasida) und Hornmilben (Oribatida)
- Bodenmikrobiologische Aktivität (Arbeitspaket 4): Cotton Strip Assay (CSA), Phospholipid-Fettsäuren, Multisubstrat induzierte Bodenatmung, Substratinduzierte Bodenatmung, Bodenenzymatische Aktivität
- Flüsse klimarelevanter Gase (Arbeitspaket 5): Messungen von CO_2, CH_4 und N_2O

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Basierend auf den Ergebnissen der Messungen der hydrologischen Parameter wurde das Modell „STOTRASIM“ kalibriert. Diese Kalibrierung ermöglicht eine Standort spezifische Kalkulation der Dynamik des Bodenwasserhaushaltes und des Massentransportes. Die Nitratauswaschung wurde aufgrund des geringeren prognostizierten Niederschlages reduziert. Die Feldfrüchte reagierten spezifisch auf den geänderten Niederschlag und die Bodentypen. Während die Erträge nicht wesentlich beeinflusst wurden, könnten andere Effekte wesentliche Auswirkungen auf Ökosystemfunktionen haben. Die Verminderung der Mykorrhizierung könnte ein geändertes Düngungsmanagement mit entsprechenden ökonomischen und ökologischen Auswirkungen erforderlich machen. Bedingt durch die geringere Bodenbedeckung infolge des reduzierten Niederschlages, scheint auch zumindest kurzfristig mit einem höheren Unkrautdruck zu rechnen zu sein. Dies könnte Änderungen bei den Strategien zur Unkrautbekämpfung erforderlich machen. Aufgrund der Zunahme von Stressindikatoren erscheint auch eine zusätzliche Bewässerung sinnvoll. Die Machbarkeit und Auswirkungen dieser Maßnahmen wären allerdings zu prüfen. Die beobachteten Veränderungen des Wurzelsystems deuten auf eine Beeinflussung der Wasser- und Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen hin. Auch dies könnte eine Änderung des Düngungs- und Bewässerungsmanagement erforderlich machen.

Die Dichte der oberirdischen Arthropoden war unmittelbar mit dem Unkrautbesatz korreliert und zeigte darüber hinaus eine eindeutige negative Beeinflussung durch den geänderten Niederschlag. Dies hat wesentliche Auswirkungen auf ihre Rolle als Bioregulatoren, aber auch als herbivore Schädlinge oder als Futter für andere Organismen (z.B. Vögel). Gegenüber kurzfristigen Veränderungen der Abundanz und Artenzusammensetzung der Mikroarthropoden scheinen die getesteten Böden gut gepuffert zu sein. Es konnten zwar zahlreiche

signifikante Effekte in Bezug auf die Bodenart, die Bewässerung und die Jahreszeit festgestellt werden, allerdings zeigte sich nur in seltenen Fällen ein eindeutiger Trend. Die zum Teil doch starken individuellen Reaktionen lassen darauf schließen, dass die Dauer des Experiments zu kurz war, um dauerhafte Effekte in Bezug auf Abundanz, Diversität und Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft der entsprechenden Organismengruppen zu beobachten. Auch die Ergebnisse für die Indikatoren der potentiellen mikrobiellen Aktivität deuten auf ähnliche Zusammenhänge hin.
Die Zusammensetzung und Menge der klimarelevanten Gase wurde im Wesentlichen durch den Bodentyp bestimmt. Die Gasflüsse reagierten bei allen drei untersuchten Böden auf die Niederschlagsänderungen, allerdings konnte auch hier kein eindeutiger Trend festgestellt werden. Kurzfristig scheinen keine Änderungen der Gasflüsse zu erwarten zu sein. Ergebnisse aus Inkubationsexperimenten deuten aber darauf hin, dass insbesondere die NO-Emissionen durch Trockenheit gefördert werden, insbesondere in Kombination mit höheren Temperaturen. Trocknung und Wiederbefeuchtung zeigte keinen eindeutigen Effekt.

Ausblick und Zusammenfassung

Die untersuchten Feldfrüchte zeigten unterschiedliche Empfindlichkeiten und Reaktionen gegenüber der geänderten Niederschlagssituation (z.B. gesteigertes Wurzelwachstum bei Körnererbse, Abnahme des Ernteindex bei Winterweizen). Dem entsprechend sollte ein besonderes Augenmerk auf die Auswahl geeigneter Arten und Sorten gelegt werden. Aufgrund der erfolgten Kalibrierung des Modells „STOTRASIM“ für die wichtigsten Böden des Marchfeldes können die zu erwartenden hydrologischen Bedingungen und die Massenflüsse Standort spezifisch kalkuliert werden und in diese Überlegungen mit einfließen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass Erträge mancher Kulturen abnehmen, während der Unkrautdruck und das potentielle Krankheitsrisiko wachsen. Dies erfordert neue Strategien zum Management der entsprechenden Flächen. Die Abnahme der oberirdischen Arthropoden in den Agro-Ökosystemen könnte zu weitreichenden Konsequenzen insbesondere für die Vögel führen.
Bodenbiologische Parameter zeigten Einflüsse der Faktoren Niederschlag, Matrixpotential und – im Rahmen des Inkubationsexperiments – der Boden- und Lufttemperatur. Allerdings konnte nur in wenigen Fällen ein eindeutiger Trend festgestellt werden. Es erscheint aber wahrscheinlich, dass aufgrund der geänderten Niederschlagsmenge und –verteilung eine dynamische Reaktion der Bodenorganismen ausgelöst wird, die zur Einstellung eines neuen Gleichgewichts führt. Dies konnte allerdings im Rahmen dieses Projekts aufgrund der kurzen Zeitspanne von drei Jahren nicht eindeutig festgestellt werden. Eine Fortsetzung der Untersuchungen von Indikatoren, die besonders sensibel auf Veränderungen reagierten, könnte diese Hypothese bestätigen. Für die Gasflüsse wir dies im Rahmen des Projektes PANGAS weiter untersucht.
In nur wenigen Fällen (z.B. Mykorrhizierung, Ernteindex) konnte eine eindeutige dauerhafte negative oder positive Reaktion festgestellt werden. Es erscheint daher nicht sinnvoll, bereits jetzt individuelle Strategien in Bezug auf bestimmte Parameter vorzuschlagen. Am einfachsten wäre sicherlich, den Status quo der Wasserversorgung durch zusätzliche Bewässerungsmaßnahmen zu bewahren. Dies hat aber in weiterer Folge wesentliche ökonomische Auswirkungen und wird möglicherweise nicht für alle Kulturen sinnvoll sein. Darüber hinaus könnte insbesondere im Marchfeld die Gefahr einer signifikanten Absenkung des Grundwasserspiegels bestehen. Es sollen daher die Ergebnisse dieses Projekts mit Praktikern unter Einbeziehung ihrer aktuellen Beobachtungen diskutiert werden, um mögliche praxistaugliche Maßnahmen abzuleiten. Wie erwähnt erscheint allerdings der Zeitraum, der für die Untersuchungen zur Verfügung stand, zu kurz, um eindeutige Trends aufzuzeigen. Andererseits können die beobachteten Veränderungen dazu beitragen, Erklärungen für Beobachtungen der Praxis zu finden.

2 Executive Summary

Description of the project

Regional climate change scenarios for the period after 2050 predict fewer but heavier rainfall during the vegetation period without substantial changes in the total annual amount of rainfall for Eastern Austria (Pannonian region).To investigate the effects of the new climate scenario, the Lysimeter station at AGES, comprising the three main soil types of the Marchfeld production area (Calcaric Phaeozem “S”, Gleyic Phaeozem “F”, Calcic Chernozem “T”), was covered by a rain shelter between March and November over a three years period. Irrigation amounts and frequency were calculated according to the predicted scenario for the second half of this century in comparison to the current precipitation pattern. The overall aim of the project was to obtain more information on detailed processes and possible changes in the soil–plant system and expectable consequences for agro-ecosystems and for different soil types that are due to lasting droughts and heavy rain events of increased frequency. The following topics were covered:

- Soil hydrology and mass transport (work package (WP) 1): description of soil hydrological conditions, simulation of soil hydrology for field conditions, mass transport
- Primary production (WP2): biomass response, weeds, root production and mycorrhization
- Soil biodiversity (WP 3): abundance and taxon richness of the soil arthropod groups springtails (Collembola), predatory mites (Gamasida) and moss mites (Oribatida)
- Soil microbial activity (WP 4): Cotton strip assay (CSA), Phospholipid Fatty Acids (PLFA), Multi Substrate Induced Respiration, SIR, soil enzyme activities,
- Greenhouse gas fluxes (WP 5): measurement of CO_2, CH_4 and N_2O

Results and conclusions

Based on the hydrological data, the model STOTRASIM was calibrated, thus offering the possibility of site specific calculations of soil hydrology dynamics and mass transport. N-leaching was reduced due to a reduction of precipitation. Crop species respond specifically to rainfall patterns and soil types. While yields were not affected to a large extent, some other effects on ecosystem functions can have wide implications. The reduction in mycorrhization may demand more fertilizer application with economic and environmental impacts for farmland management. As a consequence of rainfall-affected crop cover, weed communities also seemed to respond at least on a short term, to rainfall manipulations, demanding changes in weed control measures. According to rising stress indicators irrigation seems reasonable. Still, feasibility has to be investigated. Furthermore, changes in root growth could be stated indicating an affection of plants ability to acquire water and nutrients, which again may demand new strategies of fertilization and irrigation management.

The abundance of aboveground arthropods was correlated with the appearance of weeds, but furthermore showed a clear influence of the decrease in precipitation. This might affect their function as bio-control agents as well as their role as herbivore pests and food source for other animals (e.g. farmland birds) in this agro-ecosystem.

With respect to the investigated microarthropods, the soils under investigation obviously proved to be well buffered systems with respect to short term changes. Although several, partly significant effects could be stated with respect to the factors soil, season and irrigation treatment, there was no lasting trend for one of these dependencies. However, as individual, though not consistent effects were detectable it might be assumed, that the duration of the experiment was too short to observe substantial and lasting changes in the abundance, diversity and species assemblage of the respective groups. For the Substrate- and Multi-Substrate Induced Respiration methods and soil enzymes as a characterization of the potential microbial activity, similar conclusion can be drawn.

For greenhouse-gas fluxes, soil types played a major role for the nature and amount of the respective gases CO_2, CH4, NO and N_2O again. Fluxes from all three soils types responded to changes in the precipitation patterns but no general trend can be derived from the data. In the short term, changes in the precipitation pattern as simulated in the LYSTRAT experiment will not result in distinct changes of GHG fluxes in major soil types of the Marchfeld area. Results from incubation studies, testing the effect of both temperature and moisture conditions, indicate, that NO emissions might be favored by drought in the longer run, especially in combination with higher temperatures. Drying and rewetting did not have a clear effect on GHG fluxes.

Outlook and summary

As different crops are clearly show differences in susceptibility and reaction to the new situation (e.g. promoted root growth for peas, reduced harvest index for winter wheat), a special emphasis has to be laid on the identification of suitable species or cultivars. Due to the calibration of the hydrological model for the most important soils of the region it is now possible to calculate site specific dynamics of water availability and nutrient balances. Data also suggest that management of agro-ecosystems will be more challenging under future climatic conditions as yields likely to be decreased while weeds and potential pest insects increase; also reduction in arthropods can have far reaching consequences for predators (birds) in the region.

Soil biological parameters clearly showed influences due to the changing factors precipitation, soil matrix potential and, with respect to the incubation experiment, soil and air temperature. However, only in some cases a distinct trend could be figured out. Nevertheless it seems reasonable, that, due to the changing water regime, a dynamic reaction is induced for soil biota, probably leading to the establishment of an equilibrium differing from the actual situation – though in a time span not one monitored within in this project. However, it seems sensible to continue the measurements, at least with respect to the parameters that seemed to be most susceptible to the changes. This will be done in the project PANGAS.

Distinct negative or positive effects could only be stated for a limited number of parameters, so it does not seem constructive to suggest individual strategies for certain parameters at the moment. As the easiest way to overcome possible negative effects or draught periods would of course be keeping the status quo of water supply by increased irrigation. However, this will of course have economic consequences for crop management and will perhaps not be economically feasible for all crop species. Irrigation will also have consequences for groundwater retention in the region. So it is planned to discuss the results with practitioners to receive their impressions of the already ongoing changes in the rainfall pattern to finally develop measures suitable for the practice and considering our findings. As mentioned above, the time span of the investigation seems to be too short to figure out clear trends, on the other hand, the short time reactions of some of the parameters could help to explain observations of the practice.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Aktuelle IPCC-Modelle prognostizieren für den pannonischen Raum in Österreich eine Zunahme der Winterniederschläge um 10%, eine 4%ige Zunahme im Frühjahr, aber deutliche Reduktionen im Sommer und vor allem im Herbst (-7% und -25%). Darüber hinaus wir die Anzahl der Niederschlagsereignisse abnehmen, dem entsprechend ist mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität zu rechnen. Bis dato existieren keine Informationen zu den Auswirkungen dieser Veränderungen auf landwirtschaftliche Flächen. Fast alle Untersuchungen wurden im Wald, Grünland oder auf Moorflächen durchgeführt. Für landwirtschaftliche Flächen fehlen z.B. gänzlich Informationen zur mikrobiellen Aktivität oder zur Bodenfauna. Vor allem im Hinblick auf die Ernährungssicherung erscheint es sinnvoll, das Wissen über die Auswirkungen auf das System Boden – Pflanze zu vertiefen, um eine umfassende Basis für die Entwicklung sinnvoller Anpassungsstrategien zur Verfügung zu stellen. Mikrobiell gesteuerte Prozesse wie die Methanoxidation, die Kohlenstoffmineralisierung oder die Denitrifikation sind stark vom Feuchtigkeitsregime des Bodens abhängig. Es ist demnach zu erwarten, dass klimatische Veränderungen deutliche Auswirkungen auf diese Prozesse haben werden. Die Effekte potentieller Klimaänderungen wurden bereits in zahlreichen Studien untersucht. Allerdings lag hierbei der Schwerpunkt zumeist auf prognostizierten Temperaturerhöhungen. Die möglichen Auswirkungen veränderter Niederschlagsmuster wurden bisher kaum erforscht.

Es war das Ziel dieses Projektes, mögliche Auswirkungen der geänderten Klimabedingungen auf wesentliche Prozesse im System Boden-Pflanze zu untersuchen. Zielgebiet war das Marchfeld als eines der produktivsten Agrargebiete Österreichs.

Die Lysimeterstation der AGES ermöglicht die Beobachtung des Systems Boden-Pflanze unter annähernden Freilandbedingungen mit hoher statistischer Präzision. Die wichtigsten Bodentypen des Marchfeldes (sandiger Tschernosem, tiefgründiger Tschernosem, Feuchtschwarzerde) stehen als geschüttete Lysimeter (errichtet 1995) in je 6-facher Wiederholung zur Verfügung. Um einen umfassenden Überblick über die Auswirkungen der Klimaveränderung zu erhalten, müssen eine Reihe von Bodenparametern, aber auch entsprechende Reaktionen der Pflanzen erfasst werden Im Rahmen dieses Projektes sollten folgende Fragen abgeklärt werden:

- Was sind Auswirkungen und mögliche Folgen des prognostizierten Klimawandels auf Produktivität, Biodiversität und mikrobielle Aktivität der wichtigsten Bodenformen des Marchfelds?
- Was sind Auswirkungen und mögliche Folgen des prognostizierten Klimawandels auf hydrologische Charakteristika und Stickstoffmobilität im Bodenprofil?
- Was sind Auswirkungen und mögliche Folgen des prognostizierten Klimawandels auf die Bodenfunktion als Quelle und Senke von klimarelevanten Gasen?
- Was sind Auswirkungen und mögliche Folgen des prognostizierten Klimawandels auf Pflanzen, insbesondere auf Ertrag, Wurzelwachstum, Rhizodeposition, Mykorrhizierung sowie Beikrautdichte und –diversität?
- Wie können weitere Entwicklungen des Systems Boden-Pflanzen unter den geänderten klimatischen Bedingungen modelliert werden?
- Wie können Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen des Bodens aufgrund der Ergebnisse des Projekts beschrieben werden?
- Was sind die Aufgaben einer Risikoabschätzung in Bezug zu den möglichen Veränderungen im System boden-Pflanze?
- Welche Vorschläge für Strategien können gemacht werden, um möglichen negativen Entwicklungen entgegenzuwirken?
- Welche Vorschläge für Strategien können gemacht werden, um mögliche positive Effekte zu nutzen?

4 Projektinhalt und Ergebnisse

Die Beschreibung der Versuchsanlage und der Methoden ist in Punkt B) 6 angeführt. Im Folgenden sind die wesentlichen Aktivitäten und Ergebnisse dargestellt. Graphiken und Tabellen sind in einem Annex angeschlossen.

Projektdarstellung und Ziele

Regionale Klimawandelszenarien für den Zeitraum nach 2050 prognostizieren für das ostösterreichische Produktionsgebiet (Pannonikum) geringere, aber intensivere Regenfälle während der Vegetationsperiode, allerdings ohne wesentliche Änderungen in der Gesamtmenge. Um die Effekte dieses neuen Klimaszenarios zu studieren, wurde die Lysimeteranlage der AGES, in der die drei wesentlichen Bodentypen des Produktionsgebietes „Marchfeld“ umfasst (sandiger Tschernosem „S“, Feuchtschwarzerde „F“, tiefgründiger Tschernosem „T“) vertreten sind, während eines Zeitraumes von drei Jahren zwischen März und November mit einem Folientunnel abgedeckt. Die Menge und Häufigkeit der Bewässerung wurden auf Grundlage des für die zweite Hälfte des Jahrhunderts (2050 – 2100) prognostizierten Klimamodells errechnet und mit dem aktuellen Niederschlagsszenario verglichen. Ziel des Projektes war es, Informationen über Detailprozesse und mögliche Veränderungen im System Boden-Pflanze zu sammeln und deren Folgen für die Agro-Ökosysteme und unterschiedliche Bodentypen aufgrund der länger andauernden Trockenperioden und häufigeren Starkregenereignissen abzuschätzen. Folgende Themenbereiche wurden untersucht:

- Bodenhydrologie und Massentransport (Arbeitspaket 1): Beschreibung der bodenhydrologischen Bedingungen, Simulation der bodenhydrologischen Prozesse unter Freilandbedingungen; Massentransportprozesse
- Primärproduktion (Arbeitspaket 2): Reaktion der Biomasseproduktion, Unkrautbesatz, Wurzelproduktion, Mykorrhizierung, Wasserstress, oberirdische Arthropoden
- Boden – Biodiversität (Arbeitspaket 3): Häufigkeit und Artenvielfalt der Bodenarthropoden aus der Gruppe der Springschwänze (Collembola), Raubmilben (Gamasida) und Hornmilben (Oribatida)
- Bodenmikrobiologische Aktivität (Arbeitspaket 4): Cotton Strip Assay (CSA), Phospholipid-Fettsäuren, Multisubstrat induzierte Bodenatmung, Substratinduzierte Bodenatmung, Bodenenzymatische Aktivität
- Flüsse klimarelevanter Gase (Arbeitspaket 5): Messungen von CO_2, CH_4 und N_2O

Ergebnisse des AP 1 Bodenhydrologie und Massentransport

Wassergehalt und Matrixpotetiale

Erwartungsgemäß zeigte der sandige Tschernosem die geringsten Wassergehalte und Matrixpotentiale. Die Variante „prog.rain“ führte zu einer weiteren Reduktion. Die größte Speicherkapazität wies die Feuchtschwarzerde gefolgt vom tiefgründigen Tschernosem auf. In beiden Fällen waren die Unterschiede zwischen den Beregnungsvarianten deutlich, insbesondere 2012. Die Matrixpotentiale in den unterschiedlichen Tiefen zeigten einen deutlichen Anstieg in der Variante „prog.rain“. In der sandigen Schwarzerde ist mit einem markanten Wassermangel insbesondere nach längeren Trockenperioden zu rechnen. Die Speicherkapazität reicht in diesem Fall nicht aus. Die beiden anderen Bodentypen zeigten günstigere Wasserpotentiale, allerdings zeigte sich auch hier ein deutlicher Anstieg der Wasserspannung in der Variante „prog.rain“.

Kalibrierung des Modells STOTRASIM

STOTRASIM ist ein gekoppeltes Modell, es besteht aus einem Bodenwasserhaushaltsteil und einem Stofftransportteil. Der Bodenwasserhaushaltsteil SIMWASER wurde entwickelt um eindimensionale vertikale Strömung von Wasser in einem Bodenprofil mit beliebiger Fruchtfolge auf täglicher Basis zu beschreiben (Stenitzer 1988). Wasserhaushalt und Pflanzenwachstum werden über die physiologische Wechselwirkung der Assimilation und Transpiration verbunden (Stenitzer 2004, Stasna und Stenitzer 2005). Der Stofftransportteil berechnet die Stickstoffdynamik der landwirtschaftlich genutzten Böden auf Tagesbasis (Feichtinger 1998). Als

Eingangsdaten in STOTRASIM wurden die gemessenen täglichen Wetterdaten, die physikalische Bodeneigenschaften und die Bodenbewirtschaftung übernommen:

- Tägliche Klimadaten (Temperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Niederschlag)
- Boden (Horizonte der Bodenprofile, Bodenbeschaffenheit, pF-und Ku-Kurven als Funktion des Matrixpotentials für jeden Horizont).
- Bodenmanagement (Fruchtfolge, Dünger (Art und Menge), Bewässerung, Anbau- und Erntedatum, Pflugtiefe).

Die Kalibrierung des Modells STOTRASIM basiert auf den gemessenen Sickerwassermengen. Der Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Sickerwassermengen für die Lysimeter mit dem Bodentyp "S" und "T" zeigte gute Übereinstimmungen. Aufgrund der Kalibrierung ist eine Aussage zur Menge des Sickerwassers und des potentiellen Austrages von Stickstoff unter Freilandbedingungen möglich.

Die Höhe des durchschnittlichen Niederschlages im Zeitraum 2010 - 2013 beträgt 520 mm für die Variante "curr.rain" und 493 mm für die Variante "prog.rain" (Tabelle 1). Die höchsten Sickerwassermengen traten im Zeitraum von 2010 bis 2013 im sandigen Boden Bodentyp "S", im Vergleich der Varianten bei “curr.rain” als auch bei “prog.rain” auf. Die Unterschiede der Sickerwassermenge zwischen den Bodentypen der Variante “curr.rain” sind jedoch sehr gering. Der Unterschied der Sickerwassermenge zwischen den Varianten “curr.rain” und “prog.rain” bei den Bodentypen „F“ und „T“ unterscheidet sich deutlich, hingegen beim Bodentyp „S“ nur geringfügig. Dementsprechend ist mit einem Einfluss auf die Grundwassererneuerung und die Höhe des Grundwasserspiegels zu rechnen. Die zu erwartende Erhöhung der CO_2-Konzentration erscheint im Marchfeld in Bezug auf die landwirtschaftliche Produktion von untergeordneter Bedeutung zu sein, die Erhöhung der Temperatur kann allerdings zu einer weiteren Verschärfung der beobachteten Effekte der veränderten Niederschlagssituation führen. In Bezug auf Textur und Wasserbilanz decken die Bodentypen „S“ und „F“ den möglichen Bereich der Reaktionen im beobachteten Gebiet ab, der Bodentyp „T“ nimmt diesbezüglich eine Mittelstellung ein. Dementsprechend konnte der mögliche Einfluss der Klimaveränderung auf die Wasserbilanz und den N-Transport abgeschätzt werden.

Tabelle1: Berechnete mittlere jährliche Sickerwassermenge 2010-2013 der Varianten “curr.rain” und “prog.rain” für die Freiladstandorte in mm

Bodentypen	“F”		“S”		“T”	
Varianten 2011-2013	“curr.rain”	“prog.rain”	“curr.rain”	“prog.rain”	“curr.rain”	“prog.rain”
Niederschlag und Bewässerung	520	426	520	426	520	426
Sickerwasser	61	28	80	70	73	33
Differenz der Varianten	33		10		40	

Massentransport und Nährstoffbilanz

Basierend auf den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sowie den entsprechenden Mengen wurden die möglichen Stickstoffverluste kalkuliert. Obwohl die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zum Teil erheblich waren, waren die Gesamtverluste relativ gering. Die höchsten Verluste wurden für den Bodentyp „S“, gefolgt von „T“ und „F“ kalkuliert. Bezogen auf die Gesamtmenge an Sickerwasser wurden für die Variante „prog.rain“ die geringeren Auswaschungsverluste festgestellt.

Die Stickstoffbilanz zeigte für Erbse und Winterweizen jeweils N-Überschüsse. Lediglich für Wintergerste ergab sich eine negative Bilanz. Die Bilanzen der Variante „prog.rain“ waren jeweils niedriger als die der Variante „curr.rain“.

Ergebnisse des AP 2 Primärproduktion

Im vorliegenden Experiment wurden die folgenden Feldfrüchte angebaut:
2011: Körnererbse (*Pisum sativum* cf. Jetset), Saatdichte 80 Samen/m^2, Aussaat am 23.3.2011
2012: Winterweizen (*Triticum aestivum cf. Capo*), Saatdichte 400 Körner/m^2, Aussaat am 11.11.2011
2013: Wintergerste (*Hordeum vulgare* L. cf. KWS Meridian), Saatdichte 380 Körner/m^2, Aussaat am 24.9.2012
Diese Fruchtfolge entspricht sowohl der gängigen Praxis in der Region als auch einer möglichen Anpassung an die prognostizierten Änderungen der Niederschlagssituation.

Versuchsanordnung, Statistik:
Die 18 Lysimeter sind in zwei Reihen zu je 9 Lysimetern angeordnet. Die zwei Niederschlagsszenarien (aktuelle und prognostizierte Situation) wurden pro Reihe angewandt. Innerhalb der Reihen waren drei verschiedene Bodentypen (seichtgründige Schwarzerde – S, Feuchtschwarzerde – F, tiefgründiger Schwarzerde – T) in je drei Wiederholungen alternierend verteilt. Die Ergebnisse der Messungen wurden mittels Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren „Niederschlag“ (aktuelle vs. prognostizierte Situation) und Bodentypen (S; F; T) ausgewertet.

Die in diesem Experiment untersuchten Bodentypen repräsentieren den Hauptanteil der Böden des Marchfelds östlich von Wien. Diese Region gilt als eine der fruchtbarsten in Österreich. Durch den Klimawandel bedingte Niederschlagsveränderungen wären daher sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht von Bedeutung. Der Einfluss verschiedener Bodentypen auf Agrarökosysteme im Hinblick auf unterschiedliche Niederschlagsszenarien wurde nur in wenigen Arbeiten untersucht (Passioura 2002, Passioura 2006). In den meisten Fällen wurd nur der Einfluss auf einen einzelnen Bodentyp untersucht. Wir sind von der Annahme ausgegangen, dass die unterschiedlichen Wasserhaltekapazitäten der verschiedenen Böden die Reaktion des gesamten Ökosystems auf unterschiedliche Niederschlagsmuster beeinflussen (Strauss et al., 2012; Beier et al., 2012).

Während in diesem Versuch die Manipulation des Niederschlags keinen Einfluss auf die Erträge der drei getesteten Kulturpflanzen zeigte, reagierten alle drei Arten signifikant auf die Bodentypen (Abbildung 1, Tabelle 2). Im Allgemeinen waren die Erträge auf Sandigem Tschernosem am niedrigsten und ähnlich bei Feuchtschwarzerde und tiefgründigem Tschernosem.

Tabelle 2: ANOVA - Ergebnisse der Reaktion von Körnererbse, Winterweizen und Wintergerste auf derzeitige und prognostizierte Niederschlagsmuster bei drei verschiedenen Bodentypen.

Kulturpflanze/ Parameter	**P- Werte Niederschlag**	**Bodentyp**	**Niederschlag *Bodentyp**
Körnererbse 2011			
Ertrag (g/m^2)	0,069	**0,001**	0,922
Ernteindex	**0,033**	**0,001**	**0,001**
Blattflächenindex (LAI)	0,304	0,377	0,716
Unkraut Trockenmasse (g/ m^2)	0,127	**0,003**	0,800
Wurzelproduktion (g)	**0,013**	**0,001**	0,648
Mykorrhizierung (%)	0,077	0,887	0,827
Winterweizen 2012			
Ertrag (g/m^2)	0,159	**0,023**	0,147
Ernteindex	**0,001**	**0,001**	**0,007**
Blattflächenindex (LAI 97)	**0,022**	0,911	0,583

Unkraut Trockenmasse (g/m^2)	0,091	0,134	0,232
Wurzelproduktion (g)	0,480	0,591	0,850
Mykorrhizierung (%)	**0,001**	0,735	0,840
Wintergerste 2013			
Ertrag (g/m^2)	0,894	**0,051**	0,936
Ernteindex	0,232	**0,020**	0,357
Blattflächenindex (LAI)	0,919	**0,002**	0,703
Unkraut Trockenmasse (g/m^2)	0,674	0,538	0,885
Wurzelproduktion (g)	0,751	**0,032**	0,217
Mykorrhizierung (%)	**0,004**	0,579	0,153

Der Ernteindex (Verhältnis des Ertrages zur gesamten Biomasse der Nutzpflanze) für Körnererbse und Weizen war unter prognostizierten Niederschlagsmustern signifikant niedriger als unter derzeitigen Niederschlagsmustern. Der Ernteindex für Gerste zeigte sich von Niederschlagsmustern unbeeinflusst (Abbildung 1, Tabelle 2). Die Bodentypen hatten signifikanten Einfluss auf den Ernteindex aller drei Nutzpflanzen, jedoch konnte hier kein allgemeines Muster erkannt werden (Abbildung 1).

Der Blattflächenindex (Leaf area index LAI) der Körnererbse war weder vom Niederschlag noch vom Bodentyp beeinflusst. Der LAI von Weizen war unter prognostiziertem Niederschlagsmuster signifikant reduziert, blieb jedoch vom Bodentyp unbeeinflusst. Im Gegensatz dazu war der LAI von Gerste signifikant vom Bodentyp beeinflusst (niedrigster LAI bei sandigen Böden), blieb jedoch von Veränderungen im Niederschlagsmuster unbeeinflusst (Abbildung 2, Tabelle 1).

Die Produktion von Unkraut-Biomasse war nur bei der Körnererbse signifikant vom Bodentyp beeinflusst (niedrigste Unkrautproduktion auf sandigen Böden) und blieb von Manipulationen im Niederschlag unbeeinflusst. Die Unkraut-Biomasse von Weizen und Gerste war weder vom Niederschlag noch vom Bodentyp beeinflusst (Abbildung 2, Tabelle 1).

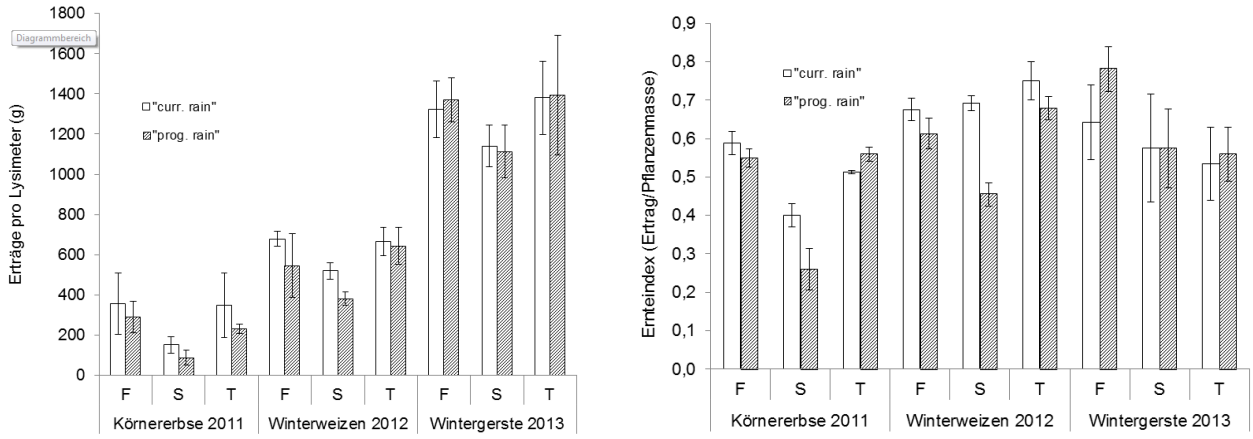


Abbildung 1. Erträge und Ernteindex von Körnererbse, Winterweizen und Wintergerste auf verschiedenen Bodentypen (Feuchtschwarzerde F, Sandiger Tschernosem S und Tiefgründiger Tschernosem T) unter derzeitigen und prognostizierten Niederschlagsmustern. Mittelwert ± Standardabweichung, n = 3.

Insgesamt reagierten Feldfrüchte und Unkräuter am deutlichsten im seichtgündigen, sandigen Boden. Die Biomasseproduktion der Unkräuter wurde durch die Niederschlagsveränderung nicht beeinflusst, was auch in den Untersuchungen von Gan et al. (2009) bestätigt wurde. Die Häufigkeit der Unkräuter nahm im prognostizierten Szenario in S- und T-Böden ab und blieb im F-Boden unverändert. Dies deutet darauf hin, dass Böden mit

höherem Sand- und Schluffanteil anfälliger in Bezug auf die Reduktion des Niederschlages sind als Böden mit höherem Tonanteil. In der Variante „prog. rain“ stieg die Unkrautdichte auf den F-Böden und sank auf den S-Böden. T-Böden zeigten keinen Effekt. Dies könnte auf die Bodeneigenschaften, die Unkrautarten sowie auf das Wassernutzungspotenzial der jeweiligen Pflanzenfamilien zurückzuführen sein (Bolandnazar et al., 2007).

Das Wachstum der Unkräuter war signifikant vom Bodentyp beeinflusst, allerdings war die Familienzusammensetzung nicht unterschiedlich. Tendenziell war der Anteil von Asteraceae, Chenopodiaceae und Polygonaceae in der Variante „prog. rain“ auf der Feuchtschwarzerde un dem tiefgründigen Tschernosem höher. Auf dem seichtgründigen Tschernosem waren alle Pflanzenfamilien gleich reduziert. Offenbar sind die Unkräter mit einem ausgedehnten Wurzelsystem konkurrenzfähiger als die kultivierte Körnererbse. Dies zeigte sich auch in einer Verschiebung des Verhältnisses Unkraut – Kulturpflanze in Richtung der Unkräuter. Die Abundanz der Gräser unterschied sich von den anderen Unkräuter. In der Variante „prog. rain“ stieg sie auf den Feuchtschwarzerden an, verringerte sich auf den tiefgründigen Schwarzerden und blieb auf den seichtgrundigen Schwarzerden konstant. Dies könnte auf den C4-Stoffwechsel der Poaceae zurückzuführen sein.

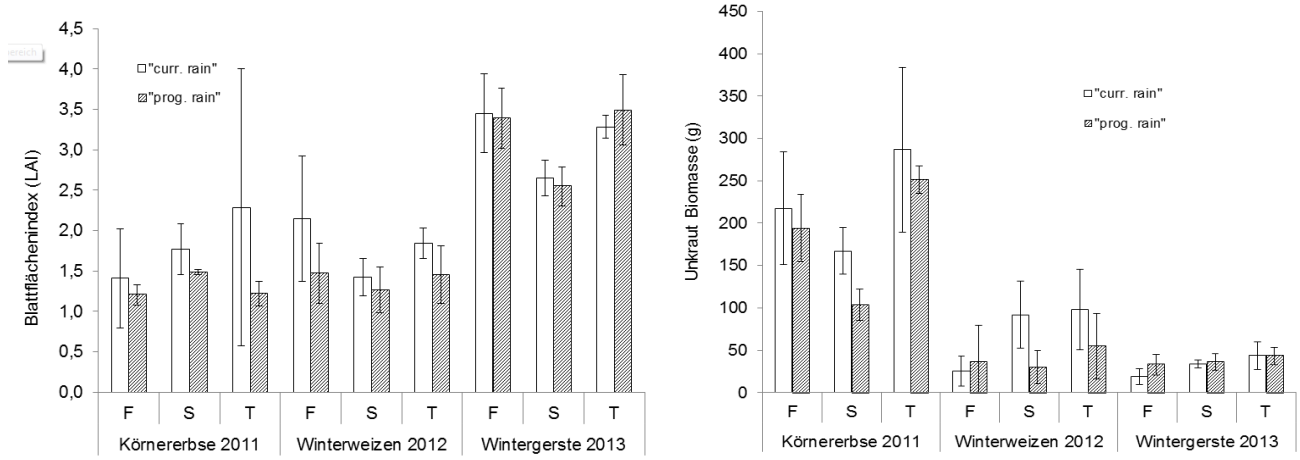


Abbildung 2: Blattflächenindex (Leaf area index LAI) und Unkraut -Biomasseproduktion von Körnererbse, Winterweizen und Wintergerste auf verschiedenen Bodentypen (Feuchtschwarzerde F, Sandiger Tschernosem S und Tiefgründiger Tschernosem T) unter derzeitigen und prognostizierten Niederschlagsmustern. Mittelwert ± Standardabweichung, n = 3.

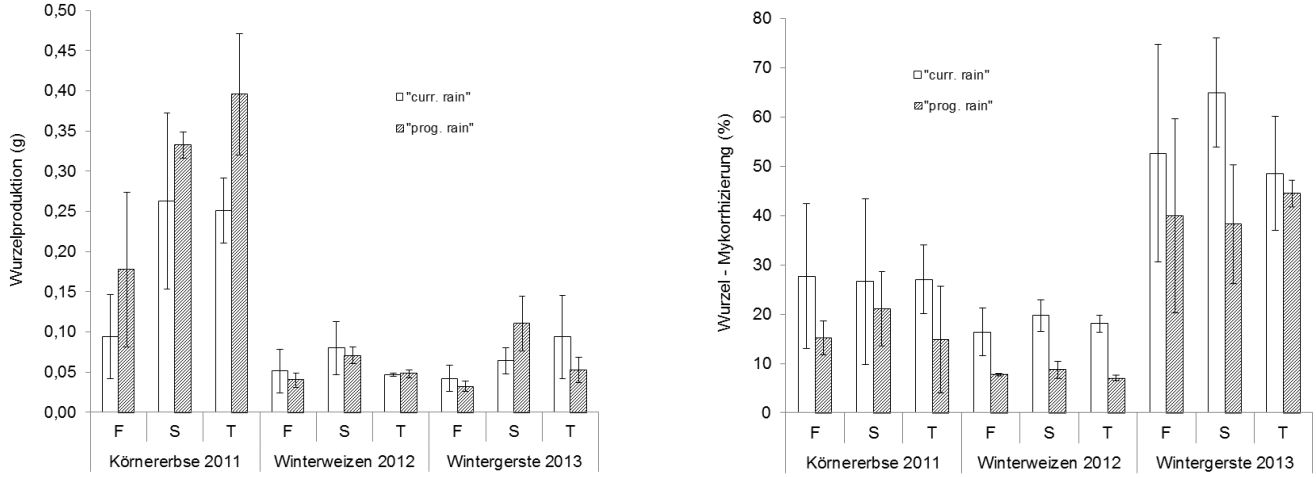


Abbildung 3: Wurzelproduktion und Mykorrhizierung bei Körnererbse, Winterweizen und Wintergerste auf verschiedenen Bodentypen (Feuchtschwarzerde F, Sandiger Tschernosem S und Tiefgründiger Tschernosem T) unter derzeitigen und prognostizierten Niederschlagsmustern. Mittelwert ± Standardabweichung, n = 3.

Die Wurzelproduktion bei der Körnererbse war unter prognostiziertem Niederschlag signifikant höher und wurde vom Bodentyp signifikant beeinflusst (Abbildung 3). Die Wurzelproduktion bei Gerste wurde vom Bodentyp signifikant beeinflusst (höchste Wurzelproduktion auf sandigen Böden), blieb aber unbeeinflusst vom Niederschlag. Die Wurzelproduktion bei Weizen war weder vom Niederschlag noch vom Bodentyp beeinflusst (Abbildung 3, Tabelle 2).

Die Kolonisierung der Wurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen war in allen drei Kulturpflanzen unter prognostiziertem Niederschlag signifikant niedriger als unter derzeitigem Niederschlag; der Bodentyp hatte im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Mykorrhizierung der Wurzeln (Abbildung 3, Tabelle 2).

Die Weizenblätter zeigten in allen Stichprobendaten signifikant niedrigere delta-13-C-Werte unter prognostiziertem als unter derzeitigem Niederschlag, was auf größeren Wasserstress hinweist; die Bodentypen hatten keinen Effekt auf delta-13-C-Signaturen (Abbildung 4)

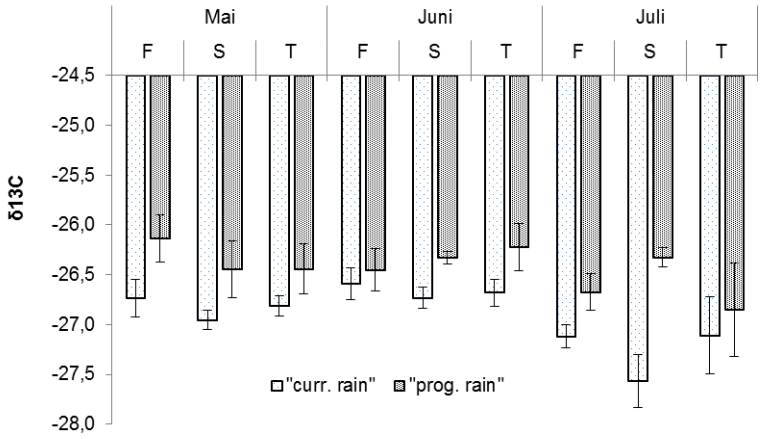


Abbildung 4: Signatur Stabiler Isotopen bei Blättern des Winterweizens auf verschiedenen Bodentypen (Feuchtschwarzerde -F, Sandiger Tschernosem -S und Tiefgründiger Tschernosem -T) unter derzeitigen und prognostizierten Niederschlagsmustern. Mittelwert ± Standardabweichung, n = 3.

Arthropoda

Die Abundanz der Arthropoden unterschied sich signifikant zwischen den Sammelterminen (Tabelle 3) und betrug gemittelt über die Niederschlagsbehandlungen und Bodentypen im April 20 ± 2 m^{-2}, im Mai 90 ± 20 m^{-2} und im Juni 133 ± 54 m^{-2} (Abbildung 5). Insgesamt waren die Hautflügler die dominante Ordnung im April, Schnabelkerfe (Wanzen, Zikaden, Pflanzensauger), Hautflügler und Milben waren dominant im Mai, während im Juni die Schnabelkerfe wieder die größte Dominanz erreichten. Von April bis Juni haben speziell die Schnabelkerfe, Springschwänze und Milben an Dominanz zugenommen. Gemittelt über die Sammelzeitpunkte, zeigte sich, dass die Gesamtabundanz der Arthropoden nicht durch Niederschlagsmuster oder Bodentypen beeinflusst waren, jedoch trat eine signifikante Interaktion zwischen Niederschlägen und Sammelzeitpunkt auf.

Bei Analyse der einzelnen Sammeltermine, zeigte sich, dass Niederschlagsvariationen einen signifikanten Einfluss auf Schnecken und Zikaden im April hatten (Annex, Abbildung 5). Etwa 61% weniger Zikaden und 69% weniger Schnecken konnten bei gegenwärtigen im Vergleich zu den zukünftigen Regenmustern gefunden werden. Im Mai zeigten die Regenvarianten einen signifikanten Effekt auf Springschwänze (Collembolen), Dipteren, Neuroptera und Heuschrecken (Abbildung 5). Gemittelt über die Bodentypen, zeigte sich, dass die Anzahl folgender Arthropodentaxa signifikant geringer unter den zukünftigen im Vergleich zu den gegenwärtigen Niederschlagsmustern war: Collembolen (-53%), Dipteren (-59%), Neuroptera (-73%) und Heuschrecken (-70%). Der Bodentyp hatte keinen Effekt auf die Abundanz von Arthropoden. Im Juni war gemittelt über die Bodentypen die Abundanz folgender Arthropodentaxa geringer unter zukünftigen im Vergleich zu den gegenwärtigen

Niederschlagsmustern: Spinnen (-56%), Zikaden (-47%), Laufkäfer (-62%), Collembolen (-62%), Glanzkäfer (-66%), Dipteren (-77%) sowie die Gesamtabundanz der Arthropoden (-61%). Bodentypen hatten keinen signifikanten auf Arthropoden im Juni.

Die Abundanz der Arthropoden in Wintergerste im Jahr 2013 war im Mittel ca. doppelt so hoch wie unter Winterweizen im Jahr 2012 (Abbildung 5 vs. 6). Wegen dieser hohen Abundanz und der infolgedessen sehr zeitaufwändigen Sortierungs- und Bestimmungsschritte werden hier nur vorläufige Daten präsentiert. Die bisherigen Daten zeigen, dass die Abundanz der Arthropoden im Jahr 2013 sowohl von Niederschlagsmuster als auch von den Bodentypen beeinflusst wurde. (Abbildung 6).

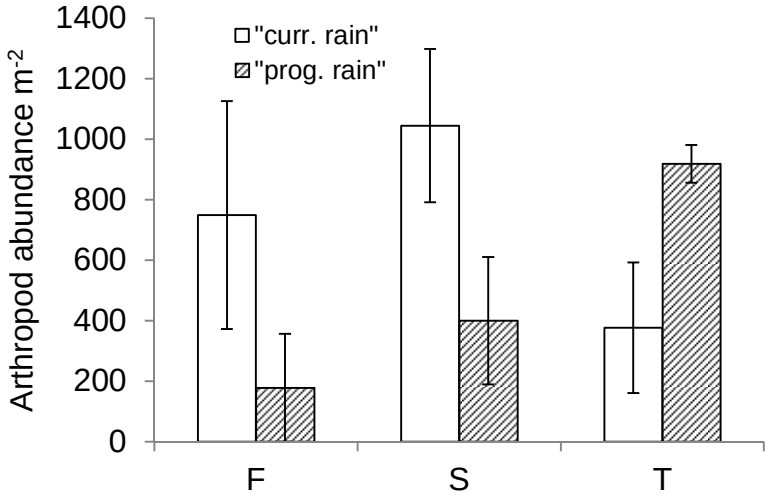


Abbildung 6. Mittlere Arthropodenabundanz pro m^2 im Juni 2013 in Wintergerste kultiviert unter gegenwärtigen („curr.rain“) und zukünftigen („prog.rain“) Niederschlagsszenarien bei den unterschiedlichen Bodentypen Feuchtschwarzerde (F), sandiger Tschernosem (S) und tiefgründiger Tschernosem (T).

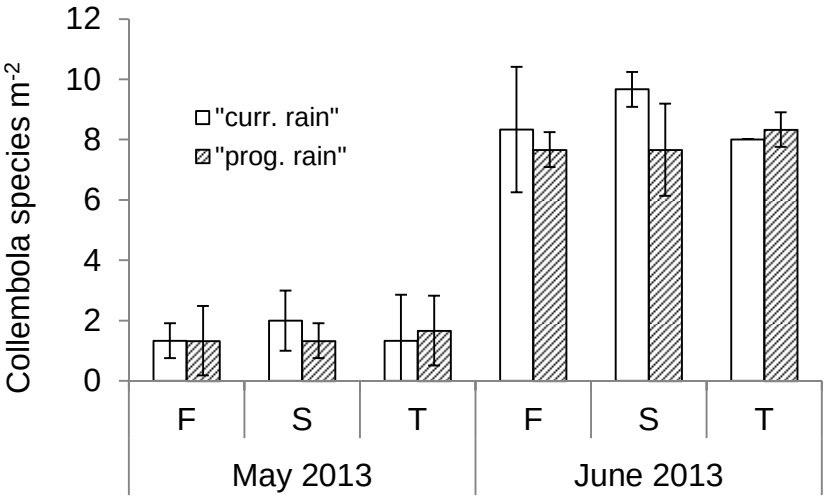


Abbildung 7. Mittlere Anzahl an Collembolenarten pro m^2 im Mai und Juni 2013 in Wintergerste kultiviert unter gegenwärtigen („curr.rain“) und zukünftigen („prog.rain“) Niederschlagsszenarien bei den unterschiedlichen Bodentypen Feuchtschwarzerde (F), sandiger Tschernosem (S) und tiefgründiger Tschernosem (T). Mittelwerte ± SD, n=3.

Die Anzahl an Collembolenarten war im Mittel 1.8 m^{-2} zum Sammeltermin Mai 2013 und ca. 8 m^{-2} Collembolenarten zur Juni-Sammlung (Abbildung 7). Die zwei Sammeltermine unterschieden sich signifikant

hinsichtlich ihrer Artenzahlen; Niederschläge oder Bodentypen hatten keinen signifikanten Effekt auf die Anzahl an Collembolenarten.

Die Abundanz der Collembolen war zur Maisammlung sehr niedrig, aber erreichte im Mittel 2000 Collembolen m-2 zur Juni-Sammlung 2013 (Abbildung 8). Die Collembolenabundanz war signifikant unterschiedlich zwischen den Sammelterminen, aber weder durch Regenfälle oder Bodentypen beeinflusst.

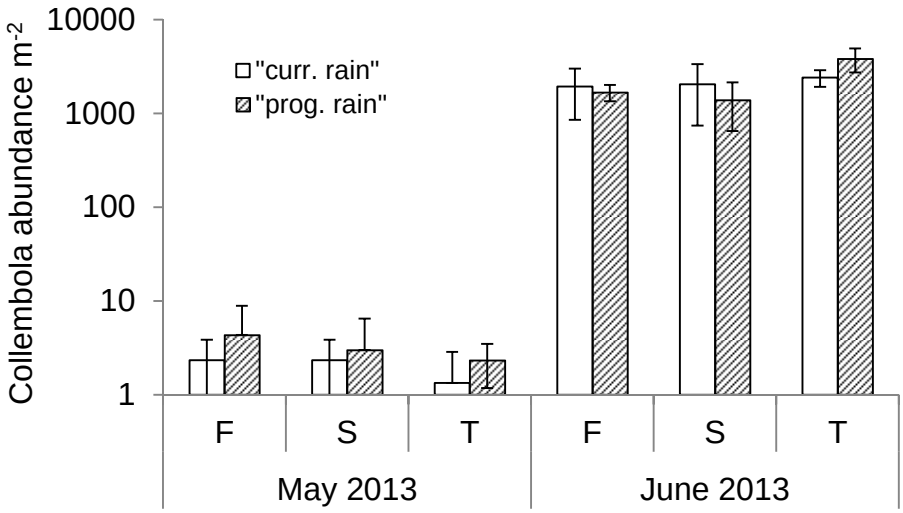


Abbildung 8. Mittlere Collembolenabundanz pro m^2 im Mai und Juni 2013 in Wintergerste kultiviert unter gegenwärtigen („curr.rain“) und zukünftigen („prog.rain“) Niederschlagsszenarien bei den unterschiedlichen Bodentypen Feuchtschwarzerde (F), sandiger Tschernosem (S) und tiefgründiger Tschernosem (T). Mittelwerte ± SD, n=3. Abszisse mit logarithmischer Skalierung.

Tabelle 3: Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse (ANOVA) des Einflusses der Beregnungsvarianten, des Probenahmezeitpunktes (April, Mai, Juni 2012) und der Bodentypen auf die Abundanz der oberirdischen Arthropoden bei Winterweizen

	F	p
Beregnung	2.89	0.098
Probenahmezeitpunkt	102.62	< 0.001
Bodentyp	0.17	0.844
Beregnung x Probenahmezeitpunkt	3.92	0.029
Beregnung x Bodentyp	0.79	0.460
Probenahmezeitpunkt x Bodentyp	0.74	0.571
Beregnung x Probenahmezeitpunkt x Bodentyp	0.39	0.812

Ergebnisse des AP 3 Boden – Biodiversität

Hypothesen

Bodenmikroarthropoden reagieren sehr empfindlich auf Änderungen des Bodenwasserhaushalts vor allem auf Bodentrockenheit (Kardol et al. 2011), da ihre Reproduktion und Entwicklung stark von Bodentemperatur und -feuchte beeinflusst werden (van Straalen 1994, Uvarov 2003). Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass Abundanz und/oder Artenreichtum von Hornmilben (Oribatida; Lindberg et al. 2002, Tsiafouli et al. 2005),

Springschwänzen (Collembola; Frampton et al. 2000, Pflug & Wolters 2001, Lindberg et al. 2002, Lensing et al. 2005, Tsiafouli et al. 2005 Shultz et al. 2006) und Raubmilben (Gamasida; Lindberg et al. 2002) abnehmen. Dementsprechend werden längere Trockenperioden und allgemein reduzierter Sommerniederschlag in der Variante mit prognostiziertem Niederschlag zu Trockenstress führen, der letztendlich einen Rückgang in Abundanz und Artenreichtum der Bodenmikroarthropoden bewirkt. Weiterhin wird es zu einer Veränderung in der Artengemeinschaft und Gemeinschaftsstruktur kommen, da trockenheitsempfindliche Arten durch trockenheitstolerante Arten ersetzt werden und der Anteil an seltenen Arten abnimmt. Es sind einige Interaktionen zwischen den Faktoren zu erwarten. Da die Bedingungen im ersten Jahr für alle Lysimeter gleich waren, werden Behandlungseffekte erst in späteren Jahren zum Vorschein treten. Die Behandlungsunterschiede werden saisonabhängig sein, d.h. im Sommer besonders ausgeprägt sein, da der Trockenstress im Sommer besonders stark sein wird. Da der sandige Boden die geringste Wasserhaltekapazität hat, wird dort der Trockenstress am stärksten ausgeprägt sein und zu deutlicheren Abnahmen der Abundanz und Diversität der Bodenmikroarthropoden führen.

Beprobung, Probenaufbereitung und statistische Analysen

Von 2011 bis 2013 wurden pro Jahr jeweils im Mai, Juli und September fünf Bodenproben mit Stahlzylindern der Maße 5.6 cm x 5.6 cm x 10 cm pro Lysimeter entnommen und zu einer Mischprobe für jedes Lysimeter vereinigt. Die Bodenarthropoden wurden mittels eines Berlese-Apparates über einen Zeitraum von drei Tagen in 10%ige Natriumbenzoatlösung extrahiert. Die Bodenextrakte wurden auf einem 63µm Sieb mit Ultraschall kurz gereinigt und dann in 70%igen Ethanol überführt. Die Auszählung und Bestimmung erfolgt mit Hilfe von Binokularen und eines Phasenkontrastmikroskops.

Alle Parameter, d.h. Abundanz, Artenreichtum und Artengemeinschaft von Collembola, Gamasida und Oribatida, wurden entsprechend eines Varianzanalysendesigns mit den Faktoren Niederschlag (aktuell, prognostiziert), Bodentyp (sandige Schwarzerde, tiefgründige Schwarzerde, Feuchtschwarzerde), Saison (Mai, Juli, September) und Jahr (2011, 2012, 2013) analysiert. Abundanz und Artenreichtum wurden mit R 2.15.2 (R Core Team 2012) und die Artengemeinschaft mit PRIMER v6 + Add-on PERMANOVA. Die Ergebnisse der Varianzanalysen finden sich in Tabelle 4

Ergebnisse für Collembola

Die Collembolen reagierten sehr verhalten auf die Beregnungsbehandlung. Über den gesamten Zeitraum wurde weder die Abundanz noch die Diversität signifikant durch den Niederschlag beeinflusst. Die Variabilität beider Parameter war gering (Abb. 9., 10). Die Abundanz war in der Trockenvariante nur tendenziell etwas geringer so wie in anderen Studien auch (Lindberg et al. 2002, Tsiafouli et al. 2005, Kardol et al. 2011, Seeber et al. 2012). Im Gegensatz dazu wurde eine signifikante Abnahme durch Trockenheit bei Pflug & Wolters (2001), Lensing et al. (2005), Lindberg und Bengtsson (2006) und Shultz et al. (2006) beobachtet. Die Diversität zeigte ebenfalls ambivalente Ergebnisse mit signifikanter Abnahme (Pflug & Wolters 2001, Lindberg et al. 2002, Jucevica und Melecis 2006, Lindberg und Bengtsson 2006, Xu et al. 2012) und keinem Effekt (Tsiafouli et al. 2005, Kardol et al. 2011, Holmstrup et al. 2013).

Die Artengemeinschaft wurde entsprechend des Tests durch die Behandlung beeinflusst, was aber in der visuellen Überprüfung mittels Ordination nicht bestätigt werden konnte. Das positive Testergebnis ist vermutlich eine Auswirkung der signifikant unterschiedlichen Varianz der beiden Gruppen sowie der Störung des Tests durch signifikante Interaktionen. Die Artenzusammensetzung in dieser Studie änderte sich im Prinzip nicht. Dieselben drei Gattungen (*Mesaphorura*, *Neotullbergia*, *Onychiurus*) dominierten sowohl bei aktuellem als auch prognostiziertem Niederschlag. Eine gewisse Rangverschiebung gab es bei den subdominanten Arten.

Auswirkungen von Trockenheit auf die Artengemeinschaft sind inkonsistent. Es wurden sowohl Änderungen der Gemeinschaft (Lindberg et al. 2002) als auch kein Effekt (Tsiafouli et al. 2005) beschrieben. Eine schnelle Erholung von den Auswirkungen von längerer Trockenheit wurde für Abundanz, Artenreichtum und Artengemeinschaft innerhalb von 1-3 Jahren beobachtet (Lindberg und Bengtsson 2006).

Eine signifikante Interaktion wurde nur für die Artengemeinschaft gefunden ebenfalls mit signifikanten Unterschieden der Streuung. Die Unterschiede in der Artengemeinschaft waren größer zwischen den einzelnen Jahren in beiden Behandlungen als zwischen den Behandlungen. Ein Unterschied zwischen aktuellem und prognostiziertem Niederschlag gab es nur im letzten Jahr des Untersuchungszeitraums. Das zeigt, dass Collembolen verzögert auf veränderte Niederschlagsmuster reagieren und Artenverschiebungen sich über einen längeren Zeitraum möglicherweise akkumulieren. Weiterhin wurde keine Interaktion zwischen Behandlung und Saison festgestellt. Behandlungsunterschiede zwischen den Bodentypen gab es in der Artengemeinschaft und für den Artenreichtum. Es waren weniger Arten in der tiefgründigen Schwarzerde als in der Feuchtschwarzerde bei aktuellem Niederschlag und weniger Arten in der sandigen Schwarzerde als in beiden anderen Bodentypen in der Trockenvariante. Die höhere Wasserhaltekapazität von tiefgründiger und feuchter Schwarzerde hat vermutlich den erhöhten Trockenstress abgeschwächt. Die Artengemeinschaft im Sinne der Reihenfolge der häufigen Arten war signifikant verschieden zwischen den einzelnen Bodentypen in jeder Behandlung als auch zwischen aktuellem und prognostiziertem Niederschlag für jeden Bodentyp. Eine abweichende Reaktion von Springschwänzen und Milben auf Trockenheit wurde für einen sauren und basischen Boden beobachtet. Die Biomasse beider Gruppen und die Anzahl der Collembolengattungen waren signifikant geringer bei Trockenheit im sauren Boden während es beim basischen Boden keine Trockenheitseffekte gab (Xu et al. 2012).

Tabelle 4: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Faktoren Niederschlag (aktuell, prognostiziert), Bodentyp (sandige Schwarzerde, tiefgründige Schwarzerde, Feuchtschwarzerde), Saison (Mai, Juli, September) und Jahr (2011, 2012, 2013) sowie alle Zweifachinteraktionen für Abundanz (Ab, Individuen m^{-2}), Artenzahl (Az) und Artengemeinschaft (Ag) aller drei Bodenmikroarthropodengruppen, signifikante Effekte sind fett hervorgehoben

Faktor	df		Collembola			Gamasida			Oribatida		
			Ab	Az	Ag	Ab	Az	Ag	Ab	Az	Ag
Nieder-schlag	1	F	0,691	0,743	**4,1565**	0,419	3,274	**3,8581**	0,078	**26,299**	**12,025**
		P	0,4078	0,3908	**0,0004***	0,519	0,0732	**0,0021***	0,7809	**<0,0001**	**<0,0001**
Bodentyp (B)	2	F	**6,894**	**9,263**	**12,181**	**143,517**	**14,451**	**21,634**	1,021	**13,173**	**32,547**
		P	**0,0015**	**0,0002**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	0,3636	**<0,0001**	**<0,0001**
Saison (S)	2	F	2,454	2,054	**7,7134**	**22,178**	**9,757**	**16,057**	0,684	**5,032**	**6,5005**
		P	0,0908	0,1333	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0001**	**<0,0001**	0,5066	**0,0081**	**<0,0001**
Jahr (J)	2	F	0,249	**30,842**	**21,994**	**23.634**	**6,179**	**10,571**	**9,948**	**8,881**	**25,47**
		P	0,7802	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0029**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0003**	**<0,0001**
N x B	2	F	1,825	**3,261**	**4,0616**	**3,626**	0,451	**2,7749**	**5,299**	0,914	**6,8555**
		P	0,1662	**0,0422**	**0,0003**	**0,0299**	0,638	**0,0009***	**0,0064**	0,4039	**<0,0001**
N x S	2	F	0,02	0,526	1,0881	1,631	**5,322**	0,6307	0,807	**3,8**	1,7324
		P	0,9797	0,5923	0,3358	0,2005	**0,0062**	0,8654	0,449	**0,0254**	0,0675*
N x J	2	F	0,954	0,255	**1,8471**	**11,641**	**3,54**	0,7893	0,387	0,728	**2,5907**
		P	0,3884	0,7754	**0,0327***	**<0,0001**	**0,0324**	0,6880	0,6802	0,4852	**0,0047**
B x S	4	F	0,646	0,455	1,3152	**3,264**	**5,363**	**1,7717**	2,337	0,34	**1,7265**
		P	0,6312	0,7683	0,1252	**0,0144**	**0,0006**	**0,0122***	0,0598	0,8505	**0,0264***
B x J	4	F	0,575	0,797	**2,585**	**3,415**	1,907	**1,9168**	1,841	2,358	**3,5704**
		P	0,6815	0,5299	**0,0002***	**0,0114**	0,1145	**0,0041***	0,1261	0,058	**<0,0001**
S x J	4	F	0,726	**13,626**	**4,5708**	**16,798**	**5,58**	**5,7779**	**9,712**	**5,352**	**5,043**
		P	0,5759	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0004**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0006**	**<0,0001**

df – Freiheitsgrade, * Varianzheterogenität signifikant

Ergebnisse für Gamasida

Das Beregnungsexperiment zeigte für den gesamten Zeitraum keine Auswirkungen auf Abundanz und Artenreichtum von Raubmilben, die stärker variierten als bei den Springschwänzen (Abb. 11, 12), was durch mehrere vorherige Studien bestätigt wird, die ebenfalls keine Reaktion auf Trockenheit bei dieser Gruppe feststellen konnten (Kardol et al. 2011, Eisenhauer et al. 2012, Holmstrup et al. 2013). Deutlich geringere Abundanz bei Trockenheit als in Kontrollflächen wurde anderswo beobachtet, war aber aufgrund der hohen Streuung nicht signifikant (Lindberg et al. 2002). Milben, die in Habitaten mit wiederkehrenden Trockenperioden wie Grasland und Brachen leben, sind vermutlich an starke saisonale Schwankungen der Bodenfeuchte angepasst und tolerieren bzw. reagieren nicht auf mäßige Änderungen des Bodenwassergehaltes (O'Leary und Blair 1999, Kardol et al. 2011). Da viele landwirtschaftliche Böden ebenfalls periodischer Trockenheit ausgesetzt sind, können sich für Äcker typische Milbenarten vermutlich relativ gut an trockene Bedingungen anpassen.

Die Artengemeinschaft war in den beiden Behandlungen signifikant verschieden, was aber in den Ordinationsdiagrammen nicht sichtbar wurde. Das positive Testergebnis ist vermutlich eine Auswirkung der signifikant unterschiedlichen Varianz der beiden Gruppen sowie der Störung des Tests durch signifikante Interaktionen. Die Artenzusammensetzung in dieser Studie änderte sich im Prinzip nicht. Dieselben vier Arten (*Rhodacarellus silesiacus, Protogamasellus mica*, *Protogamasellus hibernicus, Hypaspis aculeifer*) dominierten sowohl bei aktuellem als auch prognostiziertem Niederschlag. Eine gewisse Rangverschiebung gab es nur bei den subdominanten Arten *Rhodacarus furmanae* und *Pachylaelaps karawaiewi*, die aber ebenfalls signifikante Varianzheterogenität aufwiesen. Obwohl einige Arten eine variierende Sensitivität gegenüber Trockenheit zeigten, war der Regenrückgang von ca. 30% und die ca. 36% längeren Trockenperioden (Tataw et al. 2014) ungenügend, um deutliche Änderungen in der Artenzusammensetzung hervor zu rufen.

Wie erwartet gab es im ersten Jahr keinen Effekt, d.h. eine signifikante Interaktion zwischen Behandlung und Jahr. 2012 waren Abundanz und Diversität signifikant höher bei aktuellem Niederschlag, während 2013 die Abundanz in der Trockenvariante signifikant höher war und der Artenreichtum unbeeinflusst. Weiterhin unterschied sich die Abundanz zwischen den Jahren in beiden Behandlungen. Im aktuellen Regenregime waren Abundanz und Artenreichtum 2012 signifikant höher als 2011, während unter prognostizierten Niederschlag die Abundanz 2013 signifikant höher war als 2011 und der Artenreichtum in allen drei Jahren gleich war. Das zeigt, dass generelle Muster in so einem kurzen Zeitraum nicht abgeleitet werden können aufgrund der großen Variabilität zwischen einzelnen Jahren. Die entgegen den Erwartungen höhere Abundanz in der Trockenvariante 2013 ist mit Vorsicht zu betrachten. Während 2012 sieben der neun häufigen Arten einen mehr oder weniger deutlichen Rückgang bei prognostiziertem Niederschlag zeigten, war 2013 die Abundanz von nur drei der gewöhnlichen Arten in der Trockenvariante erhöht. Es wurden keine saisonal unterschiedlich ausgeprägten Auswirkungen der Niederschlagsbehandlung beobachtet.

Es gab keine Unterschiede für Abundanz und Artenreichtum zwischen den Behandlungen für alle Bodentypen, d.h. die geringe Wasserhaltekapazität der sandigen Schwarzerde hatte keinen Einfluss auf die Beregnungsauswirkungen. Große Unterschiede gab es zwischen allen Bodentypen in jeder Behandlungsvariante mit signifikant höheren Dichten in der sandigen Schwarzerde als in den beiden anderen Bodentypen. Daraus folgt, dass andere Bodeneigenschaften wie die Porosität oder der Gehalt an organischer Materie wichtiger sind für Milben. Böden mit höherem Tongehalt verfügen über einen kleineren Porenraum und beschränken die Bewegung von Mikroarthropoden (O'Leary und Blair 1999). Eine Behandlung x Bodentyp Interaktion wurde für die Artengemeinschaft gefunden, was aber vermutlich auf die signifikanten Streuungsunterschiede zurückzuführen ist.

Ergebnisse für Oribatida

Wie bei den Raubmilben war die Variabilität von Abundanz und Artenreichtum der Hornmilben zwischen Probenahmeterminen, Behandlung, Bodentypen bzw. einzelnen Lysimetern sehr hoch (Abb. 13,14). Die

Abundanz wurde nicht durch die Behandlung beeinflusst, was in vorherigen Studien ebenfalls beobachtet wurde (Tsiafouli et al. 2005, Kardol et al. 2011, Eisenhauer et al. 2012, Holmstrup et al. 2013). Der Artenreichtum war signifikant höher bei aktuellem Niederschlag als in der Trockenvariante, was durch andere Studien bestätigt wird (Lindberg et al. 2002, Tsiafouli et al. 2005, Lindberg und Bengtsson 2006).

Die Artengemeinschaft wurde signifikant durch die Behandlung beeinflusst. Trotz fehlender Varianzhomogenität scheint das Ergebnis plausibel, da die Gemeinschaftsstruktur verändert wurde. In der Trockenvariante summierten sich die Abundanzen der drei häufigsten Arten (*Scheloribates fimbriatus*, *Microppia minus*, *Epilohmannia cylindrica*) auf 80% aller Individuen, während die drei häufigsten Arten bei aktuellem Niederschlag (*Microppia minus*, *Epilohmannia cylindrica*, *Protoribates capucinus*) zusammen 67% der Gesamtindividuenzahl ausmachten. Weiterhin traten größere Rangverschiebungen für einige häufige Arten auf (*Scheloribates fimbriatus*, *Protoribates capucinus*, *Graptoppia paraanalis*, *Tectocepheus velatus*, *Hypochthonius luteus*, *Ceratozetes longispina*) und die Anzahl an seltenen Arten war in der Trockenvariante etwas geringer. Ähnliche Änderungen in der Artengemeinschaft wurden anderswo beobachtet (Lindberg et al. 2002, Lindberg und Bengtsson 2006). Auswirkungen von Trockenheit auf die Artengemeinschaft von Oribatiden scheinen langlebig zu sein. Die Artenzusammensetzung von Erholungsflächen, d.h. Flächen die vorher Trockenstress ausgesetzt waren und dann wieder aktuelle, höhere Niederschlagsmengen bekamen, näherte sich der Zusammensetzung der Kontrollflächen an, blieb aber deutlich davon verschieden (Lindberg und Bengtsson 2006).

Die erwartete Behandlung x Jahr Interaktion war nur für die Artengemeinschaft signifikant. Die Gemeinschaft unterschied sich zwischen den Behandlungsvarianten in jedem Jahr, d.h. es gab bereits zu Beginn des Experiments einen Unterschied in der Artenzusammensetzung zwischen den Niederschlagsvarianten aus unbekannter Ursache. Das muss bei der Interpretation der Daten mit berücksichtigt werden. Weiterhin konnte keine saisonale Abhängigkeit der Niederschlagsauswirkungen für Abundanz und Artengemeinschaft festgestellt werden. Einzig die Artenanzahl war bei aktuellem Niederschlag höher als bei prognostiziertem Niederschlag im Juli und September. Sie war außerdem in der Trockenvariante im Mai höher als im Juli und September.

Es gab keine Unterschiede bei Abundanz und Artenanzahl zwischen den Behandlungsvarianten in allen Bodentypen. Im Gegensatz dazu unterschied sich die Abundanz zwischen Bodentypen in jeder Behandlungsvariante. Bei aktuellem Niederschlag war die Abundanz in der sandigen und tiefgründigen Schwarzerde signifikant höher als in der Feuchtschwarzerde. In der Trockenvariante war es genau umgekehrt. Der im Allgemeinen etwas höhere Wassergehalt der Feuchtschwarzerde hat die negativen Auswirkungen vom Trockenstress abgeschwächt. Die Artengemeinschaft war sowohl zwischen den Bodentypen in beiden Behandlungsvarianten als auch zwischen den Niederschlagsbehandlungen bei der Feuchtschwarzerde und der tiefgründigen Schwarzerde unterschiedlich.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Antwort von Mikroarthropoden auf veränderte Bodenwassergehalte ist nichtlinear. Die Gemeinschaften in etwas trockeneren Gebieten sind vermutlich toleranter gegenüber Veränderungen der Bodenfeuchte und passen sich trockenen Bedingungen an (O'Lear und Blair 1999). Sie reagieren möglicherweise nicht auf mäßige Änderungen der Niederschlagsmenge. Ein sichtbarer Effekt tritt vermutlich nur bei extremen Änderungen der Feuchtebedingungen auf. Die in diesem Versuch erzielte Niederschlagsreduktion von ca. 30% war nicht ausreichend, um deutliche Änderungen in Abundanz, Diversität und Artengemeinschaft der untersuchten Mikroarthropoden hervor zu rufen. Alle Lysimeter erhielten im Winter dieselben Niederschlagsmengen, da die Überdachung jedes Mal entfernt wurde, wodurch die Auswirkungen des reduzierten Niederschlags möglicherweise gedämpft wurden.

Weiterhin hängt die Antwort der Mikroarthropoden davon ab, welche Arthropodengruppe untersucht wird, da verschiedene Gruppen unterschiedlich reagieren. Die Abundanz der Hornmilben reagierte nur auf den Faktor ‚Jahr' und die der Springschwänze nur auf den Bodentyp, während die Raubmilbenabundanz von allen vier Faktoren beeinflusst wurde. Ein ähnliches Bild ergab sich bei den Interaktionen mit jeweils zwei Interaktionen für Hornmilben (Niederschlag x Bodentyp, Saison x Jahr), während bei den Raubmilben fast alle Zweifachinteraktionen signifikant waren. Ebenso war der Artenreichtum der Milben von fast allen Faktoren und Faktorinteraktionen beeinflusst, während die Diversität der Collembolen nur auf Bodentyp und Jahr reagiert mit zwei signifikanten Interaktionen (Niederschlag x Bodentyp, Saison x Jahr). Im Gegensatz dazu wurden die Artengemeinschaften aller drei Gruppen signifikant von allen Faktoren beeinflusst. Wobei zu beachten ist, dass oft die Voraussetzung der Varianzhomogenität nicht gegen war, so dass die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Des Weiteren war die Dauer des Experiments eigentlich zu kurz, um substanzielle Veränderungen bei Abundanz, Diversität und Artenzusammensetzung von Tiergruppen festzustellen, die in einem gut gepufferten System wie dem Boden leben. Bei der Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels muss die Zeitverzögerung des Bodensystems mit berücksichtigt werden. Viele Bodentiere wie Milben und Springschwänze reagieren langsam und mit hoher zeitlicher Variabilität auf Veränderung der Bedingungen wie diese und andere Studien verdeutlichen. Alle drei hier untersuchten Gruppen zeigten wesentliche Änderungen in Abundanz und Diversität erst 4-6 Jahre nach der Umstellung von konventionellen auf biologischen Ackerbau (Bruckner 2011). Eine Trockenphase im Sommer über einen Zeitraum von vier Jahren hatte nur geringe Auswirkungen auf mehrere Bodentiergruppen (Eisenhauer et al. 2012). Koehler und Melecis (2010) geben fünf Jahre als ungefähren Zeitraum an, um Veränderungen in den Gemeinschaften der Bodenmikroarthropoden festzustellen, was die Bedeutung von Langzeituntersuchungen unterstreicht. Wie es scheint, sind langfristige Antworten der Bodenfauna auf Faktoren mit natürlicher Variation wie Temperatur und Niederschlag eher graduell (Blankinship et al. 2011). Selbst eine über 13 Jahre andauernde, wiederholte Trockenbehandlung in feuchten und trockenen Heideböden hatte nur schwache Effekte auf die Collembolengemeinschaft, während wichtige Milbengruppen praktisch unbeeinflusst waren (Holmstrup et al. 2013). Daher ist ein längerer Untersuchungszeitraum nötig, um Effekte des Klimawandels auf die Biodiversität des Bodens zu verifizieren.

Hinzu kommt, dass die Antworten der Bodenmikroarthropoden auf Niederschlagsveränderungen zeitlich und räumlich inkonsistent sind. Einige Studien finden signifikante Auswirkungen und andere nicht. Auswirkungen veränderten sich in Abhängigkeit von Saison und Jahr. In manchen Ökosystemen oder Gebieten waren Auswirkungen von Trockenheit deutlicher als in anderen Ökosystemen oder Gebieten. Die meisten Studien zu Effekten veränderter Niederschlagsmuster sind für den Vergleich mit Agrarökosystemen wenig geeignet, da sie meist in Waldökosystemen und Heideland sowie trockenen oder alpinen Grasländern durchgeführt wurden. Die einzige Studie, die in Ackerland stattfand, betrachtete nur oberirdische Collembolen.

Zusammenfassend können mit den vorliegenden Daten keine verlässlichen Rückschlüsse auf die Auswirkungen veränderter Niederschlagsmuster auf die Bodenmikroarthropoden Springschwänze, Hornmilben und Raubmilben und die daraus resultierenden Folgen für Agrarökosysteme gezogen werden. Die Gründe dafür sind die hohe zeitliche Variabilität, die variierende Antwort der untersuchten Bodenfaunagruppen, der hohe Grad an Varianzheterogenität und der starke Einfluss der Bodentypen.

Ergebnisse des AP 4 – mikrobielle Aktivität

Cotton Strip Assay (CSA)

Leider konnten die Ergebnisse des CSA-Tests nicht verwendet werden, da es wider Erwarten zu einer Zunahme der Reißfestigkeit kam. Dieser Effekt wurde zwar bereits von French (1988) beschrieben und dürfte auf vermehrtes Einwachsen von Pilzhyphen zurückzuführen sein. Wir konnten dieses Phänomen jedoch in mehr als zehn Jahren Versuchstätigkeit noch nie feststellen. Da trotz intensiver Datenanalyse keine sinnvolle Auswertung möglich war, wurden die Daten nicht für weitere Aussagen verwendet

Substrat-induzierte Respiration (SIR)

Angesichts der Effekte der experimentellen "prog.rain"-Variante auf das Pflanzenwachstum haben wir ausgeprägt negative Auswirkungen der Niederschlagsreduktion auch auf die SIR- und MSIR-Messungen erwartet.

Die experimentellen Faktoren: Bodentyp, Jahr und Saison hatten einen signifikanten Einfluss auf die SIR-Daten der Bodenproben. Dasselbe galt für die Interaktionen zwischen Treatment und Bodentyp und Jahr und Saison (Tabelle 5). Graphisch zeigten sich besonders hohe Respirationswerte im Frühjahr (und weniger deutlich Sommer) 2012 und in den Bodentypen F und T (Abbildung 15).

Es gab keine signifikante Auswirkung des Faktors Treatment auf die Bodenatmungswerte: Die Mittelwerte der beiden Treatment-Levels "curr.rain" und "prog.rain" verliefen in der Untersuchungsperiode mehr oder weniger parallel (Tabelle 5, Abbildung 15). Zwar könnten vorhandene Unterschiede zwischen den Treatment-Levels durch die generell große zeitliche Variabilität überdeckt worden sein (Abbildung 15; beachte auch die signifikante Interaktion zwischen Treatment und Bodentyp), der Effekt des Faktors Treatment ist aber jedenfalls klein gegenüber anderen Quellen der Datenvariabilität.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
treatment	1	186	185.6	3.061	0.083011	.
soil	2	1767	883.5	14.573	2.49e-06	***
year	2	4326	2163.1	35.679	1.27e-12	***
season	2	1046	523.1	8.629	0.000334	***
treatment:soil	2	458	229.1	3.780	0.025908	*
treatment:year	2	239	119.4	1.969	0.144616	
treatment:season	2	26	12.9	0.213	0.808779	
soil:year	4	246	61.4	1.013	0.403905	
soil:season	4	193	48.2	0.796	0.530394	
year:season	4	881	220.2	3.631	0.008129	**
treatment:soil:year	4	145	36.1	0.596	0.666299	
treatment:soil:season	4	84	21.1	0.348	0.844764	
treatment:year:season	4	180	44.9	0.740	0.566528	
soil:year:season	8	221	27.6	0.455	0.884605	
treatment:soil:year:season	8	372	46.5	0.766	0.632963	
Residuals	108	6548	60.6			

Tabelle 5: ANOVA-Tafel der Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die Substrat-induzierte Respiration (SIR) der Bodenmikroorganismen.

Multi-SIR

Alle untersuchten Faktoren und die Interaktion zwischen Treatment und Bodentyp hatten einen signifikanten Einfluss auf die MSIR-Daten (Tabelle 6). Trotz dieser Signifikanzen waren die Unterschiede zwischen den Faktoren des Faktors Treatment nie groß, wie der große Überlappungsbereich zwischen den Treatment- und Bodentyp-Punktgruppen (Abbildung 16) und die geringe Erklärungskraft der PCA (die beiden ersten Hauptkomponenten erklären nur 64% der Gesamtvariabilität) erkennen lassen. Das bedeutet, dass die experimentelle Niederschlagsveränderung zwar eine Veränderung der funktionellen Diversität der Bodenmikroorganismen bewirkte, diese Veränderung aber nicht groß war und außerdem vom Bodentyp abhing.

Eine detaillierte grafische Analyse der einzelnen Substrate zeigte für alle Substrate generell niedrigere Atmungswerte in der "prog.rain"-Variante, aber auch hier bewirken die Faktoren Saison, Jahr und Bodentyp eine große Variabilität der Daten, gegenüber der der absolute Effekt des Treatments gering ist (Abbildungen 17, 18 und 19).

Tabelle 6: Test der Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die funktionelle Diversität der Bodenmikroorganismen (permutationsbasierte MANOVA). Die Ergebnisse können wie eine gewöhnliche ANOVA-Tafel gelesen werden.

	Df	SumsOfSqs	MeanSqs	F.Model	R2	Pr(>F)	
treatment	1	120.5	120.46	4.8283	0.02187	0.011	*
soil	2	266.3	133.15	5.3370	0.04835	0.001	***
year	2	1073.9	536.97	21.5235	0.19498	0.001	***
season	2	183.3	91.63	3.6729	0.03327	0.009	**
treatment:season	2	9.0	4.49	0.1799	0.00163	0.990	
treatment:soil	2	155.6	77.81	3.1190	0.02826	0.015	*
soil:season	4	56.9	14.22	0.5698	0.01032	0.840	
Residuals	146	3642.4	24.95		0.66132		
Total	161	5507.8			1.00000		

Diskussion

In dieser Arbeit wurden keine signifikanten Auswirkungen der experimentellen Niederschlagsmanipulation auf die untersuchten mikrobiellen Parameter gefunden (SIR), oder die Auswirkungen waren zwar signifikant, im Ausmaß aber unbedeutend (MSIR). Die hier eingesetzten Methoden gelten als empfindlich für den Nachweis anthropogener Einflüsse auf Böden, wie beispielsweise hinsichtlich Landnutzung, Bodenversauerung und toxischen Substanzen (Graham & Haynes 2005, Shi et al. 2005, Peham & Bruckner 2012). Daher sind die geringen bzw. nichtsignifikanten Auswirkungen des Faktors Treatment überraschend, vor allem angesichts der massiven Einflüsse der Manipulation auf die Pflanzenproduktivität (siehe entsprechende Teile dieses Berichts), die eine wesentliche Einflussgröße der mikrobiellen Ökologie von Böden ist.

Offenbar sind die verwendeten Methoden schlecht zur Charakterisierung des Status quo des mikrobiellen Lebens und dessen Lebensraumbedingungen geeignet, sondern geben mehr ein "Reaktionspotenzial" bei optimierten Bedingungen wieder. Sowohl bei SIR und MSIR werden leicht abbaubare Substrate dem Boden zugegeben und die einsetzende respiratorische Reaktion unter nahezu perfekten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen registriert. Diese Methoden sind daher besonders gut für die Indikation von Stressoren, die die Lebensbedingungen nachhaltig beeinflussen, also trotz Zugabe der Substrate noch nachweisbare Wirkung zeigen. Beispielsweise werden die Messbedingungen die Effekte von Toxinen nicht wesentlich verändern; Toxine sind auch während der Messung in den Bodenproben wirksam und können dort die mikrobielle Atmung beeinflussen.

In dieser Untersuchung hat die Manipulation der mikrobiellen Lebensbedingungen im Wesentlichen in einer dreijährigen Reduktion verfügbaren Bodenwassers bestanden. Selbst wenn diese Behandlung vermutlich einen Effekt auf die Mikroorganismen der Böden in den Lysimetern hatte, dürften wir diesen Effekt während der Messungen wieder aufgehoben haben. Mögliche negative Auswirkungen der Manipulation waren also offenbar nicht so wirksam, dass sie eine nachhaltige Reduktion der mikrobiellen Aktivität in den Messungen bewirkt hätten.

Diese Befunde sprechen dagegen, dass Niederschlagsrückgänge durch den Klimawandel kurzzeitige Effekte auf die Funktion von Bodenmikroorganismen haben können. Zwar fanden Castro et al. (2010) in einer vergleichbaren Studie signifikante Auswirkungen reduzierter Beregnungsmengen auf die bakterielle und pilzliche Abundanz und auf die mikrobielle Gemeinschaftsstruktur der untersuchten Böden - Effekte auf der taxonomischen Ebene scheint es also durchaus zu geben. Unsere Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass das mikrobielle Bodenleben trotz

solcher Veränderungen der Dominanzstrukturen in der Lage ist, "harte Zeiten" geringer Wasserverfügbarkeit zu überdauern und seine Ökosystemleistungen rasch wieder aufzunehmen.

Das bezieht sich allerdings nur auf kurzfristige Veränderungen des Bodenwasserhaushalts. Es ist zu befürchten, dass Klimawandel im Verlauf von Jahrzehnten eine langfristige Verschlechterung der Lebensbedingungen und der mikrobiellen Gemeinschaften in Böden bewirken kann. Das kann beispielsweise zur Folge haben, dass sich durch Trockenheit die Einträge organischen Kohlenstoffs über tote ober- und unterirdische Biomasse und Wurzelexsudate verringern und so anhaltende Veränderungen der mikrobiellen Diversität und der mikrobiellen Ökosystemfunktionen bewirken.

PLFAs

Bereits drei Monate nach Versuchsbeginn zeigten sich Einflüsse der Beregnung auf die gesamte Biomasse. Während der gesamten drei Jahre des Versuchs konnten Einflüsse der Beregnung und des Bodentyps auf die PLFA-Muster festgestellt werden. Die Ergebnisse der ANOVA zeigten einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Bodentyp und dem Probenahmezeitpunkt für Gram-positive Bakterien. Im Sommer und im Herbst konnte ein deutlicher Anstieg festgestellt werden. Ähnliches zeigte sich auch für Gram-negative Bakterien, hier war auch noch ein Effekt des Faktors Probenahmezeitpunkt x Jahr erkennbar. Auch zwischen den Jahren konnten signifikante Zusammenhänge festgestellt werden. Für die gesamte Bakterienpopulation zeigten sich signifikante Effekte des Bodentyps, des Probenahmezeitpunkts und der Probenahmezeitpunkte während der Jahre. Pilze reagierten hoch signifikant auf die Faktoren Probenahmezeitpunkt sowie Probenahmezeitpunkt x Jahr. Die Beregnungsvarianten zeigten keinerlei Effekt. Das Verhältnis zwischen Bakterien und Pilzen reagierte auf nahezu alle Faktoren, auch auf die Beregnung. Die Gesamtmenge der PLFA wurde durch die Beregnung nicht beeinflusst, sehr wohl aber durch den Bodentyp, den Probenahmezeitpunkt und den Faktor aus Probenahmezeitpunkt x Jahr.

Durch das Entfernen des Folientunnels im Winter konnte sich in allen Varianten wieder ein gleicher Wassergehalt einstellen. Lediglich während der Vegetationsperiode ergaben sich Unterschiede aufgrund der Bewässerung, was sich in einer kurzfristigen Reaktion der PLFA-Summe zeigte. Gleiches konnte für den Herbsttermin festgestellt werden. Im zweiten Jahr zeigten die Gram-negativen Bakterien einen Anstieg in der Variante „prog.rain“, dies könnte auf eine beginnende Adaptierung an den Trockenstress hinweisen. Allerdings konnte dieser Effekt im dritten Jahr nicht mehr nachgewiesen werden.

Es kann angenommen werden, dass durch die induzierte Trockenheit die Verbreitung der Mikroorganismen im Boden behindert wird (Carson et al. 2010, Kravchenko et al. 2013, De Vries und Shade 2013). Darüber hinaus beeinflusst auch die im Experiment nachgewiesene Veränderung des Wurzelsystems die Mikroorganismengemeinschaft (Wallenstein und Hall 2012). Trotz teilweise signifikanter Einflüsse konnte kein durchgehender Effekt der Beregnungsvarianten auf die PLFA-Muster festgestellt werden. Es erscheint daher sinnvoll, den Beobachtungszeitraum auszudehnen, um permanente Veränderungen der Menge und Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen durch das geänderte Wasserregime verifizieren zu können.

Ergebnisse des AP 5 - Treibhausgasflüsse

Freilandmessungen

Die untersuchten Böden reagierten relativ rasch auf Änderungen im Niederschlagsregime. Dies gilt insbesondere für die Feuchtschwarzerde (F). Für diesen Boden lag die mittlere N_2O-Freisetzungsrate für das Jahr 2011 aus der Variante „prog.rain“ um Faktor 2,6 über der der Kontrolle. Aufgrund der großen Variabilität der Feldwiederholungen waren die Unterschiede jedoch nicht signifikant. Für den sandigen Tschernosem (S) ergab sich ein ähnliches Bild, wohingegen die N_2O-Flüsse aus dem tiefgründigen Tschernosem (T) im ersten Versuchsjahr weitgehend gleich waren. Im zweiten Versuchsjahr, 2012, zeigten sich bei allen drei Böden kaum Unterschiede zwischen der „prog.rain“-Variante und der Kontrolle. Die N_2O-Freisetzung reichte für die Kontrolle von 8,0 (± 8,3) µg N m^{-2} h^{-1} (S) bis 10,5 (± 7,0) µg N m^{-2} h^{-1} (F) und von 8,5 (± 6,2) µg N m^{-2} h^{-1} (F) bis 14,1 (±

10,7) µg N m^{-2} h^{-1} (S und T) in der „prog.rain“-Variante. Insgesamt waren die Gasflüsse niedriger als im Jahre 2011. Von März bis September 2013 überstiegen die N_2O-Emsisionen aus den Kontrollplots des Bodens T die aus der Variante „prog.rain“. Bei Einbeziehung des gesamten Messzeitraumes lassen sich aus den Daten allerdings keine Trends für die drei untersuchten Böden hinsichtlich einer möglichen Veränderung der N_2O-Flüsse bei Änderungen im Niederschlagsmuster ableiten. Wie beispielhaft in Abb. 22 für die N_2O-Flüsse der Feuchtschwarzerde gezeigt, weichen die Mediane der beiden Varianten weder innerhalb eines Versuchsjahres noch zwischen den Versuchsjahren signifikant voneinander ab.

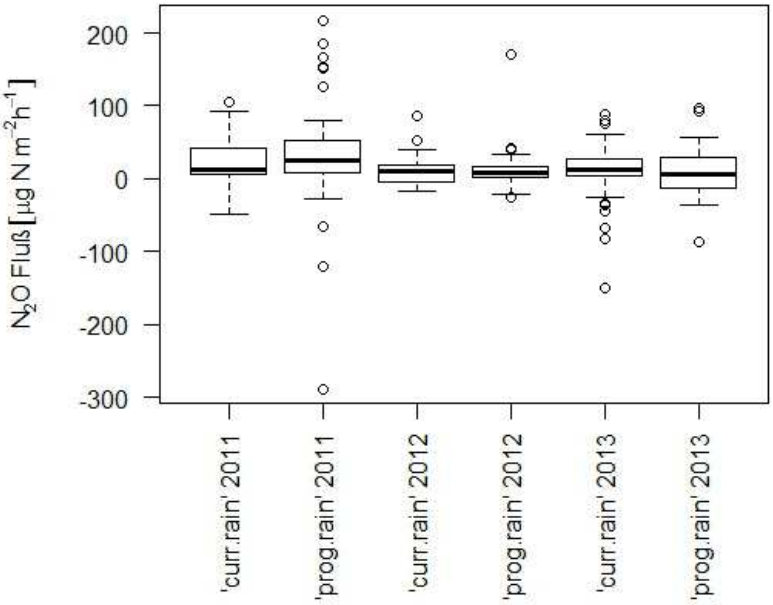


Abbildung 22: N_2O-Flüsse der Feuchtschwarzerde in der Kontrolle („curr.rain“) und der Trockenstressvariante („prog.rain“) für die drei Versuchsjahre. Die Grenzen der Boxen repräsentieren das obere und untere Quartil der Daten, die Länge der Whisker beträgt maximal das 1,5-fache des Interquartilabstandes.

Verglichen mit N_2O waren die CO_2-Flüsse weniger variabel. Unterschiede zwischen den Varianten wurden im ersten Versuchsjahr für alle drei Böden festgestellt, im zweiten für den Boden F und im dritten für den Boden S. 2011 war die CO_2-Freisetzung aus den Plots der „prog.rain“-Variante der Böden S und F höher als die der Kontrolllysimeter. Im zweiten Versuchsjahr ergab sich ein umgekehrtes Bild für den Boden T, im dritten für den Boden S. Die Unterschiede waren aber auch für CO_2 aufgrund der hohen Variabilität der Flüsse nicht signifikant.

Für den gesamten Versuchszeitraum schwankte die mittlere CH_4-Aufnahmerate für die Variante „prog.rain“ zwischen -34,7 µg C m^{-2} h^{-1} (T) und -25,3 µg C m^{-2} h^{-1} (F) verglichen mit -46,0 µg C m^{-2} h^{-1} (T) bis -33,2 µg C m^{-2} h^{-1} (S) für die Kontrolle. Vor allem der Boden T zeigte eine Tendenz zu niedrigeren CH_4-Aufnahmeraten in der „prog.rain“-Variante. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren ebenfalls für keinen der Böden signifikant.

Insgesamt reagierten die Flüsse klimarelevanter Gase in allen drei Böden auf eine Veränderung des Niederschlagsmusters. Verglichen mit den Böden S und F zeigte Boden T eine verzögerte Reaktion. Aus den Daten können jedoch keine allgemeinen Trends abgeleitet werden. Für den gesamten Versuchszeitraum war kein signifikanter Einfluss des Niederschlagsmusters feststellbar. Eine Veränderung des Niederschlagsmusters, wie es im Rahmen des Projektes LYSTRAT simuliert worden ist, führt somit - zumindest kurzfristig (drei Jahre) - zu keinen grundlegenden Veränderungen der Treibhausgasflüsse in den drei Hauptbodentypen des Pannonischen Raumes.

Laborexperimente

NO- und CO_2-Flüsse bei verschiedenen Temperaturen und Bodenwassergehalten

Ungestörte Bodenproben für die Laborinkubationen wurden 2011 an drei Terminen entnommen: vor Versuchsbeginn (Februar), nach der Erbsen- (Juli) und nach der Senfernte (Oktober).

Die NO- und CO_2-Messungen anhand der Februarproben ergaben bei Feldwassergehalt keine Unterschiede im Emissionsverhalten der drei Böden. Die maximalen CO_2-Freisetzungsraten (gemessen bei 20°C) lagen zwischen 161 mg C m^{-2} h (S) und 185 mg C m^{-2} h (T). Der Feldwassergehalt zum Zeitpunkt der Probenahme belief sich auf 50,2 (S), 63,8 (T) bzw. 62% (F) wassergefüllter Porenraum (WFPS). Am deutlichsten reagierte Boden T auf die Veränderung des Bodenwassergehaltes: Die CO_2-Emissionen lagen bei 20 und 60% WFPS deutlich über denen der beiden anderen Bodentypen. Bei den NO-Flüssen zeigten sich kaum Unterschiede.

Bei den im Juli entnommenen Bodenproben waren in den Laborinkubationen zum Teil Unterschiede zwischen den Beregnungsvarianten erkennbar. Trotz identischer Wassergehalte bei der Probenahme (5,2% WFPS) setzten die Kontrollproben des Bodens S deutlich mehr NO frei als die der Variante „prog.rain“. Die Flüsse schwankten zwischen 6,9 ± 7,8 (30°C) und 15,7 ± 29,9 µg N m^{-2} h (25°C; “curr.rain”) bzw. -0,8 ± 0,8 (10°C) und 4,3 ± 0,8 µg N m^{-2} h (30°C; “prog.rain”). Die Unterschiede zwischen den Varianten waren nicht signifikant. Ein gegensätzliches Bild ergab sich für Boden F (Feldwassergehalt ca. 15% WFPS), bei der erheblich mehr NO aus der Variante „prog.rain“ emittiert wurde. Die NO-Flüsse des Bodens T waren extrem variabel. Tendenziell wurde mehr NO aus der Variante „prog.rain“ freigesetzt. Auffällig waren die maximal gemessenen Emissionsraten (bei 25°C), die mit Werten bis zu 700 µg N m^{-2} h die der beiden anderen Bodentypen um ein Vielfaches überstiegen. Der Feldwassergehalt lag mit 16,5% WFPS im selben Bereich wie der des Bodens F. Bei den übrigen Wassergehalten von 20%, 60% und 80% WFPS wurden keine annähernd so hohen NO-Werte gemessen. Änderungen des Wassergehaltes und der Temperatur hatten keine deutlichen Auswirkungen auf die NO-Dynamik in den drei untersuchten Böden.

Tendenziell höhere CO_2-Freisetzungsraten für die Variante „prog.rain“ wurden für Boden F bei 20% und 60% WFPS gemessen, für Boden S bei 20% WFPS. Boden T zeigte analog zu den Feldmessungen kaum Unterschiede hinsichtlich der CO_2-Emissionen aus den beiden Varianten.

Die NO-Freisetzung aus den im Oktober entnommenen Proben war für die Variante „prog.rain“ für den Boden S bei 25°C und 30°C und für den Boden T bei 15°C und 20°C deutlich höher als die aus den Kontrollproben. Höhere CO_2-Emissionen aus der Variante „prog.rain“ wurden bei dieser Inkubation aus allen drei Böden beobachtet (für S und F bei Feldwassergehalt, für T bei 40% WFPS).

Die Laborinkubationen zeigten, dass die Böden T und F ein hohes Potential für die Freisetzung von NO besitzen. Aus den Laborexperimenten ergeben sich Hinweise darauf, dass eine Veränderung des Niederschlagsmusters, wie sie im Rahmen des LYSTRAT-Projektes simuliert wurde, längerfristig die Ausgasung von NO begünstigen könnte, insbesondere in Kombination mit höheren Temperaturen.

Auswirkungen wiederholter Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungszyklen auf C- und N-Umsätze

Im Zuge der 14tägigen Austrocknungsphasen nahm der Wassergehalt der Proben der Variante D auf etwa 10% Wasserhaltekapazität ab. Analog zu den Ergebnissen der Freilandmessungen zeigten auch die Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsphasen im Laborversuch keine deutlichen Auswirkungen auf die Flüsse klimarelevanter Gase. Für N_2O ergaben sich beispielsweise sowohl positive als auch leicht negative Flüsse in beiden Varianten ohne klares Muster.

Die deutlichsten Auswirkungen hatten die Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsphasen auf die Konzentrationen an mikrobiellem Biomasse-C (C_{mik}) und extrahierbarem organischem C (EOC). Wiederholtes Austrocknen und Wiederbefeuchten führte in allen drei Böden zu signifikant ($P < 0.001$) höheren C_{mik}-Konzentrationen in den Proben der Variante D relativ zur Kontrolle am Ende des Versuches. Für die EOC-Konzentrationen ergaben sich nach dem dritten Zyklus um 3%, 14% bzw. 23% höhere Werte für die Böden S, T bzw. F in der Variante D. Die mikrobiellen Biomasse-N-Konzentrationen in der Variante D zeigten im Gegensatz zu C_{mik} nur eine temporäre Erhöhung, d.h. sie lagen lediglich nach dem zweiten Zyklus über denen der Kontrolle.

Die NH_4- und NO_3-Konzentrationen und somit der anorganische N-Pool wurden durch wiederholtes Austrocknen und Wiederbefeuchten nicht signifikant beeinflusst.

Kaum Unterschiede zwischen den beiden Varianten zeigten sich für die potentiellen Enzymaktivitäten. Höhere potentielle Aktivitäten in der Variante D wurden lediglich nach dem zweiten Zyklus für Peroxidase und nach dem dritten für Chitinase und Peptidase gemessen.

Potentielle Steuerfaktoren der Treibhausgasflüsse

Neben dem Wassergehalt und der Temperatur sind insbesondere die Nährstoff- bzw. Substratverfügbarkeit, der pH-Wert sowie die Art, Menge und Aktivität der vorhandenen Mikroorganismen für die Flüsse von klimarelevanten Gasen, die durch mikrobielle Prozesse kontrolliert werden, von Bedeutung. Der pH-Wert wurde – wie zu erwarten war – durch das geänderte Beregnungsmuster nicht beeinflusst. Für alle Lysimeter wurden Werte von 7.6 bzw. 7.7 ermittelt.

Der gravimetrische Wassergehalt - bezogen auf die obere fünf Zentimeter - und somit die Bodenfeuchte hatten keine Bedeutung für die erfassten Treibhausgasflüsse. Eine signifikante Korrelation bestand lediglich, bei Einbeziehung des gesamten Messzeitraumes, mit den CH_4-Flüssen der Kontrolllysimeter des Bodens T (Spearman $r = 0{,}31$, $p = 0{,}038$; $n = 45$).

Im Gegensatz zur Bodenfeuchte erwies sich die Temperatur als wichtige Einflussgröße. Unter Einbeziehung aller drei Böden und des gesamten Messzeitraumes waren alle Gasflüsse signifikant mit der Bodentemperatur und – außer den CH_4-Flüssen der Kontrollen – mit der Lufttemperatur korreliert. Bei getrennter Analyse der Versuchsjahre zeigte sich für die Kontrollen dasselbe Bild für die Jahre 2012 und 2013. Im Gegensatz dazu ergaben sich für die Variante „prog.rain“ zahlenmäßig weniger signifikante Korrelationen. 2011 war die Bodentemperatur signifikant mit den N_2O- und CO_2-, 2012 mit den CH_4- und CO_2- und 2013 nur mit den CO_2-Flüssen korreliert (Spearman r zwischen 0,35 und 0,67, p zwischen 0,018 und <0,0001; n zwischen 45 und 57). Für die Lufttemperatur ergaben sich signifikante Korrelationen mit den Flüssen an N_2O (2011), CH_4 (2012) bzw. CO_2 (2013).

Die Verfügbarkeit von Nitrat ist eine der wichtigsten Einflussgrößen der Denitrifikation, dem Hauptprozess der N_2O-Bildung in Böden der gemäßigten Breiten. Die NO_3-Konzentrationen lagen zwischen 0.1 µg N g Trockenmasse $(TM)^{-1}$ (S, “prog.rain”) und 63.7 µg N g TM^{-1} (F, “curr.rain”). Bis Juli 2012 zeigte sich für die Böden S und T ein nicht signifikanter Trend zu höheren NO_3-Konzentrationen in der Variante „prog.rain“ verglichen mit der Kontrolle. Nitrat war die vorherrschende anorganische N-Form in 88% der analysierten Proben (n = 96). Bei Berücksichtigung des gesamten Messzeitraumes waren lediglich die CH_4-Flüsse der „prog.rain“-Variante mit der NO_3-Konzentration im Boden korreliert.

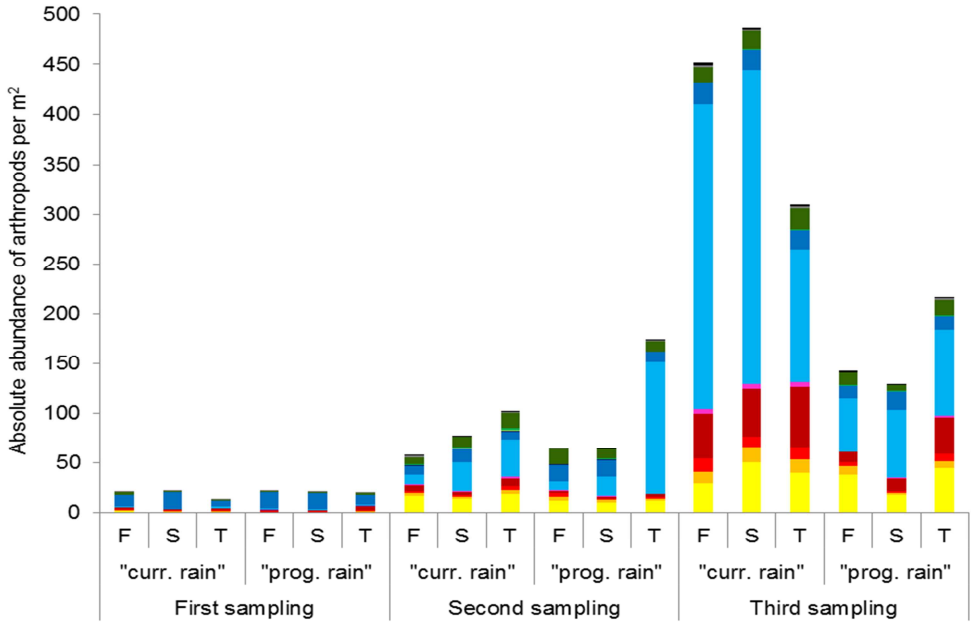
Die mikrobielle Biomasse, erfasst anhand der Gesamtmenge aller identifizierten Phospholipidfettsäuren, war mit keinem der erfassten Treibhausgasflüsse korreliert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bodentemperatur und, in geringerem Maße, die Lufttemperatur zu den gemessenen Treibhausgasflüssen in Beziehung gesetzt werden konnten. Andere potentielle Steuergrößen wie der Bodenwassergehalt, verfügbares Nitrat oder die mikrobielle Biomasse waren im Untersuchungszeitraum nicht von Bedeutung.

4.1 Annex

Ergänzende Abbildungen und Literatur

a)



b)

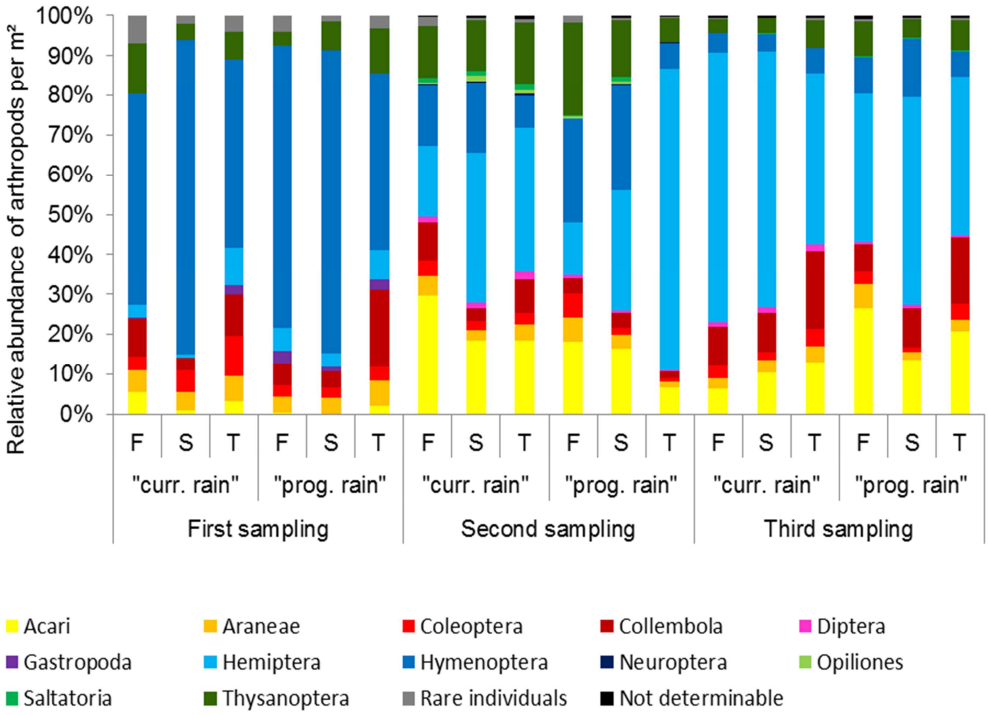


Abbildung 5. Absolute (a) und relative (b) Abundanz von Arthropoden pro m^2 zu drei verschiedenen Sammelterminen (April, Mai, Juni 2012) in Winterweizenbeständen unter gegenwärtigen („curr.rain“) und zukünftigen („prog.rain“) Niederschlagsszenarien bei den unterschiedlichen Bodentypen Feuchtschwarzerde (F), sandiger Tschernosem (S) und tiefgründiger Tschernosem (T).

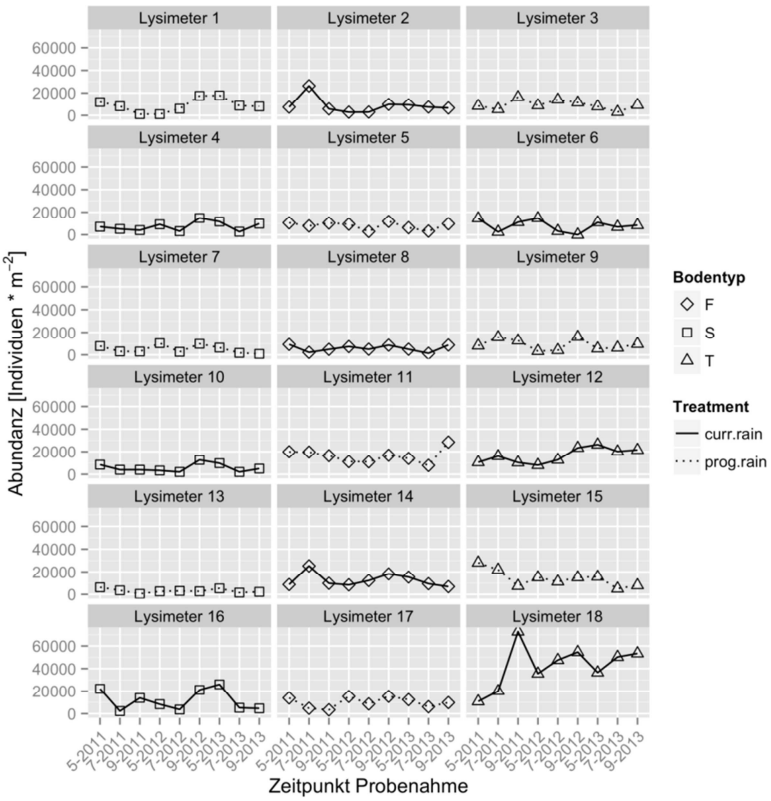


Abbildung 9: Abundanz der Springschwänze (Collembola) pro Probenahmetermin und Lysimeter

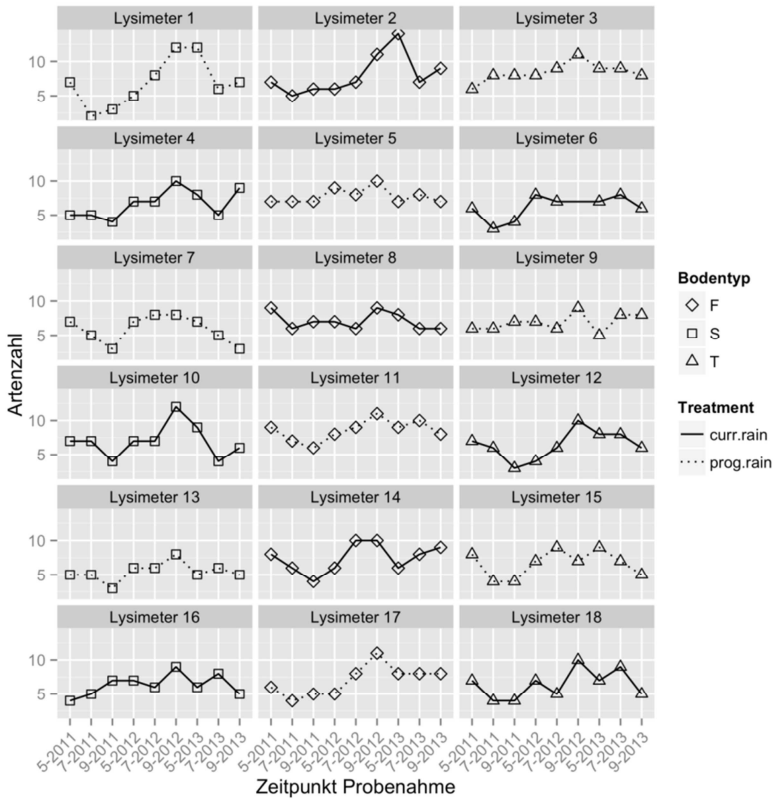


Abbildung 10: Artenzahl der Springschwänze (Collembola) pro Probenahmetermin und Lysimeter

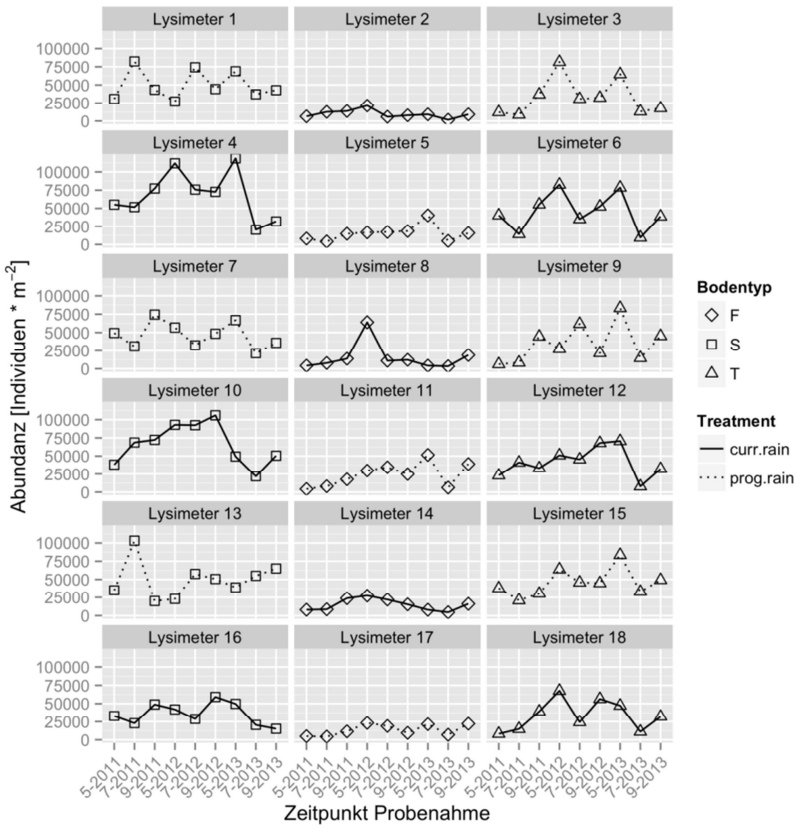


Abbildung 11: Abundanz der Raubmilben (Gamasida) pro Probenahmetermin und Lysimeter

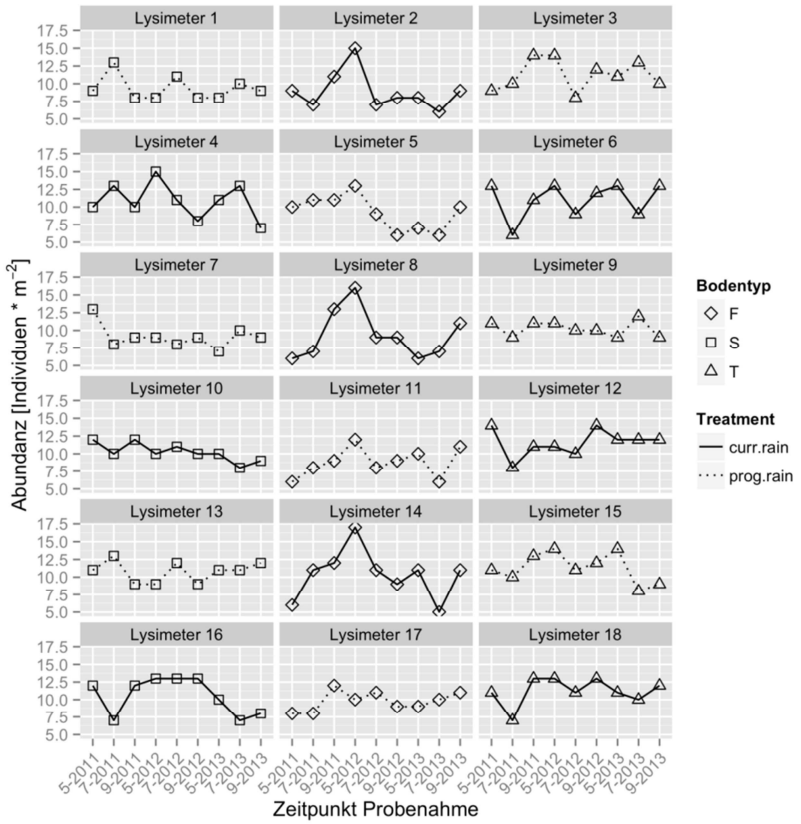


Abbildung 12: Artenzahl der Raubmilben (Gamasida) pro Probenahmetermin und Lysimeter

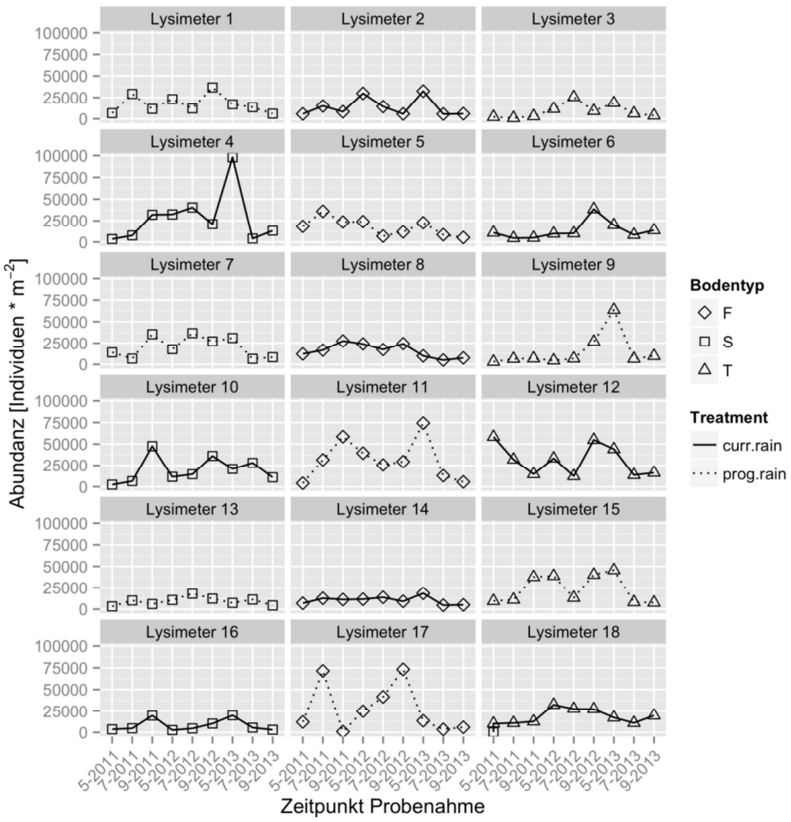


Abbildung 13: Abundanz der Hornmilben (Oribatida) pro Probenahmetermin und Lysimeter

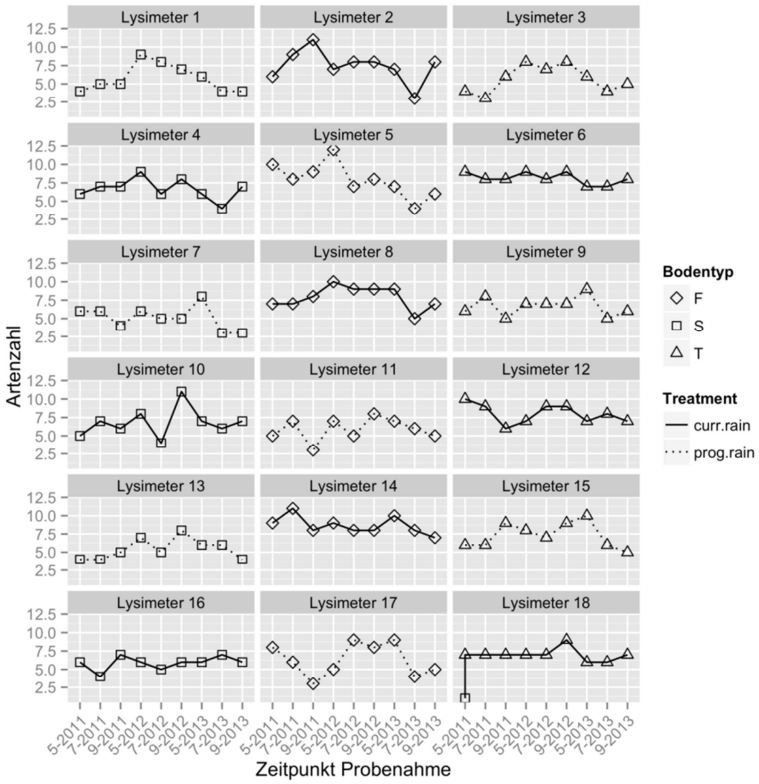


Abbildung 14: Artenzahl der Hornmilben (Oribatida) pro Probenahmetermin und Lysimeter

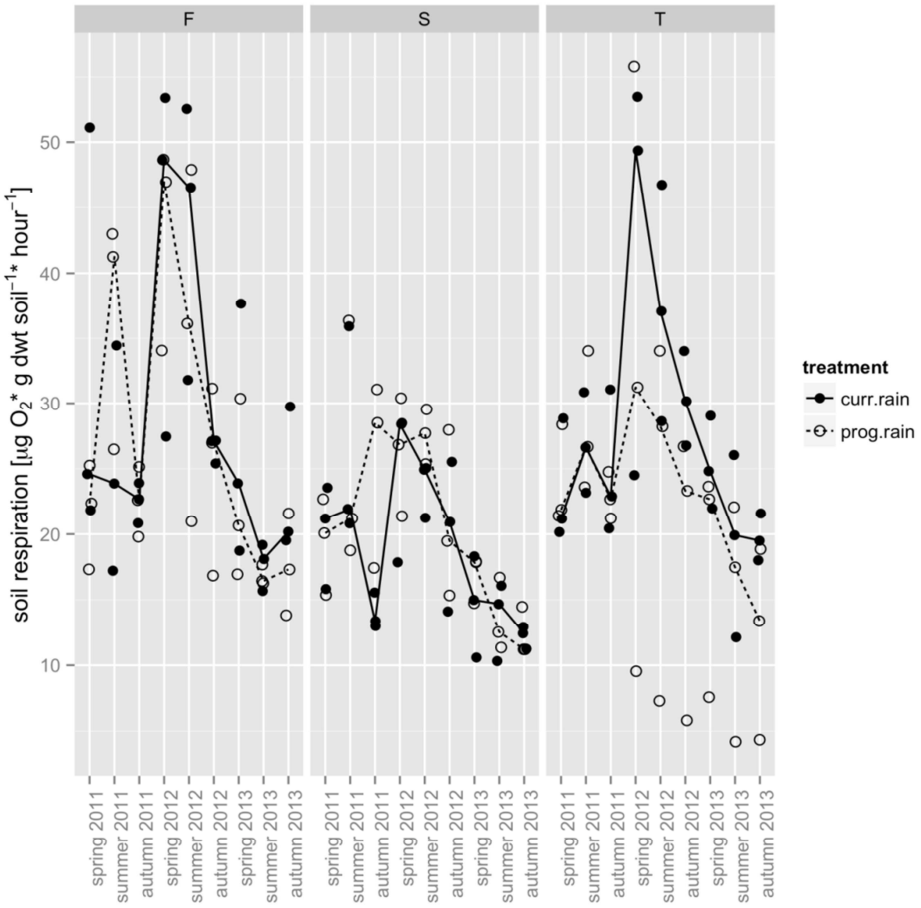


Abbildung 15: Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die Substrat-induzierte Respiration (SIR) der Bodenmikroorganismen. Jeder Punkt repräsentiert eine experimentelle Einheit (Lysimeter) und die Linien verbinden die Mediane des jeweiligen Treatments. „curr.rain“ - Treatment mit derzeitigem, „prog.rain“ - Treatment mit für die Jahre 2050-2100 prognostizierten Niederschlag. S, F, und T sind Bodentypen.

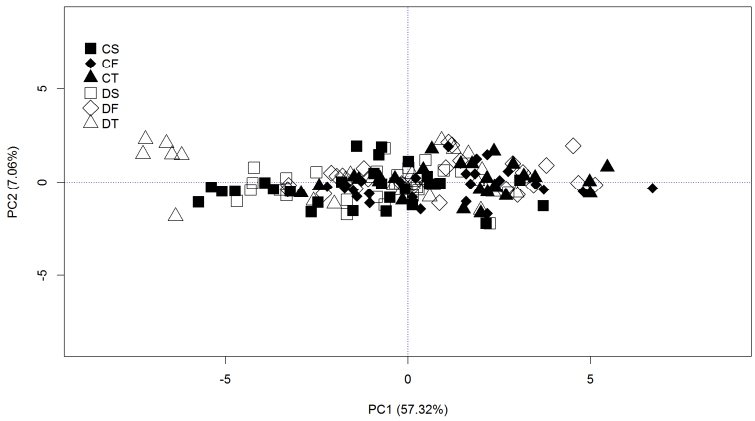


Abbildung 16: PCA der Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die funktionelle Diversität der Bodenmikroorganismen. Jeder Punkt repräsentiert eine experimentelle Einheit (Lysimeter). C - Treatment mit derzeitigem, D - Treatment mit für die Jahre 2050-2100 prognostizierten Niederschlag. S, F, und T sind Bodentypen.

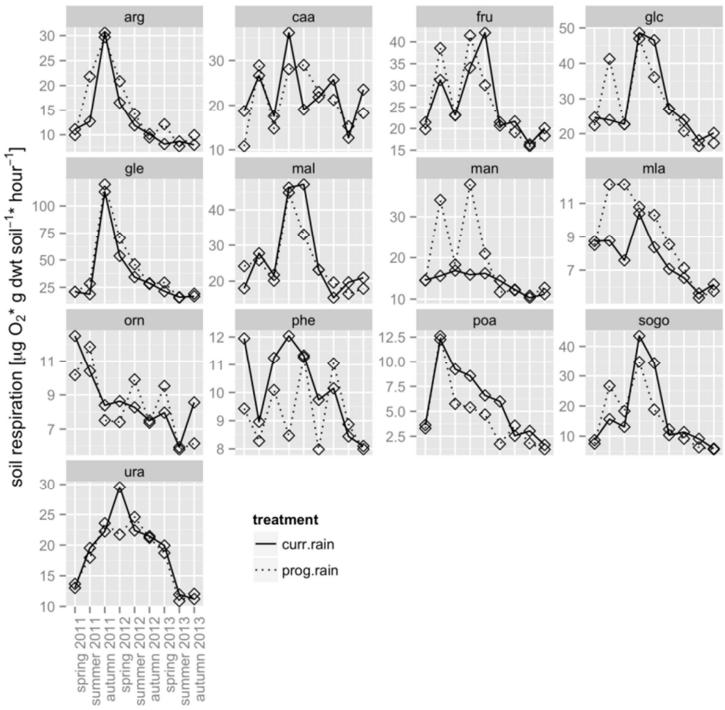


Abbildung 17: Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die funktionelle Diversität der Bodenmikroorganismen; Bodentyp F. Die Linien verbinden die Mediane von drei Wiederholungen der experimentellen Einheiten (Lysimeter). „curr.rain“ - Treatment mit derzeitigem, „prog.rain“ - Treatment mit für die Jahre 2050-2100 prognostizierten Niederschlag. arg - Arginin, caa - Zitronensäure, fru - Fructose, glc - Glucose, gle - Glutamin, mal - Maltose, man -Mannose, mla - Malonsäure, orn - Ornithin, phe - Phenylalanin, poa - Pantothensäure, sogo - Natriumgluconat, ura - Harnsäure.

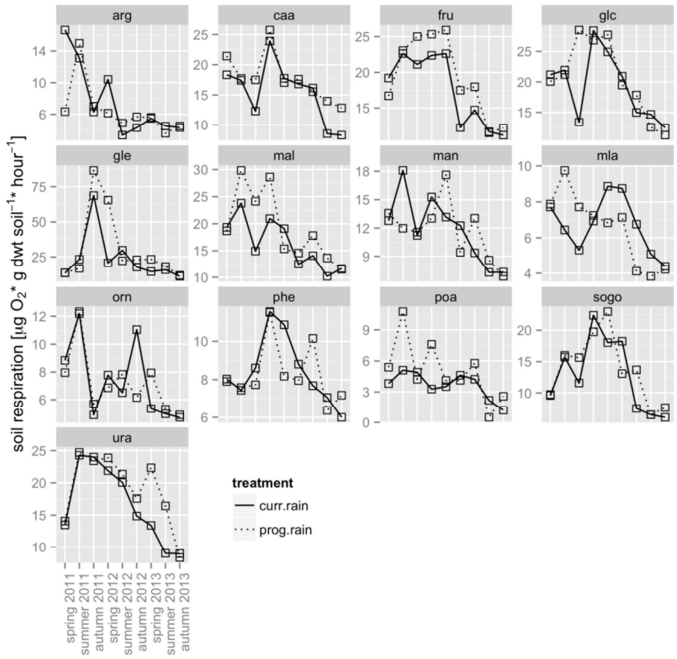


Abbildung 18: Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die funktionelle Diversität der Bodenmikroorganismen; Bodentyp S. Für Symbole und Abkürzungen siehe Abbildung 17.

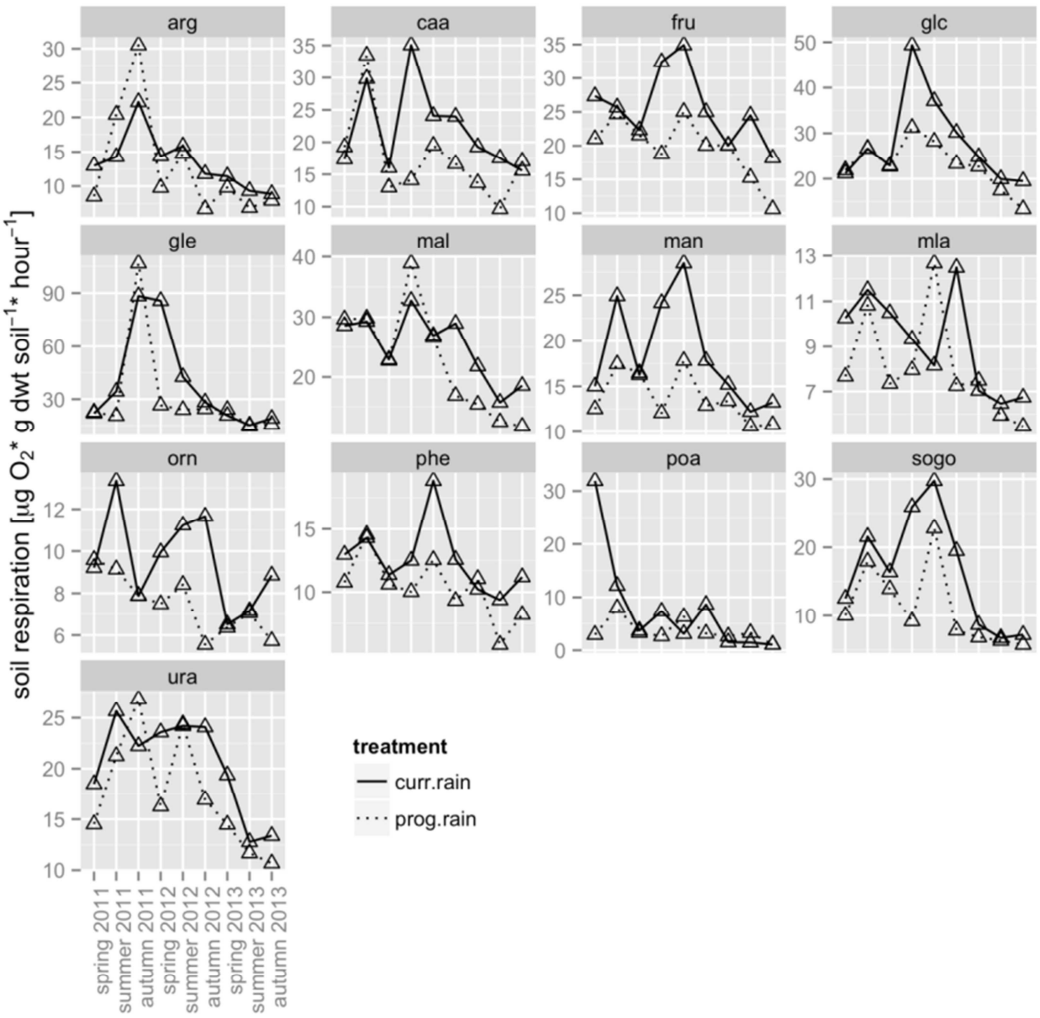


Abbildung 19: Effekte eines Niederschlags-Manipulationsexperiments auf die funktionelle Diversität der Bodenmikroorganismen; Bodentyp T. Für Symbole und Abkürzungen siehe Abbildung 17.

Literatur

Anderson, J.P.E., Domsch, K.H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry 10, 215-221.

Banks, M.L., Kennedy, A.C., Kremer, R.J., Eivazi, F. (2014): Soil microbial community response to surfactants and herbicides in two soils. Applied Soil Ecology 74, 12 – 20.

Beier, C., Beierkuhnlein, C., Wohlgemuth, T., Penuelas, J., Emmett, B., Körner, C., de Boeck, H., Christensen, J.H., Leuzinger, S., Janssens, I.A., Hansen, K., 2012. Precipitation manipulation experiments - challenges and recommendations for the future. Ecology Letters 15, 899–911.

Blankinship, J.C., Niklaus, P.A., Hungate, B.A. (2011). A meta-analysis of responses of soil biota to global change. Oecologia 165, 553–565

Bobbie, R.J., White, D.C. (1980): Characterization of Benthic Microbial Community Structure by High-Resolution Gas Chromatography of Fatty Acid Methyl Esters. Applied and Environmental Microbiology 39, No 6, 1212 – 1222.

Böhm, K. (1996): Lysimeteranlage Hirschstetten: erste Ergebnisse der Sickerwasseranalysen. Bericht über die 6. Gumpensteiner Lysimetertagung. BAL-Gumpenstein, A-8952 Irdning, 47-53.

Bruckner, A. (2011): Monitoring der Bodenfauna des Biobetriebs Rutzendorf, In: Freyer et al., Bewertung des viehlosen biologischen Ackerbaus und seiner agrarökologischen Leistungen im österreichischen Trockengebiet, Wien, 112-121.

Carson, J.K., Gonzale-Quinones, V., Murphy, D.V., Hinz, C., Shaw, J.A., Gleeson, D.B. (2010): Low pore connectivity increases bacterial diversity in soil, Applied and Environmental Microbiology 76, 3936 - 3942.

Castro, H.F., Classen, A.T., Austin, E.E., Norby, R.J., Schadt, C.W. (2010): Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers. Applied and Environmental Microbiology 76, 999-1007.

Cerdeira, J.O., Silva, P.D, Cadima, J., Minhoto, M. (2012): subselect: Selecting variable subsets.

Degens, B.P., Harris, J.A. (1997): Development of a physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. Soil Biol Biochem 29, 1309-1320.

De Vries, F.T., Shade, A. (2013): Controls on soil microbial community stability under climate change. Frontiers in Microbiology 4, Article 265, 1 - 16.

Drigo, B., Kowalchuk, G.A., Knapp, B., Pijl, A.S., Boschler, H.T.S., Van Veen, J.A. (2013): Impacts of 3 years of elevated atmospheric CO2 on rhizosphere carbon flow and microbial community dynamics. Global Change Biology 19, 621 – 636.

Duarte Silva, A.P. (2002): Discarding variables in principal component analysis: algorithms for all-subsets comparisons. Computational Statistics 17, 251-271.

Eisenhauer, N-, Cesarz, S-, Koller, R-, Worm, K., Reich, P.B. (2012): Global change belowground: impacts of elevated CO2, nitrogen, and summer drought on soil food webs and biodiversity. Global Change Biology 18(2), 435-447.

Feichtinger, F. 1998: STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (HRSG): Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 14-41, Wien.

Frampton, G.K., van den Brink, P.J., Gould, P.J.L. (2000): Effects of spring precipitation on a temperate arable collembolan community analysed using principal response curves. Applied Soil Ecology 14, 231–248.

Frostegard, A., Tunlid, A., Baath, E. (2010): Use and misuse of PLFA measurements in soils, Soil Biology and Biochemistry 43, 1621-1625.

Gan Y.T., Campbell C.A., Janzen H.H., Lemke R.L., Basnyat P., McDonald C.L. (2009) Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. Agriculture, Ecosystems & Environment, 132, 290–297.

Graham M.H., Haynes, R.J. (2005): Catabolic diversity of soil microbial communites under sugarcane and other land uses estimated by Biolog and substrate-induced respiration methods. Applied Soil Ecology 29, 155-164.

Holmstrup, M., Sorensen, J.G., Schmidt, I.K., Nielsen, P.L., Mason, S., Tietema, A., Smith, A.R., Bataillon, T., Beier, C., Ehlers, B.K. (2013): Soil microarthropods are only weakly impacted after 13 years of repeated drought treatment in wet and dry heathland soils. Soil Biology and Biochemistry , 110-118.

Jucevica, E., Melecis, V. (2006): Global warming affect Collembola community: a long-term study. Pedobiologia 50, 177-184.

Kardol, P., Reynolds, W.N., Norby, R.J., Classen, A.T. (2011): Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. Applied Soil Ecology 47, 37-44.

Koehler, H., Melecis, V. (2010): Long-Term Observations of Soil Mesofauna, In: Muller, F., Baessler, C., Schubert, H., Klotz, S. (Eds), Long-Term Ecological Research: Between Theory and Application. Dordrecht, London, Springer, 203-220.

Kravchenko, A., Chun, H.C., Mazer, M., Wang, W., Rose, J.B., Smucker, A., Rivers, M. (2013): Relationships between intra-aggregate pore structures and distributions of *Escherichia coli* within soil macroaggregates. Applied Soil Ecology 63, 134-142.

Lensing, J.R., Todd, S., Wise, D.H. (2005): The impact of altered precipitation on spatial stratification and activity-densities of springtails (Collembola) and spiders (Araneae). ECOLOGICAL ENTOMOLOGY 30, 194-200.

Lindberg, N., Bengtsson, J., Persson, T. (2002): Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. Journal of Applied Ecology 39, 924-936.

Lindberg, N., Bengtsson, J. (2006): Recovery of forest soil fauna diversity and composition after repeated summer droughts. OIKOS 114, 494-506.

Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchin P.R., O'Hara R. B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H.H., Wagner H. (2013): vegan: Community Ecology Package.

O'Lear HA, Blair JM (1999). Responses of soil microarthropods to changes in soil water availability in tallgrass prairie. Biology & Fertility of Soils 29, 207–217

Passioura, J., Increasing crop productivity when water is scarce - from breeding to field management. Agricultural Water Management, 2006. 80(1-3): p. 176-196.

Passioura, J.B., 'Soil conditions and plant growth'. Plant Cell and Environment, 2002. 25(2): p. 311-318.

Peham, T., Bruckner, A. (2009): Optimising whole-soil multiple substrate-induced respiration (MSIR) of soil microbiota for large scale surveillance and monitoring. European Journal of Soil Biology 50, 182-190.

Pflug, A., Wolters, V. (2001): Influence of drought and litter age on Collembola communities. European Journal of Soil Biology 37, 305-308.

R Core Team (2012): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. http://www.R-project.org/

Reinsch, S., Michelsen, A., Sárossy, Z., Egsgaard, H., Schmidt, I.K., Jakobsen, I., Ambus, P. (2014): Short-term utilization of carbon by the soil microbial community under future climatic conditions in a temperate heathland. Soil Biology and Biochemistry 68, 9-19.

Reinsch, S., Ambus, P., Thornton, B., Paterson, E. (2013): Impact of future climatic conditions on the potential for soil organic matter priming, Soil Biology and Biochemistry 65, 133-140.

Rousk, J., Smith, A.R., Jones, D.L. (2013): Investigating the long-term legacy of drought and warming on the soil microbial community across five European shrubland ecosystems. Global Change Biology 19, 3872-3884.

Seeber, J., Rief, A., Richter, A., Traugott, M., Bahn, M. (2012): Drought-induced reduction in uptake of recently photosynthesized carbon by springtails and mites in alpine grassland. Soil Biology and Biochemistry 55, 37-39.

Shi, W., Bischoff, M., Turco, R., Konopka, A. (2005): Microbial catabolic diversity in soils contaminated with hydrocarbons and heavy metals. Environmental Science & Technology 39, 1974-1979.

Shultz, B.J., Lensing, J.R., Wise, D.H. (2006): Effects of altered precipitation and wolf spiders on the density and activity of forest-floor Collembola. Pedobiologia 50, 43-50.

Stasina, M., Stenitzer, E. (2005): SIMWASER model as a tool for the assessment of soil water balance. PLANT SOIL ENVIRON. 51, 343-350.

Stenitzer, E. (1988): Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, Petzenkirchen.

Stenitzer, E. (2004): SIMWASER A numerical model on soil water balance and plant growth. IKT Report Nr. 5, Selbstverlag. S. 13-16.

Strauss, F., Schmid, E., Moltchanova, E., Formayer, H., Wang, X., 2012. Modeling climate change and biophysical impacts of crop production in the Austrian Marchfeld Region. Climatic Change 111, 641–664.

Tataw, J.T., Hall, R., Ziss, E., Schwarz, T., Buchwald, C.V.U., Formayer, H., Hosch, J., Baumgarten, A., Berthold, H., Michel, K., Zaller, J.G. (2014): Soil types will alter the response of arable agroecosystems to future rainfall patterns. Annals of Applied Biology 164, 35-45.

Tsiafouli, M.A., Kallimanis, A.S., Katana, E., Stamou, G.P., Sgardelis, S.P. (2005): Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. Applied Soil Ecology 29, 17-26.

Tunlid, A., White, D.C (1990): Use of lipid biomarkers in environmental samples. Analytical Microbiology Methods, Plenum Press, New York, 259-274.

Ungersböck, M., Auer, I., Rubel, F., Schöner, W., Skomorowski, P. (2001): Zur Korrektur des Systematischen Fehlers bei der Niederschlagsmessung. Anwendung des Verfahrens für die ÖKLIM Karten. DACH-Meteorologentagung,18. -21. Sep. 2001, Wien / Österreich.

Uvarov, A.V. (2003): Effects of diurnal temperature fluctuations on population responses of forest floor mites. Pedobiologia 47, 331-339.

Van Straalen, N.M. (1994): Adaptive significance of temperature responses in Collembola. Acta Zoologica Fennica 195, 135-142.

Wallenstein, M.D., Hall, E.K. (2012): A trait-based framework for predicting when and where microbial adaptation to climate change will affect ecosystem functioning. Biogeochemistry 109, 35-47.

White, D.C., Davis, W.M., Nickels, J.S., King, J.D., Bobbie, R.J. (1979): Determination of the sedimentary microbial biomass by extractable lipid phosphate. Oecologia 40, 51-62.

Xu, G.L., Kuster, T.M., Gunthardt-Goerg, M.S., Dobbertin, M., Li, M.H. (2012): Seasonal Exposure to Drought and Air Warming Affects Soil Collembola and Mites. PLOSone 7, 1-9.

Zelles, L. (1999): Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: a review. Biology & Fertility of Soils 29, 111-129.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Bodenhydrologie

Die bodenhydrologischen Parameter zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Bodentypen und den Beregnungsvarianten. Aufgrund der Textur und Struktur scheint der sandige Tschernosem am stärksten auf die Veränderungen zu reagieren. Das Modell STOTRASIM wurde basierend auf den Messergebnissen kalibriert. Dementsprechend ist es nun möglich, den Einfluss der zukünftigen Niederschlagssituation auf das Bodenwasserregime und den Massentransport zu beschreiben. STOTRASIM kann nun im Marchfeld für Standort spezifische Vorhersagemodelle zur Grundwasserneubildung und der potentiellen Auswaschung verwendet werden. Trotz der simulierten Starkregenereignisse führte eine insgesamt verminderte Niederschlagssumme zu einer Reduktion des Nitrataustrages. In diesem Zusammenhang muss allerdings angenommen werden, dass die N-Düngung nach guter landwirtschaftlicher Praxis erfolgt.

Primärproduktion

Unsere Ergebnisse zeigten, dass landwirtschaftliche Kulturen spezifisch auf Niederschlagsmuster reagieren und dass diese Reaktionen vom jeweiligen Bodentyp abhängig sind. Während die landwirtschaftlichen Erträge wahrscheinlich nicht signifikant von den Niederschlagsmustern beeinflusst werden, können andere untersuchte Ökosystemfunktionen weitreichenden Implikationen zeigen. Die Reduktion der Mykorrhizierung unter zukünftigen Niederschlagsmustern würde einen höheren Düngereinsatz inklusive der ökonomischen und ökologischen Konsequenzen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nach sich ziehen. Als Konsequenz einer durch Niederschlagsmuster veränderten Vegetationsdeckung der Kulturpflanzen würden Unkrautgemeinschaften reagieren, wodurch sich Veränderungen in der Unkrautkontrolle ergeben würden. Diese Unkrautgemeinschaften beeinflussen oberirdische Arthropodengemeinschaften. Die Resultate zeigten, dass die Arthropodenabundanzen beim zukünftigen Niederschlagsmuster signifikant reduziert sind, was Auswirkungen auf deren Rolle in der biologischen Kontrolle oder Futterquelle für Vögel der Kulturlandschaft haben könnte. Die landwirtschaftlichen Erträge waren am niedrigsten auf sandigem Tschernosem und ähnlich bei Feuchtschwarzerde oder tiefgründigem Tschernosem. Unsere Resultate einer reduzierten Signatur an stabilen Isotopen in Winterweizenblättern bei zukünftigen Niederschlägen im Vergleich zu gegenwärtigen Niederschlägen zeigt, dass Winterweizen physiologisch auf die Niederschlagsvarianten reagiert hat. Als Ausgleichsmaßnahme könnte die Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturen in Betracht gezogen werden, jedoch ist zu prüfen, ob dies ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist. Weitere Studien sollte untersucht werden, wie unterschiedliche Kulturarten und Sorten auf zukünftige Niederschlagsmuster in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bodentypen reagieren.

Darüber hinaus konnten unterschiedliche morphologische Reaktionen der Pflanzen festgestellt werden. Bei Körnererbse wurde das Wurzelwachstum durch Wassermangel gefördert und zusätzlich durch den Bodentyp beeinflusst. Die Wurzeln der Wintergerste waren deutlich vom Bodentyp beeinflusst (höchste Produktion im sandigen Boden), die Beregnung zeigte keinen Einfluss. Dies weist darauf hin, dass verschiedene Pflanzen unterschiedliche morphologische und physiologische Strategien haben, um den Wassermangel zu überdauern. Änderungen des Wurzelsystems beeinflussen die Fähigkeit zur Wasser- und Nährstoffaufnahme und bedingen möglicherweise neue Düngungs- und Bewässerungsstrategien.

Biodiversität

Im Gegensatz zu unseren Erwartungen zeigten weder Unkrautbiomasse noch die Diversität oder Zusammensetzung der Unkrautgemeinschaften eine Beeinflussung durch Niederschlagsmuster oder Bodentypen. Jedoch zeigte sich, dass Unterschiede in der Vegetationsdeckung der landwirtschaftlichen Kulturen, die spezielle im Frühjahr auf sandigen Böden bei zukünftigen Niederschlagsbedingungen sehr niedrig waren, bestimmte Unkrautarten fördern kann.

Die Diversität der oberirdischen Arthropodenfauna war nicht signifikant durch Niederschlagsmuster oder Bodentypen beeinflusst. Gemittelt über die Sammelzeitpunkte, war die jedoch die Abundanz zahlreicher Arthropodengruppen unter zukünftigen Niederschlagsmustern substanziell (-40%) reduziert. Generell zeigen die Bodentypen nur geringe Effekte auf die Arthropodenabundanzen. Die Arthropodenabundanz fast aller Taxa war positiv korreliert mit der Unkrautbiomasse; die Abundanz der Heuschrecken war zudem positiv korreliert mit der Unkrautdichte. Zusammenfassend zeigen diese Resultate, dass zukünftige Niederschlagsmuster die Abundanz oberirdischer Arthropoden stark dezimierte könnten mit potenziellen Konsequenzen für deren Rolle in der biologischen Kontrolle, als Herbivoren (Schädlinge) oder wichtige Futterquelle für andere sehr wichtige Faunenelemente in Agro-Ökosystemen (z.B. Kulturlandschaftsvögel).

Die Boden-Biodiversität wurde durch die Menge und Artenverteilung der drei wichtigsten Gruppen von Mikroarthropoden charakterisiert: Springschwänzen (Collembola), Raubmilben (Gamasida) und Hornmilben (Oribatida). Die untersuchten Böden erwiesen sich gegenüber kurzfristigen Veränderungen als gut gepufferte Systeme. Obwohl zahlreiche signifikante Effekte in Bezug auf die Faktoren Bodentyp, Jahreszeit und Beregnungsvariante festgestellt wurden, ergab sich kein durchgängiger Trend. Bis dato liegen lediglich Kurzzeituntersuchungen für nicht – landwirtschaftliche Systeme vor. In unseren Untersuchungen zeigten sich eine hohe zeitliche Variation, unterschiedliche Reaktionen der verschiedenen Tiergruppen, eine hohe Heterogenität der Varianz und ein starker Einfluss des Bodentyps. Es können daher derzeit keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Auswirkungen des veränderten Niederschlagregimes auf die genannten Tiergruppen und mögliche Folgen für Agro-Ökosysteme gezogen werden.

Wie bereits erwähnt, konnten deutliche, allerdings nicht andauernde Wirkungen festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass der Beobachtungszeitraum zu kurz war, um deutliche und permanente Veränderungen der Abundanz, Diversität oder Artenzusammensetzung der beobachteten Tiergruppen festzustellen. Offenbar reagieren die Systeme mit Verzögerung, allerdings können keine Aussagen über die Dauer dieses Zeitraums getroffen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass Beobachtungszeiträume im Rahmen von 10 Jahren erforderlich wären.

Bodenmikrobiologische Aktivität

Ähnliches kann auch für die potentielle mikrobielle Aktivität, gemessen mit SIR und Multi-SIR, gesagt werden. Die fehlende Reaktion ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass bei diesen Methoden während der Messung optimale Bedingungen für Mikroorganismen herrschen, da das Potenzial erfasst werden soll. Offenbar war auch hier die Pufferkapazität der Systeme trotz des starken Einflusses durch Trockenheit oder unterschiedlicher Pflanzenproduktion noch intakt. Daher schient die Multi-SIR eher geeignet, eine nachhaltige Beeinflussung durch einen Stressor nachzuweisen.

Die Analyse der PLFAs erlaubt eine Analyse unterschiedlicher Mikroorganismengruppen. Auch in diesem Fall wurde eine Beeinflussung vor allem durch den Bodentyp und den Probenahmezeitpunkt festgestellt. Die reduzierte Bewässerung zeigte Effekte, diese waren allerdings nicht konsistent.

Bodenenzyme

Die Bodenenzyme wurden nur im Rahmen der Inkubationsexperimente untersucht. Auch hier zeigten sich die wesentlichen Unterschiede lediglich zwischen den Bodentypen.

Treibhausgasflüsse

Auch im Fall der Treibhausgasflüsse spielten die Bodentypen eine wesentliche Rolle in Bezug auf Art und Menge der entsprechenden Gase. Die Flüsse reagierten in allen drei Böden auf eine Veränderung des Niederschlagsmusters. Verglichen mit den Böden S und F zeigte Boden T eine verzögerte Reaktion. Aus den Daten können jedoch keine allgemeinen Trends abgeleitet werden. Für den gesamten Versuchszeitraum war kein signifikanter Einfluss des Niederschlagsmusters feststellbar. Eine Veränderung des Niederschlagsmusters, wie es im Rahmen des Projektes LYSTRAT simuliert worden ist, führt somit - zumindest kurzfristig (drei Jahre) - zu

keinen grundlegenden Veränderungen der Treibhausgasflüsse in den drei Hauptbodentypen des Pannonischen Raumes.

Die Böden T und F besitzen ein hohes Potential für die Freisetzung von NO. Aus Laborexperimenten ergeben sich Hinweise darauf, dass eine Veränderung des Niederschlagsmusters, wie sie im Rahmen des LYSTRAT-Projektes simuliert wurde, längerfristig die Ausgasung von NO begünstigen könnte, insbesondere in Kombination mit höheren Temperaturen.

Die wichtigsten identifizierten Steuerfaktoren für die Treibhausgasflüsse waren die Bodentemperatur und, in geringerem Maße, die Lufttemperatur. Andere potentielle Steuergrößen wie der Bodenwassergehalt, verfügbares Nitrat oder die mikrobielle Biomasse waren im Untersuchungszeitraum nicht von Bedeutung.

Im allgemeinen kann festgestellt werden, dass alle bodenbiologische Parameter auf die geänderten Faktoren Niederschlag, Matrixpotential der Böden und, in Bezug auf die Inkubationsexperimente, auch Boden- und Lufttemperatur reagierten. Allerdings konnte nur in wenigen Fällen ein eindeutiger und anhaltender Trend festgestellt werden. Aufgrund der individuellen und teilweise deutlichen Reaktionen erscheint es aber wahrscheinlich, dass das geänderte Wasserregime einen dynamischen Reaktionsprozess der Bodenorganismen in Gang setzt. Dies wird längerfristig zur Einstellung eines neuen Flussgleichgewichts der biologischen Prozesse im Boden führen. Eine eindeutige Beschreibung dieser neuen Situation war aufgrund der begrenzten Beobachtungszeit in diesem Projekt leider nicht möglich.

Wie können weitere Entwicklungen des Systems Boden-Pflanzen unter den geänderten klimatischen Bedingungen modelliert werden?

Zunächst konnte durch die Kalibrierung des hydrologischen Modells STOTRASIM die Basis für eine Standort-spezifische Prognose der Massentransportprozesse und der Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel geschaffen werden. Unsere Resultate zeigen, dass die Charakteristika der Bodentypen und der Kulturpflanzen in Klimamodellen einbezogen werden müssen, um treffendere Aussagen tätigen zu können. Basierend auf unseren Resultaten zur Reaktion der oberirdischen Arthropoden scheint es überlegenswert, die Konsequenzen einer reduzierten Arthropodenabundanz für Biokontrollmechanismen oder Auswirkungen auf den Rückgang von Kulturlandschaftsvögeln zu modellieren. Für die meisten der biologischen Parameter erscheint eine eindeutige Aussage bezüglich einer Reaktion derzeit nicht möglich, die Ergebnisse deuten eher auf den Charakter einen „Momentaufnahme“ hin. Leider beschäftigen sich die meisten publizierten Studien nicht mit landwirtschaftlichen Systemen, sodass keine Vergleiche oder eine Übertragung von Interpretationen bezüglich einer Trendentwicklung möglich sind. Um eindeutige Entwicklungstendenzen nachweisen zu können, ist offensichtlich ein deutlich längerer Beobachtungszeitraum erforderlich

Wie können Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen des Bodens aufgrund der Ergebnisse des Projekts beschrieben werden?

Im vorliegenden Projekt wurden die folgenden wesentlichen Ökosystemfunktionen des Bodens untersucht: Pflanzenstandort, natürliche Bodenfruchtbarkeit, Potential als Lebensraum für Bodenorganismen und Regulierung des Wasserflusses. Diese Funktionen spielen eine wesentliche Rolle für die „übergreifende“ Produktionsfunktion des Bodens. Weiters wurde die Funktion als C-Speicher und für den Gashaushalt untersucht. Im Hinblick auf den Stickstoff wurde auch die Filter- und Pufferfunktion für anorganische Substanzen mit einbezogen. In Tabelle 7 sind die wesentlichen Funktionen, die im Projekt untersuchten Indikatoren und der Einfluss des geänderten Wasserregimes zusammengefasst. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass in vielen Fällen der Bodentyp als Einflussfaktor dominierte, sodass mögliche Effekte der unterschiedlichen Bewässerung dadurch „verdeckt“ sein könnten.

Tabelle 7: Einfluss der prognostizierten Niederschlagsmenge und –häufigkeit des Marchfelds während eines dreijährigen Beregnungsexperiments auf Indikatoren für spezifische Ökosystemfunktionen des Bodens

	potential as plant habitat	natural soil fertility	habitat for soil organisms	regulation of water efflux	ground-water regeneration	C storage	gas dynamics	filter/buffer for inorganic substances
Matrixpotential	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑↓	↑
N-Bilanz								↑
Pflanzenproduktion	↑↓	↑↓		↑↓	↑↓	↑↓		
Ernteindex (Körnererbse, Winterweizen)	↓	↓		↑↓	↑↓	↑↓		
Unkraubesatz	o	o			o	o		
Mycorrhizierung	↓	↓	↓			↓		
oberirdische Arthropoden		↓						
Collembola			↑↓			↑↓		
Gamasida			↑↓			↑↓		
Oribatida			↑↓			↑↓		
mikrobielle Aktivität		↑↓	↑↓			↑↓	↑↓	
PLFA		↑↓	↑↓			↑↓		
Treibhausgasflüsse							↑↓	

o … keine Reaktion
↑…Anstieg/Verbesserung
↓… Abnahme/Verschlechterung
↑↓ …Reaktion ohne eindeutigen Trend

Welche Vorschläge für Strategien können gemacht werden, um möglichen negativen Entwicklungen entgegenzuwirken?

Eindeutig negative Auswirkungen konnten nur für eine kleine Anzahle an Indikatoren festgestellt werden. Es erscheint daher nicht zielführend, zum momentanen Zeitpunkt Strategien bezüglich bestimmter Parameter zu entwickeln. Wie bereits erwähnt, hat sich ein Zeitraum von drei Jahren als zu kurz erwiesen um klare Trends und Tendenzen festzustellen und darauf aufbauend Maßnahmen zu entwickeln, die über die Erhaltung des „Status quo“ durch gesteigerte künstliche Bewässerung während der Trockenperioden hinausgehen. Dies hat einerseits ökonomische Konsequenzen, die sich nicht für alle Feldfrüchte als tragbar erweisen könnten. Darüber hinaus ist auch von einem deutlichen Einfluss auf den Grundwasserspiegel auszugehen. Wie sich bereits in zahlreichen Studien gezeigt hat, ist das Marchfeld diesbezüglich als besonders sensibles Gebiet zu bewerten. Gesteigerte Bewässerungsintensität könnte zu einem beschleunigten Absinken des Grundwasserspiegels führen, daher scheint es sinnvoll, alternative Strategien wie die Auswahl trockenheitstoleranter Arten oder Sorten zu erwägen.

Was sind die Aufgaben einer Risikoabschätzung in Bezug zu den möglichen Veränderungen im System Boden-Pflanze?

Die Hauptaufgabe der Risikoabschätzung ist sicherlich die Erfassung oder Abschätzung der hydrologischen Eigenschaften des Bodens. Die Kalibration des Modells STOTRASIM, die im Rahmen des Projekts erfolgte, stellt daher eine wesentliche Voraussetzung für die Abschätzung des Grundwasserneubildungspotenzials und des Stofftransports dar. Darüber hinaus sind diese Informationen wesentlich, um die mögliche Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffaufnahme durch Pflanzen zu modellieren. Dies kann unmittelbar mit den möglichen Erträgen oder dem Ernteindex verknüpft werden. Mit Ausnahme der abnehmenden Mykorrhizierung ist die Reaktion der Bodenlebewesen und der von Ihnen beeinflussten Prozesse noch zu unspezifisch, um sie bereits jetzt zur Risikobewertung heranzuziehen. Dennoch deuten kurzfristige Reaktionen wie eine gesteigerte Verlagerung von Kohlenstoff und Stickstoff in die mikrobielle Biomasse und die damit verbundene gesteigerte Verlustwahrscheinlichkeit, oder die Veränderungen in Abundanz und Zusammensetzung mikrobieller oder bodenzoologischer Gemeinschaften darauf hin, dass diese Detailaspekte auch in Zukunft entsprechend zu beobachten sind.

Welche Vorschläge für Strategien können gemacht werden, um mögliche positive Effekte zu nutzen?

Einer der positiven Effekte war eine beobachtete Verringerung des Austragsrisikos von Stickstoff aufgrund der eingeschränkten Wasserbewegung im Profil. Wie schon bei der Diskussion der negativen Effekte erwähnt, erlauben auch in diesem Fall die unspezifischen Reaktionen keine unmittelbaren Rückschlüsse auf mögliche Verbesserungen

Weitere Schritte

Die Ergebnisse des Projekts deuten auf gegenseitige Abhängigkeiten der unterschiedlichen Prozesse im System hin. Es ist daher vorgesehen, das Projekt mit dem Focus auf Modellierungen fortzusetzen. Im Rahmen des Projekts PANGAS wird zumindest der Aspekt der Gasflüsse nochmals intensiv bearbeitet. Dabei werden auch zusätzliche Faktoren wie verfügbarer Kohlenstoff berücksichtigt. Die Daten des Projekts LYSTRAT werden als Grundlage für weitere Modellierungen herangezogen. Die Flüsse der Treibhausgase werden mit hoher zeitlicher Auflösung gemessen, zusätzlich zu Lachgas werden auch NO und N_2 mit berücksichtigt.

Darüber hinaus ist vorgesehen, die Ergebnisse den Praktikern der Region vorzustellen und zu diskutieren, um Rückmeldungen bezüglich zukünftiger Schwerpunkte für weitere Forschungsvorhaben zu erhalten. Es erscheint wesentlich, auch die Beobachtungen der Praxis zu den bereits ablaufenden Veränderungen zu berücksichtigen, um in Kombination mit den Erkenntnissen des vorliegenden Projekts Maßnahmen zu erarbeiten. Wie bereits erwähnt, erscheint ein dreijähriger Zeitraum zu kurz, um klare Tendenzen von Veränderungen zu erkennen, andererseits könnten die beobachteten kurzfristigen Veränderungen einzelner Parameter dazu beitragen, Beobachtungen der Praxis besser zu erklären.

B) Projektdetails

6 Methodik

Im vorliegenden Projekt wurde ein möglichst umfassender, interdisziplinärer Ansatz gewählt, um mögliche kausale Zusammenhänge zwischen Detailprozessen im System Boden- Pflanze erfassen zu können. Die Lysimeteranlage der AGES bietet die Möglichkeit, unter annähernden Freilandbedingungen unterschiedlichste Aspekte zu untersuchen, wobei die Rahmenbedingungen wie hydrologischer Bodenzustand und Klima permanent erfasst und dokumentiert werden. Die Adaptierung der Versuchsanlage ermöglichte die präzise Simulation der prognostizierten Niederschlagssituation.

Vorbereitung der Versuchsanlage

In der ersten Projektphase wurde die Infrastruktur der Lysimeteranlage den Anforderungen des Versuches angepasst. Sie umfasst die drei wichtigsten Bodentypen des Marchfeldes (sandiger Tschernosem „S“: lehmiger Sand, 0,75%C_{org}; Feuchtschwarzerde „F“: Lehm, 1,68% C_{org}; , tiefgründiger Tschernosem „T“: lehmiger Schluff, 1,57% C_{org}) in je sechsfacher Wiederholung. Die Lysimeterstation wurde mit einem Folienhaus überdacht, dessen Seitenwände und Dachöffnung sich in Abhängigkeit von Regen, Wind und Temperatur automatisch öffneten oder schlossen. Die Bewässerung erfolgte während der Vegetationsperiode: Je drei Wiederholungen pro Bodentyp wurden gemäß der aktuellen Niederschlagssituation versorgt („curr.rain“), die anderen drei gemäß der vorhergesagten („prog.rain“). Die aktuelle Situation wurde aus dem langjährigen Durchschnitt der Mange und Häufigkeit des Niederschlages zwischen 1971 und 2000 errechnet. Das Zukunftsszenario wurde basierend auf einer Regionalisierung des IPCC 2007 – Szenarios für die Periode 2071 – 2100 berechnet. Grundlage dafür waren die Ergebnisse des Projekts ENSEMBLES (Christensen & Christensen, 2007). Der Wettergenerator LARS-WG vers. 3.0 (Semenov & Barrow, 2002) wurde verwendet um die abgeleiteten lokalen Veränderungssignale in tägliche Niederschlagsraten zu transferieren. Während der Wintermonate wurde die Folienabdeckung entfernt.

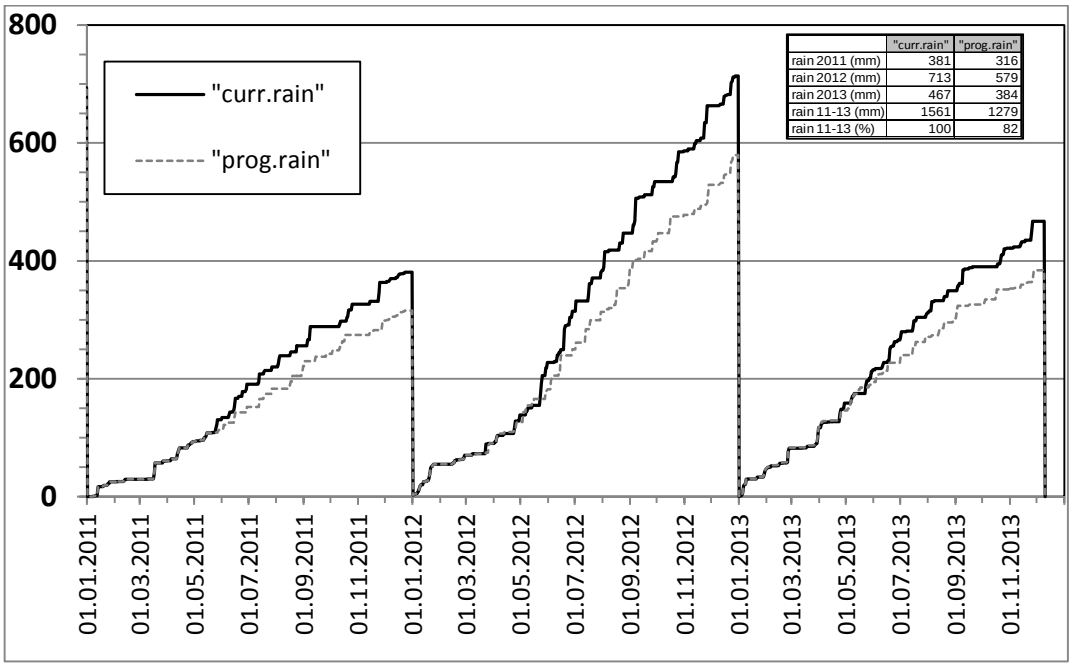
Tabelle 8: Kulturmaßnahmen

	Kulturmaßnahmen		
Datum	**„F“**	**„S“**	**„T“**
11.03.2011	Umstechen der Lysimeter		
23.03.2011	Anbau Körnererbse		
04.07.2011	Ernte Körnererbse		
05.07.2011	Anbau Zwischenfrucht Senf		
05.10.2011	Ernte Senf (ohne Massenbestimmung)		
10.10.2011	Umstechen der Lysimeter		
10.10.2011	Aufbringen des organischen Materials von Senf		
11.10.2011	Anbau Winterweizen		
08.03.2012	N-Düngung 40 kgN/ha	25 kgN/ha	40 kgN/ha
12.04.2012	N-Düngung 40 kgN/ha	30 kgN/ha	40 kgN/ha
16.05.2012	N-Düngung 50 kgN/ha	35 kgN/ha	50 kgN/ha
05.07.2012	Ernte Winterweizen		
24.09.2012	Anbau Wintergerste		
15.03.2013	N-Düngung 55 kgN/ha	40 kgN/ha	55 kgN/ha
25.04.2013	N-Düngung 65 kgN/ha	45 kgN/ha	65 kgN/ha
08.07.2013	Ernte Wintergerste		

Während des ersten Jahres erfolgte die Bewässerung manuell, ab dem zweiten Jahr wurde auf eine computergesteuerte Überkopfbewässerung mit entsprechenden Überkopfdüsen umgestellt. Der kumulative Niederschlag ist in Abb. 6.1 dargestellt. Die Aktivitäten zu den einzelnen Themenbereichen wurden in Arbeitspaketen (AP) zusammengefasst, um die unterschiedlichen ökologischen Aspekte der prognostizierten Veränderungen abzudecken. Die Kulturmaßnahmen während des Versuches sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

AP1 – Bodenhydrologie

Die wesentlichen bodenhydrologischen Parameter (Temperatur, Wassergehalt, Matrixpotential) wurden in unterschiedlichen Bodentiefen permanent gemessen. Zusätzlich wurde die Menge des Sickerwassers erfasst. Als Folge der veränderten Niederschlagsverteilung kann von einer generellen Änderung der hydrologischen Eigenschaften ausgegangen werden. Die Ergebnisse der bodenhydrologischen Messungen und der Klimadaten aus dem vorliegenden Projekt dienten einerseits der Interpretation der Ergebnisse aus den anderen Arbeitspaketen. Andererseits wurden sie verwendet, um das Modell STOTRASIM (Feichtinger 1998, Stenitzer 2004), mit dem Bodenhydrologie und Stofftransport für Freilandstandorte kalkuliert werden kann, zu kalibrieren. Da Sickerwasser nur für die Bodentypen „S“ und „F“ gemessen werden konnte, erfolgte die Kalibrierung in diesem Zusammenhang nur für diese beiden Bodentypen. Zusätzlich zeigten sich beim Bodentyp „F“ auch deutliche Schrumpfungserscheinungen, die eine Kalibration in diesem Fall als nicht sinnvoll erscheinen ließen.



	"curr.rain"	"prog.rain"
rain 2011 (mm)	381	316
rain 2012 (mm)	713	579
rain 2013 (mm)	467	384
rain 11-13 (mm)	1561	1279
rain 11-13 (%)	100	82

Abb. 6.1: kumulativer Niederschlag (natürlich und gesteuert) während des Experiments

AP2 Primärproduktion

Im Hinblick auf den Einfluss der geänderten klimatischen Situation und der unterschiedlichen Böden auf die Primärproduktion wurden folgende Parameter untersucht:

- Bestimmung der Biomasseproduktion und des Ertrages von Körnererbse, Winterweizen und Wintergerste
- Untersuchung der Entwicklung des Bestandes
- Unkrautsituation bei verschiedenen Nutzpflanzen
- Wurzelproduktion und Mykorrhizierung
- Wasserstress bei Winterweizen
- Reaktion von oberirdischen Arthropoden auf Niederschlag und Bodentypen

AP 3 Boden-Biodiversität

Beprobung, Probenaufbereitung und statistische Analysen

Von 2011 bis 2013 wurden pro Jahr jeweils im Mai, Juli und September fünf Bodenproben mit Stahlzylindern der Maße 5.6 cm x 5.6 cm x 10 cm pro Lysimeter entnommen und zu einer Mischprobe für jedes Lysimeter vereinigt. Die Bodenarthropoden wurden mittels eines Berlese-Apparates über einen Zeitraum von drei Tagen in 10%ige Natriumbenzoatlösung extrahiert. Die Bodenextrakte wurden auf einem 63µm Sieb mit Ultraschall kurz gereinigt und dann in 70%igen Ethanol überführt. Die Auszählung und Bestimmung erfolgt mit Hilfe von Binokularen und eines Phasenkontrastmikroskops.

Alle Parameter, d.h. Abundanz, Artenreichtum und Artengemeinschaft von Collembola, Gamasida und Oribatida, wurden entsprechend eines Varianzanalysendesigns mit den Faktoren Niederschlag (aktuell, prognostiziert), Bodentyp (sandige Schwarzerde, tiefgründige Schwarzerde, Feuchtschwarzerde), Saison (Mai, Juli, September) und Jahr (2011, 2012, 2013) analysiert. Abundanz und Artenreichtum wurden mit R 2.15.2 (R Core Team 2012) und die Artengemeinschaft mit PRIMER v6 + Add-on PERMANOVA analysiert.

AP 4 Bodenbiologische Aktivität

Cotton Strip Assay

Dieses Verfahren dient der Abschätzung der Dekompositionsleistung von partikulärer organischer Substanz. Dabei werden standardisierte Baumwollstreifen eine Woche lang im Boden exponiert und anschließend die Abnahme der möglichen Zugbelastung gemessen.

Multi SIR-Methode

Die Bestimmung der Substrat-induzierten Respiration (SIR) ist eine lang etablierte Standardmethode der Bodenbiologie (Anderson und Domsch 1978). Dabei wird Glucose zu Bodenproben zugesetzt und der resultierende Bodenatmungs-Peak mit einem Respirometer verfolgt.

Die MSIR (Multi-SIR) ist eine verwandte Methode zur Charakterisierung der funktionellen Diversität der Mikroorganismen des Bodens (Degens & Harris 1997). Dem Messprinzip der SIR folgend, wird eine Anzahl leicht mineralisierbarer organischer Substrate mit Bodenproben vermischt und der resultierende Peak der Bodenatmung für jedes Substrat gemessen. Ein "metabolischer Fingerabdruck" der funktionellen mikrobiellen Diversität kann über eine multivariate Analyse der Messergebnisse aller Substrate erhalten werden.

Zur Charakterisierung von SIR und MSIR wurden Anfang Mai, Ende Juli und Ende September der Jahre 2011, 2012 und 2013 Proben in der Lysimeteranlage genommen. Pro Lysimeter und Termin wurden je 10 Cores mit einem Bodenstecher (Durchmesser 3 cm) gewonnen, zu einer Mischprobe vereinigt, und in Plastiksackerln ins Labor transportiert. Am selben Tag wurden die Proben auf 2 mm Maschenweite gesiebt, der Wassergehalt auf 50% der maximalen Wasserhaltekapazität eingestellt und auf -17°C bis zur weiteren Analyse eingefroren.

Die in dieser Studie verwendeten 28 Substrate sind eine Kombination der von Degens und Harris (1997) und Myers et al. (2001) verwendeten Substrate. Die SIR-Messungen wurden mit demselben Messsystem durchgeführt wie weiter unten beschrieben, allerdings wurde nur Glucose als Substrat eingesetzt.

Für die Messungen wurde das OxiTopC®-System (WTW, Weilheim, Deutschland) verwendet, in dem die klassische SIR-Bestimmung weiterentwickelt ist (Beck et al. 1993). Das durch die Bodenatmung produzierte CO2 wurde in einem gasdichten Messgefäß mit NaOH absorbiert und damit aus der Gasphase entfernt. Der resultierende Druckabfall im Gefäß wurde durch ein piezoelektrisches Messsystem registriert.

Statistik

Vor der Datenanalyse wurden alle Respirationsdaten Box-Cox transformiert, um Normalität und Varianzhomogenität der Daten zu erreichen. Die Effektivität dieser Transformationen wurde mit Cleveland dot plots, QQ-plots und Häufigkeitshistogrammen überprüft und für adäquat befunden. Um die Fähigkeit der Substratsets zur Differenzierung der Treatments der Untersuchung einzuschätzen, wurden die Daten mittels Hauptkomponentenanalyse (PCA) dargestellt.

Die MSIR-Daten des ersten Untersuchungsjahres wurde mit einem ursprünglichen Set von 28 Substraten durchgeführt. Da eine erste Korrelationsanalyse und PCA dieser Daten ergeben hat, dass die ökologische Information der meisten Substrate hochgradig redundant war (Daten nicht gezeigt, vgl. Peham & Bruckner 2012), haben wir die Anzahl der untersuchten Substrate mit einer PCA-verwandten Technik reduziert (R package subselect 0.12-2, Cerdeira et al. 2012), ohne relevante Information zu verlieren (Duarte Silva 2002). 13 Substrate verblieben im endgültigen Set und wurden in den verbleibenden zwei Untersuchungsjahren analysiert (siehe Abbildung$1 für diese Substrate). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich daher nur auf die 13 in allen drei Jahren bestimmten Substrate.
Die Effekte der experimentellen Faktoren wurden für die univariaten Variablen mit einer ANOVA und jene der multivariaten Daten mit einer permutationsbasierten MANOVA einer euklidischen Distanzmatrix getestet (procedure adonis im R package vegan 2.0-6; Oksanen et al. 2013). Alle Berechnungen wurden in R 2.15.2 durchgeführt (R core Team 2012).

Phospholipid – Fettsäuren (PLFA)

PLFA sind essentielle strukturelle Komponenten von Zellmembranen. Nach dem Absterben von Zellen werden sie schnell abgebaut, sie gelten daher als guter Indikator für aktive Bodenmikroorganismen. Organismen oder Organismengruppen werden durch spezifische PLFA-Muster charakterisiert, diese können als „Fingerabdruck“ der mikrobiellen Gemeinschaft verwendet werden. PLFAs wurden von 2011 bis 2013 jeweils im Mai, Ende Juli und im September analysiert. Dazu wurden 5 bis 7 Bodenproben mit einem Stahlzylinder (Ø 1,1cm x 10 cm) entnommen.
Je nach Bodentyp wurden zwischen 1 und 4g Bodenmaterial extrahiert, die PLFAs wurden nach Hydrolyse und Methylierung gaschromatographisch analysiert. Folgende Gruppen wurden charakterisiert: gram-positive Bakterien, gram-negative Bakterien, anaerobe gram-negative Bakterien, Pilze, Actinomyceten, Arbusculäre Myorrhizapilze, unspezifische Bakterien und Protozoa. Die Ergebnisse wurden mit einer vierfaktoriellen Varianzanalyse hinsichtlich folgender Faktoren getestet: Niederschlagsszenario („curr.rain“, „prog.rain“), Bodentyp (S, F, T), Probenahmezeitpunkt (Frühjahr, Sommer, Herbst) und Jahr (2011, 2012, 2013)
Die Bodenenzyme wurden im Rahmen des AP5 im Rahmen der Inkubationsexperimente gemessen.

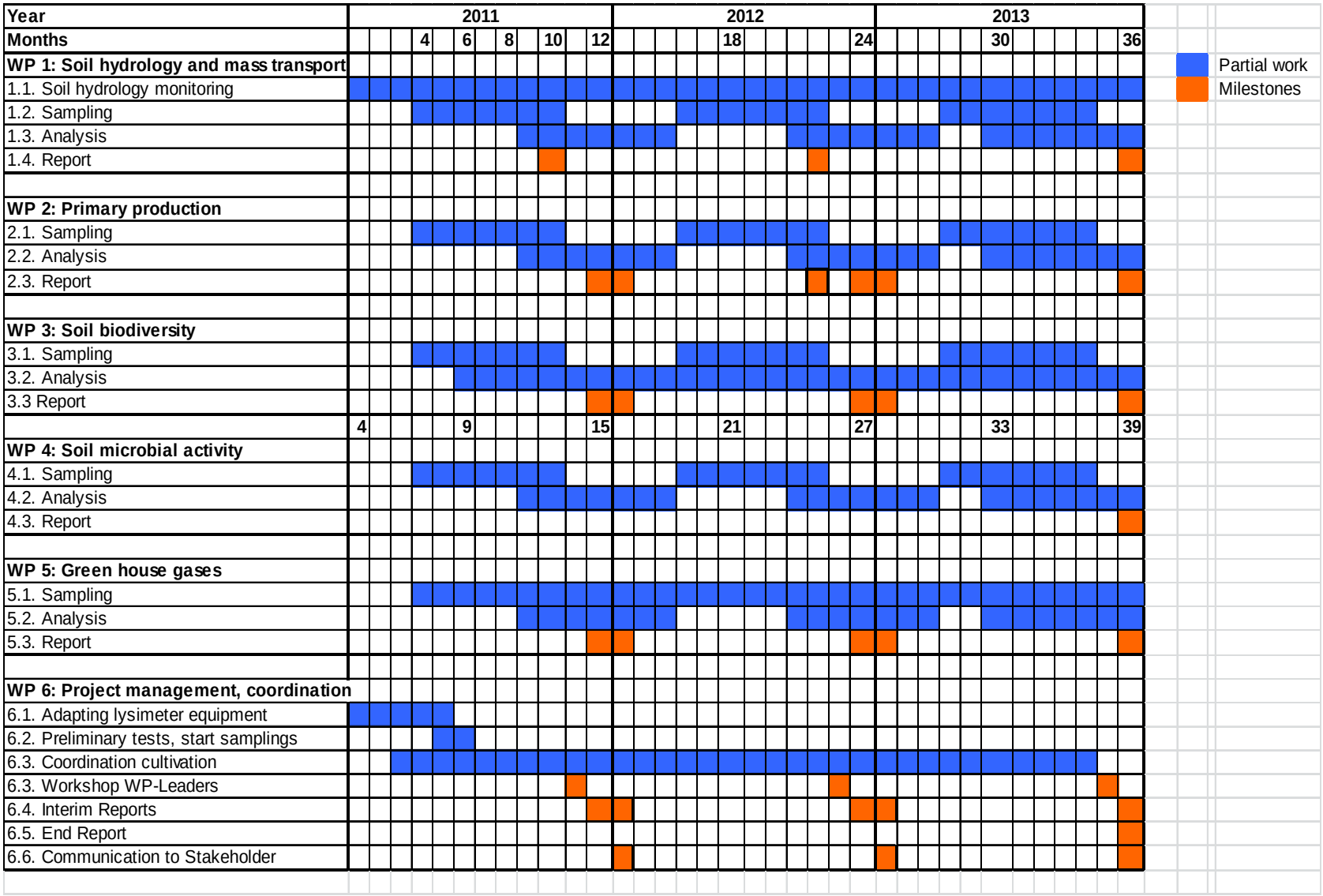
Arbeitspaket „Treibhausgasflüsse“ (WP 5)

Im Freiland wurden von März 2011 bis November 2013 regelmäßig Gasproben entnommen, um Einblicke in die Gasflüsse zu erhalten. Die Probenahme mittels der „closed chamber“-Methode wurde in den drei Versuchsjahren im Zeitraum April bis Oktober im Abstand von zwei Wochen durchgeführt, ansonsten einmal pro Monat. Zeitgleich wurde die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe gemessen sowie Bodenproben zur Bestimmung des gravimetrischen Wassergehaltes entnommen. In den Gasproben wurden die Konzentrationen an Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) mittels Gaschromatographie (GC) analysiert.
Zur Interpretation der Gasmessungen wurden ausgewählte Basis- und mikrobielle Parameter bestimmt: An 15 Beprobungsterminen wurde Material für die Messung der Ammonium- und Nitratgehalte gewonnen, an 13 für die Bestimmung des pH-Werts sowie des mikrobiellen Biomassekohlenstoffs und -stickstoffs und an sieben Terminen für Enzymassays.
Ergänzend zu den Freilandmessungen wurden Laborexperimente durchgeführt: Unmittelbar vor der Erbsenaussaat (Februar), nach Ernte der Erbsen (Juli) sowie nach der Senfernte (Oktober) erfolgte im ersten Versuchsjahr 2011 die Entnahme ungestörter Bodenproben mittels Stechzylinder für Laborinkubationen. Die Proben wurden bei vier (Februar; 5-20°C) bzw. sechs verschiedenen Temperaturen (Juli und Oktober; 5-30°C) und bei fünf bzw. drei Wassergehalten (5-80% wassergefüllter Porenraum) inkubiert. Mit Hilfe eines automatisierten Messsystems wurde die Freisetzung an Stickstoffmonooxid (NO), Stickoxiden (NOx) und CO2 erfasst. Die Ermittlung der N_2O- und CH_4-Flüsse erfolgte nach manuellen Probenahmen durch GC-Messung. Um die Auswirkungen multipler Trocknungs- und Wiederbefeuchtungszyklen auf Kohlenstoff- und Stickstofftransformationen genauer zu untersuchen, wurde 2012 ein weiteres Laborinkubationsexperiment durchgeführt. In dem acht Wochen dauernden Versuch wurden Proben, die drei zweiwöchigen

Austrocknungsphasen unterworfen wurden („dry“, Variante D), mit Kontrollproben verglichen, deren Wassergehalt bei 50% Wasserhaltekapazität aufrechterhalten wurde (Variante C). Im Verlauf des Experimentes erhielten beide Varianten dieselbe Wassermenge; die Inkubationstemperatur belief sich auf 20°C. Bestimmt wurden die Flüsse an CO_2, CH_4 und N_2O, potentielle Enzymaktivitäten (Cellobiosidase, Chitinase, Phosphatase, Peptidase, Phenoloxidase und Peroxidase), pH-Wert, Konzentrationen an Gesamt-C, extrahierbarem organischem C, Gesamt-N, mikrobiellem Biomasse-C, mikrobiellem Biomasse-N, Ammonium-N und Nitrat-N. Aufgrund begrenzter Probenahmemöglichkeiten innerhalb der Lysimeter wurde Material aus den vor Ort vorhandenen Reservebodenbehältern für das Experiment verwendet.

7 Arbeits- und Zeitplan

Der projektierte Zeitplan konnte im Wesentlichen eigehalten werden. Die Überdachung des Lysimeters wurde im Mai 2011 fertiggestellt, die Analyse der Bodentiere verzögerte sich aufgrund der unerwartet hohen Individuenanzahl.



8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Tabellarische Angabe von wissenschaftlichen **Fachzeitschriften**

Tabi Tataw, J., Hall, R., Ziss, E., Schwarz, T., Von Hohberg Und Buchwald, C., Formayer, H., Hösch, J., Baumgarten, A., Berthold, H., Michel, K., and Zaller, J. (2014). Soil types will alter the response of arable agroecosystems to future rainfall patterns. Annals of Applied Biology 164, 35-45.

Publikation in Zeitungen, populärwissenschaftlichen Journalen und Interviews

Johann G. Zaller, Herbert Formayer, Helene Berthold, Andreas Baumgarten (2013): Gemüsebau unter zukünftigen Klimabedingungen: Bodentyp könnte wichtiger werden, Gemüsebaupraxis S. 14-15, 2013 20. Jahrgang.

Interview with Johann G. Zaller about LYSTRAT project: Trockenheit und Starkregen - Sandige Böden haben am meisten Stress. Austria Press Agency (APA) Press release 2 August 2013.

Trockenheit und Starkregen - Sandige Böden haben am meisten Stress. Niederösterreichische Nachrichten, interview with Johann G. Zaller about LYSTRAT project, 2 August 2013.

Trockenstress für sandige Böden. Interview with Johann G. Zaller, science.orf.at, 2 August 2013.

Umweltverträgliche Landwirtschaft fördern: Wirkung von Trockenstress und Starkregenereignisse auf landwirtschaftliche Böden des pannonischen Raumes, Jahresbericht 2011 des BFW.

Michel, K., Kitzler, B. (2011): „Regen auf Knopfdruck“, Broschüre „Frauen in der Waldforschung“ herausgegeben vom BFW

Präsentationen auf Konferenzen, Tagungen und Workshops

2014

Berthold, H., Bachmann, G., Bruckner, A., Hadacek, F., Hösch, J., Kitzler, B., Michel, K., Murer, E., Querner, P., Wissuwa, J., Formayer, H., Baumgarten, A. (2014): Veränderungen von PLFA und THG Emissionen als Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftlichen Böden im Pannonischen Raum, 69. ALVA Tagung, 19.-20. May 2014, Wieselburg, LFZ Francisco-Josephinum, Oral presentation.

Berthold, H., Bachmann, G., Bruckner, A., Hadacek, F., Hösch, J., Kitzler, B., Michel, K., Murer, E., Querner, P., Wissuwa, J., Formayer, H., Baumgarten, A. (2014): Consequences of climate change on Phospholipid Fatty Acids of agricultural soils in the Pannonian area, 15. Österr. Klimatag , 3.-4. April 2014, Innsbruck, Oral presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J., Baumgarten, A. (2014): Bedeutung der Niederschlagsverteilung für die Flüsse klimarelevanter Gase aus Böden des Pannonischen Raumes. Österr. Klimatag , 3.-4. April 2014, Innsbruck, Poster presentation.

Schwaiger, E; Wyhlidal, S; Hösch, J; Baumgarten, A; Zaller, JG (2014): Analysis of drought stress on winter wheat using stable isotope ratio spectrometry (δ13C). 6. Touchdown of the Center for Agricultural Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, January 16, 2014, Vienna. Poster presentation.

Tabi Tataw J, Baier F, Krottenthaler F, Schwaiger E, Whylidal S, Pachler B, Formayer H, Hösch J, Baumgarten A, Zaller JG. Climate change induced rainfall patterns affect wheat productivity and agroecosystem functioning dependent on soil types. European Geosciences Union General Assembly 2014, Vienna, April 27- May 2, 2014. Oral presentation.

2013

Berthold H, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek F, Hösch J, Kitzler B, Michel K, Murer E, Querner P, Wissuwa J, Zaller JG, Baumgarten A (2013) Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area – first results (LYSTRAT)state). Tagungsband: 14. Österreichischer Klimatag, Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, 14. Österreichischer Klimatag, Wien, April 4-5, 2013. Oral presentation.

Berthold H, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek F, Hösch J, Kitzler B, Michel K, Murer E, Querner P, Wissuwa J, Zaller JG, Baumgarten A (2013) Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktivität und Biodiversität von drei typischen Böden des Marchfelds – Ergebnisse des Lysimeter-Projektes “LYSTRAT”, 68. ALVA-Tagung, LFZ, Klosterneuburg, May 2013. Oral presentation.

Forstner, S.J., Michel, K., Berthold, H., Baumgarten, A., Wanek, W., Zechmeister-Boltenstern, S. & Kitzler, B. (2013): Influence of altered precipitation pattern on greenhouse gas emissions and soil enzyme activities in Pannonian soils. In: Tagungsband: 14. Österreichischer Klimatag, April 2013, Wien

Michel K, Kitzler B, Berthold H, Hösch J, Baumgarten A, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek F, Murer E, Zaller JG (2013) Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden. Tagungsband: 14. Österreichischer Klimatag, Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, Wien, April 4-5, 2013. Poster presentation.

Michel K, Kitzler B, Berthold H, Hösch J, Baumgarten A, (2013) Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 7.-12. September 2013, Rostock, Germany. Poster presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J. & Baumgarten, A. (2013): Soil greenhouse gas fluxes under conditions of climate-induced drought and heavy rain from agricultural soils in the Pannonian area. Poster präsentiert beim CLIMMANI/INTERFACE-Workshop, 4.-7. Juni 2013, Mikulov, Czech Republic. Poster presentation.

Schwaiger, E; Wyhlidal1, S; Hösch, J; Baumgarten, A; Zaller, JG (2013): Analysis of drought stress on winter wheat using stable isotope ratio spectrometry (δ13C). 12th Austrian Stable Isotope User Group Meeting (SINA), Graz, Austria, November 15-16, 2013. Poster presentation.

Simmer, L; Zaller, J.G.; Tabi Tataw, J.; Formayer, H.; Hösch, J.; Baumgarten, A. (2013): Future rainfall patterns reduce arthropod abundance in model arable agroecosystems with different soil types. 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, Raumberg-Gumpenstein, April 16-17, 2013. Poster presentation.

Simmer L, Zaller JG, Tabi Tataw J, Formayer H, Berthold H, Hösch J, Baumgarten A (2013) Future rainfall patterns reduce arthropod abundance in model arable agroecosystems with different soil types. Geophysical Research Abstracts Vol. 15: EGU2013-4236. European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, AUSTRIA, April 7-13, 2013. Poster presentation.

Wissuwa, J., Berthold, H., Bruckner, A., Zaller, J. G., Hösch, J., Baumgarten, A. (2013): Effects of future rainfall patterns on density and diversity of predatory mites (Gamasida) in characteristic agricultural soils of the Pannonian area, Österreichische Entomologische Gesellschaft (OEG) - Kolloquium, Innsbruck, 16. March 2013. Oral presentation.

Wissuwa J, Berthold H, Bruckner A, Zaller JG, Hösch J, Baumgarten A (2013) Effects of future rainfall patterns on density and diversity of predatory mites (Gamasida) in characteristic agricultural soils of the Pannonian area. Geophysical Researc Abstracts Vol. 15: EGU2013-8519. European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, AUSTRIA, April 7-13, 2013]. Poster presentation.

Wissuwa J, Berthold H, Bruckner A, Zaller JG, Hösch J, Baumgarten A (2013): Auswirkungen zukünftiger Niederschlagsmuster auf Raubmilben in charakteristischen Böden des Pannonischen Raumes. In: Klimaforschungsinitiative AustroClim, Climate Change Centre Austria CCCA, Klima- und Energiefonds (Hrsg.), Tagungsband: 14. Österreichischer Klimatag, Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, April 4-5, 2013. Poster presentation.

Zaller JG, Simmer L, Tabi Tataw J, Formayer H, Hösch J, Baumgarten A (2013): Future rainfall patterns will reduce arthropod abundance in model arable groecosystems with different soil types. 43rd Annual Meeting of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland, Potsdam, Germany, Sept 9-13, 2013. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Book of Abstracts., 43, 287-287. Oral presentation.

2012

Berthold H, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek, F., Hösch H, Kitzler B, Michel K, Murer, E., Wissuwa J, Zaller J, Baumgarten A (2012): Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area, International Colloquium on Soil Zoology (ICSZ) in Coimbra, Portugal, 6.-10. August 2012, Poster presentation.

Berthold, H; Baumgarten, A; Hadacek, F; Bachmann, G; Bruckner, A; Wissuwa, J; Zaller, J.G.;Murer, E; Hösch, J; Kitzler, B.; Michel, K.; Zechmeister-Boltenstern, S (2012): Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area. In: EUROSOIL 2012. Soil Science for the benefit of mankind and environment and 4th International Congress of the European Confederation of Soil Science Societies (ECSSS), EUROSOIL 2012. Bari, 2-6 July 2012. Oral presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Baumgarten, A. (2011): Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden. In: EUROSOIL 2012. Soil Science for the benefit of mankind and environment and 4th International Congress of

the European Confederation of Soil Science Societies (ECSSS), EUROSOIL 2012. Bari, 2-6 July 2012. Poster presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Baumgarten, A. (2011): Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft (ÖBG), 27.-28. June 2012, Innsbruck, Poster presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Baumgarten, A. (2011): Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden, Climate Change Centre Austria CCCA, Klima- und Energiefonds (Hrsg.), Tagungsband: 13. Österreichischer Klimatag, Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, June 14-15, 2012. Poster presentation.

Zaller, JG; Schwarz, T; Hall, R; Ziss, E; von Hohberg und Buchwald, C; Tabi Tataw, J; Formayer, H; Berthold, H; Hösch, J; Baumgarten, A (2012): Response of arable agroecosystems to future rainfall patterns depends on the soil types. In: Klimaforschungsinitiative AustroClim, Climate Change Centre Austria CCCA, Klima- und Energiefonds (Hrsg.), Tagungsband: 13. Österreichischer Klimatag, Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, June 14-15, 2012. Poster presentation.

Zaller JG, Schwarz T, Hall R, Ziss E, von Hohberg und Buchwald C, Tabi Tataw J, Hösch J, Baumgarten A (2012): Soil types will alter the response of arable agroecosystems to future rainfall patterns. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, 12799-12799. European Geosciences Union General Assembly 2012 , Vienna, AUSTRIA, April 22-27, 2012. Poster presentation.

2011

Berthold H, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek, F., Hösch H, Kitzler B, Michel K, Murer, E., Wissuwa J, Zaller J, Baumgarten A (2011): Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area. In: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein des BMLFUW (Hrsg.), Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft, 251-252. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung "Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft", Gumpenstein, Austria, May 3-4, 2011. Poster presentation.

Berthold H, Bachmann G, Bruckner A, Hadacek, F., Hösch H, Kitzler B, Michel K, Murer, E., Wissuwa J, Zaller J, Baumgarten A (2011): Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area. In: Klimaforschungsinitiative AustroClim und Klima- und Energiefonds, Tagungsband: 12. Österreichischer Klimatag. Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung in Österreich, 12. Österreichischer Klimatag, 21. + 22. September 2011 at BOKU, P12, BOKU Wien. Poster presentation.

Michel, K., Kitzler, B., Berthold, H., Hösch, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Baumgarten, A. (2011): Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung auf die Flüsse klimarelevanter Gase aus Schwarzerden, Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Berlin, 4.-8. September 2011, Poster presentation.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Consequences of climate change on ecosystem functions, water balance, productivity and biodiversity of agricultural soils in the Pannonian area

Synthesis document - added value and original contribution of the LYSTRAT project:

Possible feedback mechanisms between the precipitation aspect of climate change and processes in agroecosystems have been evaluated in numerous studies so far. However, the focus of most studies was on rising temperatures, changes in precipitation patterns have attracted considerably less attention. The project LYSTRAT makes a valuable contribution to our knowledge about the effects of altered precipitation patterns on various agroecosystem processes and parameters, since many aspects, i.e. soil hydrology, crop production, soil biology, soil microbiology and greenhouse gas fluxes, were studied simultaneously in soils of an agriculturally important region of Austria.

The project results clearly demonstrated that different parts or processes of the agroecosystem react differently to changes in the precipitation patterns. Several parameters related to plant production such as crop cover and yields, root production, weed density or harvest index showed significant effects due to precipitation manipulation However, depending on the crop, slightly negative (pea, wheat) or positive effects (barley) could be detected. Furthermore, also the abundance of aboveground arthropods was affected - a substantial reduction was observed, indicating severe changes of aboveground ecosystem processes.

In contrast, many soil-related processes and parameters were not substantially affected by the changed precipitation in the short-term. This was found, for example, for soil greenhouse gas fluxes and soil microbial parameters such as microbial community composition (results of PLFA analysis) or microbial activity (results of MSIR) as well as microarthropd abundance and community composition. However, most of the soil-related parameters investigated showed more or less clear trends. This may suggest that either only severely changed moisture conditions will result in clear visible modifications of soil properties or processes or that the duration of the experiment was too short to observe distinct effects. Therefore, the project results also highlight the need for longer-term investigations to reliably estimate future changes and developments due to climate change in agroecosystems. The results of this project may be used as input for modelling, since in some cases effects were not significant but showed clear trends. This might enhance the understanding of the effects of changing precipitation and drought.

Generally, the soil type appeared to have a higher influence on many parameters and processes than altered precipitation patterns. This is an important aspect when attempting to scale-up experimental results derived at the plot level to the landscape level.