

BERICHTE ZUR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

2017

BODEN FORSCH UNG

Inhalt

05	PANGAS	Die Auswirkungen klimainduzierter Trockenheit und Starkregenereignisse auf die Flüsse klimarelevanter Gase sowie die Emissionen gasförmiger Stickstoffverbindungen werden untersucht.
15	NitroAustria	In diesem Projekt werden jene Einflussfaktoren identifiziert, die für die Lachgasemissionen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten auf regionaler Basis verantwortlich sind. Damit ist es möglich, Empfehlungen bezüglich Optimierungsmaßnahmen zu geben.
23	LYSTRAT	LYSTRAT soll Informationen über Detailprozesse und mögliche Veränderungen im System Boden/Pflanze sammeln und deren Folgen für die Agro-Ökosysteme und unterschiedliche Bodentypen aufgrund der länger andauernden Trockenperioden und häufigeren Starkregenereignissen abschätzen.
31	DRAIN	Das Projekt DRAIN befasst sich mit den Auswirkungen von Trocken- und Feuchtezyklen auf Bodentreibhausgasemissionen, Bodennährstoffe und Bodenmikrobiologie. Die Ergebnisse sollen genaue Vorhersagen über das Verhalten von Ökosystemen unter veränderten klimatischen Bedingungen ermöglichen.
39	Wood-N-Climate	Das Projekt Wood-N-Climate untersucht die Auswirkungen von Stickstoffeintrag auf die bio- und geochemischen Prozesse des Kohlenstoffabbaus und deren Kaskadeneffekte in Waldökosystemen. In weiterer Folge können durch die gewonnen Erkenntnisse Bewirtschaftungsansätze vorgeschlagen werden, die den Erhalt der Ökosystemfunktionen des Lebensraumes Wald sicherstellen.
46	Alle geförderten Projekte im Überblick	
48	Bisherige Ausgaben von „ACRP in essence“	

„Boden ist das verbindende Element für Wasser- und Nährstoffkreisläufe und ist die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Um wirksame und nachhaltige Maßnahmen zu setzen müssen wir das Systemgefüge Boden und dessen Wechselwirkung mit dem Klimawandel verstehen. Das *Austrian Climate Research Programme* stellt dafür als Wissensbasis eine wichtige Entscheidungsgrundlage dar.“

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer

Vorwort

Österreich hat als Alpenland eine außergewöhnliche Stellung – hier wird der Klimawandel besonders hart zuschlagen. Die Auswirkungen spüren wir in vielen Bereichen unseres Lebens. Auch die Lebensgrundlage für uns Menschen und unsere Umwelt, unsere Böden, werden durch den Klimawandel beeinflusst.

Böden bilden ein komplexes Systemgefüge und als Standort für landwirtschaftliche Nutzung und Wälder ist die Bodenqualität und Bodenbeschaffenheit ein essenzieller Bestandteil unserer Nahrungsmittelversorgung sowie regelnder Bestandteil des Naturhaushaltes. Mit seiner enormen CO₂-Speicherkapazität beeinflusst der Boden die Kohlenstoffbilanz und steht dadurch in einer wechselseitigen Beziehung mit Klimaveränderungen mit teilweise sich verstärkenden Rückkopplungseffekten.

Aufgrund der komplexen Systemeigenschaften ist eine Abschätzung der klimabedingten Einflüsse auf den Bodenhaushalt schwierig. Die vorgestellten Projekte bilden eine Wissensbasis zu den Einflüssen des Klimawandels auf Böden und damit einhergehenden Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft. Sie wurden im Rahmen des Förderprogrammes *Austrian Climate Research Programme* des Klima- und Energiefonds unterstützt. Seit 2007 wurden 191 ACRP-Projekte vom Klima- und Energiefonds gefördert, die die wissenschaftliche Grundlage für Klimawandel-Anpassungsmaßnahmen darstellen.

Eine anregende Lektüre wünscht Ihnen
Ihr Klima- und Energiefonds Team



Projektleitung

Dr.in habil **Kerstin Michel**

Bundeforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Waldökologie und Boden



Beteiligte Institutionen

- Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherung (AGES), Wien
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (KIT-IMK), Deutschland



Gute Gründe für das Projekt

- Der Fokus liegt auf dem Pannonischen Raum im Allgemeinen sowie dem Marchfeld im Besonderen und damit auf einem landwirtschaftlich wichtigen Gebiet Österreichs, für das bisher kaum Erkenntnisse zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels vorliegen.
- Die nationale Klimaberichterstattung nutzt Emissionsfaktoren zur Erstellung von Treibhausgasbilanzen. Deren Qualität hängt somit von der Verlässlichkeit der eingesetzten Emissionsfaktoren ab. Im Rahmen des Projektes werden die vom *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* vorgegebenen Emissionsfaktoren hinsichtlich ihrer Eignung, sie für das Marchfeld zu verwenden, überprüft.
- Die Einbeziehung aller gasförmigen Stickstoffverbindungen, insbesondere des Endproduktes der Denitrifikation (molekularer Stickstoff, N_2), trägt zur Schließung einer Forschungslücke bei. Zu den N_2 -Emissionsraten aus Böden liegen derzeit kaum gesicherte Daten vor, da die Messung aufgrund der hohen atmosphärischen Hintergrundkonzentration eine methodische Herausforderung darstellt.

PANGAS

Treibhausgasflüsse aus landwirtschaftlich genutzten Böden des Pannonischen Raumes unter veränderten Niederschlagsbedingungen

Klimaszenarien für den Pannonischen Raum und potenzielle Auswirkungen auf die Treibhausgasflüsse

Die Pannonische Tiefebene bildet den Ostrand Österreichs und reicht vom nördlichen Burgenland bis an den Rand des Wiener Beckens. Das in diesem Gebiet und in Teilen des Wiener Beckens, zum Beispiel im Marchfeld, vorherrschende pannonisch geprägte Klima ist als relativ warm und trocken mit mittleren Jahresniederschlägen zwischen 500 und 700 mm zu charakterisieren. Trockenperioden treten insbesondere in den Sommermonaten auf. Infolge einer typischen Eigenheit des Pannonischen Klimas, der sogenannten Vb-Wetterlage, mit der die Zugbahn von niederschlagsreichen Tiefdruckgebieten beschrieben wird, sind jedoch auch Starkniederschlagsereignisse möglich.

Das Marchfeld – im Osten Wiens und in Niederösterreich gelegen – umfasst etwa 100.000 Hektar und gilt als die „Kornkammer Österreichs“ sowie als wichtiges Gemüseanbaugebiet. Es zeichnet sich durch fruchtbare Böden, insbesondere *Tschernoseme* (Schwarzerden), aus.

Die mittleren Jahresniederschläge liegen an der unteren Grenze des für das Pannonische Klima typischen Bereichs. Aktuelle Klimaszenarien zufolge könnte eine Klimaänderung die ackerbauliche Situation in diesem landwirtschaftlich bedeutsamen Gebiet Österreichs verschärfen, da für den Pannonischen Raum eine generelle Abnahme der Niederschläge in Kombination mit noch ausgeprägteren Trockenperioden im Sommer und im Herbst vorhergesagt wird. Im Gegenzug soll die Anzahl der Starkregenereignisse zunehmen.



Abb. 1a

Keller der Lysimeteranlage Hirschstetten

Bei den Lysimetern handelt es sich um zylindrische Stahlgefäße mit einer Höhe von jeweils 2,45 m und einem Durchmesser von 1,96 m. Jedes Lysimeter enthält ungefähr 11 t Boden und ist mit einer Kippwaage zur quantitativen Bestimmung der Sickerwassermenge (außer Feuchtschwarzerde), Saugkerzen zur Entnahme von Bodenwasser, Tensiometern zur Erfassung der Bodenwasserspannung und Temperatursensoren ausgestattet. (Foto: Lehner, BFW)

Änderungen der Niederschlagsintensität und Niederschlagsverteilung wirken sich auf das Feuchtigkeitsregime der Böden aus. Neben der Temperatur ist die Bodenfeuchte einer der Hauptsteuerfaktoren der mikrobiellen Aktivität in Böden, da sie außer der Wasser- auch die Sauerstoffverfügbarkeit beeinflusst.

Die mikrobielle Aktivität wiederum ist eine entscheidende Größe für die Freisetzung klimarelevanter Gase. Die Spurengase Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (Lachgas, N_2O) werden nur unter sauerstofffreien, d.h. anaeroben Bedingungen gebildet, wohingegen die Respiration, deren Endprodukt CO_2 ist, am effektivsten in aeroben Böden bzw. Bodenkompartmenten abläuft. Anaerobe Bedingungen treten häufig nach Starkregenereignissen, im Zuge der Schneeschmelze oder in stauwasserbeeinflussten Böden auf.

Die Freisetzung von CH_4 hängt davon ab, in welchem Verhältnis CH_4 durch den Prozess der Methanogenese produziert und im Gegenzug durch Oxidation (*Methanotrophie*) wieder abgebaut wird. Circa fünf Prozent des gebildeten CH_4 werden allerdings wieder im Boden durch Oxidation eliminiert. Verstärkter Sauerstoffmangel infolge von Starkregenereignissen könnte zeitweise den CH_4 -Abbau vermindern. Eine Reduzierung dieser Senke würde den Anstieg der CH_4 -Konzentration in der Atmosphäre (derzeit ungefähr 2,5 ppb pro Jahr) beschleunigen.

Der Stickstoffkreislauf ist stärker mikrobiell gesteuert als der des Kohlenstoffs. Es ist daher zu erwarten, dass Veränderungen des Niederschlags- und somit des Bodenfeuchtereimes verschiedene Prozesse und Größen des Stickstoffkreislaufs beeinflussen werden.

Aus ökologischer Sicht besonders bedeutsam wären Auswirkungen auf den Prozess der Denitrifikation, d.h. die Umwandlung von Nitrat in gasförmige Stickstoffverbindungen. Änderungen in der Bodenfeuchte könnten beispielsweise eine verstärkte Verschiebung des Endproduktes vom molekularen Stickstoff (N_2) zum klimarelevanten N_2O bewirken. Ein andersartiges Emissionsverhalten wiederum könnte Auswirkungen auf die Klimaberichterstattung haben, da es Abweichungen von den vom IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) vorgegebenen Emissionsfaktoren nach sich ziehen könnte. Emissionsfaktoren werden verwendet um abzuschätzen, welcher Anteil an in Düngern enthaltener Stickstoff nach Ausbringung in Form von N_2O freigesetzt wird und somit in die Atmosphäre gelangt.

In Bezug auf mögliche Rückkopplungsmechanismen zwischen Klimaänderung und der Freisetzung klimarelevanter Gase lag der Schwerpunkt bisheriger Untersuchungen auf der Bedeutung steigender Temperaturen. Veränderungen des Feuchtigkeitsregimes wurden kaum berücksichtigt. Die Ergebnisse früherer Untersuchungen, beispielsweise zur Stickstoffmineralisierung oder zu gasförmigen Emissionen, waren häufig widersprüchlich. Die Auswirkungen ausgeprägter Trockenperioden und von Starkregenereignissen auf die Flüsse von klimarelevanten Gasen und Stickstoffgasen sowie die zugrundeliegenden Prozesse sind derzeit daher nicht klar. Insbesondere längerfristige Freilandexperimente zur Untersuchung des Niederschlagseinflusses wurden bisher nur selten durchgeführt. Es ist daher offen, mit welchen Veränderungen in den mikrobiell gesteuerten Prozessen und den damit assoziierten Gasflüssen zu rechnen ist, falls die Klimaszenarien für den Pannonischen Raum zutreffen sollten.

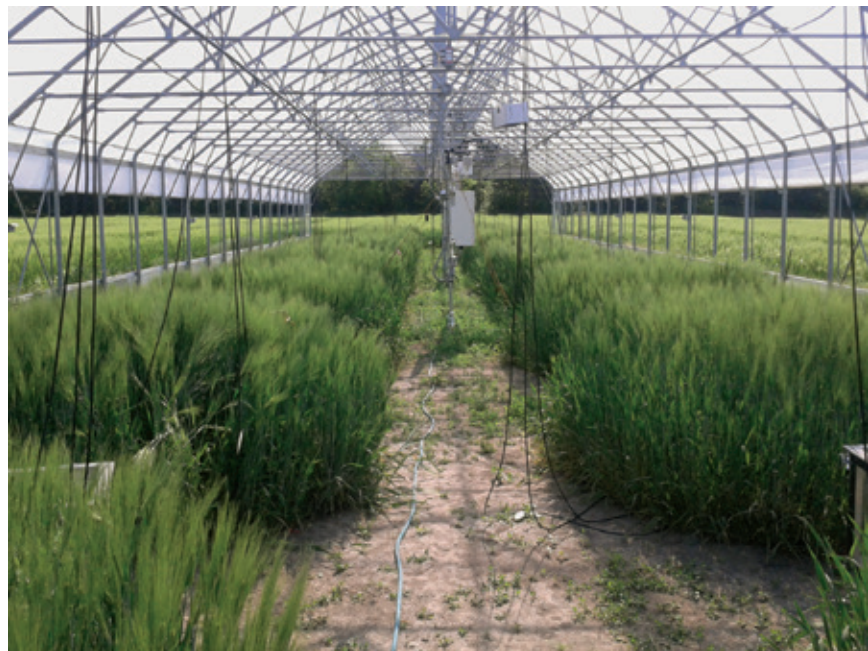


Abb. 1b

Lysimeterfeld mit Folienüberdachung zum Niederschlagsausschluss und Klimastation
Die Lysimeter werden nach unterschiedlichen Schemata beregnet: Kontrolle (langjähriges Mittel, Großenzersdorf, Marchfeld; rechte Reihe) und Trockenvariante (auf Basis von Klimaszenarien von H. Formayer, Universität für Bodenkultur, berechnet; linke Reihe). (Foto: Lehner, BFW)

Projektziele

Ziel des Projektes ist es, die Auswirkungen von klimainduzierter Trockenheit und Starkregenereignisse auf die Flüsse klimarelevanter Gase und die Emissionen gasförmiger Stickstoffverbindungen genauer zu untersuchen.

Zugrundeliegende Mechanismen sollen ebenso identifiziert werden wie potenzielle Steuerfaktoren. Die Überprüfung der Anwendbarkeit der IPCC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftlich genutzte Böden des Pannonischen Raumes ist ein weiteres Projektziel.

Zielgruppen sind die *scientific community*, Institutionen und Behörden, die Emissionsabschätzungen durchführen müssen, Landwirtschaftskammern sowie im Pannonischen Raum ansässige LandwirtInnen.

Ein **Lysimeter** ist ein Gerät zur Ermittlung von Bodenwasserhaushaltsgrößen und zur Beprobung von Bodensickerwasser, um dessen Quantität und Qualität zu bestimmen. In der Umweltforschung und Landwirtschaft werden Lysimeter zur Erfassung von Wechselwirkungen der Atmosphäre, den Pflanzen, dem Boden, der Tierwelt und dem Grundwasser verwendet.

Ann. d. Red.

Forschungsansatz

Zur Erreichung der Projektziele wird eine Kombination aus Freilandexperimenten und -messungen, Laboruntersuchungen und biogeochemischer Modellierung verwendet.

Für die Freilanderhebungen wird ein im Jahre 2011 auf der Lysimeteranlage Hirschstetten, Wien, etabliertes Niederschlagsausschlussexperiment genutzt. Die Lysimeteranlage besteht aus 18 grundwasserfreien Lysimetern, d.h. nach oben offenen, mit Boden gefüllten Behältern, die zur Erfassung von Austauschprozessen zwischen den verschiedenen Komponenten eines Ökosystems dienen. Abb. 1a

Diese enthalten – in jeweils sechsfacher Wiederholung – drei für das Marchfeld repräsentative Böden: zwei Tschernoseme (sandig bzw. tiefgründig) sowie eine Feuchtschwarzerde, demnach einen Boden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz, der früher Grundwassereinfluss unterlag. Um die Niederschläge kontrolliert steuern zu können, wurde die Anlage 2011 überdacht und mit einem automatisierten Beregnungssystem ausgestattet. Abb. 1b

Jeweils drei Wiederholungen pro Boden werden seit Mai 2011 in Hinblick auf Intensität und Quantität entsprechend dem 30-jährigen Mittel von Großenzersdorf, Marchfeld, beregnet (Kontrolle). Die übrigen neun Lysimeter erhalten 20 Prozent weniger Niederschlag (Trockenvariante). Zudem unterscheiden sich die Beregnungsschemata hinsichtlich der Länge der Trockenperioden und der Intensität der Niederschlagsereignisse.



Abb. 2a

Einzelkammern (mit Probefläschchen, vorne) zur Erfassung der Gasflüsse mittels der "closed-chamber-Methode" bei unterschiedlich hohen Kulturen. Alle Kammern sind mit Ventilatoren ausgestattet, um eine ausreichende Luftdurchmischung während der Probenahme zu gewährleisten. (Foto: Michel, BFW)

Die CH_4 -, CO_2 - und N_2O -Flüsse werden regelmäßig mit Hilfe der *closed-chamber*-Methode erfasst. Hierzu werden im Abstand von zwei Wochen bzw. im Rahmen von fünftägigen Intensivmessphasen (vier bis fünf pro Jahr) Kammern auf vorinstallierten Rahmen bzw. Sockeln aufgestellt und Gasproben gezogen. Pflanzen werden integriert. Hierzu wird die Kammerhöhe an die Pflanzenhöhe angepasst. **Abb. 2a und 2b**

Die mittels der Kammern gemessenen CO_2 -Flüsse entsprechen demnach der sogenannten Ökosystemrespiration, die sich aus der Boden- und der Pflanzenatmung zusammensetzt. Zeitgleich werden die NO -Freisetzung und die Bodenatmung sowie wichtige Steuerfaktoren (Bodentemperatur, Bodenwassergehalt) erfasst. In regelmäßigen Abständen werden zudem Bodenproben entnommen, um weitere relevante Bodeneigenschaften bestimmen zu können. Hierzu zählen die mikrobielle Biomasse (Gesamtbiomasse, Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft) und Aktivität (Enzyme), verfügbare mineralische Stickstoffspezies (Ammonium, Nitrat) und physikochemische Basisparameter (C/N-Verhältnis, pH-Wert). Um den Stickstoffkreislauf möglichst vollständig zu erfassen, werden im Labor die N_2 -Freisetzungsraten (Endprodukt der Denitrifikation) ermittelt. Zur Überprüfung der IPCC-Emissionsfaktoren und um potenzielle Steuerfaktoren identifizieren zu können, wurden zusätzlich zu den im Rahmen des Freilandversuchs erhobenen Daten Laborexperimente mit stickstoffgedüngten Proben durchgeführt. Düngung und Bewässerung erfolgten in Anlehnung an den Freilandversuch. Erfasst wurden zusätzlich zu den klimarelevanten Gasflüssen die NO - und N_2 -Freisetzung sowie die Konzentrationen an verfügbarem mineralischen Stickstoff.

Auf Basis des erarbeiteten Datensatzes werden mit dem biogeochemischen Modell LandscapeDNDC Vorhersagen für die Emissionen klimarelevanter Gase und gasförmiger Stickstoffverbindungen für verschiedene Klimaszenarien erstellt. Zudem werden mit Hilfe der Modellierung Möglichkeiten aufgezeigt, die Freisetzung klimarelevanter Gase durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zu vermindern.

Erste Ergebnisse des Projektes

Alle drei Böden weisen pH-Werte um 7,6 auf und sind somit als neutral hinsichtlich der Bodenreaktion einzustufen. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff liegen mit 1,3 bis 2,6 Prozent im unteren bis mittleren Bereich landwirtschaftlich genutzter Böden. Die untersuchten Böden sind Senken für CH_4 (negative CH_4 -Flüsse). Zwischen den drei Böden zeigten sich keine Unterschiede in der CH_4 -Aufnahme. Die unterschiedlichen Beregnungsmuster hatten ebenfalls kaum signifikante Auswirkungen. Tendenziell nahmen die Trockenvarianten weniger CH_4 auf als die Kontrollböden. Eine signifikante Reduzierung der CH_4 -Aufnahme konnte bisher für den sandigen Tschernosem für das Jahr 2014 festgestellt werden.

Die für den sandigen Tschernosem gemessenen Ökosystemrespirationsraten waren signifikant geringer als die der beiden anderen Böden. Neben dem Bodentyp hatte auch das Niederschlagsschema einen signifikanten Einfluss auf die Ökosystematmung. Die Beregnung gemäß der Trockenvariante bewirkte geringere Raten im Vergleich zur Kontrolle. Ähnliche Beobachtungen wurden auch für die Bodenatmung gemacht.

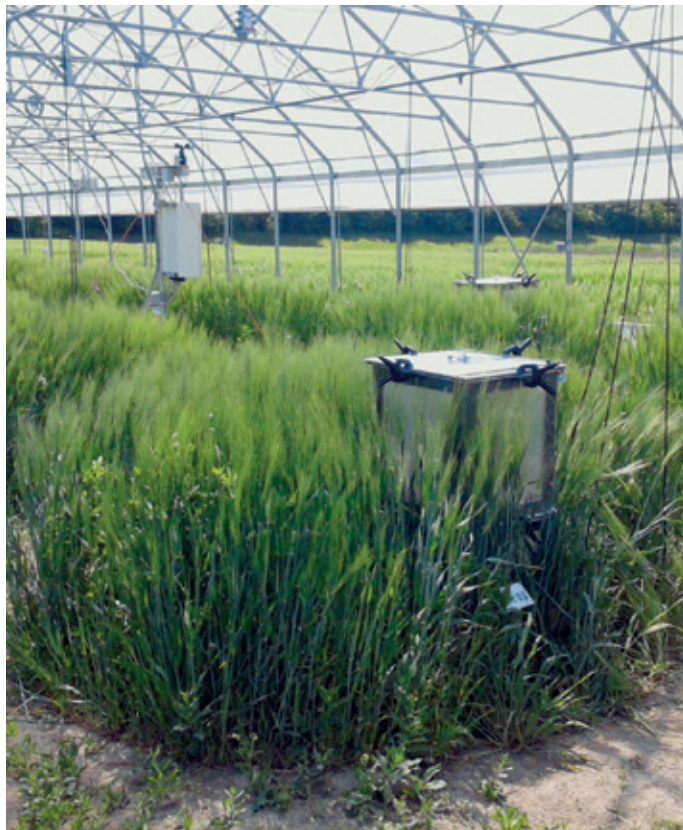


Abb. 2b

Doppelkammern zur Erfassung der Gasflüsse mittels der "closed chamber-Methode" bei unterschiedlich hohen Kulturen. Alle Kammern sind mit Ventilatoren ausgestattet, um eine ausreichende Luftdurchmischung während der Probenahme zu gewährleisten. (Foto: Michel, BFW)

Die verschiedenen Prozesse und Produkte der Denitrifikation wurden unterschiedlich beeinflusst. Die bisher gemessenen NO-Flüsse waren sehr gering und für beide Niederschlagsvarianten weitgehend vergleichbar, wohingegen tendenziell höhere N₂O-Emissionen aus der Trockenvariante registriert wurden. Insgesamt war die Feuchtschwarzerde eine stärkere N₂O-Quelle als die beiden Tschernoseme. Die N₂-Emissionen zeigten bisher eine hohe Variabilität sowohl zwischen den Böden als auch den Niederschlagsvarianten. Die Ableitung eines generellen Trends ist auf Basis der derzeit vorliegenden Daten nicht möglich.

Zur Abschätzung der Unsicherheiten bei der Modellierung des Kohlen- und Stickstoffkreislaufs wurde eine neu entwickelte Methode auf die Lysimetersimulation angewandt. Das Verfahren basiert auf dem Markov-Ketten-Monte-Carlo-Verfahren (MCMC) und dem bayesschen Wahrscheinlichkeitsbegriff. Die MCMC-Kette wählt dabei ständig neue Parameterkombinationen und vergleicht bzw. bewertet Simulationsergebnisse für Pflanzenwachstum und N₂O-Emissionen gegen Beobachtungen. Die generierten A-posteriori-Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Prozessparameter liefern anschließend probabilistische Simulationsergebnisse, aus welchen sich die Unsicherheitsbanden statistisch ableiten lassen. In der letzten Phase von PANGAS wird dieser Ansatz auf ein regionales Inventar für den Pannonischen Raum angewandt und die Unsicherheiten in der Modellierung der regionalen N₂O-Emissionen und des NO₃-Austrags erfasst.

Die bisherigen Ergebnisse deuten an, dass die für den Pannonischen Raum erwarteten Modifikationen des Niederschlagsregimes keine tiefgreifenden Änderungen hinsichtlich der Treibhausgasflüsse bewirken werden. Es zeichnet sich jedoch auch ab, dass trockenere Bedingungen im Marchfeld zu einer Reduktion der Senkenfunktion der Böden für CH₄ bei gleichzeitigem Anstieg der N₂O-Emissionen führen könnten.



Projektleitung

Priv. Doz. Dr.in **Barbara Amon**
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung



Beteiligte Institutionen

- Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien
- Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien
- Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung – atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Deutschland



Gute Gründe für das Projekt

- NitroAustria modelliert die Flüsse von Stickstoffverbindungen von landwirtschaftlichen Acker- und Grünlandböden in sechs österreichischen landwirtschaftlich genutzten Gebieten.
- Die regionale Schätzung der Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung von Klima, Bodeneigenschaften, Topografie, Nutzung, Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsintensität macht es möglich, „Hotspots und Hotmoments“ für Lachgas- und Nitratverluste zu identifizieren.
- Aufbauend auf der Identifizierung von „Hotspots und Hotmoments“ können Konzepte für einen verringerten Stickstoffeinsatz und einer Verbesserung des landwirtschaftlichen Ertrages entwickelt werden.

NitroAustria

*Nitrogen losses from Austrian agricultural soils
– modelling to explore trade off effects*

Stickstoff ist ein essenzielles Element für Menschen, Tiere und Pflanzen, das für den Aufbau von Aminosäuren und Proteinen verwendet wird. Die Verfügbarkeit von Stickstoff im Boden bestimmt maßgeblich das Wachstum der Pflanzen.

Hotspots kennzeichnen Bereiche, die im Vergleich zu ihrer Umgebung überdurchschnittlich hohe Reaktionsraten ausweisen.

Hotmoments sind kurze Zeitabschnitte, die hohe Reaktionsraten zeigen.

Anm. d. Red.

Man rechnet mit etwa 0,1 bis 0,2 Prozent Stickstoff in einem Ackerboden. Dieser Stickstoff liegt meist organisch gebunden in lebenden Organismen, Wurzeln oder in der organischen Bodensubstanz. In natürlichen Ökosystemen kommt nur ein kleiner Teil des Bodenstickstoffs in pflanzenverfügbarer, anorganischer Form als Nitrat (NO₃⁻) oder Ammonium (NH₄⁺) vor.

Um die Erträge zu sichern, bringen LandwirtInnen Stickstoff in Form von organischem und/oder mineralischem Dünger auf ihre Felder aus. Ein kleiner Teil des anorganischen Ammoniums (NH₄⁺) kann an Tonmineralien fixiert werden. Der weit überwiegende Teil wird entweder sofort von Mikroorganismen oder Pflanzen aufgenommen und/oder abgebaut oder er versickert mit dem Bodenwasser in tiefere Schichten bzw. ins Grundwasser. Gasförmige Verluste in Form von Ammoniak (NH₃) oder Lachgas (N₂O) können ebenfalls auftreten.

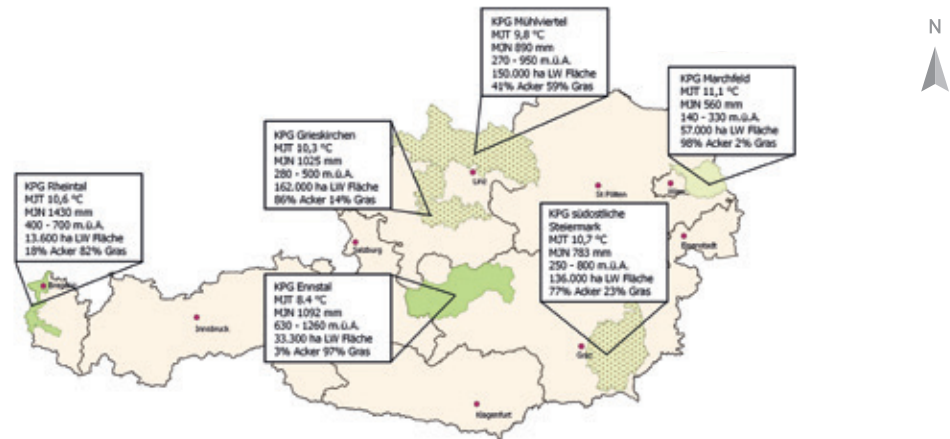


Abb. 1

Beschreibung der sechs gewählten Kleinproduktionsgebiete in Österreich
MJT = mittlere Jahrestemperatur; MJN = mittlerer Jahresniederschlag
beides als Mittelwert der ZAMG-Klimastationen in der Periode 2005 – 2014
LW = landwirtschaftliche Fläche 2013; Acker bzw. Gras = Anteil der Nutzung 2013

Emissionsfaktoren (EF) mit Standardabweichung (SD)

- Acker EF 0.86 (SD 0.12)
- Grünland EF 2.3 (SD 0.20)
- Kleinproduktionsgebiet Mühlviertel

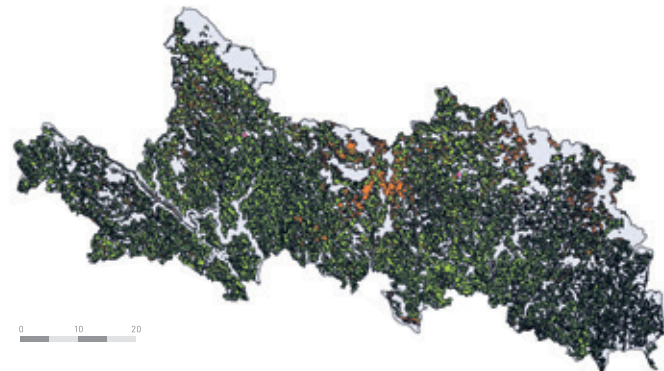


Abb. 2

Mittlere Emissionsfaktoren landwirtschaftlicher Böden im Mühlviertel in der Periode 2005 – 2014
(NitroAustria vorläufige Ergebnisse, Januar 2017)

Global gesehen haben menschliche Aktivitäten die Menge an reaktivem Stickstoff (das sind alle Stickstoffverbindungen, die nicht elementarer Stickstoff (N_2) sind) in der Umwelt verdoppelt. Diese Verdoppelung ist zu einem großen Teil auf die Herstellung von mineralischem Stickstoffdünger, auf das Verbrennen fossiler Energieträger und auf die Zunahme von Tierhaltung zurückzuführen.

Das österreichische Treibhausgasinventar 2016 zeigt, dass der Landwirtschaftssektor mit neun Prozent zu den klimarelevanten Gasemissionen beiträgt. Die Landwirtschaft ist die wichtigste Quelle für Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Ganze 70 Prozent der Lachgasemissionen werden landwirtschaftlichen Böden zugeschrieben. Das bedeutet, dass um die neuen Klimaschutzziele, die im Weltklimavertrag von Paris vereinbart wurden, in Österreich zu erreichen, die effiziente Nutzung von Stickstoff für die Tier- und Pflanzenernährung und die gleichzeitige Vermeidung unkontrollierter Stickstoffverluste eine zentrale Aufgabe künftiger landwirtschaftlicher Produktionsformen ist.

Ergebnisse des Projektes FarmClim, welches in der 4. ACRP-Ausschreibung gefördert wurde, zeigen, dass die nationale Berichterstattung für Lachgasemissionen lediglich auf den vom IPCC vorgegebenen Richtwerten beruht und keine standorts- oder regionalspezifischen Lachgasemissionen von landwirtschaftlichen Böden berücksichtigt werden.

Der IPCC-Standardwert basiert auf einer empirischen Regression zwischen ausgebrachter Stickstoff-Düngermenge sowie Lachgasemissionen und nimmt an, dass landesweit ein Prozent des ausgebrachten Stickstoffdüngers als Lachgas von den landwirtschaft-

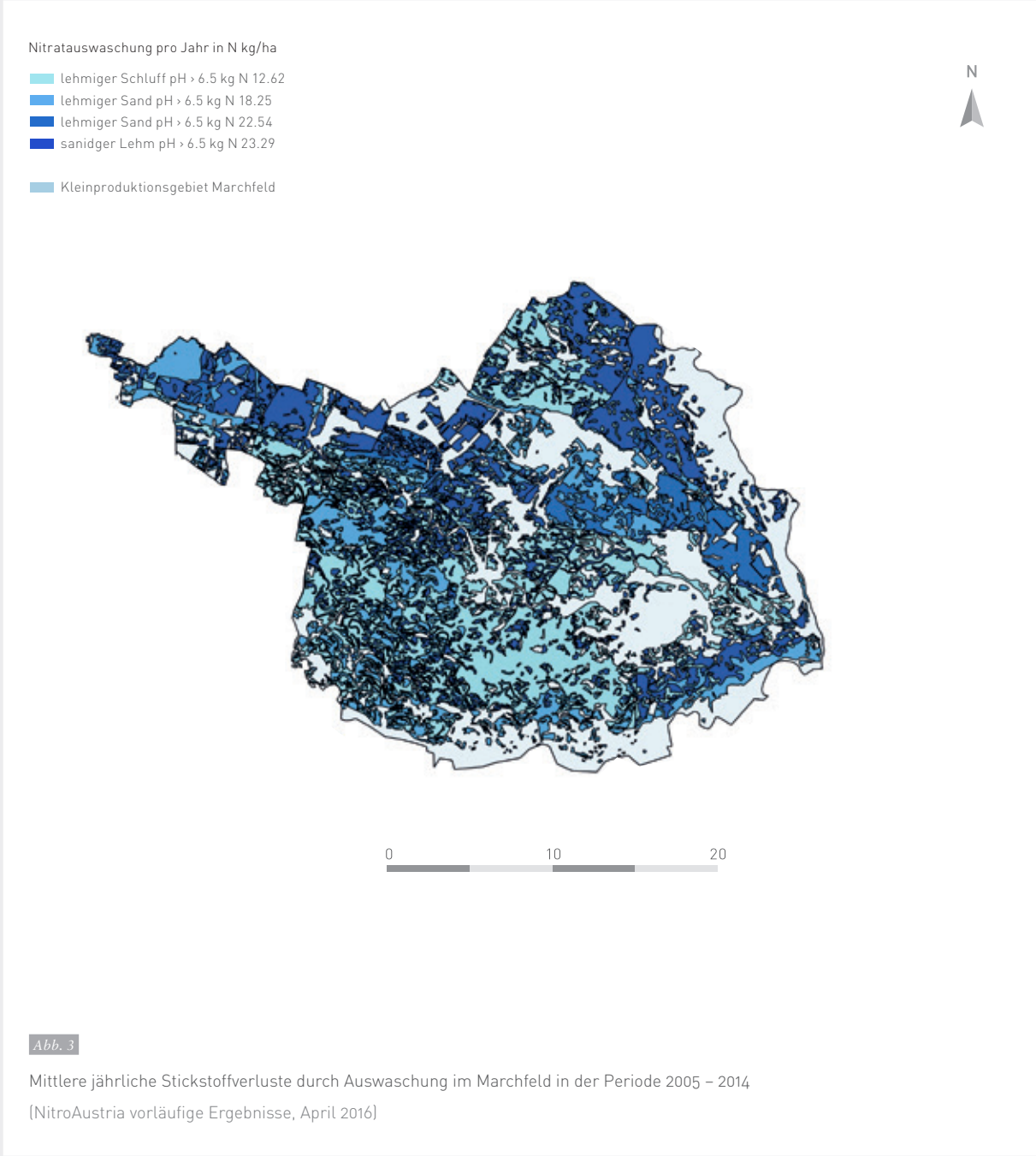
lichen Böden emittiert wird. Regionale Unterschiede oder eine Ortung von „Hotspots oder Hotmoments“ sind bei dieser Methode nicht möglich. Damit wird auch das Ergreifen gezielter Optimierungsmaßnahmen unmöglich. Hier können Simulationsmodelle viel genauere Aussagen treffen. Das prozessbasierte Modell LandscapeDNDC ermöglicht beispielsweise die Erfassung von Stickstoffvorräten und Stickstoffflüssen von Wald-, Acker und Grünlandökosystemen auf Standort- und regionaler Ebene. Das Modell basiert auf dem *agricultural*-DNDC und dem *forest*-DNDC und kombiniert Module für Pflanzenwachstum, Mikrometeorologie, Wasserkreisläufe und physiologische und chemische Abläufe bei Pflanzen und Mikroorganismen im Boden sowie den Austauschprozessen zwischen Hydrosphäre, Atmosphäre und dem terrestrischen Ökosystem.

Ziele des Projektes

In NitroAustria werden jene Einflussfaktoren identifiziert, die für die Lachgasemissionen auf regionaler Basis verantwortlich sind. Damit ist es möglich, Empfehlungen bezüglich Optimierungsmaßnahmen zu geben.

Den Einfluss von möglichen Klimaänderungen auf die N-Verluste werden bei gleichbleibender Bewirtschaftung abgeschätzt.

Durch den Vergleich mit dem Standard-Emissionsfaktor nach IPCC wird geprüft, inwieweit die regionalen Emissionsfaktoren in die nationale Berichterstattung Eingang finden können und die Qualität der Berichterstattung verbessern können.



Standortauswahl und Methoden

Um die heterogene Agrarstruktur und die unterschiedlichen Klimazonen in Österreich abzubilden, wurden sechs Kleinproduktionsgebiete quer durch Österreich ausgewählt: Marchfeld als reiner Ackerstandort, Grieskirchen und die südöstliche Steiermark als intensive landwirtschaftliche Regionen vorwiegend mit Ackerbau. Mühlviertel mit einer Mischung aus Acker- und Grünlandnutzung und Ennstal bzw. Rheintal als reine Grünlandregionen.

Abb. 1

Die Bodendaten wurden der digitalen Bodenkarte Österreich (eBod) entnommen. Die Statistik Austria liefert Daten zu Flächenanteilen und Erträgen der angebauten Kulturen sowie zur Tierhaltung. Regionalspezifische Bewirtschaftung und Fruchtfolgen fließen ebenfalls in die Modellierung ein.

Im Fokus der Modellierung steht das prozessorientierte ökosystemare LandscapeDNDC-Modell, das vom IMK-IFU in Garmisch-Partenkirchen zur Verfügung gestellt wird. In diesem Modell werden standortspezifische Daten angegeben: Bodenparameter wie Textur, C-Gehalt, pH-Wert, Lagerungsdichte und Bodenwasserhaushalt in den verschiedenen Bodentiefen, die typische regionale Bewirtschaftung und Ernterträge, tägliche Klimadaten von ZAMG-Klimastationen und N-Depositionsdaten, vom EMEP-Modell auf 1km Raster herunterskaliert.

Zusätzlich zu den Modellierungen wird im Rahmen von NitroAustria das LandscapeDNDC anhand einer Literaturstudie mit anderen prozessorientierten Modellen verglichen. Eine mögliche Implementierung

der Ergebnisse in die Treibhausgasinventur nach IPCC 2006 wird geprüft, in dem die Modellergebnisse mit den Emissionsfaktoren des nationalen Inventurberichtes verglichen wurden.

An mehreren Ackerstandorten modellierte Kohlenstoffflüsse zeigen, inwieweit die Ergebnisse von LandscapeDNDC ergänzend zum Austrian Carbon Calculator (ACC) verwendet werden können. Um Regionen zu identifizieren, in denen eine Änderung des Klimas die Lachgasemissionen beeinflussen kann, werden für alle sechs Regionen Klimaszenarien [Strauss et al \(2012\)](#) mit minimaler, durchschnittlicher und maximaler Erwärmung und unterschiedlichen Niederschlagsszenarien für die Periode 2030 bis 2040 verwendet.

Projektstruktur

Das Projekt NitroAustria ist in sechs Arbeitspakete (AP) eingeteilt:

- **AP 1** „Projektsteuerung und Veröffentlichungen“ sichert den Projektfortschritt.
- **AP 2** „Datenerfassung und -anpassung“, sammelt und harmonisiert die Daten zu Böden, landwirtschaftlicher Nutzung, Klima und N-Depositionen.
- **AP 3** „Schätzung der N₂O-Emissionen landwirtschaftlicher Böden“. In diesem Arbeitspaket werden regionalspezifische Daten mit dem LandscapeDNDC-Modell modelliert. So können regionale Schätzungen zu Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten, Lachgasemissionen, Nitrat Auswaschung, Emissionsfaktoren und die durch ein Optimierungsprogramm ermittelten möglichen



Abb. 4

Mulchbewirtschaftung bei Mais in Marchfeld
(Foto: Foldal 2012)



Abb. 5

Reduktion der Bodenerosion durch Querbewirtschaftung des Hanges und Fruchtwechsel
(Foto: AGES 2011)

Maßnahmen zur Senkung von Stickstoffverlusten aufgezeigt werden.

- **AP 4** „Bereitstellung von landwirtschaftlichen Daten aus Österreich“ stellt standortspezifische Daten von Versuchsstandorten sowie regionale Daten von Landnutzung, Bewirtschaftung, Fruchtfolgen und Ernteerträgen für AP 2 und AP 5 bereit.
- **AP 5** „Anwendung der Ergebnisse und Nutzung für die nationale Treibhausgasinventur“ diskutiert außerdem Trade-offs zwischen den Klimagasemissionen sowie anderen Stickstoffverlusten und vergleicht unterschiedliche Modelle mit dem Landscape-DNDC Modell. Interessant ist hier der Vergleich von Emissionsfaktoren der modellierten Regionen und der berechneten nationalen Schätzungen durch die IPCC-Methoden.
- In **AP 6** „Klimawandelszenarien und statistische Analysen“ werden die möglichen Auswirkungen bei unterschiedlichen Klimaszenarien für die Periode 2030 bis 2040 untersucht. In diesem Arbeitspaket werden auch die „Hotspots und Hotmoments“ der Stickstoffverluste für die Zukunft identifiziert.

Ausblick

Die ersten Ergebnisse deuten auf einen maßgeblichen Einfluss von Landnutzung, Bodenart und dem Gehalt an Bodenkohlenstoff auf die Stickstoffverluste hin. In Abb. 2 werden die vorläufigen Emissionsfaktoren für Acker- und Grünlandböden des Kleinproduktionsgebiets „Hoch- und Mittellagen des Mühlviertels“ dargestellt. In Abb. 3 sind die vorläufigen Stickstoffverluste durch Auswaschung abhängig von Bodenart im Kleinproduktionsgebiet Marchfeld dargestellt.

Die regionalspezifischen Stickstoffverluste zu kennen macht eine Verbesserung der Stickstoffeffizienz und gezielte Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffverluste möglich. Noch liegen nicht alle Ergebnisse vor, da das Projekt erst Mitte 2017 abgeschlossen sein wird. NitroAustria wurde bereits auf zahlreichen nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt und stößt stets auf sehr reges Interesse. Die Arbeit an mehreren Artikeln für internationale wissenschaftliche Zeitschriften hat begonnen.

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt werden für LandwirtInnen sowie EntscheidungsträgerInnen der österreichischen Politik noch für Jahrzehnte von Bedeutung sein und können auch anderen Ländern mit ähnlicher Topografie und Bewirtschaftung als Richtschnur dienen.

Barbara Amon, Cecile Foldal



Projektleitung

Dr. **Andreas Baumgarten** und **Mag.a Helene Berthold**
AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH



Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
- Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald (BFW)
- Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW)
- Universität Wien



Gute Gründe für das Projekt

- Rückschluss auf klima- bzw. niederschlagsbedingte Veränderungen im Boden-Pflanzen-System im Marchfeld und ihre Relevanz für die Landwirtschaft.
- Erhöhung des verfügbaren Datenmaterials: Treibhausgasemissionen (CH₄, N₂O, CO₂), Abundanz und Spektrum von Bodenorganismen (Differenzierung bis auf Artniveau) für landwirtschaftlich genutzte Flächen.
- Entscheidungshilfe für LandwirtInnen, bei zukünftigen klimatischen Veränderungen auf regionale Unterschiede zu reagieren bzw. vorbereitet zu sein.

LYSTRAT

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

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 **Abb. 1 und Abb. 2** der AGES, in der die drei wesentlichen Bodentypen (sandiger Tschernosem „S“, Feuchtschwarzerde „F“, tiefgründiger Tschernosem „T“) des Produktionsgebietes „Marchfeld“ 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 bis 2100) prognostizierten Klimamodells errechnet und mit dem aktuellen Niederschlagsszenario verglichen.



Abb. 1

Lysimeteranlage der AGES in 1220 Wien



Abb. 2

Keller der AGES-Lysimeteranlage, Führung von Mag.^aHelene Berthold für StudentInnen der Universität Wien

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 (Arbeitspakete) wurden untersucht:

- **AP 1 – Bodenhydrologie und Massentransport:**
Beschreibung der bodenhydrologischen Bedingungen, Simulation der bodenhydrologischen Prozesse unter Freilandbedingungen; Massentransportprozesse
- **AP 2 – Primärproduktion:**
Reaktion der Biomasseproduktion, Unkrautbesatz, Wurzelproduktion, Mykorrhizierung, Wasserstress, oberirdische Arthropoden
- **AP 3 – Boden und Biodiversität:**
Häufigkeit und Artenvielfalt der Bodenarthropoden aus der Gruppe der Springschwänze (Collembola), Raubmilben (Gamasida) und Hornmilben (Oribatida)
- **AP 4 – Bodenmikrobiologische Aktivität:**
Cotton Strip Assay (CSA), Phospholipid-Fettsäuren, multisubstratinduzierte Bodenatmung, substratinduzierte Bodenatmung, bodenenzymatische Aktivität
- **AP 5 – Flüsse klimarelevanter Gase:**
Messungen von CO₂, CH₄ und N₂O

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Projekt wurden die folgenden wesentlichen Ökosystemfunktionen des Bodens untersucht: Pflanzenstandort, natürliche Bodenfruchtbarkeit, Potenzial als Lebensraum für Bodenorganismen und Regulierung des Wasserflusses. Diese Funktionen spielen eine wesentliche Rolle in der „übergreifenden“ Produktionsfunktion des Bodens. Weiters wurde die Funktion als C-Speicher und die Bedeutung für den Gashaushalt untersucht.

Im Hinblick auf den Stickstoff wurde auch die Filter- und Pufferfunktion für anorganische Substanzen mit einbezogen. In [Tabelle 1](#) 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.

Es wurde ein 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 unterschiedliche Aspekte zu untersuchen, wobei die Rahmenbedingungen wie hydrologischer Bodenzustand und Klima permanent erfasst und dokumentiert werden.

In den Jahren 2011 bis 2013 wurden folgende Kulturen angebaut: Körnererbse, Senf, Winterweizen, Wintergerste. Die Adaptierung der Versuchsanlage ermöglichte die präzise Simulation der prognostizierten

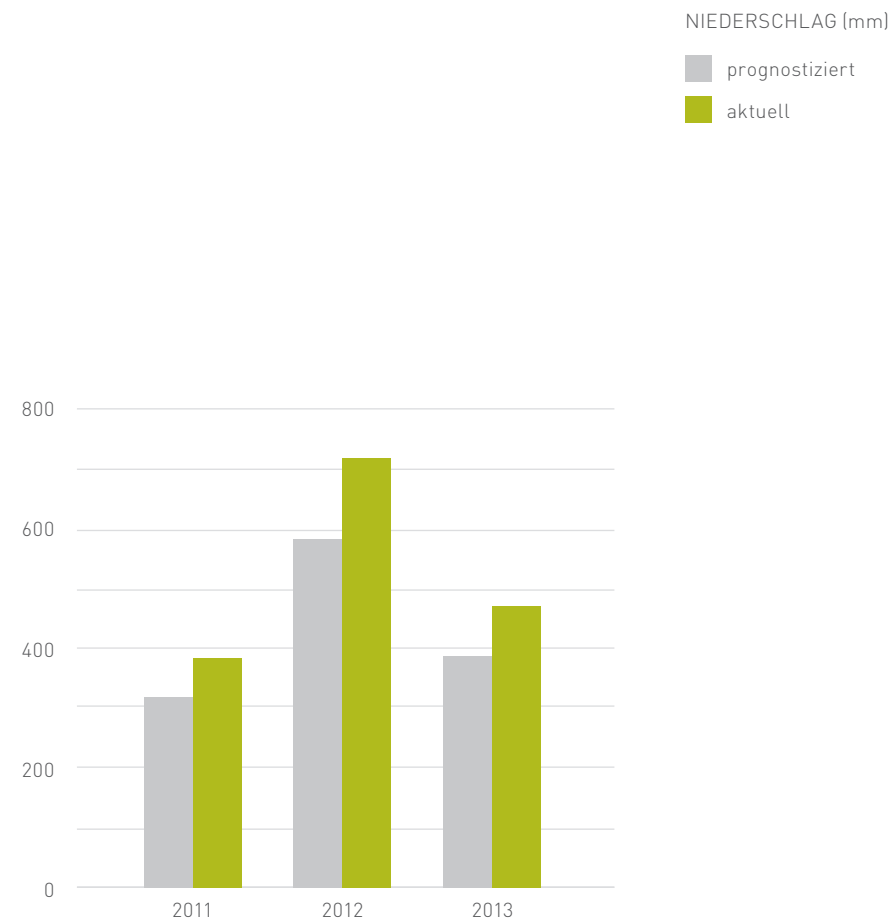


Abb. 3

Kumulativer Niederschlag (natürlich und gesteuert) während des LYSTRAT-Experiments
2011 – 2013: prognostizierter Niederschlag: 1279 mm / aktueller Niederschlag: 1561 mm

Niederschlagssituation. Basierend auf den Ergebnissen der Messungen der hydrologischen Parameter wurde das Modell „STOTRASIM“ kalibriert. Diese Kalibrierung ermöglicht eine standortspezifische 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 potenziellen 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 zeigten keinen eindeutigen Effekt.

Ausblick und Zusammenfassung

Die untersuchten Feldfrüchte zeigten unterschiedliche Empfindlichkeiten und Reaktionen gegenüber der geänderten Niederschlagssituation (z.B. gesteigertes

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

	Potenzial Pflanzenlebensraum	natürliche Bodenfruchtbarkeit	Lebensraum für Bodenorganismen	Regulierung von Wasserabfluss	Grundwasser-regeneration	C-Speicher	Gasdynamik	Filter/Puffer für anorganische Substanzen
Matrixpotenzial	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑↓	↑
N-Bilanz								↑
Pflanzenproduktion	↑↓	↑↓		↑↓	↑↓	↑↓		
Ernteindex (Körnererbse, Winterweizen)	↓	↓		↑↓	↑↓	↑↓		
Unkrautbesatz	o	o			o	o		
Mykorrhizierung	↓	↓	↓			↓		
Oberirdische Arthropoden		↓						
Collembola			↑↓			↑↓		
Gamasida			↑↓			↑↓		
Oribatida			↑↓			↑↓		
Mikrobielle Aktivität		↑↓	↑↓			↑↓	↑↓	
PLFA		↑↓	↑↓			↑↓		
Treibhausgasflüsse							↑↓	

Tabelle 1

Einfluss der prognostizierten Niederschlagsmenge und -häufigkeit des Marchfeldes während eines dreijährigen Beregnungsexperiments auf Indikatoren für spezifische Ökosystemfunktionen des Bodens

Wurzelwachstum bei Körnererbse, Abnahme des Ernteindex bei Winterweizen). Dementsprechend sollte 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 standortspezifisch kalkuliert werden und in diese Überlegungen mit einfließen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass Erträge mancher Kulturen abnehmen, während der Unkrautdruck und das potenzielle 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, Matrixpotenzial 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 Projektes 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 wird 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 Projektes mit PraktikerInnen 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.

Andreas Baumgarten und Helene Berthold



Projektleitung

Dr. Eugenio Diaz-Pines

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Department für Wald- und Bodenkunde, Institut für Bodenforschung



Projektpartner

- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Department für Wald- und Bodenkunde, Lehrforstzentrum (ObRat Dipl.-Ing. Dr. J. Gasch)



Gute Gründe für das Projekt

- Die Häufigkeit und Intensität von Dürren und Starkniederschlägen werden durch den Klimawandel zunehmen.
- Ein Anstieg von extremen Wetterereignissen kann die Gemeinschaften von Bodenmikroben und deren Aktivitäten stark beeinflussen.
- Es ist unklar, wie sich dies auf Bodentreibhausgasemissionen und Nährstoffkreisläufe in temperaten Wäldern auswirkt.

DRAIN

Impact of repeated Droughts and heavy RAIN on greenhouse gas emissions in a temperate beech forest

Extreme Wetterereignisse, Nährstoffumsetzung und Bodentreibhausgasemissionen

Die Häufigkeit und Intensität von extremen Wetterereignissen wie Dürren und Starkniederschlägen wird sich in den kommenden Jahrzehnten erhöhen. Im Projekt DRAIN befassen wir uns mit den Auswirkungen von wiederholten Trocken-/Feuchtezyklen auf Bodentreibhausgasemissionen, Bodennährstoffe und Bodenmikrobiologie.

Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien bilden im Boden komplexe Gemeinschaftsstrukturen, die in einem sensiblen Gleichgewicht stehen. Diese mikrobiellen Gemeinschaften sind unter anderem für den Abbau von organischer Substanz wie Laub und Totholz zuständig – ein Prozess, bei dem Treibhausgase wie Kohlendioxid und Lachgas sowie Luftschadstoffe wie Stickoxide freigesetzt werden können. Bodenmikroorganismen tragen aber nicht nur zur Produktion von Treibhausgasen bei, sondern können diese auch abbauen und dadurch Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre senken. So gelten beispielsweise

Waldböden an mäßig feuchten und gut durchlüfteten Standorten als wichtige Senken für das Treibhausgas Methan, welches durch methanotrophe Bakterien oxidiert wird.

Mikrobielle Prozesse werden stark durch äußere Bedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit beeinflusst. Verschiebt sich das Feuchtigkeitsregime einer Region durch länger anhaltende Dürreperioden und häufigeres Auftreten von Starkregen, so kann sich das mikrobielle Gleichgewicht im Boden verschieben.

Ob es dabei nur zu kurzfristigen Anpassungen im mikrobiellen Metabolismus oder zu längerfristigen Verschiebungen in der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur kommt, und was diese Veränderungen für Ökosysteme bedeuten, ist bislang noch unklar. Bisher konnte beobachtet werden, dass es während Dürreperioden meist zu einem starken Rückgang der mikrobiellen Aktivität und damit auch der Emissionen von klimarelevanten Gasen kommt. Beim Einsetzen von Regen wurden allerdings außerordentlich hohe Gasemissionen – ein sogenannter „Gaspuls“ – gemessen. Bislang ist noch ungeklärt, welches dieser zwei

gegensätzlichen Phänomene stärker ins Gewicht fällt: die Verminderung der Treibhausgasemissionen durch Trockenheit oder der vermehrte Ausstoß von Treibhausgasen nach Wiederbefeuchtung des Bodens.

Auch die Mechanismen, die während Austrocknung und Wiederbefeuchtung im Spiel sind und das ökologische Gleichgewicht kontrollieren, sind noch zu wenig erforscht. Eine mögliche Ursache für diese Gaspulse nach Regenfällen ist, dass während Regenfällen Bodennährstoffe mobilisiert werden, zum Beispiel, weil Mikroorganismen, die während der Dürre abgestorben sind, aufplatzen und ihr Zellinhalt freigesetzt wird, oder weil Bodenaggregate aufquellen, aufplatzen und dadurch geschützte Humusfraktionen exponiert werden. Diese beiden Prozesse tragen dazu bei, dass organisches Material freigesetzt wird, das leicht abbaubar ist und den Bodenmikroorganismen als Substrat dient. Dies kurbelt die mikrobielle Aktivität an, wodurch vermehrt Treibhausgase produziert und freigesetzt werden.

Konkret werden im Rahmen des ACRP-DRAIN-Projektes folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Auswirkungen hat die zunehmende Häufigkeit von wiederholten Austrocknungs-/Wiederbefeuchtungszyklen auf Bodennährstoffkreisläufe und die Verfügbarkeit von Kohlenstoff?
- Wie verändert sich die jährliche Treibhausgasbilanz des Standortes? Werden die Treibhausgasemissionen aus dem Boden in Summe abnehmen, da sie während langer Dürreperioden zurückgehen, oder werden die Gaspulse nach Bodenwiederbefeuchtung diesen Rückgang ausgleichen oder sogar überkompensieren?

- Wie reagiert die Gemeinschaft der Bodenmikroorganismen auf intensivere und häufigere Wiederbefeuchtungsereignisse? Kann sie sich anpassen oder verschiebt sich das mikrobielle Gleichgewicht?
- Wie verändern sich die physikochemischen und hydraulischen Bodeneigenschaften durch zunehmende Extremwetterereignisse?

Die Ergebnisse des Projektes sollen WissenschaftlerInnen dabei unterstützen, genauere Vorhersagen über das Verhalten von Ökosystemen unter veränderten klimatischen Bedingungen zu treffen. Außerdem ist eine genaue Kenntnis der Treibhausgasbilanz und der zugrunde liegenden Mechanismen essenziell, um die Entwicklung der zukünftigen Emissionen abschätzen zu können. Das wiederum hilft EntscheidungsträgerInnen auf verschiedenen politischen und gesellschaftlichen Ebenen, ihr Handeln entsprechend zu adaptieren und mit gezielten Strategien auf den Klimawandel zu reagieren.

Untersuchungsstandort

Um diese Fragestellungen beantworten zu können wurde ein Freilandexperiment im BOKU-Lehrforst Rosalia (www.wabo.boku.ac.at/lehrforst) eingerichtet. Der Lehrforst Rosalia liefert bereits seit über 45 Jahren kontinuierlich Daten zu Waldwachstum, Waldklima und Hydrologie, und gehört seit 2011 zum Netzwerk der hochinstrumentierten Waldforschungsstandorte, zu welchem sich das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), das Umweltbundesamt (UBA) und die Universität für Bodenkultur (BOKU) im Rahmen von BIOS Science Austria zusammengeschlossen haben. Ziel dieses Netzwerks ist es, Forschungs-Hot-

Spots zu entwickeln um die Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Waldwissenschaft zu gewährleisten. Mithilfe umfassender Langzeitmessreihen werden solide Informationen im Hinblick auf die Auswirkungen kritischer Einflussfaktoren wie Klimawandel, Treibhausgase und Extremereignisse gewonnen.

Experimenteller Ansatz

Im DRAIN-Projekt wurden zwei verschiedene Klimaszenarien simuliert: kurze Trockenperioden gefolgt von wenig Niederschlag, und lange Trockenperioden gefolgt von anschließenden starken Regenfällen.

Zusätzlich wurden Kontrollflächen ohne Niederschlagsmanipulation eingerichtet. Um den Boden auszutrocknen wurden Dächer über dem Waldboden errichtet, die den Niederschlag ableiten und den Boden trocken halten. Anschließend an die jeweiligen Dürreperioden wurden Regenfälle mit einer Bewässerungsanlage simuliert. Diese Trocken-Nass-Zyklen wurden von 2013 bis 2015 während der Vegetationsperiode (also in der Zeit von Mai bis Oktober) mehrmals wiederholt, um einen Anstieg in der Häufigkeit von Extremereignissen zu simulieren.

Spurengasemissionen

Die Spurengasemissionen aus dem Boden (CO_2 , CH_4 , N_2O und NO_x) werden kontinuierlich durch ein vollautomatisiertes Messsystem ermittelt.

Das System besteht aus zwölf mobilen Messkammern, die auf den Probeflächen platziert wurden, um vier räumliche Replikate pro Behandlung zu gewinnen.

Die Messkammern sind an verschiedene hochsensible Messgeräte gekoppelt, welche die Konzentrationen der unterschiedlichen Spurengase in den Messkammern mit hoher Genauigkeit bestimmen können. Die Messungen erfolgen mit hoher zeitlicher Auflösung und erlauben die Beobachtung der zeitlichen Dynamik der Emissionen nach Starkniederschlägen. Das ist besonders wichtig um die kurzlebigen massiven Gaspulse nach der Bewässerung zu erfassen und genau zu quantifizieren.

Bodennährstoffe

Um die Mechanismen, welche die Treibhausgasentstehung kontrollieren, genauer zu verstehen, ist neben einer präzisen Emissionsmessung auch eine Erfassung des Kohlenstoff (C)- und Stickstoff (N)-kreislaufs im Boden wichtig. In seiner gelösten Form ist Kohlenstoff als *dissolved organic carbon* (DOC) eine wichtige Energiequelle für Bodenmikroorganismen. Weitere wichtige Nährstoffe sind N-Verbindungen wie Aminosäuren, Ammonium und Nitrat, die durch mikrobielle Umsetzungsprozesse (enzymatischer Abbau von Proteinen, Stickstoffmineralisierung, Nitrifikation) freigesetzt werden. Ammonium und Nitrat sind wichtig für die Pflanzenernährung, und werden gleichzeitig auch von den Bodenmikroorganismen für ihren Stoffwechsel und ihr Wachstum benötigt. Da die Verfügbarkeit von Nährstoffen stark vom Bodenwasserhaushalt abhängt, sind sie besonders sensibel gegenüber Extremwetterereignissen. Im Rahmen des DRAIN-Projektes werden Bodenkonzentrationen und Mobilisierungsprozesse von Aminosäuren, Ammonium, Nitrat und gelöstem Kohlenstoff während der Dürre sowie vor und nach den simulierten Starknie-



Abb. 1

Messstandort mit Details der Messkammern und der Bewässerungsanlage

derschlägen untersucht. Hierfür wurde die neue Technik der Bodenmikrodialyse eingesetzt, welche es erlaubt, Bodennährstoffflüsse in sehr hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung im intakten Boden zu untersuchen.

Mikrobielle Gemeinschaften

Zusätzlich zu den Treibhausgasbestimmungen und Nährstoffanalysen werden die Bodenmikroben und die Struktur ihrer Gemeinschaften untersucht.

Bodenproben werden zu Beginn des Trockenexperiments und dann regelmäßig vor und nach den Starkniederschlägen genommen. Im Labor werden spezielle mikrobielle Biomarker, die Phospholipide, untersucht, welche Bestandteil von Zellmembranen sind. Diese Biomarker machen es möglich, Profile der mikrobiellen Gemeinschaften zu erstellen. Darüber hinaus wird die gesamte mikrobielle Biomasse und die Aktivität von relevanten Enzymen in Boden bestimmt. Zusätzlich zur Phospholipidanalyse, welche nur eine relativ grobe Klassifizierung von Mikroorganismen erlaubt, werden einzelne Messzeitpunkte mithilfe der relativ jungen Metaproteomics-Technik genauer unter die Lupe genommen. Hierbei wird das sogenannte Metaproteom, das ist die Gesamtheit aller im Boden vorhandenen Proteine, extrahiert. Dieses gibt einerseits sehr genau Aufschluss über die Spezieszusammensetzung der Mikroorganismen und liefert gleichzeitig Information über deren Funktion. Mit anderen Worten können durch eine Analyse des Metaproteoms die Fragen nach dem „wer“ (welche Organismen) und dem „was“ (welcher ökologische Prozess) sehr genau beantwortet werden.

Hydraulische und physikalische Bodeneigenschaften

Veränderungen im Wasserhaushalt können die Benetzbarkeit des Bodens verändern. Durch längere Trockenperioden verändert sich die Oberfläche der organischen Bodensubstanz, wodurch der Boden wasserabweisender wird. Folgt nun auf eine Dürre ein Starkregenereignis, so ist der Boden nicht mehr in der Lage, das Wasser effizient aufzunehmen, und es kommt zu einem verstärkten Abfluss. Das beschleunigt einerseits die Auswaschung von Nährstoffen, und führt andererseits dazu, dass der Boden auf lange Sicht gesehen immer mehr austrocknet, selbst wenn er durch Starkregenereignisse eigentlich eine große Wassermenge bekommt. Im DRAIN-Projekt werden Freilanduntersuchungen zur Wasserinfiltration im Bodenprofil mit der chemischen Charakterisierung der Bodensubstanz und der Analyse der Benetzbarkeit kombiniert, um Informationen über den Zusammenhang zwischen Niederschlagsverteilung und Bodenwasserabweisung zu gewinnen. Hierzu werden Infiltrometer im Feld aufgestellt und das Verhältnis zwischen hydrophoben und hydrophilen organischen Verbindungen mittels FTIR (*Fourier transform infrared*)-Spektroskopie bestimmt.

Erste Ergebnisse

Messungen der Bodenfeuchtigkeit bestätigen, dass es durch die Errichtung der Dächer gelang, verschiedene Häufigkeiten und Intensitäten von Trocken-/Feuchtezyklen zu simulieren und dadurch den Bodenwasserhaushalt auf der Versuchsfläche zu beeinflussen.

Abb. 2

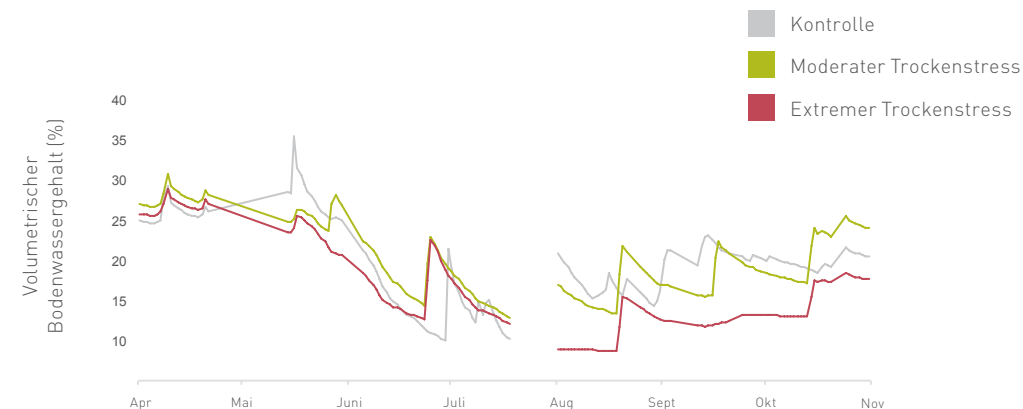


Abb. 2

Veränderung des Bodenwassergehalts durch die Niederschlagsmanipulation in der Vegetationsperiode 2014. Volumetrischer Bodenwassergehalt in 10 cm Bodentiefe.

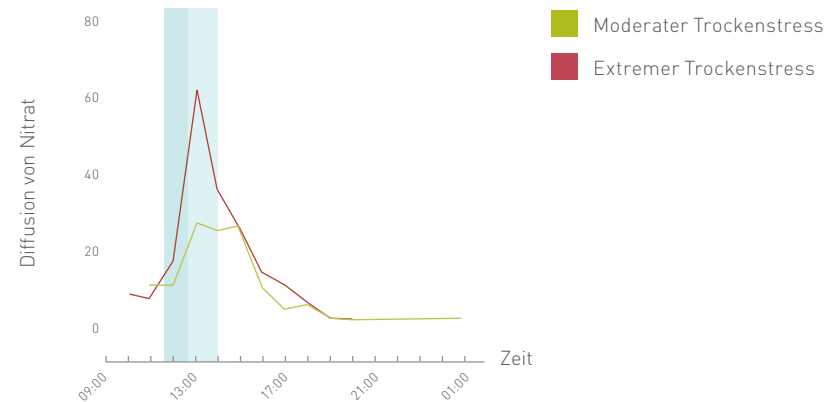


Abb. 3

Diffusion von Nitrat vor und nach der Bewässerung (blaue Balken) im August 2014. Nach der extremen Trockenstressbehandlung wird mehr Nitrat mobilisiert als nach moderatem Trockenstress.

Die moderate Trockenstressbehandlung mit kürzeren Dürreperioden litt besonders im verhältnismäßig warmen Jahr 2014 ca. 60 Tage unter kritischem Wassermangel, während die extreme Trockenstressbehandlung mit längeren Dürreperioden in jedem Versuchsjahr zwischen Juni und Oktober eine fast kontinuierliche Wasserknappheit erlebte. Die künstlich simulierten Starkniederschläge konnten dieses Wasserdefizit nicht ausgleichen und der Boden ist von Jahr zu Jahr immer stärker ausgetrocknet.

Wie bereits vermutet wurde die Bodenbenetzbarkeit des Bodens durch häufige Trocken-/Feuchtezyklen vermindert, wobei der Effekt stark von der Intensität des Trockenstressszenarios abhing. Daraus lässt sich schließen, dass es durch anhaltenden Klimawandel zu einer positiven Rückkopplung zwischen erhöhten Extremwetterereignissen und Regenwasserabfluss kommen kann, welche sich negativ auf Erosionsprozesse auswirken kann.

In Bezug auf die Treibhausgasemissionen lässt sich sagen, dass die wiederholten Trocken-/Feuchtezyklen im ersten Versuchsjahr nur einen relativ geringen Effekt auf die Gasflüsse von CH_4 und N_2O hatten.

Im Gegensatz dazu führte Trockenstress zwar zu einer Reduktion der CO_2 -Emissionen, nach den simulierten Starkniederschlägen waren die gemessenen CO_2 -Emissionen jedoch stark erhöht. Die erhöhte CO_2 -Ausgasung war jedoch nur kurzfristig und nicht stark genug, um die niedrigeren Raten während der Trockenheit zu kompensieren. Somit waren die CO_2 -Flüsse unter simulierten Extremereignissen im ersten Versuchsjahr insgesamt kleiner als unter natürlichen Bedingungen. Des Weiteren zeigen unsere Ergebnisse, dass sich Extremwetterereignisse stark auf die Bodennährstoff-

kreisläufe auswirken. Ein wichtiger Faktor für die biologische Verfügbarkeit von Nährstoffen ist deren Mobilisierung im Boden, welche stark vom Bodenwassergehalt abhängt. Manche Moleküle sind dort sehr mobil und diffundieren bereitwillig zu Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen. Das macht sie leichter verfügbar als Stoffe, die mit der Bodenoberfläche wechselwirken, was ihre Diffusion einschränkt. Auf der anderen Seite bedeutet eine höhere Mobilität aber auch, dass ein Stoff leichter aus dem Boden ausgewaschen werden kann. Unsere Untersuchungen mittels Bodenmikrodialyse haben gezeigt, dass nach Starkregenereignissen hauptsächlich Nitrat mobilisiert wird, und zwar umso mehr, je länger die dem Regen vorangegangene Trockenheit angedauert hat. Dies kann zum Problem werden, da durch große Nitrat- auswaschungen dem Waldboden wertvoller Stickstoff verloren geht und gleichzeitig das Grundwasser belastet wird.

Abb. 3

Eugenio Diaz-Pines



Koordination

Dr.in **Rebecca Hood-Nowotny**
Austrian Institute of Technology, Environment Resources & Technologies



Beteiligte Institutionen

- Schwedische Universität für Agrarwissenschaften (S)
- Research Institute of Science and Technology (F)
- Centre for Ecology & Hydrology (UK)
- Umweltbundesamt GmbH
- Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (D)



Gute Gründe für das Projekt

- Weltweit werden sich die N-Emissionsraten bis 2050 verdoppeln. Damit ist das Risiko einer Eutrophierung nicht beseitigt. In diesem Zusammenhang müssen die Auswirkungen einer verstärkten reaktiven Stickstoffablagerung auf die Speicherung von Waldbodenkohlenstoff untersucht werden.
- Das Projekt Wood-N-Climate soll eine verlässliche Untersuchung der Umweltauswirkungen des globalen Klimawandels durch geeignete Methoden auf Basis von Stabilisotopen bzw. Molekulartechniken ermöglichen.
- Durch die Projektergebnisse können Bewirtschaftungsansätze vorgeschlagen werden, die den Erhalt der Ökosystemfunktionen des Lebensraumes Wald sicherstellen

Wood-N-Climate

*Functional response of forest ecosystems
to N deposition and climate change*

Das Projekt Wood-N-Climate untersucht die Auswirkungen von Stickstoffeintrag auf die bio- und geochemischen Prozesse des Kohlenstoffabbaus und deren Kaskadeneffekte in Waldökosystemen. Die gewonnenen Daten werden dazu herangezogen, bestehende Kohlenstoffkreislaufmodelle zu verbessern und mögliche Folgen unterschiedlicher Szenarien der Stickstoffablagerung auf Waldböden aufzuzeigen. Ziel des Projektes ist eine verlässliche Untersuchung der Umweltauswirkungen des globalen Klimawandels durch geeignete Methoden auf Basis von Stabilisotopen beziehungsweise Molekulartechniken zu ermöglichen. In weiterer Folge können durch diese Erkenntnisse Bewirtschaftungsansätze vorgeschlagen werden, die den Erhalt der Ökosystemfunktionen des Lebensraumes Wald sicherstellen.

Durch eine durchschnittliche Verbrennung von 7 PgC fossiler Brennstoffe im Jahr, haben wir seit der industriellen Revolution mehr als 0,5 Billionen Tonnen Kohlenstoff – 500 PgC, (P = 1015gC) – emittiert. Glücklicherweise puffern terrestrische und aquatische Biosphären Emissionen bis zu einem gewissen Grad, da sie mit einer jährlichen Kohlenstoffbilanz von mehr als 200 Pg enorme Senken sowie Quellen von Kohlendioxid darstellen. Die Kapazität der Kohlendioxidsenke wird durch die Prozesse der Photosynthese, Sedimentation, Versauerung und Ablagerung in den Ozeanen gesteuert. Die biotischen Quellen von Kohlendioxid sind Atmung, Landnutzungsänderung, Abholzung und Zersetzung organischer Substanz, insbesondere organischer Bodensubstanz.

Global betrachtet speichern Böden mehr als 1500 Pg Kohlenstoff als organische Substanz, die gemeinhin als Humus bezeichnet wird. Vor der Industrialisierung waren diese Senken und Quellen von Kohlendioxid in einem halbstabilen Gleichgewicht, doch die Verbrennung solcher riesigen Mengen fossiler Brennstoffe hat das Gleichgewicht bis zur Ungewissheit gekippt. Das zeigen die Auswirkungen hoher CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre, was zu beispiellosen Zunahmen der globalen Temperaturen und Änderungen in der Luftverschmutzung im vergangenen Jahrhundert geführt hat.

90 Prozent aller terrestrischen Biomasse ist Wald, daher ist er die größte Kohlendioxid-Senke. Kiefernwälder und Plantagen machen den größten Teil in Europa aus – mehr als ein Viertel der gesamten Waldfläche – weshalb er eine wichtige Komponente des europäischen Kohlenstoffhaushalts darstellt. Der österreichische Waldbestand beträgt oberirdisch etwa 600 Mil-

lionen Tonnen. Zu beachten ist aber, dass Wälder im Boden, als Streu, organische Bodensubstanz, Wurzeln etc. mehr Kohlenstoff speichern als der sichtbare Wald in Holzbestand und Baumkronen. Ein 40 Jahre alter gemäßigter Nadelwald zeigt ein Verhältnis der unter- und oberirdischen Kohlenstoffspeicherung von 2:1.

Um eine nachhaltige Bewirtschaftung von Waldökosystemen zu gewährleisten ist es unerlässlich, das Zusammenwirken von Klimawandel und anderen umweltgefährdenden Prozessen (wie Ablagerungen reaktiver Stickstoffverbindungen) besser zu verstehen. Die erhöhte reaktive Stickstoffablagerung resultiert hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, die zu Emissionen von oxidiertem Stickstoff (NO, HNO₃ und NO₂), gasförmigem Ammoniak NH₃, Aerosol NH₄⁺ und nassabgeschiedenem NH₄⁺ führt. Nassabscheidungen von feinen, teilchenförmigen Ammoniumsalzen oder sauren gasförmigen Aerosolen haben Verweilzeiten von bis zu zwei Wochen und werden über lange Strecken ausgewaschen. Ammoniak und trockene Ablagerungen werden lokal verteilt, da sie üblicherweise aus der Anwendung von landwirtschaftlichem Dünger, Aufschlammung oder Dung stammen. Obwohl der Stickstoffgehalt in Europa im Regen in den letzten 40 Jahren gesunken ist, sind die Ammoniumemissionen nicht in gleichem Maße gesunken. Weltweit werden sich die N-Emissionsraten bis 2050 verdoppeln. Damit ist das Risiko einer Eutrophierung nicht beseitigt. In diesem Zusammenhang müssen die Auswirkungen einer verstärkten reaktiven Stickstoffablagerung auf die Speicherung von Waldbodenkohlenstoff untersucht werden.

Es gibt Erkenntnisse, dass löslicher Stickstoff den Abbau von organischem Material in Waldböden vo-

rantreibt und damit einen großen Einfluss auf Waldökosysteme und den globalen Klimawandel nimmt. Wie zuvor beschrieben wird beim Abbau organischer Substanz die Kohlenstoff/CO₂-Bilanz der hochwertigen Bodenkohlenstoffablagerungen bestimmt. Darüber hinaus hat der Klimawandel in Verbindung mit der Stickstoffablagerung ökologische Kaskadeneffekte auf die Ökosystemfunktion und die Belastbarkeit, bedingt durch die veränderte primäre Ressourcenqualität, die zu einer anhaltenden Anfälligkeit für Insektenschädlinge und Krankheiten führen könnte. Das Verständnis der Auswirkungen der Klima- und Stickstoffablagerung auf relevante Ökosystem-Skalen erfordert elegante experimentelle Ansätze, die es uns ermöglichen, die Konsequenzen eines verbesserten reaktiven Stickstoffs vor Ort in Naturwald- oder Wald-Systemen zu verfolgen, da sich natürliche Gegebenheiten in einem Versuchsumfeld schwer replizieren lassen. Das gilt insbesondere für Wald- oder natürliche Ökosysteme.

In den vergangenen zwanzig Jahren haben stabile isotopbasierte Studien zu neuen Einsichten in jene Prozesse geführt, die den Stickstoffzyklus in Böden antreiben. Stabile Isotopen-Tracer von Stickstoff sind grundsätzlich nicht radioaktive chemisch identische, etwas schwerere Formen von Stickstoff, die in der Natur vorhanden sind. Etwa eines von 300 Stickstoffatomen ist ein 15N-Atom anstatt der üblichen 14N. Chemikalien, die mit 15N oder mehr angereichert sind, können gekauft und wie ein Farbstoff dem System zugesetzt werden. Dies ermöglicht uns, die Flüsse und Ströme von Stickstoff zu verfolgen, da der Abbau von organischen, komplexen polymeren Formen, die in Pflanzen und Tieren vorhanden sind, zu weniger komplexen Monomeren und Aminosäuren depolyme-



Abb. 1

Probennahme am Standort Zöbelboden (A)

risiert werden bis sie vollständig zur Ammonium- und Nitratform in der Erde mineralisiert sind. Diese Tracer sind hundert Prozent sicher und haben die Ökologie revolutioniert.

Bisher wurde angenommen, dass Pflanzen nur anorganische Formen von Nitrat und Ammonium aus Böden aufnehmen können. Aber in den vergangenen dreißig Jahren haben isotopenbasierte Studien gezeigt, dass in natürlichen Ökosystemen auch organische Stickstoffformen von Pflanzen aufgenommen werden konnten, wenn diese Pflanzen symbiotische Beziehungen zu Mykorrhizapilzen bildeten. Diese pflanzlichen Pilzbeziehungen sind die Aromen unserer Wälder und sollen über 150 Millionen Jahre zurückreichen. Diese Mykorrhiza-Symbiosen bilden in unseren Wäldern riesige, umfangreiche Hyphennetze und transportieren Nährstoffe und Chemikalien über die Landschaft hinweg. Sie bilden die Mehrheit der mikrobiellen Biomasse und den charakteristischen Geruch unserer Waldböden und wurden liebenswürdig als Wood-Wide-Web bezeichnet. In diesen alten symbiotischen Beziehungen, „handeln“ Pflanzen den Kohlenstoff als Zucker, den sie aus CO_2 durch Photosynthese fixieren. Sie pumpen ihn im Austausch für Nährstoffe in die Wurzeln der Pilz-Netzwerke. Die Mykorrhizapilze wiederum gewinnen Stickstoff und Phosphor aus den umliegenden Böden.

Der Vorteil des Pilzes liegt in seinen riesigen kurzlebigen Netzwerken, der Allgegenwärtigkeit und der kollektiven Fähigkeit, eine breite Palette von Enzymen herzustellen, die fast alle bekannten Chemikalien, insbesondere die komplexen, zähen Zellwände von Pflanzen, abbauen und wertvolle Nährstoffe freisetzen können. Diese neuen Erkenntnisse haben zu einem

neuen Paradigma im Denken um den Stickstoffkreislauf geführt (Schimel & Bennett 2004) und haben die Bedeutung von Feldstudien hervorgehoben, da Laboruntersuchungen die Nuancen solcher umfangreichen komplexen Wechselwirkungen nicht wahrnehmen können.

Unsere Hypothese ist, dass eine erhöhte N-Verfügbarkeit zu einer erhöhten Zunahme des organischen Stoffabbaus in nährstoffarmen Wald-Ökosystemen führt – und zwar durch eine erhöhte N-Verfügbarkeit, die für freilebende Mikroorganismen zugänglich ist. Die Metaanalyse hat gezeigt, dass die pflanzliche Pilzsymbiont-Gemeinschaftsstruktur (insbesondere Ektomykorrhiza und Ericoid Mykorrhiza (EEM)) einen größeren Einfluss auf den Bodenkohlenstoffspeicher ausübt, als Temperatur, Niederschlag oder Netto-Primärproduktion. (Averill et al., 2014)

Dies ist wichtig, da Ektomykorrhiza-Biomasse bis zu 15 Prozent der organischen Bodensubstanz in gemäßigten Nadelwäldern ausmachen kann. (Vogt et al. 1982) Das wiederum ist bei der Empfindlichkeit der Pilzgemeinschaftsstruktur an den Inputs von N (Lilleskov et al., 2011) und den Auswirkungen für höhere trophische Ebenen sehr wichtig. Averill et al., 2014 unterstellen, dass eine große Menge organischer Substanz in EEM-Systemen das Ergebnis der Fähigkeit von EEM-Pilzen war, niedermolekularen organischen Stickstoff aufzunehmen und zu assimilieren. Ihre Hypothese war, dass EEM effektiv verfügbaren organischen und anorganischen Stickstoff abfängt, dadurch wenig Stickstoff für das Wachstum der freilebenden zersetzenden mikrobiellen Gemeinschaft zur Verfügung steht und weiterer Abbau von organischer Bodensubstanz verhindert wird (Orwin et al., 2011). Wir wollen diese Hypothese experimentell untersuchen, indem wir den Zerfall eines zweifach



Abb. 2

Messproben im Massenspektrometer zur Messung von Isotopverhältnissen

isotopmarkierten Ausgangsmaterials (Streu) an mehreren Standorten in Europa beobachten.

Unsere andere Haupthypothese ist, dass Stickstoffanreicherung die Struktur von Pilzbiomasse und deren Funktion erheblich verändern wird, was wiederum die Zersetzung von organischer Bodensubstanz erhöhen wird. Wir testen dies durch wiederholtes Analysieren der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur an den österreichischen und intermittierend an anderen europäischen Standorten.

Feldversuch

Im Juli 2015 wurden die ersten Versuchsreihen am Standort Zöbelboden gestartet, wo im Oktober „In Growth Bags“ ausgelegt wurden. Bei der ersten Stichprobe haben wir die vollständigen Bodenkohlenstoffprofile bis zu einer durchschnittlichen Tiefe von 30 cm bestimmt und erste Brutto-Mineralisierungs- und Nitrifikationsmessungen abgeschlossen. Außerdem wurde eine komplette Enzymanalyse aller europäischen Proben durchgeführt. Im Jahr 2016 wurden im Frühjahr, Sommer und Herbst Brutto-N-Mineralisierungsmessungen durchgeführt und ausführliche mikrobiologische Analysen gemacht, die auf einer hohen Durchsatz-Sequenzierung bei jeder Probenahme basierte. Wir beobachteten signifikante Unterschiede in den Enzymprofilen zwischen den Versuchen, die auf eine wesentliche Verschiebung der Ökosystemfunktion schließen lassen. Um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen benötigt es noch weitere Untersuchungen.

Modell

Relevante Daten für das Projekt Wood-N-Climate wurden mit Langzeitdaten verknüpft um das Modell am Zöbelboden zu kalibrieren und zu bewerten. Dies geschieht für den Intensivplot I, ein Plateau-Gelände mit den gleichen Standortcharakteristika wie die in Wood-N-Climate verwendeten Versuchsflächen. Die Klimadaten für 1950 bis 2100 wurden mittels Anomalien aus den Szenarien A1B, A2 und B1 (IPCC, 2013) synthetisiert. Die Zeitreihen von Wetterdaten wurden mit dem Wettergenerator (ClimGen) auf der Basis von Messdaten am Standort (Niederschlag, Maximaltemperatur, Minimaltemperatur, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung) abgeleitet. Parameterspezifische monatliche Klimawandelanomalien für den Studienort wurden aus der jeweiligen Netzzelle des regionalen Klimamodells COSMO-CLM abgeleitet. Die Szenarien A1B, A2 und B1 basierten auf dem globalen Zirkulationsmodell ECHAM5 und das A1B-Szenario war aus dem HadCM3-Modell verfügbar. Wir berechneten die Gesamtablagerung von N für jeden Standort als Summe von Fall- und Baldachinaustausch. Wir sind auf halbem Weg des Projektes und zuversichtlich, dass wir die Daten, die erforderlich sind, um unsere Forschungsfragen und Hypothesen zu testen und zu erforschen, trotz der Komplexität und Heterogenität des Gebietes, zusammentragen werden.

Rebecca Hood-Nowotny

Alle geförderten Projekte im Überblick

PANGAS	
Projektleitung	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Waldökologie und Boden
Kontakt	Dr.in habil. Kerstin Michel (kerstin.michel@bfw.gv.at)
Partner	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherung (AGES); Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (KIT-IMK)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 6. Ausschreibung
Dauer	April 2014 - März 2017
Budget	€ 284.321,00
Fördersumme	€ 284.321,00

NitroAustria	
Projektleitung	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung
Kontakt	Priv. Doz. Dr.in Barbara Amon (barbara.amon@boku.ac.at)
Partner	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES); Umweltbundesamt GmbH; Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW); Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klima- forschung - atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 7. Ausschreibung
Dauer	Mai 2015 - April 2017
Budget	€ 331.128,00
Fördersumme	€ 299.277,00

LYSTRAT	
Projektleitung	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherung GmbH (AGES)
Kontakt	Dr. A. Baumgarten (andreas.baumgarten@ages.at), Mag. H. Berthold (helene.berthold@ages.at)
Partner	Universität für Bodenkultur, Abt. für integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Institut für Zoologie; Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, In- stitut für Forstökologie und Boden; Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt; Universität Wien, Abt. für terrestrische Ökologie und Ökosystemforschung
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 2. Ausschreibung
Dauer	Jänner 2011 - Dezember 2013
Budget	€ 445.720,00
Fördersumme	€ 445.720,00

DRAIN	
Projektleitung	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung
Kontakt	Dr. Eugenio Diaz-Pines (eugenio.diaz-pines@boku.ac.at)
Partner	Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Lehrforstzentrum (ObRat Dipl.-Ing. Dr. J. Gasch)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 6. Ausschreibung
Dauer	Jänner 2014 - November 2016
Budget	€ 384.745,00
Fördersumme	€ 278.825,00

Wood-N-Climate	
Projektleitung	Austrian Institute of Technology GmbH, Environment Resources & Technologies
Kontakt	Dr. Rebecca Hood-Nowotny (rebecca.hood@ait.ac.at)
Partner	Schwedische Universität für Agrarwissenschaften (SLU), Department of Aquatic Sciences and Assessment; Department of Territories National Research Institute of Science and Technology (F); Centre for Ecology & Hydrology (UK); Umweltbundesamt GmbH, Ökosystemforschung & Umwelt- informationsmanagement; Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (D)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 7. Ausschreibung
Dauer	Jänner 2015 - Dezember 2017
Budget	€ 267.433,00
Fördersumme	€ 267.433,00

Bisherige Ausgaben von „ACRP in essence“

„ACRP in essence“ stellt Ihnen ausgewählte Forschungsberichte vor, die durch ihre wissenschaftlichen Fragestellungen eine Grundlage für die notwendigen Schritte in Richtung Klimawandelanpassung bilden.

www.klimafonds.gv.at/service/broschueren/acrp-in-essence

Bei Interesse an den bisherigen Themenfeldern kontaktieren Sie bitte:
bettina.zak@klimafonds.gv.at



Sonderheft: COIN



Klimawandelanpassung



Landwirtschaft



Forstwirtschaft



Biodiversität



Wirtschaft



Gesundheit



Wasserwirtschaft



Naturgefahren



Energie

Eigene Notizen

Impressum

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: +43 1 585 03 90, Fax: +43 1 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Druck

Druckerei Gugler (www.gugler.at)

Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Gestaltung

Studio Deluxe (www.studiodeluxe.at)

Verlags- und Herstellungsort

Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH

AUSTRIAN CLIMATE RESEARCH PROGRAMME

in ESSENCE

