

Versuchsstation Bad Lauchstädt 2025

Themenbereich Ökosysteme der Zukunft des
Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung



Foto: Künzelmann

Nach 39 Jahren in der Versuchsstation Bad Lauchstädt,
davon 34 Jahre am UFZ, verabschiede ich mich und
wünsche den Mitarbeitern alles Gute.
Nutzt und erhaltet die Dauerversuche!

Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) ist eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH). Es wurde 1991 unter dem Namen UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH gegründet und beschäftigt an den Standorten Leipzig, Halle/S. und Magdeburg über 1.200 Mitarbeiter. Es erforscht die komplexen Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt in genutzten und gestörten Landschaften, insbesondere dicht besiedelten städtischen und industriellen Ballungsräumen sowie naturnahen Landschaften. Die Wissenschaftler des UFZ entwickeln Konzepte und Verfahren, die helfen sollen, die natürlichen Lebensgrundlagen für nachfolgende Generationen zu sichern.

Die Versuchsstation Bad Lauchstädt

Die Versuchsstation Bad Lauchstädt gehört zum Themenbereich Ökosysteme der Zukunft des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung. Sie ist die experimentelle Basis für die Departments des Themenbereichs aber auch für die Departments Landschaftsökologie, Monitoring und Erkundungstechnologien und Umweltmikrobiologie. Der Standort bietet die infrastrukturellen Grundlagen, um unterschiedliche ökologische Systeme skalenabhängig untersuchen zu können. Sie reichen von Klimakammer- über Warmhaus- und Kalthausexperimenten bis hin zu Manipulationsversuchen im Freiland. Die Gesamtfläche beträgt ca. 40 ha. Die Versuche dienen dem besseren Verständnis der komplexen Beziehungen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Insbesondere werden Einflussgrößen simuliert, die sich aus dem Landnutzungswandel, den klimatischen Veränderungen und der Veränderung der Artenpools ergeben.

Die Versuchsstation Bad Lauchstädt ist Kern des HGF-Projektes TERENO im Gebiet Leipzig-Halle und gehört zum deutschen und europäischen LTER-Netzwerk (Long Term Ecological Research). Sie ist eine zentrale experimentelle Infrastruktur für die Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig. Hier sind wichtige Dauerversuche für die Förderinitiative BonaRes angesiedelt.

iDiv – das Zentrum zur Erforschung der Biodiversität

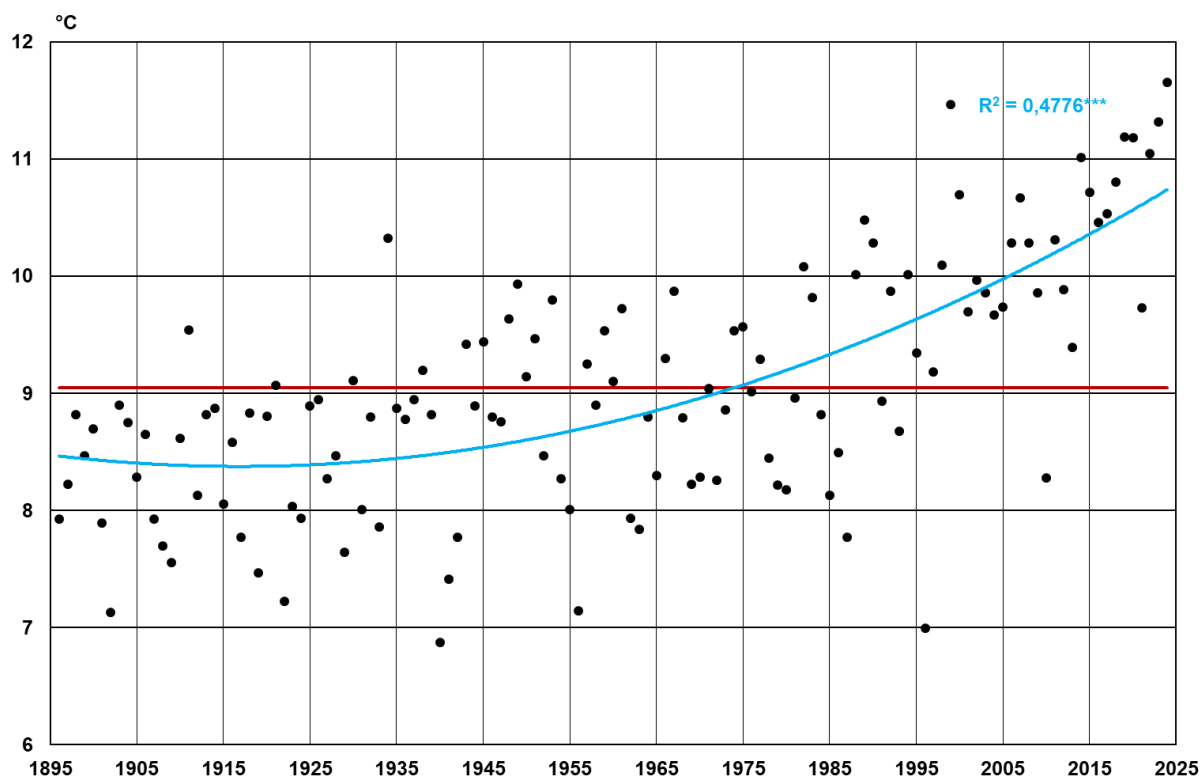
Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) betreibt Spitzenforschung und stellt sich den großen und gesellschaftlich zunehmend relevanten Themen wie Umweltwandel durch Arten- und Lebensraumverlust, nachhaltige Entwicklung und Bioressourcenmanagement.

Ziel der 2012 gegründeten Forschungseinrichtung ist es, die biologische Vielfalt in ihrer Komplexität zu erfassen, wissenschaftliche Daten auf globaler Ebene bereitzustellen bzw. zu nutzen und für Entscheidungsträger tragbare Strategien, Lösungen und Nutzungskonzepte zu entwickeln, um den weiteren Verlust an Biodiversität zu stoppen. Da dies nur mit der Unterstützung gut vernetzter Partner möglich ist, setzt sich iDiv für die Internationalisierung von Wissenschaft, Lehre und Forschung ein.

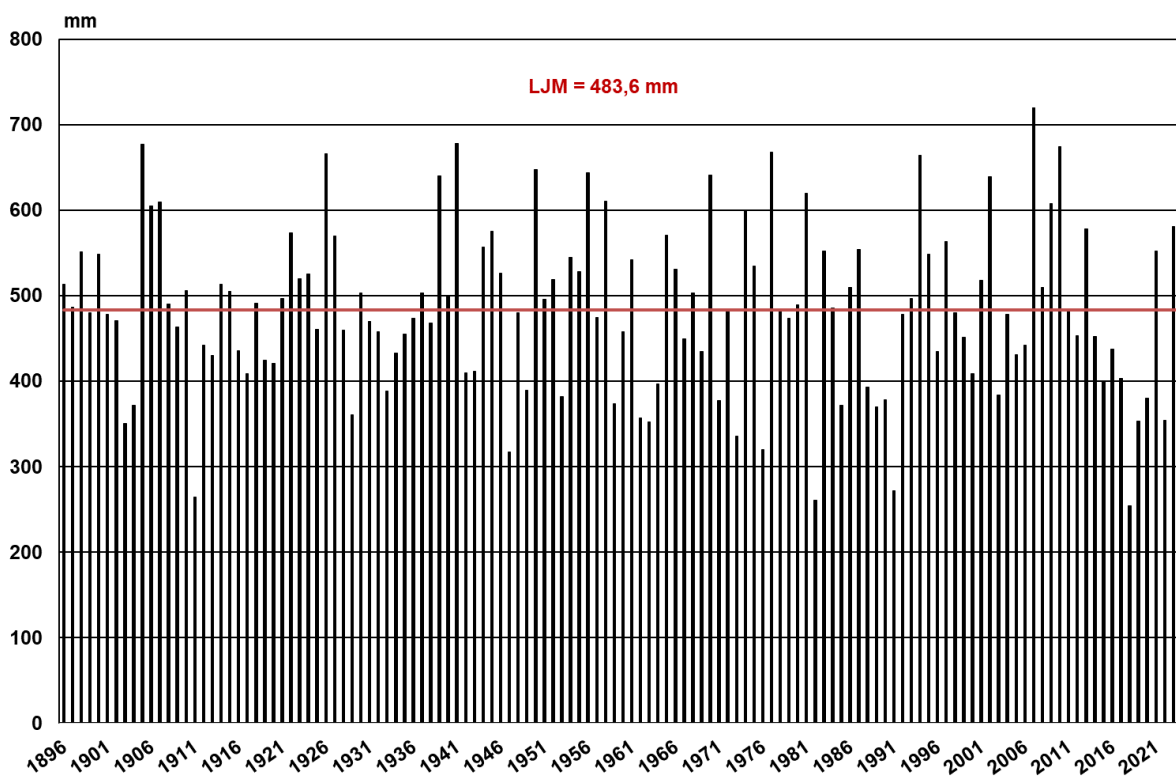
Inhaltsverzeichnis

1.	Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschläge am Standort Bad Lauchstädt	4
2.	Das Bodenprofil in Bad Lauchstädt	6
3.	Global Change Experimental Facility – GCEF	9
3.1	Zielstellung und Design	9
3.2	Erste Ergebnisse	11
	Produktivität im Ackerbau	11
	Pflanzenvielfalt und Produktivität der Grünlandökosysteme	12
	Streuzersetzung im Boden	17
	Heterogenität der Flächen	18
	Bodenphysikalische Messungen	20
4.	Lysimeterstation Bad Lauchstädt (Tereno)	23
5.	TrophinOak-PhytOakmeter	27
6.	Biodiversitätsexperiment mit Graslandarten – DivResource	32
7.	DFG-Schwerpunktprogramm „Raum-zeitliche Organisation der Rhizosphäre – Der Schlüssel zum Verständnis von Rhizosphärenfunktionen „ (SPP 2089)	35
8.	Die Lauchstädter Dauerversuche	37
9.	Statischer Düngungsversuch V120 – Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung	39
10.	Der Erweiterte Statische Düngungsversuch V120 a	49
11.	Stallmiststeigerungsversuch V494	53
12.	Bracheversuch V505a	60
13.	Forschungsplattform MyDiv	63
14.	Nutrient Network: Ein globales Forschungsnetzwerk, das die Auswirkungen von Nährstoffanreicherung auf Grasländer untersucht	66
15.	<u>Drought-Net</u> : Ein globales Netzwerk zur Untersuchung der Auswirkung von extremer Dürre auf terrestrische Ökosysteme	70
16.	DRAGNet: Auswirkungen von Störungen und Nährstoffverfügbarkeit auf Grasländer – ein globales Netzwerk	73
17.	BadBug – part of BugNet: Untersuchung der Auswirkungen von wirbellosen Pflanzen- fressern und pathogenen Pilzen auf Pflanzengemeinschaften und Ökosysteme	75
18.	Forschungsplattform iDiv Ecotron: Der Einfluss von multitrophischer Biodiversitäts- manipulation auf Ökosystemfunktionen unter kontrollierten Umweltbedingungen	77

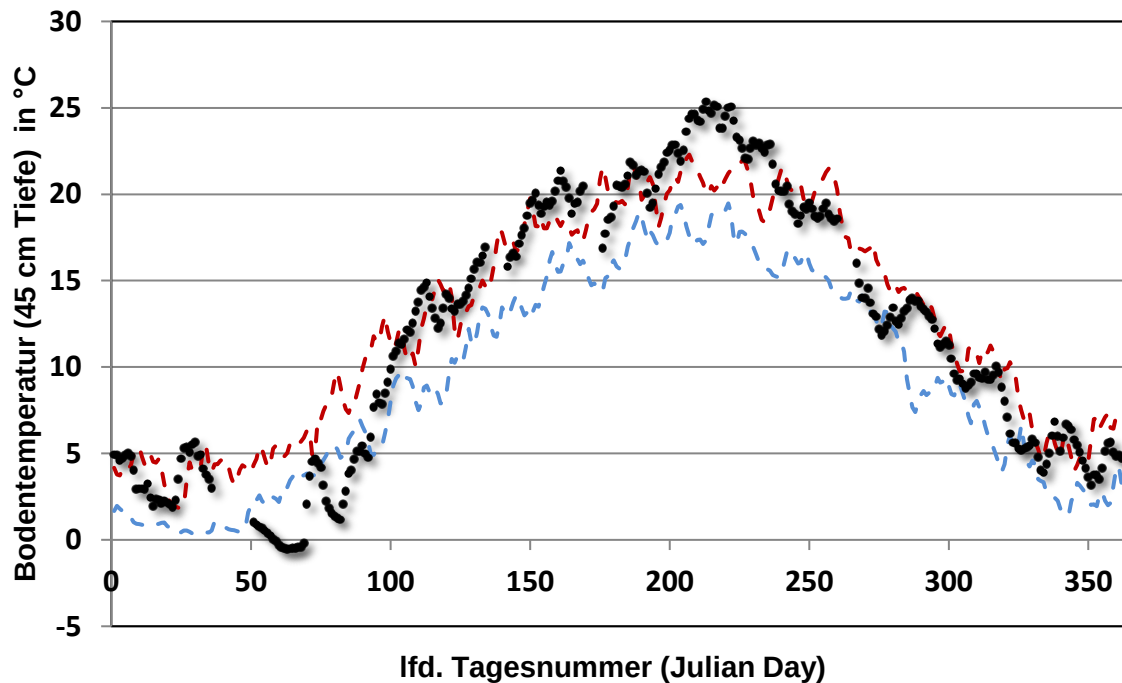
1. Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschläge am Standort Bad Lauchstädt 1896-2024



Temp. °C	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
2024	1,8	7,4	7,4	11,2	15,9	17,5	19,9	21,1	17,0	11,5	5,6	3,6	11,7
5jährig	3,0	4,6	5,9	8,8	13,8	18,8	19,7	20,0	16,1	11,9	6,0	3,3	11,0
10jährig	2,3	3,5	5,7	9,3	14,1	18,8	20,0	20,2	15,8	11,2	6,0	3,9	10,9
LJM 1896-2024	0,1	0,8	4,2	8,4	13,3	16,5	18,3	17,7	14,1	9,3	4,4	1,3	9,0



Nied. mm	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
2024	23,6	53,1	20,7	28,4	135,5	77,7	64,7	32,8	65,6	25,8	17,3	21,4	566,6
5jährig	26,7	35,5	24,8	24,8	53,7	43,4	50,5	85,7	45,1	38,8	27,6	30,5	486,9
10jährig	27,4	24,7	27,8	24,2	41,6	40,8	48,1	65,4	36,4	38,7	27,6	25,7	428,3
LJM 1896-2024	26,2	23,4	29,3	34,2	52,3	58,2	65,3	58,2	39,6	36,0	32,3	28,8	483,6



Gemessene Bodentemperaturen in 45 cm Tiefe im Verlauf des Jahres 2018 (schwarze Punkte) im Vergleich zu den Extremen im Zeitraum 2014-2017 (rot gestrichelt – Maximalwerte, blau gestrichelt – Minimalwerte) in einem normal bewirtschafteten Ackerboden (gepflügt und gedüngt) auf dem Intensivmessfeld (Uwe Franko, Dep. BOSYS).

Trockenste Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen in Bad Lauchstädt

2018	254,0 mm
1982	260,8 mm
1911	264,9 mm
1991	271,9 mm
1947	316,9 mm
1976	319,7 mm

Niederschlagsdefizit 2014-2024

Ist	Soll	Diff.	
4735,2	5319,9	-584,7	seit 2014
6925,5	7254,5	-328,9	seit 2010
9636,7	9672,6	-35,9	seit 2005
12065,5	12090,8	-25,3	seit 2000

2. Das Bodenprofil in Bad Lauchstädt

Manfred Altermann

Lage des Profils

Versuchsstation Bad Lauchstädt des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung UFZ,
auf dem Messfeld des Dep. Bodensystemforschung

Geographische und topographische Angaben

Landschaftseinheit: Querfurter Platte

Höhe über NN: 118 m

Relief: ebene Platte; Neigung: 0°

Versuchsstation befindet sich am Stadtrand von Bad Lauchstädt;

51°23' nördl. Breite, 11°52' östl. Länge

Messtischblatt Merseburg/West (4637)

R: 4491575

H: 5695320

Geologisches Ausgangsmaterial für die Bodenbildung

- I Löss der Weichsel-Kaltzeit – periglaziär umgebildet zur Hauptlage (LH)
- II Löss der Weichsel-Kaltzeit - periglaziär umgebildet/überprägt zur Mittellage (LM)
- III Grundmoräne (sandiger Geschiebemergel) der Saale (Drenthe) – Kaltzeit – periglaziär umgebildet zur Basislage (LB)

Bodensystematische Angaben

Bodenklasse: Schwarzerde (T)

Bodentyp: Tschernosem (TT)

Bodensubtyp: Normtschernosem (TTn)

Bemerkungen: im mitteldeutschen Schwarzerdegebiet sind Tschernoseme und Kalktschernoseme verbreitet. Dabei dominieren die Tschernoseme. Im Gebiet des Versuchsfeldes Bad Lauchstädt kommen neben Normtschernosemen auch Kalktschernoseme vor. Der Carbonatgehalt in den Humushorizonten der Kalktschernoseme kann unterschiedlich bedingt sein: Eintrag von kalkhaltigem Flugstaub in der Nähe großer Industrieanlagen (z.B. in Bad Lauchstädt möglich), im Zuge der Entkalkung können Restkalke in den Humushorizonten verblieben sein, sekundäre Carbonatausscheidungen erfolgten auch durch aufsteigendes Bodenwasser in Trockenphasen.

WRB-Klassifikation: Haplic Chernozem

Substrattyp: Schluff (aus Löss) über Carbonatschluff (aus Löss), Symbol: p-u(Lo)/p-eu(Lo)

Bodenform (aus Bodensubtyp und Substrattyp gebildet): Normtschernosem aus Schluff
(aus Löss) über Carbonatschluff (aus Löss), Symbol: TTn: p-u(Lo)/p-eu(Lo)

Beschreibung des Bodenprofils in der Versuchsstation Bad Lauchstädt
(nach KA 5, M. Altermann, M., Steininger, am 28.9.2019)

Nr.	Tiefe [cm]	Horizont- symbol	Farbe	pedogene Merkmale Substratmerkmale
		Substrat- symbol		
1	0-30	rAxp	schwarz bis braunschwarz 7.5YR2/1-2/2	mittel humos (h3); stark toniger Schluff (Ut4), Krümelgefüge, partiell Übergang zum Plattengefüge; Feinwurzeln schwach enthalten (Wf1); partiell durch ehemaligen Kabelgraben gestört
		p-u(Lo)		
2	30-55	Axh	schwarz 7.5YR1,7/1	mittel humos (h3); stark toniger Schluff (Ut4); Krümelgefüge bis Subpolyedergefüge und Bröckelgefüge; Krotowinen; Feinwurzeln schwach vorhanden (Wf1); Gipsausblühungen; Horizont partiell durch ehemaligen Kabelgraben gestört
		p-u(Lo)		
3	55-65	elCc+Axh	gräulichbraun 7.5YR5/2	schwach humos (h2); carbonatarm (c2); stark toniger Schluff (Ut4); Subpolyedergefüge; Krotowinen; Regenwurmröhren (Rre,f2); schwach Feinwurzeln vorhanden (Wf1); keilartige
		p-u(Lo)		
4	65-80	II elCc1	dunkelgelb- orange 10YR6/4	sehr schwach humos (h1); carbonatreich (c4); mittel toniger Schluff (Ut3); Subpolyedergefüge; Regenwurmröhren (Rre,f2); schwach Feinwurzeln vorhanden (Wf1); Untergrenze wellig
		p-eu(Lo)		
5	80-140	elCc2	dunkel- gelblichbraun 10YR5/3-5/4	carbonatreich (c4); schwach bis mittel toniger Schluff (Ut2-3); Subpolyedergefüge; Regenwurmröhren (Rre,f2); schwach Feinwurzeln bis 120 cm vorhanden (Wf1); carbonatreichere Keile (Kryoturbationen?); Lößkindl; Steinsohle an der Basis
		p-eu(Lo)		
6	140-250	III elC	braun 10YR4/6	mittel carbonathaltig (c3.3); schwach kiesiger (Feuerstein, Kalkstein) stark lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm (fG2,Sl4-Ls4); Carbonatadern; Kryoturbationen (Keile mit Farbunterschieden)
		p-(k)el(Mg)		

Boden des Jahres 2005: die Schwarzerde



Foto: I. Merbach

Dieses Bodenprofil war das Leitprofil für die Aktion Boden des Jahres 2005. Es ist ausführlich beschrieben unter: Altermann, M., Rinklebe, J., Merbach, I., Körschens, M., Langer, U., Hofmann, B. (2005) Chernozem - Soil of the Year 2005. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 725-740

https://www.ufz.de/export/data/2/260235_AltermannetalChernozemBL.pdf

2010 wurde das Bodenprofil geschlossen. Das neue Bodenprofil befindet sich seit 2018 auf dem Messfeld des Dep. Bodensystemforschung und weist etwa vergleichbare Werte auf.

3. Global Change Experimental Facility – GCEF

(etabliert: 2013, Beginn der Experimente 2014)

3.1 Zielstellung und Design

Martin Schädler

Zielstellung

Die GCEF ist eine große experimentelle Feldplattform zur Untersuchung der Effekte des Klimawandels auf Ökosysteme unter den Bedingungen verschiedener Landnutzungen. Die gleichzeitige Manipulation von Landnutzung und Klima in Kombination mit der Größe des Experimentes ist bisher einzigartig.

Im Zentrum der Untersuchungen stehen verschiedenste Ökosystemprozesse, z.B. bodenbiologische Effekte (z.B. Mikroflora, Zersetzer), Bodenfunktionen (Nährstoffe, bodenchemische Parameter), Interaktionen zwischen Arten (Herbivore, Pathogene, Symbionten...) und mikroevolutionäre Veränderungen in Pflanzenpopulationen.

Experimentelles Design

Der Versuch besteht aus 50 Parzellen (16 m x 24 m), welche in 10 Blöcken angeordnet sind (5 Parzellen pro Block). Auf der Hälfte der Blöcke wird das Klima entsprechend eines zukünftigen Szenarios manipuliert. In jedem Block sind 5 verschiedene Landnutzungsvarianten realisiert:

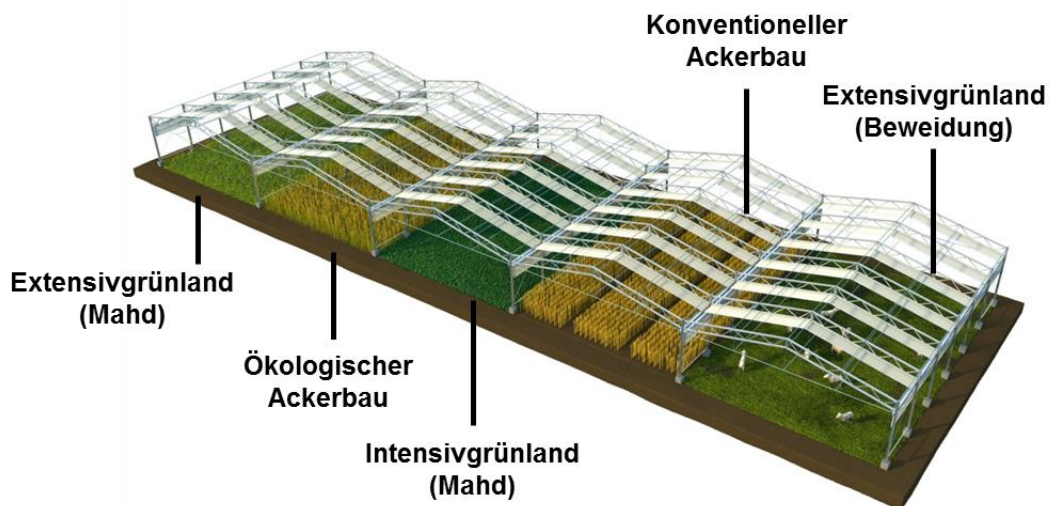


Abb. 1: Beispiel für einen Block mit 5 jeweils zufällig angeordneten Landnutzungsvarianten.

Das Klima wird auf den Parzellen mit mobilen Foliendächern und Seitenwänden manipuliert. Diese schließen sich nachts automatisch und erhöhen so die Temperaturen auf den Parzellen. Zudem werden sie durch einen Regensensor gesteuert, um die Niederschlagsmengen in den Sommermonaten zu reduzieren. Mit Hilfe einer zusätzlichen Beregnungsanlage können so verschiedene Niederschlagsmuster simuliert werden. Parzellen auf denen kein Klima manipuliert wird, sind mit einer identischen Konstruktion überbaut, um mikroklimatische Artefakte zu vermeiden.

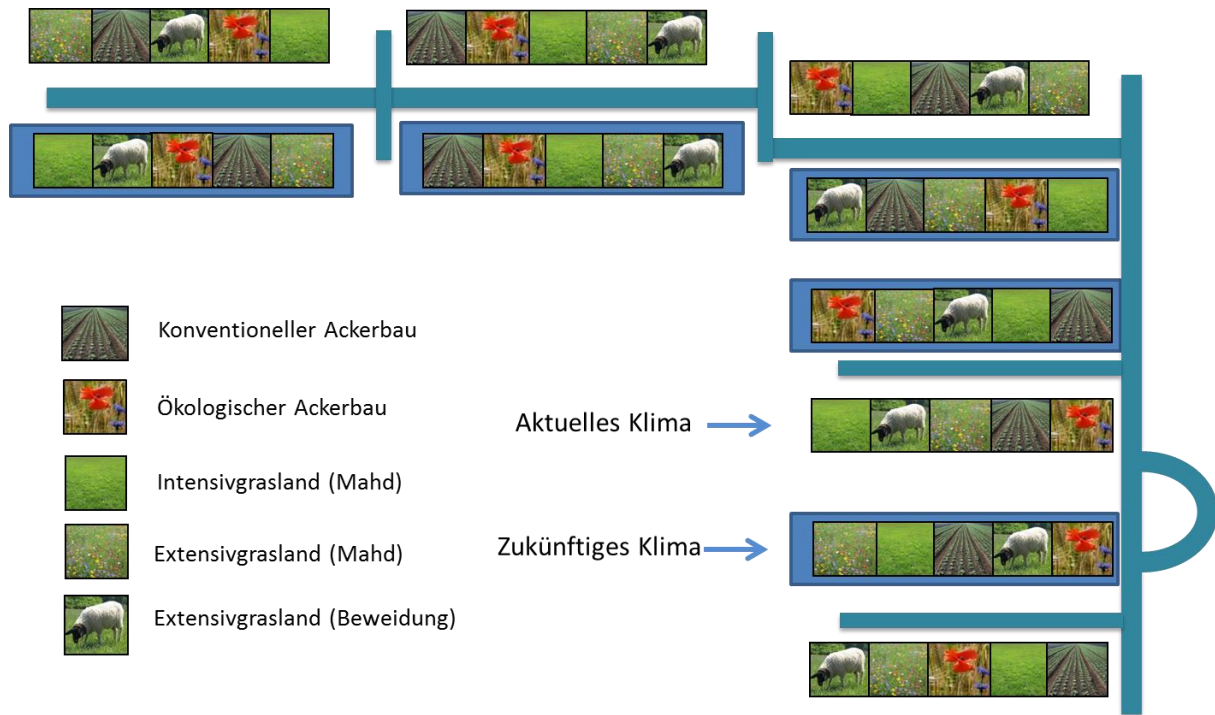


Abb. 2: Design und Plan der GCEF.

Klimamanipulation

Das Klima wird entsprechend eines Szenarios manipuliert, welches einen Konsens über die gängigen verschiedenen existierenden Szenarien darstellt. Neben einer durchgängig leicht erhöhten Nachttemperatur wird dabei der Niederschlag in den Frühlings- und Herbstmonaten um 5-10% erhöht, der Niederschlag in den Sommermonaten dagegen um 15-20% verringert.

Erhobene Variablen / Prüfmerkmale

Pflanzen

Ertragsfeststellung bei allen Haupt- und Nebenprodukten je Prüfglied und Ernteteilstück

Kulturpflanzen: Feuchtmasse (FM), Trockenmasse (TM), DC-Stadien, CN

Intensivgrünland: FM, TM, Höhe, CN, Artenzusammensetzung

Extensivgrünland (Mahd): FM, TM, Höhe, CN, Artenzusammensetzung,

Extensivgrünland (Beweidung): FM, TM, Höhe, CN (mit Käfigen), Artenzusammensetzung

Funktionelle Merkmale ausgewählter Arten (Blatt- und Wurzelmerkmale)

Bodenchemie

TOC, TN, labiler C und N (HWE, KWE)

Verfügbare Nährstoffe (N, P)

pH

Mikroklima

Luft: Feuchte, Temperatur in 3 verschiedenen Höhen

Boden: Feuchte, Temperatur in 3 verschiedenen Tiefen

Strahlung: photosynthetisch aktive Strahlung (3 Höhen), Globalstrahlung

Niederschlag

Bodenbiologie

Streuabbau

Mikrobielle Aktivität (Atmung, Biomasse, Enzyme)

Zusammensetzung der Bodenfauna

Molekulare Analysen der Bodenmikroflora

3.2 Erste Ergebnisse

Produktivität im Ackerbau

Martin Schädler, UFZ

Die Landnutzungsvarianten wurden Ende 2013/Anfang 2014 etabliert. Die Manipulation des Klimas begann im Sommer 2014. Das Jahr 2015 war daher das erste Jahr mit einer durchgängigen Klimamanipulation. Auf den beiden Ackerbauvarianten (konventionell, ökologisch) wurde in den Jahren 2015 sowie 2018 Winterweizen und 2016 sowie 2019 Wintergerste angebaut, was eine direkte Vergleichbarkeit ermöglicht. Dabei zeigte sich für den Weizen ein jahrweiser Unterschied im Korn- und Strohertrag zwischen den beiden Varianten und eine signifikante Abnahme unter zukünftigen Klimabedingungen (Abb. 3). Der negative Einfluss des Klimas war teilweise stärker im konventionellen Anbau, allerdings ausgehend oft von einer höheren Produktivität unter gegenwärtigen Bedingungen. Bei der Wintergerste zeigten sich 2016 signifikant niedrigere Erträge im ökologischen Landbau. Der Einfluss des zukünftigen Klimas war von der Anbauvariante unabhängig und nur für den Strohertrag signifikant negativ. Im Jahr 2019 verursachten die ausserordentlich trockenen Bedingungen in jeder Versuchsvariante gleichniedrige Erträge.

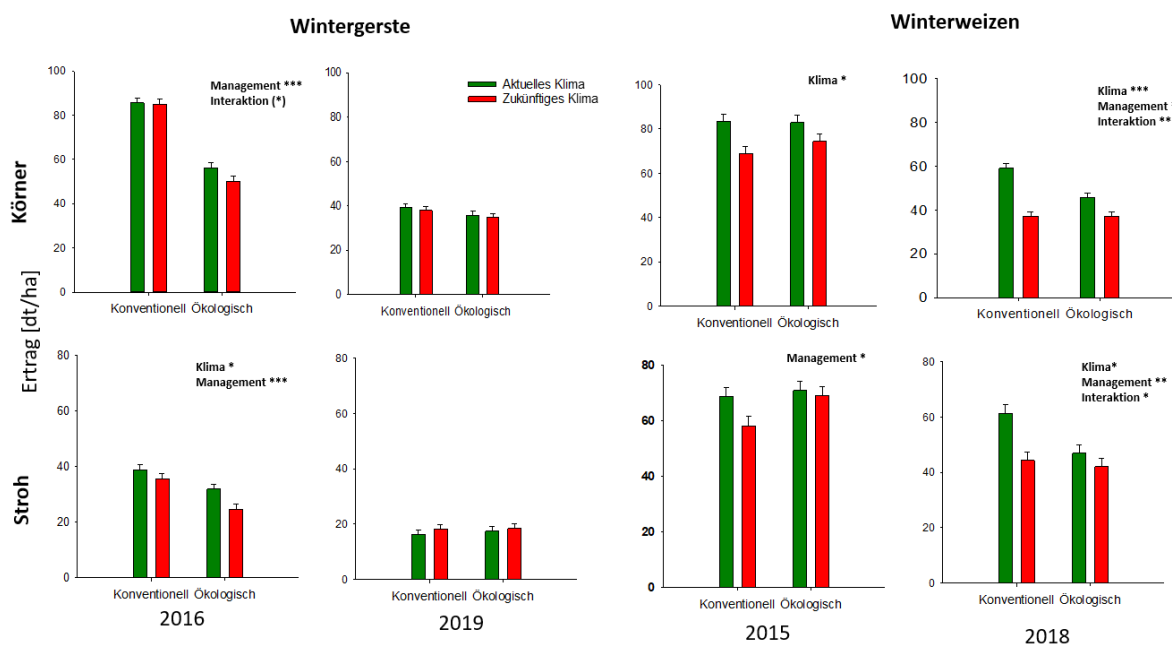


Abb.3: Getreideertrag (86 % TM) seit 2015 auf den Ackerbauvarianten unter aktuellen (grüne Balken) und zukünftigen (rote Balken) Klimabedingungen.

Pflanzenvielfalt und Produktivität der Grünlandökosysteme in der GCEF

Harald Auge, Lotte Korell

1. Zielstellung der Untersuchungen

Grasländer bedecken mehr als ein Drittel der Landoberfläche der Erde und stellen wichtige Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen bereit: Sie speichern mehr als ein Drittel des terrestrischen Kohlenstoffs, sind für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion unverzichtbar und können auf kleinem Raum eine außergewöhnlich hohe Artenvielfalt beherbergen. Der Klimawandel und die Intensivierung der Landnutzung – zwei Hauptbestandteile des vom Menschen verursachten globalen Wandels – stellen eine große Bedrohung für die biologische Vielfalt und die Funktionsweise dieser wichtigen Ökosysteme dar. In der GCEF wurden deshalb – neben den weiter oben vorgestellten Ackervarianten – drei verschiedene Grünlandvarianten etabliert, die sich hinsichtlich Artenzusammensetzung, Düngung und Management unterscheiden: extensiv bewirtschaftete Mähwiesen, extensiv bewirtschaftete Schafweiden und intensiv bewirtschaftete Wiesen. Dies erlaubte uns zu untersuchen, ob Grünländer in Abhängigkeit von der Art und der Intensität ihrer Bewirtschaftung unterschiedlich vom Klimawandel beeinflusst werden. Da zudem die klimatischen Bedingungen während des Untersuchungszeitraums erheblich schwankten, und darunter auch drei aufeinander folgende Jahre mit extremer Trockenheit waren, konnten wir die Reaktionen der Grünländer auf diese Klimavariabilität mit ihrer Reaktion auf die experimentelle Klimamanipulation vergleichen. Basierend auf der wissenschaftlichen Literatur stellten wir die Hypothese auf, dass die extensiv genutzten Wiesen und Weiden, die über eine hohe Vielfalt an Pflanzenarten verfügen, weniger stark als das Intensivgrünland auf das sich veränderte Klima reagieren, also resistenter gegenüber Klimawandel sind.

2. Charakterisierung der Grünländer

Auf den extensiv genutzten Wiesen (im Folgenden Extensivwiese genannt) und den extensiv genutzten Schafweiden (im Folgenden Extensivweide) wurden Anfang März 2014 insgesamt 56 einheimische Grünlandarten (14 Gräser, 10 stickstofffixierende Kräuter, 32 nicht stickstofffixierende Kräuter) ausgesät, die typisch für mesophiles bis trockenes Grünland sowie für Steppenrasen sind. Die Extensivwiesen wurden zweimal jährlich gemäht (spätes Frühjahr, Hochsommer), mit Ausnahme der Dürrejahre 2018, 2019 und 2020, in denen die Sommer-Mahd wegen unzureichenden Aufwuchses ausgesetzt werden musste. Die Extensivweiden wurden bis zu dreimal jährlich beweidet (zeitiges Frühjahr, spätes Frühjahr, Hochsommer); auch hier musste die Beweidung aufgrund der Trockenheit in den Jahren 2018, 2019 und 2020 auf zwei Male pro Jahr und im Jahr 2022 auf ein Mal reduziert werden. Die Beweidung erfolgte stets mit einer Gruppe von 10-13 erwachsenen Schafen und 10-20 Lämmern, die 24 Stunden lang auf jeder Parzelle verblieben, und orientierte sich an Empfehlungen für den Biotopschutz. Eine Düngung der Extensivwiesen und -weiden erfolgte nicht. Für die intensiv bewirtschafteten Wiesen (im Folgenden Intensivgrünland) folgte die Artenzusammensetzung den offiziellen Empfehlungen der Landesbehörden für trockene Standorte. Die verwendete Saatgutmischung „RG8“ enthält fünf Grassorten: 10 % frühblühendes *Lolium perenne* cv. „Nui“, 10 % mittelfrühes *L. perenne* cv. „Toronto“, 50% *Festulolium* cv. „Felopa“, 20 % *Dactylis glomerata* cv. „Lidacta“ und 10 % *Poa pratensis* cv. „Balin“. Die Intensivwiesen wurden im Herbst 2013

gesät und in der Regel viermal pro Jahr gemäht (Mitte Frühjahr, spätes Frühjahr, Hochsommer, Mitte Herbst). Aufgrund der Dürre musste die Mähhäufigkeit in den Jahren 2018, 2019 und 2020 auf zwei Schnitte pro Jahr und 2022 auf drei Schnitte reduziert werden. Im Herbst 2020 wurden diese Flächen erneut gepflügt und mit der gleichen Saatgutmischung wie zuvor neu eingesät, jedoch mit aktualisierten Sorten (10 % frühblühendes *Lolium perenne* cv. „Karatos“, 10 % mittelfrühes *L. perenne* cv. „Astonhockey“, 50 % *Festulolium* cv. „Fedoro“, 20 % *Dactylis glomerata* cv. „Lidacta“ und 10 % *Poa pratensis* cv. „Liblue“. Dies entspricht der typischen Bewirtschaftung von Intensivgrünland, um die gewünschte Sortenmischung wiederherzustellen. Gemäß der landwirtschaftlichen Praxis erfolgte eine mineralische Düngung jedes Jahr zu Beginn der Vegetationsperiode (90 kg/ha N, 30 kg/ha P und 110 kg/ha K) sowie nach dem ersten (80 kg/ha N), zweiten (70 kg/ha N) und dritten Schnitt (60 kg/ha N). Ab 2019 wurde die N-Düngung nach dem ersten (50 kg/ha N), zweiten (40 kg/ha N) und dritten Schnitt (30 kg/ha N) reduziert.

3. Klimabedingungen während des Versuchszeitraums

Das Klima im Untersuchungszeitraum war im Durchschnitt trockener und wärmer als im langjährigen Mittel (Abb. 1). Der Jahresniederschlag war durchschnittlich 97 mm niedriger als das langjährige Mittel von 489 mm und variierte zudem sehr stark zwischen den Jahren. So war das Jahr 2018 mit einem Niederschlag von nur 254 mm eines der trockensten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (48% geringerer Niederschlag als im langjährigen Mittel), und die darauf folgenden Jahre 2019, 2020 sowie 2022 waren mit rund 28%, 22% und 27% weniger Niederschlag ebenfalls überdurchschnittlich trocken. Dabei waren die Trockenperioden insbesondere während der Sommermonate zu verzeichnen, was mit dem jahreszeitlichen Muster des in der GCEF experimentell simulierten Klimawandels übereinstimmte. Die mittlere Jahrestemperatur war außerdem im Durchschnitt 1,8°C wärmer als das langjährige Mittel von 8,9°C.

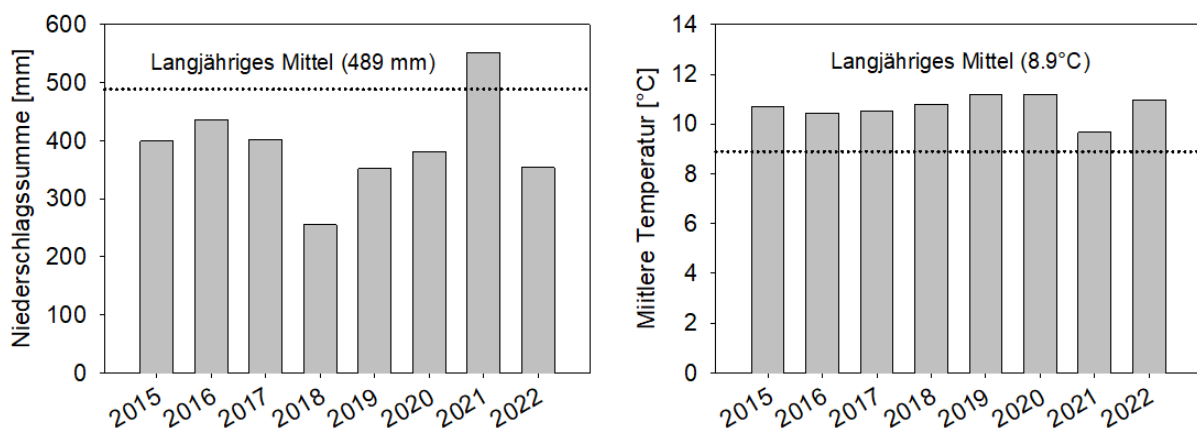


Abb. 1: Jährliche Niederschlagssummen (links) und mittlere Jahrestemperaturen (rechts) während des Untersuchungszeitraums 2015-2022 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten vor Versuchsbeginn (1896-2013)

4. Ergebnisse

Pflanzendiversität der Grünländer

Der Reichtum an Pflanzenarten unterschied sich deutlich zwischen den beiden extensiv genutzten Grünländern einerseits und dem intensiv genutzten Grünland andererseits. So zeigten die Extensivwiesen und -weiden einen wesentlich höheren Artenreichtum ($46,4 \pm 0,6$ bzw. $43,1 \pm 0,8$ Arten je 9 m^2 -Aufnahmefläche; Mittelwert $\pm$ Standardfehler über alle Jahre hinweg) als das Intensivgrünland ($13,7 \pm 0,3$). Dies überrascht nicht und widerspiegelt, dass das Intensivgrünland mit viel weniger Pflanzenarten angesät wurde. Dem entsprechend war die Zahl der tatsächlich etablierten angesäten Arten im Intensivgrünland ($3,9 \pm 0,0$) wesentlich geringer als in den beiden extensiv genutzten Grünländern (Extensivwiese: $36,1 \pm 0,4$; Extensivweide: $33,0 \pm 0,5$). Darüber hinaus konnten sich durch Einwanderung aus dem regionalen Artenpool oder aus dem Bodensamenvorrat eine beträchtliche Anzahl zusätzlicher Arten etablieren (Extensivwiese: $10,3 \pm 0,5$, Extensivweide: $10,1 \pm 0,5$; Intensivgrünland: $9,8 \pm 0,3$). In der Konsequenz war also der Anteil der eingewanderten Arten auf dem Intensivgrünland viel höher als auf den beiden extensiv bewirtschafteten Grünländern. Im Vergleich der Untersuchungsjahre fällt auf, dass der Gesamtartenreichtum auf den Extensivwiesen und -weiden in den Dürrejahre zurückging, während er auf dem Intensivgrünland mit der Zeit und insbesondere nach dem ersten Dürrejahr zunahm (Abb. 2). Die Wirkung des experimentellen Klimawandels auf den Artenreichtum unterschied sich zwischen den Landnutzungstypen und zwischen den Jahren. Während der Artenreichtum der Extensivwiesen und -weiden nur in den ersten Untersuchungsjahren eine geringe, positive Reaktion auf das zukünftige Klima zeigte, reagierte der Artenreichtum des Intensivgrünlands deutlich stärker. Diese stärkere Reaktion des Intensivgrünlands auf die Klimabehandlung lässt sich – ebenso wie der zeitliche Anstieg des Artenreichtums – auf die Einwanderung zusätzlicher Arten zurückführen, die, wie bereits beschrieben, im Intensivgrünland eine größere Rolle spielten als im Extensivgrünland. Bei diesen eingewanderten Arten handelt es sich zum größten Teil um kurzlebige Pflanzen, wie z.B. die Vogelmiere (*Stellaria media*), das Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), der Kleiner Storchenschnabel (*Geranium pusillum*), oder das giftige Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris*). Abgesehen von der Giftigkeit einiger dieser Arten, wiesen sie eine viel geringere Futterqualität (mittlere Futterwertzahl = $3,60 \pm 0,52$) als die ursprünglich angesäten Futtergräser auf (mittlere Futterwertzahl = $8,67 \pm 0,33$).

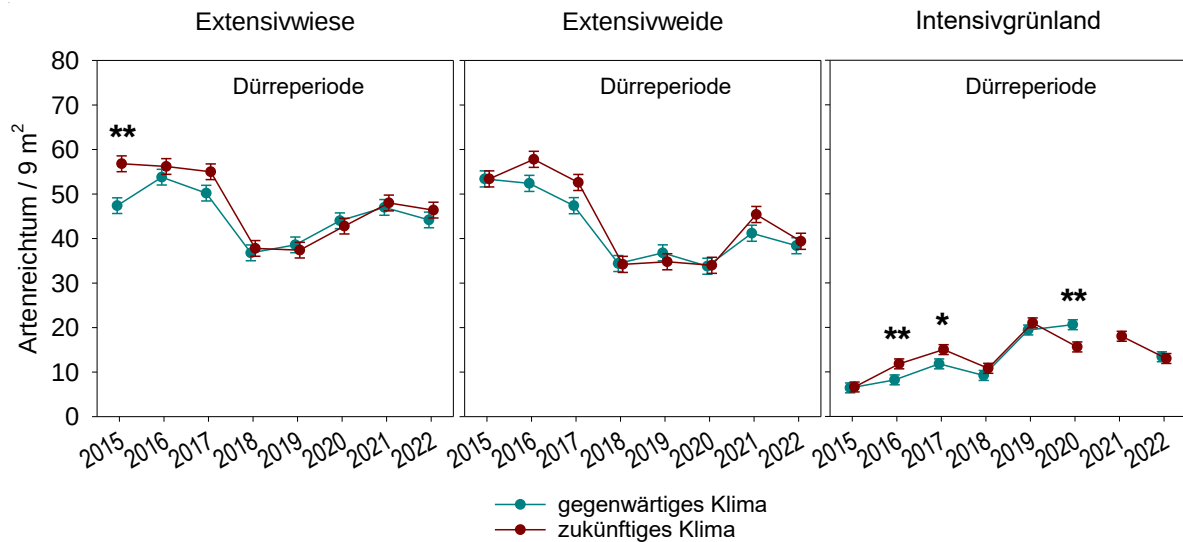


Abb. 2: Vielfalt der Pflanzenarten auf den drei Grünlandvarianten der GCEF in den Jahren 2015-2022. Die Intensivgrünländer wurden im Herbst 2020 umgebrochen und mit der gleichen Saatgutmischung neu angesät. Dargestellt sind die Mittelwerte des Artenreichtums pro 9 m²-Fläche und ihr Standardfehler, basierend auf den jeweils fünf Wiederholungen. (Statistische Signifikanz zwischen den beiden experimentellen Klimabehandlungen pro Jahr: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$)

Produktivität der Grünländer

Die jährliche oberirdische Nettoprimärproduktion (ANPP) des Intensivgrünlands war, gemittelt über den gesamten Untersuchungszeitraum, etwa doppelt so hoch ($1.015 \pm 21 \text{ g m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$) wie die Produktivität der beiden extensiv genutzten Grünländer (Extensivwiese: $553 \pm 18 \text{ g m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$; Extensivweide $405 \pm 14 \text{ g m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$). Darüber hinaus zeigte die ANPP des Intensivgrünlands einen sehr viel stärkeren Rückgang während der Dürrejahre 2018-2020 und erholte sich erst nach der 2020 erfolgten Neusaat, um im trockenen Jahr 2022 erneut einzubrechen (Abb. 3). Dem entsprechend wies die ANPP des Intensivgrünlands eine starke Abhängigkeit von der Trockenheit des jeweiligen Jahres auf ($r^2 = 0,67$, $p < 0,0001$), die in den Extensivgrünländern so nicht nachweisbar war. Als Maß für die zeitliche Stabilität der ANPP wird üblicherweise der Variationskoeffizient benutzt. Dieser war, zumindest auf den Parzellen mit gegenwärtigem Klima, beim Intensivgrünland signifikant größer ($34,3 \pm 1,1 \%$) als bei den Extensivwiesen ($27,2 \pm 3,5 \%$) und Extensivweiden ($28,2 \pm 3,8 \%$). Anders ausgedrückt: Die Stabilität der Biomasseproduktion gegenüber den jährlichen Klimaschwankungen war im Intensivgrünland im Vergleich zu den extensiv bewirtschafteten Grünländern deutlich herabgesetzt. Überraschenderweise hatte der experimentelle Klimawandel insgesamt zwar eine recht geringe Auswirkung auf die ANPP, doch reagierte auch hier das Intensivgrünland stärker.

Die oben erwähnten eingewanderten Arten trugen in den Extensivgrünländern nur geringfügig zur Biomasseproduktion bei. Ihr Anteil an der Gesamtbiomasse lag nur im ersten Jahr nach der Einsaat (2015) über 10 % und sonst stets unter 4 %, und wurde auch vom experimentellen Klimawandel kaum beeinflusst. Im Intensivgrünland dagegen erhöhte sich ihr Anteil von Jahr zu Jahr, war weitaus größer als in den Extensivgrünländern und sank erst wieder, nachdem die Parzellen neu

angesät wurden. Diesem Muster lag nicht nur eine kontinuierlich zunehmende Biomasse der Einwanderer, sondern auch eine ebenso kontinuierlich abnehmende Biomasseproduktion der angesäten Futtergräser zugrunde. Dieser zeitliche Trend wurde durch den experimentellen Klimawandel noch verstärkt: der Biomasseanteil der Einwanderer erreichte unter zukünftigem Klima sein Maximum von $63,2 \pm 3,4 \%$ bereits im zweiten Dürrejahr (2019), während das Maximum unter gegenwärtigem Klima erst im Jahr 2020 auftrat und mit $44,9 \pm 3,4 \%$ auch deutlich niedriger ausfiel.

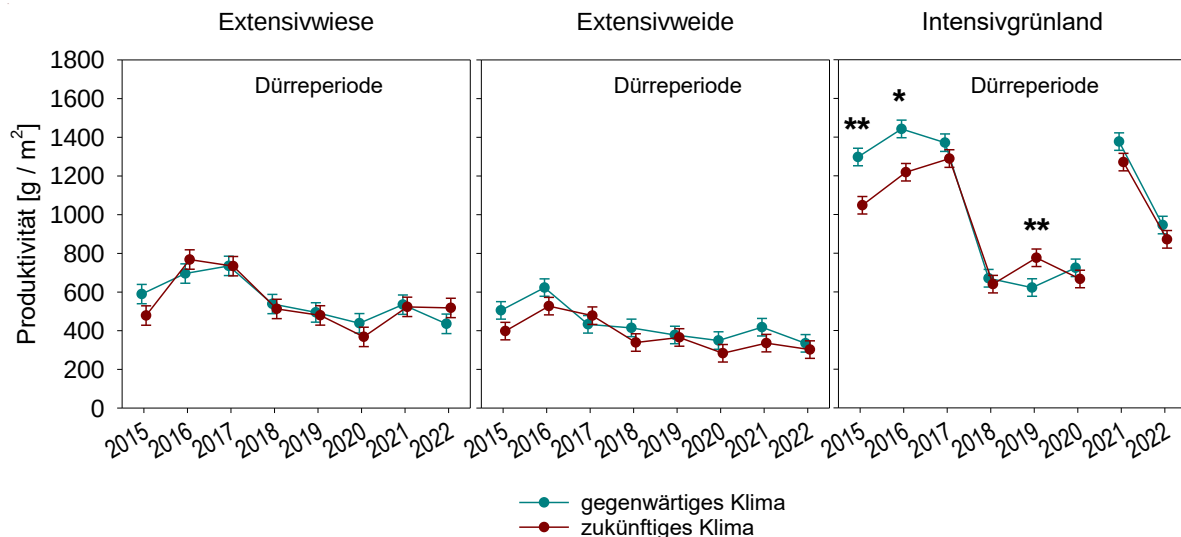


Abb. 3: Produktivität der drei Grünlandvarianten der GCEF in den Jahren 2015-2022. Die Intensivgrünländer wurden im Herbst 2020 umgebrochen und mit der gleichen Saatgutmischung neu angesät. Dargestellt sind die Mittelwerte der oberirdische Nettoprimärproduktion (ANPP) und ihr Standardfehler, basierend auf den jeweils 5 Wiederholungen. (Statistische Signifikanz zwischen den beiden experimentellen Klimabelandlungen pro Jahr: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$)

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Unsere Untersuchung liefert einen experimentellen Beweis dafür, dass die Reaktion von Grünländern auf den Klimawandel von der jeweiligen Landnutzung abhängt, einschließlich der Bewirtschaftungsintensität und der Artenvielfalt. Die experimentelle Manipulation des Klimas, die sich an einem realistischen Szenario des Klimawandels orientierte, hatte einen geringeren Einfluss auf die Vielfalt an Pflanzenarten und die Produktivität der Grünländer als die jährlichen Klimaschwankungen. Die große Variabilität der klimatischen Bedingungen zwischen den Untersuchungsjahren, die historische Dürre-Ereignisse einschlossen, kann auch als eine Folge des anthropogenen globalen Wandels angesehen werden. Die Auswirkungen sowohl des experimentellen Klimawandels als auch der jährlichen Klimaschwankungen waren im Intensivgrünland, das ursprünglich nur aus wenigen Grassorten bestand, viel deutlicher ausgeprägt als in den Extensivwiesen und -weiden. Der experimentelle Klimawandel verstärkte und beschleunigte eine Verschiebung der Zusammensetzung des Intensivgrünlands, weg von den erwünschten Futtergräsern hin zu Artengemeinschaften geringerer Futterqualität. Dieser Effekt hat vermutlich auch ökonomische Konsequenzen für die Landwirte, die entsprechend häufiger neu ansäen müssen. Zudem zeigten die Intensivgrünländer eine geringere Resistenz gegenüber den jährlichen Klimaschwankungen – und dies, obwohl es sich bereits

um eine für trockenere Gebiete empfohlene Saatgutmischung handelte. Für die geringere Resistenz des Intensivgrünlands im Vergleich zu den artenreicheren Extensivgrünländern gibt es mehrere, sich nicht gegenseitig ausschließende Erklärungen: Zum einen können schnellwüchsige, hochproduktive Futtergräser eine relativ geringe Stresstoleranz aufweisen; zum anderen ist bekannt, dass der Einfluss von Umweltschwankungen durch eine hohe Artenvielfalt abgepuffert werden kann. Diese Effekte können zudem durch eine Düngung noch verstärkt werden. Eine niedrigere Bewirtschaftungsintensität, verbunden mit einer höheren Artenvielfalt, könnte deshalb ein möglicher Ansatz sein, die Biomasseproduktion von Grünländern angesichts des Klimawandels zu stabilisieren.

Streuzersetzung im Boden

Martin Schädler, UFZ

Die Zersetzung von Pflanzenstreu ist ein wichtiger Prozess für die Wiederverwertung von Kohlenstoff sowie Nährstoffen und trägt damit maßgeblich zur Bodenfruchtbarkeit bei. Da Zersetzungsprozesse biologisch getrieben sind, sind Landnutzung und klimatische Verhältnisse wesentliche Treiber der Abbau- und Umsetzungsrate in Böden. In der GCEF wird der experimentelle Einfluss von Landnutzung und Klima in Abhängigkeit von der Jahreszeit und zwischenjährlichen Unterschieden mit Hilfe des Tea Bag Index untersucht (Abb. 6). Die Ergebnisse zeigen, dass die experimentell verstärkte Sommertrockenheit im zukünftigen Klimatreatment zu einer Reduktion der Streuabbaurate führt (Abb. 7, oben). Überraschenderweise wurde diese Reduktion auch in Jahreszeiten beobachtet (nicht immer signifikant, aber zumindest als Trend), in denen keine experimentelle Reduktion des Niederschlags (Winter) oder gar eine Erhöhung des Niederschlags (Frühjahr, Herbst) erfolgt. Dies lässt darauf schließen, dass sich die negativen Folgen der Sommertrockenheit auf das Bodenleben über Monate hinweg ausdehnen. Wie lange diese negativen Effekte andauern wird durch die Landnutzung mit beeinflusst. Letztere übt aber selbst einen wesentlichen Einfluss auf die Zersetzungsrate aus (Abb. 7, unten).



Abb. 6: Experimentelle Erfassung des Streuabbaus mit Hilfe des „Tea Bag Index“. Vorausgewogene Teebeutel mit grünem sowie Rooibostee werden für 3 Monate in 8 cm Tiefe vergraben. Anschließend wird der Masseverlust des Tees bestimmt und damit die Zersetzungsrate berechnet.

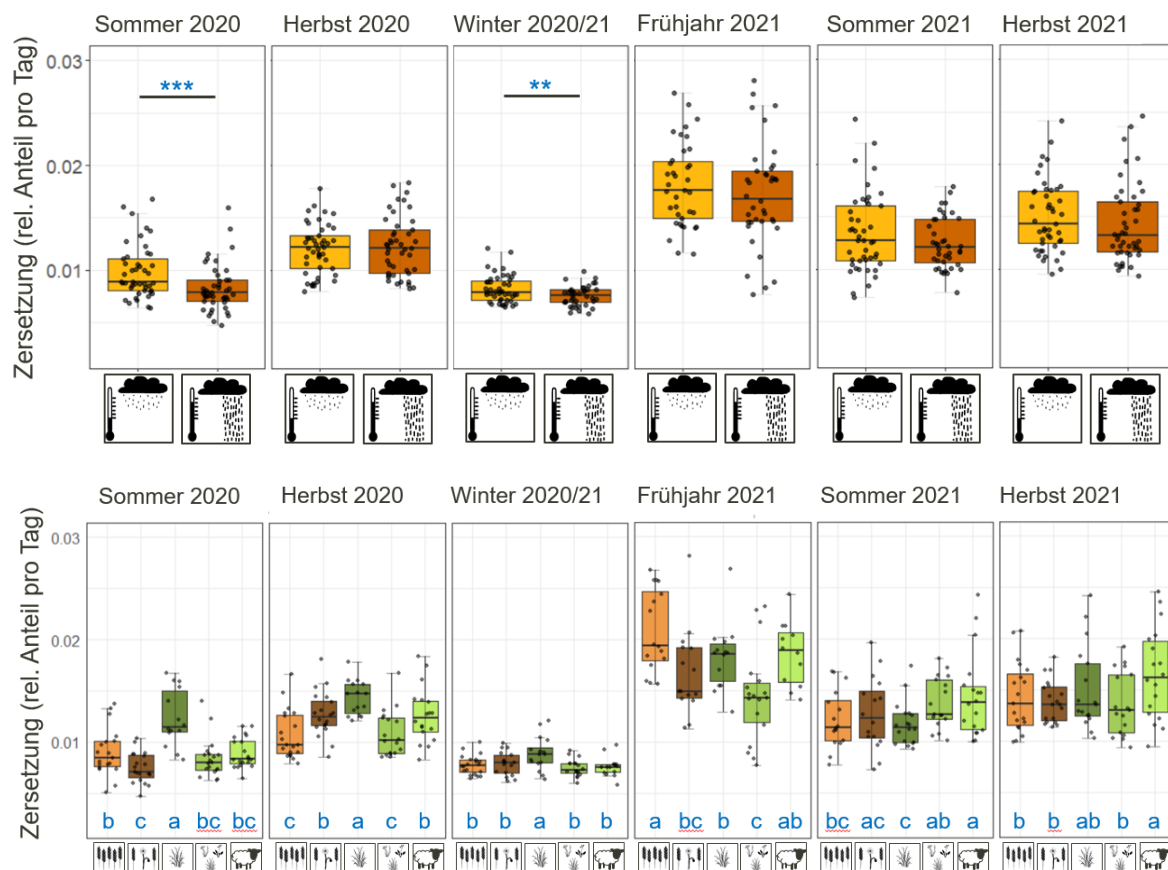


Abb. 7: Streuzersetzungsrate (relativer Masseverlust pro Tag) in Abhängigkeit von Klima (oben) und Landnutzung (unten) in 2020 und 2021. Farbcodierung oben: ambientes (orange) versus zukünftiges (braun) Klima, Farbcodierung unten: Konventionelle (orange) und organische (braun) Landwirtschaft, Intensivgrünland (dunkelgrün), Extensive Mähwiese (grün), Extensive Schafweide (hellgrün). Signifikante Unterschiede sind gekennzeichnet mit *** ($p < 0.001$) und ** ($p < 0.01$) für die Klimavarianten, bzw. durch unterschiedliche Buchstaben für die Landnutzungsvarianten.

Heterogenität der Flächen

Thomas Reitz, UFZ

Bei der Betrachtung, Auswertung und Interpretation der in der GCEF gewonnenen Daten ist es erforderlich die Heterogenität der Flächen hinsichtlich ihrer Bodeneigenschaften zu kennen. Hierzu werden die Daten zahlreicher abiotischer Bodenparameter erfasst. Zwei wesentliche Datensätze sollen hier beispielhaft aufgezeigt werden. Die Mächtigkeit des humosen und nährstoffreichen A-Horizontes ist über die Flächen nicht gleich verteilt und variiert zwischen 33 und 60 cm (Abb. 8). In Folge variiert auch der Beginn der unter dem Mischhorizont liegenden Lössschicht zwischen den Plots stark (48 bis 82 cm). Eine hervorstechende Ausnahme bildet Plot 7.5, in welchem der A-Horizont aus unbekannten Gründen 81 cm stark ist. Die unterschiedliche Mächtigkeit des A-Horizontes geht mit variierenden Gesamtvräten an Nährstoffen und Wasserhaltekapazitäten in den einzelnen Plots einher, was die Produktivität der einzelnen Plots, aber auch die Anfälligkeit gegen die experimentelle Klimabehandlung maßgeblich beeinflussen kann.

Ein weiteres Beispiel für die Heterogenität der Flächen ist der pH-Wert des Bodens, welcher eine entscheidende Rolle für die Struktur und Funktionen der Bodengemeinschaft, aber auch für die Verfügbarkeit und pflanzliche Aufnahme von Nähr- und Schadstoffen spielt. In den Flächen der GCEF variiert dieser um 2 Einheiten zwischen 5.5 und 7.5 (Abb. 9). Dabei weisen die Blöcke 1 bis 4 deutlich geringere pH Werte auf, als die Blöcke 6 bis 10. Block 5 weist darüber hinaus eine besonders hohe Variabilität innerhalb des Blockes, aber auch innerhalb der einzelnen Plots auf. Es konnte gezeigt werden, dass diese pH-Unterschiede für die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaft (Bakterien und Pilze) entscheidend sind und die Nicht-Betrachtung dieser Unterschiede zur Maskierung von experimentellen Landnutzungs- und Klimaeffekten führen kann.

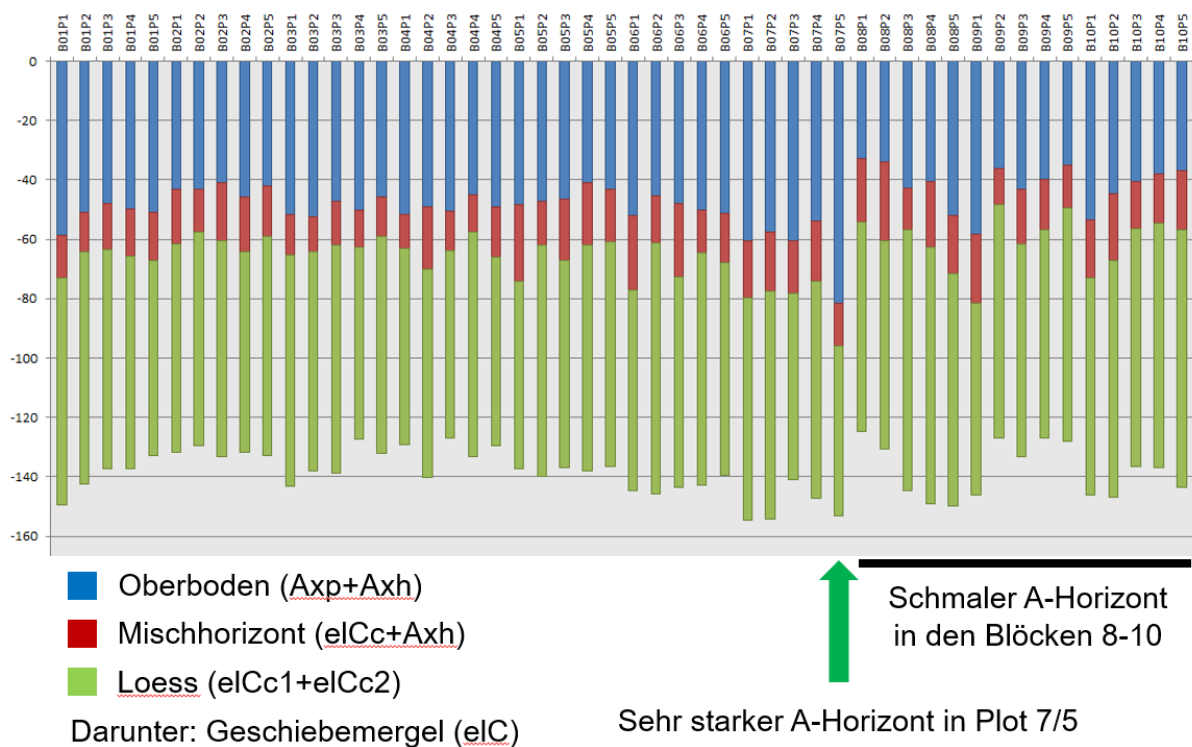


Abb. 8: Tiefenverteilung der Bodenhorizonte in den 50 Plots der GCEF

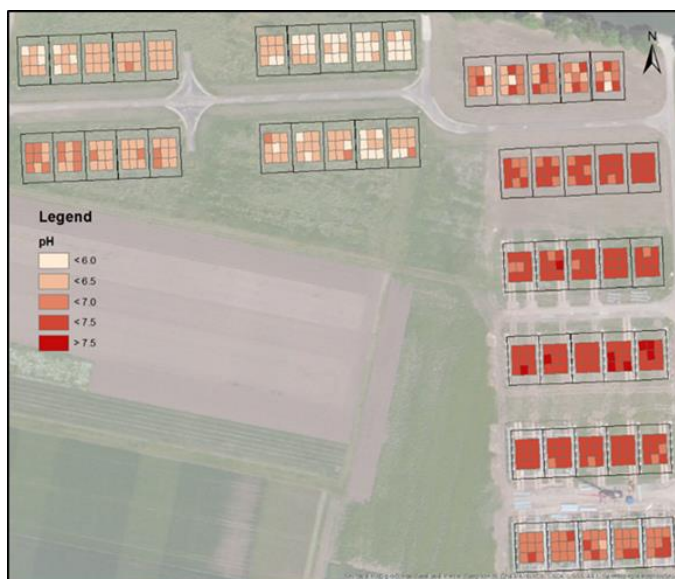


Abb. 9: Variabilität der pH Werte im Oberboden der GCEF

Bodenphysikalische Messungen auf der Global Change Experimental Facility - GCEF

Steffen Schlüter, Mengqi Wu, Christiane Roscher, Thomas Reitz, Sara König, Anke Hildebrandt

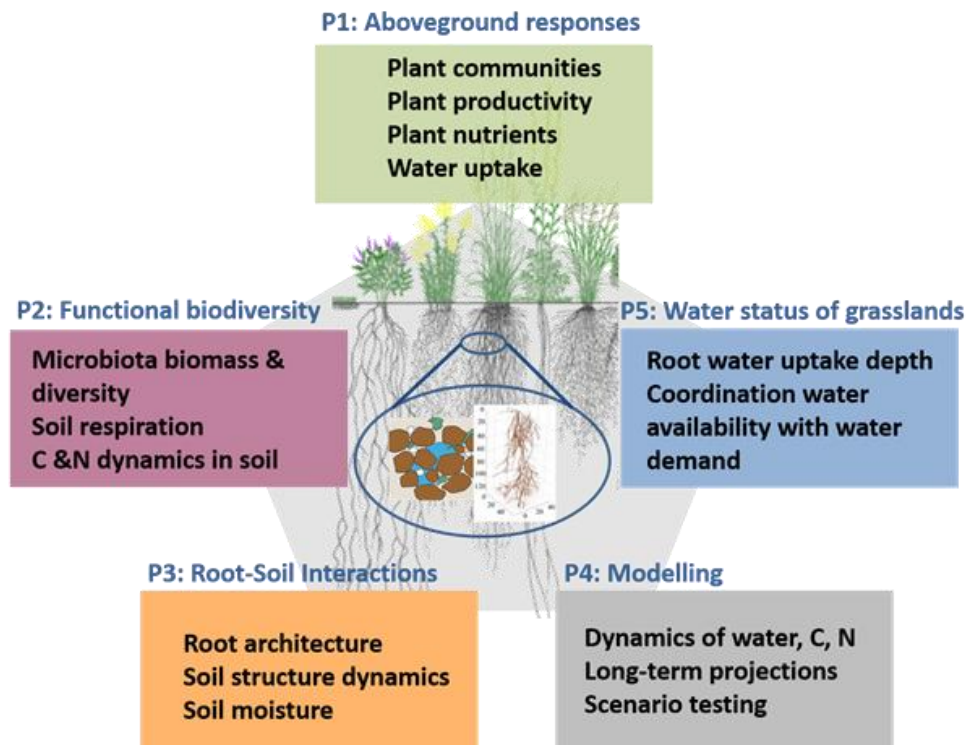
Zielstellung und experimenteller Aufbau

Die GCEF ist eine Plattform zur Erforschung von Effekten des Klimawandels auf verschiedene Ökosystemprozesse unter verschiedenen Landnutzungen. Die GCEF wurde 2013 eingerichtet. Sie besteht aus 50 Parzellen in zehn Blöcken mit jeweils fünf Landnutzungsarten pro Block. In der Hälfte der Blöcke wird ein zukünftiges Klima emuliert durch Niederschlags- und Temperaturmodifikation mit Foliendächern, Seitenwänden und Beregnungsanlagen. Die Maßnahmen führen zu höheren Nachttemperaturen, einer Niederschlagsreduktion in Sommer, sowie höheren Niederschlagsmengen im Frühjahr und Herbst. Die fünf Landnutzungen umfassen konventionellen Ackerbau, ökologischen Ackerbau, Intensivgrasland (Mahd), sowie Extensivgrasland (Mahd oder Beweidung).

Zusätzlich zum engmaschigen Monitoring von Artenzusammensetzung, Erträgen und Bodeneigenschaften finden kampagnenartige Beprobungen zu spezifischen Fragestellungen statt. Die Möglichkeit für eine konzertierte Beprobung einer Vielzahl von zusammenhängenden Pflanzen- und Bodeneigenschaften hat sich durch die Einrichtung der Glimpse- Doktorandenkohorte ergeben (Laufzeit: 2022-2025). Das Ziel dieses Gemeinschaftsprojektes ist, die Auswirkungen des globalen Wandels auf Mikrobiota-Pflanzen-Boden-Prozesse in Wasser- und Stoffkreisläufen landwirtschaftlicher Ökosysteme zu untersuchen.

Die übergeordnete Hypothese der miteinander verknüpften Projekte lautet: Der Klimawandel und die zunehmende Landnutzungsintensität beeinflussen Wasser- und Stoffkreisläufe durch negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und Bodenprozesse, die durch physikalische Eigenschaften an der Boden-Wurzel-Grenze beeinflusst werden.

Die Doktorandenkohorte besteht aus fünf komplementären und integrierten Projekten, die sich mit den Reaktionen der Ökosysteme auf das Klima und die Landnutzung sowie den Rückkopplungen zwischen ihnen befassen (siehe Abbildung unten). Projekt P1 untersucht, wie sich die Faktoren des globalen Wandels auf die Pflanzenvielfalt und die pflanzenbasierten Ökosystemfunktionen auswirken. Projekt P2 befasst sich mit den Wechselwirkungen zwischen den funktionellen Merkmalen der Bodenmikrobiota und den damit verbundenen Prozessen, die die Funktionen und die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen gewährleisten. Projekt P3 konzentriert sich auf die Verbindung zwischen Wurzelsystemen und Bodenstruktur mit Auswirkungen auf Wasser- und Nährstoffflüsse. Projekt P4 analysiert verschiedene Auswirkungen des globalen Wandels systematisch, indem es die Ergebnisse der anderen Projekte in einem prozessbasierten Modell zusammenführt. Projekt P5 untersucht die zeitlichen Muster der Wurzelwasseraufnahmetiefe und den damit verbundenen Trockenstress aufgrund der Intensivierung der Landnutzung. Die Projekte ergänzen sich gegenseitig und tragen alle zu einer Gesamtsynthese bei, in deren Mittelpunkt die Modellierung steht.

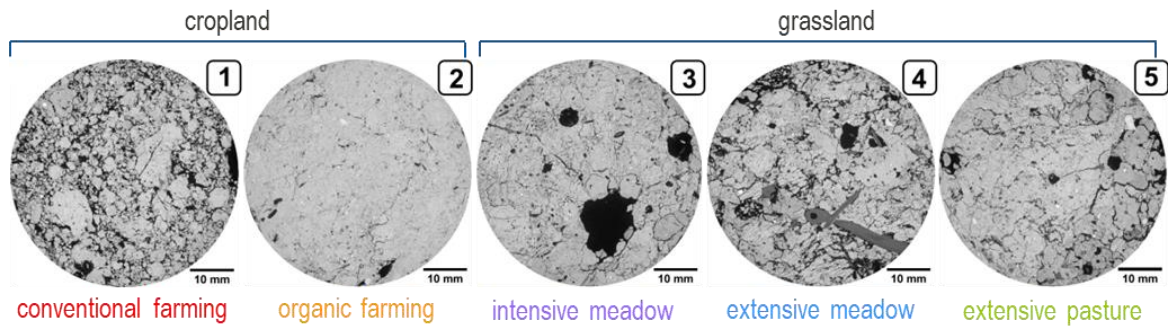


Erste Ergebnisse

Mikrostruktur unter verschiedenen Landnutzungsarten

Dieser Bericht beschränkt sich auf einige bodenphysikalische Ergebnisse, die im Projekt P3 erhoben wurden. Intakte Bodenkerne (100cm³) wurden im Oberboden (6-10 cm) entnommen und mit Röntgen-CT auf Mikrostrukturmerkmale untersucht. Die 2D-Ausschnitte in der Abbildung unten vermitteln einen qualitativen Eindruck von landnutzungsspezifischen Strukturveränderungen. Grasländer haben eine hohe Dichte von großen Bioporen, die überwiegend durch Pfahlwurzeln und Regenwürmer geschaffen werden. In ackerbaulich genutzten Flächen werden Bioporen jährlich durch Bodenbearbeitung zerstört. Die sichtbare Makroporosität variiert stark, je nachdem ob die Bodenprobe aus einem lockeren Bereich stammt, oder einer intakten Scholle oder Fahrspur. Dieser visuelle Eindruck spiegelt sich auch in der quantitativen Bildauswertung wieder. Die fünf Beispielbilder sind als Punkte in den Diagrammen dargestellt. Die mittlere sichtbare Makroporosität ist in allen fünf Landnutzungen gleich, allerdings ist die durch die Bodenbearbeitung hervorgerufene räumliche Variabilität in den Ackerländern größer. Die über einen langen Zeitraum geformten Bioporennetzwerke in Grasländern bewirken einen größeren mittleren Porendurchmesser. Der Gehalt an partikulärer organischer Substanz, der in Grasländern hauptsächlich aus Wurzelmasse besteht und in Ackerländern zusätzlich aus eingemischten Ernteresten, ist in Grasländern systematisch höher. Dies wird bestätigt durch unabhängige Wurzelmassebestimmungen zum Zeitpunkt der Probenahme im Mai, in den alle Grasländer im Oberboden ebenfalls höhere Wurzellängendichten aufweisen als Ackerländer.

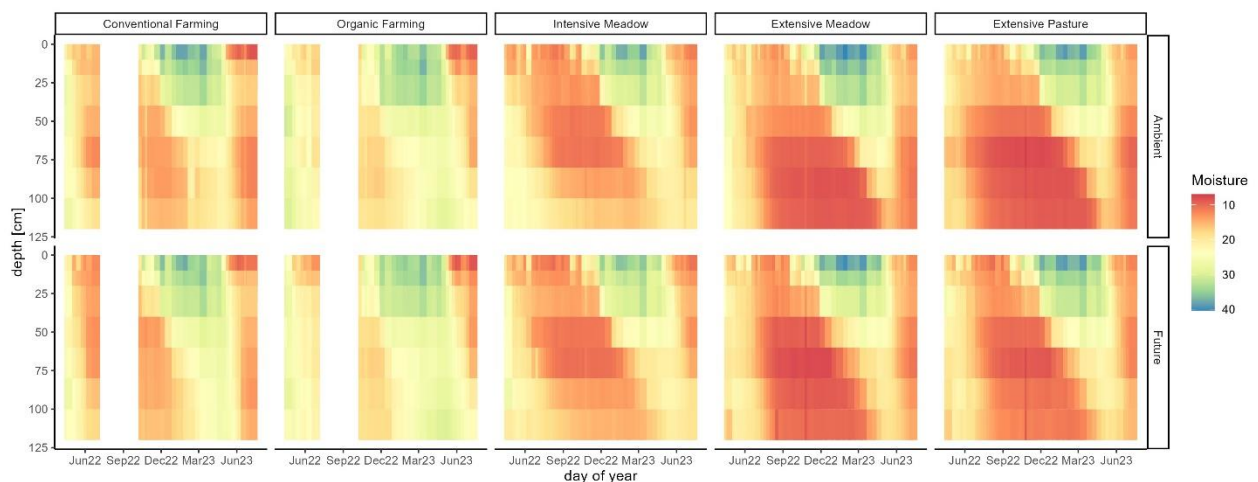
Die Klimamodifikationen haben keine Auswirkungen auf die untersuchten Mikrostrukturmerkmale. Die Bodenstrukturmerkmale im Oberboden wurden im Zeitraum von 2019 bis 2023 jährlich erfasst und die des Unterbodens (35 - 40cm) unterhalb des Pflughorizontes einmalig 2023.



Wassergehaltsmonitoring im GCEF

Wassergehalte werden in wöchentlichem bis dreiwöchentlichen Rhythmus mit einer mobilen TDR-Sonde in fest installierten Röhren bis in eine Tiefe von 120 cm gemessen. Die Farbskala entspricht in etwa dem permanenten Welkepunkt und der Feldkapazität des Bodens. Es wird deutlich, dass das gesamte Bodenprofil in den perennierenden Grasländern ab August 2022 nahezu komplett ausgetrocknet war. Die Wasseraufnahme fiel im konventionellen Acker niedriger aus, weil der Pflanzenbestand sich erst im Laufe der Wachstumsperiode entwickelt und damit auch die Transpiration verzögert einsetzt. Diese Wassergehalte sind am höchsten im Ökolandbau, in welchem das Wachstum durch geringere Stickstoffversorgung reduziert war. Die Niederschläge im Herbst und Winter füllen die Wasservorräte wieder auf, allerdings nicht vollständig und im Unterboden extrem verzögert.

Die Unterschiede in den Wassergehaltsprofilen zwischen den beiden Klimavarianten sind subtil und jahreszeitlich variabel. Die Wassergehaltsmonitoring begann 2022 und wird bis mindestens zum Herbst 2024 fortgeführt.



4. Lysimeterstation TERENO SoilCan

Hans-Jörg Vogel, UFZ

Die Lysimeterstation in Bad Lauchstädt ist Teil des Lysimeter-Netzwerkes TERENO-SoilCan. TERENO beschreitet neue Pfade mit einem interdisziplinären und langfristigen Forschungsprogramm, welches von sechs Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft getragen wird. TERENO spannt ein Netzwerk zur Erdbeobachtung über ganz Deutschland auf, welches sich von der norddeutschen Tiefebene bis zu den bayerischen Alpen erstreckt. Ziel dieses einzigartigen Großprojektes ist die Katalogisierung langfristiger ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen des globalen Wandels auf regionaler Ebene. Die Wissenschaftler und Forscher wollen die Erkenntnisse nutzen, um zu zeigen, wie die Menschheit am besten auf diese Veränderungen reagieren kann.

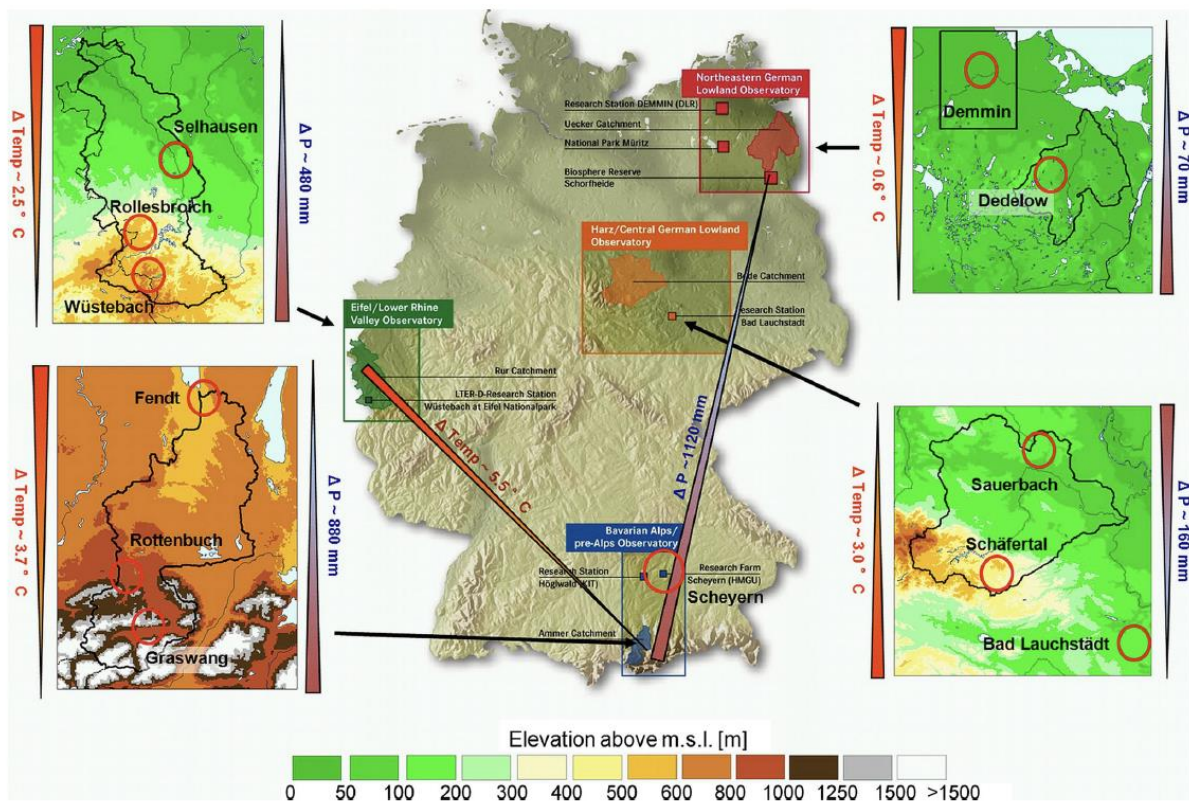


Abb. 6: TERENO-SOILCan Netzwerk. In Bad Lauchstädt befinden Lysimeter nicht nur des lokalen Bodens sondern auch von den Standorten Sauerbach, Schäfertal, Dedelow, Selhausen und Garmisch (aus Pütz et al. 2016).

Zu TERENO-SoilCan gehören insgesamt 128 Lysimeter aus den verschiedenen Observatorien. Die Lysimeter wurden als Monolithe weitgehend zerstörungsfrei entnommen und ein Teil dieser Lysimeter wurde dann entlang eines Niederschlags- und Temperaturgradienten in andere TERENO-Observatorien verlagert. Die Bodenmonolithe werden damit an den Zielstationen im Vergleich zu den Entnahmeorten trockeneren und wärmeren Umweltbedingungen ausgesetzt. Mit diesem Konzept („Space for time“) kann untersucht werden, wie sich die Böden unter den prognostizierten Klimabedingungen verhalten. Ziel von SOILCan ist es, langfristige Datensätze zur Veränderung terrestrischer Systeme unter sich ändernden klimatischen Bedingungen zu gewinnen. Derartige Datensätze sind weltweit kaum verfügbar, aber äußerst wertvoll für die Entwicklung und Verbesserung von Modellen zu Austauschprozessen zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre.

Jedes SOILCan-Lysimeter steht auf drei präzisen Wägezellen (10g). Damit lassen sich Verdunstung und Niederschlag als die wichtigsten Komponenten des Wasserhaushaltes zeitlich hoch aufgelöst erfassen. Um Informationen über die Prozesse in den Böden zu erhalten, wurden verschiedene Sensoren wie Tensiometer und Wassergehaltssonden zur Messung von Wasserflüssen, sowie Temperatursensoren und Kohlendioxid-Gassensoren in drei verschiedenen Tiefen installiert. Am unteren Rand der Lysimeter befindet sich ein Rechen aus Saugkerzen, über den das hier anliegende Wasserpotenzial gesteuert werden kann. Dieses wird von Tensiometern geliefert, welche in der gleichen Tiefe im ungestörten Feldboden eingebaut sind. Die vollautomatisierten Lysimetersysteme besitzen modernste funkbasierte Technologien zur Überwachung und Datenkommunikation, sodass die Funktionalität aller Systeme zentral überwacht werden kann. Nach einer sorgfältigen technischen Datenprüfung werden die Lysimeterdaten über eine zentrale Datenbank der Wissenschaft zur Verfügung gestellt.

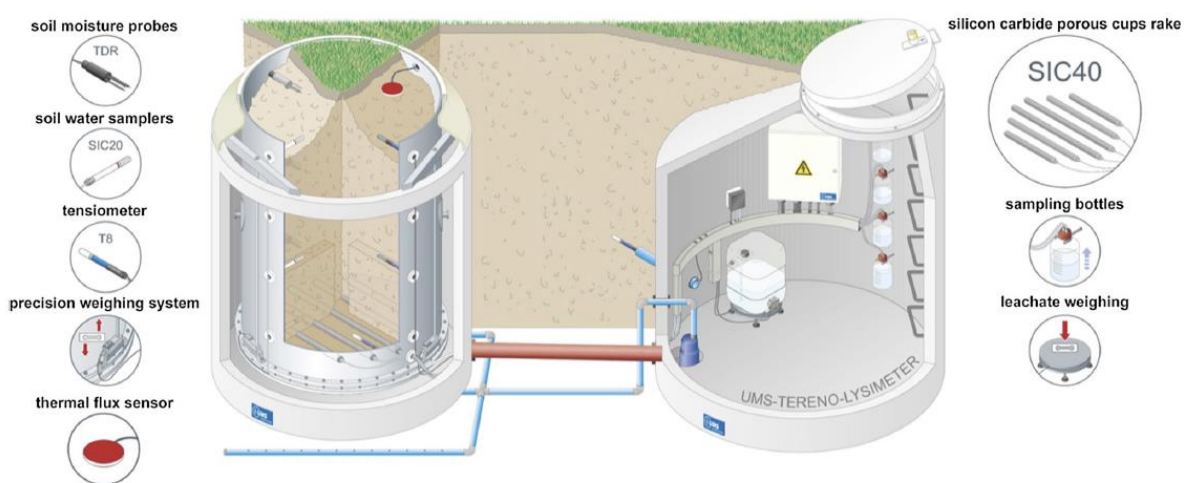


Abb. 7: Instrumentierung der Lysimeter (links) und Kontrollschacht (rechts) (aus Pütz et al. 2016).

In Bad Lauchstädt befinden sich insgesamt 18 Lysimeter, drei beinhalten die lokale Schwarzerde (s.o.), die anderen je drei Wiederholungen der in Tab. 9 gelisteten Standorte.

Tab. 9: „Heimatstandorte“ der Lysimeter in Bad Lauchstädt unter Acker- und *Grünlandnutzung

	Temp./ Niedersch. °C / mm	Höhe über NN	Boden (FAO)	Textur (sa/sl/ton)	pH [CaCl ₂]	KAK [cmol/kg]	SOC [%]
BL: Bad Lauchstädt	8,8 / 487	113	<i>Haplic Chernozem</i>	5/73/22	7.1	20.4	2.1
Sb: Sauerbach (Bode)	9 / 530	143	<i>Haplic Cambisol</i>	13/62/25	7.5	16.2	1.5
St: Schäfertal* (Harz)	6,9 / 630	394	<i>Andic Cambisol</i>	6/80/14	5.9	14.6	7.9
Se: Selhausen (Eifel)	10 / 720	104	<i>Cutanic Luvisol</i>	16/66/18	6.8	9.6	1.2
Dd: Dedelow (Brandenburg)	8,7 / 483	41	<i>Haplic Luvisol</i>	58/31/11	6.0	8	0.7
Ga: Garmisch* (Voralpen)	6,8 / 1371	720	<i>Calcaric Cambisol</i>	20/45/35	6.2	n.a.	6.4

Auf den Lysimetern mit Ackernutzung wird seit 2014 eine einheitliche, reine Getreidefruchtfolge aus Hafer, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Hafer angebaut.

Einige Ergebnisse:

Ein Vergleich von Ernten und der damit verbunden Wassernutzungseffizienz für die beiden Standorte Bad Lauchstädt und Selhausen hat gezeigt, dass der Kornertrag bei den Getreidearten im trockeneren Klima von Bad Lauchstädt etwas höher ausfällt und damit auch die Wassernutzungseffizienz höher ist, während die gesamte Biomasse auf beiden Standorten vergleichbar ist, mit Ausnahme von Wintergerste (Grohe et al. 2020).

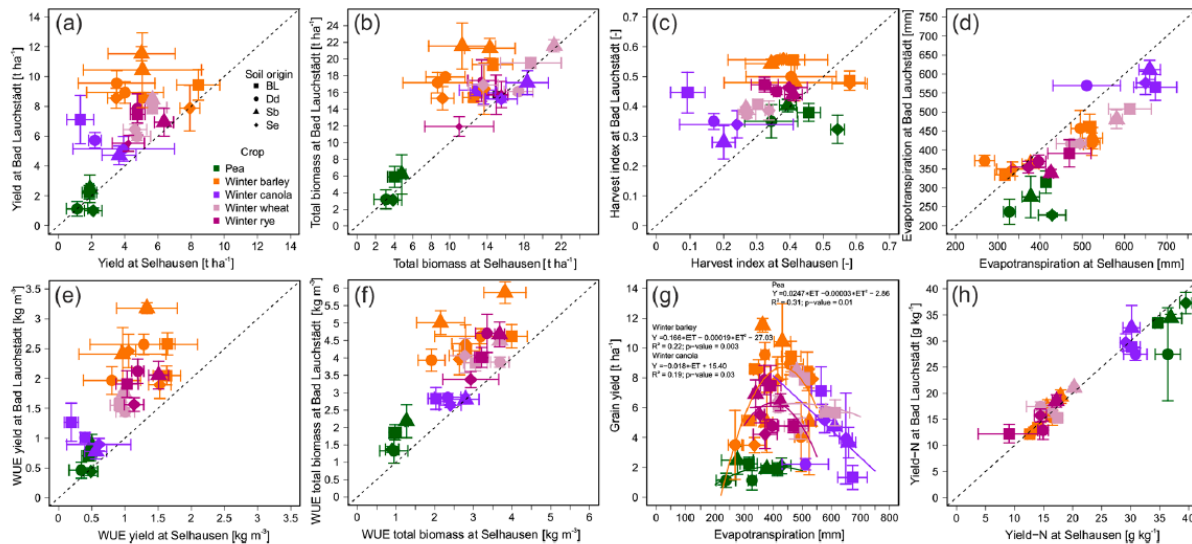


Abb. 8: Vergleich von Ernten und Wassernutzungseffizient an den beiden Standorten Bad Lauchstädt und Selhausen für vier verschiedenen Böden für die Jahre 2011-2017 (aus Grohe et al. 2020).

Das hochaufgelöste Monitoring der hydraulischen Zustandsgrößen liefert auch eine äußerst wertvolle Datengrundlage für hydrologische Fragestellungen, die aufgrund der sich ändernden Klimabedingungen in Zukunft eine noch größere Bedeutung haben werden. Hannes et al. (2016) haben anhand der SOILCan-Lysimeter die große Bedeutung der Hysterse hydraulischer Eigenschaften bestätigt (Abb. 9). Dabei konnte auch das Phänomen des hydraulischen Ungleichgewichts während Infiltrationsereignissen eindrucksvoll demonstriert werden. Eine Konsequenz dieses Phänomens ist, dass Niederschlagswasser entlang von größeren Poren in größere Tiefen transportiert wird, bevor sich das Wasserpotenzial lokal equilibriert. Insbesondere während folgenden Trockenperioden wirkt sich dies positiv auf den Bodenwasserhaushalt aus.

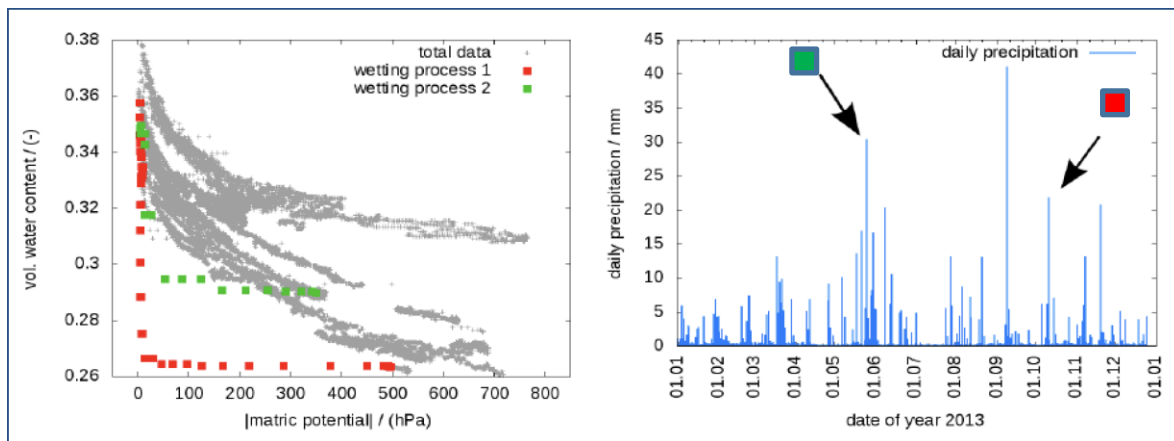


Abb. 9: pF Kurve mit erheblicher Hysterese aus gemessenen Wassergehalten und -potenzialen im Sb-Boden in 30 cm Tiefe in 2013. Die Trajektorien mit deutlichem hydraulischen Ungleichgewicht nach stärkeren Niederschlägen sind hervorgehoben.

5. TrophinOak-PhytOakmeter

Department BOOEK, Koordiniert von Mika Tarkka UFZ

Etabliert ab 2010



Gegenwärtig prägen Fichten, Kiefern, Buchen und Eichen insgesamt 73 % *unserer Wälder*. Die *Stieleiche* ist in fast ganz Europa verbreitet, von den Britischen Inseln über Südkandinavien bis nach Italien, Nordspanien und Nordgriechenland und vom Baltikum bis nach Russland. Als wichtiger europäischer *Waldbaum* ist sie in Mitteleuropa häufig anzutreffen. Eine Verschiebung der geographischen Verteilung der Stieleiche ist unter dem Klimawandel zu erwarten (Abbildung 1). Allerdings unter den Waldbäumen wird die *Eiche* in Deutschland wahrscheinlich vom *Klimawandel* am stärksten profitieren. Aufgrund ihrer tiefreichenden Pfahlwurzeln könnte sie sich vermehrt in Trockengebieten in Norddeutschland ausbreiten.

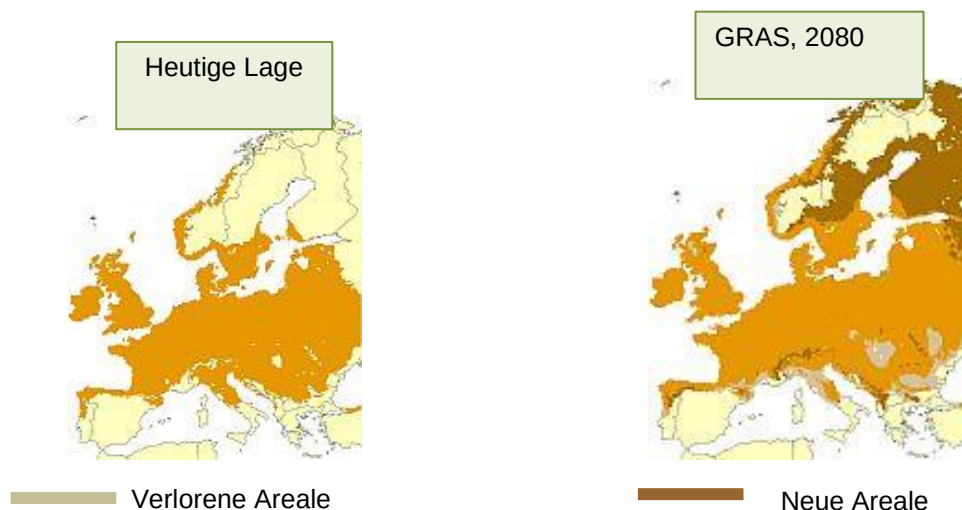


Abb. 1: Verlorene und neue Areale der Stieleiche auf Grund des Klimawandels

Am UFZ Department Bodenökologie wird seit 2010 mit dem Klon DF159 einer Stieleiche (*Quercus robur* L.) in verschiedenen Maßstäben experimentiert und geforscht. In dem DFG TrophinOak Projekt unter Leitung von Prof. Dr. François Buscot und Sylvie Dr. Herrmann waren sieben Arbeitsgruppen gebündelt, um die trophischen Interaktionen von Modellorganismen (Mehltau, Raupen, Collembolen, Nematoden, Helfer-Bakterien, Ektomykorrhizen, Phytophthora sp.) an dieser Eiche während ihres typischen rhythmischen Wachstums zu untersuchen. Basierend auf den gewonnenen Kenntnissen über die Bedeutung des rhythmischen Wachstums für die Pflanzenleistung und ihre Wechselwirkungen mit zahlreichen biologischen Partnern, wurde ein sogenanntes „PhytOakmeter System“ etabliert. Dabei werden aus *in vitro* Kulturen des Eichenklons DF159 genetisch identische Stecklinge produziert, die ins Feld als Messinstrumente entlang von Klima- und Landnutzungsgradienten ausgepflanzt werden. Das Eichen Phytometer System haben wir „PhytOakmeter“ genannt. Es ermöglicht, die Eichen als Pflanzensensoren („Phytometer“) zu

betrachten: Reaktion und Leistung von standardisierten Eichenbäumen unter verschiedenen Umweltbedingungen zu untersuchen und zu verstehen, wie ein Baum mit so vielen unterschiedlichen Partnern sich über Jahrhunderte an wechselnde Stresssituationen anpasst (Abb. 2).



Abb. 2: In vitro Herstellung von dem Eichen „PhytOakmeter“

Die Eiche gilt als Modellbaum für ein endogenes rhythmisches Wachstum mit alternierenden Wurzel- und Sprosswachstumsschüben. Die Bedeutung dieses Wachstumsmerkmals für das Überleben und die Leistung des Baumes in Ökosystemen ist wenig erforscht, und wird vor dem Hintergrund des Klimawandels untersucht. Aus in vitro Kulturen des Eichenklons DF159 werden genetisch identische Stecklinge produziert, die ins Feld als Messinstrumente entlang von Klima- und Landnutzungsgradienten ausgepflanzt werden. In der Forschungsgruppe "PhytOakmeter" wird ab Oktober 2023 das Anpassungspotenzial der Stieleiche angesichts der Umweltveränderungen mit dem Eichenklon DF159 in einer internationalen und interdisziplinären DFG-Forschungsgruppe unter Leitung des Marburger Pflanzenökologen Prof. Dr. Lars Opgenoorth erforscht. Die Eiche DF159 und die assoziierten Mikroorganismen werden in ihren Reaktionen und Anpassungen auf Umweltveränderungen erfasst. Das UFZ und iDiv sind dabei mit fünf Teilprojekten involviert. Das Department für Bodenökologie (UFZ) ist zuständig für das Eichenhologenom - Genregulation von Eiche und assoziierte Bakteriengemeinschaften, Ektomykorrhiza-Symbiose, die für den Nährstoffwerb und die Stressresistenz von Eichen grundlegend ist, wie auch die Pilze und Bakterien, die eine Schnittstelle zwischen Eichen und dem umgebenden Boden bilden. Nematoden, die den Nährstoffkreislauf im Boden stimulieren, aber auch die Wurzeln parasitieren können, werden vom Department Umweltmikrobiologie (UFZ) und iDiv bearbeitet. Im Rahmen der Forschungsgruppe ist das Department für Bodenökologie (UFZ) ein sehr wichtiger Standort für die Labor Produktion der Eichen. Weiterhin ist das Department für die Phytometern und die Erfassung der Daten entlang der Gradienten (Frankreich, Deutschland, Finnland) zuständig. In Kooperation mit dem iDiv ist die Bodenökologie ebenfalls zuständig für die Durchführung eines zentralen Experiments zur Untersuchung von Trockenstress und Herbivorenbefall in den ECOTRONEN.

Die Eiche DF159, mit Abstammung aus dem französischen Jura, wird seit 1987 im Labor vermehrt und als wissenschaftliches Versuchsmaterial verwendet. 2010 wurde zum ersten Mal die klonale DF159 Eiche in Bad-Lauchstädt ins Freiland ausgepflanzt. Der Standort Bad-Lauchstädt gilt inzwischen als Referenzstandort für mehrere experimentelle Freisetzungen des PhytOakmeters DF159. Darunter sind zu verzeichnen:

- Der **fortlaufende Boden-Vergleichsversuch** zwischen einem nährstoffreichen Boden in Bad Lauchstädt (Abb. 3) und einem sandigen Boden in Kreinitz (Abb. 4). Auf beiden Flächen werden mit dem gleichen Design seit 2010 jährlich gleichaltrige Stecklinge ausgepflanzt und auf Wachstum und Interaktionen mit Insekten und Pilzbefall im Zusammenhang mit Umweltfaktoren untersucht.

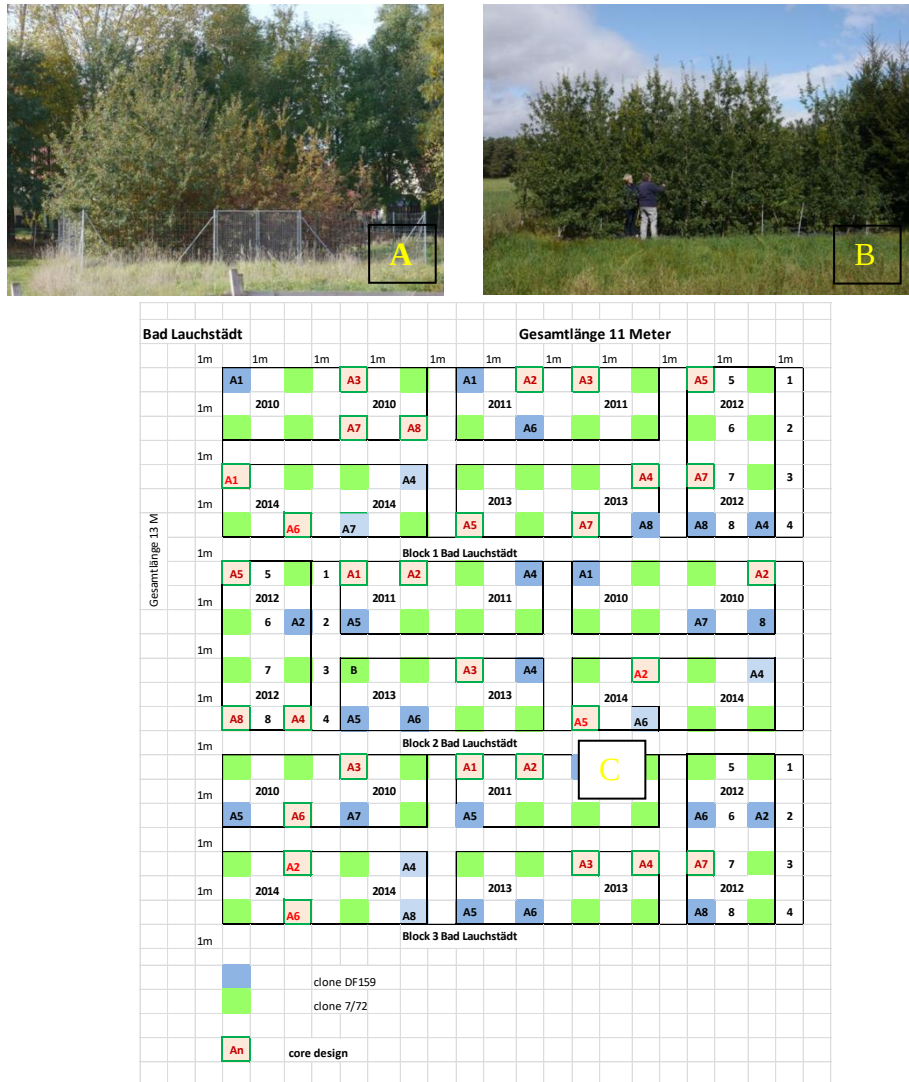


Abb. 3: Fortlaufender Boden-Vergleichsversuch
Aufnahmen von Herbst 2017 in Bad-Lauchstädt (A) und Kreinitz (B),
Design für die Auspflanzungsserie 2010-2014 (C).

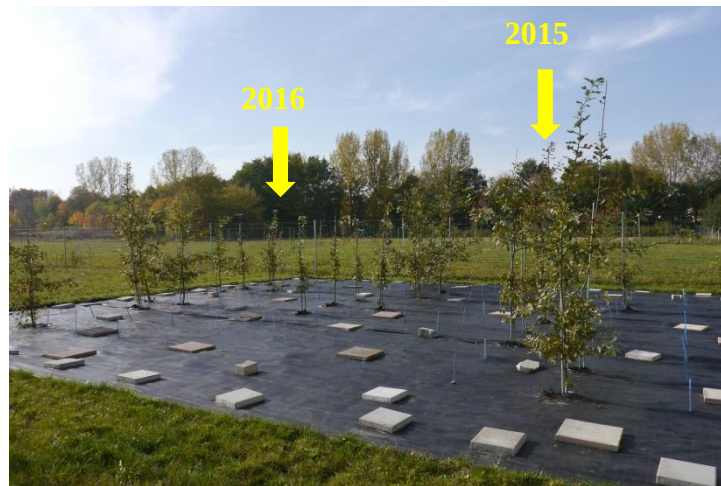


Abb. 4. Auspflanzungsserie 2015-2019. Aufnahme von 2017 mit den Auspflanzungen aus 2015 und 2016.

- Der **Vergleichsversuch zwischen Eichen gewonnen aus Saatgut (von DF159) und *in vitro* vermehrten Stecklingen.**



		Gesamtbreite 6,6 m			
		1m	1,5m	1,5m	1,5m
Gesamtlänge 33 m		BL_DF15_1	BL_SÄ15_2	BL_DF15_3	BL_SÄ15_4
	1,5 m				
		BL_SÄ15_5	BL_DF15_6	BL_DF15_7	BL_DF15_8
	1,5 m				
		BL_SÄ15_9	BL_DF15_10	BL_SÄ15_11	BL_SÄ15_12
	1,5 m				
		BL_DF15_13	BL_SÄ15_14	BL_SÄ15_15	BL_DF15_16
	1,5 m				
		BL_SÄ15_17	BL_DF15_18	BL_DF15_19	BL_SÄ15_20
	1,5 m				
		BL_DF15_21	BL_DF15_22	BL_SÄ15_23	BL_SÄ15_24
	1,5 m				
	1m				

Abb.5: Eichen aus Saatgut und PhytOakmeter DF159 und Auspflanzungsdesign

- Der **Europa Transekt** mit Versuchsflächen, welche sich von Finnland, über Polen, Fontain (Mittelfrankreich) bis Bordeaux (Südfrankreich) erstrecken.
- Das **Land Use Intensity (LUI) Transekt**, dass drei TERENO Flächen im Harz, aber auch in mitteldeutschen Urban- und Waldgebieten vergleicht.

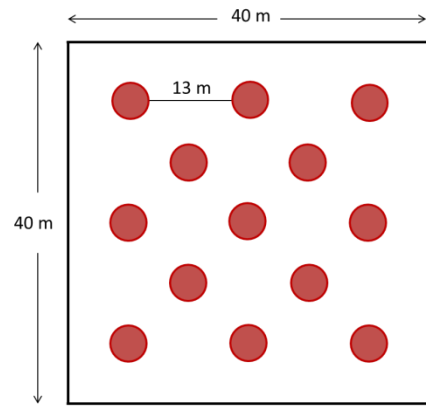


Abb.6: Für beide Europa und LUI Transekte gilt die gleiche Bad Lauchstädter Referenzfläche als gemeinsame Referenzfläche

6. Biodiversitätsexperiment mit Graslandarten – DivResource (etabliert 2011)

Christiane Roscher, UFZ

Zielstellung

DivResource ist ein Biodiversitätsexperiment mit Graslandarten. Viele Diversitätsexperimente wurden bisher unter bestimmten Umweltbedingungen durchgeführt und hatten eine kurze Versuchsdauer (oft nur drei Jahre). Es ist aber bekannt, dass Interaktionen zwischen Arten von der Verfügbarkeit von Ressourcen abhängen und sich auch die sogenannten „Biodiversitätseffekte“ oft über eine längere Zeit verändern. Licht und Nährstoffe sind wichtige Ressourcen, deren Verfügbarkeit wesentlichen Einfluss auf das pflanzliche Wachstum hat. Im Experiment *DivResource* wird untersucht, ob sich Zusammenhänge zwischen pflanzlicher Diversität und Ökosystemprozessen in Abhängigkeit von der Ressourcenverfügbarkeit ändern. Deshalb wurden in diesem Experiment gleichzeitig die pflanzliche Diversität und Ressourcenverfügbarkeit (Licht durch Schattierung, Nährstoffe durch Düngung) manipuliert. Eine weitere wichtige Frage ist, welchen Einfluss das Zusammenspiel von Diversität und Ressourcenverfügbarkeit auf das Einwandern neuer Pflanzenarten hat – dieser Frage wird im Experiment seit 2019 nachgegangen. Und schließlich, wie sich die Interaktionen zwischen den Arten verändern, wenn in die Verfügbarkeit von Ressourcen nicht mehr eingegriffen wird. Daher wurde die Düngung und Schattierung 2024 eingestellt.

Experimenteller Aufbau

Von 2012 bis 2023 wurden die Ressourcen Licht und Nährstoffe faktoriell manipuliert, so dass sich daraus vier Versuchsvarianten ergaben:

- (i) Kontrolle (keine Behandlung)
- (ii) Düngung, keine Beschattung
- (iii) Beschattung, keine Düngung
- (iv) Düngung und Beschattung

Die Schattierung reduzierte die photosynthetisch aktive Strahlung um 55%. Die Düngung erfolgte als NPK-Volldüngung (120:52:100 kg ha⁻¹ a⁻¹).

In jeder Versuchsvariante wurden Bestände der gleichen Artenzusammensetzung angelegt. Es wurden zwei unabhängige Artenpools verwendet. Die Artenpools bestehen aus Graslandarten, die jeweils zwei funktionelle Gruppen (Gräser, Kräuter) und zwei unterschiedliche Wuchshöhen (groß, klein) repräsentieren.

Pool 1: *Arrhenatherum elatius* (großes Gras), *Anthoxanthum odoratum* (kleines Gras)

Centaurea jacea (großes Kraut), *Plantago lanceolata* (kleines Kraut)

Pool 2: *Dactylis glomerata* (großes Gras), *Lolium perenne* (kleines Gras)

Knautia arvensis (kleines Kraut), *Prunella vulgaris* (kleines Kraut)

Aus diesen Artenpools wurden alle möglichen Monokulturen und 2-Arten-Mischungen sowie die 4-Artenmischung etabliert, um damit einen Gradienten der Artendiversität abzubilden. Es gibt somit:

Monokulturen	= 4 x 4 x 2	32 Parzellen
2-Arten-Kombinationen	= 6 x 4 x 2	48 Parzellen
4-Arten-Kombination (mit Wiederholung)	= 2 x 4 x 2	16 Parzellen

96 Parzellen

Die 96 Parzellen wurden in 8 Versuchsblöcken mit je 12 Parzellen angelegt. Vier Blöcke wurden jedes Jahr von Mitte April bis Mitte September schattiert. Je Block wurden 6 Parzellen gedüngt, und 6 Parzellen nicht gedüngt. Die Zuordnung der Artenkombinationen zu den Blöcken erfolgte zufällig. Von 2011-2018 wurden die Versuchsparzellen vollständig regelmäßig gejätet, um die Einwanderung von Arten, die nicht zu den Mischungen gehören, zu verhindern. Alle Parzellen werden zweimal jährlich (Juni, September) gemäht.

Seit 2019 werden die Versuchsflächen in einem sog. Split-Plot-Design unterteilt, um die Veränderung der Artengemeinschaften bei Einwanderung neuer Pflanzenarten zu untersuchen. Jede Parzelle wurde in 4 1m²-große Teilflächen unterteilt. Die Teilflächen werden folgendermaßen behandelt:

- CON: Kontrolle, das Jäten wird wie bisher fortgeführt, es werden keine Samen eingebracht
- NAT: kein Jäten, es werden keine Samen eingebracht, spontane Einwanderung neuer Arten
- RES: kein Jäten, es wurden 2019 Samen der ursprünglich angesäten Arten eingebracht, spontane Einwanderung unter Reduktion der Samenlimitierung der residenten (d.h. vorhandenen) Arten
- NEW: kein Jäten, es wurden 2019 Samen der Arten des alternativen Artenpools eingebracht (Pool 1 in Mischungen von Pool 2 und umgekehrt), spontane und unterstützte Einwanderung neuer Arten

Auf jeder Parzelle wurden die Behandlungen den Teilflächen zufällig zugeordnet.

Ab 2024 wurden die Behandlungen mit Schatten und Düngung eingestellt, um zu untersuchen, wie sich die Versuchsflächen ohne eine weitere Manipulation der Ressourcenverfügbarkeit verändern, d.h. möglicherweise miteinander „konvergieren“ (ähnlicher werden).

Erhobene Variablen

Wichtige Größen, die im Experiment regelmäßig erhoben werden, sind die oberirdische Biomasseproduktion der Arten und Bestände. Es wurden in den ersten Jahren auch funktionelle Merkmale der Pflanzenarten und ihre Plastizität, die Wurzelbiomasse, Nährstoffkonzentrationen in der pflanzlichen Biomasse und Bodenfunktionen (Nährstoffe, Zersetzung) untersucht.

Seit 2019: Mit der Veränderung des Versuchsdesigns konzentrierte sich die Datenerhebung darauf, wie sich die Artenzusammensetzung und die Biomasseproduktion als wichtige Ökosystemfunktion bei der Umstrukturierung der Pflanzengemeinschaften durch das Einwandern anderer Pflanzenarten verändern.

Seit 2024: Um die erneute Veränderung der Versuchsbedingungen zu quantifizieren, wurde bereits 2023 die Biomasse in den gejäteten Teilflächen wieder artspezifisch erfasst, während die Erhebung der Biomasseproduktion in den anderen Teilflächen auf Bestandesebene erfolgte. Außerdem wurden Bodenproben genommen. Die Untersuchungen der Pflanzenbestände und des Bodens werden wiederholt, um die Veränderungen durch die Aufgabe der Düngung und Schattierung zu ermitteln.

Bisherige Ergebnisse

Die Artenmischungen haben im Mittel eine höhere oberirdische Biomasseproduktion als die Monokulturen. Dieser positive Mischungseffekt ist unabhängig von der Schattierung ohne Düngung größer. Arten mit großer Wuchshöhe profitieren stärker von positiven Mischungseffekten als die kleinen Arten, was die asymmetrische Konkurrenz um die Ressource Licht bestätigt. Die Schattierung

reduziert die unterirdische Biomasseproduktion und führt zu einem höheren Spross-Wurzel-Verhältnis der Biomasse. Unabhängig von der Ressourcenverfügbarkeit spielt die funktionelle Zusammensetzung (Gras/Kraut, große/kleine Arten) eine größere Rolle für die Biomasseproduktion als die Artenzahl der Mischungen, d.h. die Wahrscheinlichkeit einer komplementären Nutzung von Ressourcen steigt, wenn Arten mit verschiedenen funktionellen Merkmalen kombiniert werden. Über die Zeit stiegen die positiven „Mischungseffekte“ auf die Biomasseproduktion. Im Unterschied zu vielen anderen Biodiversitätseffekten spielen im *DivResource*-Experiment sog. „Selektionseffekte“ durch die Dominanz der Arten mit einer größeren Wuchshöhe eine stärkere Rolle als sog. „Komplementaritätseffekte“ für die höhere Biomasseproduktion der Mischungen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass es wichtig ist, verschiedene Umweltbedingungen (wie die Verfügbarkeit von Ressourcen) und funktionelle Merkmale der Arten zu betrachten, um die Zusammenhänge zwischen Diversität und Ökosystemprozessen zu verstehen.



Versuchsanlage *DivResource* mit schattierten und unschattierten Blöcken (Mai 2023) und den in vier Flächen unterteilten Versuchspartzellen

7. DFG Schwerpunktprogramm „Raum-zeitliche Organisation der Rhizosphäre – der Schlüssel zum Verständnis von Rhizosphärenfunktionen“ (SPP 2089)

Doris Vetterlein, Susanne Schreiter

Bei der Untersuchung des Systems Boden-Pflanze wurden in der Vergangenheit häufig einzelne Parameter isoliert betrachtet, was dem komplexen System mit seinen zahlreichen Wechselwirkungen nur bedingt gerecht wird. Mit der Weiterentwicklung verschiedener Techniken wird nun ein gesamtheitlicher Blick möglich, der auch die Interaktion unterschiedlicher Parameter berücksichtigt. Ein Verständnis der Rhizosphäre und der in ihr ablaufenden Prozesse sind wichtig, nicht nur für den Ertrag sondern auch für die Resilienz im landwirtschaftlichen System. Im zentralen Feldversuch in Bad Lauchstädt der von den 27 Programmpartnern genutzt werden kann, wurden zwei Maisgenotypen in zwei Substraten mit jeweils 6 Wiederholungen angebaut. Die Witterungsbedingungen des seit 2019 laufenden Versuches waren überwiegend von Hitze und Trockenheit geprägt. Diese zum Teil extremen Wetterbedingungen haben einen deutlichen Unterschied der Maisgenotypen in den beiden Substraten hervorgebracht. Nur das dritte Versuchsjahr (2021) war regenreicher und die Unterschiede zwischen den Substraten weniger stark ausgeprägt. Zahlreiche physikalische, chemische und biologische Prozesse in der Rhizosphäre wurden auf verschiedenen Skalen (nm bis cm) und zu zahlreichen Zeitpunkten gemessen. Der Fokus lag dabei auf bildgebenden Verfahren wie Röntgencomputertomographie. Diese und ergänzende Ergebnisse haben eindrucksvoll gezeigt, dass man nicht vom oberirdischen Wachstum auf das schließen kann, was sich im „Verborgenen“ unter der Oberfläche abspielt. So ist das oberirdische Trockengewicht der wurzelhaarlosen Variante stets geringer als der Wildtyp, dennoch unterscheiden sich die Genotypen kaum in der unterirdischen Wurzellängendichte. So kam es nicht zu einem Zuwachs der Feinwurzeln wie ursprünglich erwartet. Erstaunlicherweise kam es aber zu einem Zuwachs im Wurzeldurchmesser wodurch die Wurzeloberfläche deutlich vergrößert wurde. Noch immer sind nicht alle Zusammenhänge auf den unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen vollständig geklärt. Daher wird der zentrale Feldversuch durch zahlreiche standardisierte Labor-Experimente ergänzt.

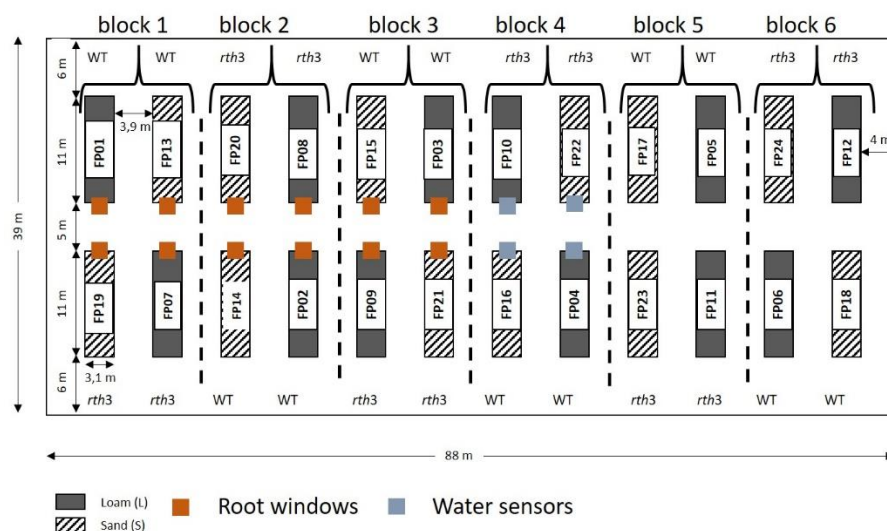


Abb.1: Schematisch experimentelle Versuchsanordnung des SPP2089 in Bad Lauchstädt die aus der Kombination von zwei Substraten und Genotypen besteht. Das randomisierte Blockdesign beinhaltet 6 Wiederholungen.

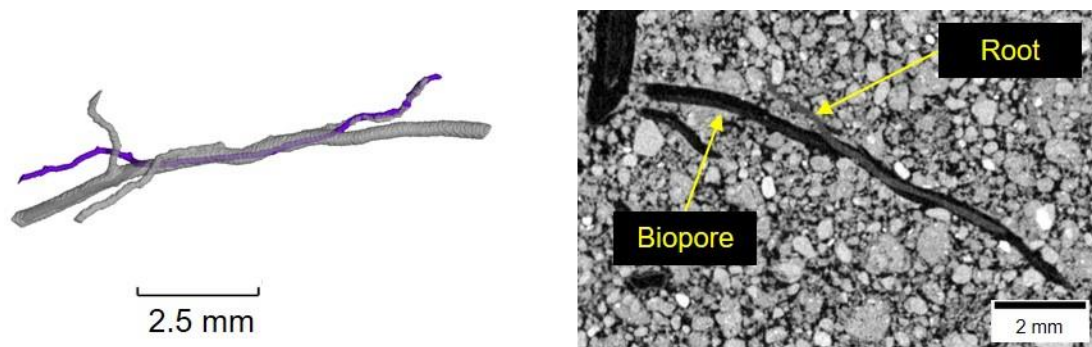


Abb.2: 3D-Darstellung einer Wurzel (lila) die entlang einer Biopore (grau) wächst mit dem dazugehörigen 2D-CT-Graustufenbild (Bilder: Maxime Phalempin).



Abb. 3: Wurzelfenster zur Beobachtung und Beprobung von Wurzelexsudaten an Mais (Foto: Eva Oburger).

Zum Weiterlesen:

Unsere Webseite:

<https://www.ufz.de/spp-rhizosphere/index.php?en=43202>

Wissenschaftliche Publikationen:

Vetterlein, D., Carminati, A., Kögel-Knabner, I., Bienert, P., Smalla, K., Oburger, E., Schnepf, A., Banitz, T., Tarkka, M., Schlüter, S., (2020): Rhizosphere Spatiotemporal Organization – A Key to Rhizosphere Functions. *Front. Agron.* 2:8
DOI: 10.3389/fagro.2020.00008

Vetterlein, D., Lippold, E., Schreiter, S., Phalempin, M., Fahrenkamp, T., Hochholdinger, F., Marcon, C., Tarkka, M., Oburger, E., Ahmed, M., Javaux, M., Schlüter, S., (2021): Experimental platforms for the investigation of spatiotemporal patterns in the rhizosphere – laboratory and field scale. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2021, 184, 35–50
DOI: 10.1002/jpln.202000079

Vetterlein, D., Carminati, A., Schnepf, A., (2022): Special issue: Rhizosphere spatiotemporal organisation: an integrated approach linking above and belowground. *Plant Soil* 478, 1-2
DOI: 10.1007/s11104-022-05716-7

8. Die Lauchstädter Dauerversuche

Ines Merbach, UFZ

Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt V120: 1902 von SCHNEIDEWIND und GRÖBLER angelegt

- einer der ältesten und bedeutendsten Dauerfeldversuche der Welt (120 Jahre)
- die Hauptserie ist seit 1902 unverändert
- die Stallungsvarianten beinhalten die heute als optimal erkannten Aufwandmengen
- sehr homogener Boden bei 4 ha Gesamtgröße
- mit 250 m² sehr große Parzellen – Parzellengröße erlaubt spezielle Untersuchungen und Bodenentnahmen, ohne die Kernparzelle zu berühren
- 120 Jahre differenzierte Düngung führen zu extremen Spannen bei Bodenmerkmalen und – gehalten (C_{org}, N_t, P_{DL}, K_{DL}, pH....)
- Nullparzelle mit garantiert antibiotikafreiem Boden
- sehr gute Datenlage

Erweiterter Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt V120a: 1978 von KÖRSCHENS angelegt

- >40 jähriger Dauerversuch
- Einziger Dauerversuch, bei dem ausgehend von einem experimentell eingestellten SOC-Gehalt des Bodens (C_{org} als Prüffaktor!) die Wirkung unterschiedlicher mineralischer und organischer Düngung untersucht werden kann
- Besonders wertvoll für die Modellierung der C- und N-Dynamik im Boden

Stallungssteigerungsversuch Bad Lauchstädt V494: 1983 von KÖRSCHENS angelegt

- >30 jähriger Dauerversuch mit Einsatz extrem hoher Stallmistmengen jährlich
- Quantität und Qualität des eingesetzten organischen Düngers sind bekannt
- Vergleich von Schwarzbrache und Fruchtfolge

Bracheversuch Bad Lauchstädt V505a: 1988 von MERBACH angelegt

- >30 jähriger Bracheversuch
- Beinhaltet mit der Herbizidbrache eine Schwarzerde, die seit 1988 nicht bearbeitet wurde und frei von Bewuchs ist im Vergleich mit mechanischer Schwarzbrache, kombinierter mechanischer/Herbizidbrache und Selbstbegrünung

Brunnenringversuch Bad Lauchstädt: 1956 von ANSORGE angelegt

- Kleiner Modellversuch mit Boden aus verschiedenen Varianten des Statischen Düngungsversuches
- Durch die Bewirtschaftung konnten noch tiefere C_{org}-Gehalte als im Statischen Düngungsversuch erreicht werden

Bei der Untersuchung von Stoffflüssen unterscheiden wir zwischen Prozessen mit kurzer und langer Reaktionszeit. Letztere lassen sich nur in Langzeitexperimenten untersuchen, die sich im Gleichgewicht befinden. Da sich der Kohlenstoffgehalt im Boden nur sehr langsam verändert, sind für alle Untersuchungen, die damit zusammenhängen, Dauerversuche wie der Statische Düngungsversuch unerlässlich, z.B. zum Einfluss von Klimaveränderungen, zu Kohlenstoffbilanzen, zu optimalen Kohlenstoffgehalten im Boden, zur Qualität und Quantität der organischen Substanz im Boden und zur Rolle der verschiedenen C-Pools im Boden. Besondere Bedeutung kommt der Nullparzelle zu, die im Gleichgewichtszustand Aussagen zum atmosphärischen N-Eintrag und damit Vergleiche zu den ITNI-Gefäßversuchen ermöglicht. Der Statische Düngungsversuch wird in Bad Lauchstädt durch weitere langjährige Feld- und Modellversuche ergänzt, deren C-Niveaus zwischen 1,4 und 5,9 % C_{org} sich nicht mehr verändern, zunehmen oder abnehmen und zwar mit und ohne Bewuchs. Damit können Stoffflüsse bei unterschiedlicher Bewirtschaftung in Abhängigkeit vom C-Niveau untersucht werden. Die Versuche liefern Parameter für Modelle, die die Wirkung des Klimas und der Landnutzung auf die Dynamik des Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzes beschreiben.

Über die praktische Bedeutung der Versuchsergebnisse hinaus eignen sich die Dauerversuche hervorragend für die Grundlagenforschung. Durch die langjährig gleich bleibende Düngung haben sich Zustände im Boden manifestiert, die sonst nirgendwo zu finden sind. Es haben sich extreme Unterschiede in wichtigen bodenchemischen- und physikalischen Parametern herausgebildet. Dadurch erlangen die Versuche eine weit über die Agrarforschung hinausgehende Bedeutung für Bodenkundler, Ökologen, Zoologen, Mikrobiologen, Molekularbiologen. Da auf die Nullparzelle nie Stallmist gelangt ist, ist sie zum Beispiel garantiert antibiotikafrei und somit eine wertvolle Vergleichsfläche für Wissenschaftler, die die Wirkung von Antibiotika auf Bodenlebewesen untersuchen. Die langjährig einheitliche Düngung verändert die Isotopenverhältnisse einiger Elemente und ermöglicht sogar Archäologen neuartige Interpretationen. Darüber hinaus ist mit einer veränderten Biodiversität der Bodenzönosen zu rechnen. Vielfältige Möglichkeiten ergeben sich aus der Entwicklung neuer Methoden, die parallel eingesetzt an Archivproben und frischen Proben auch rückwirkend völlig neue Erkenntnisse erwarten lassen. Durch ihre langjährig bekannte Vorgeschichte, die gute Datenlage und die umfangreichen Analysenergebnisse eignen sie sich zur Testung und Kalibrierung von Großgeräten (Georadar, Hyperspektralsensoren).

9. Statistischer Düngungsversuch V120 – Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung

Ines Merbach, UFZ

Versuchsfrage

Validierung von Modellen und neuen Methoden unter Nutzung der extrem unterschiedlichen Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte im Boden des Versuches, Wechselwirkungen im System Pflanze - Boden - Wasser - Luft in Abhängigkeit von der Düngung, Nachweis nachhaltiger Bodennutzung, Quantifizierung des C- und N- Kreislaufes

Bezeichnung und Abstufung der Prüffaktoren

Faktor A - organische Düngung

a₁ - 300 dt/ha Stalldung jedes 2. Jahr zu Silomais

a₂ - 200 dt/ha Stalldung jedes 2. Jahr zu Silomais

a₃ - ohne

Faktor B - mineralische Düngung

b₁ - NPK

b₄ - N

b₂ - NP

b₅ - PK

b₃ - NK

b₆ - ohne

Faktor C - Kalkdüngung

Leguminosen

c₁ - Schlaghälfte 1 mit Kalk
zu Kartoffel ab 1924
(bzw. aller 4 Jahre zu SM)

Schlaghälfte 7 ohne Leguminosen

c₂ - Schlaghälfte 2 ohne Kalk

Schlaghälfte 8 mit Leguminosen ab 1926
ab 1970 25 % Luzerne jedes 7. u. 8. Jahr

Anlagejahr: 1902

Fruchtfolge: Silomais (SM) – Sommergerste (SG) – Silomais (SM) – Winterweizen (WW)

Parzellengröße: 10 m * 26,5 m = 265 m²

Gesamtgröße: 3,09 ha

Versuchsanlage: Systematische Anlage, 18 Prüfglieder ohne Wiederholungen auf den Schlaghälften
1, 2, 3, 6, 7, 8 = 108 Parzellen, anstelle von echten Wiederholungen je Parzelle 4 Parallelen

Sorten

Winterweizen: RGT Reform

Silomais: Geoxx

Sommergerste: Amidala

Luzerne: Planet

Anlageplan Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt 2025



			SH 1	SH 2	SH 3	SH 4	SH 5	SH 6	SH 7	SH 8		
ohne Stalldung	ohne	18									60 m	
	PK	17										
	N	16										
	NK	15										
	NP	14										
	NPK	13										
200 dt/ha Stalldung	ohne	12									60 m	
	PK	11										
	N	10										
	NK	9										
	NP	8										
	NPK	7										
300 dt/ha Stalldung	ohne	6									60 m	
	PK	5										
	N	4										
	NK	3										
	NP	2										
	NPK	1										
			26,5 m	26,5 m	25,5 m	27,5 m	27,5 m	25,5 m	26,5 m	28,5 m		
			SM		SM	V 120a nach Erweiterung der Versuchsfrage		SG	WW	WW		

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	1,597	1,491	1,434	1,511	1,477	1,497
	PK	1,672	1,492	1,442	1,527	1,484	1,540
	N	1,732	1,539	1,472	1,531	1,559	1,584
	NK	1,824	1,592	1,518	1,566	1,635	1,622
	NP	1,848	1,655	1,576	1,650	1,692	1,700
	NPK	1,950	1,750	1,697	1,759	1,816	1,765
20 t/ha FYM	0	2,111	2,001	1,932	1,969	1,970	1,934
	PK	2,168	1,982	1,997	2,024	2,087	2,038
	N	2,179	2,273	2,163	2,117	2,183	2,103
	NK	2,397	2,124	2,122	2,160	2,154	2,198
	NP	2,343	2,224	2,119	2,118	2,187	2,211
	NPK	2,296	2,286	2,136	2,148	2,231	2,209
30 t/ha FYM	0	2,524	2,217	2,199	2,179	2,285	2,290
	PK	2,322	2,252	2,285	2,164	2,364	2,362
	N	2,479	2,406	2,308	2,235	2,442	2,454
	NK	2,579	2,318	2,277	2,330	2,469	2,516
	NP	2,453	2,360	2,350	2,388	2,501	2,536
	NPK	2,412	2,363	2,335	2,402	2,430	2,513
	year	2022	2022	2024	2023	2021	2021

Abb.1: C_{org}-Gehalt (%; 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2021-24)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	0,133	0,134	0,110	0,120	0,117	0,125
	PK	0,139	0,135	0,112	0,120	0,120	0,130
	N	0,148	0,138	0,117	0,126	0,129	0,138
	NK	0,158	0,146	0,123	0,130	0,134	0,142
	NP	0,157	0,150	0,125	0,133	0,136	0,146
	NPK	0,168	0,156	0,134	0,140	0,146	0,151
20 t/ha FYM	0	0,179	0,182	0,154	0,161	0,159	0,167
	PK	0,186	0,179	0,160	0,165	0,178	0,173
	N	0,192	0,206	0,167	0,177	0,186	0,180
	NK	0,229	0,194	0,240	0,179	0,183	0,188
	NP	0,207	0,203	0,211	0,177	0,183	0,188
	NPK	0,201	0,206	0,192	0,179	0,187	0,188
30 t/ha FYM	0	0,220	0,200	0,183	0,183	0,194	0,195
	PK	0,205	0,206	0,188	0,179	0,200	0,201
	N	0,216	0,222	0,190	0,186	0,207	0,208
	NK	0,224	0,213	0,188	0,194	0,211	0,214
	NP	0,220	0,215	0,192	0,194	0,214	0,218
	NPK	0,216	0,214	0,192	0,194	0,206	0,217
	year	2022	2022	2024	2023	2021	2021

Abb. 2: N_r-Gehalt (%; 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2021-24)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	6,98	5,77	2,90	3,06	3,08	0,91
	PK	11,43	11,29	5,77	6,90	6,24	4,04
	N	2,56	2,64	0,68	0,57	1,00	0,68
	NK	3,56	2,98	1,24	1,68	1,63	0,91
	NP	13,35	11,14	6,98	10,23	6,70	5,65
	NPK	17,07	12,56	7,55	11,54	8,07	6,57
20 t/ha FYM	0	18,74	16,58	12,38	16,83	13,36	6,19
	PK	23,41	18,54	15,25	20,87	18,26	9,25
	N	16,72	10,25	7,08	12,99	9,95	4,00
	NK	17,70	11,28	7,30	13,70	10,53	4,82
	NP	28,42	19,29	12,07	21,98	17,54	10,47
	NPK	30,82	21,11	14,53	24,40	20,31	11,53
30 t/ha FYM	0	29,26	22,82	19,73	26,13	23,11	11,97
	PK	30,77	24,40	19,27	27,30	25,45	14,12
	N	24,35	16,09	12,84	18,35	17,47	9,86
	NK	25,55	16,84	13,27	19,88	18,45	10,73
	NP	34,12	22,90	19,50	27,40	24,97	17,32
	NPK	40,16	30,70	26,80	36,73	33,89	23,87
	year	2022	2022	2024	2023	2021	2021

Abb. 3: P_{DL}-Gehalt (mg/100 g Bo., 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2021-24)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	9,82	9,32	6,76	6,66	7,70	4,78
	PK	18,18	19,35	15,78	14,01	16,24	8,98
	N	8,91	7,61	4,83	4,84	5,95	4,85
	NK	12,88	11,08	9,77	8,01	10,65	8,71
	NP	8,52	7,45	4,29	5,52	5,79	4,35
	NPK	16,26	13,97	9,61	9,01	11,04	9,10
20 t/ha FYM	0	22,93	23,07	19,40	17,07	20,13	8,33
	PK	32,61	30,49	28,27	25,95	30,04	12,41
	N	21,95	19,12	14,35	12,10	15,80	9,12
	NK	26,66	21,56	18,84	14,64	20,00	12,30
	NP	20,83	16,75	13,18	13,86	16,33	9,41
	NPK	30,71	29,79	21,20	19,73	24,51	11,73
30 t/ha FYM	0	41,57	36,94	35,59	28,06	35,01	12,12
	PK	44,92	44,67	37,60	30,91	40,89	16,26
	N	31,26	28,02	22,04	16,40	25,49	12,02
	NK	35,37	31,60	27,75	23,72	27,42	13,72
	NP	31,25	28,06	21,23	19,95	22,57	11,89
	NPK	38,85	38,78	32,92	25,47	34,06	16,62
	year	2022	2022	2024	2023	2021	2021

Abb. 4: K_{DL}-Gehalt (mg/100 g Bo., 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2021-24)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	7,67	7,63	5,90	6,54	6,08	5,56
	PK	7,62	7,60	5,39	6,05	5,66	5,42
	N	7,64	7,55	5,48	5,63	5,05	5,06
	NK	7,62	7,26	5,39	5,98	5,19	5,13
	NP	7,56	6,91	5,55	6,25	5,23	5,03
	NPK	7,54	6,66	5,25	6,16	5,29	5,12
20 t/ha FYM	0	7,57	7,07	6,55	6,67	6,40	5,95
	PK	7,53	6,91	6,51	6,63	6,53	5,85
	N	7,56	6,53	6,16	6,52	6,30	5,52
	NK	7,54	6,37	5,92	6,48	6,26	5,46
	NP	7,49	6,39	5,88	6,55	6,19	5,51
	NPK	7,49	6,40	6,00	6,61	6,35	5,59
30 t/ha FYM	0	7,51	6,78	6,71	6,88	6,82	5,98
	PK	7,50	6,75	6,69	6,79	6,78	5,93
	N	7,51	6,47	6,34	6,54	6,50	5,82
	NK	7,50	6,44	6,25	6,45	6,33	5,83
	NP	7,46	6,41	6,31	6,50	6,46	5,98
	NPK	7,48	6,82	6,68	6,68	6,78	6,43
	year	2022	2022	2024	2023	2021	2021

Abb. 5: pH-Wert (0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2021-24)



Abb. 6: C_{org}- und N_t-Gehalt auf den Hauptparzellen im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt 2024 (SH 2, 3, 6, 7)

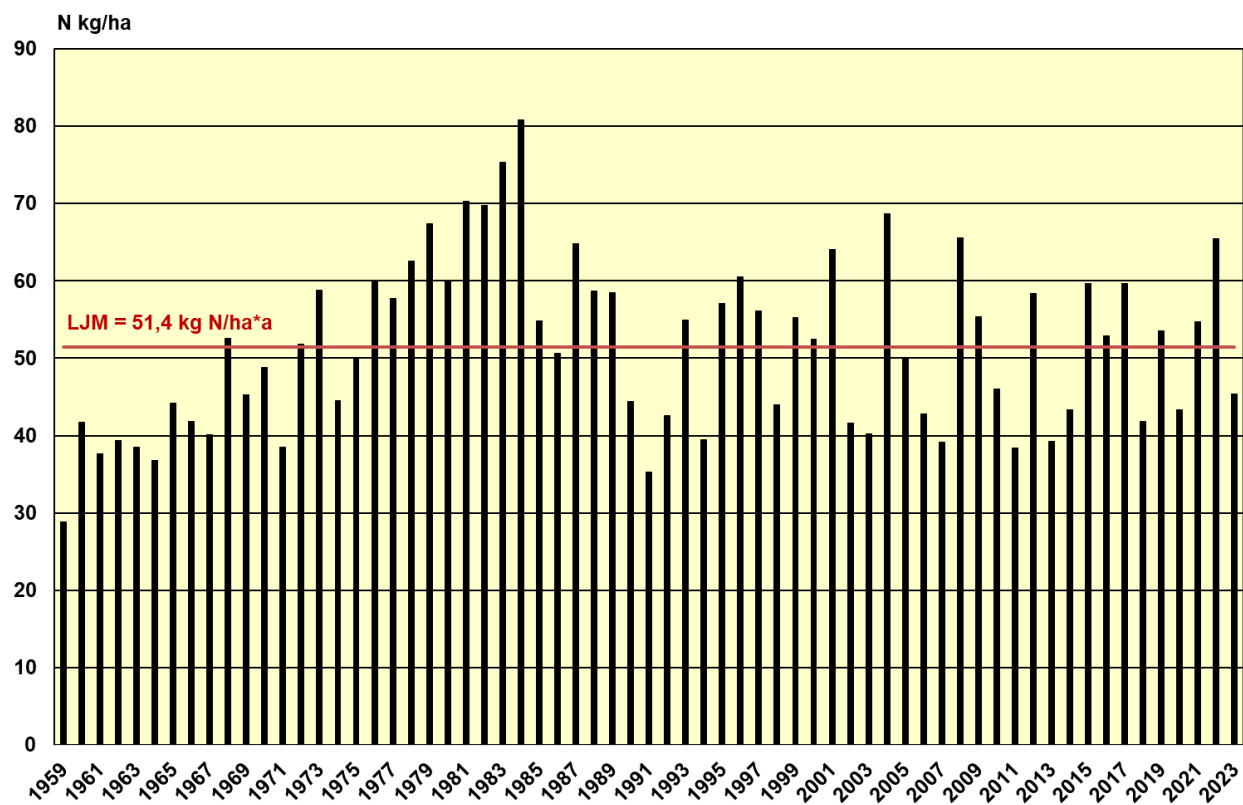


Abb. 7: N-Entzug auf den Nullparzellen des Statischen Düngungsversuches im Mittel der vier Fruchtarten (1959-2023)

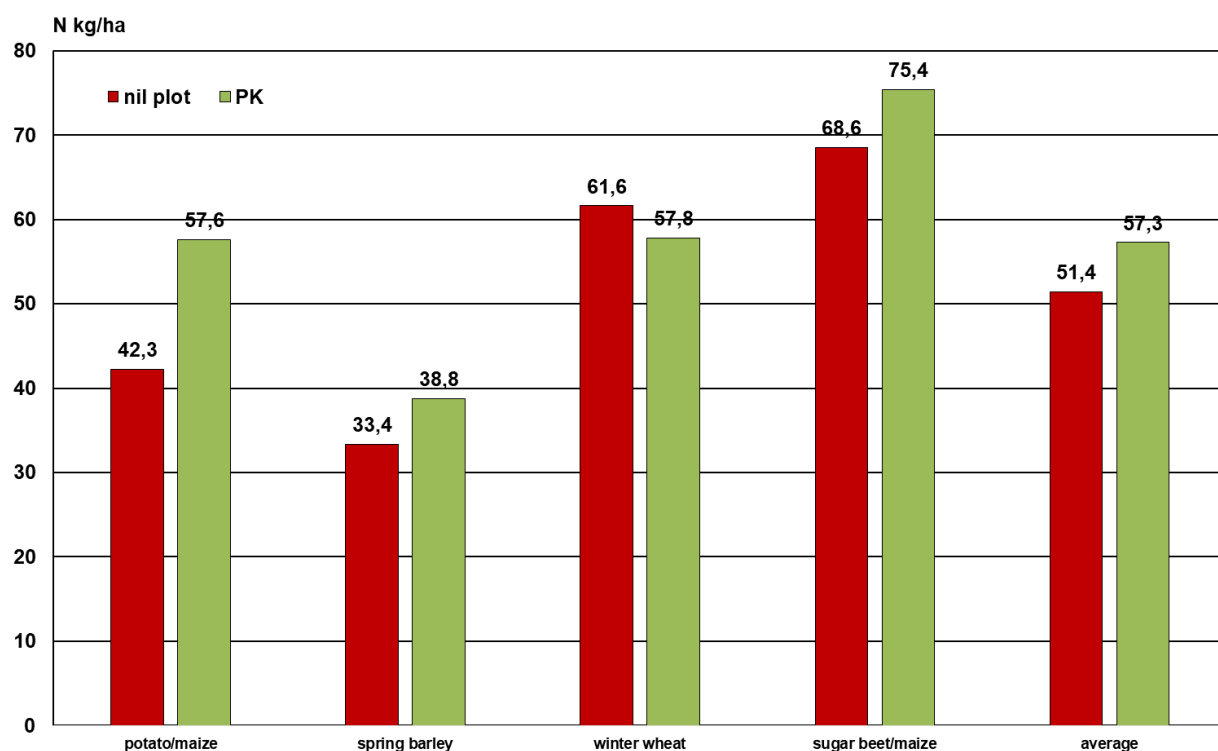


Abb. 8: N-Entzüge auf den PK- und Nullparzellen im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt für die vier Fruchtarten (ab 2015 Silomais anstelle der Hackfrüchte) im Mittel der Jahre 1959-2023

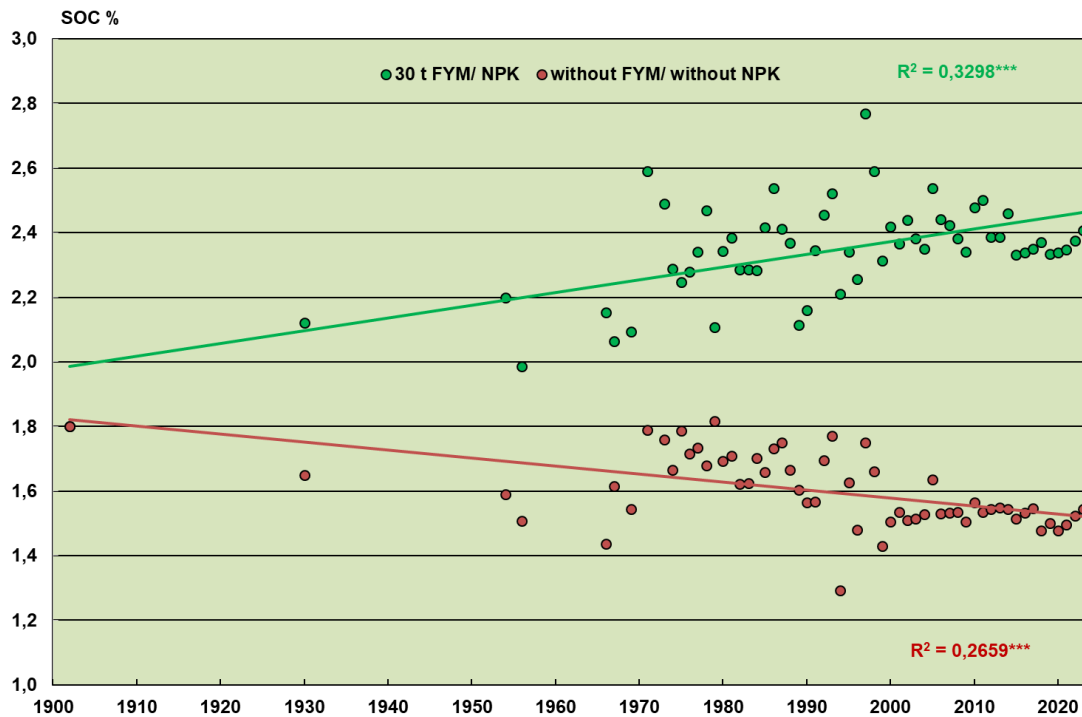


Abb. 9: C_{org}-Gehalt (% 0-20 cm) in den Extremvarianten im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (SH 1, 2, 3, 6, 7, 8) 1902-2024

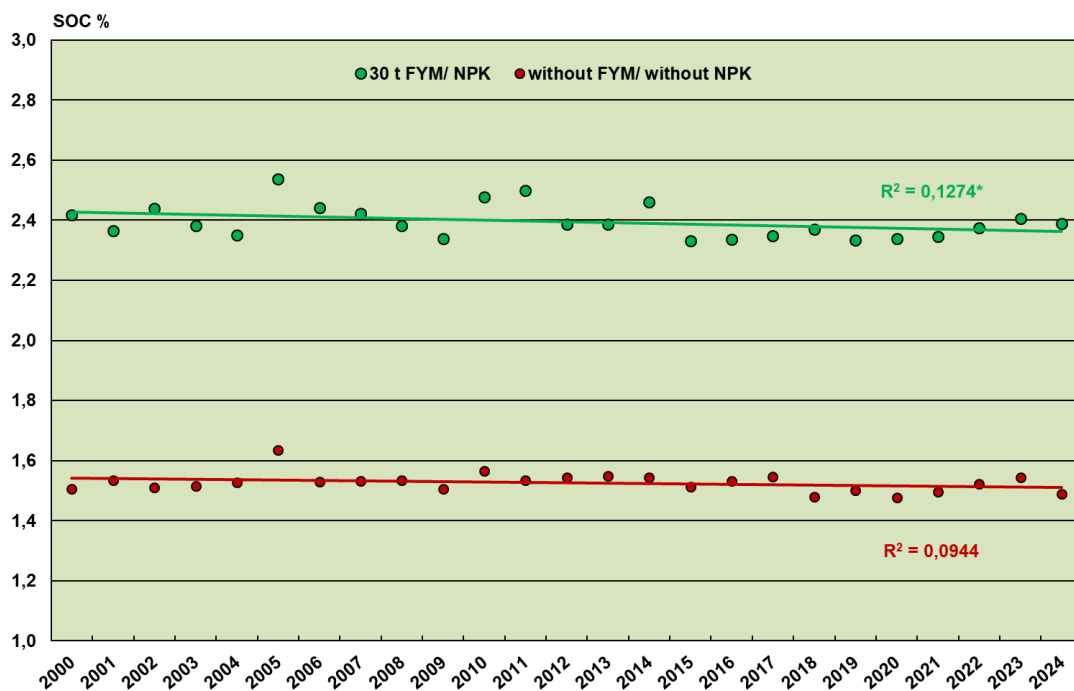


Abb.10: C_{org}-Gehalt (% 0-20 cm) in den Extremvarianten im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (SH 1, 2, 3, 6, 7, 8) 2000-2024

Durch die langjährig gleich bleibende Düngung haben sich Zustände im Boden manifestiert, die sonst nirgendwo zu finden sind, z.B. extreme Spannweiten in den Gehalten von C_{org}, N_t, pH, P und K(DL) auf einer Fläche von 4 ha. Dadurch erlangen die Versuche eine weit über die Agrarforschung hinausgehende Bedeutung für die Grundlagenforschung und die Kalibrierung diverser Großgeräte, z.B. Georadar, Hyperspektral- und andere Sensoren.

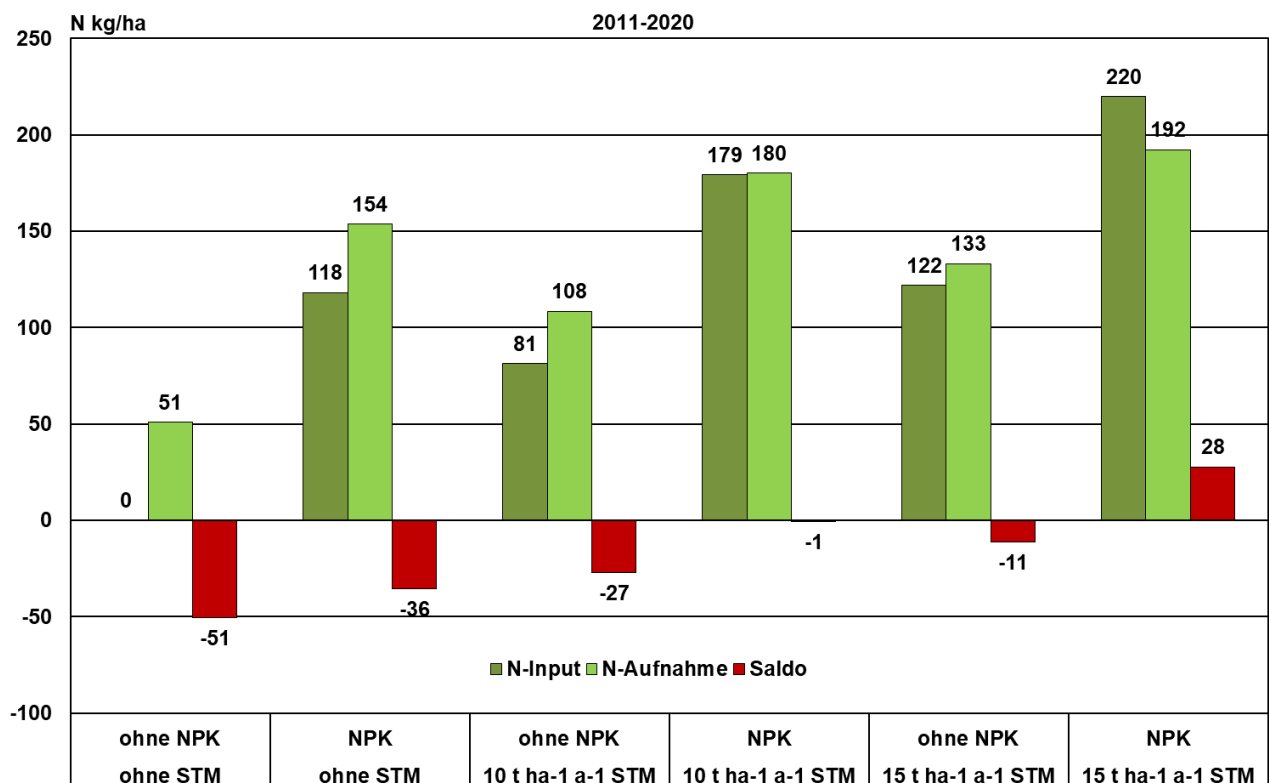
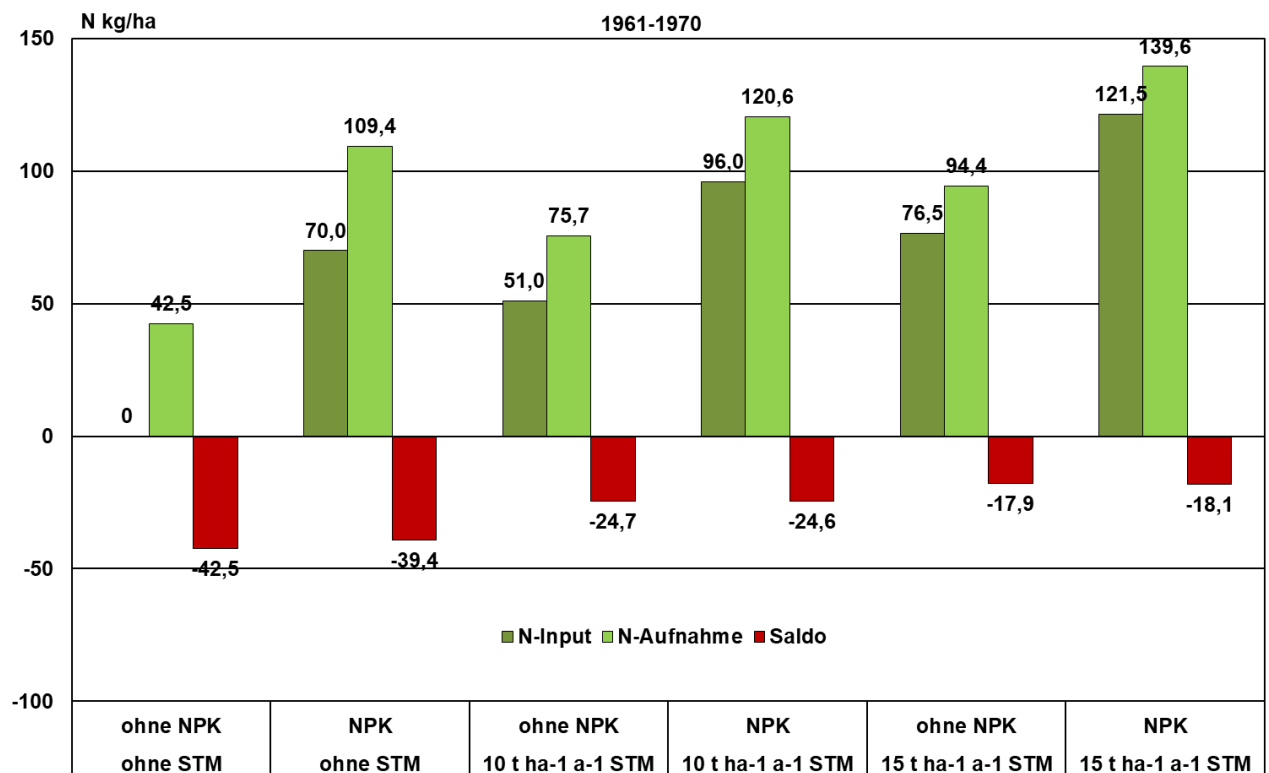


Abb. 11: Stickstoffbilanz im Statischen Düngungsversuch im Mittel aller Fruchtarten im Vergleich der Dekaden 1961-1970 und 2011-2020

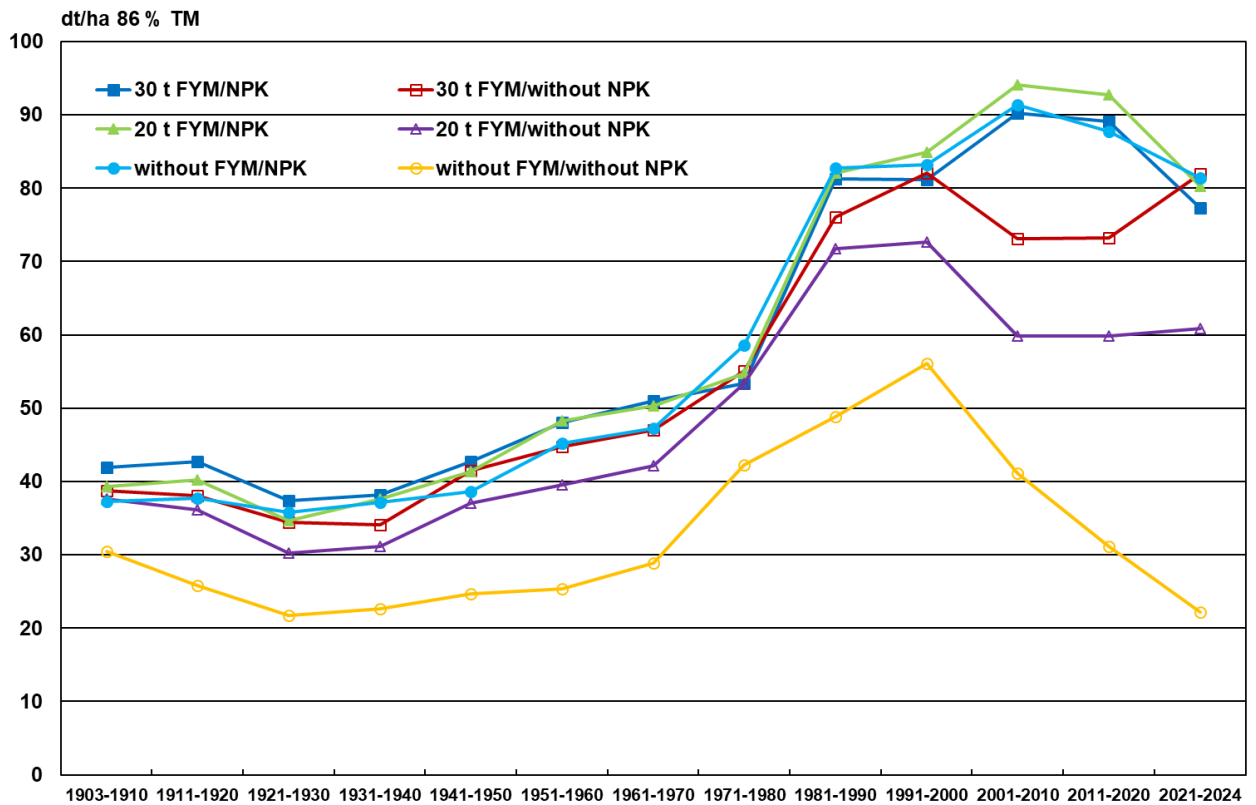


Abb. 12: Winterweizenerträge (dt/ha 86 % TM), Dekaden 1903-2024

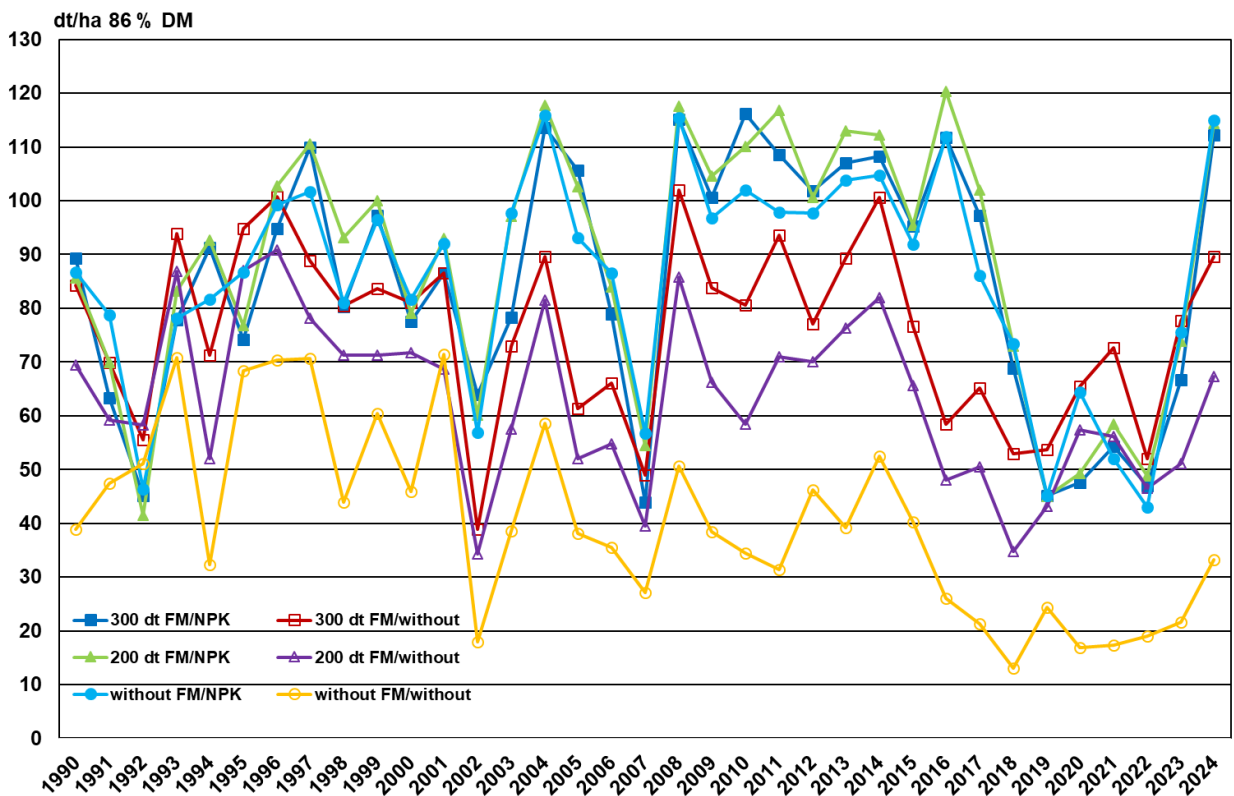


Abb. 13: Winterweizenerträge (dt/ha 86 % TM) im Statischen Düngungsversuch 1990-2024

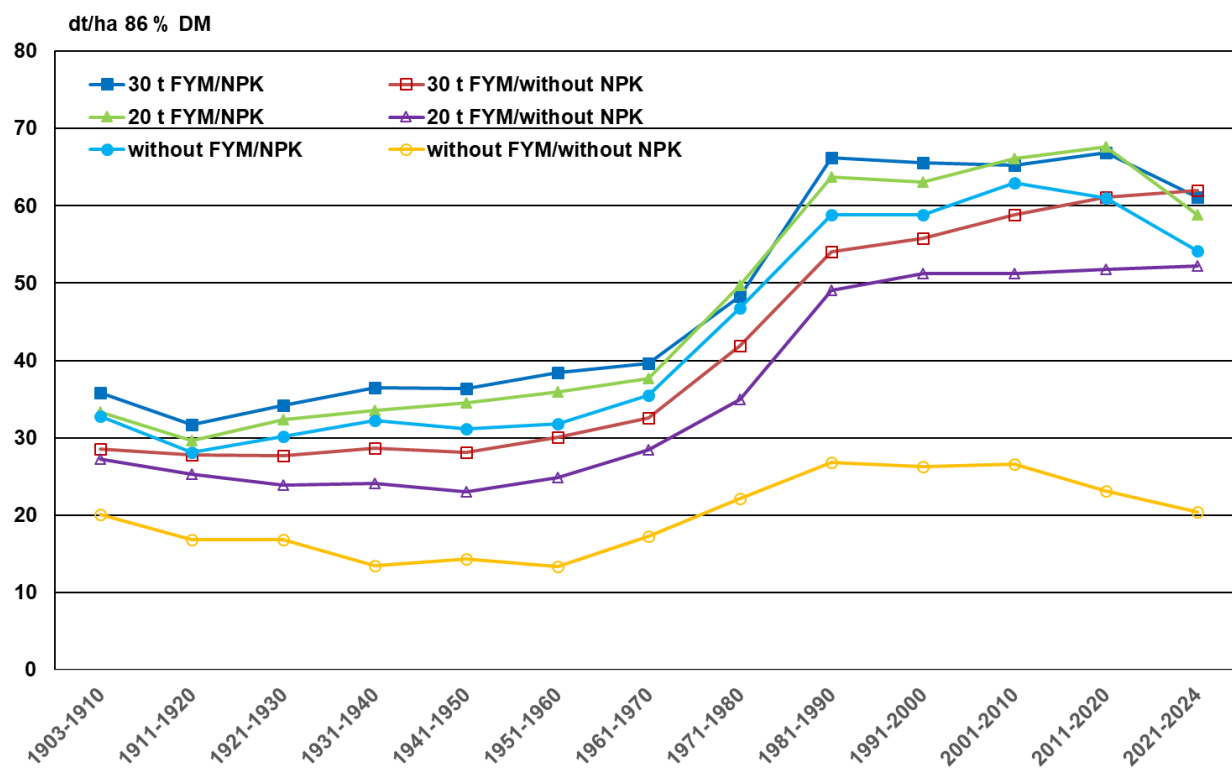


Abb. 14: Sommergerstenerträge (dt/ha 86 % TM) im Statischen Düngungsversuch, Dekaden 1903-2024

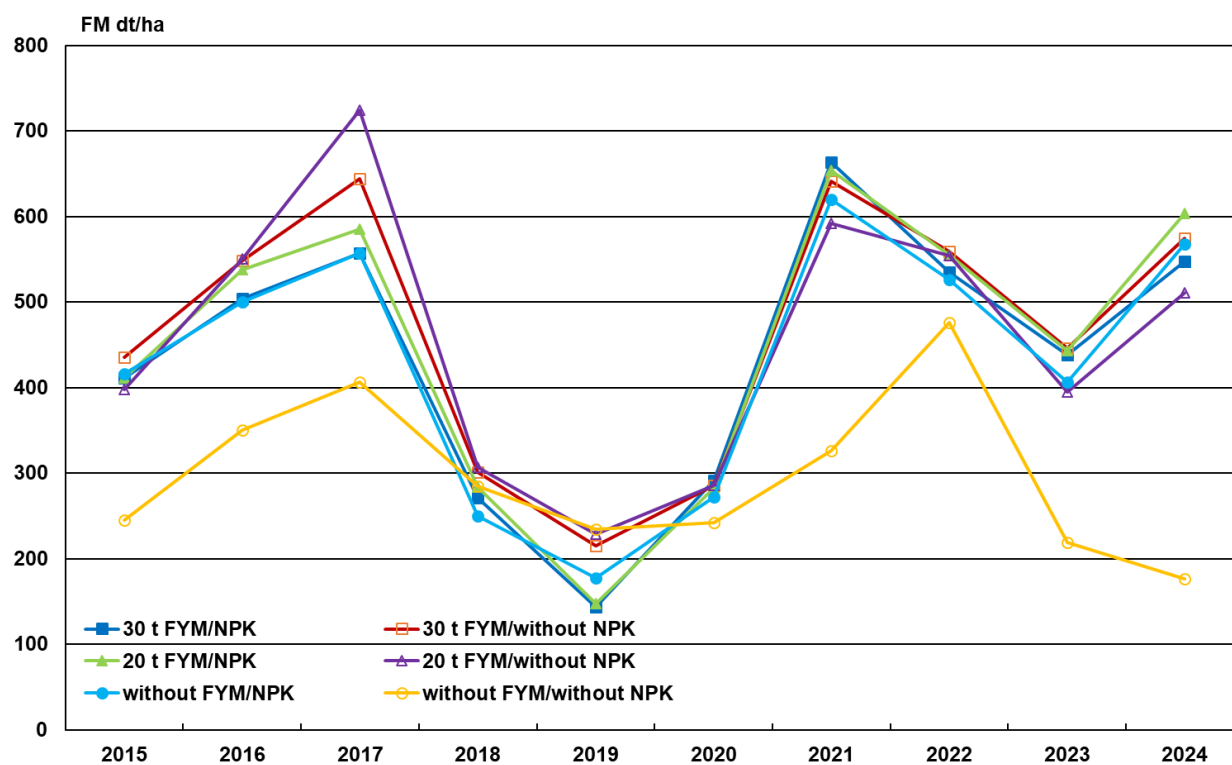


Abb. 15: Silomaiserträge (dt/ha FM) im Statischen Düngungsversuch 2015-2024

10. Erweiterter Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt V120a

Ines Merbach, UFZ

Versuchsfrage

Wirkung differenzierter organischer und mineralischer Düngung in Abhängigkeit vom Humusgehalt im Boden auf Ertrag und fruchtbarkeitsbestimmende Bodeneigenschaften

Bezeichnung und Abstufung der Prüffaktoren

Faktor A (organische Düngung) - 2 Stufen

- a₁ - ohne = SH 4
- a₂ - 300 dt/ha Stalldung jedes 2. Jahr zu Silomais (Herbst 2014) = SH 5

Faktor B (C_{org}-Gehalt in der Krume) - 3 Stufen

- b₁ - 2.2 % (bis 1977 300 dt/ha Stalldung)
- b₂ - 1.9 % (bis 1977 200 dt/ha Stalldung)
- b₃ - 1.6 % (seit 1902 ohne organische Düngung)

Faktor C (N-Düngung in kg/ha) - 5 Stufen

	SG	Silomais	WW
C ₁	Ohne	Ohne	Ohne
C ₂	20	50	40
C ₃	40	100	40+20+20
C ₄	40+20	150	40+40+40
C ₅	40+40	200	40+60+60

Anlagejahr: 1978

Fruchtfolge: Silomais (SM) – Sommergerste (SG) – Silomais (SM) – Winterweizen (WW)

Parzellengröße: 10 m * 5,5 m = 55 m²

Gesamtgröße: 1,07 ha

Versuchsanlage: Systematische Anlage, keine Wiederholungen

Die ursprüngliche Anzahl der Versuchspartellen wurde von 180 auf 60 reduziert.

Sorten

Winterweizen (A): RGT Reform

Silomais: mittelfrühe Reifegruppe: Geoxx

Sommergerste: Avalon

Anlageplan



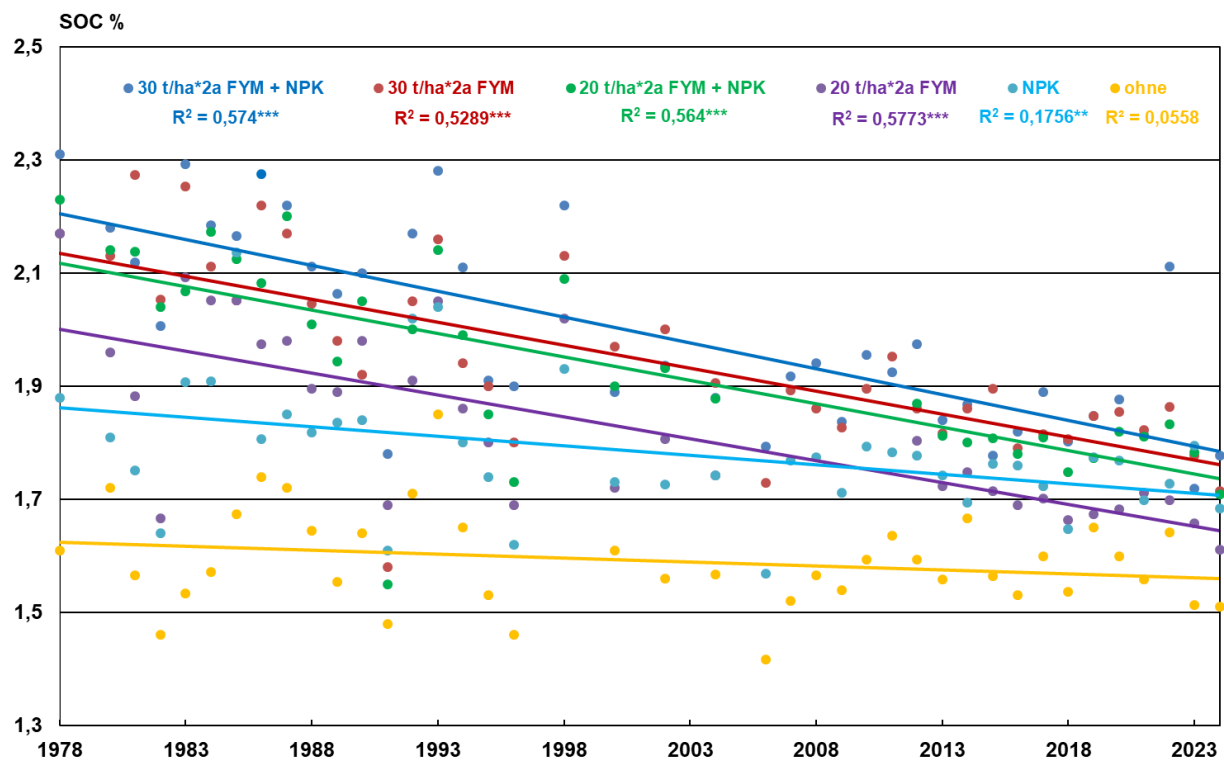


Abb. 1: Dynamik des Corg-Gehaltes im Erweiterten Statischen Düngungsversuch auf SH 4, seit 1978 ohne Stallmist, jeweils die N1-Stufe – ohne N-Dünger (1978-2024)

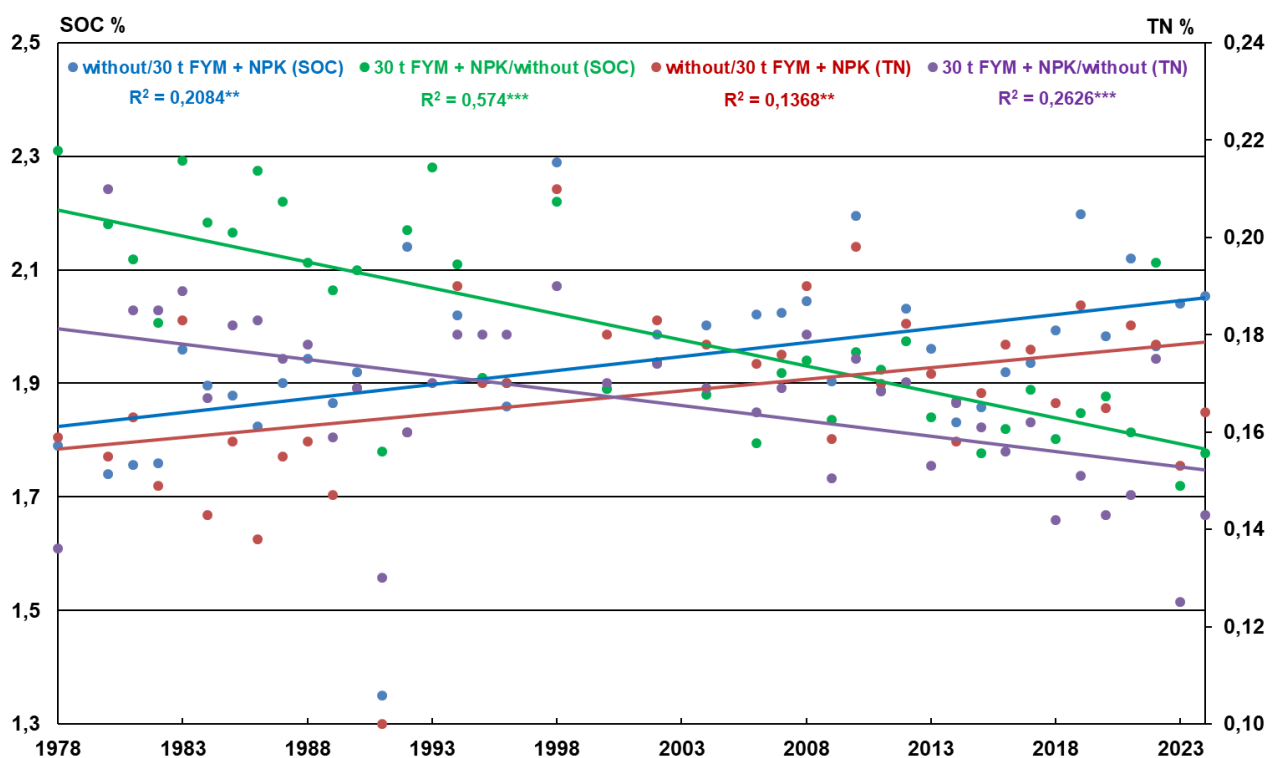


Abb. 2: C- und N-Dynamik in Abhängigkeit von Ausgangsniveau und Düngung im Erweiterten Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (1978-2024)

Im Erweiterten Statischen Düngungsversuch kann ausgehend von experimentell eingestellten Kohlenstoffgehalten im Boden im Jahr 1978 die Wirkung differenzierter organischer und mineralischer Düngung auf den Boden und die Pflanze untersucht werden. Diese Konstellation ist einmalig.

In Abb. 1 ist der Kohlenstoffgehalt in den 6 Hauptvarianten auf der SH 4 (ohne Stallmist) dargestellt. Während sich der C-Gehalt der Nullparzelle praktisch nicht verändert hat, ist bei den Düngungsvarianten ein signifikanter Abfall zu sehen. In den ersten 30 Jahren vollzog sich die Entwicklung am schnellsten.

In Abb. 2 wurde der ehemals hoch gedüngten Variante von SH 4 die ehemalige Nullparzelle von SH 5 (30 t/ha Stallmist alle 2 Jahre) gegenüber gestellt. Der Rückgang des C-Gehaltes auf der hoch gedüngten Parzelle vollzieht sich schneller als der Anstieg des C-Gehaltes auf der Nullparzelle. Der Verlauf ist beim N etwas schneller als beim C.

11. Stallmiststeigerungsversuch V494 (seit 1983)

Elke Schulz, Uwe Franko, Ines Merbach - UFZ

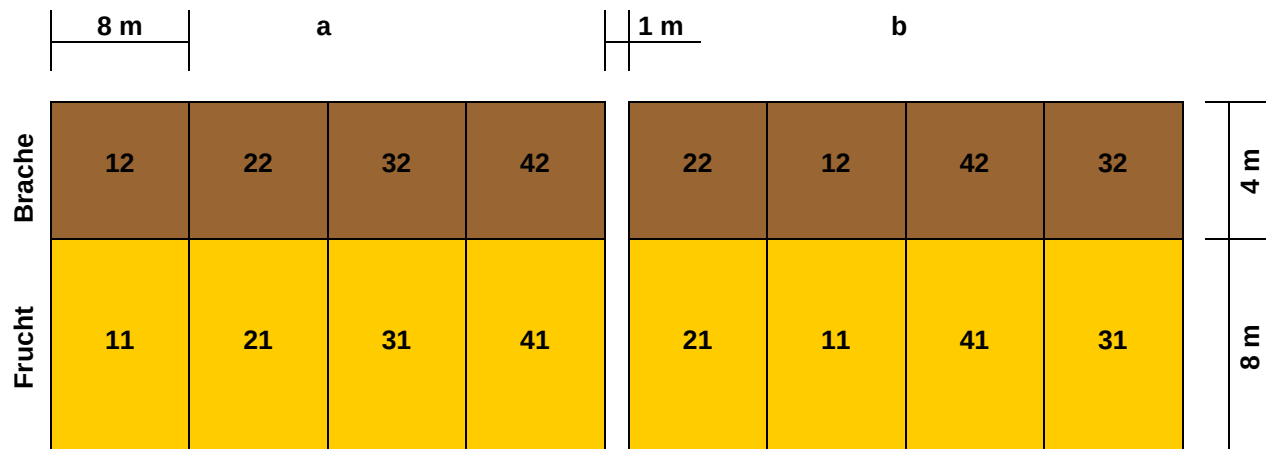
- 1983 von Körschens angelegt
- Ziel: Untersuchung der Langzeiteffekte extrem hoher Stallmistapplikation auf Ertrag, N-Aufnahme der Pflanzen und Bodeneigenschaften
- Zweifaktorielles Blockdesign, 2 Wiederholungen

Faktor A - Stallmistmenge

- 1 ohne organische Düngung
- 2 50 t/ha Stallmist jedes Jahr
- 3 100 t/ha Stallmist jedes Jahr
- 4 200 t/ha Stallmist jedes Jahr

Faktor B - Landnutzung

- 1 Fruchtfolge (seit 2015 Maismonokultur)
- 2 mechanische Schwarzbrache



Tab. 1: N-Eintrag mit dem Stallmist in 28 Versuchsjahren (1984-2024)

	Fruchtfolge STM (t ha ⁻¹)			Schwarzbrache STM (t ha ⁻¹)		
	50	100	200	50	100	200
N-Eintrag t ha ⁻¹	15,58	31,16	62,32	15,58	31,16	62,32

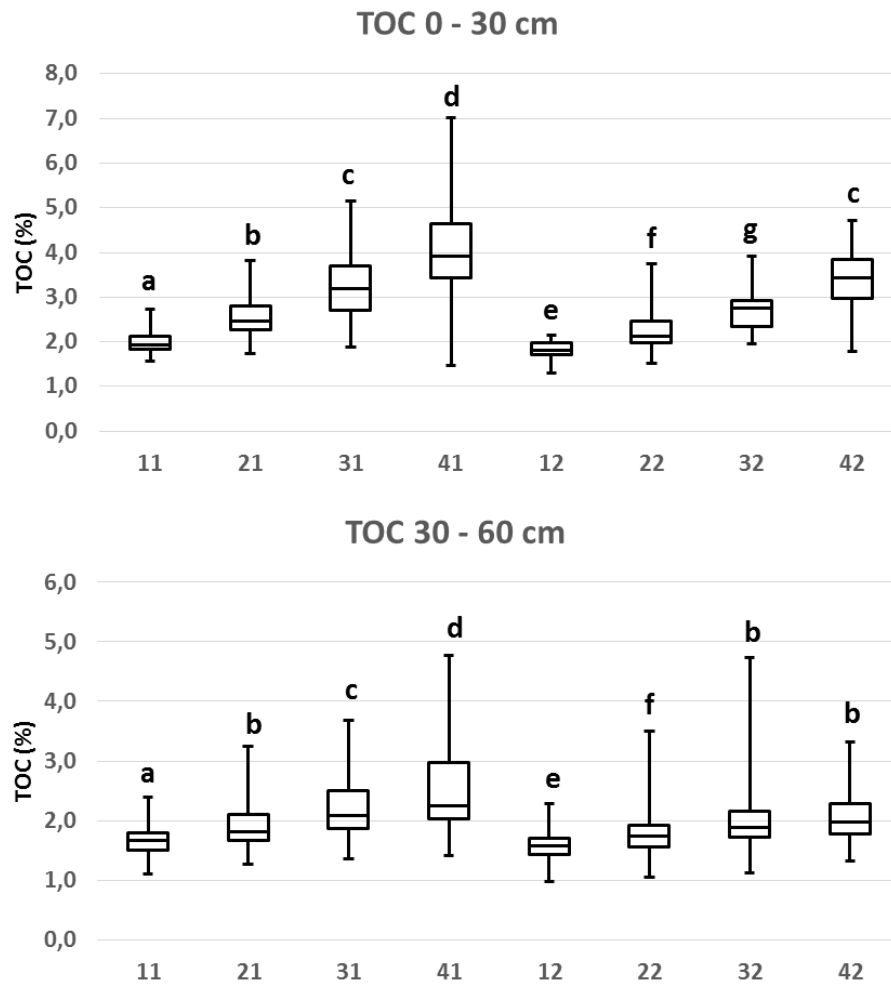


Abb. 1: Effekt von extrem hohen Stallmistmengen auf die C-Akkumulation im Boden nach 28 Versuchsjahren

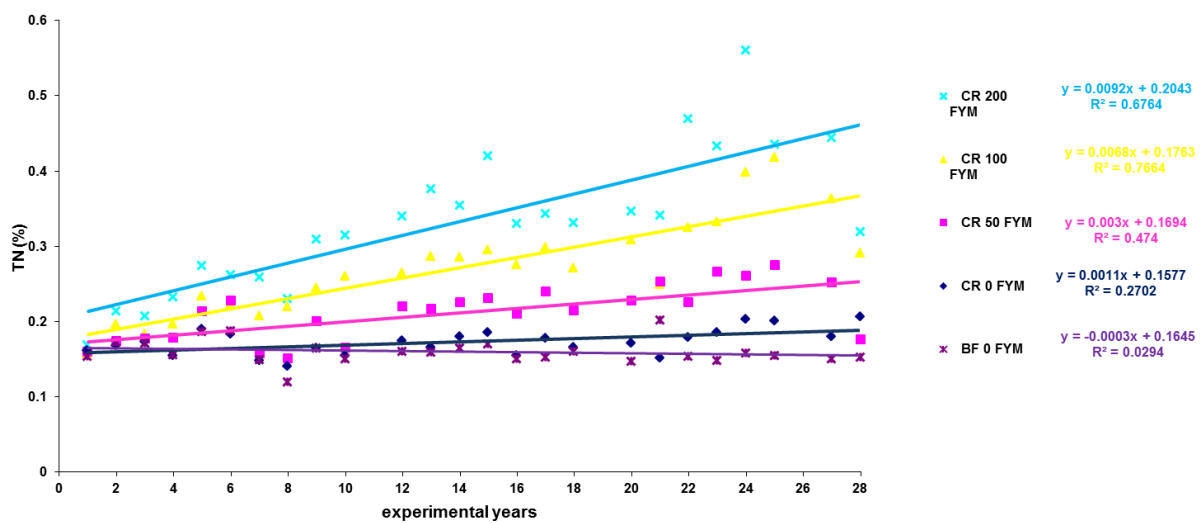


Abb. 2: Effekt von extrem hohen Stallmistmengen auf die N-Akkumulation im Boden nach 28 Versuchsjahren

Fruchtfolge

1984 – 1989	Zuckerrübe – Silomais – Winterweizen
1990 – 2007	Zuckerrübe – Kartoffeln – Silomais
2008 – 2013	Kartoffeln – Zuckerrübe – Silomais
2014	Kartoffeln
ab 2015	Silomais

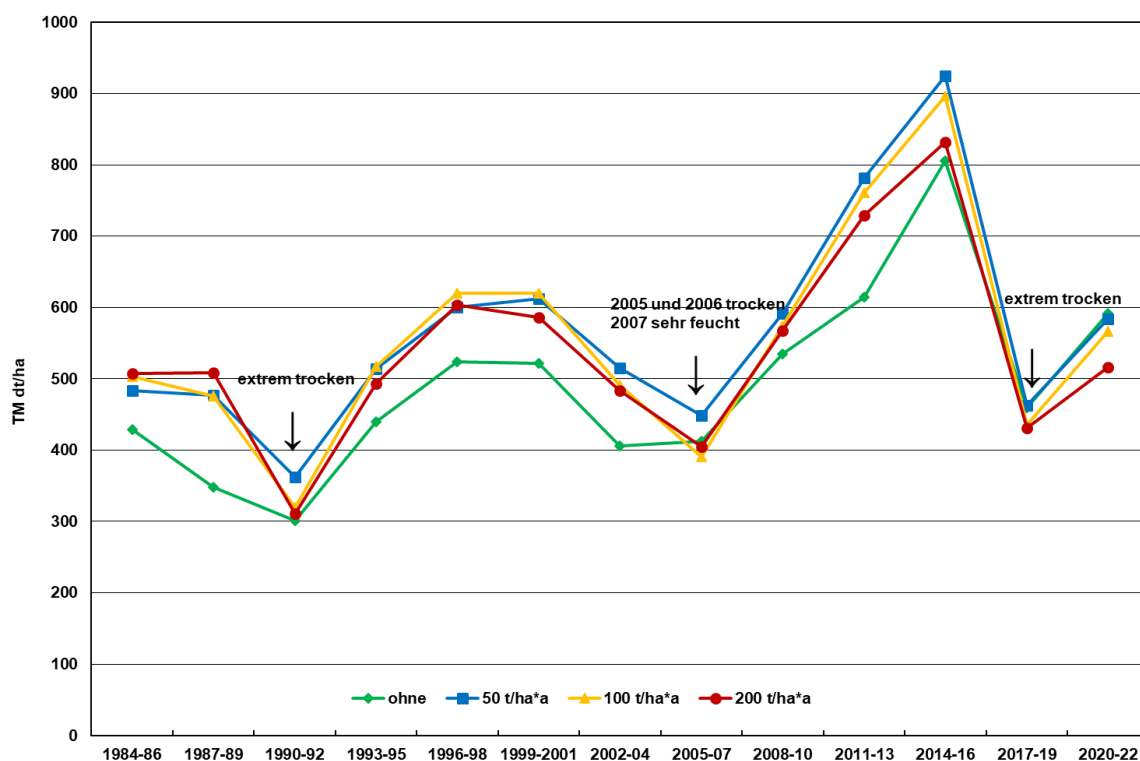


Abb. 3: Fruchtfolge-Ertrag (Trockenmasse, Haupt- und Koppelprodukte) im Verlauf von 38 Versuchsjahren

1992 wurden auf allen Parzellen bis 5 m Tiefe Bodenproben genommen und auf TC, TOC, TN, labilen C und N sowie Mineral-N untersucht. Die N-Bilanz in Tabelle 2 basiert auf der Annahme, dass der Stickstoff nicht unterhalb der beprobten Bodenschicht von 5 m verlagert wurde.

Tab. 2: Einfluss von Dauerbrache und Fruchtfolge auf die N-Bilanzen einer Löss-Schwarzerde unter Berücksichtigung extremer Düngungsvarianten

N (kg ha ⁻¹) Differenz zwischen gedüngt und ungedüngt	Fruchtfolge STM (t ha ⁻¹)			Schwarzbrache STM (t ha ⁻¹)		
	50	100	200	50	100	200
STM-Gaben 1984-1992	3135	6270	12540	3135	6270	12540
Mineral-N 0,6 -5 m, Nov. 1992	177	444	1794	141	966	1785
N-Entzug Pflanzen, 1984-1992	552	780	799			
TN 0 - 60 cm, Nov. 1992	2600	4480	9120	2000	4320	8280
Bilanz	-194	566	827	994	984	2475

Bis 60 cm Tiefe akkumulierten sich erhebliche Mengen labiler, leicht umsetzbarer organischer

Substanz, die von den Pflanzen als N-Quelle genutzt werden kann. Es besteht jedoch auch das Risiko gasförmiger N-Verluste und der N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten.

Der Landnutzungseffekt spiegelte sich in den Boden-N-Mengen wieder. Unter der Schwarzbrache fanden sich höhere N-Mengen als unter der Fruchtfolge. Während der Mineral-N unter der Fruchtfolge bei allen Stallmistvarianten nur bis 1 m Tiefe verlagert wurde, befanden sich unter der Schwarzbrache die höchsten Mineral-N-Mengen in der 1-3 m Bodenschicht. In der 3-5 m Bodenschicht bestanden nur marginale Unterschiede im Mineral-N zwischen den Landnutzungsvarianten.

Der Versuch V494 bietet eine ausgezeichnete Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffzufuhr und Kohlenstoffspeicherung im Boden zu untersuchen. Aktuelle Ergebnisse dazu wurden von Franko & Schulz (2020) vorgelegt: In der Anfangsphase des Versuches (1990-1999) kann man sehr gut die erwartete lineare Beziehung zwischen der Stalldung-Zufuhr und dem aufgebauten Kohlenstoffvorrat beobachten, während in einer späteren Phase (2007-2016) bei der Langzeit-SOC-Dynamik auf den Brache-Prüfgliedern eine bemerkenswerte Abweichung des beobachteten Kohlenstoffvorrates von der erwarteten Größe festzustellen ist (Abbildung1).

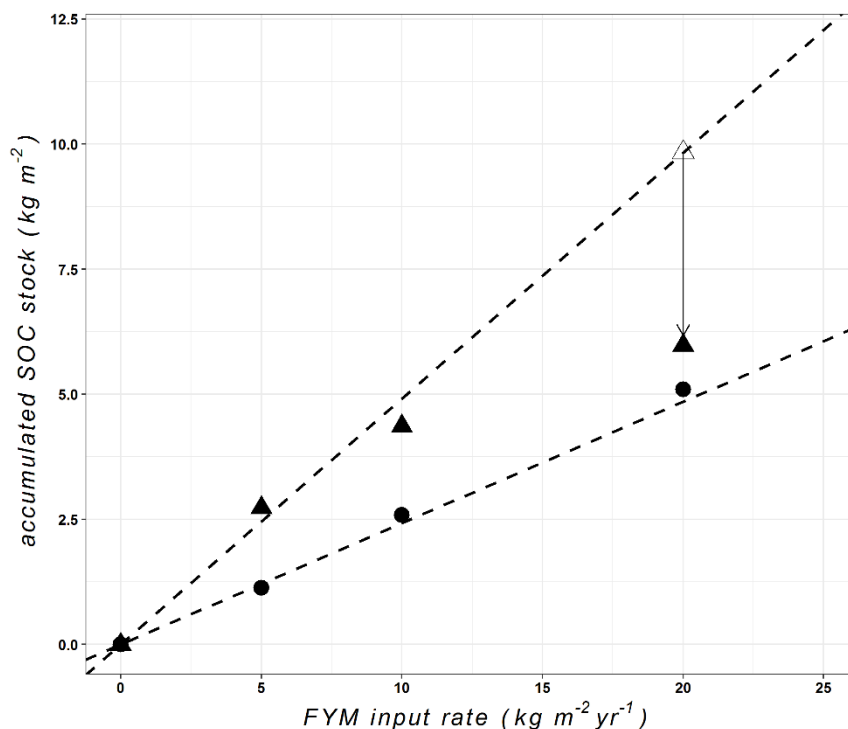


Abbildung 1: Beziehung zwischen jährlicher Stalldungzufuhr (FYM input rate) und aufgebautem Kohlenstoffspeicher (accumulated SOC stock) zu verschiedenen Zeitintervallen(Kreise: 1990-1999; Dreiecke: 2007-2016, Strichlinie: erwartete lineare Beziehung). Der Pfeil zwischen dem hohlen und dem gefüllten Dreiecksymbol zeigt den scheinbar „fehlenden“ Bodenkohlenstoff an.

Eine weitere Analyse aller Daten weist darauf hin, dass diese Abweichung von der erwarteten Speichergröße – der scheinbar im Boden fehlende Kohlenstoff – zunimmt, nachdem eine bestimmte Speichergröße überschritten wurde (Abbildung 2). Die Abweichung von der erwarteten Linearität tritt bei einer Speichergröße von $4.61 \pm 0.9 \text{ kg m}^{-2}$ auf. Das führte zu der Hypothese, dass die Kapazität zum physikalischen Schutz des Kohlenstoffs gegen den mikrobiellen Umsatz begrenzt ist, so dass

nach Überschreitung dieser Grenze der gesamte zugeführte Kohlenstoff in leicht abbaubaren Pools gespeichert wird und sich damit die Akkumulationsrate reduziert. Dieser Mechanismus wurde in das CCB Modell (<https://www.ufz.de/index.php?de=39729>) eingebaut, und es zeigt sich, dass die beobachtete Dynamik der Kohlenstoffakkumulation auf den Parzellen mit sehr großer Stalldungzufuhr auf diese Weise wesentlich besser wiedergegeben wird.

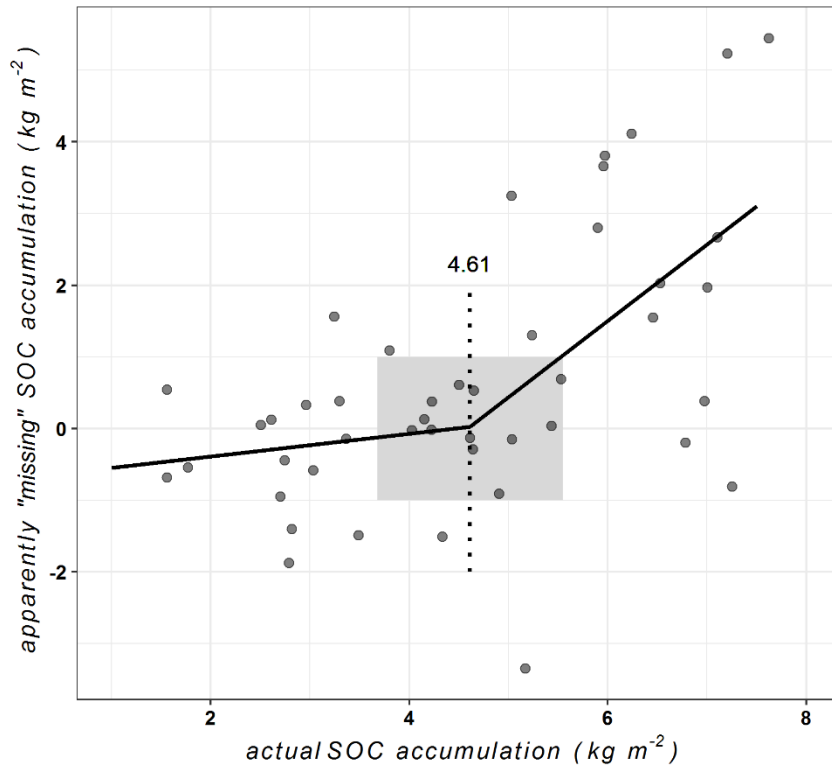


Abbildung 2: Differenz zwischen der bei linearem Verhalten erwarteten und der tatsächlich beobachteten Größe des Kohlenstoffvorrates im Boden (apparently „missing“ accumulation) im Vergleich zur gemessenen Größe des Kohlenstoffvorrates (actual SOC accumulation).

Einfluss der Stallmistmenge auf physikalische und chemische Bodeneigenschaften unterhalb des Pflughorizonts

Frederic Leuther und Steffen Schlüter

Die Erhöhung des Kohlenstoffgehalts durch die Einarbeitung von Stallmist kann zu Veränderungen physikalischer und chemischer Bodeneigenschaften führen. Bislang standen die Auswirkungen auf Bodenhorizonte unterhalb des Pflughorizontes weniger im wissenschaftlichen Interesse. Im Frühjahr 2020 wurde daher im Rahmen einer Masterarbeit der Einfluss der unterschiedlich hohen Stallmistgaben auf Bodenstruktur und hydraulische Eigenschaften in den Fruchtfolgeparzellen des Stallmiststeigerungsversuchs unterhalb des Pflughorizontes (35-45 cm Tiefe) untersucht. Dazu wurden die Bodenproben in Hinblick auf physikochemische Eigenschaften (Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, pedogenen Fe- und Al-Oxiden) sowie deren Porenraum (Poren mit $\varnothing \geq 19 \mu\text{m}$) mittels Röntgen-Computertomographie (μCT) charakterisiert. Um einen Einfluss auf hydraulische Eigenschaften wie die nutzbare Feldkapazität zu erfassen, wurden die Wasserretentionskurven und ungesättigten Leitfähigkeiten bestimmt. Abb.1 zeigt rekonstruierte μCT Aufnahmen der vier Parzellen und gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Strukturelemente in der Schwarzerde unterhalb der Pflugsohle.

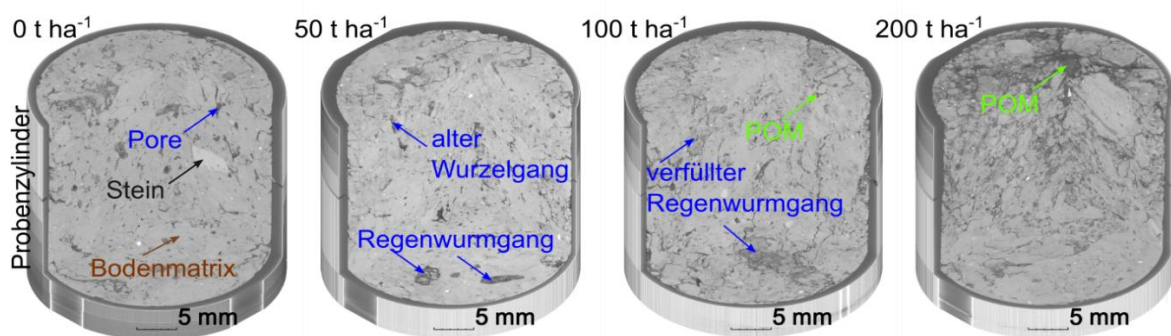


Abb. 1 Computertomographieaufnahmen ungestörter Bodenproben aus jeder Düngestufe.

Die Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen (Tab. 1) zeigen, dass bei gleicher Menge an mineralischen Bindungsplätzen (unveränderte Oxidgehalte) die 36 jährige Zugabe von Stallmist $\geq 100 \text{ t/ha/a}$ zu einer Anreicherung von Kohlenstoff und Stickstoff im Unterboden führte. Zudem führten die hohen Applikationen zu einem leichten Absinken des pH-Wertes.

Tabelle 1 Bodenchemische Eigenschaften der Fruchtfolgeparzellen in einer Bodentiefe von 35-45 cm.

Düngegabe	0 t ha ⁻¹	50 t ha ⁻¹	100 t ha ⁻¹	200 t ha ⁻¹
pH [-]	7.2	7.3	7.0	7.0
Fe _{oxalat} [g kg ⁻¹]	1.3	1.2	1.3	1.3
Fe _{dithionit} [g kg ⁻¹]	5.8	5.9	5.7	5.4
Al _{oxalat} [g kg ⁻¹]	1.1	1.2	1.0	1.0
C _{tot} [Gew.-%]	2.1	1.7	2.6	3.4
N _{tot} [Gew.-%]	0.2	0.1	0.2	0.3
C/N [-]	12.2	12.4	11.2	10.6

Der hohe Input an organischen Kohlenstoff sowie die einhergehende Förderung des Pflanzenwachstums hatten einen positiven Effekt auf die Makroporosität und deren Porenkonnektivität. Ein Einfluss auf die Wasserretention und die ungesättigte Leitfähigkeit wurde jedoch nicht festgestellt. Abbildung 2a zeigt den Einfluss auf die nutzbare Feldkapazität, Abbildung 2b den Einfluss auf die kumulative Makroporosität erfasst über Bildanalyse der μ CT-Aufnahmen des Porenraums.

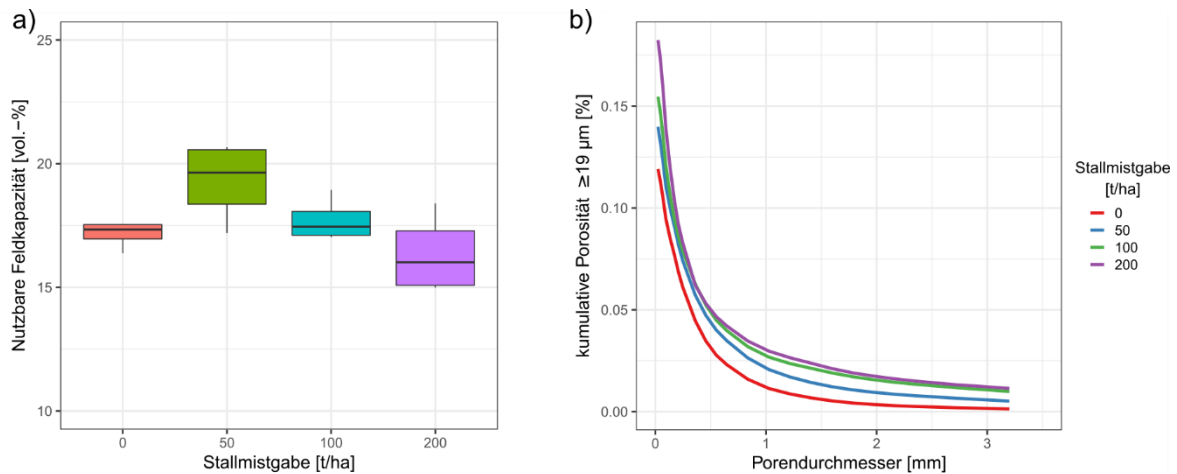


Abb. 2: Nutzbare Feldkapazität in den Fruchtfolge-Parzellen unterhalb der Pflugsohle (a), $n=4$) und die mittlere kumulative Makroporosität (b), $n=6$)

Die Ergebnisse zeigen, dass durch extrem hohe Stallmistapplikationen langfristig zwar tiefere Bodenhorizonte als Kohlenstoffspeicher genutzt werden können, mit diesen Maßnahmen jedoch die hydraulischen Eigenschaften in der Tiefe kaum beeinflusst wurden. Der graduelle Anstieg der Makroporosität mit der Stallmistgabe über ein weites Spektrum an Porendurchmessern ist ein Indikator für eine erhöhte biologische Aktivität unterhalb der Pflugsohle.

12. Bracheversuch V505a

Ines Merbach, UFZ

Versuchsfrage

Einfluss von mechanischer, chemischer, mechanisch-chemischer und selbstbegrünter Brache auf C_{org} , N_t und N_{an} -Gehalt im Boden, Sukzessionsverlauf

Bezeichnung und Abstufung der Prüffaktoren

Faktor A - Bracheformen – 4 Stufen

a_1 mechanische Brache

a_2 Herbizidbrache

a_3 mechanisch-chemische Brache (Kombination von a_1 und a_2)

a_4 Selbstbegrünung

PSM: Die chemische und chem.-mechanische Brache werden regelmäßig mit einem Boden/Blattherbizid unkrautfrei gehalten, Restverunkrautung wird auf der Herbizidbrache vorsichtig herausgezogen, um Bodendurchlüftung zu vermeiden

Bodenbearbeitung: Mechanische und chem.-mechanische Brache werden jeweils im Herbst 25 cm tief gepflügt. Während der Vegetationsperiode wird jeglicher Unkrautwuchs mit Feingrubber oder Kreiselgrubber beseitigt.

Anlagejahr: 1988

Anlagemethode: Systematische Anlage mit 4 Wiederholungen

Anzahl der Parzellen: 16

Anlageparzelle: 6 m * 7 m = 42 m²

Versuchsgröße brutto: 24 m * 28 m = 672 m²

Anlageplan V505a

4d	1d	4c	1c	
2d	3d	2c	3c	
4a	1a	4b	1b	
2a	3a	2b	3b	7m
6m				



Dieser Bracheversuch wurde 2018 30 Jahre alt und damit in die Liga der Dauerversuche aufgenommen. Der Kohlenstoffgehalt auf der Selbstbegrünung ist von ca. 2 % auf Werte von ca. 3 % angestiegen. Die 3 Schwarzbrachen liegen nun bei 1,5-1,6 %, ohne sich signifikant zu unterscheiden (Abb. 1). In den ersten 10 Versuchsjahren ging der C_{org} im Mittel der Schwarzbrachen um 1032 kg/ha*a zurück, während er auf der Sukzessionsbrache im selben Zeitraum um 1060 kg/ha*a anstieg (Abb. 2). Seit dem 11. Versuchsjahr geht der C_{org} im Mittel der Schwarzbrachen nur noch um 89 kg/ha zurück, d.h. der Boden ist hier fast im Gleichgewicht. Auf der Sukzessionsbrache beträgt die C_{org} -Zunahme seit dem 11. Versuchsjahr 1528 kg/ha * Jahr (Abb. 3). Hier ist ein Einfluss der Sukzession zu erkennen: der C-Eintrag nimmt von einjährigen Pflanzen in den ersten Jahren über Stauden bis hin zu Büschen (Wilde Waldrebe) und Bäumen zu. Die Bäume werden allerdings jedes Jahr abgeschnitten, zerkleinert und auf der Parzelle belassen, um einerseits Schattenwurf und Blattfall auf Nachbarparzellen zu vermeiden und um andererseits die organische Substanz nicht zu entziehen.

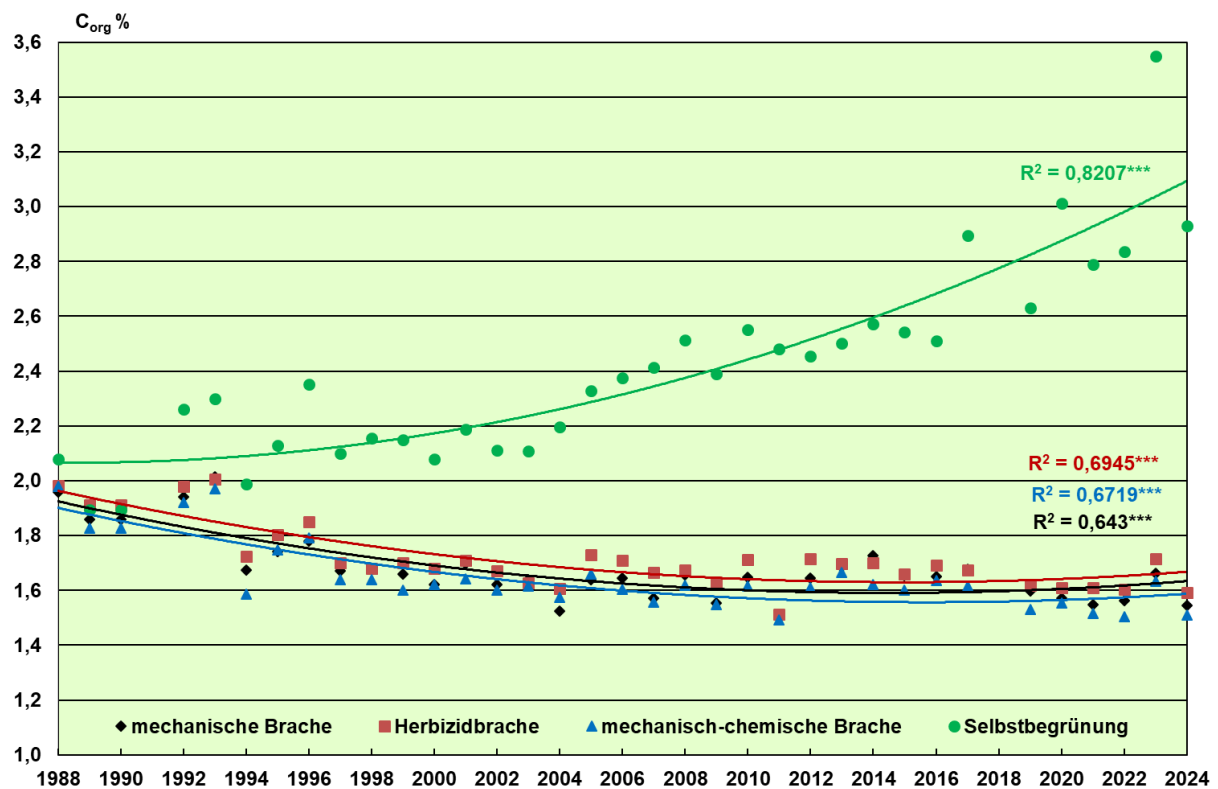


Abb. 1: C_{org} -Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1988-2024 (0-30 cm)

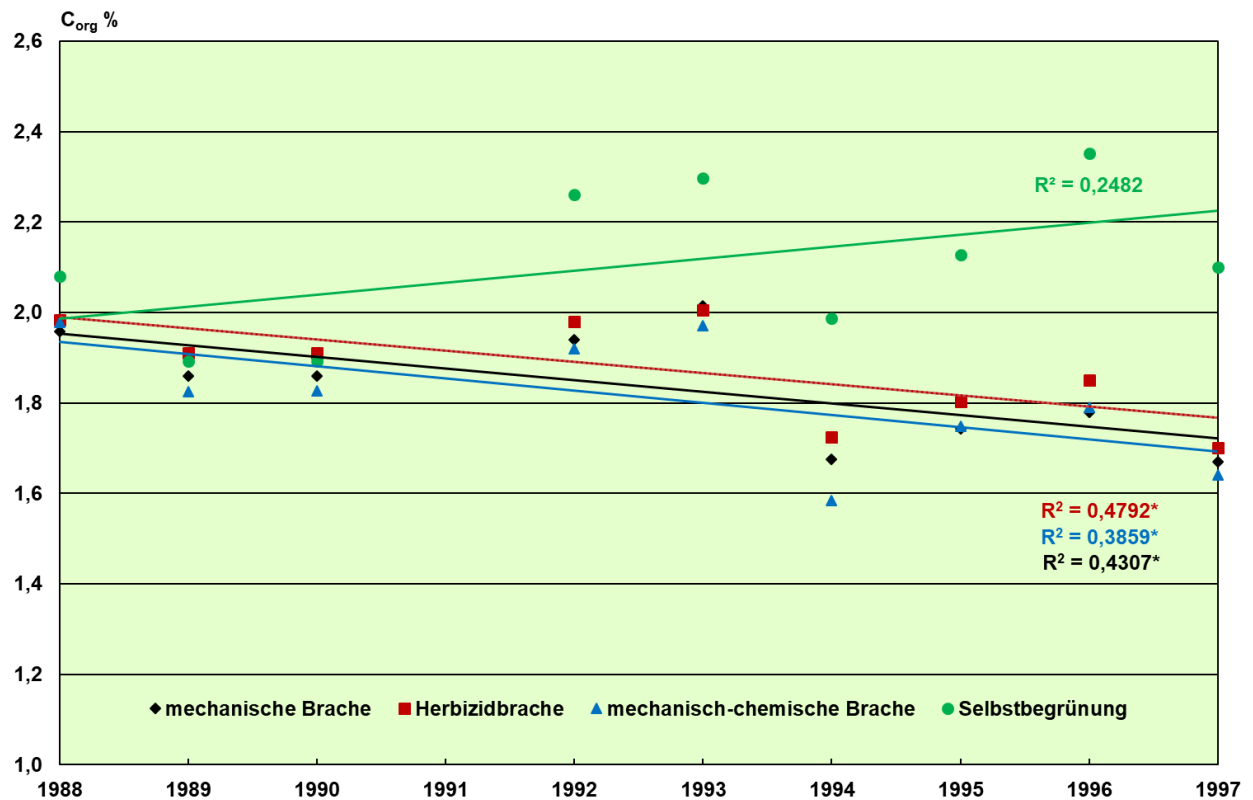


Abb. 2: C_{org}-Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1988-1997 (0-30 cm)

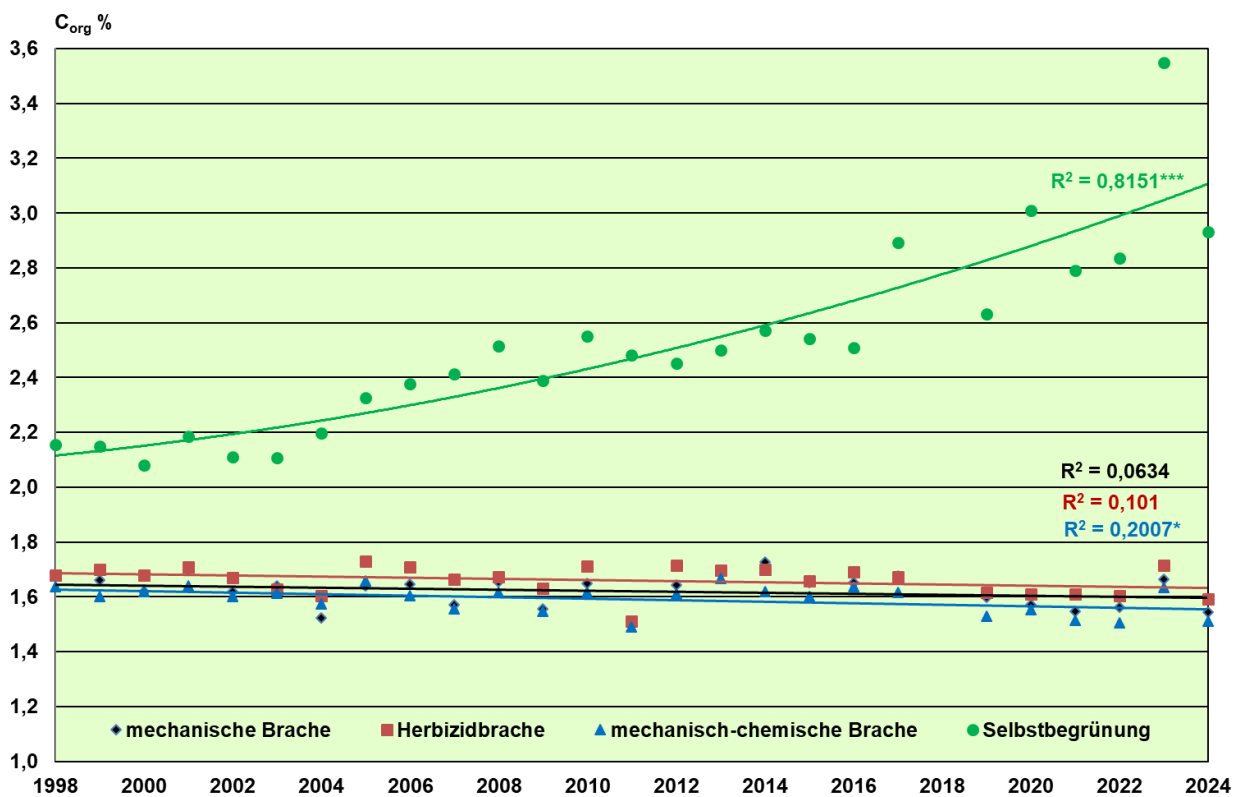


Abb. 3: C_{org}-Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1998-2024 (0-30 cm)

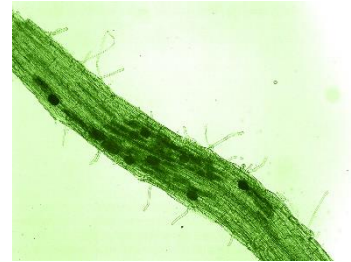
13. Forschungsplattform MyDiv

Die Rolle von Mykorrhizen in Effekten von Baumartenvielfalt auf Ökosystemfunktionen und Nahrungsnetze, etabliert: März 2015

Nico Eisenhauer, Olga Ferlian (iDiv)

Zielstellung

MyDiv ist ein Baumdiversitätsexperiment des Deutschen Zentrums für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig in Kooperation mit dem UFZ unter der Leitung des Departments Experimentelle Interaktionsökologie und besteht aus 80 einzelnen Versuchspartzen. Auf diesen wurden Baumgemeinschaften unterschiedlicher Artenmischungen gepflanzt, um die Effekte von Baumartenvielfalt auf verschiedene Ökosystemfunktionen zu untersuchen. Hierbei liegt unser Fokus vor allem auf oberirdisch-unterirdischen Interaktionen. Im Experiment wurden neben der Baumartenvielfalt auch Mykorrhiza-Typen experimentell manipuliert. Als Mykorrhiza bezeichnet man eine Symbiose von Pilzen und Pflanzen, bei dem ein Pilz einen Kontakt zum Feinwurzelsystem der



Arbuskuläre Mykorrhiza an Wurzel.



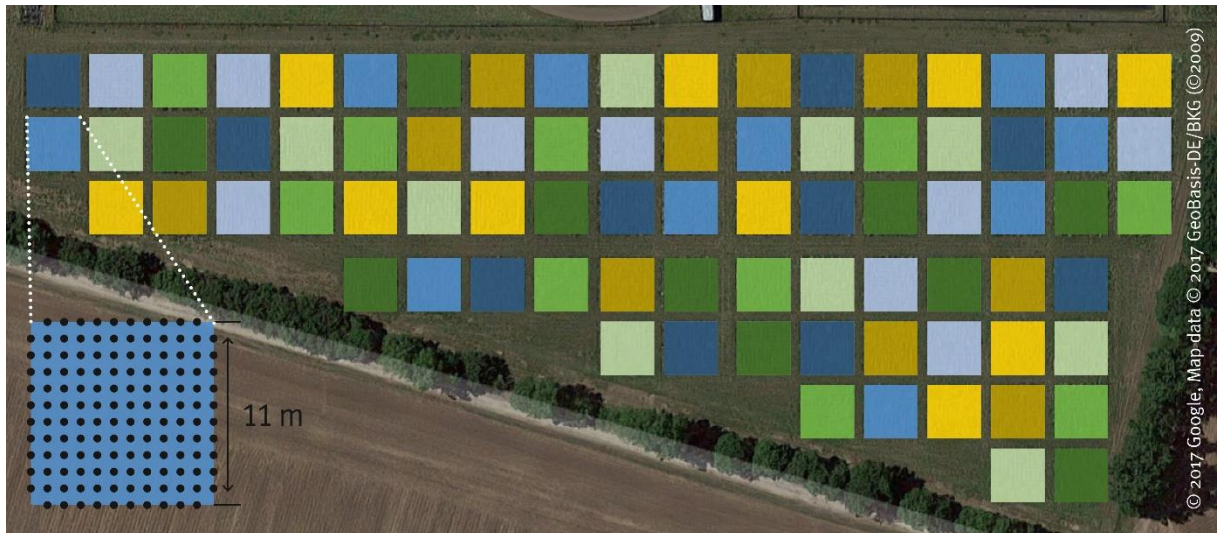
Ektomykorrhiza an Wurzel.

Pflanze ausbildet. Diese Symbiose dient vor allem dem gegenseitigen Austausch von Nährstoffen, weshalb beide Partner von dieser Assoziation profitieren. In Deutschland sind so gut wie alle Landpflanzen mykorrhiziert. Die zwei bedeutendsten Typen sind bei uns arbuskuläre Mykorrhiza und Ektomykorrhiza. Man vermutet, dass Pflanzengemeinschaften mit unterschiedlichen Mykorrhiza-Typen Ressourcen an ihrem Standort komplementär nutzen und dies somit eine zusätzliche positive Wirkung auf die bekannten Effekte von Baumartenvielfalt auf Ökosystemfunktionen hat. Außerdem stellen Mykorrhiza-Pilze einen großen Anteil der unterirdischen Nahrungsressourcen für Bodentiere dar. Eine Mischung der Mykorrhiza-Typen erhöht, so nimmt man an, auch die Artenvielfalt der verschiedenen Bodentiergruppen.

Experimentelles Design

Die Fläche des Experiments beherbergt insgesamt zehn einheimische Laubbaumarten in unterschiedlichen Mischungen: Fünf Arten sind mit arbuskulären Mykorrhiza-Pilzen assoziiert, fünf mit Ektomykorrhiza-Pilzen. Auf der Fläche befinden sich Versuchspartzen, auf denen Monokulturen, 2-Arten-Mischungen oder 4-Artenmischungen wachsen. Zudem wurden die Partzen so angelegt, dass sich in jeder Mischung Baumgemeinschaften befinden, die nur arbuskuläre Mykorrhiza, nur Ektomykorrhiza oder beide Typen ausbilden. Auf jedem der 80 zufällig angeordneten Partzen wachsen 140 Bäume auf jeweils 121 m². Der Boden wurde in den ersten Jahren mit einer wasserdurchlässigen schwarzen Unkrautfolie abgedeckt, um Unkräuter zu unterdrücken, die mit den Bäumen in den ersten Jahren konkurrieren oder Effekte gar verfälschen könnten. Dies sollte zudem Mäusepopulationen geringhalten. Mäuse können an jungen Baumwurzeln erheblichen

Verbisschaden anrichten. Die Folie wurde größtenteils wieder entfernt. Ein kleiner Teil der Folie ist noch auf den Parzellen verblieben, um die Langzeiteffekte der Folie, sprich das Fehlen des Laubstreueintrags, auf das unterirdische Nahrungsnetz zu untersuchen. Laubstreu stellt eine der wichtigsten basalen Ressourcen im Boden dar.



Versuchsdesign der Forschungsplattform MyDiv im Osten der Versuchsstation in Bad Lauchstädt. Baumgemeinschaften in den Parzellen wurden als Monokulturen, 2-Artenmischungen und 4-Artenmischungen angelegt. Jedes der drei Level besteht wiederum aus Gemeinschaften, die nur arbuskuläre Mykorrhiza (AMF), nur Ektomykorrhiza (EMF) oder beide Typen (both) ausbilden.

	AM	EM	both
1 sp.			
2 spp.			
4 spp.			

Baumarten

Arbuskuläre Mykorrhiza: Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), Gewöhnliche Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*), Vogel-Kirsche (*Prunus avium*), Eberesche (*Sorbus aucuparia*)

Ektomykorrhiza: Hänge-Birke (*Betula pendula*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Traubeneiche (*Quercus petraea*), Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*)

Erhobene Variablen / Prüfmerkmale

Bäume

Mykorrhizierungsraten, DNA der Mykorrhizapilze an Wurzeln
Höhe, Durchmesser (Basis und Brusthöhe)
Vitalität
Soziologische Stellung in der Baumgemeinschaft
Verbiss, andere Schäden
Biomasse/Produktivität
Allometrien von Laubbäumen
Wurzelexsudate
Aufnahme von Stickstoffverbindungen
Verschiedene Blattmerkmale



Tiere

Blattfraß
Räuberische Fauna in den Bäumen
Artenspektrum baumbewohnender Tiere
Artenspektrum bodenbewohnender Tiere
Energieflüsse im System

Bodenkunde (obere 10 cm)

Bodenprofil (1m)
Bodentextur
pH-Wert
Organischer und anorganischer Kohlenstoff-Gehalt
Gesamt-Stickstoff/-Phosphor-Gehalt



Mikroorganismen

Mikrobielle Gemeinschaftsstruktur und Biomasse
im Boden (PLFA-/Respirations-Methode)
Zersetzung (Holzstäbchen-Methode)

Mikroklima

Luft (Höhe 15, 100 cm): Temperatur, Feuchtigkeit,
alle Parzellen)

Boden (Tiefe: 5, 15 und 55 cm): Temperatur,
Feuchtigkeit, alle Parzellen



(a) MyDiv im Mai 2015 nach Fertigstellung; (b) Beprobung von Duftstoffen an Bäumen, Kooperationsprojekt mit TROPOS (c) Luftbild des MyDiv von Nordosten 2021.

Das MyDiv ist außerdem Mitglied in einem globalen Netzwerk von Baumdiversitätsexperimenten (TreeDivNet, <http://www.treedivnet.ugent.be>). Durch Kooperationen und gemeinsame Studien zwischen Baumexperimenten in verschiedenen Klimazonen möchte man die globale Allgemeingültigkeit von ökologischen Mustern, Prozessen und Funktionen überprüfen und ihre Kontextabhängigkeit verstehen.

14. Nutrient Network: Ein globales Forschungsnetzwerk, das die Auswirkungen von Nährstoffanreicherung auf Grasländer untersucht

Prof. Dr. Nico Eisenhauer (nico.eisenhauer@idiv.de) und **Dr. Marie Sünnemann** (marie.suennemann@idiv.de)

Universität Leipzig, Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig)

Dr. Sylvia Haider (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig)

Hintergrund

Weltweit werden Ökosysteme von Menschen verändert, was in vielen Fällen zu einem erheblichen Rückgang der Biodiversität führt. Eine besondere Rolle spielt dabei die Nährstoffanreicherung durch Düngung und die Verbrennung fossiler Brennstoffe. So hat sich der globale Stickstoff- und Phosphorgehalt in Luft, Wasser und Boden seit der Industrialisierung verdoppelt bzw. verfünffacht. Gleichzeitig greift der Mensch massiv in Ökosysteme ein, indem er Lebensräume vernichtet und im Zuge von Jagd und Fischerei Bestände dezimiert. Auf der anderen Seite werden durch Viehhaltung oder im Rahmen von Naturschutz- oder Freizeitaktivitäten neue Arten eingeführt, so dass sich die Zusammensetzung grundlegend verschiebt.

Auch wenn die globale Bedeutung dieser menschlichen Aktivitäten schon lange bekannt ist, existierte bisher kein international koordinierter Forschungsansatz, um die Folgen im Detail zu untersuchen. Das internationale Forschungsnetzwerk „Nutrient Network“ (NutNet) hat es sich zum Ziel gemacht, die folgenden Fragen für Wiesen- und Weideökosysteme auf über 130 Standorten weltweit zu beantworten (Abb. 1):

- Wie gut ist unser derzeitiges Verständnis über die Zusammenhänge von Ökosystem-Produktivität und Diversität?
- Inwieweit sind Produktivität und Diversität in naturnahen Weide- und Wiesen-Ökosystemen weltweit durch verschiedene Nährstoffe limitiert?
- Unter welchen Bedingungen können Pflanzenfresser oder Düngung die Biomasse, Diversität oder Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften maßgeblich beeinflussen?

Das Nutrient Network arbeitet mit einem einheitlichen Versuchsaufbau und stellt standardisierte Protokolle zur Verfügung, die auf allen Flächen weltweit zum Einsatz kommen. Nähere Informationen stehen unter [http:// nutnet.umn.edu/](http://nutnet.umn.edu/) zur Verfügung.



Abbildung 3: Weltweite Versuchsflächen des Nutrient Network

Tabelle 2: Versuchsaufbau für einen der drei Blöcke (Wiederholungen). Auf der Fläche in Bad Lauchstädt gibt es keine Zäune zum Ausschluss von Herbivoren.

	N	P	K ⁺	Ausschluss von Herbivoren
1 (Kontrolle)	0	0	0	0
2	0	0	X	0
3	0	X	0	0
4	X	0	0	0
5	0	X	X	0
6	X	0	X	0
7	X	X	0	0
8	X	X	X	0
9	0	0	0	X
10	X	X	X	X

Die Versuchsfläche in Bad Lauchstädt

Seit 2015 existiert auch auf der Versuchsstation Bad Lauchstädt eine Fläche des Nutrient Network und seit 2016 werden regelmäßig die Behandlungen mit Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumsulfatdünger in unterschiedlichen Kombinationen durchgeführt (Tabelle 1). Jährlich werden Vegetationsaufnahmen gemacht, die Biomasse geerntet, Bodenproben genommen und die Lichtintensität gemessen. Diese Daten sind bereits in die zentrale Datenbank eingeflossen. Darüber hinaus nehmen wir an mehreren Zusatzprojekten teil, in denen unter anderem Stickstofffixierung, Fraßschäden durch Insekten und die Skalenabhängigkeit von pflanzlicher Artenvielfalt untersucht werden. Besonderer Fokus liegt in Bad Lauchstädt auf den potentiellen Veränderungen von Gemeinschaften und Prozessen im Boden.



Neuste Ergebnisse

Bodenfeuchte als zentraler Einflussfaktor für biologische Aktivität in globalen Graslandschaften

In dieser Studie untersuchen wir die Einflüsse auf die Aktivität von Bodenmikroben und Zersettern in Graslandschaften, die sich über fünf Kontinente erstrecken und unterschiedliche Klimabedingungen aufweisen. Hierfür wurden in 26 NutNet-Experimenten in Nord- und Südamerika, Europa, Asien und Australien die mikrobielle Aktivität sowie die Fraßaktivität von Bodenzeresetzern, wie Regenwürmern, Collembolen und Enchyträen, erfasst. Zusätzlich zur üblichen Nährstoffzugabe in den NutNet-Experimenten haben wir auf einigen Versuchsflächen die Anzahl der Herbivoren reduziert, um die wichtigsten regionalen und lokalen Einflüsse auf die Aktivität der Bodenorganismen zu identifizieren. Mithilfe von strukturellen Gleichungsmodellen analysieren wir, wie diese Faktoren die Bodenbiologie direkt und indirekt beeinflussen. Die Aktivität von Mikroben und Zersettern zeigt weltweit eine positive Korrelation, die mehr durch globale Klimafaktoren als durch lokale Maßnahmen bestimmt wird. Dabei erklären der jährliche Niederschlag und der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens den größten Teil der Variationen. Die Zugabe von Nährstoffen verringert meist die mikrobielle Aktivität, indem sie das Pflanzenwachstum fördert, während eine Reduktion der Herbivoren durch erhöhte Bodenfeuchtigkeit die Aktivität von Mikroben und Zersettern steigert. Unsere Ergebnisse betonen die Bodenfeuchtigkeit als zentralen Faktor für die biologische Aktivität im Boden und unterstreichen die möglichen Auswirkungen von Klimawandel, verändertem Weidedruck und Eutrophierung auf den Nährstoffkreislauf und die Zersetzung in Graslandökosystemen.

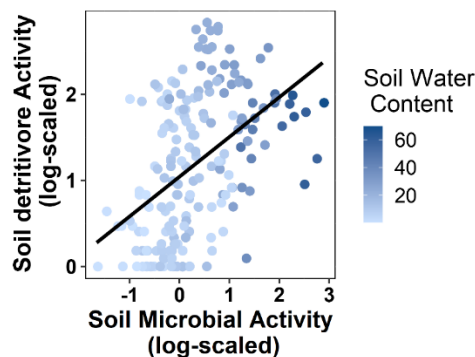


Abb 1: Korrelation zwischen mikrobieller Aktivität und Aktivität von Bodendestruenten. Korrelation der mikrobiellen Aktivität im Boden und der Aktivität von Zersettern (beide logarithmisch skaliert, Daten von 18 Standorten einbezogen; $F = 9,15$, $p = 0,003$). Die Farbe der Datenpunkte (blau) zeigt den Bodenfeuchtigkeitsgrad der Probe an.

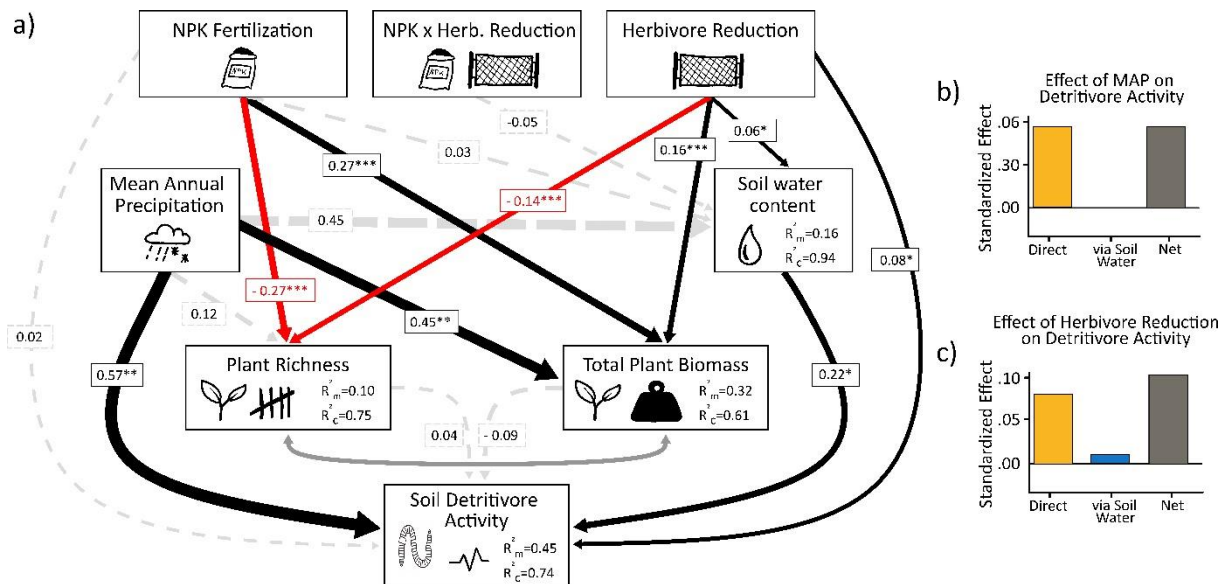


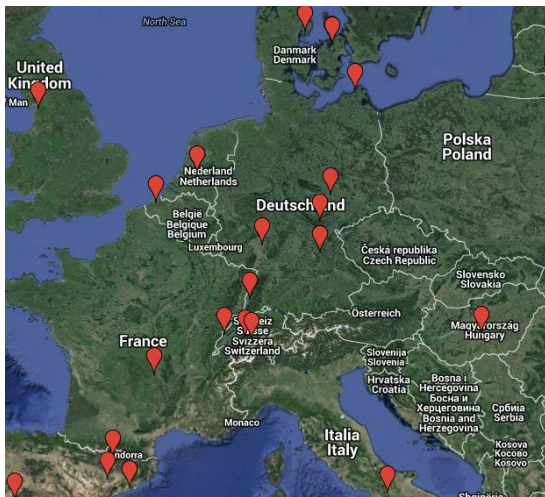
Abb 2: a) Aktivität von Zersettern im strukturellen Gleichungsmodell, das die Auswirkungen der NPK-Düngung und die Reduktion von Herbivoren zeigt (Fishers C = 1,88; P = 0,758; Freiheitsgrade = 4; 18 Standorte). Schwarze Pfeile zeigen signifikante positive und rote Pfeile signifikante negative ($P < 0,05$). Gestrichelte graue Pfeile zeigen nicht signifikante Effekte ($P > 0,05$). Die Breite der Pfeile steht im Verhältnis zu ihrer Effektgröße. Die Zahlen entlang der Pfeile sind standardisierte Pfadkoeffizienten. b) Direkte, indirekte und Nettoeffekte der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge (MAP) auf die Aktivität der Zersetzer und c) direkte, indirekte und Nettoeffekte der Herbivorenreduktion auf die Aktivität der Zersetzer.

Siebert, J., Sünemann, M., Hautier, Y., Risch, A.C., Bakker, J.D., Biederman, L., Blumenthal, D.M., Borer, E.T., Bugalho, M.N., Broadbent, A.A.D., Caldeira, M.C., Cleland, E., Davies, K.F., Eskelinen, A., Hagenah, N., Knops, J.M.H., MacDougall, A.S., McCulley, R.L., Moore, J.L., Power, S.A., Price, J.N., Seabloom, E.W., Standish, R., Stevens, C.J., Zimmermann, S., Eisenhauer, N., 2023. Drivers of soil microbial and detritivore activity across global grasslands. *Commun Biol* 6, 1220. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05607-2>

15. Drought-Net: Ein globales Netzwerk zur Untersuchung der Auswirkung von extremer Dürre auf terrestrische Ökosysteme

Nico Eisenhauer, Marie Sünemann: iDiv Leipzig; Harald Auge: UFZ Halle

Hintergrund: Der Klimawandel wird viele Ökosysteme weltweit verändern. Vorhersagen beschreiben häufige und extremere Dürreereignisse, die einen entscheidenden Einfluss auf terrestrische Ökosysteme haben werden. Für terrestrische Ökosysteme ist bekannt, dass sie sich in ihrer Reaktion auf Dürreereignisse stark unterscheiden können. Bislang stellen die Mechanismen, die zu solch unterschiedlichen Reaktionen führen, eine Wissenslücke dar. Um die Auswirkungen von Dürre effektiv vorhersagen zu können, werden in einem weltweiten Netzwerk viele unterschiedliche terrestrische Ökosysteme einem Dürreereignis ausgesetzt, wie es nur einmal in 100 Jahren vorkommt.



Experimentelle Standorte in Europa



Experimentelle Standorte weltweit

Drought-Net-Fläche Bad Lauchstädt:

Die Parzellen werden seit März 2016 drei verschiedenen Klimabehandlungen ausgesetzt: „Dürre“: kontinuierliche Reduktion des Niederschlags um 55% mittels spezieller Dachkonstruktionen; „Infrastrukturkontrolle“: 100% des Niederschlags mittels umgedrehter Dächer; „Kontrolle“: Parzellen ohne Dächer. Zusätzlich erhalten die Parzellen der „Dürre“ und „Infrastrukturkontrolle“ entweder die vollständige NPK-Düngung entsprechend des NutNet-Protokolls oder keine zusätzliche Düngung, um die Wechselwirkung zwischen Dürre und Nährstoffdeposition zu untersuchen. Auf allen Parzellen werden jährlich die Arten- und funktionelle Zusammensetzung der Vegetation, die oberirdische Biomasse, der Streuabbau und weitere bodenökologische Prozesse untersucht.



Abb. 1: Aufnahme links: Dachkonstruktionen, die Wasser von den Versuchspartzen ableiten und dadurch den Niederschlag um 55 % reduzieren. Aufnahme rechts: Auswirkungen der experimentellen Trockenheit unter den Dächern auf die Vegetation im Frühjahr 2021.

Neueste Ergebnisse

Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden über die Zeit:

Wir untersuchten die Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft mittels DNA-Sequenzierung von 2017 bis 2021, um herauszufinden, wie sich das Mikrobiom in Reaktion auf die im Experiment simulierten Faktoren des globalen Wandels, nämlich Trockenheit und Nährstoffanreicherung, verändert. Im Jahr 2018 kam es jedoch zu einer extremen Dürreperiode, die das Mikrobiom ebenfalls stark beeinflusste. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich die mikrobielle Gemeinschaft in Reaktion auf diese Trockenperiode stark verändert hat und in den folgenden Jahren nicht zur ursprünglichen Zusammensetzung zurückkehrte. Gleichzeitig beeinflussten die experimentellen Bedingungen das Mikrobiom. Innerhalb der Bakteriengemeinschaften nahmen die Unterschiede (Dissimilaritäten) mit Trockenheit und Düngung zu, und dieser Effekt wurde durch die Kombination von Trockenheit und Düngung noch verstärkt. Bei den Eukaryoten zeigte sich ein gegenteiliger Effekt: Die Gemeinschaften unter der Behandlung von Trockenheit und Düngung wiesen eine reduzierte Dissimilarität auf, was darauf hindeutet, dass sich diese Gemeinschaften möglicherweise schon besser an widrige Bedingungen angepasst haben könnten. Diese langfristigen Veränderungen in der mikrobiellen Gemeinschaft könnten tiefgreifende Auswirkungen auf die biogeochemischen Zyklen und die Biodiversität des Bodens haben, was wiederum die Resilienz der Ökosysteme gegenüber zukünftigen Umweltveränderungen beeinflussen könnte.

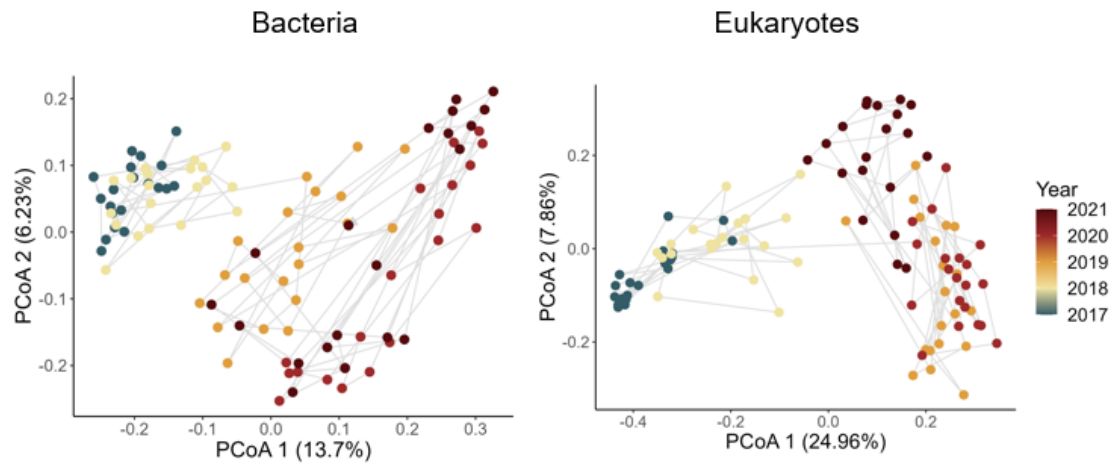


Abb. 2: Veränderungen in den bakteriellen und eukaryotischen Gemeinschaften von 2017 bis 2021, basierend auf einer Bray-Curtis-Dissimilaritätsmatrix. Grün steht für 2017, Gelb für 2018, Orange für 2019, Rot für 2020 und Dunkelrot für 2021.

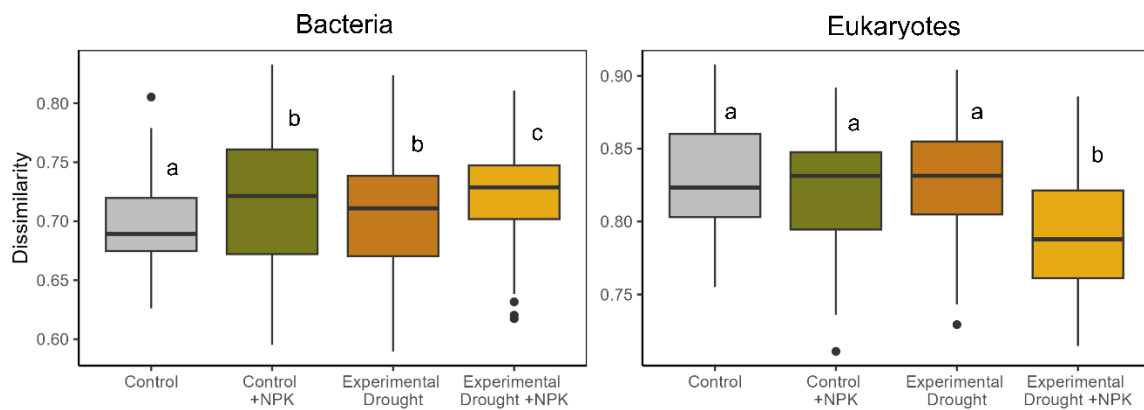


Abb. 3: Die Auswirkungen von Trockenheit, NPK-Düngung und deren Interaktion auf die Dissimilarität der bakteriellen und eukaryotischen Gemeinschaften. Grau steht für die Kontrolle; Grün für NPK-Düngung, Orange für Trockenheit und Gelb für die Kombination aus Trockenheit und Düngung.

16. DRAGNet: Auswirkungen von Störungen und Nährstoffverfügbarkeit auf Grasländer - ein globales Netzwerk -

Stanley W. Harpole, Christiane Roscher (UFZ/iDiv)

Zielstellung

Veränderungen in der Landnutzung und Verlust bzw. (Zer)Störung von Habitaten sind wesentliche Faktoren, die zu einem Rückgang an biologischer Vielfalt führen. In Grasländern können sogar kleinräumige Störungen messbare und anhaltende Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung und Ökosystemfunktionen haben. Wie solche Störungen und aktuelle Faktoren des globalen Wandels (d.h. Veränderungen im Klima, Deposition von Nährstoffen) sich auf die Dynamik von Artengemeinschaften auswirken, ist eine wichtige Fragestellung, um Vorhersagen für die Entwicklung von Ökosystemen unter sich verändernden Umweltbedingungen zu treffen.

Das Netzwerk DRAGNet untersucht die Veränderung von Grasländern in einer weiten Spanne von biotischen und abiotischen Bedingungen unter dem Einfluss von Störung (1) und Nährstoffverfügbarkeit (2), die in einem faktoriellen Design experimentell manipuliert werden.

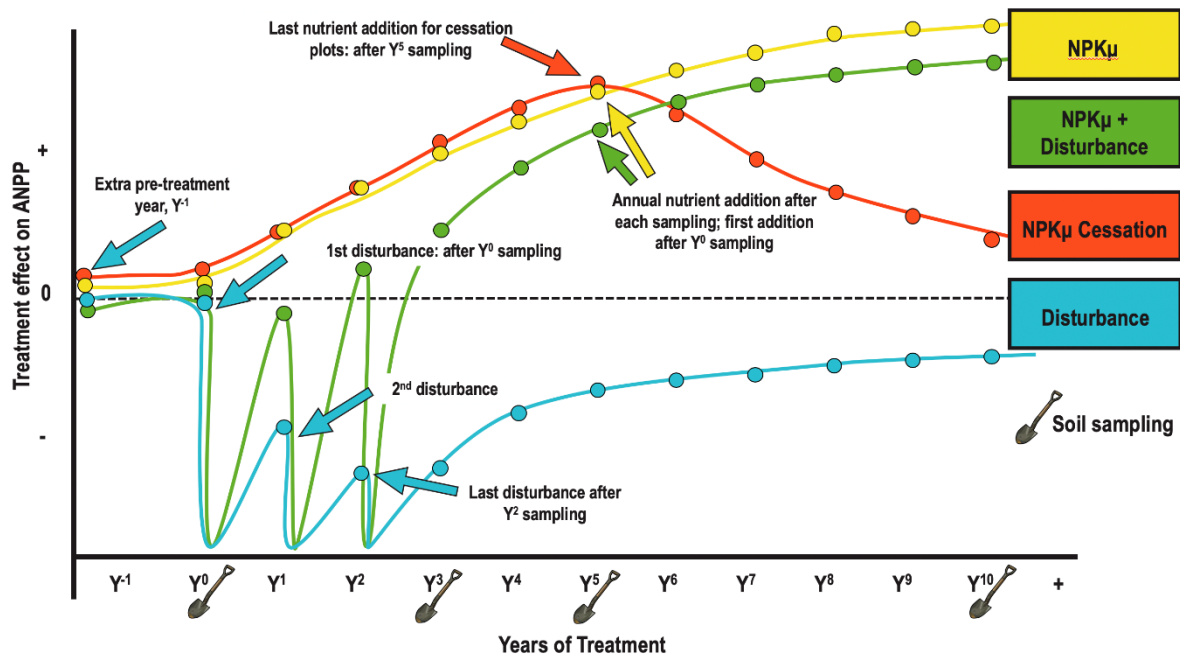
Konkret werden folgende Ziele verfolgt:

- (i) Quantifizierung der Vegetationsdynamik nach einer Störung unter ambienter und erhöhter Nährstoffverfügbarkeit
- (ii) Ermittlung der Rolle lokaler und regionaler Prozesse für die Dynamik von Graslandgemeinschaften
- (iii) Quantifizierung der Resistenz und Resilienz von Graslandgemeinschaften nach einem Nährstoffpuls
- (iv) Überprüfung der Reproduzierbarkeit ökologischer Experimente durch den Vergleich von Daten aus dem Netzwerk NutNet und der Etablierung der gleichen Behandlungen (Kontrolle, Düngung) mit einem unterschiedlich zeitlichen Beginn der Experimente

Es werden folgende experimentelle Behandlungen durchgeführt:

- (1) NPK μ (jährliche Düngung mit NPK + einmalig mit Mikronährelemente)
- (2) Disturbance (Störung: experimentelle Entfernung der Vegetation und Störung des Oberbodens über drei Jahre)
- (3) NPK μ + Disturbance
- (4) NPK μ Cessation (Düngung in den ersten 5 Jahren)
- (5) Kontrolle

Das Experiment besteht aus drei Versuchsblöcken, in denen jede Behandlung einmal etabliert wird (= 15 Versuchsplots).



Timeline and one hypothesis of response of ANPP to disturbance and nutrient addition.

Die Abbildung (Quelle: <https://nutnet.org/dragnet>) zeigt den geplanten zeitlichen Verlauf des Experimentes, welches derzeit weltweit an bisher ca. 40 Standorten etabliert wird.

Die Versuchsfläche in Bad Lauchstädt wurde 2020 (= Jahr Y-1) etabliert. Die erste Störung wurde im Herbst 2021 durchgeführt, so dass im Herbst 2023 die dritte (und damit letzte) Störung erfolgte. Die erste Düngung erfolgte im März 2021, und wird jährlich im Frühjahr wiederholt. Neben der regelmäßigen Datenaufnahme zur Biomasseproduktion und Artenzusammensetzung wurden bisher auch der Samenregen und die Samenbank untersucht. Seit 2022 wurden sog. Phenocams installiert, mit denen über tägliche Aufnahmen die zeitliche Entwicklung der Vegetation untersucht wird. Außerdem wurden zu Versuchsbeginn im Herbst 2020 auf allen Parzellen Bodenproben entnommen; diese Beprobung wird im Herbst 2024 wiederholt. Die chemischen Analysen der Bodenproben erfolgen einheitlich für die weltweit verteilten Versuchsstandorte in einem Labor in den USA.



Versuchsflächen im Frühjahr 2022 mit installierten Phenocams und den etablierten Versuchsbehandlungen (rechts: eine im Herbst 2021 gestörte Fläche).

17. BadBug – part of BugNet

Malte Jochum (JMU Würzburg), Lotte Korell (UFZ)

The Bug-Network (<https://bug-net.org/>) is a global collaborative research initiative, led by researchers from the University of Bern, Switzerland, to study the impact of invertebrate herbivores, molluscs, and pathogenic fungi on plant communities and ecosystems. Arthropod herbivores, molluscs, and fungal pathogens will be excluded from different plots to study their impact. Our experimental site “BadBug” was established in late 2021 at the field research station of the Helmholtz-Centre for Environmental Research in Bad Lauchstädt, Germany. BadBug is jointly led by Dr. Lotte Korell (UFZ) and Prof. Dr. Malte Jochum (JMU Würzburg), with support by Dr. Harald Auge, Dr. Martin Schädler, and Prof. Nico Eisenhauer. At BadBug, we aim to assess responses of the plant community, above-belowground arthropod community, and soil conditions to the experimental exclusion of arthropods, molluscs, and fungal pathogens. Since September 2023, Ioannis Constantinou (iDiv) is the PhD student working in BadBug.

BadBug treatment allocation

Treatment codes

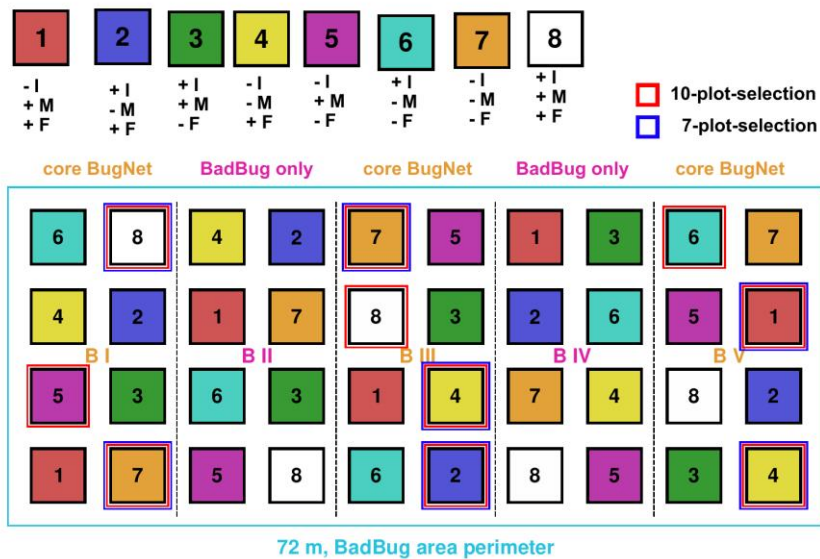


Fig. 1: BadBug plot arrangement with treatment allocation. I, M, and F denote insects, molluscs, and fungi, respectively. + Means no exclusion, - means exclusion of the respective group.

Treatments in map

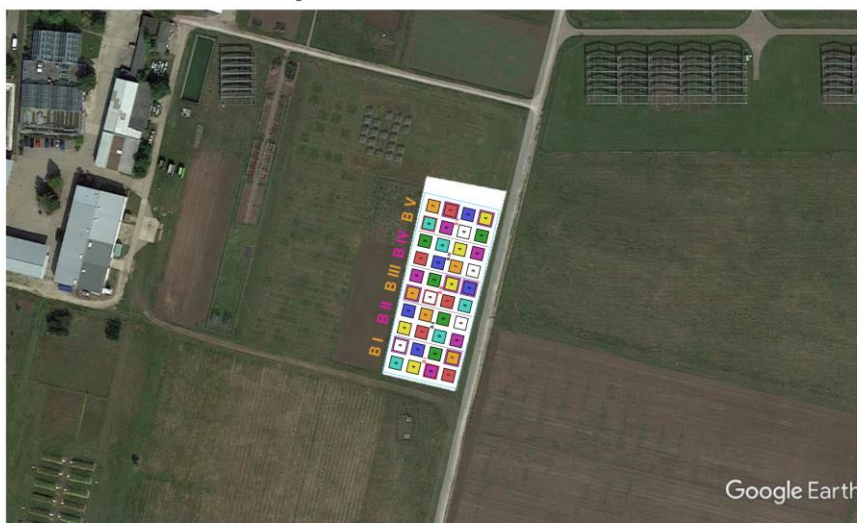




Fig. 2: The BadBug plots after initial setup a) in late 2021 and b) in May 2023.

18. Forschungsplattform iDiv Ecotron: Der Einfluss von multitrophischer Biodiversitätsmanipulation auf Ökosystemfunktionen unter kontrollierten Umweltbedingungen, etabliert: Mai 2017

Pierre Ganault^{1,2}, Jes Hines^{1,2}, Alban Gebler^{1,2},
Oliver Bednorz³, Nico Eisenhauer^{1,2}

1. iDiv, 2. University of Leipzig, 3. UFZ

Zielstellung

Das **iDiv Ecotron** ist eine gemeinsame Forschungsplattform des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und des [Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ](#). Im iDiv Ecotron sollen die Mechanismen erforscht werden, die dem Zusammenhang von Biodiversität und Ökosystemfunktionen zugrunde liegen. Dafür wird die Biodiversität in terrestrischen Ökosystemen auf mehreren trophischen Ebenen gleichzeitig manipuliert. Diese Biodiversitätsmanipulation simuliert Veränderungen der biologischen Vielfalt in natürlichen Ökosystemen und hilft so, die Mechanismen für das Funktionieren solcher Ökosysteme sowie die Auswirkungen des Artenverlustes auf diese zu erforschen.

Das iDiv Ecotron besteht aus 24 identischen Versuchseinheiten, den so genannten „EcoUnits“, die jeweils in vier Kammern unterteilt werden können, so dass die Untersuchung von bis zu 96 voneinander isolierten Ökosystemen möglich ist. Im iDiv Ecotron können ober- und unterirdische Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Tier- und Pflanzenarten, Mikroorganismen und abiotischen Faktoren untersucht sowie Stoff- und Energieflüsse unter naturnahen Bedingungen mit nicht invasiven Methoden gemessen werden. Zugleich werden die Umweltbedingungen (u.a. Lufttemperatur, Beregnungsintensität und Bodentemperatur) nach Bedarf gesteuert und reguliert.

Experimentelles Design

Das iDiv Ecotron wurde in einer klimagesteuerten Halle mit einer Fläche von 580 m² errichtet und beherbergt 24 identische *EcoUnits*, die jeweils ein bis vier voneinander isolierte Ökosysteme aufnehmen können. Die *EcoUnits* (Abb. 1) wurden so konstruiert, dass ein hohes Maß an Flexibilität in der Wahl der zu untersuchenden Ökosysteme und in der Anwendung von verschiedenen Behandlungen gewährleistet werden kann. Jede *EcoUnit* kann, je nach Bedarf, mit einem einzigen, großräumigen Ökosystem ausgestattet werden (N=24) oder nur oberirdisch mittels Trennwänden, nur unterirdisch mittels Lysimetern oder in beiden Bereichen in bis zu vier Kompartimente aufgeteilt werden, in denen entsprechend vier weitestgehend unabhängige Ökosysteme unter verschiedenen Behandlungen etabliert werden können (N=96). Die Dimensionen der *EcoUnits* ermöglichen realistische Interaktionen zwischen Pflanzen, wirbellosen Tieren und Mikroorganismen. Innerhalb der Versuchskammern sollen natürliche Bedingungen simuliert werden, wie etwa Regen durch ein automatisiertes Beregnungssystem oder ein Temperaturgradient im Boden durch eine Unterbodenkühlung.

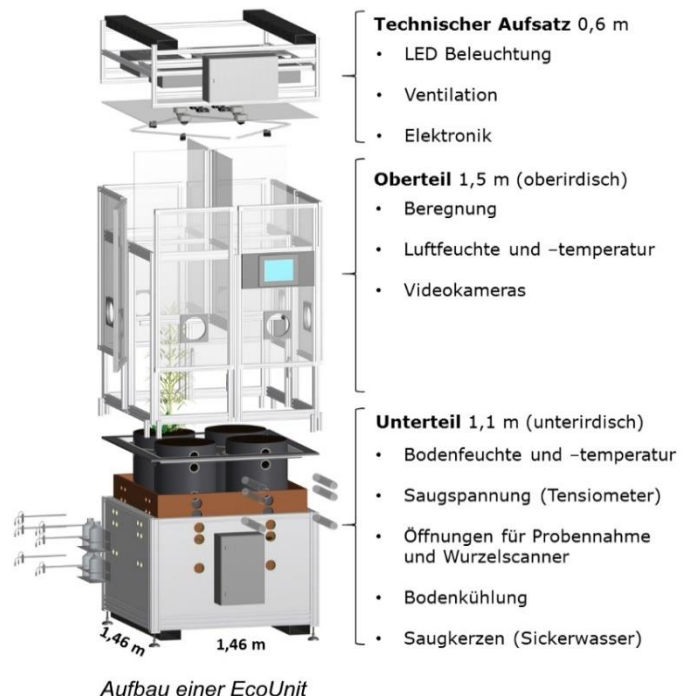


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Versuchseinheit „EcoUnit“ mit technischer Ausstattung



Abb. 1: Experimentelle Baumgemeinschaften im iDiv-Gewächshaus (links) und den iDiv-Ecotrons (rechts).

Im Jahr 2023 wurden im Ecotron die folgenden Experimente durchgeführt: FunDrought

Zusammenbauen. Zerlegen. Wieder zusammenbauen. Was würden Sie tun, wenn Sie die Welt gestalten könnten? Pierre Ganault und Nico Eisenhauer (beide iDiv, UL) haben sich genau diese Frage gestellt. Sie war Teil einer offenen Ausschreibung für Experimente, die im iDiv-Ecotron von Juni bis Dezember 2023 laufen sollten. Ihre Arbeit wird von der Beobachtung motiviert, dass die biologische Vielfalt nicht gleichmäßig auf der Welt verteilt ist. In einigen Regionen ist eine hohe oberirdische Vielfalt mit einer hohen unterirdischen Vielfalt gekoppelt. In anderen Regionen weisen die beiden Systeme unterschiedliche Diversitätsmuster auf. Die beiden Wissenschaftler möchten erforschen, wie die Muster der ober- und unterirdischen Biodiversität die Anfälligkeit von Ökosystemen gegenüber Klima-Stressoren wie Dürre beeinflussen. Pierre Ganault und Nico Eisenhauer haben in den iDiv-Ecotrons Modellgemeinschaften zusammengestellt, um zu testen, wie Unterschiede in der Biodiversität über und unter der Erde die Reaktion von Wäldern auf Wassermangel beeinflussen. Dafür wurden zunächst Baumgemeinschaften mit unterschiedlicher funktioneller Diversität im iDiv-Gewächshaus herangezogen. Diese Bäume wurden dann in das iDiv-Ecotron gepflanzt. Mithilfe eines faktoriellen Versuchsdesigns wurde dann gezielt die funktionelle Vielfalt der Zersetzer und Baumschösslinge verändert. Alle diese Versuchsgemeinschaften wurden Trockenperioden ausgesetzt. Viele Kolleg:innen halfen mit, um zu analysieren, wie diese Ökosysteme auf die experimentelle Dürre und die verschiedenen Diversitätsbedingungen reagieren. Claudia Guimarães Steinicke und Marina Flicker aus der AG Feilhauer (RSC4Earth: UL) zum Beispiel maßen eine Zeitreihe der Blattreflexion, welches eine schnelle und zerstörungsfreie Methode ist um ein Pflanzenmerkmal zu bewerten, das bei der Reaktion auf Dürre eine Rolle spielt. Mehrere andere Postdocs der iDiv haben ebenfalls ihr Fachwissen eingebracht. Zusammen können wir die Reaktionen der Ökosysteme viel umfassender bewerten, als es jeder Forscher für sich könnte.