

Versuchsstation Bad Lauchstädt 2023

Themenbereich Ökosysteme der Zukunft des
Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung



Foto: Künzelmann

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

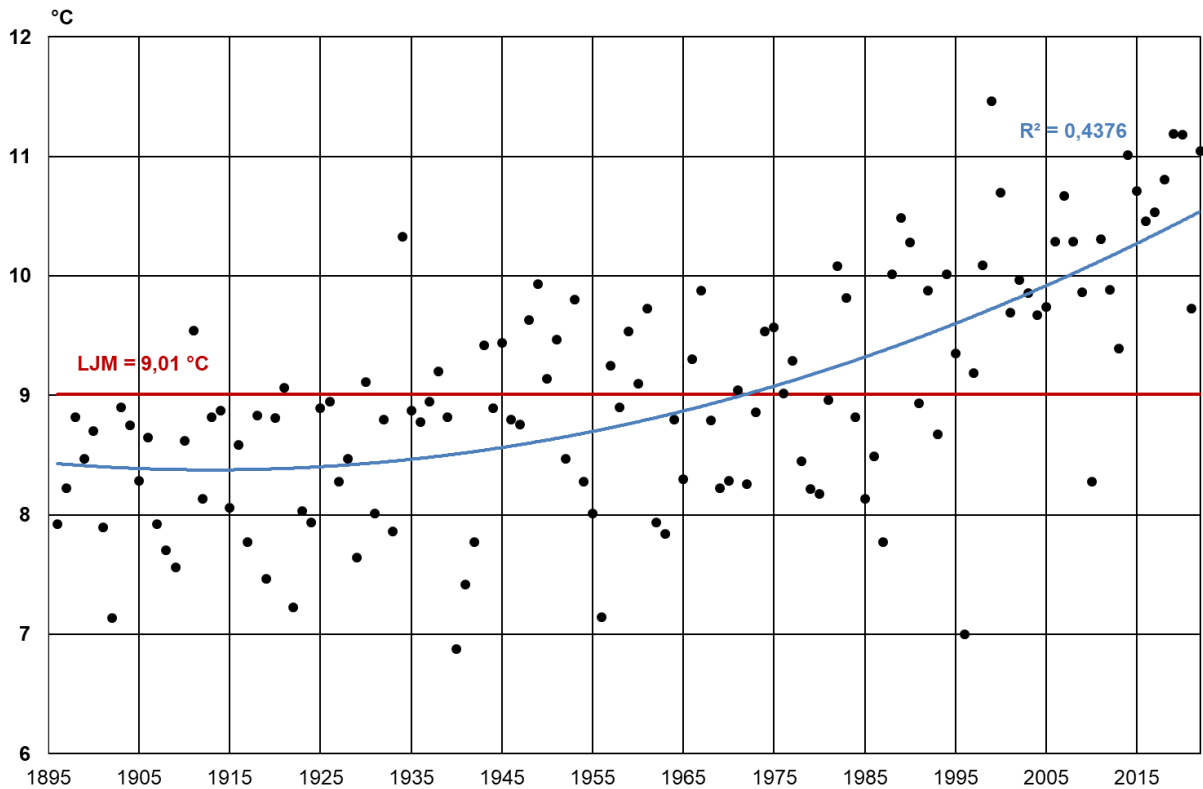
Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) betreibt Spitzenforschung und stellt sich den großen und gesellschaftlich zunehmend relevanten Themen wie Umweltwandel durch Arten- und Lebensraumverlust, nachhaltige Entwicklung und Bioressourcenmanagement.

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.

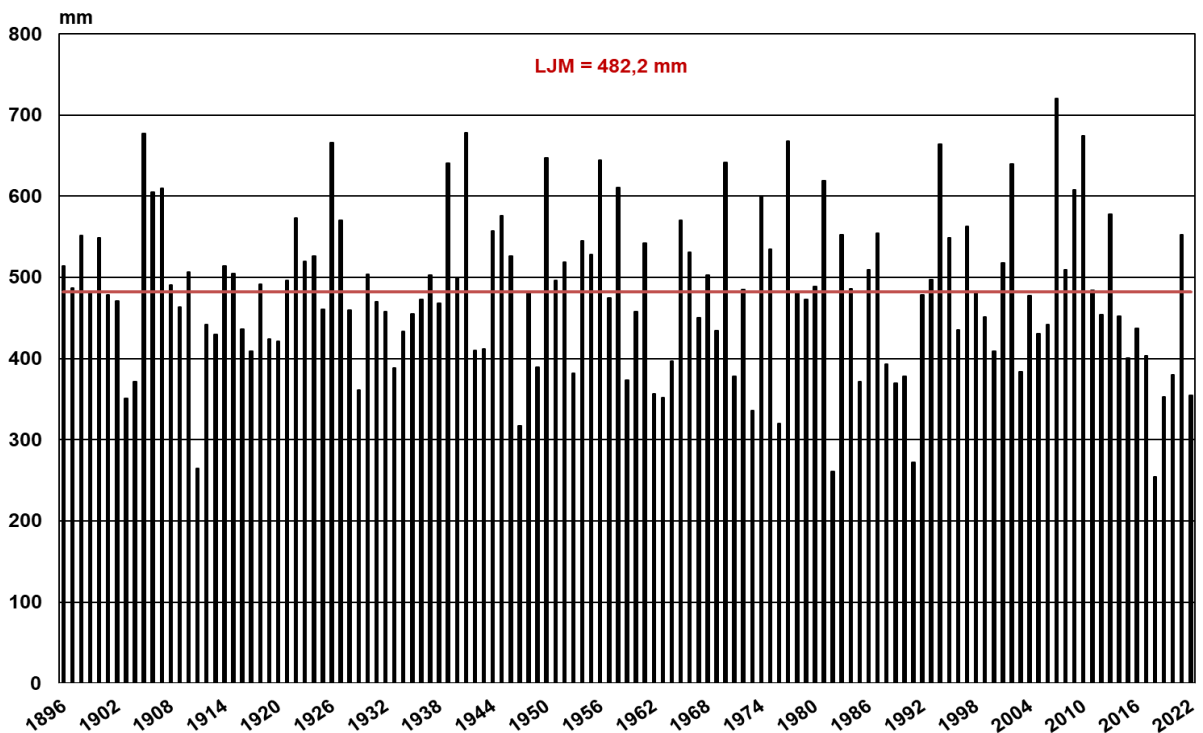
Inhaltsverzeichnis

1.	Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschläge am Standort Bad Lauchstädt	4
2.	Das Bodenprofil in Bad Lauchstädt	6
3.	Global Change Experimental Facility – GCEF	9
4.	Lysimeterstation Bad Lauchstädt (Tereno)	15
5.	TrophinOak-PhytOakmeter	19
6.	Biodiversitätsexperiment mit Graslandarten – DivResource	24
7.	DFG Schwerpunktprogramm „Raum-zeitliche Organisation der Rhizosphäre – der Schlüssel zum Verständnis von Rhizosphärenfunktionen“ (SPP 2089)	27
8.	Die Lauchstädter Dauerversuche	29
9.	Statischer Düngungsversuch V120 – Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung	31
10.	Der Erweiterte Statische Düngungsversuch V120 a	42
11.	Stallmiststeigerungsversuch V494	46
12.	Bracheversuch V505a	53
13.	Bodenmonitoring mittels Methoden der Fernerkundung und Proximalbodenerfassung	56
14.	Forschungsplattform MyDiv	58
15.	Nutrient Network: Ein globales Forschungsnetzwerk, das die Auswirkungen von Nährstoffanreicherung auf Grasländer untersucht	61
16.	<u>Drought-Net</u> : Ein globales Netzwerk zur Untersuchung der Auswirkung von extremer Dürre auf terrestrische Ökosysteme	63
17.	DRAGNet: Auswirkungen von Störungen und Nährstoffverfügbarkeit auf Grasländer – ein globales Netzwerk	67
18.	BadBug – part of BugNet: Untersuchung der Auswirkungen von wirbellosen Pflanzenfressern und pathogenen Pilzen auf Pflanzengemeinschaften und Ökosysteme	69
19.	Forschungsplattform iDiv Ecotron: Der Einfluss von multitrophischer Biodiversitätsmanipulation auf Ökosystemfunktionen unter kontrollierten Umweltbedingungen	71

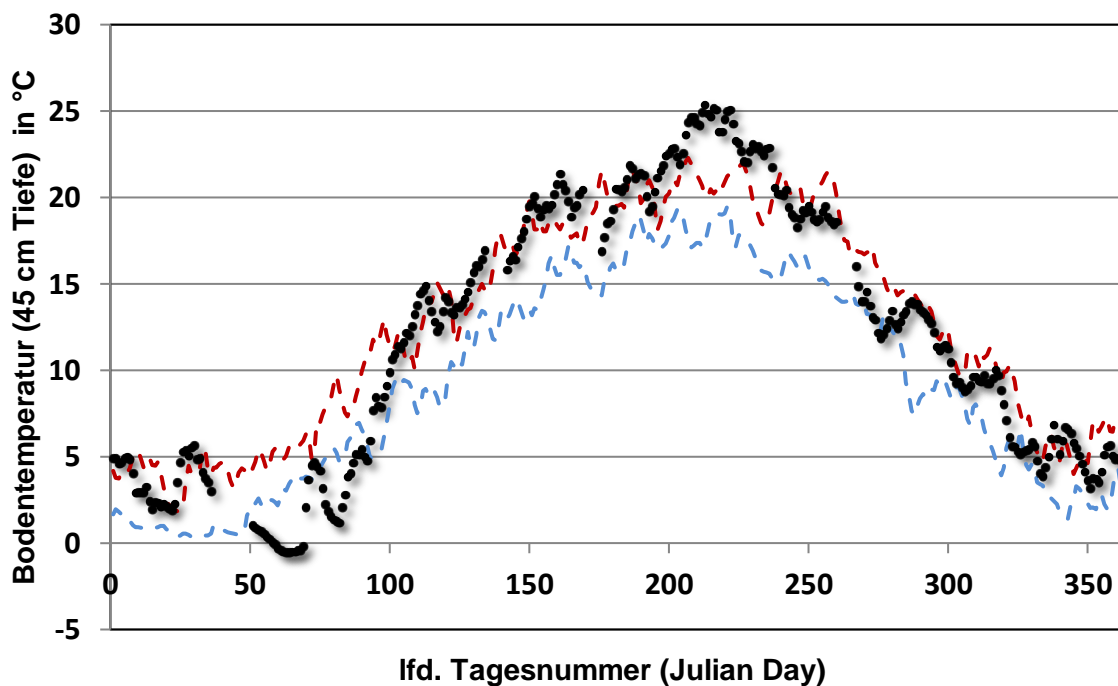
1. Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschläge am Standort Bad Lauchstädt 1896-2022



Temp. °C	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
2022	3,7	5,3	4,8	8,3	15,2	19,4	19,8	20,9	14,2	13,2	6,0	1,7	11,0
5jährig	0,9	2,2	5,6	9,5	13,1	18,7	19,7	19,5	15,0	10,5	5,4	3,3	10,3
10jährig	1,3	1,4	4,9	10,0	13,3	18,2	19,8	19,5	15,1	10,4	5,4	3,3	10,2
LJM 1896-2022	0,9	1,6	4,8	9,4	13,3	17,1	18,9	18,6	14,6	9,9	5,2	2,4	9,0



Nied. mm	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
2022	33,4	29,1	15,7	10,6	35,6	32,7	40,0	14,3	53,9	33,9	19,3	36,2	354,7
5jährig	30,6	21,0	25,5	18,7	37,9	29,0	40,1	48,8	45,6	32,6	21,8	27,1	378,9
10jährig	28,8	20,4	25,6	21,8	49,1	36,6	52,7	55,2	39,5	37,1	27,6	22,1	416,6
LJM 1896-2022	26,2	23,1	29,2	34,1	52,0	58,2	65,6	57,4	39,7	35,9	32,2	28,6	482,2



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 2014-2022 (mm)

Ist	Soll	Diff.	
3135,0	3857,6	-722,6	seit 2014
5777,9	6268,6	-490,7	seit 2010
8489,1	8679,6	-190,5	seit 2005
10917,9	11090,6	-172,7	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	eICc+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 eICc1	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	eICc2	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 eIC	braun 10YR4/6	mittel carbonathaltig (c3.3); schwach kiesiger (Feuerstein, Kalkstein) stark lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm (fG2,S14-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

http://www.ufz.eu/export/data/1/20842_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)

Martin Schädler, Thomas Reitz, UFZ

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:

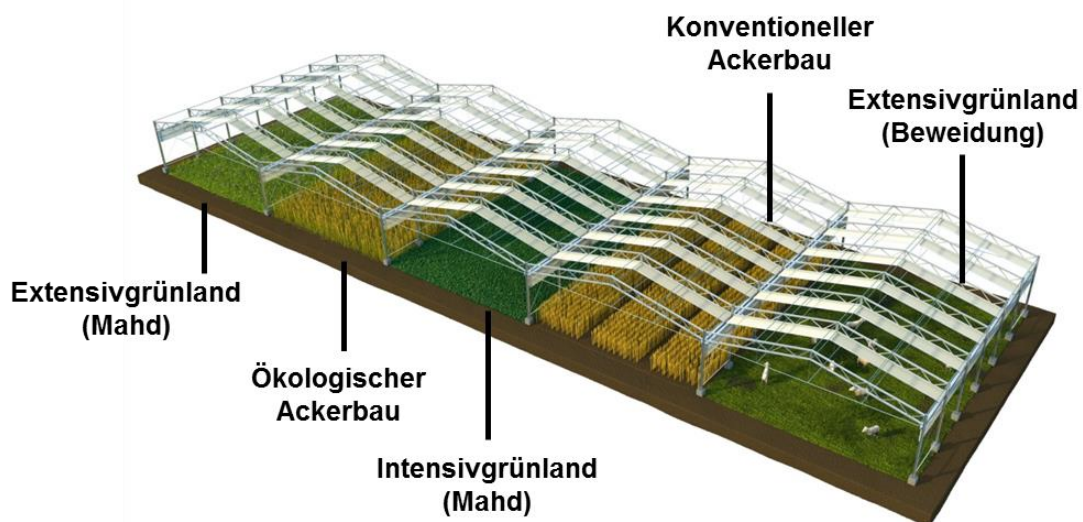


Abb. 1: Beispiel für einen Block mit 5 jeweils zufällig angeordneten Landnutzungsvarianten.

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.

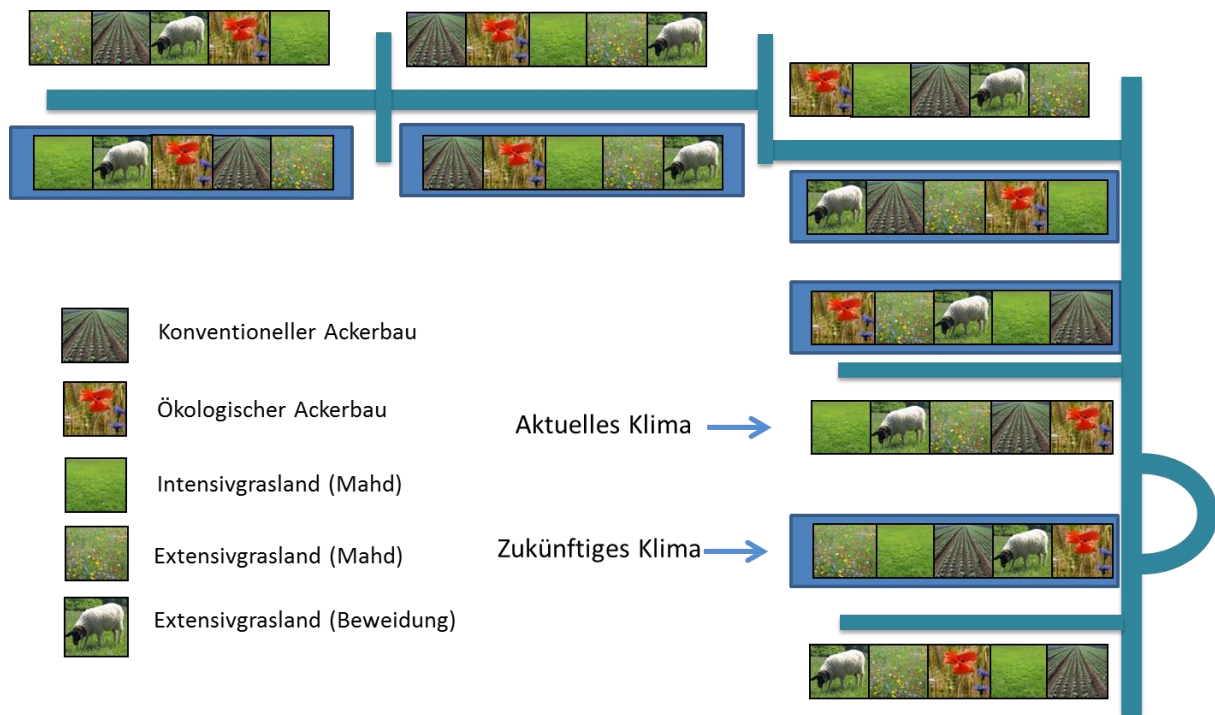


Abb. 2: Design und Plan der GCEF.

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

Erste Ergebnisse

Produktivität im Ackerbau

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 jährweiser 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.

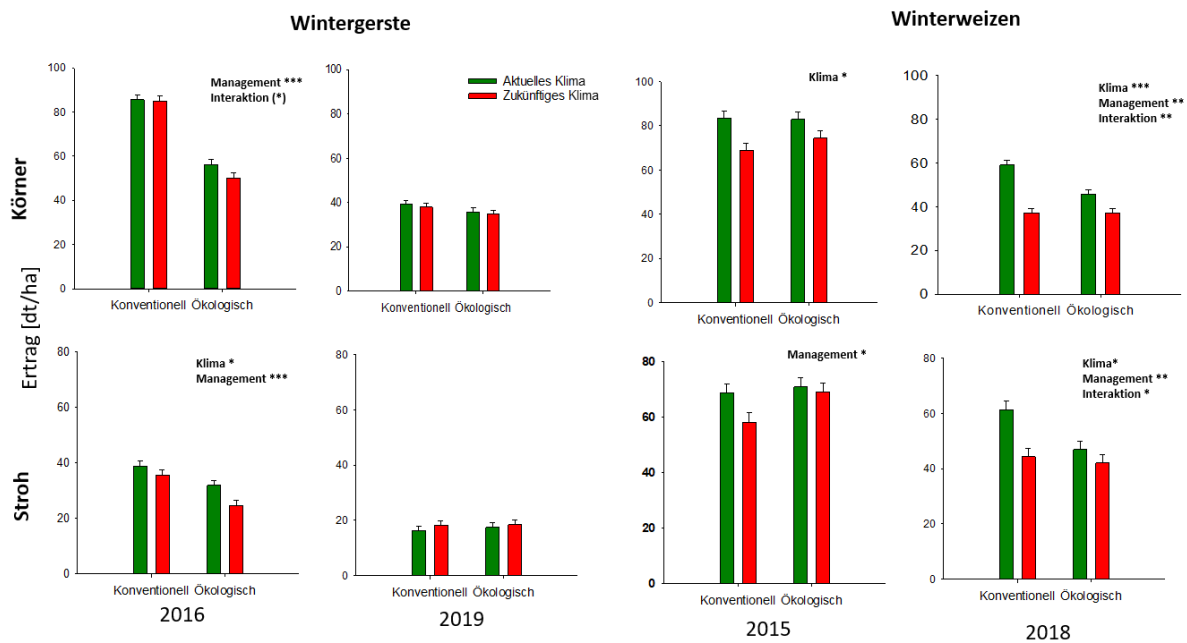


Abb.3: Getreideertrag (86 % TM) seit 2015 auf den Ackerbauvarianten unter aktuellen (grüne Balken) und zukünftigen (rote Balken) Klimabedingungen.

Produktivität der Mahd-Grünländer

Das Intensivgrünland erbrachte durchweg höhere Jahreserträge als das Extensivgrünland. In beiden Grünlandvarianten und in beiden Untersuchungsjahren sanken die Erträge unter zukünftigen Klimabedingungen signifikant.

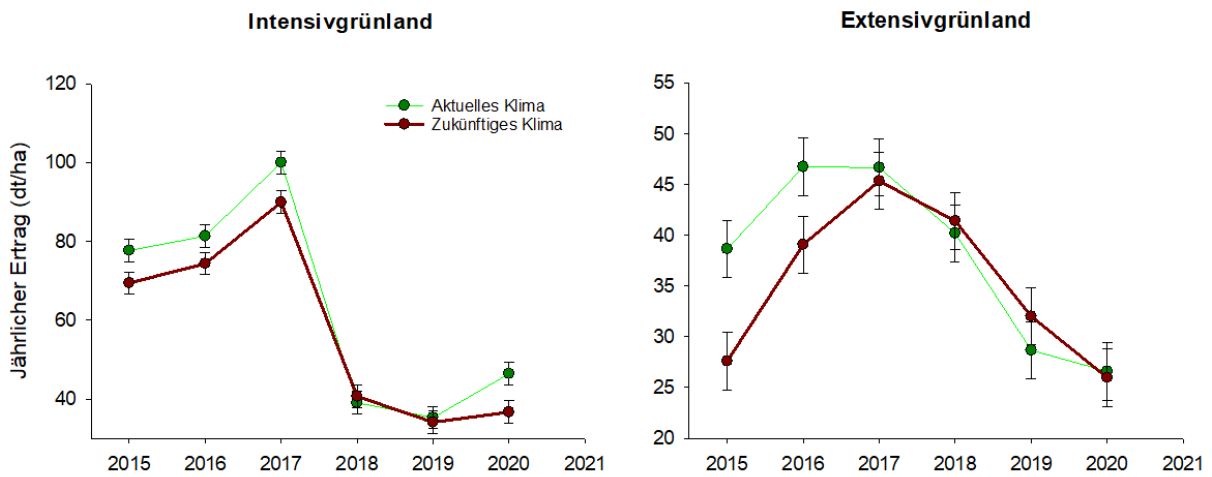


Abb.4: Ertrag (Trockenmasse) auf den beiden Grünländern mit Mahdnutzung seit 2015 unter aktuellen (grün) und zukünftigen (rot) Klimabedingungen. Der negative Einfluss des zukünftigen Klimas ist statistisch signifikant ($P < 0,05$) und nicht von der Nutzungsintensität, aber vom Jahr abhängig. In den 3 Trockenjahren 2018-2020 konnte der Unterschied nicht nachgewiesen werden (zur Erklärung siehe Abb. 5)

Das Intensivgrünland zeigte eine saisonale Abhängigkeit der Klimaeffekte auf den Heuertrag. Während im Frühjahr unter zukünftigen Bedingungen (in dieser Jahreszeit wärmer und feuchter) mehr Ertrag erzielt wurde, sank dieser unter zukünftigen Klimabedingungen im Sommer (in dieser Jahreszeit wärmer und trockener) (Abb. 5). Die vorübergehend höheren Erträge im Frühjahr konnten jedoch die Verluste im weiteren Jahresverlauf nicht kompensieren, so dass der Gesamtertrag unter zukünftigen Klimaverhältnissen geringer ist (um die 10%). Auch im Extensivgrünland sind die Ertragseinbußen im Sommer am deutlichsten. In den klimatischen Ausnahmejahren 2018 bis 2020 konnte aufgrund der Sommertrockenheit keine Mahd im Sommer durchgeführt werden und damit auch keine Unterschiede in den Behandlungen erhoben werden.

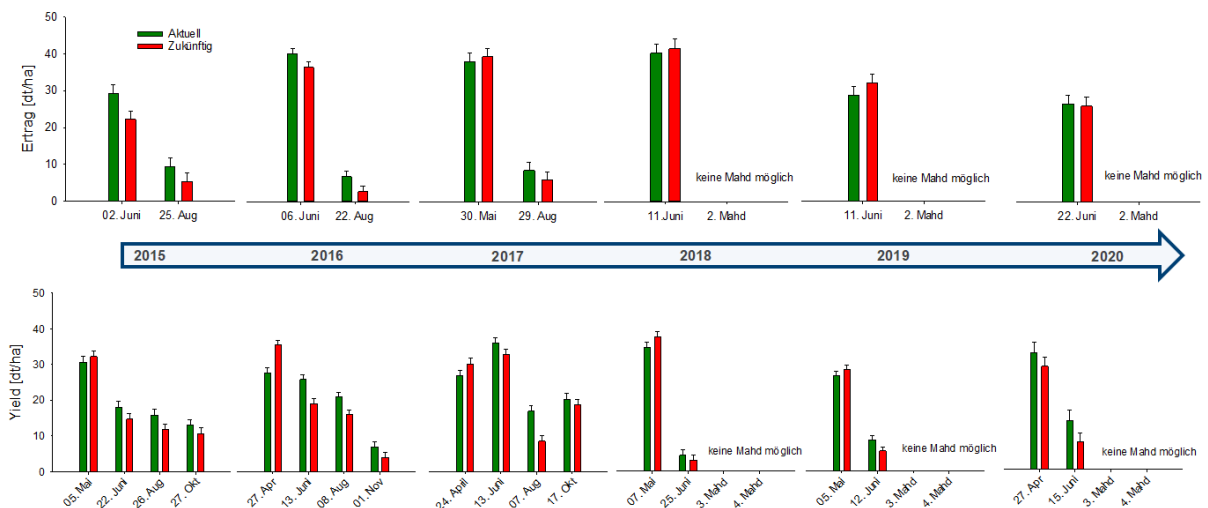


Abb. 5: Saisonaler Heuertrag (TM) in den Jahren seit 2015 auf den unterschiedlich intensiv genutzten Mahd-Grünländern der GCEF unter aktuellen (grüne Balken) und zukünftigen (rote Balken) Klimabedingungen. In den Jahren 2018 bis 2020 sind die späten Mahdtermine aufgrund der extremen Trockenheit ausgefallen.

Streuzersetzung im Boden

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.

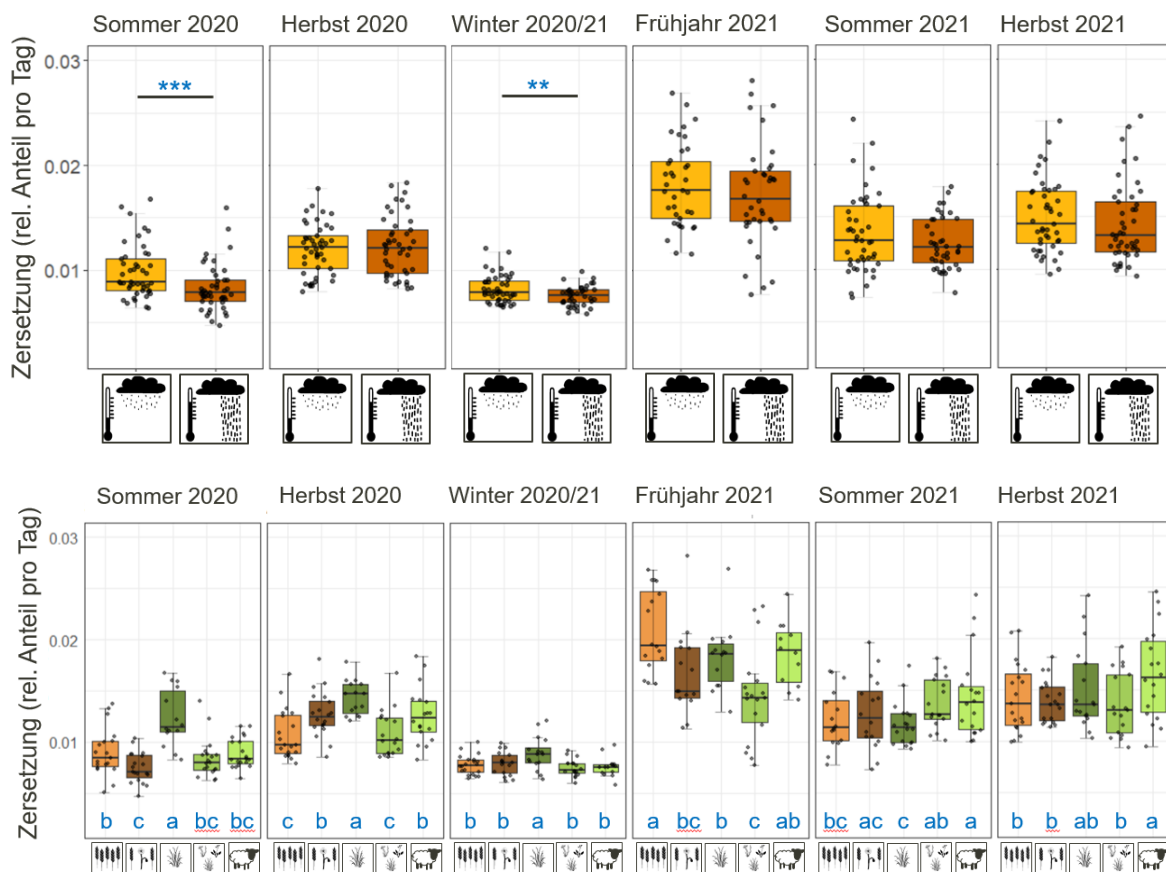


Abb. 7: Streuzersetzungsrate (relativer Masseverlust pro Tag) in Abhängigkeit von Klima (oben) und Landnutzung (unten) in 2020 und 2021. Farbcodierung oben: ambientes (orange) versus zukünftiges (braun) Klima, Farbcodierung unten: Konventionelle (orange) und organische (braun) Landwirtschaft, Intensivgrünland (dunkelgün), 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

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 unbekanntem 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.

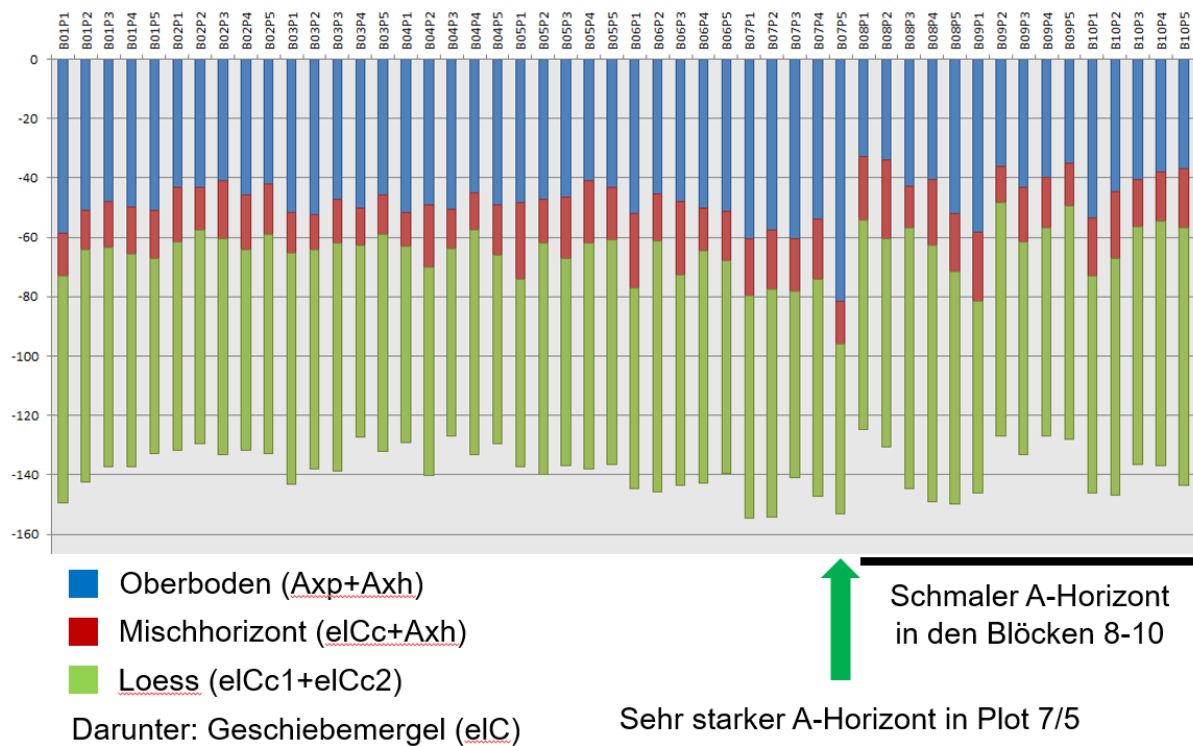


Abb. 8: Tiefenverteilung der Bodenhorizonte in den 50 Plots der GCEF

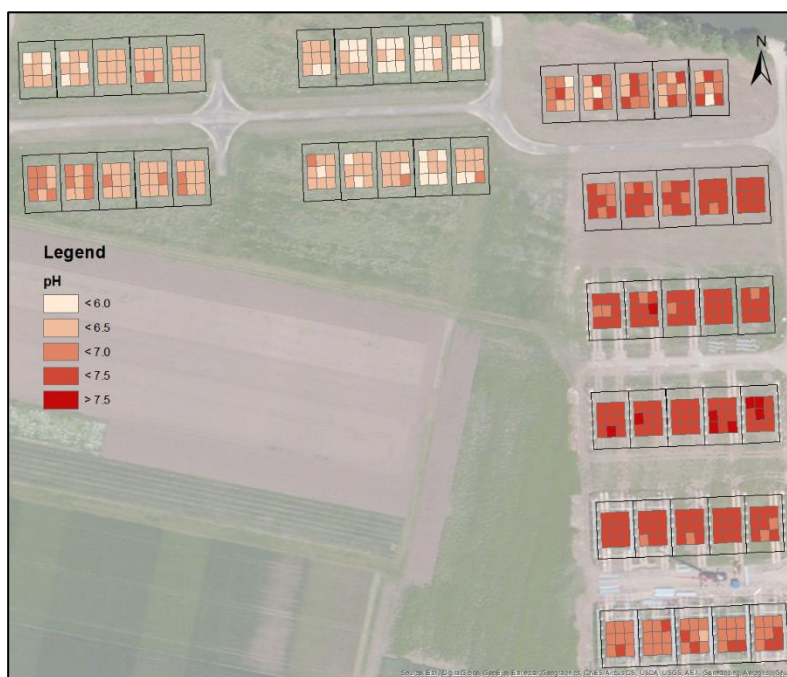


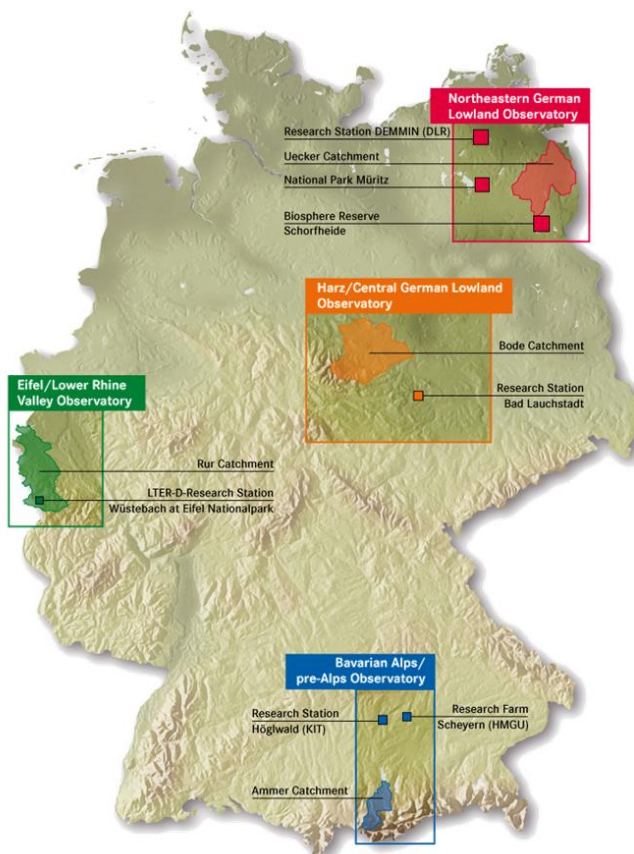
Abb. 9: Variabilität der pH Werte im Oberboden der GCEF

4. Lysimeterstation Bad Lauchstädt (Tereno)

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.

TERENO Terrestrial Environmental Observatories

TERRESTRIAL ENVIRONMENTAL OBSERVATORIES



Observatorium
Nordostdeutsches
Tiefland
Koordination: GFZ

Observatorium
Harz / Mitteldeutsches
Tiefland
Koordination: UFZ

Observatorium
Eifel / Niederrheinische
Bucht
Koordination: FZJ

Observatorium
Bayerische Alpen /
Voralpenland
Koordination: KIT / HMGU

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 sehr sensiblen Wägezellen. 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 verschiedenen Tiefen installiert. Die vollautomatisierten Lysimetersysteme besitzen modernste funkbasierte Technologien zur Überwachung und Datenkommunikation, so dass 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.

In Bad Lauchstädt befinden sich 18 Lysimeter, die in 3 Hexagonen angeordnet sind, mit folgenden Böden:

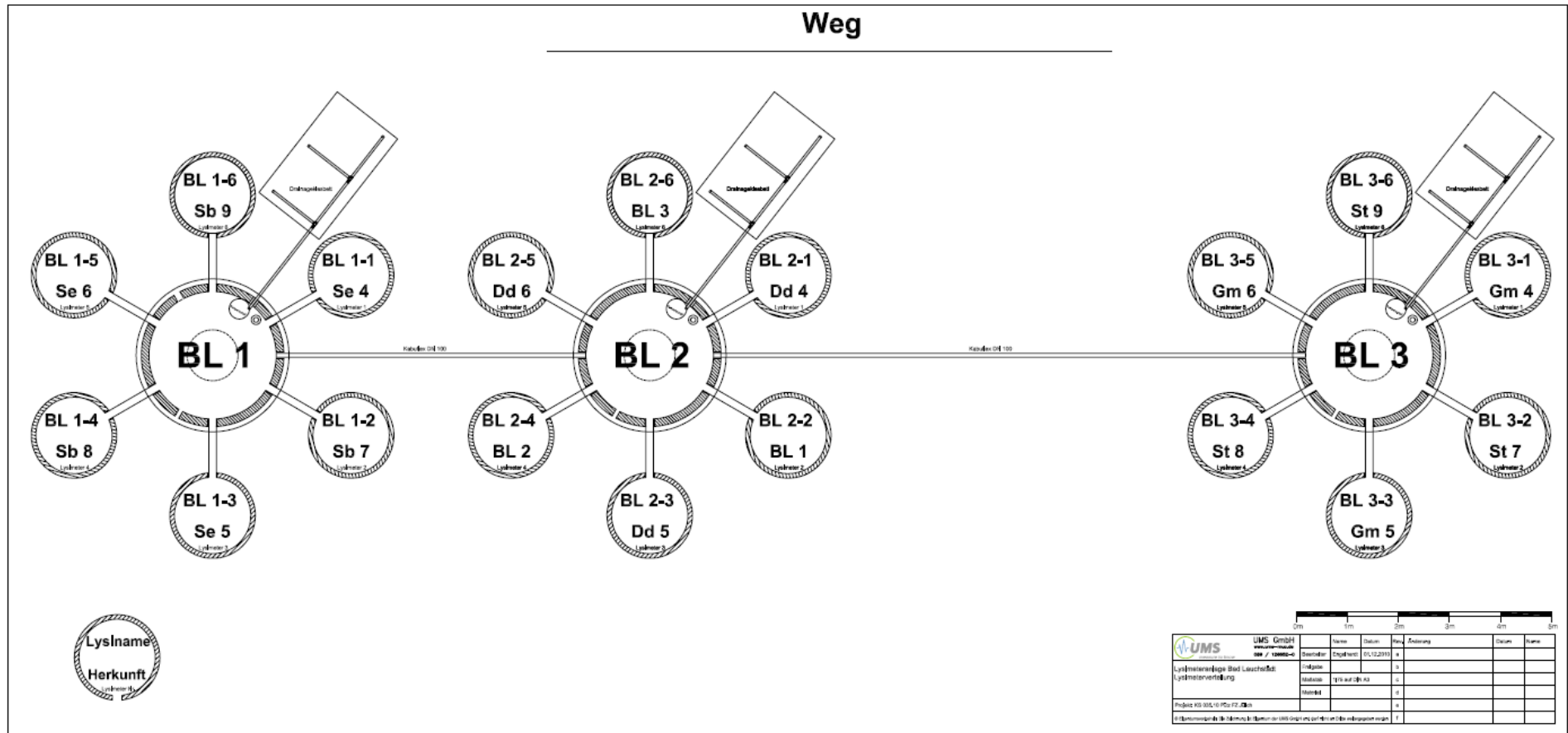
Hexagon 1 (BL 1):	Sauerbach (Sb, Bode, Harz) Selhausen (Se, Rhein, Eifel)
Hexagon 2 (BL 2):	Bad Lauchstädt (BL) Dedelow (Dd, Norddtsch. Tiefland)
Hexagon 3 (BL 3):	Garmisch (Gm, Voralpen) Schärfertal (St, Bode, Harz)

Im Hexagon 3 befindet sich Grünland von den Herkunftsstandorten.

In den Hexagonen 1 und 2 wird eine Fruchtfolge durchgeführt:

2011	Erbse
2012	Wintergerste
2013	Winterraps
2014	Hafer (vorzeitig umgebrochen)
2015	Winterweizen
2016	Wintergerste
2017	Winterroggen
2018	Hafer
2019	Winterweizen
2020	Wintergerste
2021	Winterroggen
2022	Hafer
2023	Winterweizen

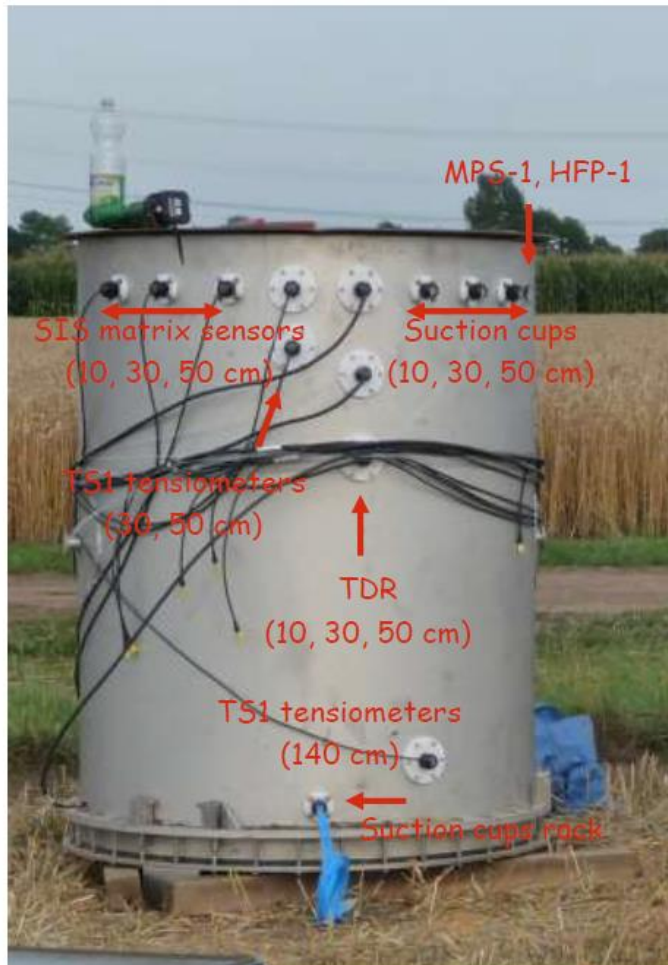
Lysimeterstation Bad Lauchstädt (2010 gebaut)





Sensors per Lysimeter

- 3 SIS matrix potential sensors (10, 30, 50 cm)
- 3 suction cups (10, 30, 50 cm)
- 3 TS1 tensiometers (30, 50, 140 cm)
- 3 Campbell Scientific TDR-probes (10, 30, 50cm)
- 1 MPS-1 matrix potential sensor (10 cm)
- 1 HFP1 heat flux sensor (10 cm)
- 6 temperature sensors (10, 30, 50, 140 cm)
- 1 CO₂ gas sensor (10 cm)
- 2 balances (lysimeter, leachate)



Suction cups rack as lower boundary condition

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.

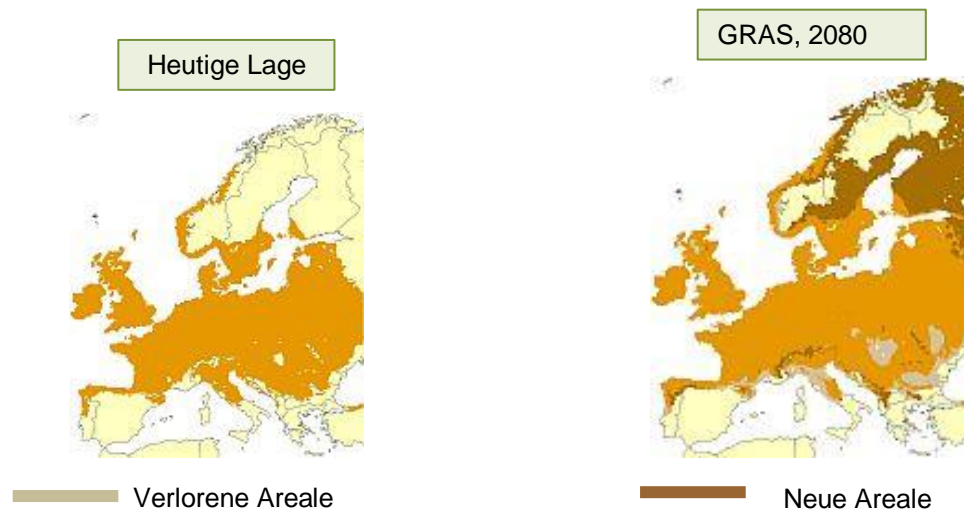


Abb. 1: Verlorene und neue Areale der Stieleiche auf Grund des Klimawandels

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 „PhytoOakmeter“

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 "PhytoOakmeter" soll ab Juni 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 die nächsten acht Jahren erforscht werden. 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 PhytoOakmeters DF159. Darunter sind zu verzeichnen:

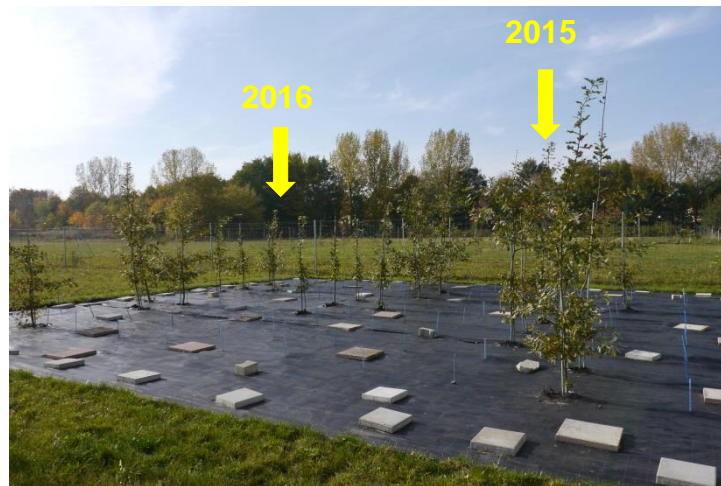


Abb. 4. Auspflanzungsserie 2015-2019. Aufnahme von 2017 mit den Auspflanzungen aus 2015 und 2016.

- 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	1,5m	1m
Gesamtlänge 35 m	1,5 m	Bl_DF15_1	Bl_SÄ15_2	Bl_DF15_3	Bl_SÄ15_4		
	1,5 m						1,5 m
	1,5 m	Bl_SÄ15_5	Bl_DF15_6	Bl_DF15_7	Bl_DF15_8		
	1,5 m						1,5 m
	1,5 m	Bl_SÄ15_9	Bl_DF15_10	Bl_SÄ15_11	Bl_SÄ15_12		
	1,5 m						1,5 m
	1,5 m	Bl_DF15_13	Bl_SÄ15_14	Bl_SÄ15_15	Bl_DF15_16		
	1,5 m						1,5 m
1,5 m	Bl_SÄ15_17	Bl_DF15_18	Bl_DF15_19	Bl_SÄ15_20			
1,5 m						1,5 m	
1,5 m	Bl_DF15_21	Bl_DF15_22	Bl_SÄ15_23	Bl_SÄ15_24			
1,5 m						1,5 m	
		1m	1,5m	1,5m	1,5m	1,5m	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.

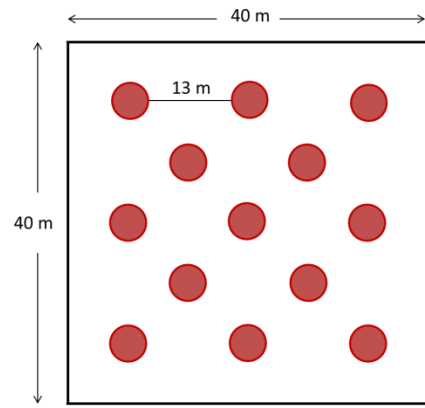


Abb.6: Für beide Europa und LUI Transekte gilt die gleiche Bad Lauchstädter Referenzfläche als gemeinsame Referenzfläche

- Das **MyDiv** Experiment, welches von iDiv in 2015 etabliert wurde, um die „Rolle von Mykorrhizatyphen und Baumartenvielfalt auf Ökosystemfunktionen und Nahrungsnetze“ zu untersuchen.

Darüber hinaus werden die Phytoakmeter auch in den Ecotronversuchen ARMAGEDON und ECOTRACK eingesetzt.

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. Es ist aber bekannt, dass Interaktionen zwischen Arten sich in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Ressourcen verändern können. Licht und Nährstoffe sind wichtige Ressourcen, deren Verfügbarkeit wesentlichen Einfluss auf das pflanzliche Wachstum hat. Es wird davon ausgegangen, dass die Konkurrenz um die Ressource Licht asymmetrisch ist, d.h. höhere Pflanzen sind im Vorteil. Dagegen ist die Konkurrenz um die Ressource Nährstoffe eher symmetrisch, d.h. unabhängig von der Größe der Pflanzen.

Im Experiment *DivResource* wird untersucht, ob sich Zusammenhänge zwischen pflanzlicher Diversität und Ökosystemprozessen in Abhängigkeit von der Ressourcenverfügbarkeit ändern. Deshalb werden gleichzeitig Diversität und Ressourcenverfügbarkeit (Licht durch Schattierung und Nährstoffe durch Düngung) manipuliert.

Experimenteller Aufbau

Die Ressourcen Licht und Nährstoffe werden faktoriell manipuliert, so dass sich daraus vier Versuchsvarianten ergeben:

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

Die Schattierung reduziert die photosynthetisch aktive Strahlung um 55 %. Die Düngung erfolgt 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 werden jedes

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

Ab 2019 werden die Versuchsfelder in einem sog. Split-Plot-Design unterteilt, um die Veränderung der Artengemeinschaften bei Einwanderung neuer Pflanzenarten zu untersuchen. Jede Parzelle wird 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 Kolonisation neuer Arten
- RES: kein Jäten, es werden Samen der ursprünglich angesäten Arten eingebracht, spontane Kolonisation unter Reduktion der Samenlimitierung der residenten (d.h. vorhandenen) Arten
- NEW: kein Jäten, es werden Samen der Arten des alternativen Artenpools eingebracht (Pool 1 in Mischungen von Pool 2 und umgekehrt), spontane und unterstützte Kolonisation neuer Arten

Auf jeder Parzelle werden die Behandlungen den Teilflächen zufällig zugeordnet.

Erhobene Variablen

2011-2018: Wichtige Größen, die im Experiment regelmäßig erhoben werden, sind die oberirdische Biomasseproduktion der Arten und Bestände. Es wurden aber auch funktionelle Merkmale der Pflanzenarten und ihre Plastizität, die Wurzelbiomasse, Nährstoffkonzentrationen in der pflanzlichen Biomasse und Bodenfunktionen (Nährstoffe, Zersetzung) untersucht.

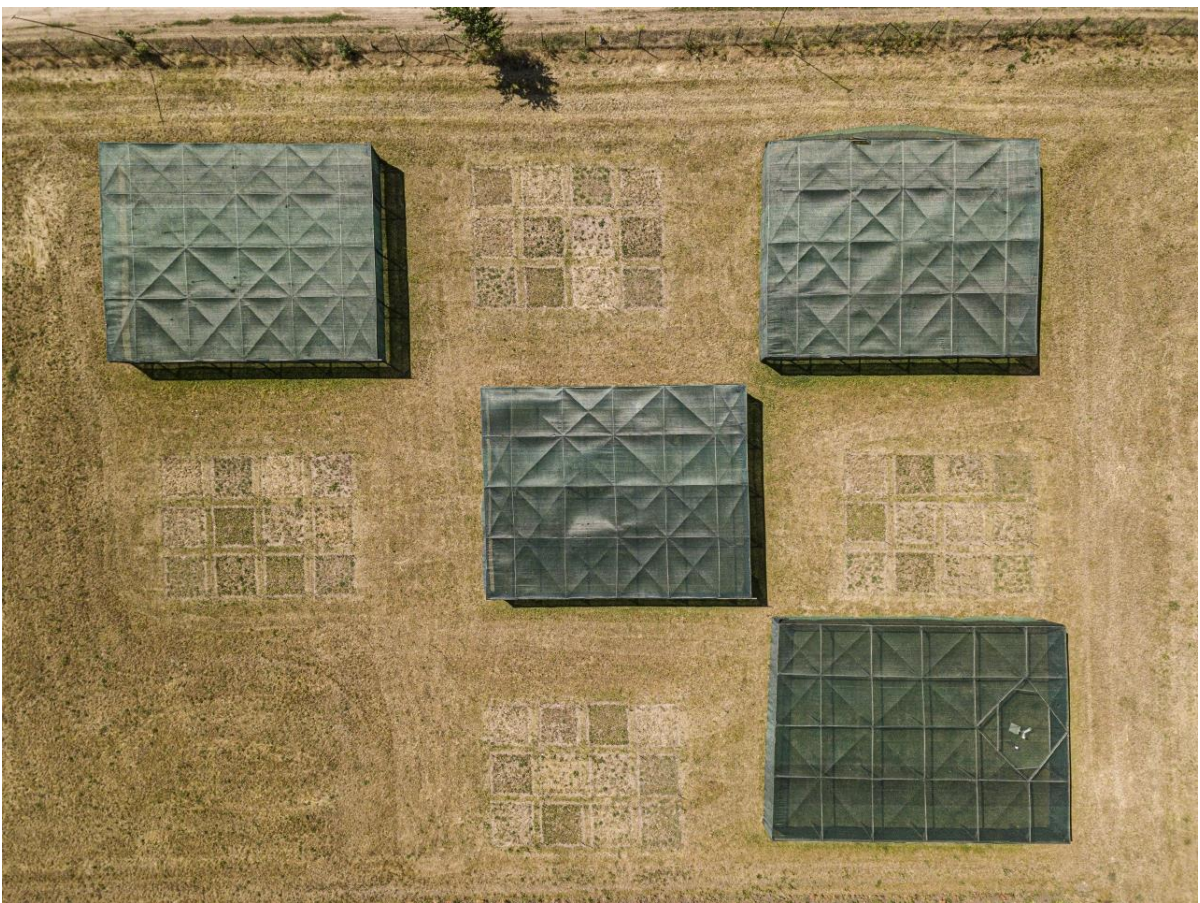
Ab 2019: Mit der Veränderung des Versuchsdesigns wird sich die Datenerhebung zukünftig darauf konzentrieren, wie sich die Artenzusammensetzung und die Biomasseproduktion als wichtige Ökosystemfunktion bei der Umstrukturierung der Pflanzengemeinschaften durch das Einwandern anderer Pflanzenarten verändern.

Bisherige Ergebnisse

Die Artenmischungen (2- und 4-Artenbestände) haben im Mittel eine höhere oberirdische Biomasseproduktion als die Monokulturen. Dieser positive Mischungseffekt ist unabhängig von der Schattierung ohne Düngung stärker. 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 unterirdische Biomasseproduktion als die Artenzahl der Mischungen, d.h. die Wahrscheinlichkeit einer komplementären Nutzung von Bodenressourcen steigt, wenn Arten mit verschiedener Wurzelmorphologie und -tiefe kombiniert werden. Unsere Ergebnisse zeigen, dass es wichtig ist, verschiedene Umweltbedingungen (wie die Verfügbarkeit von Ressourcen) und die funktionellen Merkmale der Arten zu betrachten, um die Zusammenhänge zwischen Diversität und Ökosystemprozessen zu verstehen.



Versuchsanlage *DivResource* mit schattierten und ungeschattierten Blöcken (Mai 2015)



Überblick über den gesamten Versuch im Juni 2020

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, werden 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 werden auf verschiedenen Skalen (nm bis cm) und zu zahlreichen Zeitpunkten gemessen. Der Fokus liegt 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. Dies gilt insbesondere für den Kohlenstoffeintrag über das Wurzelsystem und dessen Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung in Böden. Neuere Literatur stellt die Hypothese auf, dass wurzelbürtiger Kohlenstoff effizienter im Boden sequestriert wird als derjenige aus den oberirdischen Ernterückständen.

Der zentrale Feldversuch wird durch zahlreiche standardisierte Labor-Experimente ergänzt.

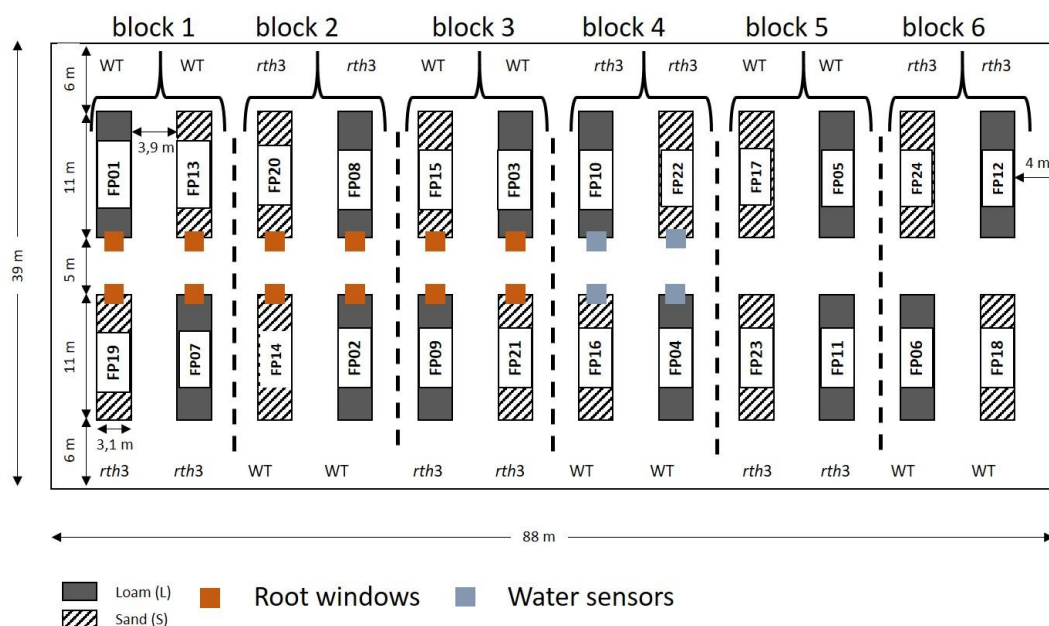


Abb.1: Schematisch experimentelle Versuchsanordnung des SPP2089 in Bad Lauchstädt die aus der Kombination von zwei Substraten und Genotypen besteht. Das randomisierte Blockdesign beinhaltet 6 Wiederholungen.

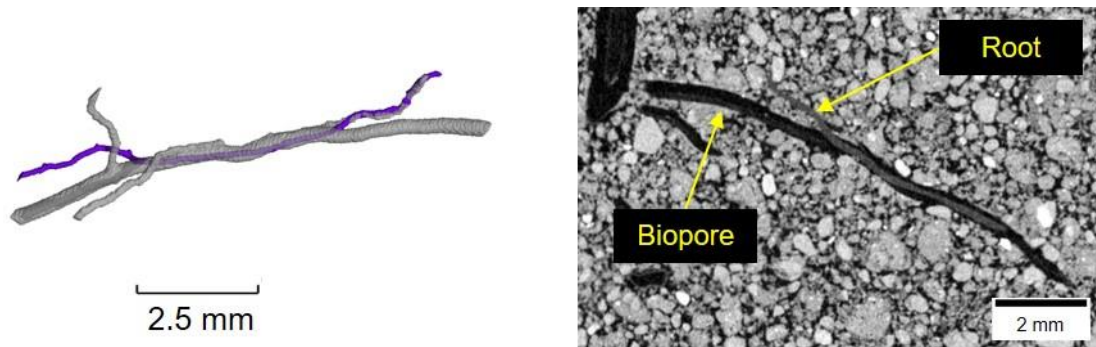


Abb.2: 3D-Darstellung einer Wurzel (lila) die entlang einer Biopore (grau) wächst mit dem dazugehörigen 2D-CT-Graustufenbild (Bilder: Maxime Phalempin).



Abb. 3: Wurzelfenster zur Beobachtung und Beprobung von Wurzelexudaten 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
<ul style="list-style-type: none">- 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
<ul style="list-style-type: none">- >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
<ul style="list-style-type: none">- >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
<ul style="list-style-type: none">- >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
<ul style="list-style-type: none">- 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 Analyseergebnisse eignen sie sich zur Testung und Kalibrierung von Großgeräten (Georadar, Hyperspektralsensoren).

9. Statischer Düngungsversuch – 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 Staldung jedes 2. Jahr zu Silomais

a₂ - 200 dt/ha Staldung 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 Schlaghälfte 7 ohne Leguminosen
zu Kartoffel ab 1924
(bzw. aller 4 Jahre zu SM)

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: Avalon

Luzerne: Planet

Anlageplan Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt 2023



		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		WW	SG	SG		

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	1,597	1,491	1,463	1,540	1,477	1,497
	PK	1,672	1,492	1,478	1,540	1,484	1,540
	N	1,732	1,539	1,513	1,552	1,559	1,584
	NK	1,824	1,592	1,557	1,584	1,635	1,622
	NP	1,848	1,655	1,649	1,627	1,692	1,700
	NPK	1,950	1,750	1,778	1,725	1,816	1,765
20 t/ha FYM	0	2,111	2,001	1,958	1,971	1,970	1,934
	PK	2,168	1,982	2,031	2,077	2,087	2,038
	N	2,179	2,273	2,122	2,134	2,183	2,103
	NK	2,397	2,124	2,100	2,141	2,154	2,198
	NP	2,343	2,224	2,140	2,132	2,187	2,211
	NPK	2,296	2,286	2,173	2,135	2,231	2,209
30 t/ha FYM	0	2,524	2,217	2,162	2,164	2,285	2,290
	PK	2,322	2,252	2,220	2,180	2,364	2,362
	N	2,479	2,406	2,281	2,285	2,442	2,454
	NK	2,579	2,318	2,355	2,345	2,469	2,516
	NP	2,453	2,360	2,353	2,386	2,501	2,536
	NPK	2,412	2,363	2,339	2,404	2,430	2,513
year	2022	2022	2020	2019	2021	2021	

Abb.1: C_{org}-Gehalt (%; 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2019-22)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	0,133	0,134	0,114	0,120	0,117	0,125
	PK	0,139	0,135	0,116	0,121	0,120	0,130
	N	0,148	0,138	0,125	0,130	0,129	0,138
	NK	0,158	0,146	0,128	0,134	0,134	0,142
	NP	0,157	0,150	0,133	0,133	0,136	0,146
	NPK	0,168	0,156	0,143	0,139	0,146	0,151
20 t/ha FYM	0	0,179	0,182	0,157	0,160	0,159	0,167
	PK	0,186	0,179	0,163	0,170	0,178	0,173
	N	0,192	0,206	0,174	0,179	0,186	0,180
	NK	0,229	0,194	0,172	0,179	0,183	0,188
	NP	0,207	0,203	0,175	0,179	0,183	0,188
	NPK	0,201	0,206	0,179	0,180	0,187	0,188
30 t/ha FYM	0	0,220	0,200	0,178	0,182	0,194	0,195
	PK	0,205	0,206	0,182	0,183	0,200	0,201
	N	0,216	0,222	0,191	0,195	0,207	0,208
	NK	0,224	0,213	0,198	0,199	0,211	0,214
	NP	0,220	0,215	0,196	0,199	0,214	0,218
	NPK	0,216	0,214	0,196	0,199	0,206	0,217
year	2022	2022	2020	2019	2021	2021	

Abb. 2: N-Gehalt (%; 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2019-22)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	6,98	5,77	3,32	3,84	3,08	0,91
	PK	11,43	11,29	5,93	6,62	6,24	4,04
	N	2,56	2,64	1,36	1,45	1,00	0,68
	NK	3,56	2,98	2,23	2,60	1,63	0,91
	NP	13,35	11,14	6,92	10,32	6,70	5,65
	NPK	17,07	12,56	7,62	11,76	8,07	6,57
20 t/ha FYM	0	18,74	16,58	13,07	16,49	13,36	6,19
	PK	23,41	18,54	16,66	20,11	18,26	9,25
	N	16,72	10,25	8,35	12,68	9,95	4,00
	NK	17,70	11,28	8,14	14,05	10,53	4,82
	NP	28,42	19,29	13,16	21,69	17,54	10,47
	NPK	30,82	21,11	15,87	24,21	20,31	11,53
30 t/ha FYM	0	29,26	22,82	20,21	25,63	23,11	11,97
	PK	30,77	24,40	22,04	26,52	25,45	14,12
	N	24,35	16,09	14,32	18,78	17,47	9,86
	NK	25,55	16,84	14,80	19,29	18,45	10,73
	NP	34,12	22,90	21,33	28,79	24,97	17,32
	NPK	40,16	30,70	29,43	36,74	33,89	23,87
year	2022	2022	2020	2019	2021	2021	

Abb. 3: P_{DL}-Gehalt (mg/100 g Bo., 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2019-22)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	9,82	9,32	8,08	8,15	7,70	4,78
	PK	18,18	19,35	17,30	15,15	16,24	8,98
	N	8,91	7,61	7,34	7,67	5,95	4,85
	NK	12,88	11,08	13,10	9,86	10,65	8,71
	NP	8,52	7,45	6,32	7,33	5,79	4,35
	NPK	16,26	13,97	12,15	13,23	11,04	9,10
20 t/ha FYM	0	22,93	23,07	22,34	19,88	20,13	8,33
	PK	32,61	30,49	34,08	26,80	30,04	12,41
	N	21,95	19,12	18,08	14,60	15,80	9,12
	NK	26,66	21,56	21,53	16,74	20,00	12,30
	NP	20,83	16,75	19,84	13,53	16,33	9,41
	NPK	30,71	29,79	27,78	22,05	24,51	11,73
30 t/ha FYM	0	41,57	36,94	33,40	29,47	35,01	12,12
	PK	44,92	44,67	38,11	33,70	40,89	16,26
	N	31,26	28,02	25,70	21,12	25,49	12,02
	NK	35,37	31,60	31,99	25,10	27,42	13,72
	NP	31,25	28,06	22,88	21,47	22,57	11,89
	NPK	38,85	38,78	37,57	30,86	34,06	16,62
year	2022	2022	2020	2019	2021	2021	

Abb. 4: K_{DL}-Gehalt (mg/100 g Bo., 0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2019-22)

	plot	stripe 1	stripe 2	stripe 3	stripe 6	stripe 7	stripe 8
without FYM	0	7,67	7,63	5,81	6,49	6,08	5,56
	PK	7,62	7,60	5,32	6,00	5,66	5,42
	N	7,64	7,55	4,89	5,69	5,05	5,06
	NK	7,62	7,26	4,74	6,26	5,19	5,13
	NP	7,56	6,91	4,87	6,35	5,23	5,03
	NPK	7,54	6,66	5,16	6,21	5,29	5,12
20 t/ha FYM	0	7,57	7,07	6,56	6,69	6,40	5,95
	PK	7,53	6,91	6,56	6,64	6,53	5,85
	N	7,56	6,53	6,09	6,55	6,30	5,52
	NK	7,54	6,37	5,82	6,48	6,26	5,46
	NP	7,49	6,39	5,75	6,53	6,19	5,51
	NPK	7,49	6,40	5,84	6,63	6,35	5,59
30 t/ha FYM	0	7,51	6,78	6,63	6,87	6,82	5,98
	PK	7,50	6,75	6,60	6,80	6,78	5,93
	N	7,51	6,47	6,19	6,57	6,50	5,82
	NK	7,50	6,44	6,13	6,49	6,33	5,83
	NP	7,46	6,41	6,18	6,47	6,46	5,98
	NPK	7,48	6,82	6,52	6,70	6,78	6,43
	year	2022	2022	2020	2019	2021	2021

Abb. 5: pH-Wert (0-20 cm) im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (2019-22)

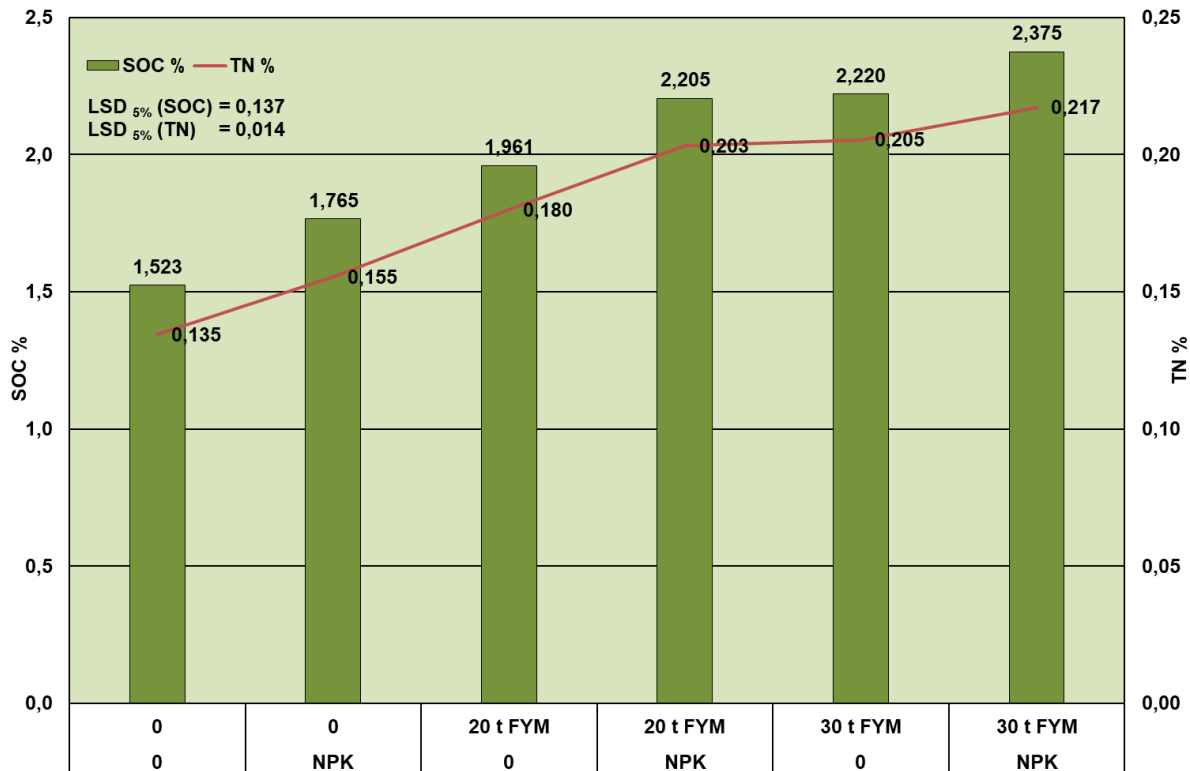


Abb. 6: C_{org}- und N-Gehalt auf den Hauptparzellen im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt 2022 (SH 2, 3, 6, 7)

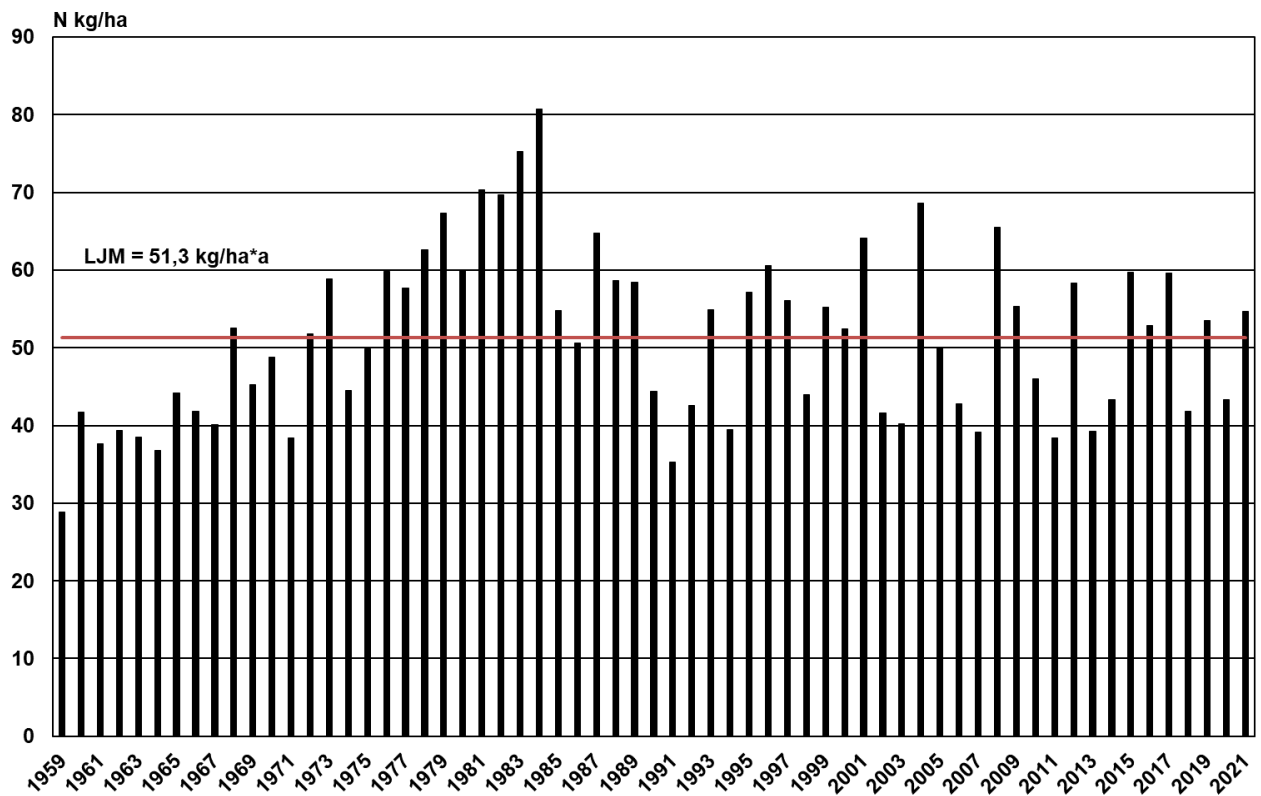


Abb. 7: N-Entzug auf den Nullparzellen des Statischen Düngungsversuches im Mittel der vier Fruchtarten (1959-2021)

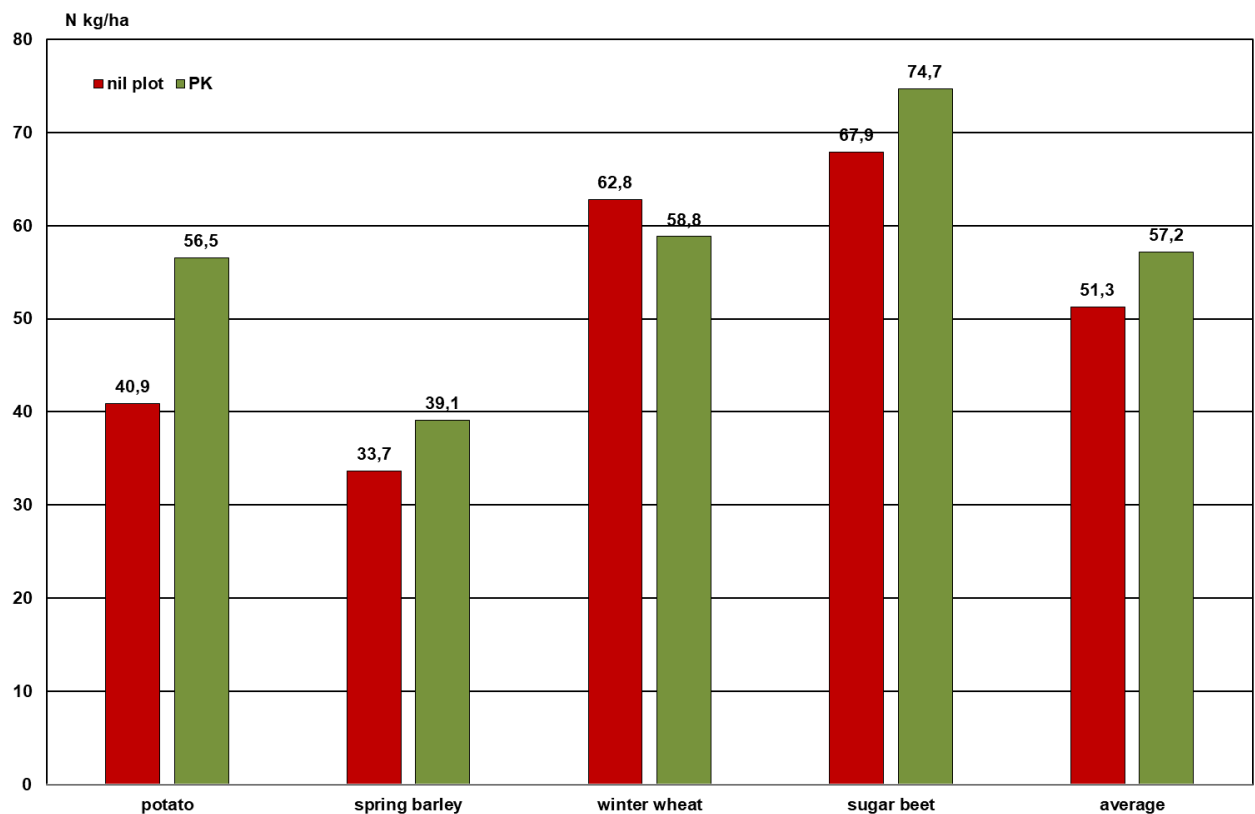


Abb. 8: N-Entzüge auf den PK- und Nullparzellen im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt für die vier Fruchtarten (ab 2015 Silomais anstelle der Hackfrüchte) im Mittel der Jahre 1959-2021

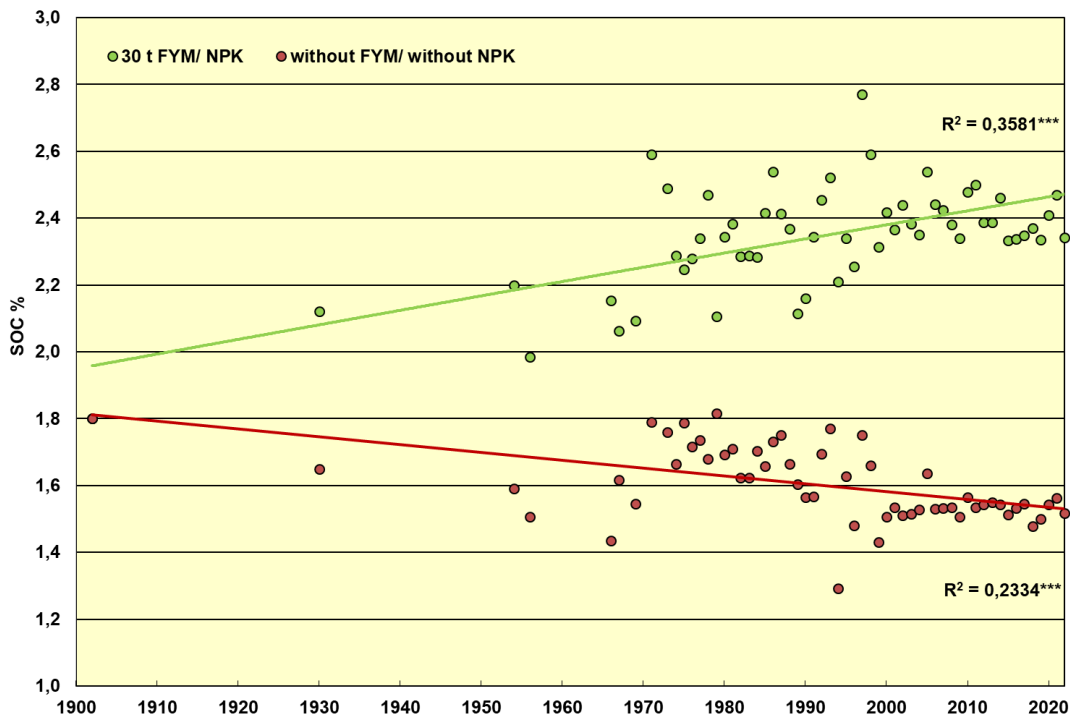


Abb. 9: C_{org}-Gehalt (%; 0-20 cm) in den Extremvarianten im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (SH 1, 2, 3, 6, 7, 8) 1902-2022

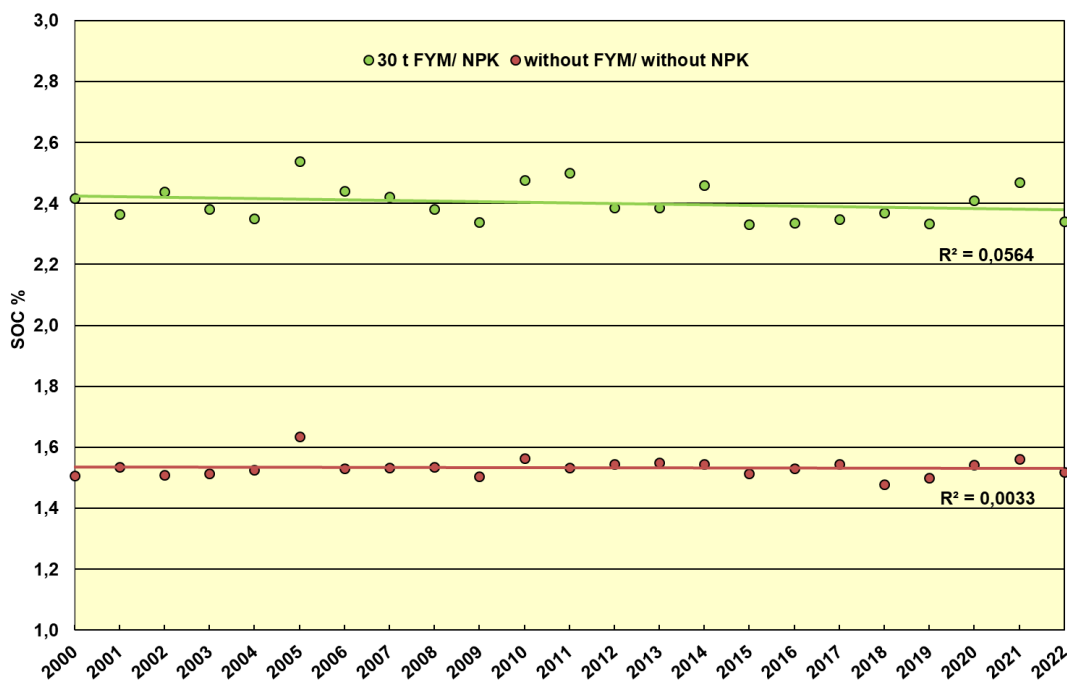


Abb.10: C_{org}-Gehalt (%; 0-20 cm) in den Extremvarianten im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (SH 1, 2, 3, 6, 7, 8) 2000-2022

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.

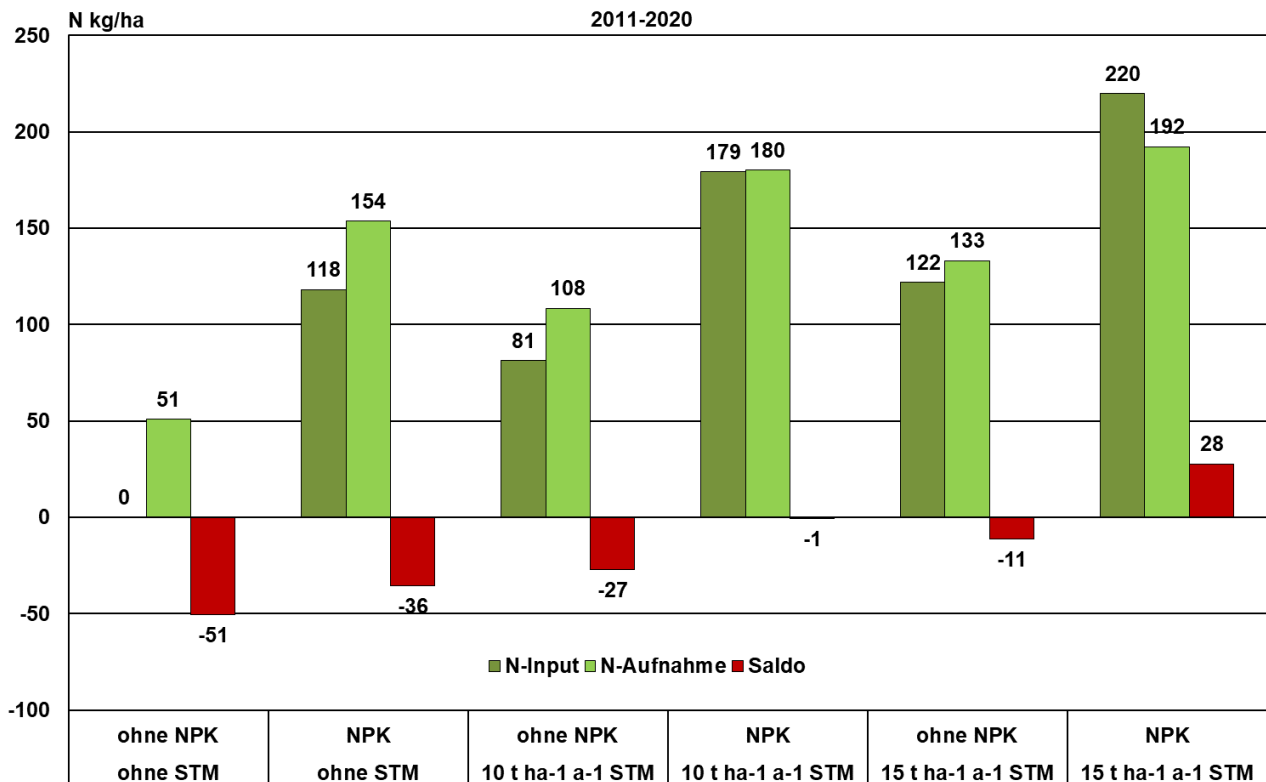
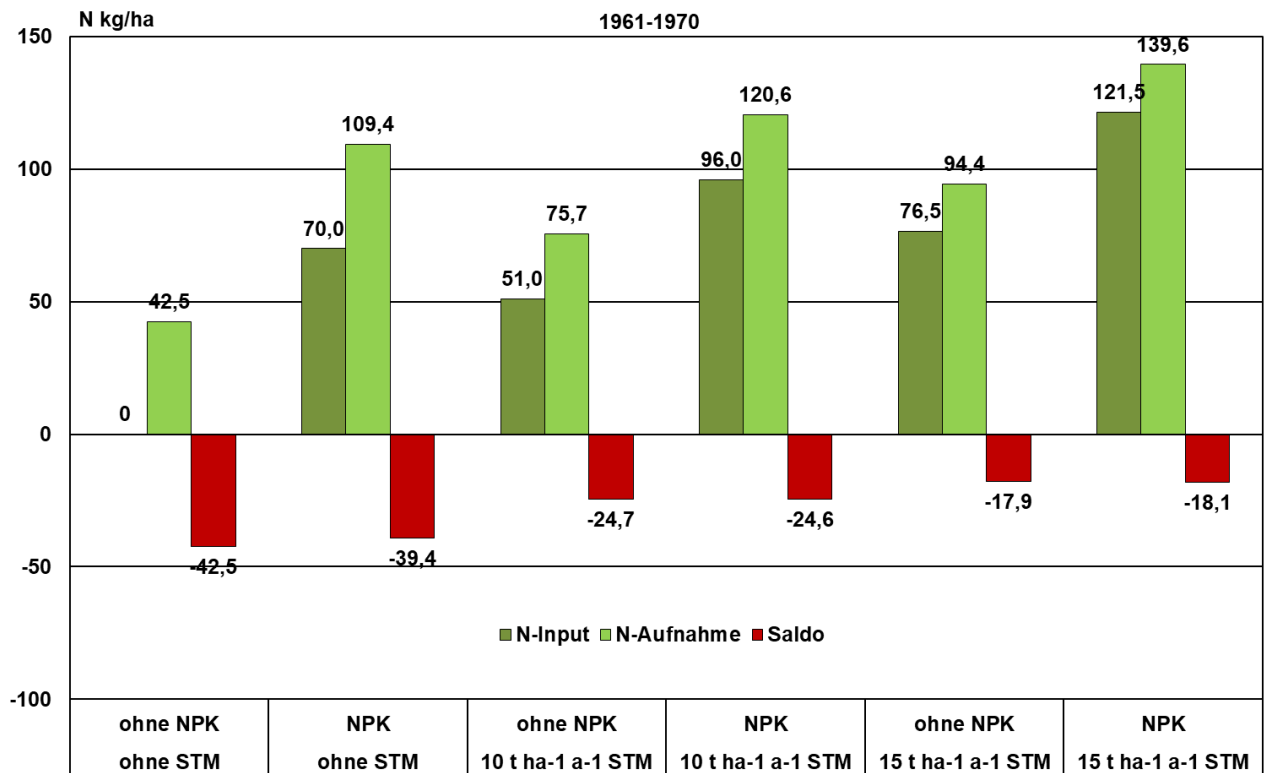


Abb. 11: Stickstoffbilanz im Statischen Düngungsversuch im Mittel aller Fruchtarten im Vergleich der Dekaden 1961-1970 und 2011-2020

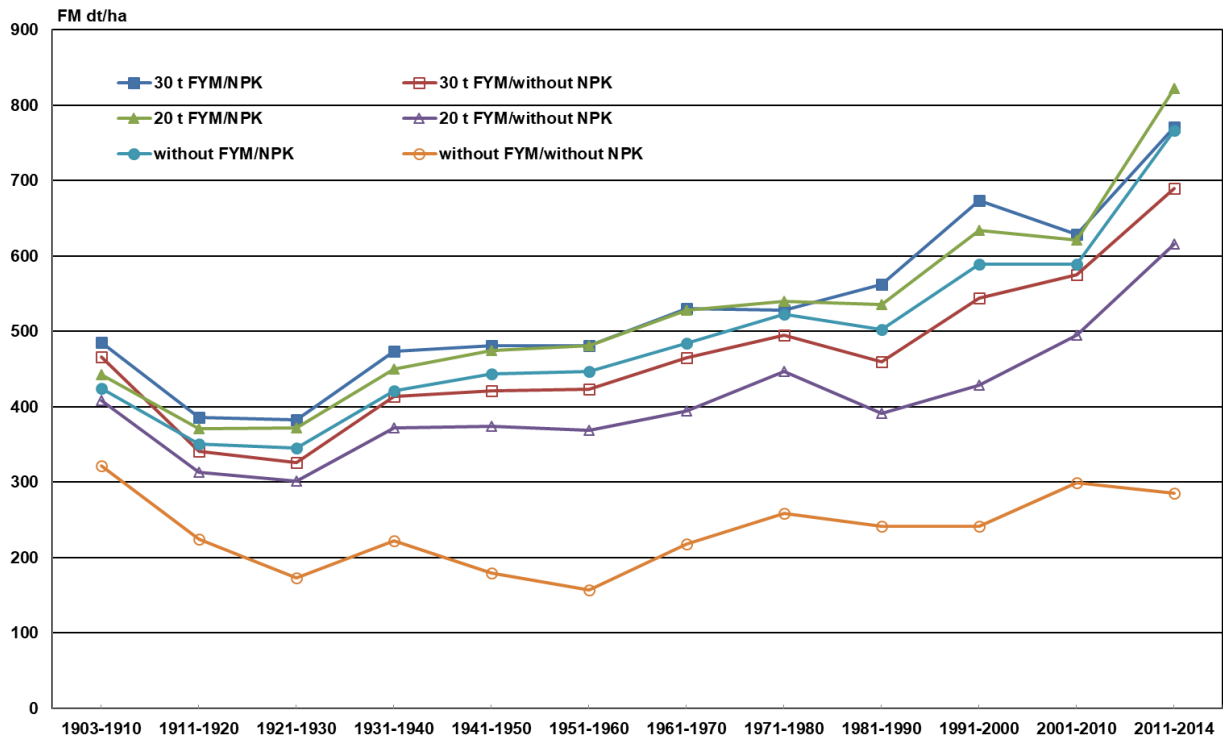


Abb. 12: Zuckerrübenenerträge (dt/ha FM) im Statischen Düngungsversuch, Dekaden 1903-2014

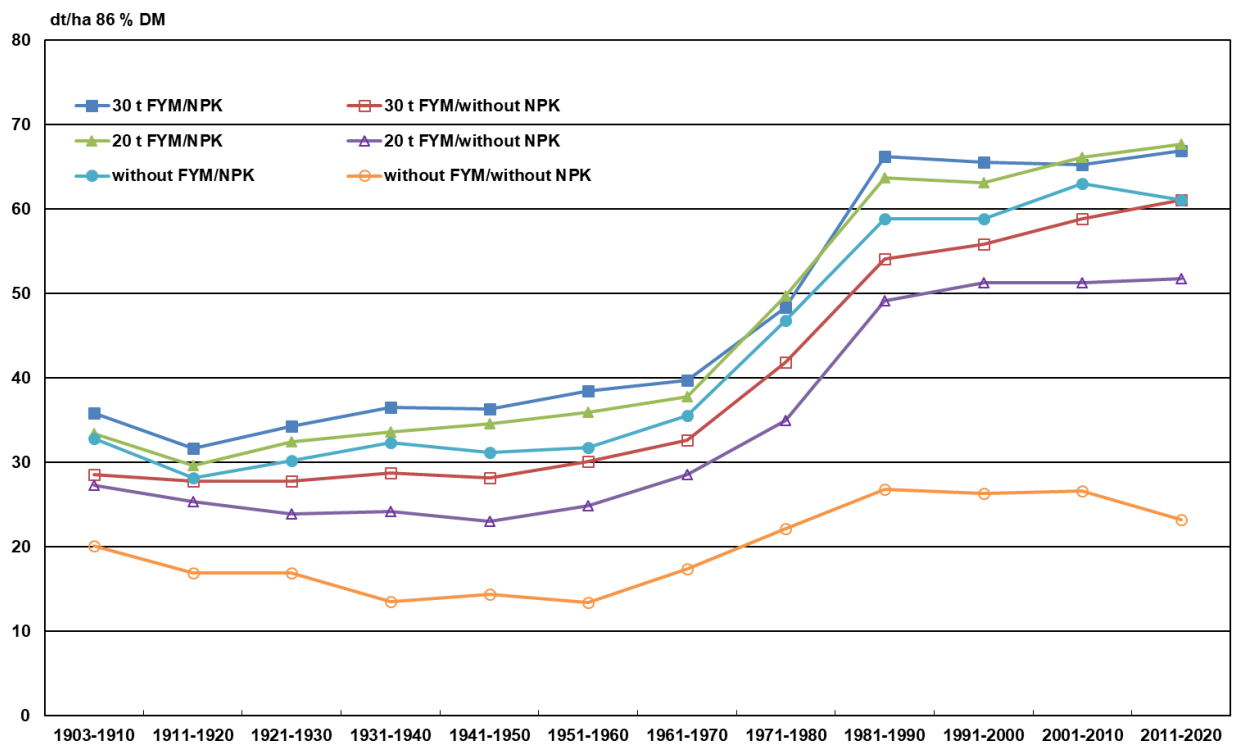


Abb. 13: Sommergerstenerträge (dt/ha 86% TM) im Statischen Düngungsversuch, Dekaden 1903-2020

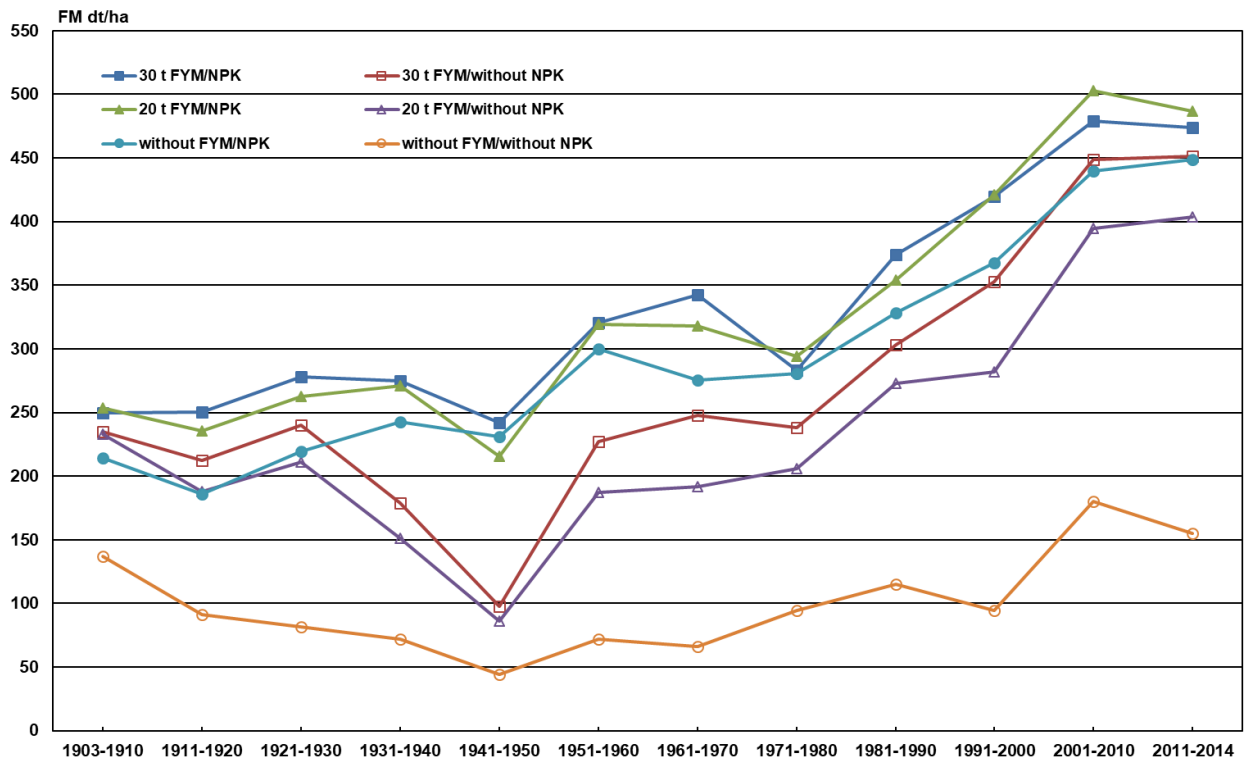


Abb. 14: Kartoffelerträge (dt/ha FM) im Statischen Düngungsversuch, Dekaden 1903-2014

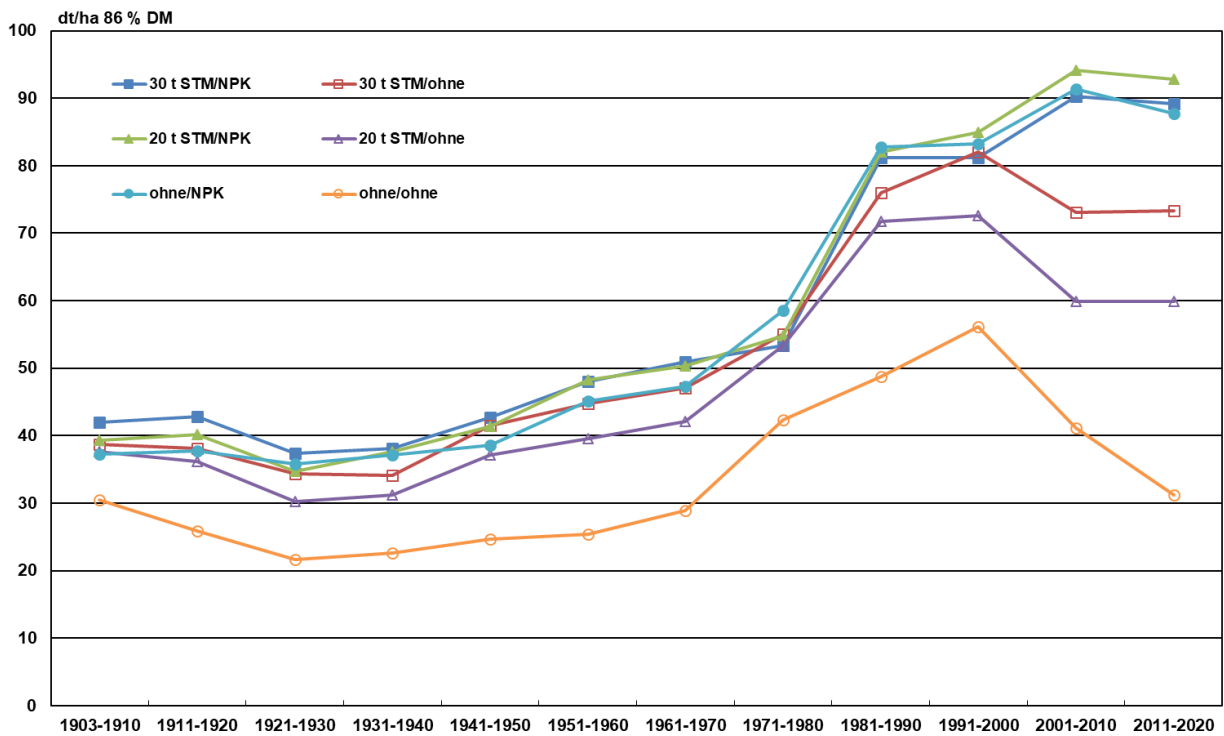


Abb. 15: Winterweizenerträge (dt/ha 86 % TM), Dekaden 1903-2020

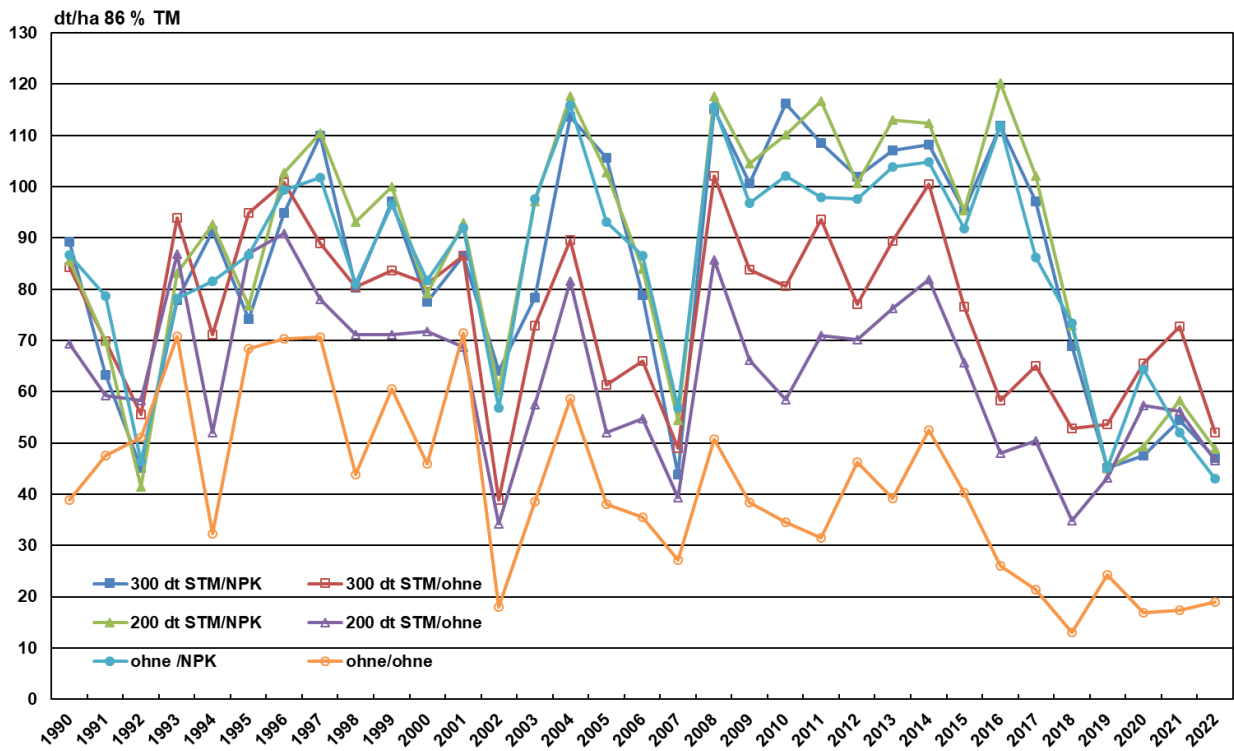


Abb. 16: Winterweizenenerträge (dt/ha 86 % TM) im Statischen Düngungsversuch 1990-2022

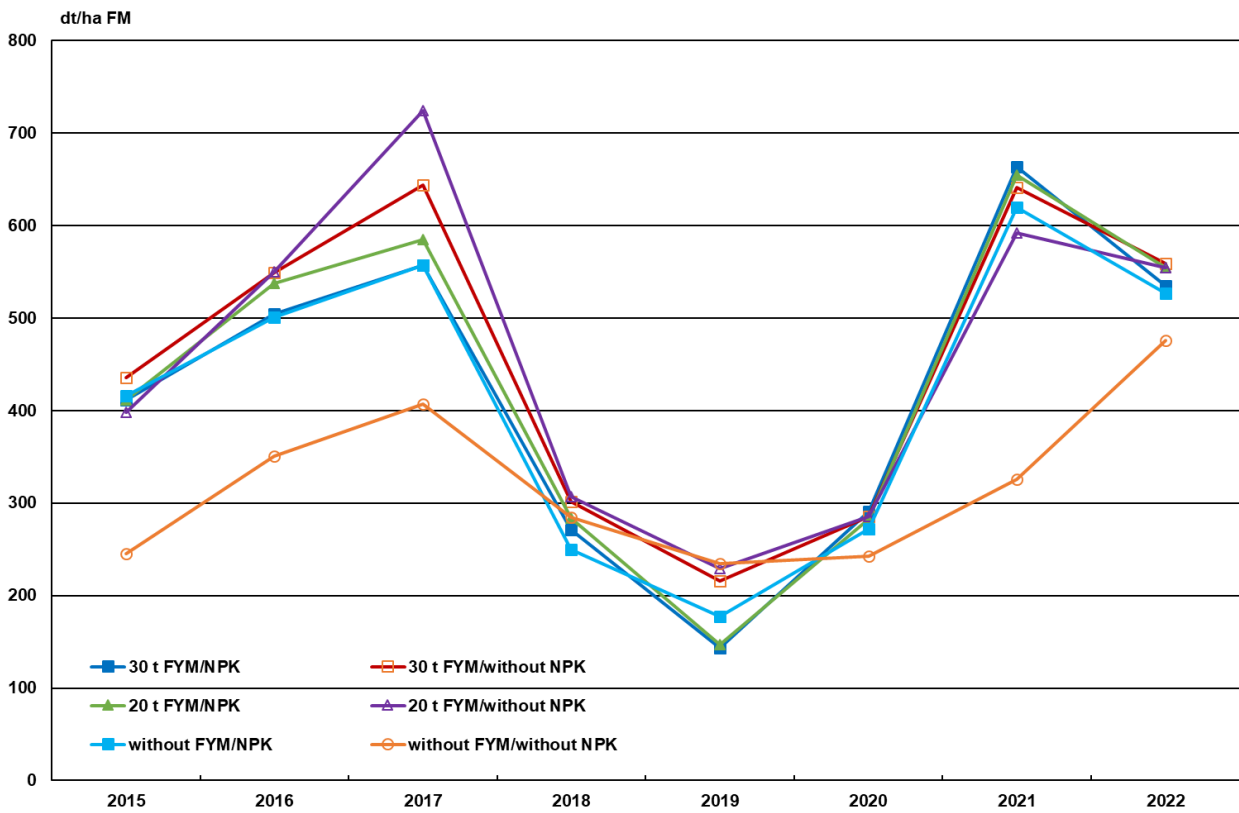


Abb. 17: Silomaiserträge (dt/ha FM) im Statischen Düngungsversuch 2015-2022

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

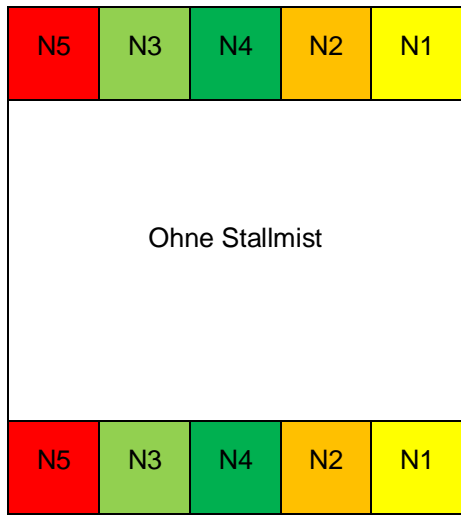
Sommergerste: Avalon

Anlageplan

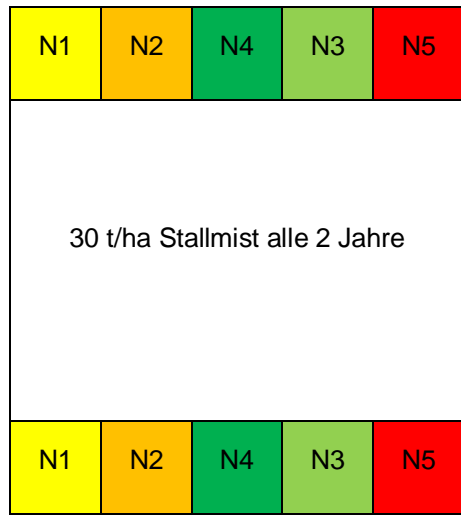
SH 4

Prüfglied

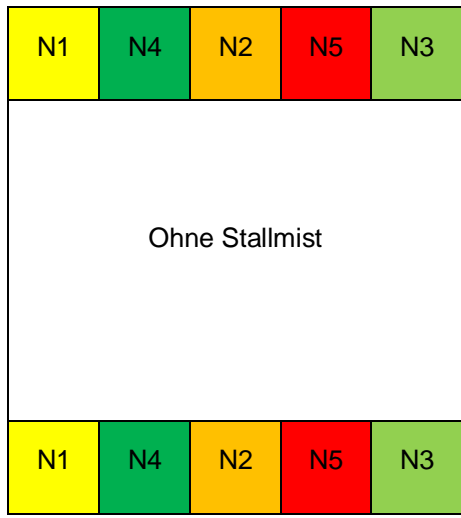
SH 5



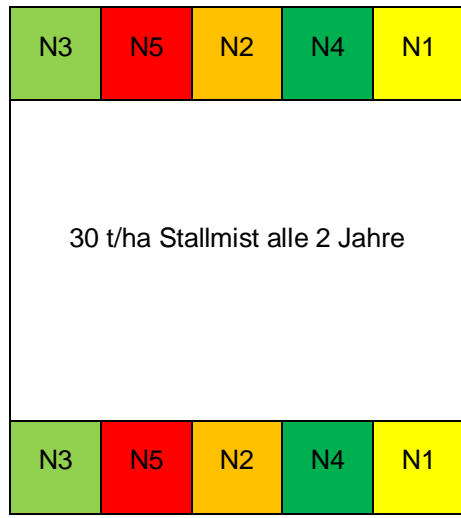
18
ohne
NPK



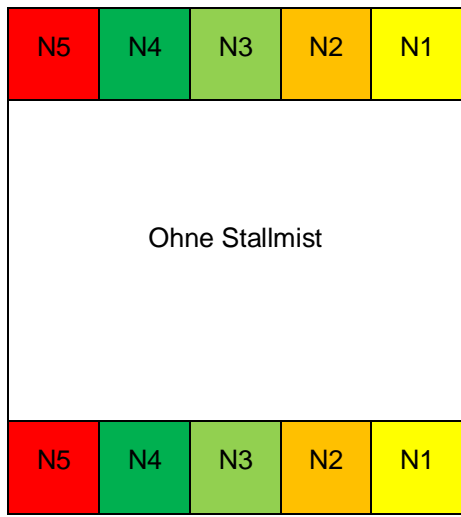
13
NPK



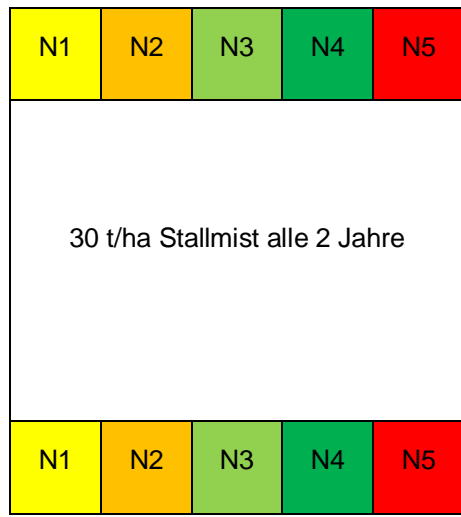
12
Ohne
NPK



7
NPK



6
Ohne
NPK



1
NPK

10 m

60 m

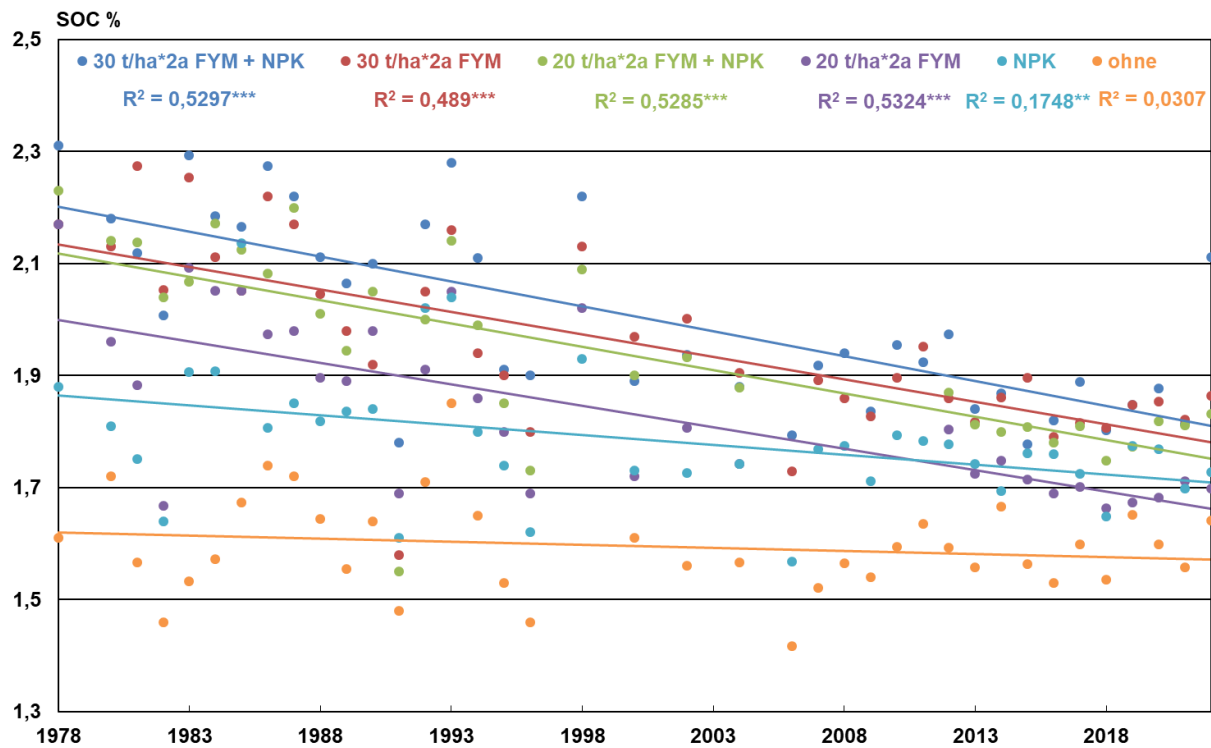


Abb. 1: Dynamik des Corg-Gehaltes im Erweiterten Statischen Düngungsversuch auf SH 4, seit 1978 ohne Stallmist, jeweils die N1-Stufe – ohne N-Dünger

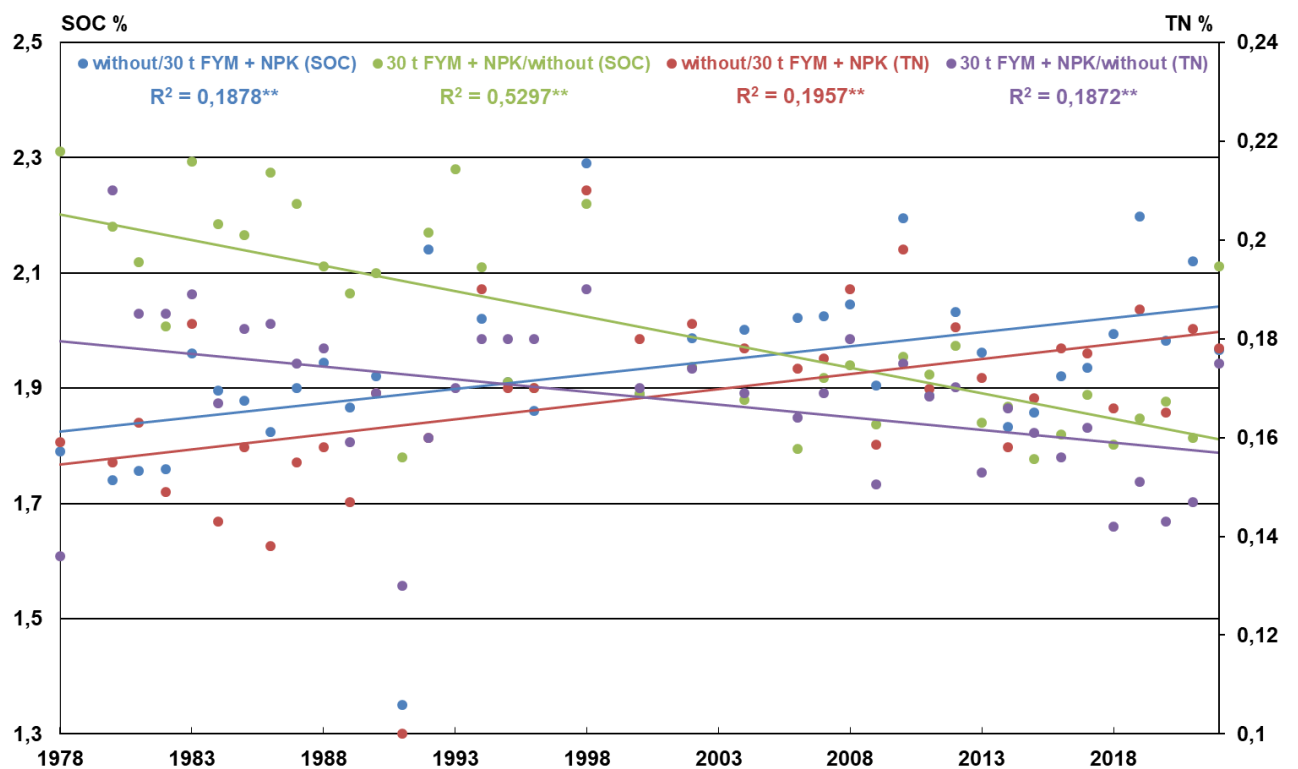


Abb. 2: C- und N-Dynamik in Abhängigkeit von Ausgangsniveau und Düngung im Erweiterten Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (1978-2022)

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, UFZ

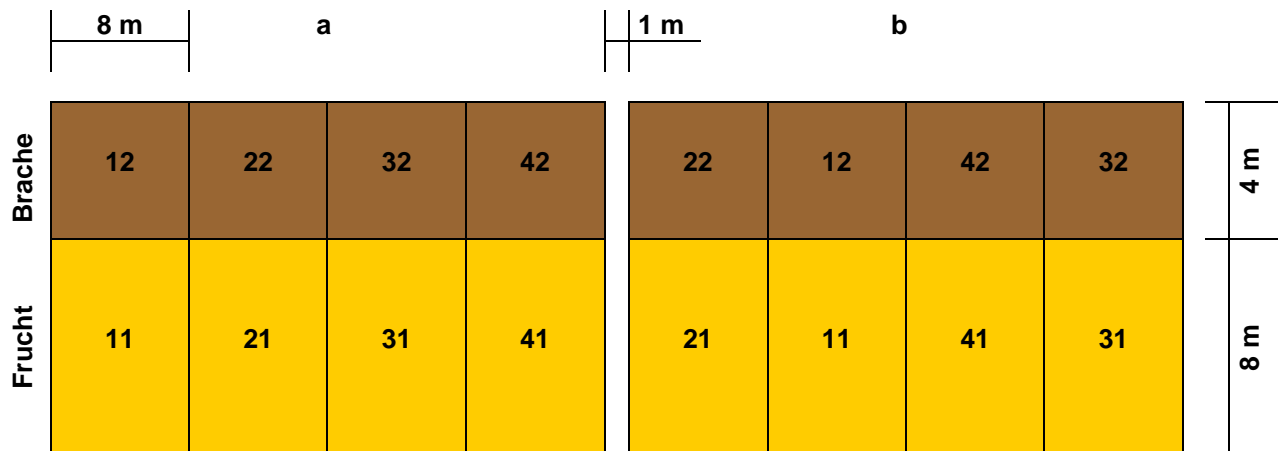
- 1983 von Körschens angelegt
- Ziel: Untersuchung der Langzeiteffekte extrem hoher Stallmistapplikation auf Ertrag, N-Aufnahme der Pflanzen und Bodeneigenschaften
- Zweifaktorielles Blockdesign, 2 Wiederholungen

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 (1984-2012)

	Fruchtfolge STM (t ha ⁻¹)			Schwarzbrache STM (t ha ⁻¹)		
	50	100	200	50	100	200
N-Eintrag t ha ⁻¹	11	22	44	11	22	44

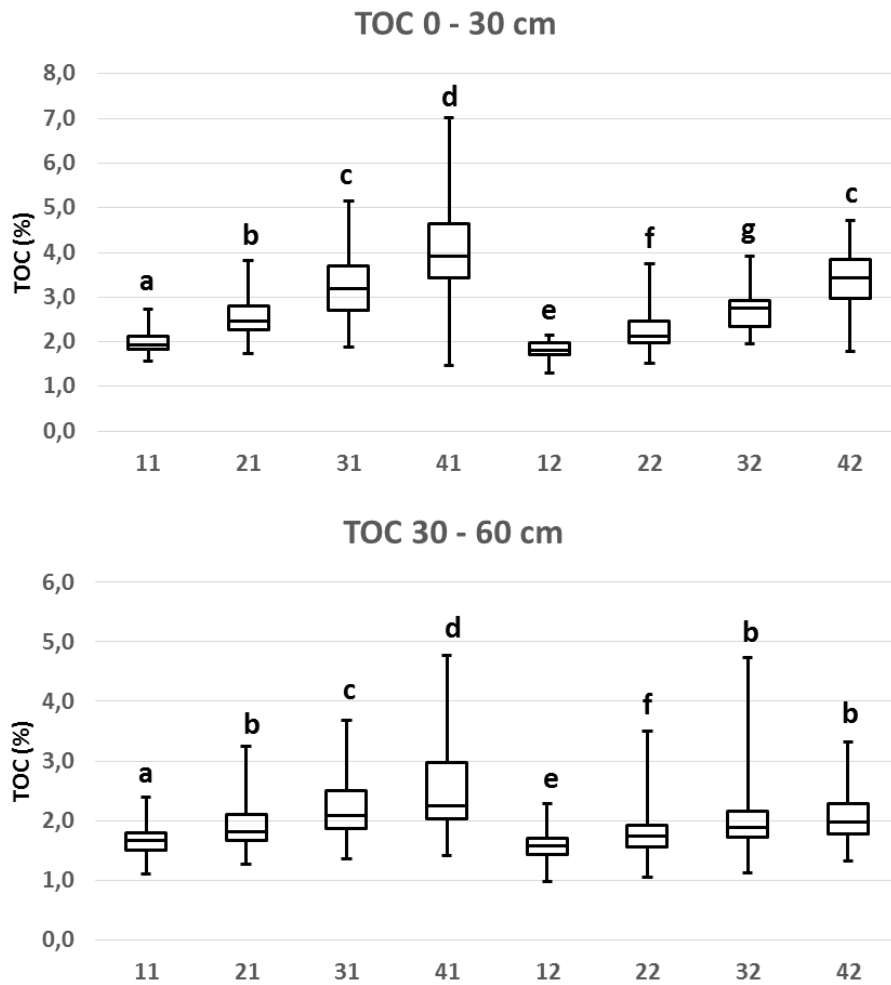


Abb. 1: Effekt von extrem hohen Stallmistmengen auf die C-Akkumulation im Boden nach 28 Versuchsjahren

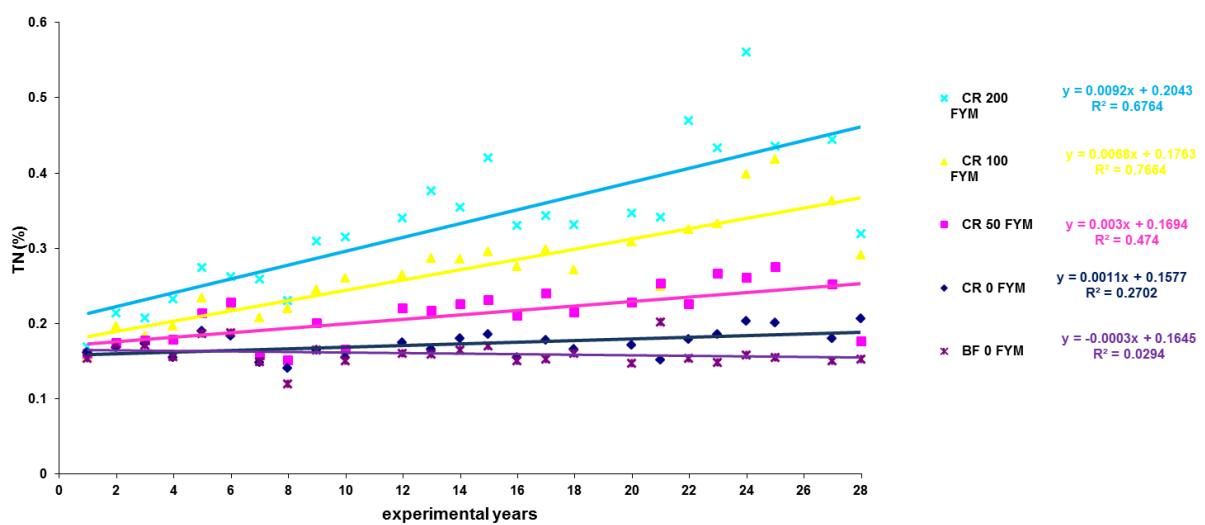


Abb. 2: Effekt von extrem hohen Stallmistmengen auf die N-Akkumulation im Boden nach 28 Versuchsjahren

Fruchtfolge

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

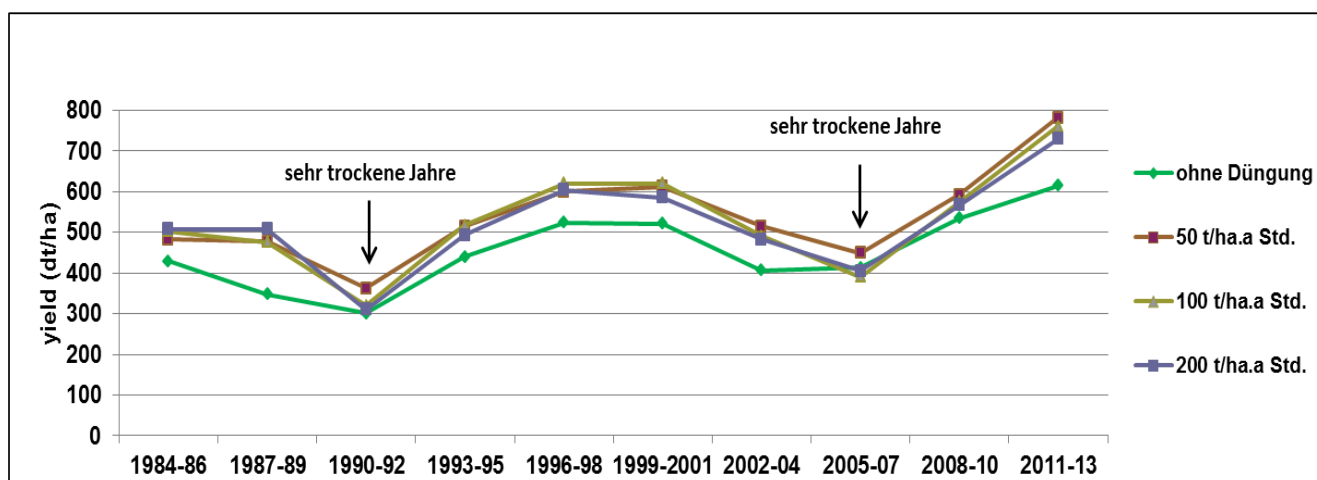


Abb. 3: Fruchtfolge-Ertrag (Trockenmasse, Haupt- und Koppelprodukte) im Verlaufe von 30 Versuchsjahren

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 Stallung-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).

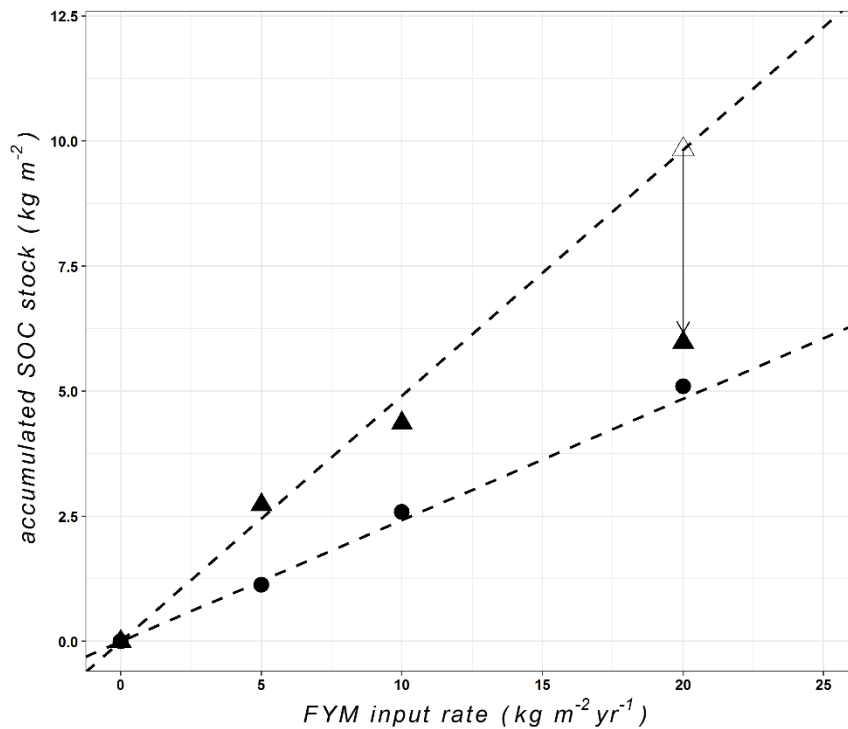


Abbildung 1: Beziehung zwischen jährlicher Stallungszufuhr (FYM input rate) und aufgebautem Kohlenstoffspeicher (accumulated SOC stock) zu verschiedenen Zeitintervallen (Kreise: 1990-1999; Dreiecke: 2007-2016, Strichlinie: erwartete lineare Beziehung). Der Pfeil zwischen dem hohlen und dem gefüllten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

Eine weitere Analyse aller Daten weist darauf hin, dass diese Abweichung von der erwarteten Speichergöße – der scheinbar im Boden fehlende Kohlenstoff – zunimmt, nachdem eine bestimmte Speichergöße überschritten wurde (Abbildung 2). Die Abweichung von der erwarteten Linearität tritt bei einer Speichergöße 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 Stallungszufuhr auf diese Weise wesentlich besser wiedergegeben wird.

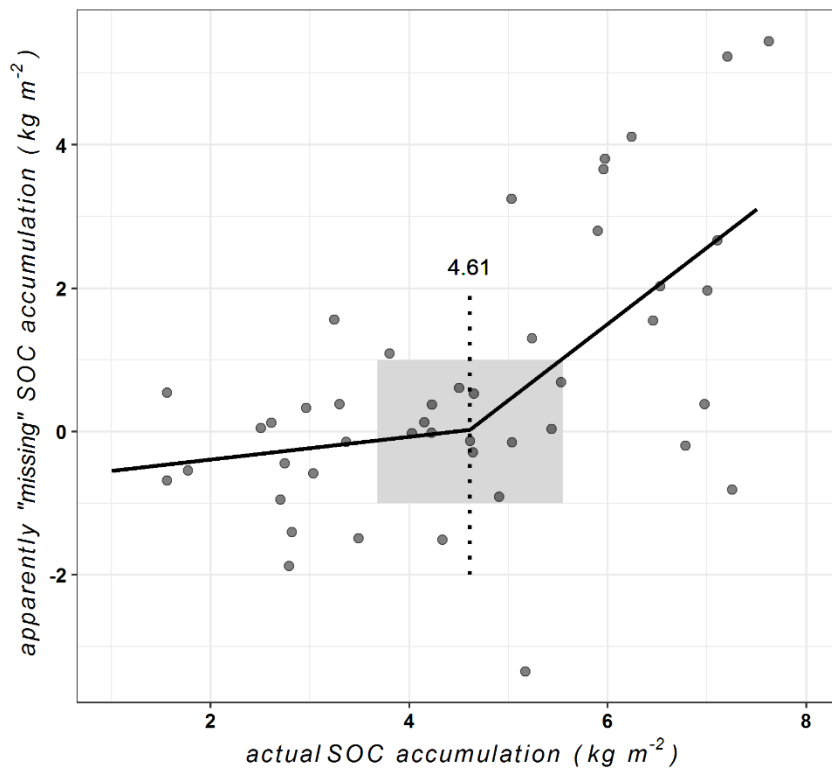


Abbildung 2: Differenz zwischen der bei linearem Verhalten erwarteten und der tatsächlich beobachteten Größe des Kohlenstoffvorrates im Boden (apparently „missing“ accumulation) im Vergleich zur gemessenen Größe des Kohlenstoffvorrates (actual SOC accumulation).

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.

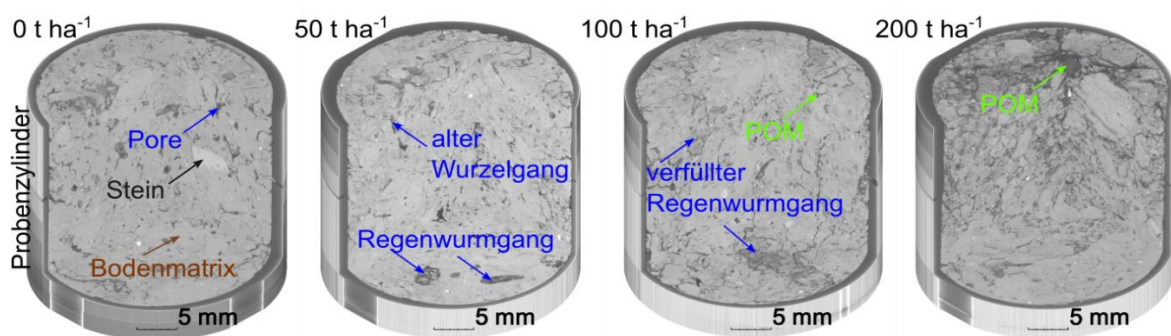


Abb. 1 Computertomographieaufnahmen ungestörter Bodenproben aus jeder Düngestufe.

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.

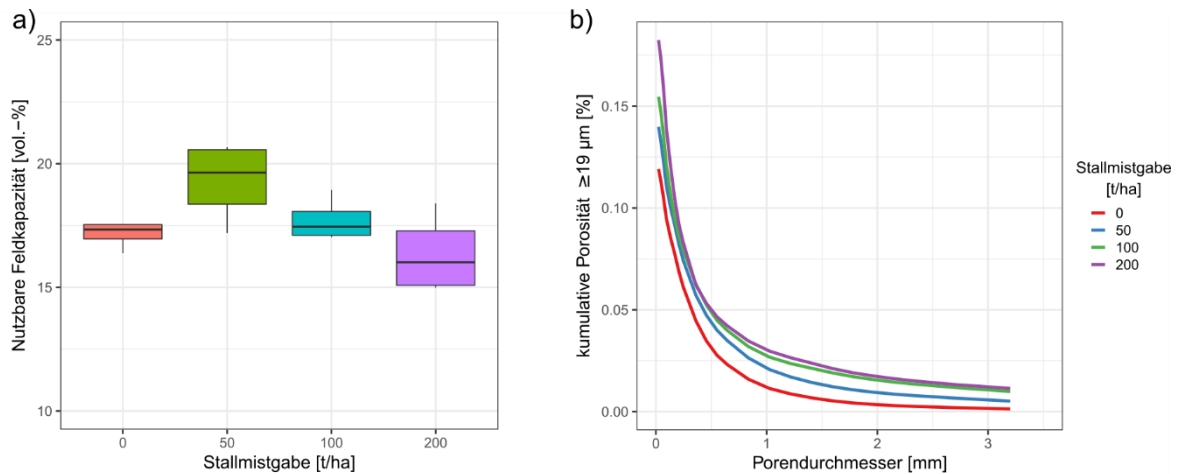


Abb. 2: Nutzbare Feldkapazität in den Fruchtfolge-Parzellen unterhalb der Pflugsohle (a), $n=4$) und die mittlere kumulative Makroporosität (b), $n=6$)

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 2,6 -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 98 kg/ha zurück, d.h. der Boden ist hier fast im Gleichgewicht. Auf der Sukzessionsbrache beträgt die C_{org} -Zunahme seit dem 11. Versuchsjahr 1320 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.

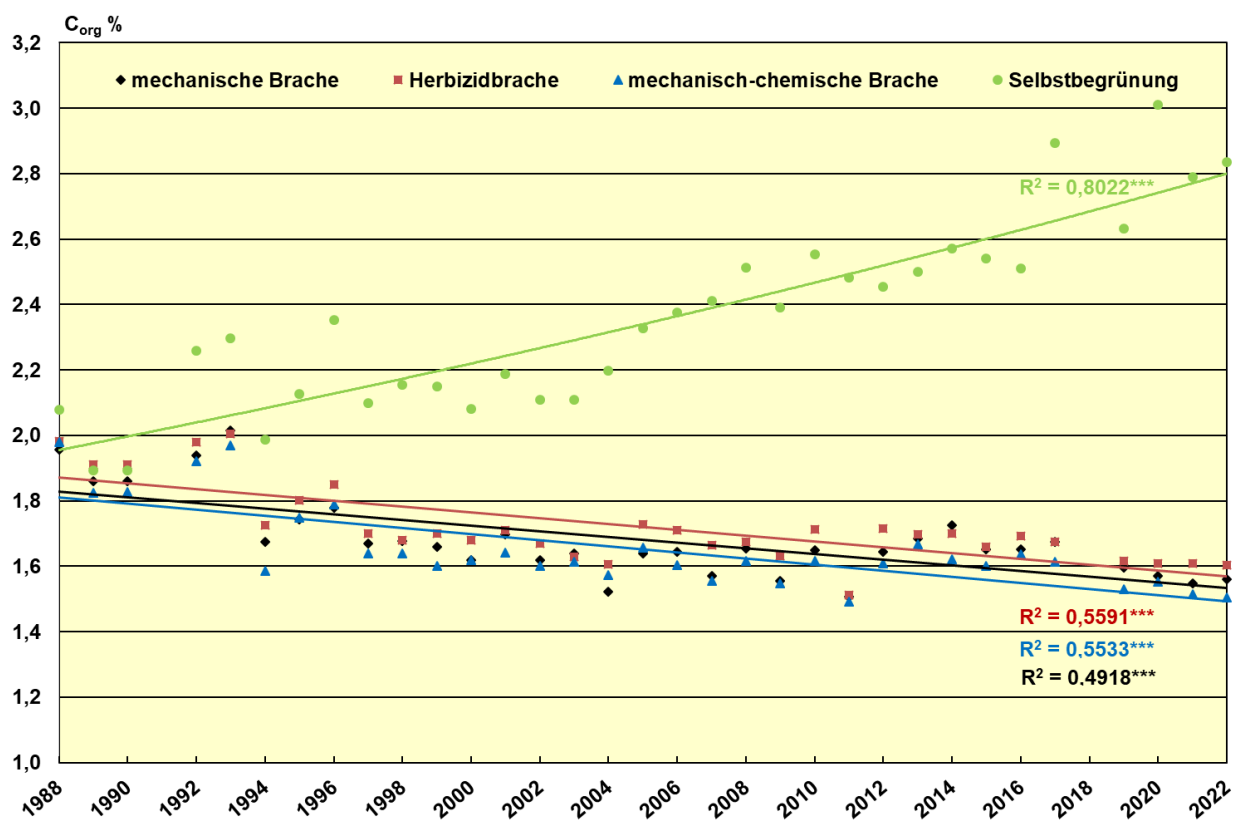


Abb. 1: C_{org} -Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1988-2022 (0-30 cm)

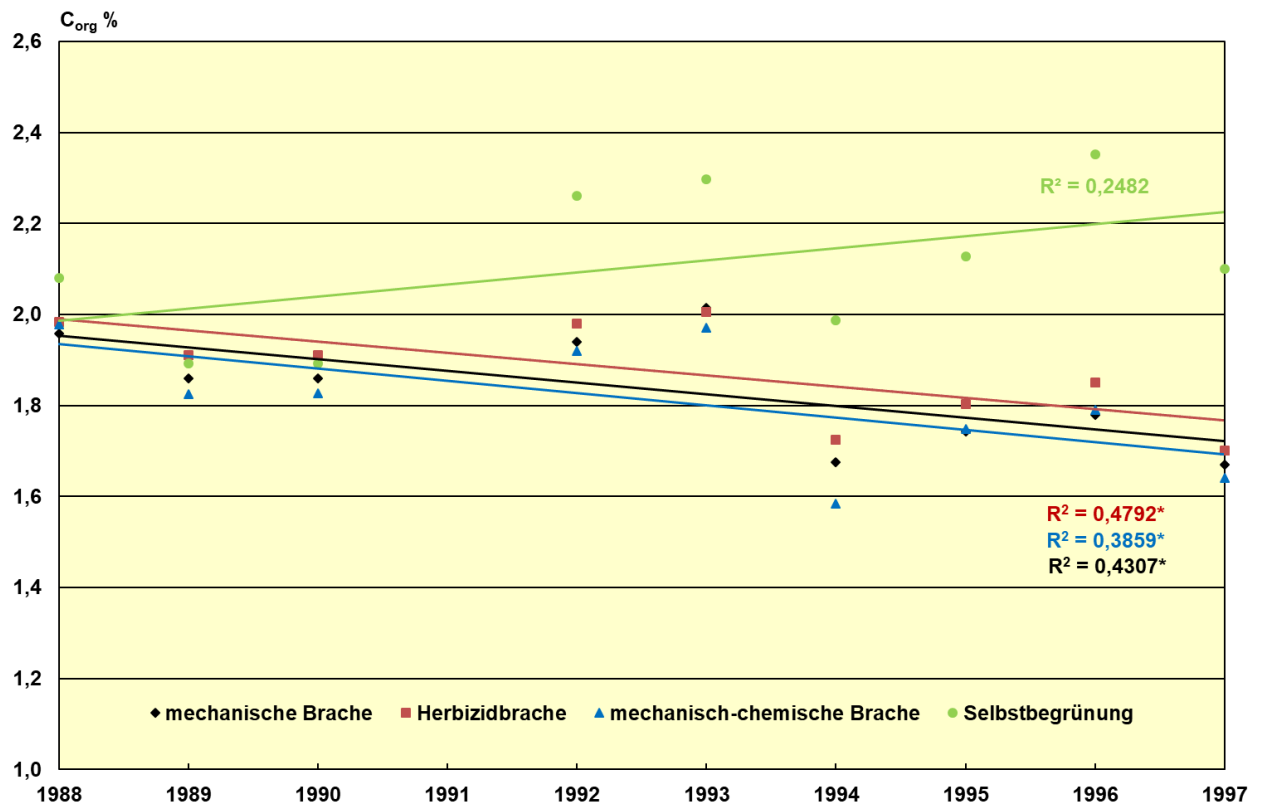


Abb. 2: C_{org}-Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1988-1997 (0-30 cm)

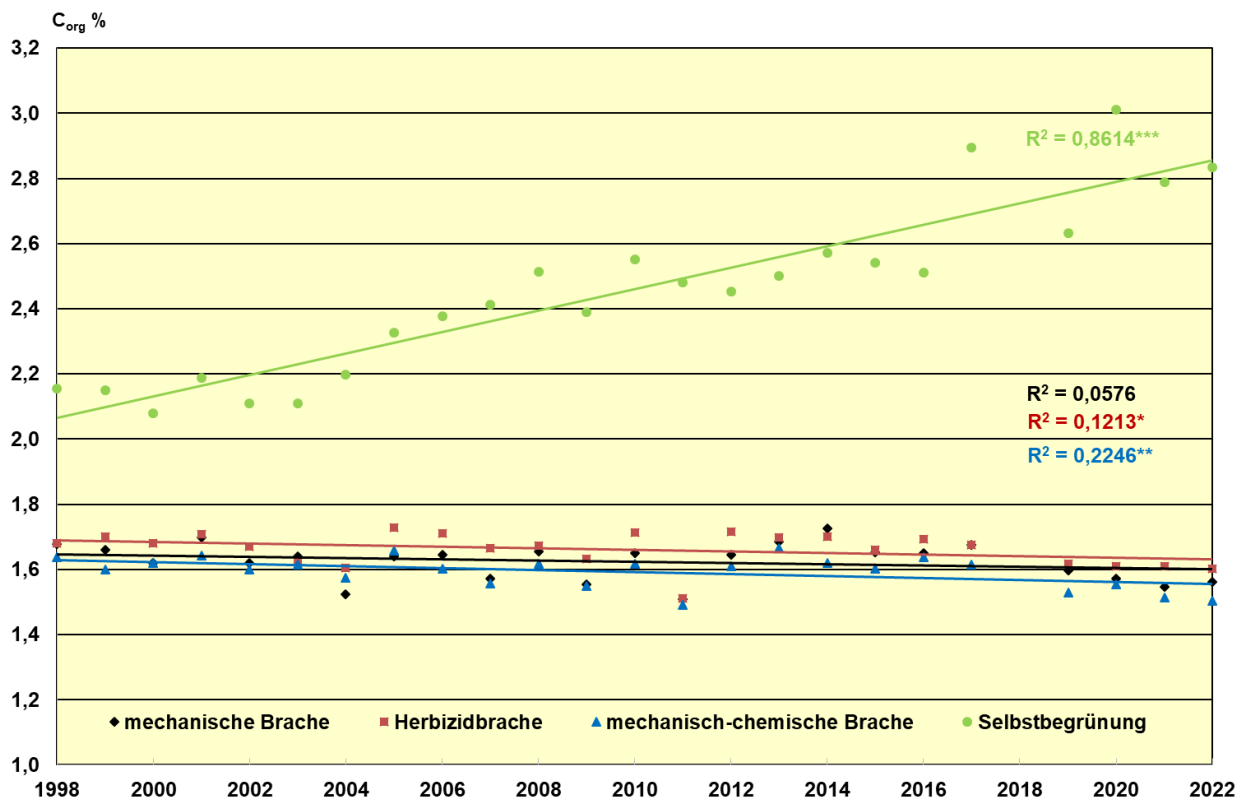


Abb. 3: C_{org}-Gehalt im Bracheversuch Bad Lauchstädt 1998-2022 (0-30 cm)

13. Bodenmonitoring mittels Methoden der Fernerkundung und Proximalbodenerfassung

Mareike Ließ, UFZ



Im Projekt SOCmonit der Arbeitsgruppe Pedometrics am UFZ-Department Bodensystemforschung wird eine quellcode-offene Software-Toolbox zum räumlich-zeitlichen Monitoring des organischen Bodenkohlenstoffs (C_{org}) auf landwirtschaftlich genutzten Böden entwickelt. Vor dem Hintergrund einer klimagerechten Landwirtschaft werden aktuell 32 Innovationsprojekte vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert. Der Internetauftritt der Forschungsbegleitung KlimAgrar (<https://www.unter-2-grad.de/>) gibt eine Übersicht. Projektpartner ist die Firma RSS - Remote Sensing Solutions GmbH.

Langzeitfeldversuche sind für das Bodenmonitoring von besonderem Interesse, da sie den Zusammenhang zwischen landwirtschaftlichem Flächenmanagement und Bodeneigenschaften über lange Zeiträume hinweg dokumentieren. Abbildung 1 zeigt die Messkampagne, die im Herbst 2018 und 2019 auf dem Statischen Düngerversuch (V120) in Bad Lauchstädt durchgeführt wurde.

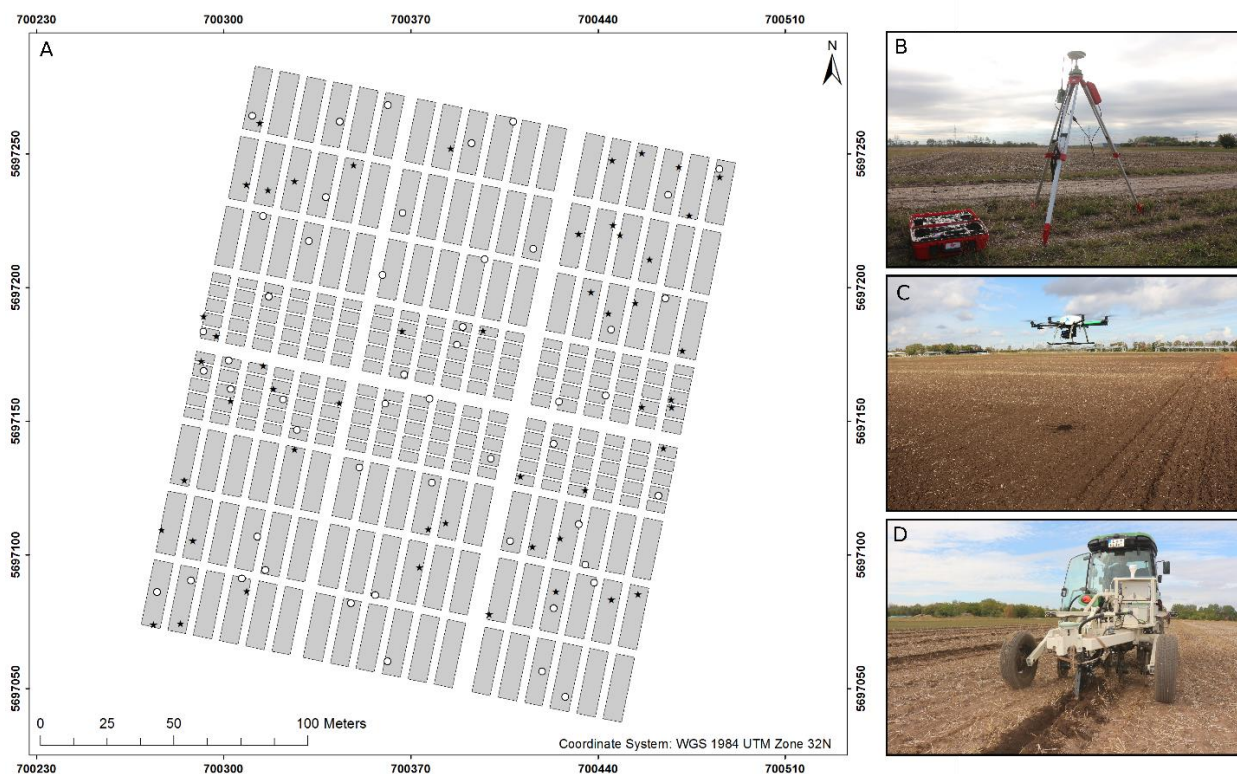


Abb.1 Messkampagne auf dem V120. A) Punktgenaue Bodenprobenahme gemäß statistischer Stichprobenverfahren, die die räumliche Flächenheterogenität berücksichtigen und so die Extrapolation der Ergebnisse auf die Gesamtfläche ermöglichen (Ellinger et al., 2019). B) Zentimetergenaue Einmessung der Probenahmepunkte mittels GNSS. C) Oktokopter mit Multispektralkamera, D) Schleppergezogenes Spektrometer.

Im Projekt erfolgt ein Vergleich von mehreren spektralen Sensoren und Trägerplattformen der Fernerkundung und Proximal-Bodenerfassung. Die Messungen erzeugen unterschiedliche Datenformate mit diversen Informationsgehalten in Bezug auf die Zielgröße C_{org} . Die Messung erfolgt

sowohl ober- als auch unterirdisch. Zusätzlich durchgeführte Labormessungen dienen der Korrektur von Störgrößen der Feldmessung wie der variablen Oberflächenbeschaffenheit, unterschiedlichen Wassergehalten und Ernterückständen. Die Daten unterschiedlicher Formate (Bildformate versus Punktspektralmessungen) und spektraler Auflösungen im elektromagnetischen Wellenlängenspektrum des visuellen und nahen Infrarotbereichs erfordern unterschiedliche Datenprozessierungsschritte. In mathematisch-statistischen Modellierungsansätzen wird dann an den Probenahmepunkten der Zusammenhang zwischen elektromagnetischem Spektrum und C_{org} -Gehalt des Bodens ergründet, bevor dieser über das Modell in die Fläche extrapoliert werden kann. Unbedingt notwendig ist in diesem Kontext die Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung. Ellinger *et al.* (2019) verdeutlichen diesen wichtigen Aspekt.

Über den Modellierungsansatz basierend auf Daten der Fernerkundung und Proximalbodenerfassung wird das flächendeckende Bodenmonitoring vereinfacht, und es kommt zu Kosteneinsparungen bei der Laboranalyse. Die im Projekt entwickelte Software-Toolbox implementiert und automatisiert die verschiedenen Datenprozessierungs- und Modellierungsschritte.

Literatur

Ellinger, M., Merbach, I., Werban, U. & Ließ, M. 2019. Error propagation in spectrometric functions of soil organic carbon. *SOIL*, **5**, 275–288.



Gefördert durch:

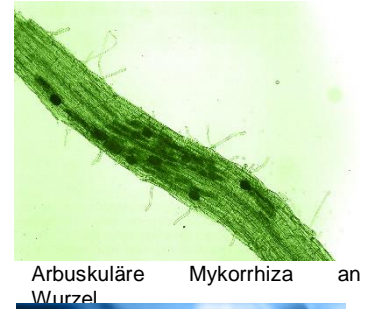
14. Forschungsplattform MyDiv

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

Nico Eisenhower, 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 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.

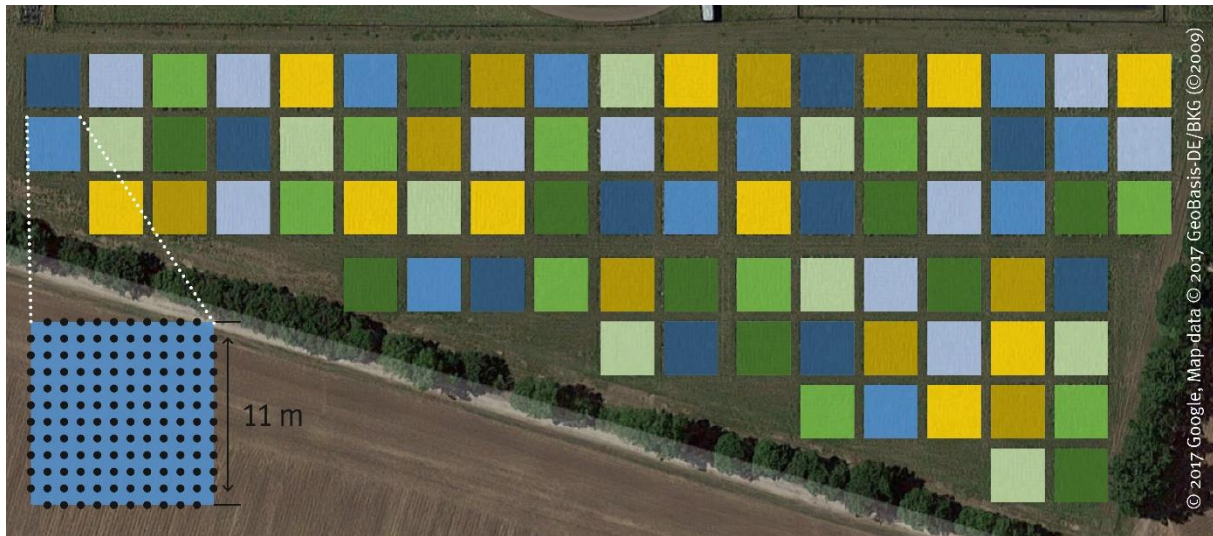


Ektomykorrhiza an Wurzel.

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 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 soll zudem Mäusepopulationen gering halten.

Mäuse können an jungen Baumwurzeln erheblichen Verbissschaden anrichten. Die Folie wurde 2022 entfernt.



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
 Eichenphytometer-Studie
 (<http://www.ufz.de/trophinoak>)
 Allometrien von Laubbäumen
 Wurzelexsudate
 Aufnahme von Stickstoffverbindungen



Tiere oberirdisch

Herbivorie und Schädlinge an Blättern
Mäusepopulationen

Bodenkunde (obere 10 cm)

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

Mikroklima

Luft (1 m): Temperatur, Feuchtigkeit
Boden (Tiefe: 5, 10 und 55 cm): Temperatur, Feuchtigkeit

Bodenbiologie

Mikrobielle Gemeinschaftsstruktur und Biomasse
im Boden (PLFA-/Respirations-Methode)
Zersetzung (Holzstäbchen-Methode)
Nematoden: Abundanz, Diversität
Mesofauna und Mikrofauna: Abundanz, Diversität
(in Planung)
Nahrungsnetze

(b)



(c)



(d)



(a) MyDiv im Mai 2015 nach Fertigstellung; (b) Messungen der Photosynthese-Raten an den Bäumen; (c) Beprobung von Duftstoffen an Bäumen, Kooperationsprojekt mit TROPOS (d) 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.

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

Prof. Dr. Nico Eisenhauer (nico.eisenhauer@idiv.de) und 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

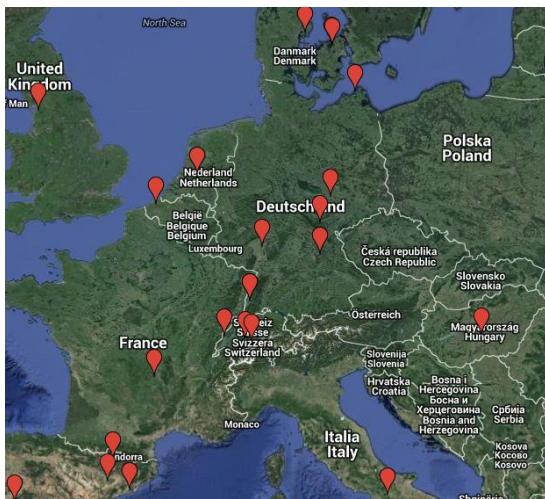
Seit 2015 existiert auch auf der Versuchsstation Bad Lauchstädt eine Fläche des Nutrient Network und seit 2016 werden regelmäßig die Behandlungen mit Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumsulfatdünger in unterschiedlichen Kombinationen durchgeführt (Tabelle 1). Jährlich werden Vegetationsaufnahmen gemacht, 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.



16. 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 vollständigen 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 der Dachkonstruktionen die Wasser von den Versuchspartzen ableiten und dadurch den Niederschlag um 55% reduzieren.

Erste Ergebnisse

Biologische Aktivität im Boden:

Die im Experiment simulierten Faktoren des globalen Wandels, Trockenheit und Nährstoffanreicherung, verändern die Aktivität und funktionelle Zusammensetzung von Bodengemeinschaften, die für wichtige Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen verantwortlich sind. Die Reaktionen der Bodenorganismen auf die Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Faktoren des globalen Wandels sind noch weitgehend unbekannt, weshalb die interaktiven Auswirkungen von extremer Trockenheit und Düngung auf die Bodenbiota - von Mikroben bis hin zu wirbellosen Tieren - über verschiedene Jahreszeiten hinweg untersucht wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Trockenheit nachteilig auf die Fraßaktivität der wirbellosen Bodenbewohner auswirkte und die Struktur der Nematodengemeinschaft vereinfachte, während die mikrobielle Aktivität und Biomasse im Boden nicht beeinträchtigt wurden. Die mikrobielle Biomasse nahm als Reaktion auf die Düngung zu, während die Fraßaktivität der Wirbellosen deutlich zurückging. Bemerkenswert ist, dass diese Auswirkungen über die Jahreszeiten hinweg gleich blieben. Die unterschiedlichen Reaktionen deuten darauf hin, dass sich die Bodenbiota in ihrer Anfälligkeit gegenüber den Faktoren des globalen Wandels stark unterscheiden. So könnten wichtige Ökosystemprozesse wie die Zersetzung und der Nährstoffkreislauf, die durch die voneinander abhängigen Aktivitäten von Bodenmikroorganismen und Wirbellosen angetrieben werden, unter zukünftigen Bedingungen gestört werden (Siebert et al. 2019).

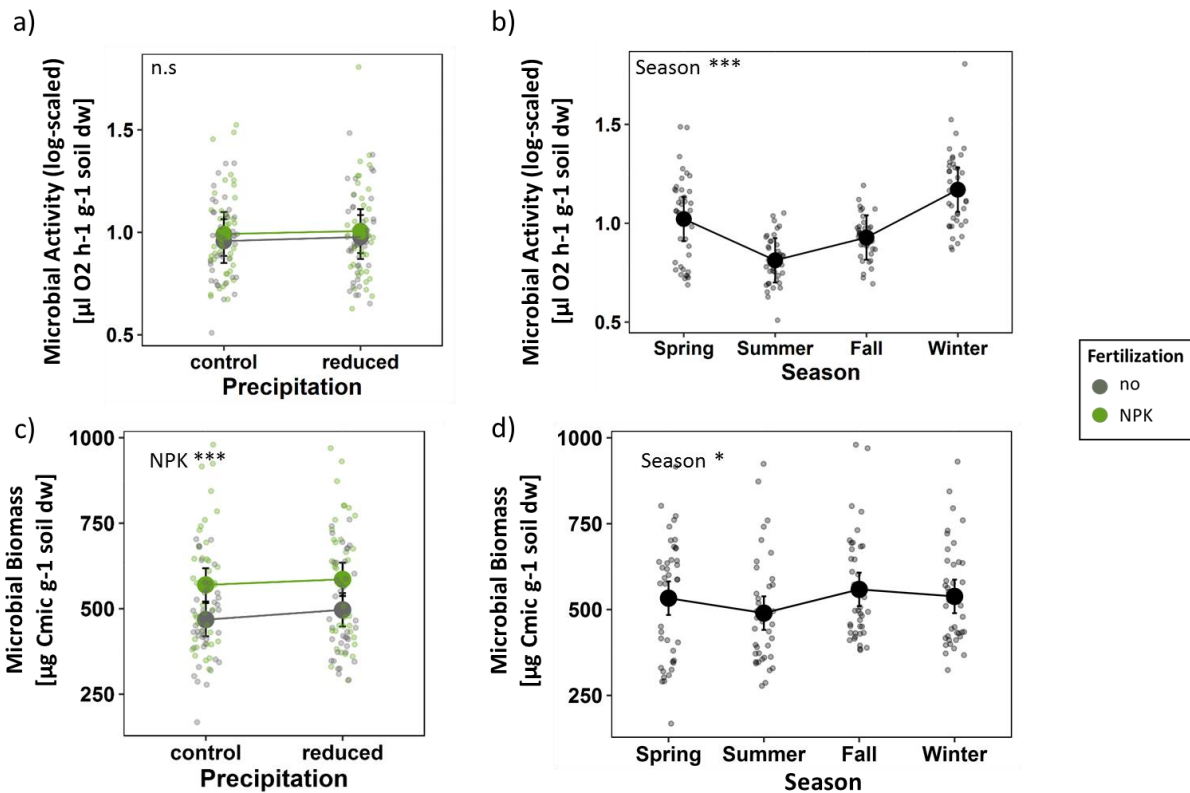


Abb. 2: Die Auswirkungen von Trockenheit (hier: „reduced“), NPK-Düngung und der jeweiligen Jahreszeit einige auf mikrobielle Bodenvariablen. (a) Auswirkungen über alle Jahreszeiten hinweg und (b) saisonale Effekte auf die mikrobielle Aktivität im Boden. (c) Auswirkungen der Behandlung für alle Jahreszeiten und (d) saisonale Effekte auf die mikrobielle Biomasse im Boden. Grau = keine NPK-Düngung; grün = NPK-Düngung.

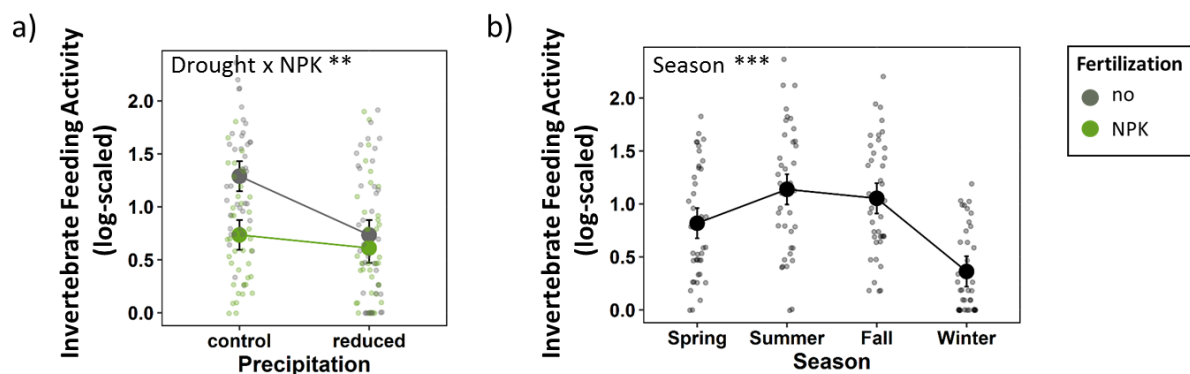


Abb. 3: Die Auswirkungen von Trockenheit (hier: „reduced“), NPK-Düngung und der jeweiligen Jahreszeit auf die Fütterungsaktivität von Bodeninvertebraten (logarithmisch skaliert). (a) Auswirkungen über alle Jahreszeiten und (b) saisonale Effekte. Grau = keine NPK-Düngung; grün = NPK-Düngung.

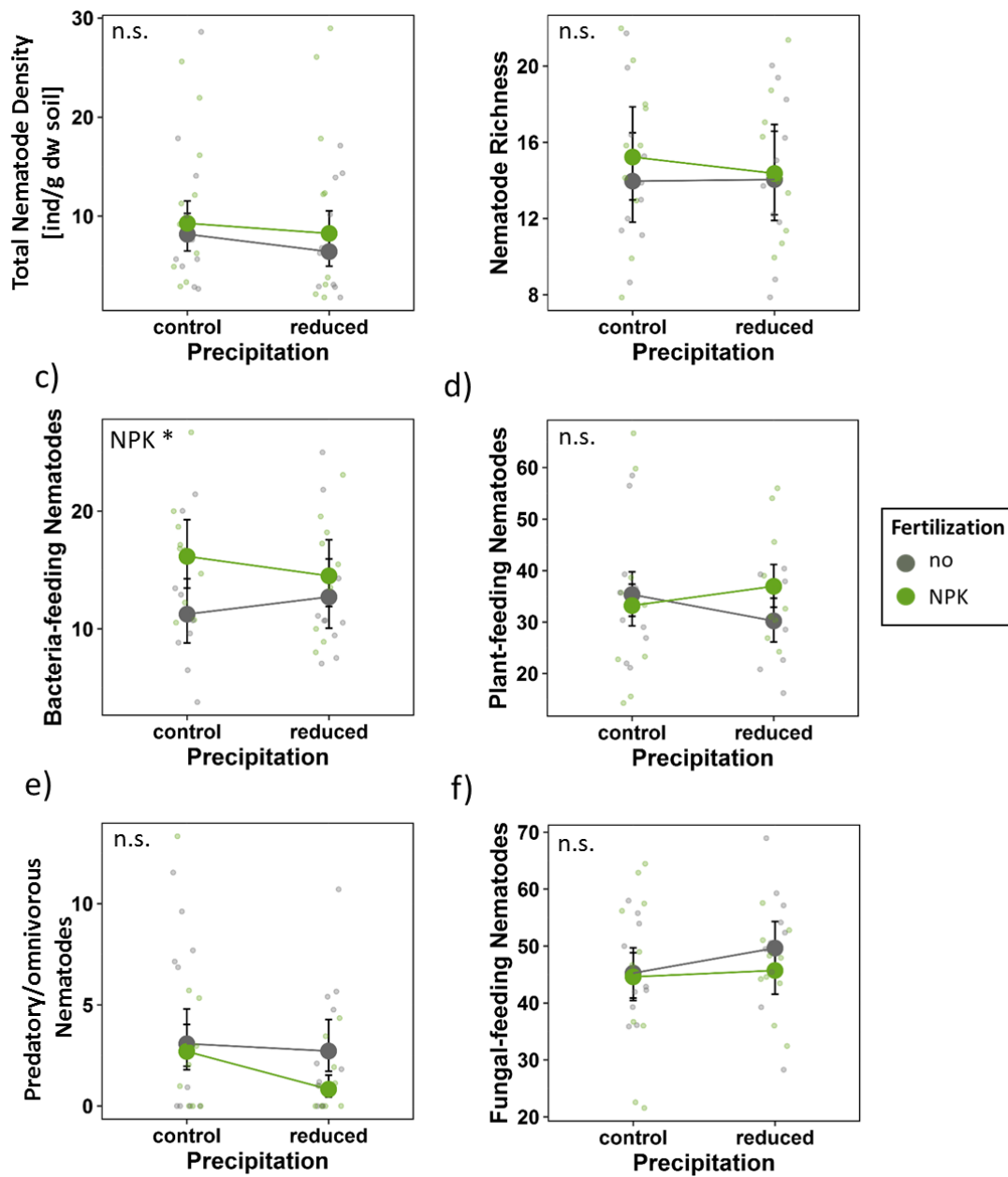


Abb. 4: Die Auswirkungen von Trockenheit (hier: „reduced“) und NPK-Düngung auf die Nematoden Gemeinschaft. (a) Gesamtdichte der Nematoden pro g Trockengewicht des Bodens; (b) Taxon Vielfalt der Nematoden; Prozentsatz der (c) bakterienfressenden Nematoden; (d) pflanzenfressenden Nematoden; (e) pilzfressenden Nematoden; und (f) räuberischen und allesfressenden Nematoden. Grau = keine NPK-Düngung; grün = NPK-Düngung.

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

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

(Etablierung ab 2020)

Zielstellung

Veränderungen in der Landnutzung und Verlust bzw. (Zer)Störung von Habitaten sind wesentlich 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.

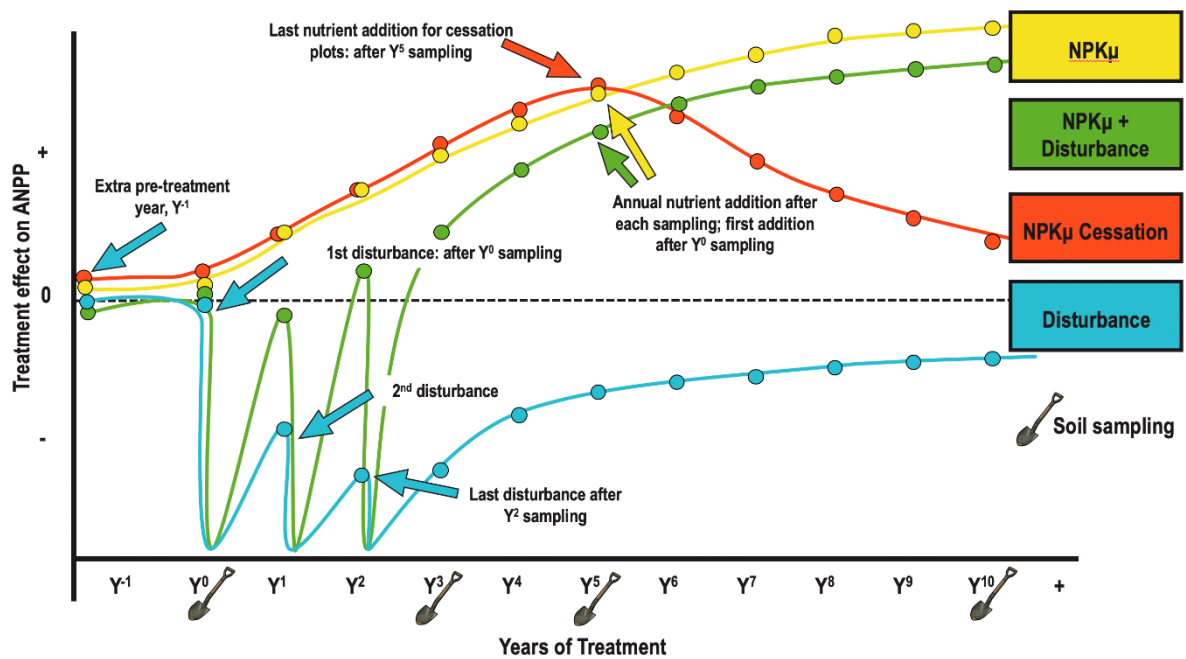
Konkret werden folgende Ziele verfolgt:

- (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 unter besonderer Berücksichtigung der Verfügbarkeit von Diasporen („Samenregen“, Diasporenbank)
- (iii) Quantifizierung der Resistenz und Resilienz von Graslandgemeinschaften nach einem Nährstoffpuls
- (iv) Test 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) mit der Messung von Standardvariablen (vor der experimentellen Behandlung) etabliert. Die erste Störung wurde im Herbst 2021 durchgeführt, die erste Düngung erfolgte im März 2021. 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.



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

18. BadBug – part of BugNet

Malte Jochum (iDiv), 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 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 Dr. Malte Jochum (iDiv), with support by Dr. Harald Auge, Dr. Martin Schädler, and Prof. Nico Eisenhauer. At BadBug, we aim to assess responses of the plant community, arthropod community, and soil conditions to the experimental exclusion of arthropods, molluscs and fungal pathogens. From 2023 onwards, we will employ a PhD student for the project.

BadBug treatment allocation

Treatment codes

1	2	3	4	5	6	7	8	
-I +M +F	+I -M +F	+I +M -F	-I -M +F	-I +M -F	+I -M -F	-I -M -F	+I +M +F	<div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid red; margin-right: 5px;"></div> 10-plot-selection
								<div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid blue; margin-right: 5px;"></div> 7-plot-selection

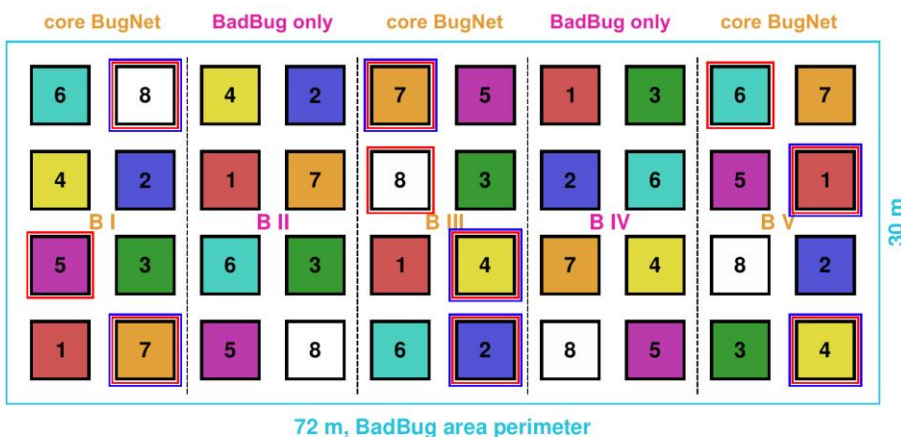


Fig. 1: BadBug plot arrangement with treatment allocation. I, M, and F denote insects, molluscs, and fungi, respectively. + Means no exclusion, - means exclusion of the respective group.

Treatments in map

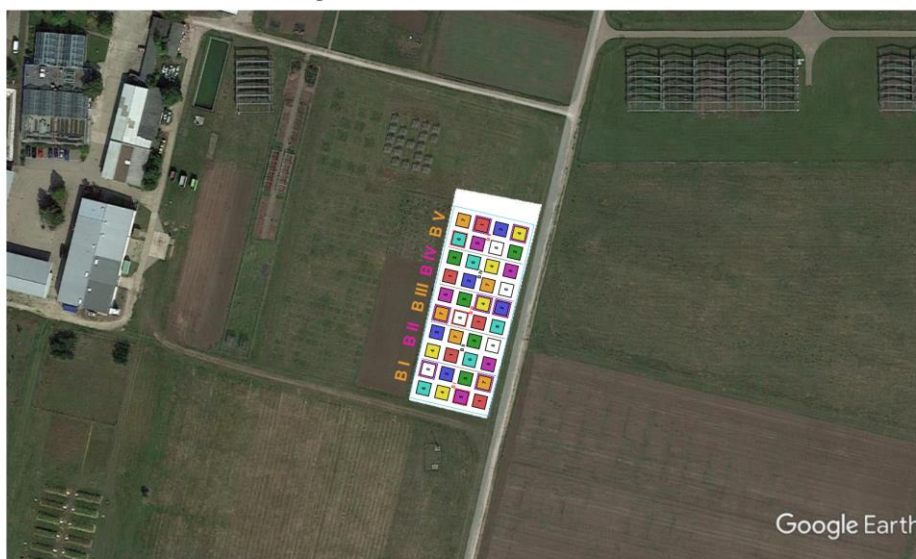




Fig. 2: The BadBug plots after initial setup in late 2021.

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

Anna-Maria Madaj^{1,2}, Jes Hines^{1,2}, Lisa Ertel^{1,2}, Alban Gebler^{1,2},
Oliver Bednorz³, Nico Eisenhauer^{1,2}

1. iDiv, 2. Universität 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.

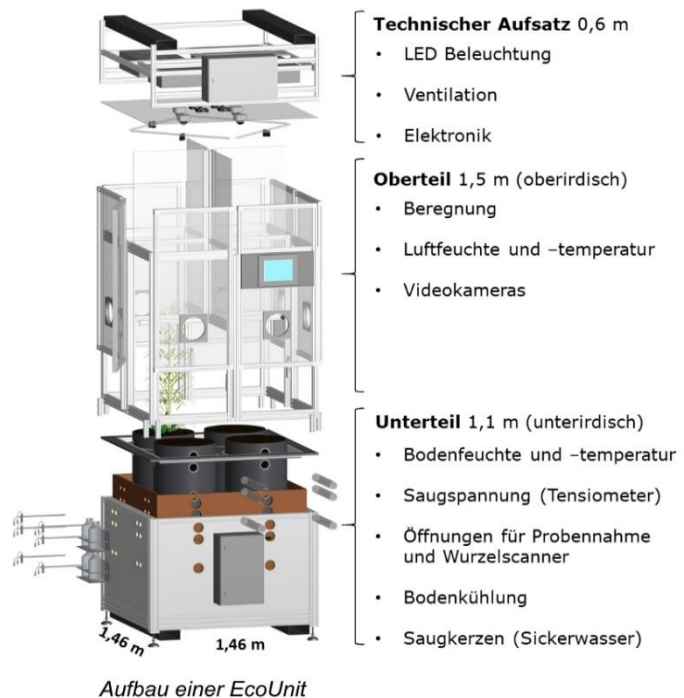


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Versuchseinheit „EcoUnit“ mit technischer Ausstattung

2022 wurde das JENATRON-Experiment im iDiv Ecotron durchgeführt (Abb. 2):

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass generell ein positiver Zusammenhang zwischen der Artenvielfalt von Pflanzen und dem Funktionieren von Ökosystemen (BEF – Biodiversity-Ecosystem Functioning) besteht. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass sich diese Beziehung im Laufe der Zeit verstärkt, was sich sowohl in einer erhöhten Funktion diverser Gemeinschaften, als auch in einer geringeren Funktionalität von Monokulturen widerspiegelt. Mit dem JENATRON-Experiment soll untersucht werden, ob diese im Laufe der Zeit stärker werdende BEF-Beziehung auf die Zusammensetzung der Bodengemeinschaft, die gemeinsame Geschichte der Pflanzen oder auf einen kombinierten Einfluss beider Faktoren zurückzuführen ist.

Hierzu wurden im iDiv-Ecotron Böden und Pflanzen mit unterschiedlicher Geschichte über einen Diversitätsgradienten von 1 bis 6 Pflanzenarten aus dem Trait Based Experiment (TBE) des Jena-Experiments faktoriell gekreuzt. Die Geschichte der Pflanzen bezieht sich hierbei auf den abiotischen und biotischen Selektionsdruck, den Pflanzen in ihren jeweiligen Gemeinschaften des Jena-Experimentes erfahren haben, während die Bodengeschichte die abiotischen und biotischen Bodeneigenschaften umfasst, die sich aus den Interaktionen zwischen Pflanze und Boden ergeben haben. Bodengemeinschaften mit und ohne pflanzenspezifische Geschichte (+/- BG) wurden durch den Aushub von intakten Bodenmonolithen aus dem 12 Jahre alten TBE (+BG), beziehungsweise aus den Bare Ground Plots des Jena-Experimentes (-BH) gewonnen. Für die Anzucht von Pflanzen mit und ohne plot-spezifische Vorgeschichte (+/-PG) wurde im TBE gesammeltes Saatgut (+PG) bzw. das für die Etablierung des TBE verwendete Originalsaatgut (-PH) verwendet. Die unabhängige Kreuzung der verschiedenen Böden und Pflanzen über alle Diversitätsebenen hinweg führte zu den folgenden vier Behandlungen in jeder EcoUnit: (1) "+PG/+BG"; (2) "-PG/+BG"; (3) "+PG/-BG" und (4) "-PG/-BG". In JENATRON haben viele verschiedene Fachdisziplinen wie Mikrobiologie, chemische Ökologie, Phänologie, Proximal Sensing, Genomforschung und Nahrungsnetzmodellierung eng zusammengearbeitet, um die unabhängigen und interaktiven Effekte von Pflanzen- und Bodengeschichte auf die BEF-Beziehung zu untersuchen. Sollte sich zeigen, dass die Geschichte von Pflanzen und Böden diese Beziehung verändert, ist eine wichtige Schlussfolgerung, dass neu etablierte Gemeinschaften ohne gemeinsame Vorgeschichte einen schlechten Ersatz gegenüber dem langfristigen Erhalt bestehender Ökosysteme darstellen könnten.



Abbildung 2: Etablierung des JENATRON-Experimentes im iDiv-Ecotron: a) Foto von einigen EcoUnits in der Ecotron-Halle. b) Gewinnung intakter Bodenmonolithe im Jena-Experiment. c) Foto von vier Lysimetern in einer EcoUnit mit Innenwänden. d) Foto von der Aussaat des Saatguts in Petrischalen. e) Foto nach dem Pikieren der Pflanzen in plot-spezifischen Boden in 96-Quickpot-Platten. f) Foto aller Individuen, die im Rahmen des JENATRON-Experimentes gepflanzt wurden. g) Foto der artspezifischen Markierung der Positionen aller Pflanzen auf den Monolithen mit Hilfe einer speziell angefertigten Pflanzschablone. h) Foto der Bepflanzung aller Bodenmonolithe mit Hilfe von Zwiebelpflanzern. i) Foto der Ernte der oberirdischen Pflanzenbiomasse. j) Foto der Bodenprobenahme. k) Foto eines komplett beprobten Lysimeters.