



Themenpapier

Boden-Biodiversitätsmanagement: Ein systemübergreifender Hebel für die Eindämmung des Klimawandels, die Wiederherstellung von Ökosystemen und die landwirtschaftliche Produktivität

Das Verständnis der Zusammenhänge zwischen der biologischen Vielfalt im Boden, der Pflanzenbewirtschaftung und der Leistungsfähigkeit der Pflanzen ist für die Beurteilung der Fähigkeit der Böden, den Klimawandel abzuschwächen, und für die Gestaltung widerstandsfähiger Anbausysteme von wesentlicher Bedeutung. In den BiodivClim-Projekten **MICROSERVICES**¹, **GRADCATCH**² und **BIOFAIR**³ wurden drei wichtige Hebel zur Verbesserung des Boden-Biodiversitätsmanagement ermittelt.



Wichtigste Ergebnisse

1. Klimabedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt und Funktion des Bodens erfordern gezielte Maßnahmen

Die biologische Vielfalt im Boden und die Funktionen des Ökosystems reagieren in den verschiedenen Klimazonen unterschiedlich, wobei Dürre und Trockenheit eine große Bedrohung darstellen. Besonders gefährdet sind Regionen wie der Mittelmeerraum, wo eine zunehmende Austrocknung die Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufe destabilisieren kann. Ein Antizipieren dieser Veränderungen ist für ein proaktives Bodenmanagement und die Förderung der Klimaresilienz von entscheidender Bedeutung. (MICROSERVICES - Europa, GRADCATCH - Europa, Grönland)

Die Pilzvielfalt spielt durch ihren Beitrag zum Nährstoffkreislauf eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Stabilität von Ökosystemen. Da Pilze besonders empfindlich auf Temperaturschwankungen reagieren, ist die Erhaltung von Pilzgemeinschaften der Schlüssel zum Schutz der Ökosystemfunktionen in einem sich erwärmenden Klima. (GRADCATCH - Grönland, Europa, Südafrika)

2. Ein präzises Management mikrobieller Organismen ist entscheidend für die Gesundheit des Bodens und die Produktivität der Pflanzen

- Eine höhere Zahl Mikroorganismen bedeuten nicht immer auch mehr Ertrag. In manchen Fällen kann eine größere mikrobielle Biomasse die Ernteerträge einschränken, weil sie Nährstoffe bindet. Eine wirksame Bewirtschaftung erfordert, dass man über die mikrobielle Abundanz hinausgeht und sich auf die mikrobielle Funktion konzentriert - insbesondere auf die, die mit der Nährstoffeffizienz zusammenhängt. (BIOFAIR - Europa)
- Eine Anpassung der Bodenbewirtschaftung an die Eigenschaften der Pflanzen und die örtlichen Bedingungen kann die Produktivität steigern. So kann beispielsweise die Züchtung von Pflanzen mit effizienten Wurzelsystemen oder die Anpassung der Zufuhr organischer Stoffe die Nährstoffaufnahme unter bestimmten Umweltbedingungen unterstützen. (BIOFAIR - Europa, GRADCATCH - Grönland, Europa, Südafrika)

1. Fußnoten sind im Informationsblatt zu finden.

3. Gleichgewicht zwischen Bodenbiodiversität, Erträgen und landwirtschaftlichen Gegebenheiten

- Es gibt Kompromisse zwischen Praktiken, die die biologische Vielfalt im Boden fördern, und solchen, die den Ertrag maximieren. So unterstützt beispielsweise eine langfristig reduzierte Bodenbearbeitung⁴ zwar die mikrobiellen Gemeinschaften, kann aber unter bestimmten Umständen zu niedrigeren Weizenenerträgen führen. (BIOFAIR - Europa)
- Die Auswahl vorteilhafter mikrobieller Eigenschaften - wie z. B. Trockenheitsresistenz - kann die Leistung von

Nutzpflanzen verbessern, doch müssen die Strategien auf spezifische Anbausysteme und lokale Umgebungen abgestimmt werden. (MICROSERVICES -Europa)

- Ein höherer Kohlenstoffgehalt im Boden führt nicht immer zu höheren Erträgen. In manchen Systemen kann die mikrobielle Konkurrenz um Nährstoffe die Vorteile kohlenstoffreicher Böden einschränken, was die Notwendigkeit einer umgebungsgerechten Bodenbewirtschaftung unterstreicht. (BIOFAIR - Europa)



Kontext: Warum sollte man Bodenbiodiversität in den Fokus stellen?

Die biologische Vielfalt im Boden beeinflusst den Klimawandel und wird durch diesen beeinflusst. Einerseits erhöht die globale Erwärmung die Stoffwechselaktivität der Bodenmikroorganismen, was wiederum die Treibhausgasemissionen ansteigen lässt - eine positive Rückkopplungsschleife, in der die Böden die globale Erwärmung beschleunigen können⁵. Andererseits beeinträchtigt der Klimawandel die mikrobiellen Funktionen des Bodens, die Biodiversität und die Leistungsfähigkeit der Ökosysteme.

Die Bindung von Kohlenstoff im Boden auf Ackerland und Grünlandflächen wird zunehmend als eine wichtige Option

für den Klimaschutz anerkannt⁶. Nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken wie die ökologische Landwirtschaft und die reduzierte Bodenbearbeitung werden im Rahmen des Europäischen Green Deal als Teil des Instrumentariums für den Klimaschutz gefördert.

Allerdings ist die Bodengesundheit bei den politischen Zielen⁷ sowie bei der Überwachung und Bewertung von Sanierungsmaßnahmen bisher unterrepräsentiert. Die EU-Bodenstrategie für 2030⁸ und die vorgeschlagene Richtlinie zur Bodenüberwachung und -resilienz stellen in dieser Hinsicht wichtige neue strategische und regulatorische Fortschritte dar.





Schlüsselergebnisse für die Erhaltung der Biodiversität und Gesundheit des Bodens

Entschlüsselung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenbiodiversität und das Funktionieren der Ökosysteme

Die Reaktionen des organischen Kohlenstoffs im Boden und der Bodenmikroorganismen auf den Klimawandel sind noch nicht vollständig bekannt⁹. Insbesondere die Auswirkungen von Trockenheit auf die biologische Vielfalt und die Funktionen des Bodens sind nach wie vor unklar. Um diese Wissenslücken zu schließen, untersuchten die Projekte **MICROSERVICES** und **GRADCATCH** die Beziehungen zwischen Bodenbiodiversität, Klima und Trockenheitsmustern.

- **Pilzvielfalt ist für die Gesundheit des Bodens und die Regulierung des Ökosystems unerlässlich.** GRADCATCH hat gezeigt, dass die Bodenfunktionen durch Trockenheit über Bodeneigenschaften und die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaften beeinflusst werden, wobei die Pilzvielfalt eine entscheidende Rolle spielt - insbesondere in den Wäldern der gemäßigten Zonen Europas. Eine Studie in den Schweizer Alpen ergab außerdem, dass die CO₂-Flüsse mit der Höhe bis zur Baumgrenze zunahmten und danach abnahmen, was mit der von der Temperatur und der organischen Substanz abhängigen mikrobiellen Aktivität zusammenhängt. Da sich die Baumgrenzen im Zuge des Klimawandels nach oben verlagern, wird erwartet, dass sich diese Dynamik in Gebirgsböden verstärken wird¹⁰.
- **Agroklimatische Zonen** (d. h. Regionen, die durch klimatische Merkmale definiert sind, die das landwirtschaftliche Potenzial beeinflussen, insbesondere die Länge der Vegetationsperiode und die Regionen mit Wärmestau) **haben einen starken Einfluss auf die Biodiversität und die Multifunktionalität des Bodens.** MICROSERVICES stellte fest, dass künftige Klimabedingungen die biologische Vielfalt und die Ökosystemleistungen des Bodens erheblich verändern könnten. So könnte beispielsweise die zunehmende Trockenheit in den Mittelmeerregionen die mikrobielle Vielfalt verringern und den Kohlenstoff- und Nährstoffkreislauf stören. Da sich diese Zonen voraussichtlich nach Norden verschieben werden, ist ein frühzeitiger und proaktiver Klimaschutz unerlässlich, um die Bodenfunktionen zu erhalten.



Fallstudie 1: Wie das Bodenleben weltweit auf den Klimawandel reagiert

Im Rahmen des **GRADCATCH**-Projekts wurde untersucht, wie mikrobielle Gemeinschaften im Boden über Temperatur- und Trockenheitsgradienten in Europa, Grönland und Südafrika auf den Klimawandel reagieren. Dazu gehörten Nord-Süd-Transversalen in Grönland und Europa, ein Höhengradient in den Alpen und ein Trockenheitsgradient, der vom feuchten Nordspanien bis zum trockenen Südostspanien sowie von feuchten Bergregionen bis zu heißen Wüsten in Südafrika reicht.

In **Europa** fanden sie heraus, dass Pilze im Boden eine Schlüsselrolle dabei spielen, wichtige Prozesse wie den Nährstoffkreislauf in Gang zu halten, insbesondere in Wäldern der gemäßigten Zonen. In den Alpen hat die **organische Substanz im Boden** einen starken Einfluss auf die mikrobielle Aktivität und die Treibhausgasemissionen (THG). Obwohl sich die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft auf der **Iberischen Halbinsel** im Zuge eines trockeneren Klimas veränderte, funktionierte der Boden weiterhin gut, was darauf hindeutet, dass die Natur über eingebaute Reserven verfügt, bei denen verschiedene Mikroorganismen ähnliche Aufgaben erfüllen.

In **Grönland** war die Umwelt fragiler. Die Böden im hohen Norden kamen mit der Trockenheit nicht gut zurecht. Die mikrobielle Aktivität stieg bei mäßiger Trockenheit kurzzeitig an, ging aber bei schwereren Dürreperioden stark zurück, was auf einen Kipppunkt hindeutet, an dem der Boden nicht mehr angemessen funktioniert und seine ökologische Rolle im Ökosystem nicht mehr vollständig erfüllen kann.

In den **Trockengebieten Südafrikas** sind die Mikroorganismen bereits an extreme Hitze und Trockenheit gewöhnt, aber sie könnten dennoch gefährdet sein. Wenn es in der Region immer heißer und trockener wird, könnte ihre Fähigkeit, das Pflanzenwachstum zu unterstützen und Kohlenstoff zu speichern, abnehmen - mit negativen Folgen für den globalen Kohlenstoffkreislauf und die lokale Landwirtschaft.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Böden weltweit je nach Standort und aktuellem Zustand sehr unterschiedlich auf Klimastress reagieren.



Abb. 1: In der Nähe von Qaanaaq, Nordgrönland, entnommener Bodenkern (Bildnachweis: Anders Priemé)

Verstehen, wie mikrobielle Prozesse unter der Erde die Pflanzenproduktivität beeinflussen

Die biologische Vielfalt im Boden unterstützt die Ökosystemleistungen in Agrarökosystemen durch komplexe, nichtlineare Wechselwirkungen zwischen vielen Arten. Wenn man versteht, wie mikrobielle Prozesse im Boden die Produktivität der Pflanzen und die Nährstoffqualität beeinflussen, kann man landwirtschaftliche Praktiken ermitteln, die die Bodengesundheit schützen und wichtige Organismen erhalten.

Im Rahmen des **BIOFAIR**-Projekts wurden Bodenfunktionen, Nährstoffkreislauf, Treibhausgasemissionen und mikrobielle Vielfalt an verschiedenen Standorten in Europa untersucht. Dabei wurden Bodenbewirtschaftungsstrategien verglichen und zukünftige Klimaszenarien getestet. Zu den wichtigsten Ergebnissen gehören:

- **Die biologische Vielfalt allein garantiert keine höhere Produktivität.** Funktionelle Merkmale und die Komplexität der Nährstoffkreislaufnetze sind von größerer Bedeutung. Die Bodenfunktionen wurden stärker durch Interaktionen zwischen den Arten als durch das Vorhandensein einzelner mikrobieller Gruppen bestimmt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von funktionalen, nicht rein taxonomischen Indikatoren für die Bodengesundheit und Bodenbiodiversität.

- **Die organische Substanz des Bodens und die mikrobielle Aktivität steigern nicht immer die Erträge.** Unter den künftigen mitteleuropäischen Klimabedingungen führte eine Zunahme der organischen Bodensubstanz und der mikrobiellen Biomasse nicht zu einer durchgängigen Verbesserung der Pflanzenproduktivität - wahrscheinlich, weil die Nährstoffe von Mikroorganismen aufgenommen oder immobilisiert wurden. Klimabedingte Veränderungen der Wasserverfügbarkeit können die mikrobiellen Gemeinschaften destabilisieren und ihre Effizienz verringern.
- **Eine höhere Zahl Mikroorganismen könnte zu geringeren Erträgen führen, wenn sie nicht sorgfältig gemanagt werden.** Felder mit größeren mikrobiellen Gemeinschaften (z. B. durch Direktsaat oder organische Ergänzungen) wiesen häufig geringere Getreideerträge und eine geringere Nährstoffaufnahme auf. Um dies zu vermeiden, müssen die Bodenbewirtschaftungsstrategien genau abgestimmt werden. Zu den Optionen gehören die Züchtung von Pflanzen mit einer besseren Wurzelstruktur, die einen besseren Zugang zu den Nährstoffen ermöglicht, oder der Einsatz von Bodendeckern, Hecken oder Agroforstwirtschaft, um ausgewogene Beziehungen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen zu fördern.

Fallstudie 2: Wie sich der Klimawandel auf Weizen und Bodenleben in einem Raum mit kontrollierter Umgebung (CER) auswirkt

Im Rahmen des **BIOFAIR**-Projekts wurden zwei Experimente durchgeführt, um (1) die Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktivität von Weichweizen zu bewerten und (2) Böden aus innovativen landwirtschaftlichen Praktiken unter zukünftigen Klimaszenarien zu testen, um ihre Fähigkeit zu bewerten, empfindliche Bodentaxa zu erhalten und die Lebensmittelqualität zu sichern.



Abb. 2: Raum mit kontrollierter Umgebung: Ecotron-Experimente bieten kontrollierte Umgebungen zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme und Biodiversitätsprozesse (Bildnachweis: Pierre Delaplace)

Im ersten Experiment wurde untersucht, wie Weizen unter zukünftigen Klimabedingungen - heißeres Wetter, mehr Kohlendioxid und ungleichmäßige Niederschläge - wächst. Die Pflanzen bildeten anfangs mehr Blätter und Stängel, doch das Wurzelwachstum blieb zurück. Dies führte dazu, dass die Pflanzen in späteren Trockenperioden schwächer wurden. Infolgedessen produzierten sie weniger Körner (geringere Erträge), aber diese Körner enthielten mehr Eiweiß (Stickstoff) und waren für die Ernährung somit besser.

Das zweite Experiment verglich Weizen, der auf Böden angebaut wurde, die gut mit organischem Material versorgt wurden, mit Weizen, der auf nicht aufbereiteten Böden angebaut wurde - unter Klimabedingungen, die für die Jahre 2013, 2068 und 2085 erwartet wurden. Kurzfristig brachten beide Bodentypen bessere Erträge, aber langfristig schnitten die Böden mit hohem Input (viel Düngemittel oder Kompost in der Vergangenheit) schlechter ab. Interessanterweise sprachen einige Anzeichen dafür, dass die Pflanzen natürliche Abwehrkräfte aktivierten, um den Stress auszuhalten, doch die allgemeine Nährstoffqualität nahm ab.

Insgesamt zeigten diese Experimente, dass der Klimawandel bei mikrobiellen Gemeinschaften Anpassungsverlagerungen auslösen kann. Einige Mikroorganismen können gedeihen, während andere verschwinden, was die Funktionsweise der Böden und ihre Eignung für Nutzpflanzen verändert. Die Anreicherung der Böden mit mehr organischem Kohlenstoff führt nicht immer zu besseren Ergebnissen in der Zukunft. Daraus folgt, dass wir die Art und Weise der Bodenbewirtschaftung für die Nahrungsmittelproduktion überdenken sollten.

Ermittlung von landwirtschaftlichen Praktiken, die Bodengesundheit und die Nahrungsmittelsicherheit fördern

Es gibt immer noch offene Fragen darüber, wie landwirtschaftliche Praktiken wie die ökologische oder *regenerative Landwirtschaft* - ein neu entstehender, ganzheitlicher Ansatz, der die Gesundheit der Böden und das soziale Wohlergehen fördert und gleichzeitig an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden kann - nicht nur zur Nachhaltigkeit, sondern auch zur Abschwächung des Klimawandels und zur Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Ereignissen wie Dürre beitragen.

In den Projekten **BIOFAIR** und **MICROSERVICES** wurde untersucht, wie sich Bewirtschaftungssysteme auf die biologische Vielfalt, die Funktion und die Pflanzenproduktivität des Bodens auswirken:

- **Die Vorteile für die Bodengesundheit sind je nach System und Standort unterschiedlich.** **BIOFAIR** hat festgestellt, dass die Auswirkungen von Praktiken wie die ökologische Landwirtschaft und die reduzierte Bodenbearbeitung stark von den Bodeneigenschaften und den klimatischen Bedingungen abhängen. So erhöhte beispielsweise eine Reduzierung der Bodenbearbeitung die mikrobielle Abundanz in spanischen Böden, während sich an einem deutschen Standort kein eindeutiger Nutzen zeigte.
- **Nützliche Mikroorganismen und genetische Merkmale für abiotische Stresstoleranz unterscheiden sich je nach Anbausystem.** **MICROSERVICES** identifizierte

wichtige Bodenorganismen und funktionelle Gene, die die Stressresistenz fördern. Diese variierten von Anbausystem zu Anbausystem, was zeigt, wie wichtig es ist, die Praktiken an die lokalen Gegebenheiten anzupassen.

- **Kohlenstoffreiche Systeme steigern nicht immer die Produktivität.** Während biodynamische und regenerative Praktiken den organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens und den Nährstoffkreislauf verbesserten, zeigte **BIOFAIR**, dass eine höhere mikrobielle Biomasse auch zu einer Immobilisierung von Nährstoffen führen kann, d. h. zu einer geringeren Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen aufgrund der Konkurrenz zwischen Mikroorganismen und Nutzpflanzen.
- **Eine höhere unterirdische Biodiversität ist kein Garant für höhere Erträge.** **BIOFAIR** zeigte, dass sich weder die Pflanzenproduktivität noch die Nährstoffaufnahme mit zunehmender Biodiversität durchgängig verbesserten, was ein tieferes Verständnis der Dynamik zwischen Boden, Pflanzen und Mikroorganismen erforderlich macht.

Die Forschung unterstreicht die Bedeutung von Investitionen in gesunde, gegenüber künftigen Klimadruck stressresiliente Böden, wobei der Erfolg jedoch von **regionsspezifischen Bodenschutzstrategien** abhängt, die die **lokalen ökologischen Bedingungen** widerspiegeln.



Fallstudie 3: Wie frühere Anbaumethoden die Reaktion der Böden auf künftige Herausforderungen beeinflussen

Das **MICROSERVICES**-Projekt untersuchte, ob die im Rahmen des Europäischen Green Deal als nachhaltiger Ansatz geförderte ökologische Landwirtschaft zum Aufbau von Landwirtschaftssystemen beitragen kann, die widerstandsfähiger gegen klimatische Stressfaktoren wie Dürre sind. Im Rahmen des seit 1978 und damit weltweit am längsten laufenden Feldversuchs zum Vergleich ökologischer und konventioneller Anbausysteme wurde eine Dürresimulation im Feldmaßstab durchgeführt.

Frühere Untersuchungen an diesem Standort haben gezeigt, dass ökologische Systeme einen höheren Anteil an **organischem Kohlenstoff im Boden** und eine höhere **Biodiversität** aufweisen, was darauf hindeutet, dass sie besser in der Lage sind, die Auswirkungen von Dürren abzufedern. In diesem Versuch wurden die jahreszeitlichen Veränderungen der **Bodenbiodiversität** und die **Indikatoren für die Bodengesundheit** bei Trockenheit untersucht.

Die Forschenden stellten fest, dass Trockenheit die mikrobielle Aktivität in allen Systemen reduzierte, wobei Pilze stärker betroffen waren als Bakterien. Dies steht im Widerspruch zu früheren Annahmen, dass Pilze trockenheitsresistenter sind. Organismen, die in der Nähe von Pflanzenwurzeln leben, waren am stärksten betroffen, was wichtige unterirdische Prozesse zur Förderung des Pflanzenwachstums beeinträchtigen könnte.

Obleich sowohl die ökologisch als auch die konventionell bewirtschafteten Böden unter der Dürre litten, unterschieden sich deren Bodenmikroorganismen interessanterweise weiterhin recht stark voneinander. Diese Unterschiede lassen darauf schließen, dass frühere Anbaumethoden einen Einfluss darauf haben, wie die Böden auf künftige Herausforderungen reagieren. Es ist jedoch noch unklar, ob diese mikrobiellen Unterschiede tatsächlich dazu beitragen, dass sich ein System auf lange Sicht besser erholt als das andere.



Abb. 3: Simulation von Trockenheit im DOK-Langzeit-Feldexperiment, Schweiz (Photo Credit: Martin Hartmann)

Link zu den Quellen

[MICROSERVICES](#)
[GRADCATCH](#)
[BIOFAIR](#)

Die in diesem Themenpapier verwendeten wissenschaftlichen Veröffentlichungen finden Sie im Informationsblatt zu diesem Briefing, das Sie von folgender Website herunterladen können:
www.biodiversa.eu/policy-briefs/

Fotos: Unsplash

Kontakt

contact@biodiversa.eu
www.biodiversa.eu



@Biodiversa.eu



@BiodiversaPlus

Über dieses Themenpapier

Dieses Themenpapier ist Teil einer Informationsreihe über praktische, wissenschaftlich fundierte Strategien, um Europas Böden, Wälder und Landschaften widerstandsfähiger zu machen, basierend auf den wichtigsten Ergebnissen der von Biodiversa+ finanzierten BiodivClim-Forschungsprojekte.

Die Reihe der Biodiversa+ Policy Briefs kann unter www.biodiversa.eu/policy-briefs/ abgerufen werden.

Diese Veröffentlichung wurde von Biodiversa+ in Auftrag gegeben und betreut und von Marion Ferrat und Julie De Bouville erarbeitet.

Die hier vorgestellten zentralen Forschungsergebnisse wurden von Forschenden aus den BiodivClim-Forschungsprojekten mitgestaltet und validiert: MICROSERVICES, GRADCATCH und BIOFAIR. Die dargelegten Ansichten und Meinungen sind die der Autorinnen und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Kommission oder aller Biodiversa+-Partner wider.



Kofinanziert von
der Europäischen Union
im Rahmen der Finanzhilfsvereinbarung
Nr. 642420



Erstellt im August 2025.