

Mikrobielle Biodiversitätsanalysen

Die verborgene Welt im Boden



Antje Breitenstein




26./27.11.2025

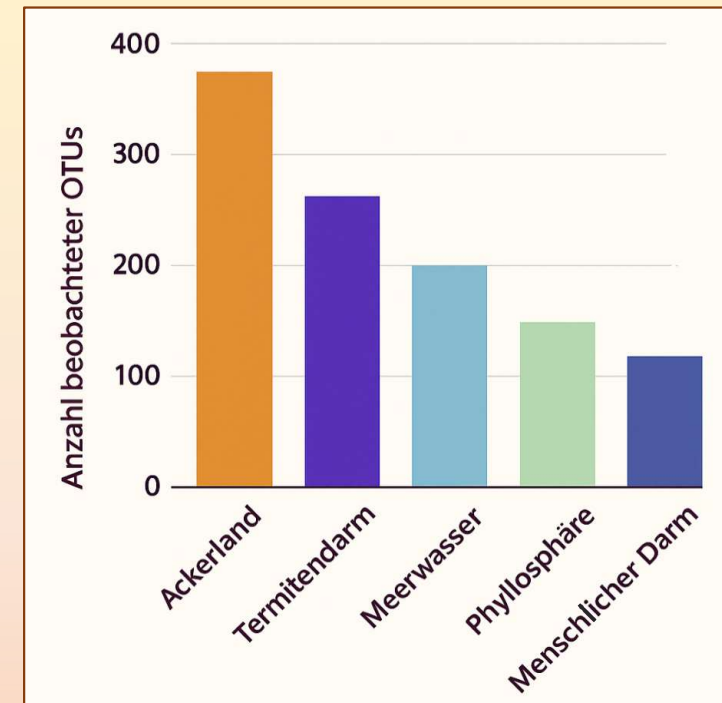
Aktueller Stand

2



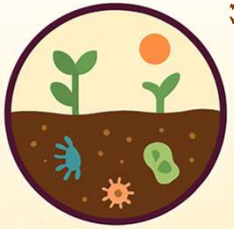
Was wir über den Boden wissen

-  **Böden sind Hotspots der Vielfalt** – sie enthalten viel mehr Mikroben als andere Lebensräume.
-  **Forschung wächst rasant** – Die Identität der verschiedenen bodenlebenden Mikroorganismen wird seit Jahren intensiv analysiert, so dass zunehmend Wissen über die Zusammensetzung mikrobieller Gemeinschaften verfügbar ist.
-  **Neue Methoden helfen** – moderne molekularbiologische Techniken erlauben es, Mikroorganismen zu identifizieren, die wir im Labor nicht kultivieren können.



Vielfalt bodenlebender Bakterien im Vergleich zu anderen Ökosystemen. Die Kurven wurden errechnet aus 16S rRNA Gen-basierten Klonbanken. OTUs entsprechen taxonomischen Gruppen.
© Molekularbiologie der Rhizosphäre

Aktueller Stand



3

Die großen Fragen für die Zukunft:

- **Vielfalt bewahren:** Wie entsteht diese riesige Artenvielfalt im Boden überhaupt und wie können wir sie erhalten?
- **Umwelt-Einflüsse:** Welche Rolle spielen Umweltfaktoren (wie Klima, Landwirtschaft oder Verschmutzung) für die Zusammensetzung dieser Gemeinschaften?
- **Wichtige Aufgaben:** Welche spezifischen Gruppen von Mikroorganismen sind für die **Funktionen** des Bodens (z.B. Nährstoffkreisläufe, Bodenfruchtbarkeit) besonders wichtig?



Aktueller Stand

4



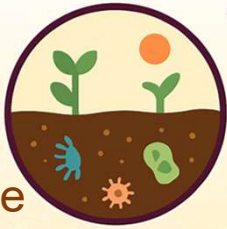
Herausforderungen & Handlungsbedarf

- **Wissenslücken:** größere taxonomische & funktionelle Wissenslücken bei der Arten- & Funktionsvielfalt
- **Fehlendes Monitoring:** keine repräsentativen, systematischen, langfristig angelegten Monitoring-Programme auf Bundesebene
- **Eingeschränkte Daten:** bisher erhobene Daten zur Bodenbiodiversität sind kaum vergleichbar
- Bewertung von Zustand & Veränderung der Bodenbiodiversität derzeit nur sehr eingeschränkt möglich
- **Mangelhafte Schutzmaßnahmen:** Ableitung zielführender Schutzmaßnahmen auf Bundesebene bisher kaum möglich



Quelle: C. Kaufmann-Boll et al., "Abschlussbericht Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz: Teil A: Abschlussbericht zum bodenfachlichen Teil und Teil B: Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022

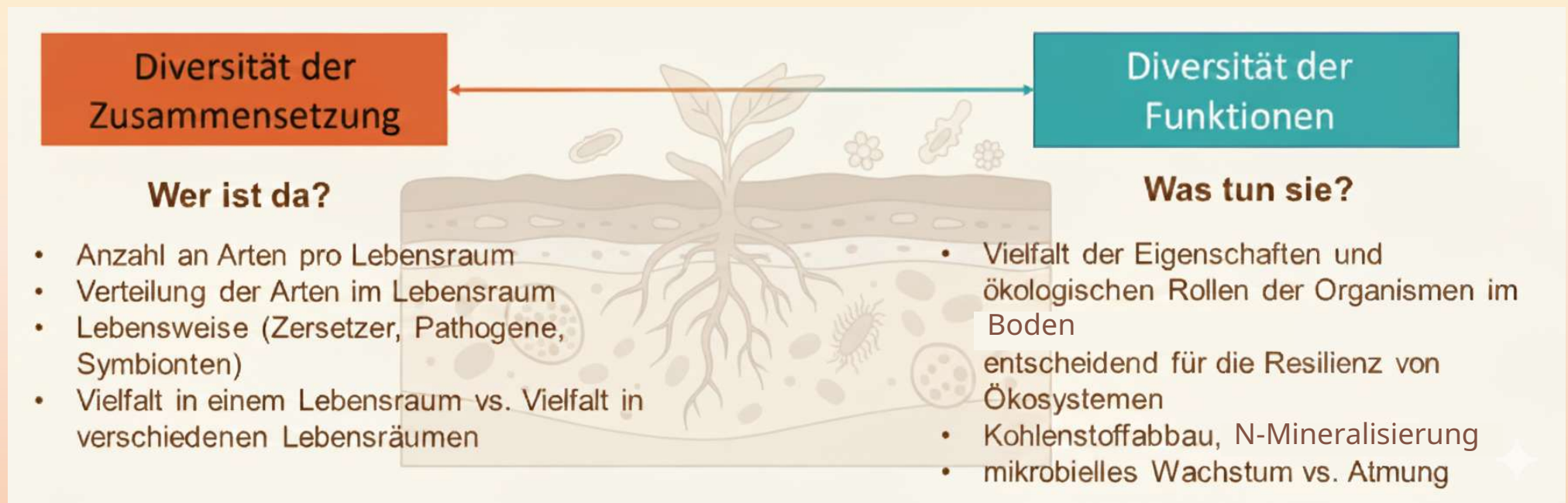
Bodenbiodiversität



5

Die Bodenbiodiversität ist **Gesamtheit der Vielfalt an Mikroorganismen** im Boden, sowie die **Unterschiede** in ihren **genetischen Eigenschaften**, **Stoffwechselwegen**, **ökologischen Funktionen** und Wechselwirkungen.

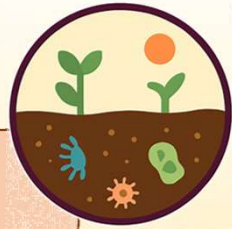
Die Bodenbiodiversität setzt sich zusammen aus der Artendiversität (taxonomische Diversität) und aus der funktionellen Diversität.



Die Bodenbiodiversität ist die Grundlage für Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit, Klimastabilität.

Methoden der Bodenbiodiversitätsanalyse

6



Einflussfaktoren auf die Bodenbiodiversität
(Substrate, Vegetation, Umwelteinflüsse, Klima, Bewirtschaftung)

Morphologische Methoden



Handsortierung
(Regenwürmer,
Käferlarven etc.)



Tullgren-
Extraktion
(Milben, Spring-
schwänze)

Barberfallen /
Bodenfallen
(aktive Boden-
arthropoden)

Molekularbiol. Methoden



DNA-
Metabarcoding
(Bakterien, Pilze)



qPCR / ddPCR
(Quantifizierung
spez. Gene /
Taxa)

Fingerprint-
Methoden
(Musteranalysen,
rel. Vergleiche)

Biochemische Methoden



PLFA-Analyse
(mikrobielle
Gemeinschafts-
struktur)



Enzymaktivitäts-
messungen
(mikrobielle
Funktion)

Substratinduzier-
te Respiration
(SIR, mikrobielle
Biomasse)

Funktionale Test Ökol. Indikatoren



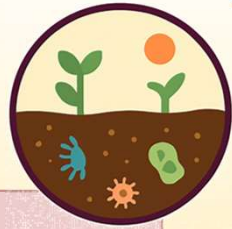
Bodenatmung
(Gesamtaktivität
der Bodenbiota)

NCO_2

Zersetzungs-
raten

Nährstoffumsatz
tests (z.B.
Stickstoff-
mineralisierung)

Analysen der taxonomischen Diversität



Problem – Die Wissenslücke:



- **Geringe Erfassung:** Klassische mikrobiologische Methoden erfassen nur ca. 0,1 – 20 % der Bodenmikroorganismen und „übersehen“ die wichtigsten Akteure.
- **Unbekannte Mehrheit:** Nur 4.000 – 5.000 Prokaryotenarten sind in Reinkultur bekannt. Die tatsächliche Zusammensetzung der Bodenmikroflora ist weitgehend unbekannt, da die Mehrheit der Mikroorganismen nicht kultivierbar ist.

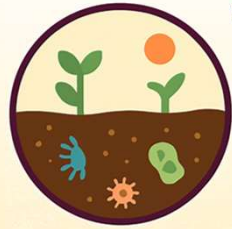
Lösung - Der molekularbiologische Ansatz:



- **Erfassung der gesamten Vielfalt:** Einsatz hocheffizienter, kultivierungsunabhängiger molekularbiologischer Analysen (extrahierte DNA, Gensequenzen).
- **Vorteil auf Genomebene:** Die Bestimmung der Gemeinschaft erfolgt auf Ebene des Genoms.
 - Dadurch müssen die unterschiedlichen Kultivierungsansprüche der Organismen nicht mehr berücksichtigt werden.



Analysen der taxonomischen Diversität



Taxonomische Diversität beschreibt die **Artenzahl** und **Zusammensetzung** der im Boden lebenden Organismen.

Sie ist ein **zentrales Maß** für die **biologische Vielfalt**.

- Grundlage für Monitoring: Taxonomische Diversität ist ein direkt messbares Kriterium für Biodiversität und wird häufig in Roten Listen oder Schutzprogrammen verwendet.
- Indikator für Umweltveränderungen: Veränderungen in der Artenzusammensetzung spiegeln Landnutzung, Verschmutzung oder Klimawandel wider.
- Verknüpfung mit Ökosystemleistungen: Auch wenn die Funktionen nicht direkt erfasst werden, deutet eine hohe taxonomische Diversität oft auf eine größere funktionelle Vielfalt hin.
- **Gruppen von Bodenmikroorganismen:**



PROTOZOA



NEMATODES



FUNGI



ALGAE



BACTERIA



ACTINOMYCETES

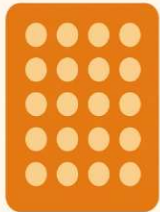
Analysen der taxonomischen Diversität



9

Nukleinsäure-basierte Techniken – DNA-Metabarcoding:

Sequenzierungs- techniken



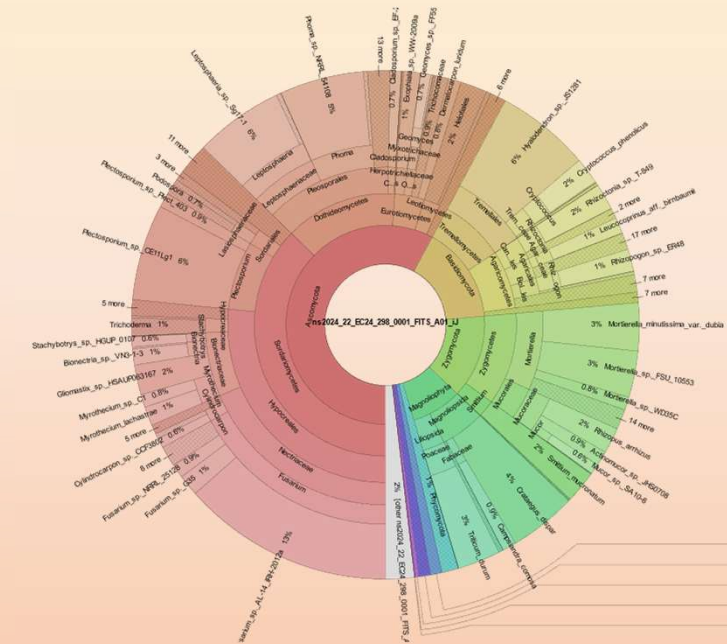
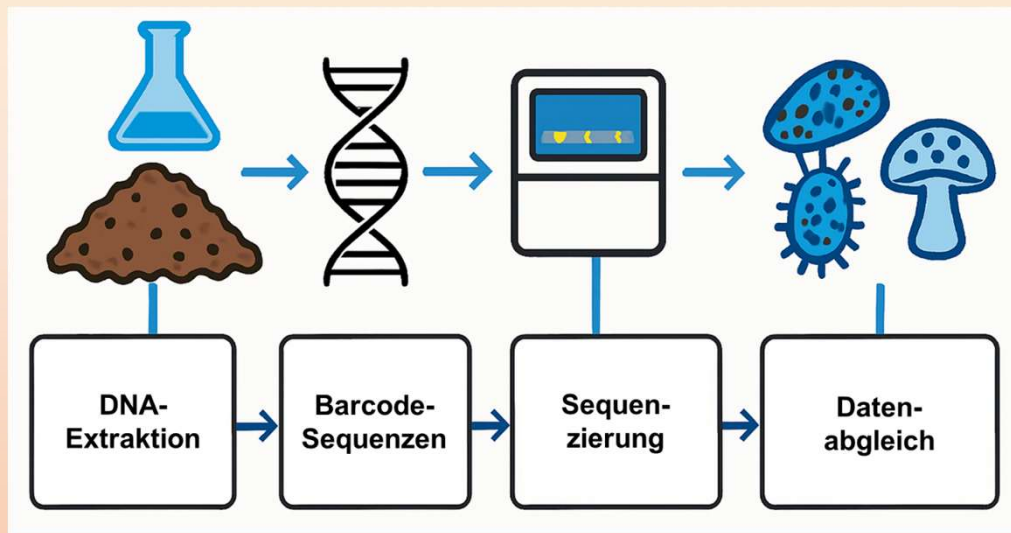
DNA-Metabarcoding ist eine schnelle und effiziente Methode, um die biologische Vielfalt in komplexen Proben zu erfassen. Es ist eine Schlüsseltechnologie für Biodiversitätsanalysen und ermöglicht die gleichzeitige Identifikation hunderter Arten.

Ziel: Erfassung der **gesamten** Biodiversität; funktionelle/taxonomische Informationen

Info: detaillierte taxonomische Informationen; funktionelle Aussagen möglich

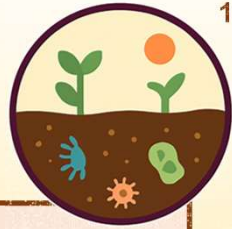
Kosten: ca. 100 €/Probe

Nachteil: auch tote/inaktive Organismen werden erfasst



Quelle: N.Tauchnitz & A.Breitenstein (2025) „Mikrobiologische Aktivität und Vielfalt in einem Boden-Dauerversuch mit ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung am Standort Bernburg“; Vortrag 136. VDLUFA-Tagung Oldenburg

Wofür brauchen wir DNA-Metabarcoding?



Biodiversitätsanalyse

Bestimmung der mikrobiellen Vielfalt zur Bewertung der Ökosystemgesundheit im Boden



Bodengesundheit

Entwicklung präziser Indizes für die Bewertung von Bodenqualität und Umweltzustand



Standortmonitoring

Vergleich verschiedener Standorte im deutschen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm (BDF)

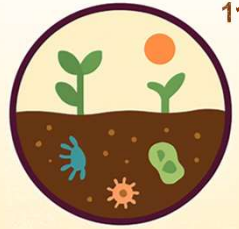


Frühwarnsysteme

Erkennen von Pathogenen oder Biodiversitätsverlusten, bevor Erträge sinken



Herausforderungen bei Metabarcoding-Studien






11

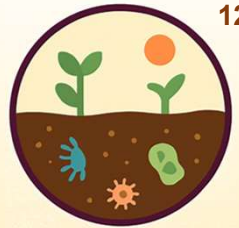
Methodik & technische Hürden

- **Kosten und Bioinformatik:** 
hohe Kosten und zunehmende Komplexität der bioinformatischen Auswertung.
- **Verfälschung (Bias):** 
Biases durch Primerwahl und Bodeninhibitoren Verfälschen die tatsächliche Artzusammensetzung.
- **Standardisierung:** 
Unterschiede in Probenahme, Extraktion, PCR und Bioinformatik führen zu schwer vergleichbaren Ergebnissen.

Interpretation & Daten-Lücken

- **Aktivität vs. Existenz:** 
DNA kann von toten Organismen stammen – es fehlt die Information über die funktionelle Aktivität.
- **Taxonomische Lücken:** 
Fehlende oder fehlerhafte Referenzsequenzen erschweren die korrekte Zuordnung.
- **Funktionelle Interpretation:** 
DNA-Daten zeigen „wer“ vorhanden ist, aber nicht „was“ die Organismen tun.

Taxonomische Vielfalt und funktionelle Rollen im Ökosystem Boden



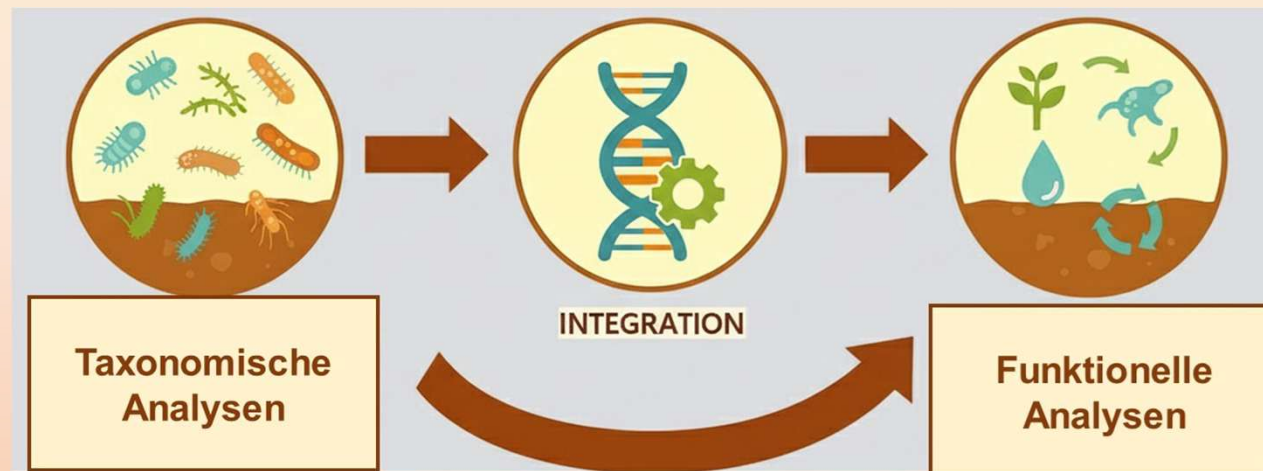
12

DNA-Metabarcoding: „Wer ist da?“

- erfasst artenspezifische Zusammensetzung mikrobieller Gemeinschaften
- zeigt genetisches Potential, aber keine Aussage über tatsächliche Aktivität (keine lebend/tot-Unterscheidung)

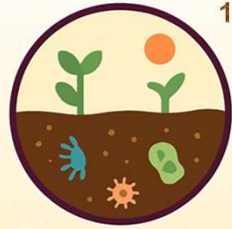
Funktionelle Analysen: „Was wird getan?“

- messen die mikrobielle Aktivität und Stoffwechselprozesse → Gesamtpotential
- Summenparameter, die Funktionen und Nährstoffkreisläufe abbilden



Beide Konzepte ergänzen sich: Taxonomische Daten sind oft Ausgangspunkt, funktionelle Analysen geben die ökologische Tiefe.

Analysen der funktionellen Diversität



Was und warum?

- **Funktionelle Diversität** zeigt, welche Rollen Organismen im Boden übernehmen, nicht nur, wie viele Arten vorhanden sind.
- Sie ist **entscheidend für die Resilienz** von Ökosystemen, da unterschiedliche Funktionen die Stabilität und Anpassungsfähigkeit sichern.
- Hohe funktionelle Diversität erhöht die **Stabilität von Ökosystemfunktionen** gegenüber Störungen (z.B. Dürre, Landnutzung).



Wie wird gemessen?

- Traditionelle, gut etablierte, enzymatische Methoden als Funktionsmessungen (tw. standardisierte ISO-Methoden)
- **Funktionen des Kohlenstoffzyklus**
- **Basalatmung:** Maß für die Aktivität der Bodenmikroorganismen unter den aktuellen Nährstoffkonzentrationen
- **Substratinduzierte Atmung:** Bestimmung der bakteriellen Biomasse
- **Metabolischer Quotient:** spiegelt die Energieeffizienz der Mikroorganismen wider (Basalatmung/mikrobielle Biomasse)



Analyse funktioneller Summenparameter

Aktivitäten verschiedener Elementkreisläufe

- **Argininammonifikation** (Stickstoffzyklus)
- **Protease** (Stickstoffzyklus)
- **Dehydrogenaseaktivität** (allg. mikrobiologische Aktivität; indirektes Maß für mikrobielle Biomasse)
- **Katalaseaktivität** (allg. mikrobiologische Aktivität)
- **Alkalische Phosphatase** (Phosphorzyklus)
- **Arylsulfataseaktivität** (Schwefelzyklus)
- **β -Glukosidaseaktivität** (Kohlenstoffzyklus)
- **Cellulaseaktivität** (Kohlenstoffzyklus)

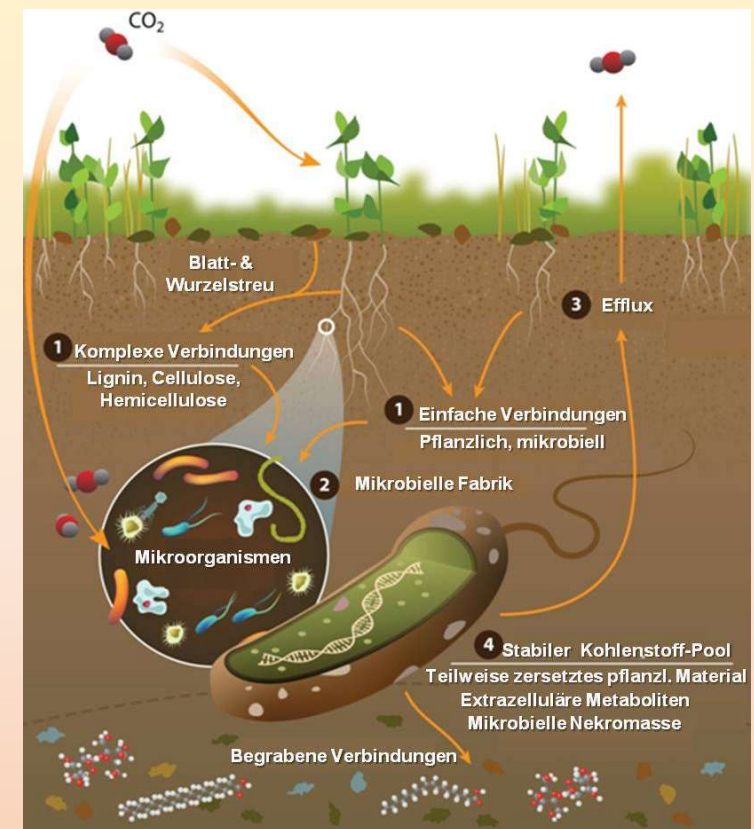
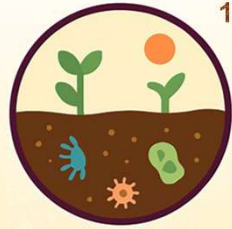


Abbildung aus Dan Naylor et al., (2020)

Analysen der funktionellen Diversität



Vorteile & Nutzen



- **Indikatorfunktion**
- **Routinetauglich:**
einfache, sensitive und kostengünstige Methoden zur (begrenzten) Erfassung der mikrobiellen Diversität
- **Umweltrelevanz:**
Wichtige Indikatoren für potentielle Nebenwirkungen von Umweltchemikalien (PSM, Schwermetalle).
- **Bodennutzung:**
Bewertung von unterschiedlichen Bodenbewirtschaftungssystemen.

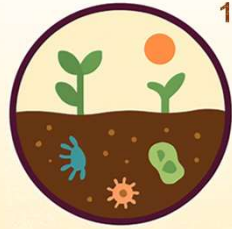


Nachteile



- **Potentielle Parameter:**
Es handelt sich um „potentielle“ und nicht um eine Charakterisierung aktueller Aktivitäten.
- **Falsche Korrelation:**
Der Aktivitätsspiegel wird primär von org. Substanzen („Humusgehalt“) und Tonmineralen bestimmt und kann nicht als indirektes Maß für die mikrobielle Aktivität gelten.
- **Mangelnde Eindeutigkeit:**
Mit einzelne Enzymaktivitäten sind vielfach keine gleichgerichteten Aussagen verbunden, was die Dateninterpretation erschwert.

Identität und Leistung: Der multidimensionale Blick auf Diversität



Für ein vollständiges Verständnis und ein gezieltes Mikrobiommanagement ist die kombinierte Anwendung taxonomischer und funktioneller Methoden unerlässlich.

TAXONOMISCHE DIVERSITÄT

WER IST DA?



- ✓ Artenlisten
- ✓ Morphologie
- ✓ Barcoding

FUNKTIONELLE DIVERSITÄT

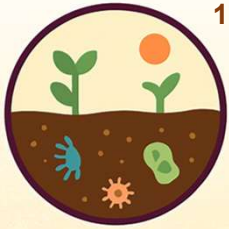
WAS TUN SIE?







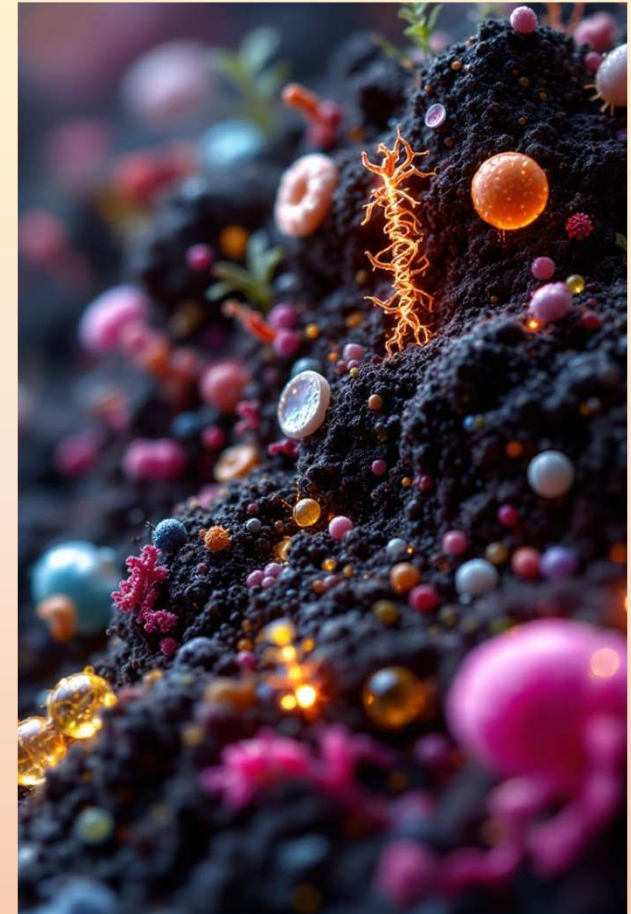
- ✓ Eigenschaften
- ✓ Enzymaktivität
- ✓ Ökologische Leistungen

Nur die Kombination aus genetischem Potenzial und funktioneller Aktivität erlaubt eine belastbare Bewertung mikrobieller Ökosystemleistungen.

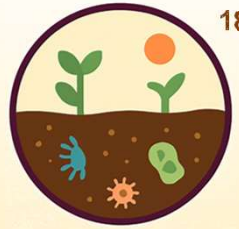
Take-Home-Message - Bodenbiodiversität



-  Die mikrobielle Biodiversität ist die **unsichtbare Basis des Lebens im Boden**. Sie sorgt für Fruchtbarkeit, Stabilität und Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen und ist damit ein Schlüssel für nachhaltige Landwirtschaft und den Schutz unserer Umwelt.
-  Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen zeigen Landnutzungsänderungen, Klimawandel oder Verschmutzungen an.
-  Ohne Bodenmikroorganismen gäbe es keine stabile Bodenstruktur, keine effiziente Nährstoffversorgung und weniger Resilienz gegenüber Stressfaktoren.
-  Der Verlust mikrobieller Vielfalt gefährdet die Stabilität von Ökosystemen und die Produktivität von Böden.



Haben Sie noch Fragen?



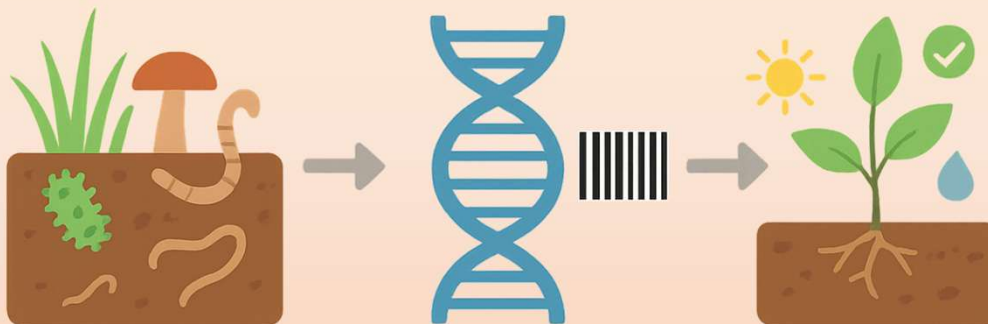
18

#moderndenken

BODENMIKROBIOM

**DNA-
METABARCODING**

**BODEN-
GESUNDHEIT**



Dr. Antje Breitenstein
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
Standort Halle-Lettin
Schiepziger Str. 29
06120 Halle

antje.breitenstein@llg.sachsen-anhalt.de
Tel.: 0345-5584-143

Referenzen

Schematische Darstellungen von Metabarcoding-, PLFA-, FISH- und RFLP-Analyse sowie alle enthaltenen Grafiken wurden erstellt mit der KI-Anwendung „ChatGPT (GPT-5 mini)“ (OpenAI, San Francisco, USA) am 13.08./13.11./14.11.2025 (<https://openai.com/chatgpt>). Die KI-generierten Bilder dienen lediglich der Veranschaulichung und wurden nicht aus experimentellen Daten abgeleitet.

Piktogramme aus: <https://www.flaticon.com/>