



Finck
Stiftung

aus der
für die **PRAXIS**

Praxis-Leitfaden zur Bodenbeprobung

Richtige Probennahme und mögliche
Analyseverfahren für eine optimierte
Bodengesundheit in der Landwirtschaft

Impressum

Herausgeber: Finck Stiftung gGmbH
Schlossstrasse 19 / 15518 Briesen (Mark), Germany
Email: kontakt@finck-stiftung.org
Webseite: finck-stiftung.org

1. Auflage
Juli 2026
©Finck Stiftung gGmbH

Autorin: Lara Schmitt, Finck Stiftung gGmbH

Mit einem herzlichen Dank für die Expertise aus der landwirtschaftlichen Praxis von Gut und Bösel (Bastian von Kampen).

Design: Lara Schmitt & Sam Walzl, Finck Stiftung gGmbH

Redaktion: Joke Czapla & Benedikt Bösel, Finck Stiftung gGmbH

Copyright Fotos: Alle Fotos ohne spezifische Quellenangabe stammen von der Finck Stiftung gGmbH. Weitere Fotos mit der jeweiligen Quelle gekennzeichnet.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Dennoch übernimmt der Herausgeber keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Der Herausgeber haftet nicht für materielle oder immaterielle Schäden, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der bereitgestellten Informationen unmittelbar oder mittelbar entstehen, sofern kein nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden vorliegt.



**Finck
Stiftung**



DaVaSus
Data and value-based decision-making
for a sustainable land use

Inhalt

Anleitung zum Gebrauch dieses Leitfadens.....	4
Entscheidungsbaum: Nach welchen Informationen suchen Sie im Leitfaden?	5
Bodengesundheit und Bodenuntersuchungen.....	6
Eine Bodenprobe richtig nehmen	8
Übersicht zum Ablauf der Bodenprobenahme	9
Repräsentatives Beprobieren von heterogenen Flächen.....	10
Entnahme der Bodenproben	13
Dienstleistung oder selbst machen?	15
Analyseverfahren	17
Welches Analyseverfahren passt zu Ihren Zielen?.....	20
Steckbriefe der Analyseverfahren: Methodik, Vor- und Nachteile.....	21
Vergleich der Analyseverfahren	29
Ausblick: Bodenleben direkt erfassen.....	32
Ausblick: Neue Möglichkeiten durch Digital Farming	38
Maßnahmenableitung	40
Fazit und Ausblick.....	42
Quellen	44
Anhang.....	53

Anleitung zum Gebrauch dieses Leitfadens

Wofür ist dieser Leitfaden?

Dieser Leitfaden unterstützt eine regelmäßige und systematische Beprobung landwirtschaftlich genutzter Böden, um diese datenbasiert zu managen sowie ihre Gesundheit zu erhalten und zu monitoren. Er bietet eine praxisorientierte Anleitung für die sachgerechte Entnahme repräsentativer Bodenproben und gibt zudem einen Überblick über die Vielfalt möglicher Bodenanalyseverfahren – einschließlich ihrer Vorgehensweisen, Aussagekraft und Grenzen.



Der Leitfaden richtet sich an Landmanagerinnen und -manager, die Einblicke in die Gesundheit und Nährstoffversorgung ihrer ackerbaulich genutzten Böden gewinnen möchten. Er soll dazu beitragen, datengestützte Entscheidungen zu treffen, um die Bodengesundheit langfristig zu sichern und weiterzuentwickeln.

Wie soll dieser Leitfaden genutzt werden?

Dieser Leitfaden ist nicht dafür gedacht, am Stück gelesen oder vollständig durchgearbeitet zu werden. Vielmehr kann er bei der erfolgreichen Umsetzung einzelner Schritte auf dem Weg zu einer zielgerichteten Bodenuntersuchung unterstützen. Dabei werden zwei zentrale Themen behandelt: die richtige Bodenprobenahme und die Auswahl des passenden Verfahrens zur Bodenanalyse. Nutzen Sie das Inhaltsverzeichnis und den → Entscheidungsbaum (Abbildung 1) auf der folgenden Seite, um schnell zu dem Kapitel zu gelangen, das Ihre jeweilige Fragestellung beantwortet.

Nach einer allgemeinen Einführung in die Themen **Bodengesundheit** und **Probenahme** wird erläutert, worauf bei der Probenahme selbst zu achten ist, da die Aussagekraft jeder Bodenanalyse maßgeblich von der Qualität der Probe abhängt (Kapitel **Probe richtig nehmen**, ab S. 8). Im Kapitel **Analyseverfahren**, ab S. 18, wird ein detaillierter Überblick darüber gegeben, welche Informationen die unterschiedlichen Analyseansätze liefern, welche Vor- und Nachteile sie besitzen und für welche Fragestellungen sie geeignet sind. Zudem wird ein Einblick in Verfahren gegeben, die sich auf die Quantifizierung des Bodenlebens konzentrieren. Abschließend wird beschrieben, wie Analyseergebnisse in die Praxis überführt werden können (Kapitel **Maßnahmenableitung**, S. 40).

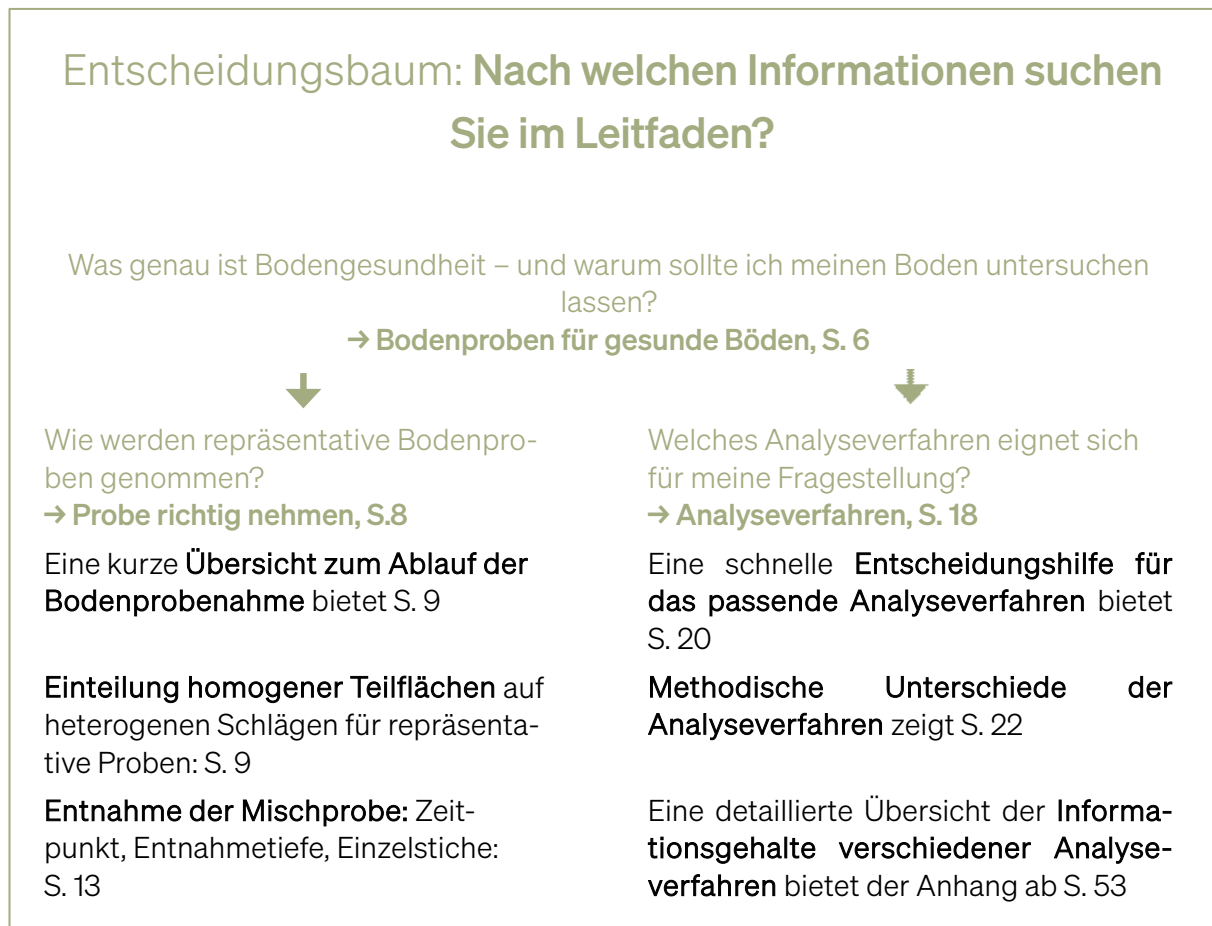


Abbildung 1: Entscheidungsbaum zur Hilfestellung der Nutzung dieses Leitfadens.

Wie ergänzt dieser Leitfaden andere Leitfäden zur Bodenuntersuchung?

Dieser Leitfaden bietet eine praxisorientierte Informationssammlung, die über eine detaillierte Zusammenfassung des Beprobungsvorgehens hinausgeht und diese mit einer umfassenden Orientierung über mögliche Analyseverfahren ergänzt: Der Informationsgehalt der VDLUFA-Standardverfahren (S.22), der Elektro-Ultrafiltration (EUF) (S.24), der Analyse nach Kinsey (S.25), der Fraktionierten Analyse (S.26), des Soil Balancing (S.27) sowie der Analyse nach Haney (S.28) wird differenziert dargestellt – jeweils mit ihren methodischen Besonderheiten, Vorteilen und Grenzen. Ergänzend wird auf Optionen eingegangen, das Bodenleben direkt zu quantifizieren. Darüber hinaus enthält der Leitfaden Hinweise für eine praxisnahe Umsetzung. Alle Inhalte werden durch aktuelle Publikationen gestützt, um eine weiterführende Recherche zu erleichtern.

Weiterführende Informationen können in anderen Leitfäden zur Bodenbeprobung gefunden werden, die beispielsweise prägnant den Ablauf der Probenahme auf Acker- und Grünlandböden darstellen – wie in der Fachinformation des Thüringer Landesamt

für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (Wagner 2021). Andere Publikationen behandeln die Teilzonierung von Schlägen (Lorenz et al. 2015) oder erläutern die Beprobung von Pflanzen und Düngemitteln (LVLF 2009). Weitere Leitfäden fokussieren neben der Probenahme einzelne Analyseverfahren oder liefern detaillierte Informationen zu essenziellen Nährstoffen und weiteren Bodenparametern, wie beispielsweise im Merkblatt des FiBL (Mäder 2021). Der DeFAF (2022) und die LfL (2022) beschreiben zudem Beprobungskonzepte in heterogenen Räumen mit unterschiedlichen Landschaftselementen wie Obstbäumen, Hecken oder Agroforstsystemen.

Bodengesundheit und Bodenuntersuchungen

Was genau ist Bodengesundheit? Sagt mir die Bodenzahl wirklich, wie gut mein Boden ist, oder gibt es mehr? Wofür sollte ich meinen Boden untersuchen lassen?

Als erste Orientierung für die Ertragsfähigkeit der Böden dient die Bodenzahl, mit der die Bodenart, das Ausgangsgestein sowie der Zustand des Bodens bewertet wird (BMEL 2024a), somit bildet die Bodenzahl die nicht durch die Bewirtschaftung gegebenen natürlichen Bedingungen im Boden ab. Die tatsächlich zu erwartenden Erträgen eines Standorts sind jedoch von wesentlichen weiteren Faktoren abhängig. Die Ackerwertzahl ist ein Maß der Bodenqualität für die landwirtschaftliche Nutzung und wird oft synonym mit dem Begriff „Bodenpunkte“ beschrieben. Sie erweitert die Bodenzahl durch die Bewertung von Klima- und topografischen Faktoren (wie Hangneigung oder Beschattung durch angrenzende Wälder), die eine Bewirtschaftbarkeit und Ertragsfähigkeit der Fläche mitbestimmen (BMEL 2024b). Doch können diese Werte die tatsächliche Fruchtbarkeit und Gesundheit von Böden nicht abbilden. Denn neben diesen Standortfaktoren sind physikalische (wie Verdichtung), chemische (wie der pH-Wert und Nährstoffgehalt) und biologische Faktoren (wie Mikroorganismen) relevante Indikatoren für die Gesundheit und Ertragsfähigkeit von Böden. Insbesondere die biologischen Eigenschaften wurden lange Zeit missachtet, obwohl sie eine Schlüsselfunktion in

Indikatoren für Bodengesundheit

physikalisch: Bodenstruktur- & Aggregatstabilität, Dichte, Wasserhaltekapazität
→ Prozesse: Verwitterung, Erosion, Verdichtung

chemisch: pH-Wert, Basensättigung, mineralische & organische Nährstoffe, Schwermetalle, ...
→ Prozesse: Bindung und Mobilisierung von Nährstoffen, Versauerung, Auswaschung von Nährstoffen

biologisch: Durchwurzelung, Bodenleben, Humusgehalt, ...
→ Prozesse: Nährstoffmobilisierung, Austauschprozesse mit Pflanzen

Oft sind die Indikatoren Kategorieübergreifend, da Bodenbildung ein **komplexes, interaktives System** aller Bereiche darstellt!

der Bodengesundheit spielen (FAO et al. 2020, Lehmann et al. 2020, Pankhurst et al. 1997).

Funktionen des Bodens

= „Fähigkeit des Bodens, Leistungen für Mensch und Umwelt zu erbringen“ (BAFU 2021)

- Bereitstellung von Nahrung, Roh- und Baustoffen, Energie etc.
- Speicherung von Wasser und Kohlenstoff
- Regulierung von Stoff- und Energiekreisläufen sowie des Klimas
- Filterung von Verunreinigungen
- Schaffung zahlreicher Lebensräume und Erhaltung der Diversität

Die Bodengesundheit ist somit ein ganzheitliches Konzept, bei dem unterschiedliche Indikatoren einbezogen werden. Eine für den Schutz unserer Böden dringend notwendige, einheitliche Definition von „Bodengesundheit“ liegt aktuell nicht vor (FAO und ITPS 2020), wird aber im Rahmen der EU-Bodenstrategie diskutiert. In dieser wird der gesunde Zustand aller Bodenökosysteme in der EU bis 2050 angestrebt, wobei „gesunde“ Böden einen guten Zustand auf physikalischer, chemischer und biologischer Ebene aufweisen und möglichst viele Funktionen erfüllen sollen (BMUV 2023). Ein momentaner Gesetzentwurf der EU-Kommission sieht eine Überwachung des Bodenzustands durch die Mitgliedsstaaten vor, in

der allerdings rechtsverbindliche Ziele für die Regeneration und Erhaltung gesunder Böden fehlen. Zudem wird das Bodenleben, das für die Erhaltung der Bodenfunktionen entscheidend ist, nicht berücksichtigt (Krämer 2023). Nach diesem sogenannten „Bodenüberwachungsgesetz“ – geplant war ursprünglich ein Bundesgesundheitsgesetz – gilt ein Boden als gesund, wenn er definierte Werte der Versalzung, Bodenerosion, Unterbodenverdichtung, Kontamination und überschüssiger Gehalte an Nährstoffen nicht überschreitet sowie bestimmte Werte des Verlusts von organischem Kohlenstoff und der Wasserrückhaltekapazität nicht unterschreitet (EU-Kommission 2023). Es bleibt abzuwarten, ob und in welcher Form der ursprüngliche Vorschlag angepasst und letztlich verabschiedet wird (*Anmerkung:* Das EU-Bodenmonitoringgesetz wurde 2025 verabschiedet und schließt auch Deskriptoren von Bodenleben mit ein). Einen an unserem praktischen Verständnis orientierten Ansatz zur Definition von Bodengesundheit formulierten Doran und Zeiss (2000), die Bodengesundheit als „die Fähigkeit des Bodens, innerhalb der Grenzen von Ökosystemen und Landnutzung als vitales lebendes System zu funktionieren, um die Produktivität zu erhalten, die Qualität von Luft und Wasser zu sichern sowie die Gesundheit von Pflanzen, Tieren und Menschen zu gewährleisten“, beschreiben (Übersetzung des Verfassers, S. 3). Sie zielt also auf Bodenfunktionen ab und umfasst den Teil, der durch die Bewirtschaftung veränderbar ist. Dabei ist Bodengesundheit nicht unbedingt gleichzusetzen mit Bodenfruchtbarkeit, denn sie beschreibt den Gesundheitszustand des Bodens, unabhängig von dessen Kapazität optimales Pflanzenwachstum und Erträge zu fördern und ist unabhängig von seinem Ausgangsgestein oder seines Entwicklungsgrades.

Mit Hilfe von Bodenbeprobungen und zielgerichteten Analysen kann der Zustand des Bodens untersucht und analysiert werden, was dem Boden zum Zeitpunkt der Messung hinsichtlich seiner Ertragsfähigkeit fehlt und festgestellt werden, wie sich die Bewirtschaftung auf definierte Bodengesundheitsindikatoren ausgewirkt haben. Hiervon ausgehend können im nächsten Schritt Düngemaßnahmen abgeleitet werden und Entscheidungen der Bewirtschaftung, wie z.B. die Ausgestaltung der Fruchtfolge sowie Art und Intensität der Bodenbearbeitung, unterstützt werden.



Eine Bodenprobe **richtig** nehmen

Was muss bei der Probenahme beachtet werden?

Von welchen Faktoren ist die erfolgreiche Probenahme abhängig? Kann ich die Probenahme selbst durchführen, oder brauche ich Hilfe?

Bei der richtigen Probenahme muss man auf einiges achten, denn letztendlich kann ein Analyseergebnis nur so gut sein, wie die Probe selbst. Macht man Fehler bei der Probenahme, so können auch die Analyseergebnisse verfälscht sein. Andersherum gewährleistet eine präzise und reibungslose Probenahme genaue Ergebnisse, die die Gegebenheiten des Standorts repräsentativ abbilden. Die Nachfolgende Abbildung 2 stellt eine erste Übersicht zum Ablauf der Bodenprobenahme dar – vom Ziel, über die Planung, bis hin zur Durchführung.



Übersicht zum Ablauf der Bodenprobenahme

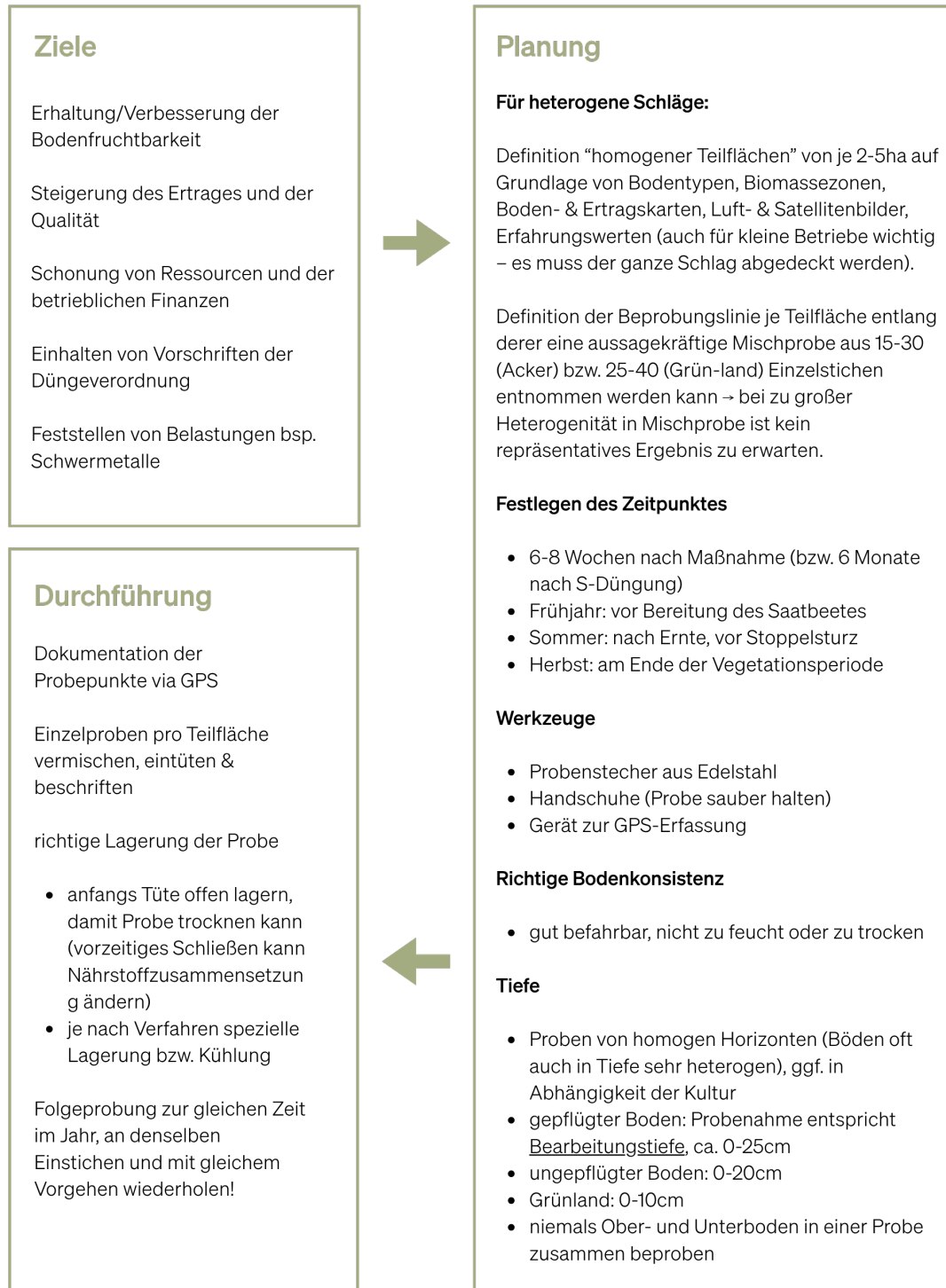


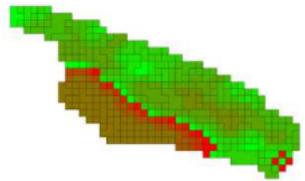
Abbildung 2: Übersicht zum Ablauf der Bodenprobenahme. Nach der Definition des Ziels, muss die Bodenprobenahme gut geplant werden, um sie erfolgsversprechend durchführen zu können.

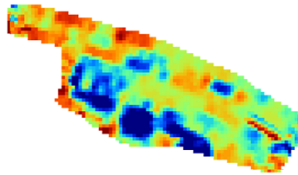
Repräsentatives Beprobten von heterogenen Flächen

Böden und ihre Prozesse sind komplex und einzelne Schläge können sehr heterogene Bodenbeschaffenheiten aufweisen. Ausschließlich schlagbezogene Beprobungen sind somit nicht zu empfehlen, da selbst kleine Schläge sehr divers in ihren Eigenschaften sein können (BMEL 2019a, Lorenz et al. 2015). Eine einzelne Mischprobe pro Schlag kann diese Heterogenität nicht repräsentieren und würde zu keinem aussagekräftigen Analyseergebnis für den gesamten Schlag führen. Darauf nachfolgende Maßnahmen können zu einer Verschlechterung der Boden- und Pflanzengesundheit führen (Klein 2024).

Die Lösung liegt in der Abgrenzung homogener Teilflächen innerhalb heterogener Schläge, die in ihren Eigenschaften klar voneinander unterscheidbar sind. Die Abgrenzung von Teilflächen sollte sorgfältig erarbeitet werden, da sie auch für zukünftige Folgebeprobungen genutzt werden können. VDLUFA beschreibt im „Standpunkt“ (Lorenz et al. 2015) verschiedene Informationsquellen, insbesondere aus der Nah- und Fernerkundung, welche als Grundlage für die Abgrenzung und Einordnung von Teilflächen für die Probennahme dienen. Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die unterschiedlichen Informationsquellen auf:

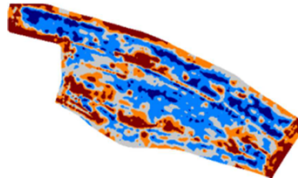
Tabelle 1: Übersicht zu Informationsquellen, welche die Standortheterogenität beschreiben und als Grundlage für die Abgrenzung homogener Teilflächen für die Entnahme repräsentativer Bodenproben dienen können. Quelle: Übersicht inkl. Bilder zitiert vom VDLUFA-Standpunkt (nach Lorenz et al. 2015, S. 5) in einer modifizierten Darstellung. Die Einschätzung der freien Verfügbarkeit der Karten wurde durch die Finck Stiftung recherchiert und ergänzt.

Informationsquelle	Bewertung der Aussagefähigkeit
Luft- und Satellitenbilder	
	✓ sehr gute Differenzierung von Strukturen möglich bei optimalen Aufnahmebedingungen (abtrocknende, unbewachsene Felder oder bewachsene Äcker bei Wassermangel) ✓ Erkennung der Strukturen durch spektrale Auflösung Bsp. Multispektralaufnahmen verbesserbar ✓ frei verfügbar^{3; 4; 5} ✗ boden- und bewirtschaftungsbedingte Ursachen sind nicht in allen Fällen eindeutig zu unterscheiden
mehrfährige Auswertung von Satellitenbildern	
	✓ zeigt Standortsunterschiede pro Quadrat als prozentuale Abweichung vom Mittel des Schlages ✓ frei verfügbar³ ✗ boden- und bewirtschaftungsbedingte Unterschiede werden nicht unterschieden
Biomassekarten	
	✓ zeigt deutliche Unterschiede im Wuchs des Bestandes ✓ frei verfügbar^{3; 4; 5}



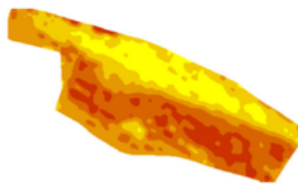
- ✗ Aussagekraft abhängig von der sensorisch erfassten Fläche, dem verwendeten Index und dem Aufnahmezeitpunkt

Ertragskarten



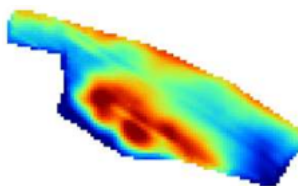
- ✓ zeigt Wasserversorgung und Bewirtschaftungsmaßnahmen
- ✓ zum Erkennen von Problemstellen geeignet
- ✓ macht Berechnung der Nährstoffzufuhr möglich
- ✗ meist Korrektur der Ernte-Rohdaten erforderlich

Messung der elektrischen Bodenleitfähigkeit



- ✓ beinhaltet auch Tongehalt und Bodenwassergehalt, die die Leitfähigkeit des Bodens beeinflussen
- ✓ direkte Aufnahme der Bodenschwere
- ✗ ausreichende und möglichst gleichmäßige Bodenfeuchte für Messung notwendig
- ✗ tief messende Geräte (EM38 bis 150 cm tief) betonen den Untergrund → bei wechselnder Substratabfolge (bspw. Lehm über Sand) sind in mehreren Tiefen messende Verfahren geeigneter (Geophilus electricus mit 6 Tiefen bis 150 cm)

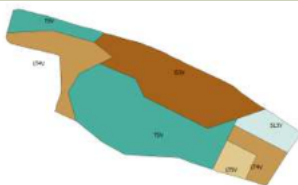
Digitales Geländemodell



- ✓ zeigt Höhenunterschiede im Gelände
- ✓ Erklärung reliefbedingter Bodenunterschiede
- ✓ frei verfügbar über die Geo-Portale der Bundesländer

Für die Ergründung von Ursachen für die Heterogenität zwischen den Teilflächen können erklärende Informationen wie Art und Aufbau des Bodenprofils oder die Nährstoffzusammensetzung herangezogen werden (Lorenz et al. 2015).

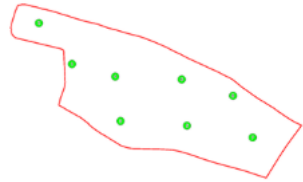
Tabelle 2: Übersicht zu Informationsquellen, welche die Standortheterogenität erklären können. Quelle: Übersicht inkl. Bilder zitiert von VDLUFA-Standpunkt (nach Lorenz et al. 2015, S. 6) in einer modifizierten Darstellung.

Informationsquelle	Bewertung der Aussagefähigkeit
Bodenschätzung	
	✓ zusammengefasste Informationen über die Ertragsfähigkeit einer Teilfläche mit zugeordneten Bodenprofilen ✗ Grenzen der Bodenschätzung und Flurstücksgrenzen stimmen oft überein → Prüfung älterer Karten nötig ✗ Karten kostenpflichtig über Katasteramt erhältlich (je nach Bundesland auch frei verfügbar)
Geologische Karten	



- ✓ zeigt Art und Verbreitung des Untergrundes
- ✓ erklärt Unterschiede im Boden
- ✓ frei verfügbar über die Geo-Portale der Bundesländer

Bodenkartierung



- ✓ gezielte Ursachenforschung
- ✓ Erstellung oder Ergänzung einer Bodenkarte kombiniert mit beschreibenden Informationen

Erfahrung der Bewirtschafter



- ✓ Informationen zu Boden- und Bewirtschaftungsunterschieden aus langjährigen Erfahrungswerten

Bezüglich der einzelnen Karten gibt es weitere Punkte, die zu beachten sind. So variieren die Daten der Ertragskarten bspw. oft in Abhängigkeit der Marke des Dreschers, weshalb die Ergebnisse unterschiedlicher Dreschermarken nicht vergleichbar sind. Weiterhin wird für eine qualitativ hochwertige Aufnahme der elektrischen Bodenleitfähigkeit eine spezialisierte Dienstleistung empfohlen, da die Messung stark abhängig von der Bodenfeuchte ist und die Messgeräte oft einer mehrmaligen Kalibrierung bedürfen, um dem gerecht zu werden (Sonn 2025).

Nicht alle beschriebenen Informationsquellen und Kartentypen werden benötigt, um homogene Teilflächen zu bestimmen. Vielmehr richtet sich die Auswahl nach der eigenen Fragestellung, der Verfügbarkeit der Karten und den Gegebenheiten vor Ort. Informationsquellen, welche die Produktivität der Fläche abbilden und eigene Erfahrungen begründen, stellen eine geeignete Grundlage dar (Lorenz et al. 2015, Sonn 2025).

Die verschiedenen Kartentypen können miteinander verschnitten werden, um bspw. die Biomassezonierung einer Fläche sowie deren topografische und bodenkundliche Eigenschaften darzustellen. Dies übernehmen geschulte Dienstleisterinnen und Dienstleister oder Programme, mit denen man sogenannte Multilayer-Karten¹ erstellen

¹ Kombination und unterschiedliche Gewichtung mehrerer Datenfelder möglich, um daraus eine Karte des in homogene Teilflächen untergliederten Schlates zu erstellen. <https://mydataplant.com/multilayer/>, aufgerufen am 25.02.2025

kann. Anhand der Karten kann der heterogene Schlag in homogene Teilbereiche untergliedert werden, die durch definierte Werte spezifiziert sind. Solche Werte können definierte Bereiche von Ertragsstärken oder Pflanzenproduktivität sein, bspw. von karg zu sehr produktiv (abhängig von der Bodenart) bei der Biomassezonierung. Pro homogener Teilfläche sollte für die Beprobung mindestens eine Mischprobe genommen werden. Eine sehr homogene Fläche kann demnach mit weniger Beprobungspunkten repräsentativ abgedeckt werden als eine heterogene Fläche. Zusätzlich zu den genutzten Datengrundlagen sollte die persönliche Erfahrung des Betriebs über die Flächen mit den Zonierungskarten abgeglichen werden. Eine zu hohe Anzahl an Zonen resultiert in einem zu großen Aufwand bei der späteren Durchführung der Probennahme und -analyse, wobei eine zu geringe Anzahl den heterogenen Schlag nicht ausreichend abbilden kann. Hierfür sollte ein Optimum je nach Ziel, Heterogenität der Fläche und verfügbarem Budget ermittelt werden. Die definierten Teilzonierungen können 6-10 Jahre als Grundlage genutzt und sollten danach erneuert werden, um den Bedürfnissen des Bodens langfristig gerecht zu werden (Empfehlung Sonn 2025).

Entnahme der Bodenproben

Nach der Unterteilung des Schlages erhält man homogene Teilflächen unterschiedlicher Größe und Form, von denen im nächsten Schritt jeweils eine Mischprobe entnommen wird (Abbildung 3). Dies sollte im Frühjahr vor der Bereitung des Saatbettes, im

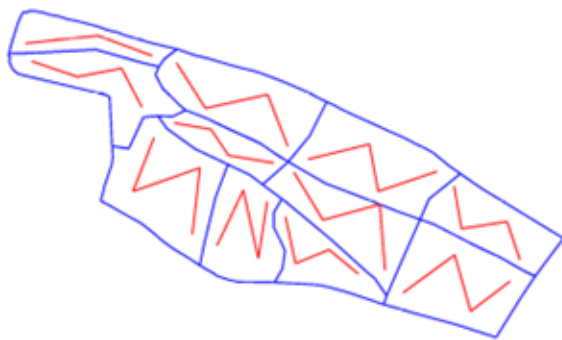


Abbildung 3: Unterteilung eines Schlages in homogene Teilflächen (blau umrandet) mit eingetragenen Beprobungslinien (orange). Abb.: Lorenz et al. (2015), S. 7

Sommer nach der Ernte und idealerweise vor dem Stoppelsturz, oder im Herbst am Ende der Vegetationsperiode erfolgen. Zu beachten ist, dass nach einer Maßnahme wie Düngung oder Bearbeitung 6-8 Wochen gewartet werden sollte, um realistische und aussagekräftige Werte zu erhalten (bei einer Düngung mit Schwefel sollte sogar bis zu 6 Monate mit der Probenahme gewartet werden, da dieser erst sehr langsam in pflanzenverfügbares Sulfat

umgewandelt wird). Der Boden sollte nicht zu trocken und nicht zu feucht, also gut bearbeitbar sein (LVLF 2009). Die Tiefe der Probenahme bei Bodenuntersuchungen sollte sich nach der Hauptwurzelzone richten, da in diesem Bereich die meisten Nährstoffe aufgenommen und umgesetzt werden. Die Hauptwurzelzone variiert je nach Bewirtschaftungsart (Schroetter 2019) und Kultur (DüV Anlage 4, Tabelle 4). Durch Pflügen und andere Bodenbearbeitungsmaßnahmen werden tiefere Bodenschichten (bis 30 cm) in den Nährstoffkreislauf einbezogen. Auf Flächen, die nicht mit solchen Methoden bewirtschaftet werden, verbleiben der Nährstoffkreislauf sowie gedüngte

Nährstoffe meist in der oberen Schicht, wo sie von den Pflanzen direkt aufgenommen werden können (Umweltbundesamt 2024, BMEL 2018). Daher werden bei der Probenahme mit einem Probeentnahmestab 15-30² Einzeleinstiche in einer Tiefe von 0-25 cm bei gepflügtem bzw. 0-20 cm bei ungepflügtem Boden im Ackerland entnommen. Achtung: wenn man die Bodenbearbeitung umstellt und damit dann auch die Beprobungstiefe, ist kein Vergleich zwischen den Beprobungen (aufgrund der unterschiedlichen Beprobungstiefe) mehr möglich. Auf Dauergrünland sollten 25-40² Einzeleinstiche der obersten 10 cm entnommen werden. Die Fläche, auf der man eine Mischprobe entnimmt, sollte 2-5² ha nicht überschreiten. Größere Teilflächen sollten nochmals unterteilt werden, um die sich variierende Nährstoffverteilung über die Fläche hinreichend differenziert zu erfassen (TLLLR 2021, BMEL 2019a, Lorenz et al. 2015, LVLF 2009).

Die Einstiche der Mischproben werden heute meist entlang von Beprobungslinien entnommen, die diagonal oder im Z-Muster über die eingeteilten Teilflächen verlaufen (Abbildung 3). Beprobungslinien parallel zur Hauptbearbeitungsrichtung in oder entlang von Fahrgassen sollten vermieden werden, um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten. Entlang dieser Linien entnimmt man 15-40 gleichmäßig verteilte Einzeleinstiche, die zu einer Mischprobe vereinigt werden. Es wird empfohlen, sowohl die Linien als auch die Punkte für die Einzeleinstiche im Voraus mit Hilfe eines geografischen Informationssystems³ (GIS) festzulegen. Bei der Probenahme im Feld richtet man sich nach den GPS-Koordinaten der GIS-Karte und findet bei zukünftigen Folgebeprobungen dieselben Punkte wieder. Andernfalls können die Beprobungspunkte auch direkt im Feld eingemessen (bspw. mit GPS-Vermessungsstab für hohe Präzision, Ortungsdienst des Smartphones) und nachfolgend in einer Karte verzeichnet werden. Dies ermöglicht aussagekräftige Informationen zu mittel- und langfristigen Entwicklungen in der Bodenbeschaffenheit und ist damit Grundlage für ein fundiertes Monitoring der Bodengesundheit (Lorenz et al. 2015, LVLF 2009). Um wirklich verlässliche Ergebnisse zu erhalten, muss der gesamte Teilschlag abgedeckt werden. Das kann anhand von Stichpunkten entlang der Beprobungslinien nur zu einem gewissen Teil abgedeckt werden.

² je nach Literatur und Analyseverfahren können sich die empfohlenen Werte für die Zahl an Einzeleinstichen oder die Flächengröße pro Mischprobe unterscheiden. Genaue Werte sollten mit dem Labor oder Dienstleister abgeklärt werden.

³ geografische Informationssysteme dienen der Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Darstellung geografischer Daten und eignen sich hervorragend für die Erstellung eines geeigneten Beprobungsschemas.

Der durch die Einzeleinstiche entnommene Boden wird je Beprobungslinie in einem Behälter zusammengeführt und durch intensives Mischen homogenisiert. Pflanzenreste und Steine sollten entfernt und anschließend die benötigte Menge an Probematerial (0,5-1,5 kg je nach Art der Analysen) entnommen, in einen sauberen, dichten Beutel überführt und entsprechend der eigenen Systematik eindeutig gekennzeichnet werden, bspw. mit Namen des Betriebs, Entnahmedatum, Schlagbezeichnung und eindeutiger Nummer der Probe. Der Beutel mit der Probe sollte möglichst sofort gekühlt werden (bei Nmin- und DNA-Proben), da sonst die Gefahr besteht, dass sich beispielsweise der Nährstoffgehalt aufgrund von mikrobieller Aktivität nachträglich verändert. Bei anderen Analysen (z.B. P, K, Mg) ist eine Kühlung nicht notwendig. Sonst besteht die Gefahr, dass sich bspw. Nährstoffgehalt und -zusammensetzung aufgrund mikrobieller Aktivität nachträglich verändern (LVL 2009, Klein 2024). Bei normalen Standardbeprobungen nach VDLUFA ist dies nicht nötig. Allerdings sollte in jedem Fall auf eine möglichst schnelle Sendung an die Labore geachtet werden (Abbildung 4).



Abbildung 4: Versand der einzelnen Mischproben zum Labor. Abb.: Finck Stiftung (2025)

Dienstleistung oder selbst machen?

Erfahrungen und Wissen bei der Abgrenzung homogener Teilflächen sowie im Umgang mit geografischen Informationssystemen sind hilfreich, um den Anforderungen einer präzisen Probenahme gerecht zu werden. Zudem ist der zeitliche und personelle Aufwand zur händischen Beprobung bei größerer Probenzahl erheblich. Aus diesen Gründen kann die Beauftragung eines darauf spezialisierten Dienstleistungs-Unternehmens empfehlenswert sein, welches sowohl Beprobungspunkte definiert, die Probenahme meist automatisiert durchführt und ggf. auch die Aufbereitung und den Versand der Bodenproben übernimmt.

Neben den reinen Laborkosten fällt für die Probenahme selbst - sofern sie als Dienstleistung beauftragt wird - ein weiterer, separat zu kalkulierender Kostenblock an. Die konventionelle, manuelle bis mechanisierte Probenahme (0-30 cm, ca. 15 Einzeleinsti-

che je Mischprobe) kostet je nach Anbieter etwa 25-45 € pro Mischprobe, eine teilflächenspezifische Probenahme nach Zonenkarten liegt eher am oberen Ende dieser Spanne; hinzu kommen üblicherweise separat berechnete Fahrtkosten.

Bezogen auf die im Leitfaden empfohlene Flächengröße von 2-5 ha je Mischprobe entspricht dies grob 5-20 €/ha für die Probenahme allein. Ab einer gewissen Probenanzahl gewähren viele Anbieter zudem Mengenrabatte (üblich sind ca. 5 % ab 50 und 10 % ab 100 Proben je Auftrag). Für automatisierte, GPS-gestützte Verfahren mit satellitengestützter Zonierung, wie sie größere Dienstleister anbieten, liegen keine einheitlichen Listenpreise vor - diese werden individuell nach Betriebsgröße und Komplexität angeboten und dürften spürbar über den genannten Werten liegen. Diese Kosten sind additiv zu den in Abbildung 5 dargestellten reinen Laboranalysepreisen zu betrachten.

Eine externe Dienstleistung ist zu empfehlen:

- bei hoher Probenanzahl auf Grund von Flächengröße und -heterogenität
- bei unzureichenden Informationen für die Bestimmung repräsentativer Teilflächen für die Probennahme
- bei nicht vorhandener Technik oder mangelnder Erfahrung, um Probepunkte präzise aufzuzeichnen und bei einer Folgebeprobung wiederzufinden
- bei nicht genügend personeller Ressourcen für die Probenahme

In der folgenden Tabelle 3 sind die prägnantesten Vor- und Nachteile zur Beauftragung einer Dienstleistung oder der eigenständigen Probenahme aufgeführt.

Tabelle 3: Hinweise für die Beauftragung einer Dienstleistung bzw. die eigenständige Durchführung von Bodenprobenahmen.

Probenahme als Dienstleistung	Eigenständige Probenahme
✓ spezialisiertes Fachpersonal	✓ Einige Portale und Programme zur Informationsverarbeitung sind kostenlos verfügbar bsp. QGIS, Satellit Sentinel, Apps TerraZo und GIS-ELA
✓ Erfahrung in Abgrenzung homogener Teilflächen und georeferenzierter Probenahme	✓ Zeitliche Flexibilität der Probenahme
✓ automatisierte Probenahme gewährleistet Einheitlichkeit der Einstiche	X höhere Variationen bei Probenahme per Hand - bspw. variierende Tiefe, Unterschiede zwischen Teilnehmenden
✓ richtige Lagerung und Versand der Proben	X hoher personeller Aufwand je nach Flächengröße und Probenumfang
✓ Beratung meist inklusive, insbesondere bei Auswertung der Ergebnisse	X durch fehlende Erfahrung und einfaches Equipment höhere Zeitdauer der Planung und Durchführung
X kostenintensiver	X körperlich anstrengend, je nach Witterung und Bodenbeschaffenheit

Analyseverfahren

Was können die verschiedenen Analyseverfahren leisten? Welches ist das richtige Verfahren für meinen Bedarf?

Die systematische Bodenbeprobung und -analyse ist ein verpflichtendes Instrument in der Landwirtschaft, um der Düngeverordnung für die Bestimmung von pH-Wert, Phosphatgehalten (Untersuchungen min. alle 6 Jahre ab 1 ha für P) und, in nitratbelasteten Gebieten (→ „rote Gebiete“), der Menge an pflanzenverfügbaren mineralischen Stickstoff gerecht zu werden (jährliche $N_{\min}$ -Analysen). Darüber hinaus bieten zielgerichtete Bodenanalysen eine Grundlage für angepasste Düngung, Bodenbearbeitung und Bestellung in der Landwirtschaft.

Verschiedene Analyseverfahren liefern hierfür unterschiedliche Informationen, die in Abhängigkeit der individuellen Ziele des Bodenmanagements gewählt werden können. Hierbei gibt es in Deutschland wissenschaftlich belegte und im Rahmen der Düngeverordnung anerkannte Analyseverfahren, aber auch ergänzende Verfahren mit potenziell weiterführendem Informationsgehalt. Im Weiteren wird ein Überblick über diese Verfahren der Bodenanalyse gegeben.

Für Deutschland wissenschaftlich fundierte und im Rahmen der Düngeverordnung anerkannte Verfahren der Bodenanalyse:

- Die Standard-Bodenanalyse nach dem Verband der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (**VDLUFA**) ist vor allem auf die chemischen und physikalischen Aspekte der Bodenanalyse ausgerichtet. Sie bietet wissenschaftlich fundierte, standardisierte und auf deutsche Bodenverhältnisse abgestimmte Ergebnisse zu pH-Wert und Bodennährstoffgehalten, die nach der Düngeverordnung anerkannt sind (BMJ 2024: DüV § 3 Absatz 6).
- Das Verfahren der Elektro-Ultrafiltration (**EUF**) setzt verschiedene Nährstofffraktionen im Boden unter Spannung frei, wodurch eine detaillierte Betrachtung der sofortigen und während der Vegetationsperiode nachlieferbaren

→ „Rote Gebiete“

= „Gebiete mit einer hohen Nitratbelastung im Grundwasser“, die gemäß § 13a DüV als "mit Nitrat belastete Gebiete (rote Gebiete) ausgewiesen" sind (LfL 2025).

Der Schwellenwert für Nitrat liegt bei **50 mg/l** Grundwasser (GrwV Anlage 2).

Bei Überschreitung dieses Schwellenwertes sind besondere Maßnahmen zum Schutz der Gewässer vor weiteren Nitratbelastungen erforderlich, bspw. eine jährliche Ermittlung des mineralischen Stickstoffs im Boden ($N_{\min}$) und eine entsprechend angepasste reduzierte Stickstoffdüngung.

Nährstoffverfügbarkeit möglich ist. Die EUF ist für die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors nach der Düngeverordnung in Deutschland anerkannt (BMJ 2024: DüV § 3 Absatz 6).

Während sich diese zwei Verfahren hauptsächlich auf die Analyse chemischer Indikatoren und damit auf die Nährstoffgehalte im Boden fokussieren, gibt es weitere Verfahren der Bodenanalyse, die andere Schwerpunkte setzen. Folgende Verfahren sind in Deutschland noch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht, um die Validität und Aussagekraft der Ergebnisse für hiesige Verhältnisse zu gewährleisten, können aber zusätzliche Informationen zu den verschiedenen Bodengesundheitsindikatoren sowie deren Wechselwirkung liefern:

- Die Bodenanalyse nach der **Kinsey-Methode**⁴ fokussiert auf eine ideale Bodenstruktur, um Wurzelwachstum, Wasserhaltefähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit zu optimieren. Sie geht davon aus, dass die Bodenstruktur durch ein ausgeglichenes Verhältnis der basischen Kationen im Boden (Ca, Mg, K, Na) zueinander positiv beeinflusst werden kann. Die **→Kationen-Austausch-Kapazität (KAK)**⁵ ist dabei eine Kennzahl, wie viele positiv geladene Ionen (Kationen) ein Boden halten kann.
- Die **Fraktionierte Analyse**⁶ bietet eine detaillierte und differenzierte Bewertung der Nährstoffverfügbarkeit im Boden unter Berücksichtigung der organisch ge-

→ Kationen-Austausch-Kapazität (KAK)

Vermögen bzw. Potential eines Bodens, positiv geladene Nährstoff (Kationen) zu binden und für die Pflanzenernährung bereit zu stellen.

Hohe KAK: große Speicherkapazität für Nährstoffe im Boden

→ mehr verfügbare Nährstoffe

Niedrige KAK: geringe Speicherkapazität für Nährstoffe im Boden

→ geringere Nährstoffverfügbarkeit

→ Problem: Gefahr der Auswaschung von überschüssigen Nährstoffen, weshalb Dünger oft nicht effizient genutzt wird

⁴ weitere Informationen zur Kinsey-Methode und ihrer wissenschaftlichen Überprüfung in „Base cation saturation ratios, soil health, and yield in organic field crops“ unter <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/agj2.20785>, aufgerufen am 25.02.2025

⁵ weitere Informationen zur KAK in „Kationenaustauschkapazität (KAK) mit EUF und Humus“ unter https://www.bodengesundheitsdienst.de/wp-content/uploads/2023/05/Erlaeuterung_Kationenaustauschkapazitaet_Website.pdf, aufgerufen am 25.02.2025

⁶ weitere Informationen zur Fraktionierten Analyse unter <https://www.bodenoekologie.com/labor/fraktionierte-analyse/>, aufgerufen am 25.02.2025

bundenen Fraktionen. Sie liefert Informationen für eine langfristige Bodenbeurteilung und den Nährstoffvorrat sowie eine Einschätzung des Bodenpuffersystems⁷.

- **Soil Balancing**⁸ basiert auf dem gleichen System wie die Kinsey-Methode, betrachtet aber weitere Makronährstoffe und Spurenelemente sowie ihre Wechselwirkungen.
- Die Bodenanalyse mit dem **Haney-Test**⁹ stellt die Bodenbiologie in den Fokus und gibt Kennzahlen für die Aktivität des Bodenlebens und der Verfügbarkeit von Nährstoffen für dessen Versorgung.
- Zur direkten Bestimmung der Bodenbiologie gibt es **DNA-basierte Methoden**¹⁰ zur quantitativen und qualitativen Ermittlung der Mikroorganismen mit möglichen Ertragswirkungen. Diese Verfahren sind noch sehr teuer, erfordern spezifisches Fachwissen und werden aktuell vorwiegend für wissenschaftliche Untersuchungen genutzt.
- Analysen zur Bodenstruktur und Durchwurzelbarkeit können bspw. mit dem Sondierstab durchgeführt werden, die zumindest eine vergleichbare Analyse und Bewertung im Feld zulässt. Ebenso können Infiltrationsversuche durchgeführt werden, zusammen mit der klassischen Bestimmung der Trockenrohdichte (Lagerungsdichte) mittels Stechzylindern.

Jedes dieser Verfahren besitzt Vor- sowie Nachteile und liefert spezifische Informationen, die über die Menge der Nährstoffe im Boden hinausgehen. Wichtig ist also die Frage, mit welchen Informationen die Standarduntersuchung ergänzt werden soll.

Sowohl die Durchführung der Probenahme als auch die gewählten Analyseverfahren richten sich danach.

⁷ Böden können, je nachdem in welchem Puffersystem sie sich befinden, Säuren und Basen unterschiedlich gut aufnehmen und neutralisieren. Mehr Informationen in „Puffersysteme ... viel mehr als ein pH-Wert“ unter <https://www.bodenoekologie.com/wp-content/uploads/2024/02/Puffersysteme-Online-2024-01.pdf>, aufgerufen am 25.02.2025

⁸ weitere Informationen zu Soil Balancing unter „Was bedeutet Soil Balancing?“ <https://www.bodenbalance.de/analysen/>, aufgerufen am 25.02.2025

⁹ weitere Informationen zum Haney-Test in „The Haney Test for Soil Health“ unter <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/2019-07/haney-test-soil-health>, aufgerufen am 25.02.2025

¹⁰ weitere Informationen zu DNA-basierten Methoden der Bodenanalyse unter <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/boden/bodenorganismen-das-universum-unter-unseren-fuessen/bodentiere-dezimieren-schadpilze-und/erforschungung-des-boden-metagenoms>, aufgerufen am 25.02.2025

Welches Analyseverfahren passt zu Ihren Zielen?

Um Sie bei dieser Entscheidung zu unterstützen, bietet Ihnen Abbildung 5 auf der folgenden Seite einen schnellen Überblick der Verfahren und ihrer (zusätzlichen) Nutzen. Die einzelnen Analyseverfahren werden im Weiteren detailliert beschrieben.

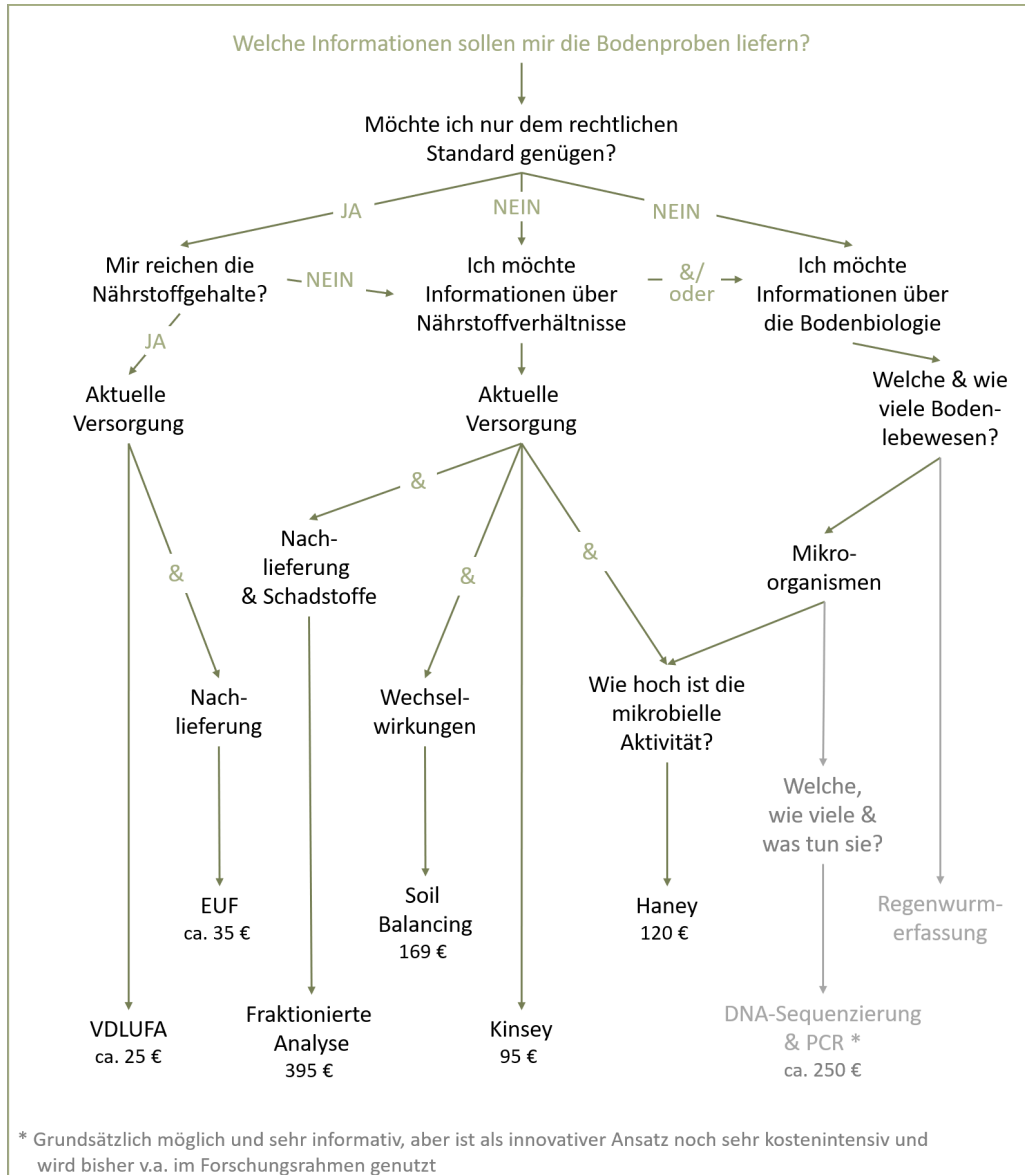


Abbildung 5: Welches Analyseverfahren passt zu Ihren Zielen? Diese Entscheidungsunterstützung bietet einen schnellen Überblick der Verfahren und ihrer (zusätzlichen) Nutzen. Der Preis ist jeweils für eine einzelne Bodenprobe angegeben. Abb.: Finck Stiftung (2025)

Eine detaillierte vergleichende Übersicht der Informationsgehalte verschiedener Analyseverfahren bietet der Anhang ab S. 53.

Steckbriefe der Analyseverfahren: Methodik, Vor- und Nachteile

Der Humus- bzw. Corg-Gehalt gehört zu den am häufigsten erhobenen Bodenkennwerten und wird von nahezu allen in diesem Leitfaden vorgestellten Analyseverfahren mitbestimmt (vgl. Abbildung 5). Er verdient dabei besondere Aufmerksamkeit, da er drei Funktionen zugleich erfüllt: Erstens ist er einer der zentralen Indikatoren für die biologische Gesundheit des Bodens, da die organische Substanz die Nahrungs- und Lebensgrundlage der Bodenmikroorganismen darstellt und damit eng mit deren Aktivität und Vielfalt verknüpft ist (Lehmann et al. 2020). Zweitens bildet er die Grundlage für zwei der bedeutendsten Ökosystemleistungen des Bodens: die Speicherung von atmosphärischem CO₂ als organischer Kohlenstoff (Cardinael et al. 2017) sowie die Erhöhung der Wasserhaltekapazität, die insbesondere unter zunehmender Trockenheit für die Ertragsstabilität entscheidend ist. Drittens ist die Bewertung des Corg-/Humusgehalts methodisch anspruchsvoller, als es die einfache Angabe eines Prozentwerts vermuten lässt: Corg und Humus sind nicht gleichzusetzen, da der Humusgehalt üblicherweise über einen pauschalen Umrechnungsfaktor (meist 1,72 bzw. 1,8) aus dem gemessenen Corg-Wert geschätzt wird und damit selbst nur eine Näherung darstellt. Zudem unterliegt der Corg-Gehalt naturgegeben einer hohen Schwankungsbreite zwischen Beprobungen (u.a. durch Witterung, Bewirtschaftung und Probenahmezeitpunkt) und ist stark von der beprobten Bodentiefe sowie der Trockenrohdichte (Lagerungsdichte) abhängig - ein Vergleich zwischen Standorten oder über die Zeit ist daher nur belastbar, wenn diese Parameter konsistent erfasst und mit angegeben werden (DIN EN 15936:2022).

VDLUFA-Standardverfahren

Das in Deutschland meistverwendete Standardverfahren zur Untersuchung von Bodenproben ist die Analyse des Boden-pH-Werts und der Nährstoffgehalte nach VDLUFA, welche in langjährigen Feldversuchen auf verschiedenen Flächen in Deutschland wissenschaftlich erprobt wurde und im Rahmen der Düngeverordnung offiziell anerkannte Ergebnisse liefert (BMEL 2019a, BMJ 2024: DüV § 3 Absatz 6). In diesem Verfahren wird neben dem pH-Wert und Humusgehalt auch der Gehalt der sofort verfügbaren Nährstoffe Kalium, Phosphor und Magnesium gemessen und in Gehaltsklassen eingestuft, aufgrund derer Düngemaßnahmen abgeleitet werden¹¹. In „roten Gebieten“

¹¹ Ergänzung der Analyse von weiteren Nährstoffen und Bodeneigenschaften ist nach dem VDLUFA-Standard gegen einen Aufpreis ebenfalls möglich

wird außerdem eine $N_{\min}$ -Untersuchung gesetzlich gefordert (LfL 2025). Für die Extraktion der Nährstoffe dienen verschiedene Auszugslösungen, die abhängig vom Boden-pH und dem Gehalt an freiem Calciumcarbonat eingesetzt werden. Die Doppellactat (DL)-Methode dient dem Auszug von Phosphor, Kalium und Magnesium von kalkfreien bis kalkarmen Böden, wobei die Calcium-Lactat-Acetat (CAL)-Methode bei kalkarmen bis kalkhaltigen Böden genutzt wird (FiBL 2008). Mit der CAL-Methode kann nur Phosphor und Kalium bestimmt werden. Magnesium wird mittels einer Calciumchlorid ($CaCl_2$)-Auszugslösung extrahiert (VDLUFA-Methodenbuch 1991, KALI-Akademie 2021, Vogt-Kaute 2020). Ein Kritikpunkt ist der Wechsel der Auszugslösung DL zu CAL bei einem Boden-pH-Wert von ca. 6, bei welchem folglich abweichende Ergebnisse je nach der Auszugslösung entstehen können (Baumgarten 2000). Die wissenschaftliche Grundlage der Methode basiert unter anderem auf Steigerungsversuchen, in denen die Nährstoffe unabhängig voneinander getestet wurden, ab welchem Wert der Ertrag nicht mehr steigt (VDLUFA 2017). Durch Steigerungsversuche ist der Zusammenhang zwischen Nährstoffmenge und Ertrag quantifizierbar, wodurch präzise Düngeempfehlungen möglich sind (Albert & Suntheim 2004). Andererseits wird ein Nährstoff dabei isoliert betrachtet, wodurch komplexe Wechselwirkungen zwischen den Nährstoffen vernachlässigt werden (Führs & Elfrich 2013). Allerdings stützen sich die Ergebnisse des VDLUFA auch auf weitere Untersuchungen wie Langzeitversuche und Wasserhaushalts- oder Erosionsuntersuchungen (VDLUFA 2017).

Methodik:	• Untersuchung der Nährstoffe mittels eines Calcium-Acetat- (CAL) bzw. Doppellactat-Auszugs (DL) → simulieren Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanzenwurzeln (FiBL 2008, VDLUFA-Methodenbuch 1991) • pH-Wert und Mg mit $CaCl_2$-Auszug (VDLUFA-Methodenbuch 1991) • Bodenart durch Fingerprobe¹² (VDLUFA 1997)
Vorteile:	• offizielle Anerkennung für P-Bestimmung (und $N_{\min}$ in nitratbelasteten Gebieten) gemäß DüV • in Deutschland verbreitetes Standardverfahren • wissenschaftliche Validierung basiert auf jahrelangen Feldversuchen zur Eichung in Deutschland (VDLUFA 2017) und Methodik wird fortwährend geprüft (VDLUFA 2025) • niedriges Preisniveau • Angabe der Düngemittel und -mengen für 7 mögliche Zielkulturen
Nachteile:	• Konzentration auf aktuelle Nährstoffversorgung → keine Bestimmung der Dynamik und Nachlieferung von Nährstoffen sowie Vernachlässigung der Nährstoffverhältnisse, Bodenstruktur und Mikrobiologie (Breuer 2014) • keine Erfassung des organischen, durch Mikroben pflanzenverfügbar gemachten P (Klein 2024)

¹² Durchführung der Fingerprobe nach Nätscher (2009)

	• Fingerprobe zur Bestimmung der Bodenart teilweise subjektiv und ungenau mit möglichen Folgen für Düngeempfehlungen (Nätscher 2009) • nur indirekte Bestimmung von Ca möglich, da es in Auszugslösung vorhanden ist (Rühlicke 2018) • keine Priorisierung der Düngeempfehlungen
Kritik:	• ggf. problematische Zuordnung der Gehaltsklassen bei pH 6 durch Methodenwechsel (Baumgarten 2000) • Steigerungsversuche zur wissenschaftlichen Validierung vernachlässigen komplexe Wechselwirkungen in Boden (Führs und Elfrich 2013) • Fokus auf NPK-Düngung → kann durch fehlende Berücksichtigung der Mikronährstoffe zu Abnahme der Bodenfruchtbarkeit führen (Bergmann 1993, Köster und Nieder 2007)

Elektro-Ultrafiltration (EUF)

Bei der Bodenuntersuchung durch EUF werden die Gehalte verschiedener Nährstoffe mittels eines elektrischen Spannungsfeldes durch einen ultrafeinen Filter aus der Bodenwassersuspension bestimmt. Mit Hilfe von Temperatur, Spannung und Stromstärke kann die Methode dahingehend gesteuert werden, dass in der 1. Fraktion direkt verfügbare und in der 2. Fraktion die während der Vegetationsperiode nachlieferbaren Nährstoffe herausgefiltert und quantifiziert werden (BISZ 2025). Das EUF-Verfahren wurde in Feldversuchen an verschiedenen Standorten in Deutschland getestet. Basierend auf den Ergebnissen wurden die Empfehlungen angepasst, sodass es heute als etabliertes Analyseverfahren gilt (Köhler et al. 2024). Für den Phosphatgehalt im Boden ist die EUF offiziell im Rahmen der Düngeverordnung anerkannt (BMJ 2024: DüV § 3 Absatz 6). Kritikerinnen und Kritiker bemängeln, dass die Stickstoff-Freisetzung stark von Feuchte und Temperatur abhängt. Dadurch kann die Düngeempfehlung für Stickstoff zum Zeitpunkt der Probenahme vom tatsächlichen Bedarf während der Anbauphase abweichen (Braun 1992).

Methodik:	• durch Anlegen einer elektrischen Spannung an eine Bodenwassersuspension im Unterdruck werden Nährstoffe und niedermolekulare Verbindungen entzogen, wobei letztere durch den Einsatz von Ultrafiltern abgetrennt werden (BISZ 2025) • Herauslösen von sofort pflanzenverfügbaren sowie nachlieferbaren Nährstoffen durch unterschiedliche Spannung und Temperatur im Verfahren (BISZ 2025)
Vorteile:	• Informationen über verfügbare und während Vegetationsperiode nachlieferbare Nährstoffe (BISZ 2025) • direkte, quantitative Ermittlung des Ca-Gehalts • grobe Umrechnung in VDLUFA-Werte möglich (Vogt-Kaute 2020) • offizielle Anerkennung für P-Bestimmung gemäß DüV • Angabe der Düngemittel und -mengen entsprechend der Zielkultur
Nachteile:	• keine Berücksichtigung von Nährstoffverhältnissen und -wechselwirkungen • teurer als VDLUFA • wenig Referenzwerte

	• keine Priorisierung der Düngeempfehlungen
Kritik	• durch variierende N-Freisetzungsrate entsprechen N-Düngeempfehlungen zur Zeit der Probenahme ggf. nicht dem Bedarf der Kultur während Anbauperiode (Braun 1992)

In alternativen Analyseverfahren wie der Kinsey-Analyse, der Fraktionierten Analyse und Soil Balancing werden zusätzlich zu den absoluten Mengen die relativen Verhältnisse der Nährstoffe zueinander betrachtet:

Analyse nach Kinsey

Bei der von dem Agronomen William Albrecht erarbeiteten und von Neal Kinsey weiterentwickelten Analyse nach Kinsey stellt die Kationen-Austausch-Kapazität (KAK⁸) als „Maß für die Menge der Kationen, die ein Stoff adsorbieren und gegen in Lösung befindliche Kationen wieder austauschen kann“ (Martin et al. 2000), die Grundlage der Bodenuntersuchung dar. Die Sättigung der Kationen gibt dabei deren Verhältnis am Austauscher wieder (Christophel 2025). Auf Grundlage der Ergebnisse der Kinsey-Analyse werden detaillierte Düngeempfehlungen gegeben, um das nach Kinsey angestrebte Nährstoffverhältnis von ca. 60-80 % Calcium, 10-20 % Magnesium, 2-7,5 % Kalium und 0,5-3 % Natrium eines „idealen“ Bodens zu erreichen (Analysebericht GB Christophel 2024, Unterfrauner 2010). Durch diese Anpassung der Kationenverhältnisse soll eine optimale Bodenstruktur zur Verbesserung von Wurzelwachstum, Wasserhaltefähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit erzielt werden, die eine hohe Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit gewährleisten (BMEL 2020, FiBL et al. 2013). Eine Priorisierung von aus der Analyse resultierenden Düngemaßnahmen stellt dabei eine große Hilfe für Landwirtinnen und Landwirte bei der praktischen Anwendung dar. Die Methode scheint sich insbesondere in der regenerativen Landwirtschaft etabliert zu haben, um einen Überblick der Nährstoffverhältnisse im Boden zu erhalten (Möller 2024). Kritik wird geübt, dass die KAK als Standorteigenschaft gilt, die aus Bodenart, Humusgehalt und dem pH-Wert resultiert. Um die Kationen am Austauscher auszugleichen, müssten sehr hohe, praktisch nicht umsetzbare Mengen an Nährstoffen bewegt werden (Breuer 2014, Möller 2024). Ergebnisse und Empfehlungen des Kinsey-Verfahrens sind bisher noch nicht in ausreichend repräsentativen Studien auf deutsche Bodenverhältnisse abgestimmt worden (Vogt-Kaute 2020, Köhler et al. 2024). Weiterhin konnte der Einfluss des Kationenverhältnis eines „idealen“ Bodens auf seine Fruchtbarkeit in mehreren Studien nicht bestätigt werden, wobei die Autoren jedoch auf die Wichtigkeit zur Bereitstellung ausreichender, aber nicht übermäßiger Mengen jedes Kations hinwiesen (Rühlicke 2018, Zalewska et al. 2017, Kopittke und Menzies 2007, McLean et al. 1983).

Methodik:	• Analyse der KAK mit Hilfe von Ammoniumacetat bei einem pH-Wert von 7 (KALI-Akademie 2021)
Vorteile:	• detaillierte Analyse von Nährstoffverhältnissen (Köhler et al. 2024) • individuelle Düngeempfehlung mit Bezug zur Folgekultur und anwendungsfreundliche Priorisierung der nötigen Maßnahmen (Analysebericht GB Christophel 2024) • mittleres Preisniveau • Fokus auf langfristige Bodenstruktur und Mikronährstoffe
Nachteile:	• in Deutschland weder offiziell anerkannt noch wissenschaftlich ausreichend validiert • kostenintensiv
Kritik:	• Fokus auf „ideales“ Kationenverhältnis umstritten und wissenschaftlich widerlegt (Kopittke & Menzies 2007, McLean et al. 1983) • für Änderung der aktuellen Kationenverhältnisse müssten unrealistisch hohe Mengen an Nährstoffen gedüngt werden (Breuer 2014, Möller 2024) • Methodik und resultierende Düngeempfehlungen nicht auf europäische Böden angepasst (Vogt-Kaute 2020, Köhler et al. 2024)

Fraktionierte Analyse

Bei der Fraktionierten Analyse werden, im Gegensatz zu den anderen Analyseverfahren, die Nährstoffe in drei Fraktionen ermittelt: I. wasserlöslich (sofort pflanzenverfügbar), II. austauschbar (nachlieferbar im Laufe der Vegetationsperiode), III. Reserve (nachlieferbar in 10-15 Jahren). Drei Auszugslösungen werden zur Extraktion der Nährstoffe genutzt, um deren spezifische Bindungsformen lösen und die Fraktionen bestimmen zu können (TB Unterfrauner GmbH 2025a). Entsprechende Meliorationsmaßnahmen werden mitsamt Informationen über die Standort- sowie Milieubedingungen im Boden (Säurepuffersystem, Humus- und Tongehalt, KAK etc.) empfohlen, um die Nährstoffe der einzelnen Fraktionen in gewünschter Menge verfügbar zu machen. Insbesondere bei der austauschbaren Fraktion wird auf ein günstiges Nährstoffverhältnis von 60-75 % Calcium, 13-18 % Magnesium, 2-5,5 % Kalium und <1 % Natrium geachtet. Ziel des Verfahrens ist es, durch Bodenbearbeitung, Fruchtfolgen, Düngung etc. die komplexen Prozesse im Boden durch Mobilisierung knapper oder Bindung häufiger Nährstoffe zu stabilisieren (TB Unterfrauner GmbH 2025b). Bei der Fraktionierten Analyse liegt der Schwerpunkt durch eine langfristige Beurteilung des Bodens nicht nur auf der Bodenfruchtbarkeit, sondern auch auf Funktionen wie Grund- und Hochwasserschutz, Kohlenstoffspeicherung etc. (Unterfrauner 2010). Dieses Analyseverfahren orientiert sich an etabliertem Wissen aus Osteuropa, ist aber bisher für Deutschland nicht offiziell anerkannt (Vogt-Kaute 2020). In Österreich ist das Verfahren der Fraktionierten Analyse nach ÖNORM S2122-1 genormt.

Methodik:	• wasserlösliche Elemente mit Bodenwassersättigungsextrakt (TB Unterfrauen GmbH 2025a) • austauschbare Elemente mit Lithiumchlorid-Extrakt (TB Unterfrauner GmbH 2025a) • nachlieferbare Elemente (Reserve) mit Salzsäure-Extrakt (TB Unterfrauner GmbH 2025a) • Kalkgehalt nach Scheibler (TB Unterfrauner GmbH 2025a)
Vorteile:	• detaillierte Einteilung der Nährstoffe in sofort verfügbare, mittelfristig nachlieferbare und langfristig verfügbare Fraktionen → bis 10 Jahre Aussagekraft • sehr umfangreich • Einbezug vieler Nährstoffe, deren Verhältnisse und Milieubedingungen des Bodens (TB Unterfrauner GmbH 2025b) • verständliche Aufbereitung der Ergebnisse • Einschätzung des Humusgehalts über Verhältnis von Corg/Bodenschwere (Klein 2024) • Angabe der Düngemittel und -mengen entsprechend der Zielkultur
Nachteile:	• in Deutschland weder offiziell anerkannt noch wissenschaftlich ausreichend validiert • kostenintensiv • keine Priorisierung der Düngeempfehlungen
Kritik:	• Interpretation der Ergebnisse ohne Fachwissen schwierig • Methode stützt sich wie Kinsey-Analyse auf Änderung der aktuellen Kationenverhältnisse, wofür Kritikerinnen und Kritikern zufolge unrealistisch hohe Düngemengen nötig sind (Breuer 2014, Möller 2024)

Soil Balancing

Die Verhältnisse und Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und Spurenelementen werden beim Soil Balancing betrachtet (Abbildung 6). Wie auch bei Kinsey und der Fraktionierten Analyse basiert die Methode auf der KAK mit dem Ziel, ein optimales Nährstoffverhältnis im Boden zu erreichen. Dies soll die Bodenstruktur verbessern, die Bodengare erhöhen und ein aktiveres Bodenleben fördern, um somit die Gesundheit des Bodens langfristig zu fördern (AGROLAB 2025). Obwohl die Nährstoffkationen am Austauscher mittels des international anerkannten, transparenten Mehlich III-Verfahrens extrahiert werden, ist die Soil Balancing-Analyse in Deutschland nicht offiziell in der Düngeverordnung anerkannt (Vlk et al. 2014). Auch hier gibt es keine ausreichenden Feldversuche zur wissenschaftlichen Fundierung des Verfahrens und dessen Aussagekraft der Düngeempfehlungen für Deutschland.

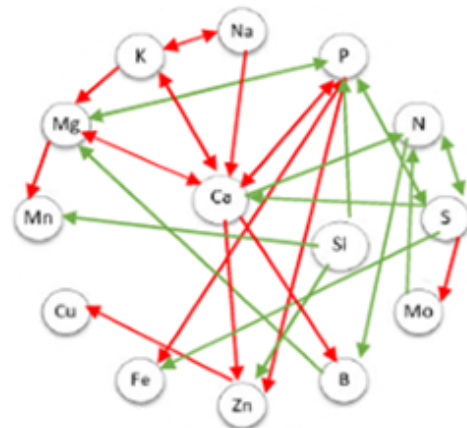


Abbildung 6: Mögliche Wechselwirkungen der wichtigsten Nährstoffe. Grüne Pfeile beschreiben positive, rote Pfeile negative Wechselwirkungen. Abb. Kohls: GbR (2025).

Dennoch wird es in vielen Ländern wie den USA und Kanada, sowie seit 1999 in der Tschechischen Republik genutzt, da es auf verschiedene Böden anwendbar ist (The Ohio State University 2025, Vlk et al. 2014). Durch die standardisierte Vorgehensweise können auch zwischen unterschiedlichen Laboren reproduzierbare, präzise Ergebnisse zur Phosphor-Bestimmung erzielt werden (Zhang et al. 2009).

Methodik:	- Extraktion der am Austausch haftenden Nährstoffe mittels Mehlich III-Extrakt (Extraktion der Basen-Kationen mit Ammoniumnitrat und Salpetersäure, Mikronährstoffe mit Ammonium und Ethylendiamintetraessigsäure, Phosphor durch Reaktion von Essigsäure und Fluoridverbindungen; Vlk et al. 2014) - Erfassung der Wechselwirkungen zwischen allen essenziellen Nährstoffen und Spurenelementen (Kohls GbR 2025)
Vorteile:	- ganzheitlicher Ansatz mit Fokus auf Bodenstruktur, Mikrobiologie und Nährstoffverhältnisse - international anerkanntes Mehlich III-Verfahren (Vlk et al. 2014) - renommierter Anbieter, in Kombination mit Bodenvitalitätstest nach Haney möglich (Kohls GbR 2025) - mittleres Preisniveau - Modifikation der Nährstoffverhältnisse durch Düngeempfehlungen (Kohls GbR 2025) - Angabe der Düngemittel und -mengen entsprechend der Zielkultur - Priorisierung der Düngeempfehlungen
Nachteile:	- in Deutschland weder offiziell anerkannt noch wissenschaftlich ausreichend validiert - komplex in der Anwendung und schwierig in direkte Düngemaßnahmen zu übersetzen
Kritik	Methode stützt sich wie Kinsey-Analyse auf Änderung der aktuellen Kationenverhältnisse, wofür Kritikern zufolge unrealistisch hohe Düngemengen nötig sind (Breuer 2014, Möller 2024)

Analyse nach Haney

Die aktiven Stoffwechselprozesse durch Mikroorganismen finden bei herkömmlichen Analysen keine Beachtung. Im Bodenvitalitätstest nach Haney werden die mikrobielle Aktivität sowie die Nahrungsgrundlage der Mikroorganismen (organisch vorliegender Kohlenstoff und Stickstoff) untersucht. Aus diesen Messungen wird ein spezifischer Bodenvitalitätswert errechnet, der die Bodengesundheit im Hinblick auf die Bodenmikrobiologie einschätzt (Bannach 2025). Die mikrobielle Aktivität leitet sich von der Bodenatmung ab, also die Menge des von den Mikroorganismen ausgeatmeten Kohlenstoffs. Je mehr Kohlenstoff gemessen wird, desto aktiver sind die Mikroorganismen, was auf gesündere Böden hindeutet (BLE 2022a). Es gilt jedoch zu beachten, dass sich Aktivität von Mikroorganismen nicht mit der Biodiversität von Mikroorganismen gleichsetzen lässt. Nur weil ein aktives Mikrobiom im Boden vorhanden ist, heißt es nicht, dass dies nur vorteilhaft für den Boden ist. Um diese Aussage treffen zu können,

müssten zusätzlich die Mikroorganismen und ihre Funktionen über DNA-Sequenzierungen bestimmt werden. Der Bodenvitalitätswert ist sensibel und reagiert schnell auf verschiedene Bewirtschaftungsformen (Bavougian et al. 2019). Der Absolutwert ist für sich wenig informativ, eignet sich jedoch hervorragend für das Monitoring einer Fläche im Laufe der Zeit oder den Vergleich zwischen benachbarten Flächen mit unterschiedlicher Bewirtschaftung. Weiterhin werden die durch biologische Prozesse freigesetzten Nährstoffe im Boden durch eine H3A-Extraktion bewertet. Die H3A-Lösung besteht aus einer Mischung organischer, in Wurzelausscheidungen vorkommender Säuren. Durch die H3A-Extraktion lässt sich die ansäuernde Wirkung der Ausscheidungen im Wurzelbereich simulieren, wodurch sich Nährstoffe von den Austauschern im Boden lösen und für Pflanzen verfügbar gemacht werden (Bannach 2025). Nach Bavougian et al. (2019) wird eine ähnliche Laborpräzision wie bei konventionellen Methoden der Bodenuntersuchung erreicht. Die Untersuchung nach Haney ist in den USA wissenschaftlich erwiesen (Harmel & Haney 2013, Haney et al. 2018). In Deutschland ist sie nicht offiziell anerkannt, da unklar ist, ob das Verfahren auch auf anderen Böden unter abweichenden Bedingungen anwendbar ist (Sanyal & Graham 2022). Kritisch wird die Bewertung der mikrobiellen Aktivität und Stickstoff-Mineralisation bei Trockenheit betrachtet, da sich diese unter trockenen Bedingungen nicht genau abbilden lassen (microBIOMETER 2023, Sanyal & Graham 2022).

Methoden:	• Berechnung eines Bodengesundheitswertes auf Grundlage gemessener Bodenatmung (Aktivität der Mikroben) mittels des Solvita Tests und wasserlöslichem C und N (Futter für Mikroben; Bannach 2025) • Analyse der verfügbaren Nährstoffe mittels eines Boden-Wasser-Extraktes mit dem Extraktionsmittel H3A, welches die Produktion organischer Säuren durch lebende Pflanzenwurzeln nachahmt (Bannach 2025)
Vorteile:	• betrachtet Bodenbiologie sowie C- und N-Verfügbarkeit des Bodens (Bannach 2025) • liefert einfachen und sensiblen Wert für die Einschätzung der Bodengesundheit anhand der mikrobiellen Aktivität, der schnell auf verschiedene Bewirtschaftungsformen reagiert (Bavougian et al. 2019) • ähnliche Laborpräzision wie konventionelle Bodenuntersuchungsmethoden (Bavougian et al. 2019) • Priorisierung der Düngeempfehlungen
Nachteile:	• in Deutschland weder offiziell anerkannt noch wissenschaftlich ausreichend validiert • zeigt nicht die tatsächliche mikrobielle Biodiversität, nur die allgemeine mikrobielle Aktivität • Aktive Mikroorganismen sind nicht immer mit Bodengesundheit gleichzusetzen • kostenintensiv • absolute Werte wenig informativ, erst Vergleich wird interessant • keine genaue Angabe der Düngemittel und -mengen

Kritik:	• Solvita-Test umstritten, da Wiederbefeuchtung nicht zwingend zur ursprünglichen Zusammensetzung der Mikroben führt → ggf. keine tatsächliche Abbildung der mikrobiellen Aktivität (microBIOMETER 2023) • unterschätzt N-Mineralisation unter trockenen Bedingungen (Sanyal & Graham 2022) • Ertragssteigerungen nicht zwingend verursacht durch erhöhten Bodengesundheitswert (Bavougian et al. 2019)
---------	---

Vergleich der Analyseverfahren

Keine der Bodenanalysemethoden gilt als universelles Verfahren für alle Fragestellungen. Man sollte sich gründlich überlegen, durch welche Verfahren man die offiziell anerkannten Analysen auf den eigenen Flächen ergänzen will, um neben der Ertragsfähigkeit auch einen tieferen Einblick in die Bodengesundheit zu erhalten.

Fazit: VDLUFA und EUF sind bewährte Methoden mit standardisierten Empfehlungen, die aber Bodenbiologie und Bodenstruktur nur begrenzt berücksichtigen. Die Fraktionierte Analyse und der Haney-Test bieten tiefere Einblicke in nachlieferbare Nährstoffe und Bodenbiologie, sind aber teuer, während Kinsey-Analyse und Soil Balancing eine langfristige Bodenverbesserung verfolgen, ggf. mehr Fachwissen für die Umsetzung benötigen und wissenschaftlich umstritten sind.

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Verfahren ist nicht zielführend, da diese Wert auf unterschiedliche Schwerpunkte legen und sich die Extraktionsmethoden zwischen den Analysen stark unterscheiden (Shwiekh et al. 2015, Schachtschabel und Köster 1978), wie in der folgenden Tabelle 4 ersichtlich ist:

Tabelle 4: Überblick über die verschiedenen Extraktionsmethoden und -lösungen für Nährstoffe und pH-Wert der einzelnen Analyseverfahren. Insbesondere bei den Nährstoffen unterscheiden sich diese komplett und machen einen Vergleich der Analyseverfahren überflüssig.

Verfahren	Extraktionsmethode der Nährstoffe	pH-Wert
VDLUFA-Standardanalyse	• Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (CAL) • Doppellactat-Auszug (DL) • Magnesium mit Calciumchlorid (CaCl_2)	In CaCl_2 Lösung ¹³
EUF	• Anlegen einer elektrischen Spannung an die Bodenwassersuspension mit anschließender Filtrierung der Nährstoffe	In H_2O ¹⁴ -Lösung
Kinsey	• KAK durch Ammoniumacetat bei pH 7	H_2O (+KCl)
Fraktionierte Analyse	• Bodenwassersättigungsextrakt (wasserlösliche) • Lithiumchlorid (LiCl)-Extrakt (austauschbare) • Salzsäure (HCl)-Extrakt (nachlieferbare)	H_2O + KCl ¹⁵
Soil Balancing	• Mehlich III Extraktion¹⁶	H_2O
Haney	• Bodenwasserextrakt mit H_3A	H_2O + CaCl_2

Der wesentliche Wirkmechanismus hinter den verschiedenen Extraktionslösungen liegt in der Verdrängung der im Boden an negativ geladenen Oberflächen (wie Tonminerale und organische Substanz) gebundenen Nährstoff-Kationen durch die Kationen der Auszugslösung, bspw. durch die Ammonium-Kationen im Ammoniumacetat. Andere Extraktionsverfahren lösen Nährstoffe von den festen Bestandteilen des Bodens durch die Bildung von löslichen Komplexen, bspw. die Calcium-Ionen und Lactat mit Phosphor-Ionen. Aus der entstandenen Suspension werden anschließend alle festen Bestandteile herausfiltriert und die gelösten Nährstoff-Kationen analysiert (Schachtschabel und Köster 1978, Anhäuser et al. 1999).

Eine detaillierte vergleichende Übersicht der Informationsgehalte verschiedener Analyseverfahren bietet der Anhang ab S. 53.

Da Bodenanalysen in den letzten Jahren vermehrt in den Blickpunkt von Praktikerinnen und Praktikern geraten sind, sind auch verschiedene „Do-it-yourself-Tests zur Bodenanalyse direkt auf dem heimischen Acker verfügbar, die Ergebnisse innerhalb weniger Minuten versprechen. Mit Hilfe solcher Test-Sets lässt sich bspw. die Aggregatstabilität, der pH-Wert in Wasser und Neutralsalz oder der Kalkgehalt des Bodens

¹³ Calciumchlorid (CaCl_2)-Lösung wird für Boden-pH-Messungen genutzt, da sie bodenspezifische Ionenaustauschprozesse berücksichtigt.

¹⁴ H_2O allein kann pH-Schwankungen verursachen, weil es wenig Ionen enthält und sich durch CO_2 -Aufnahme leicht ansäuern kann.

¹⁵ H_2O mit Kaliumchlorid (KCl) stabilisiert Messungen, beeinflusst den Boden jedoch weniger als CaCl_2 .

¹⁶ das standardisierte **Mehlich III Verfahren** basiert auf verschiedenen Extraktionslösungen, siehe Anhang S. 52

bestimmen. Andere geben einen Überblick über die mikrobielle Biomasse sowie das Verhältnis von Pilzen zu Bakterien¹⁷. Neue Sensortechnik soll verschiedene Bodenparameter wie z.B. seine Art, Textur, Humus-Gehalt, $N_{\min}$ und einige Nährstoffe unmittelbar auf dem Acker testen können und folglich eine sofortige Planung der Meliorationsmaßnahmen ermöglichen¹⁸. Bei der Nutzung von DIY-Tests oder neuartiger Technik sollte bedacht werden, dass die wissenschaftliche Validierung solcher Methoden meist aussteht und deren Aussagekraft daher kritisch zu betrachten ist.

Neben laborbasierten Analyseverfahren und chemischen DIY-Test-Sets gibt es auch einfache, kostenlose bis sehr kostengünstige Feldmethoden zur direkten Einschätzung der physikalischen Bodenstruktur, die ohne Labor und ohne Wartezeit unmittelbar vor Ort durchführbar sind. Die Spatendiagnose (Visual Evaluation of Soil Structure, VESS) bewertet anhand eines ausgehobenen Spatenstichs Kriterien wie Aggregatform, Durchwurzelung, Verdichtungshorizonte und Bodenfarbe und lässt sich mit geringer Übung in wenigen Minuten je Fläche durchführen. Ergänzend liefert ein einfacher Infiltrationstest (Einbringen eines Zylinders mit definierter Wassermenge und Messung der Versickerungszeit) einen direkten Hinweis auf Wasserdurchlässigkeit und Verdichtung, während eine Eindringwiderstandsmessung mittels Penetrometer die Verdichtung in verschiedenen Bodentiefen quantifiziert. Diese Verfahren ersetzen keine Nährstoffanalyse, liefern aber innerhalb von Minuten wertvolle Zusatzinformationen zur physikalischen Bodengesundheit und eignen sich besonders gut zur Ergänzung der oben genannten DIY-Tests sowie als schnelles Monitoring-Instrument zwischen den regulären Laborbeprobungen.

¹⁷ Bestellung direkt beim Anbieter (USA) <https://microbiometer.com/de/> oder über Bodenbalance der Kohls GbR <https://www.bodenbalance.de/analysen/>, aufgerufen am 25.02.2025

¹⁸ Stenon GmbH, 14467 Potsdam: <https://www.stenon.io/>, aufgerufen am 25.02.2025

Praxisbericht

Auf dem Betrieb Gut und Bösel, der eng mit der Finck Stiftung zusammen arbeitet, wird das Kinsey/Soil-Balancing-System seit fünf Jahren als Grundlage der betrieblichen Düngestrategie eingesetzt und laufend mit Pflanzensaftanalysen abgeglichen – einer ergänzenden, pflanzengewebebasierten Methode, die im Gegensatz zu den in diesem Leitfaden behandelten Bodenanalysen nicht die Nährstoffverfügbarkeit im Boden, sondern die tatsächliche Nährstoffaufnahme der Pflanze während der Vegetationsperiode misst. Diese Kombination erlaubt es, die aus der Bodenanalyse abgeleiteten Zielverhältnisse laufend gegen die reale pflanzliche Versorgungssituation zu prüfen und Düngemaßnahmen kurzfristig anzupassen. In der betrieblichen Praxis hat sich dieser zweistufige Ansatz bewährt, um mit der in der Wissenschaft geäußerten Kritik am "idealen" Kationenverhältnis konstruktiv umzugehen: Die Zielwerte aus der Bodenanalyse dienen als Orientierung, die Pflanzensaftanalyse als Kontrollinstanz, ob die abgeleiteten Maßnahmen tatsächlich wirken. Diese mehrjährige Erfahrung ersetzt keine kontrollierten Feldversuche und ist nicht verallgemeinerbar, liefert aber einen praxisnahen Hinweis darauf, dass das Verfahren – trotz fehlender offizieller Anerkennung in Deutschland – handlungsleitend und für den Betrieb plausible Ergebnisse liefern kann.

Ausblick: Bodenleben direkt erfassen

Bodenlebewesen¹⁹ spielen DIE Schlüsselrolle im Nährstoffkreislauf des Bodens und liefern wertvolle Informationen über die Bodengesundheit (BLE 2022b, FAO et al. 2020). Die im vorherigen Kapitel beschriebenen indirekten Verfahren – wie die Messung der mikrobiellen Aktivität mittels der Haney-Analyse – können durch direkte Untersuchungen des Bodenlebens ergänzt werden, um einen ganzheitlichen Blick auf die Bodengesundheit im Rahmen der Bodenbiologie zu erhalten. Wegen des großen Mehrwerts einer direkten Bewertung des Bodenlebens ist der zukünftige Einbezug solcher Verfahren vielversprechend und wünschenswert bei der Bodenanalyse (Pankhurst et al. 1997, Doran & Zeiss 2000). Bisher werden diese Verfahren hauptsächlich im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen angewandt, sind grundsätzlich aber auch für die landwirtschaftliche Praxis verfügbar.

¹⁹ Nähere Infos über Bodenlebewesen in „Lebendige Böden – fruchtbare Böden“ (BLE 2022b)

Erfassung der Regenwurmdichte

Der bekannteste unter den Bodenlebewesen ist wohl der Regenwurm, der zahlreiche Funktionen im Boden übernimmt und einen wichtigen Bio-Indikator für die Bodengesundheit darstellt (FiBL 2022). Durch routinemäßiges Absammeln kann ein erster Eindruck von der Bodengesundheit und über die Wirkung durchgeführter Meliorationsmaßnahmen erhalten werden. Dabei sollte man vorsichtig beim Vergleich des eigenen Standorts mit anderen Gebieten sein, da die Regenwurmdichte aufgrund prähistorischer Ereignisse (Eiszeit), Standorteigenschaften und landwirtschaftliche Maßnahmen



sehr unterschiedlich sein kann. Selbst innerhalb Deutschlands variiert die Populationsdichte der Regenwürmer stark (Umweltbundesamt 2007, Langer et al. 2012). Aus diesem Grund sollten nur die Werte nahe beieinanderliegender Flächen oder einer Fläche über die Zeit verglichen werden, um die Effekte durchgeführter Maßnahmen einzuschätzen. Um erste Anhaltspunkte über die Besiedlungsdichte der Regenwürmer zu bestimmen, können die Regenwürmer insbesondere an feuchten Tagen unter aufliegender Streu oder Mulch innerhalb einer definierten Probefläche abgesammelt werden. Die beste Zeit zum Sammeln ist im März/April sowie im Oktober/November min. 6 Wochen nach der letzten Bodenbearbeitung, bei einer Bodentemperatur von 5-15 °C und hinreichender Bodenfeuchte. Weiterhin kann man in einer sogenannten „Schnellansprache“ einen Spatenstich (ca. 20 x 20 cm = 400 cm²) bis zu 30 cm Tiefe ausheben, das Bodenmaterial per Hand zerkrümeln und die Regenwürmer auszählen (Abbildung 7; LfL 2019).

Um die Besiedlungsdichte tiefergrabender Regenwürmer genauer bestimmen zu können, kann man die Regenwürmer mit einer Suspension aus Senfmehl an die Oberfläche treiben. Zwar wird dies vielerorts mit einer stark verdünnten Formaldehyd-Lösung praktiziert, jedoch ist eine Senfmehl-Suspension kombiniert mit einer Handauslese ebenso effektiv, wirkt dabei aber nicht toxisch auf das Ökosystem²⁰ (Fründ & Jordan 2003). Die Regenwürmer sollten in einem Eimer gesammelt und durch eine luftdurchlässige Abdeckung vor UV-Strahlung geschützt werden. Anschließend kann man sie auszählen, wiegen und die Art bestimmen. Für wissenschaftliche Untersuchungen für

²⁰ genaue Durchführung von Fründ und Jordan (2003). <https://d-nb.info/1080484701/34>

den Austrieb von Regenwürmern gilt die Methode nach ISO 23611-1:2018(E). Nach Erfassung der Regenwürmer können diese unbeschadet wieder in die Freiheit gelassen werden.

Mikroorganismen im Boden

Im Boden finden verschiedene biotische und abiotische Prozesse statt, die mit wichtigen Ökosystemfunktionen wie dem Kreislauf von Kohlenstoff und anderen Nährstoffen verbunden sind. Letztendlich sind wohl die kleinsten Helfer die Unverzichtbarsten für einen gesunden Boden und intakte Prozesse. Ein Gramm Boden beinhaltet bis zu 100 Millionen Bakterien (BLE 2022a). Auch andere Bodenorganismen wie Pilze, Archaeen und die Mikrofauna leisten Großes, um organisches Material im Boden aufzubauen, Schadstoffe abzubauen und Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen. Dabei macht nicht jeder alles! Die Mikroorganismen haben sich im Laufe ihrer Entwicklung an spezifische Aufgaben angepasst. Daher ist ein Boden mit einer gesunden Diversität an Mikroorganismen ausschlaggebend für funktionierende Stoffkreisläufe, Pflanzenwachstum und Pflanzengesundheit. Bei diesen funktionellen Prozessen spielen die Mikroorganismen, insbesondere in der Rhizosphäre, eine sehr große Rolle. Die Rhizosphäre ist nach der heutigen Definition der Teil des Bodens, welcher von der lebenden Pflanzenwurzel physikalisch, chemisch und biologisch beeinflusst wird. Im Allgemeinen ist damit ein Bereich bis zu etwa vier Millimeter um die Wurzel herum gemeint. Gerade dieser Bereich ist von besonderem Interesse, weil dort die Interaktion zwischen dem Boden, der Pflanze und den Mikroorganismen stattfindet. Das sogenannte Mikrobiom der Rhizosphäre, welches sämtliche Mikroorganismen umfasst, ist ein zentraler Punkt für ein gesundes Bodenleben und ist maßgeblich an der Vitalität der zu kultivierenden Pflanzen beteiligt. So spielt das Mikrobiom der Rhizosphäre eine wichtige Rolle bezüglich des pflanzlichen Wachstums, indem Nährstoffe bereitgestellt und verfügbar gemacht werden sowie für einen wirksamen Schutz gegenüber abiotischem und biotischem Stress. Die Rhizosphäre wird daher auch als „das Immunsystem“ der Pflanze bezeichnet. Selbst werden die kleinen Helfer durch verschiedenste Faktoren wie pH-Wert, Sauerstoff- sowie Wasserverfügbarkeit und Wurzelexsudate beeinflusst (BLE 2022a, FAO et al. 2020, FiBL et al. 2013). Insbesondere das Mikrobiom der Rhizosphäre kann die Entwicklung, Vitalität und das Wachstum von Pflanzen positiv beeinflussen, indem es Nährstoffe bereitstellt und aufnimmt. Es ist außerdem bekannt, dass bestimmte nützliche Bakterien die Produktion verschiedener Wachstumsregulatoren in Pflanzen beeinflussen (Giri et al., 2019). Sie werden daher als „pflanzenwachstumsfördernde Bakterien“ (Compant et al., 2010) bezeichnet (Trotel-Aziz et al., 2008). Pflanzenwachstumsfördernde Bakterien können das Pflanzenwachstum durch direkte oder indirekte Mechanismen fördern (Compant et al., 2019), die mit

mikrobiellen Stoffwechselprozessen wie Stickstofffixierung, Phytohormonproduktion, Phosphatlöslichkeit und Pathogenunterdrückung zusammenhängen (Giri et al., 2019; Pacifico et al., 2019). Darüber hinaus führen diese nützlichen Organismen durch die Stimulation der Wirtspflanze auch zu einer erhöhten enzymatischen Katalyse, einer verbesserten Wasser- und Nährstoffaufnahme oder Abwehrreaktionen (Pacifico et al., 2019). Einige von ihnen können z. B. Auxin, Cytokinin oder Gibberellin produzieren, die als Phytohormone das Pflanzenwachstum beeinflussen (Compant et al., 2019). Darüber hinaus spielen pflanzenwachstumsfördernde Bakterien eine wichtige Rolle in der Industrie der nachhaltigen Landwirtschaft, da sie als wirksame biologische Bekämpfungsmittel eingesetzt werden können. Bakterielle Biokontrollmittel schützen ihre Wirtspflanzen vor Krankheitserregern entweder durch direkte Interaktion mit dem Krankheitserreger oder durch Induktion der Resistenz des Wirts (Trotel-Aziz et al., 2008). Diese sogenannte induzierte Resistenz tritt auf, wenn Pflanzen ihre Abwehrfähigkeit entwickeln, wenn sie durch Krankheitserreger ausgelöst werden. Daher können die in und auf den Wurzeln lebenden Mikroorganismen die Fitness der Pflanzen beeinflussen und durch die Induktion von Abwehrreaktionen einen wirksamen Schutz vor abiotischem Stress bieten (Li et al., 2020). Um solche Bodenfunktionen zu erfüllen, ist ein vielfältiges und aktives Bodenmikrobiom erforderlich (Di Giacinto et al., 2020).

Im Gegensatz dazu kann die Rhizosphäre auch den Infektionsweg für bodenbürtige Krankheitserreger bilden (Berlanas et al., 2019). Einige pflanzenschädigende Mikroorganismen, werden beispielsweise besonders durch enge Fruchtfolgen und Monokulturen begünstigt. Verschiedene Studien konnten feststellen, dass die Art der Bodenbearbeitung und Bewirtschaftung die Zusammensetzung der Mikroben oder das Auftreten bestimmter Stämme maßgeblich beeinflusst (Köberl et al. 2020, Liu et al. 2022). Darüber hinaus konnten mehrere Bakterienstämme identifiziert werden, die weltweit eng mit dem Biomasseaufbau von Pflanzen in Verbindung stehen. Auf dieser Grundlage sollte eine Vorhersage des Pflanzenwachstums und Ernteerträge durch die Erfassung der Bodenmikrobiologie und maschineller Lerntechnologien bald möglich sein (Schaks et al. 2024). So rücken Mikroorganismen auch für Praktikerinnen und Praktiker zusehends in den Vordergrund, wenn von gesunden Böden und Pflanzen gesprochen wird. Bisher wird die quantitative sowie qualitative Beurteilung von Mikroorganismen hauptsächlich im Forschungskonzept durchgeführt, doch gibt es erste Anbieterinnen und Anbieter für die Untersuchung privater Bodenproben. Obwohl die Untersuchungen noch kostenintensiv sind, werden sie zunehmend in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt (Smalla & Heuer 2012, Tebbe 2002).

Erfassung der Mikrobiologie

Einen „Fingerabdruck des Bodens“ erhält man (Soilytix GmbH 2025, Smalla und Heuer 2012, Tebbe 2002)(Abbildung 8):

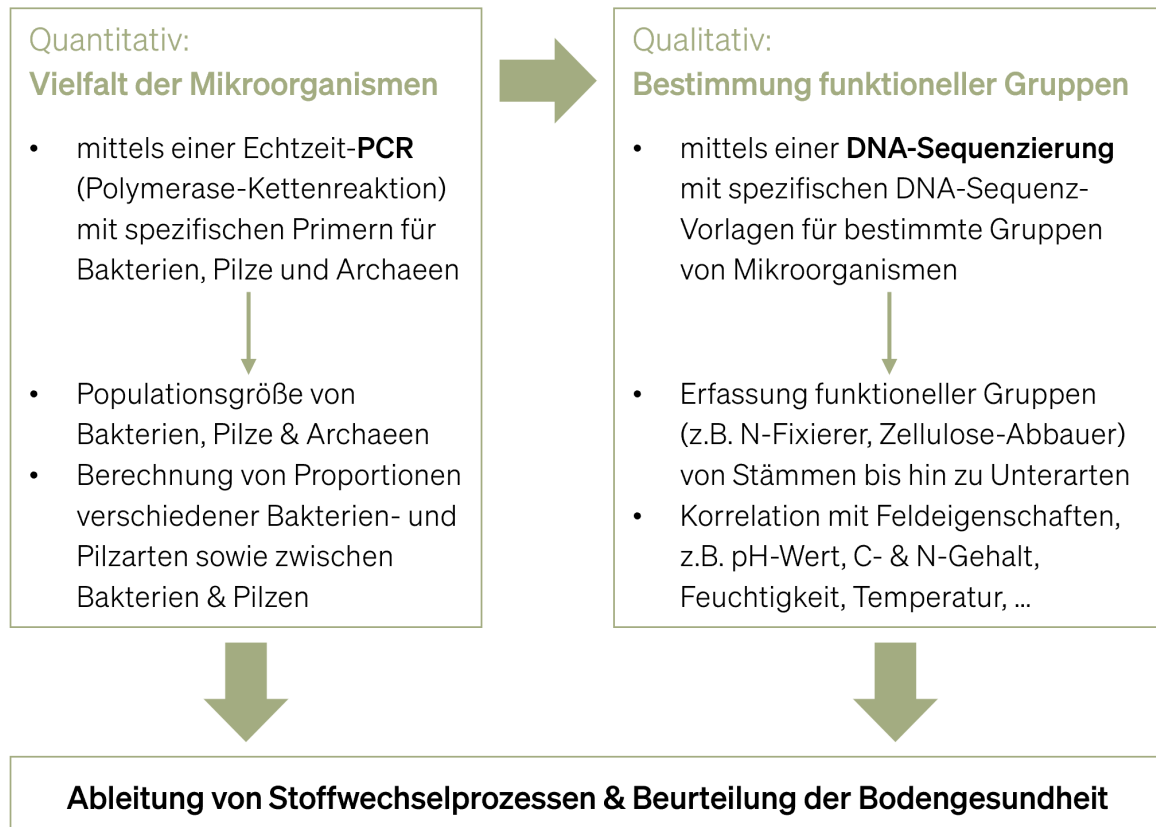


Abbildung 8. Quantitative und qualitative Bestimmung von Mikroorganismen. Abb.: Finck Stiftung (2025)

Für die Analyse einer Bodenprobe werden 50-100 Gramm Boden benötigt, wobei die Tiefe und die Art der Entnahme von der Zielsetzung der Analyse abhängen. Hierfür sollte man sich vorab von dem gewählten Labor beraten lassen²¹. Während der Probenahme sollte unbedingt sauber gearbeitet und Handschuhe getragen werden, um die Kontamination der Proben durch Fremd-DNA zu vermeiden. Eine Desinfektion der Entnahmegeräte zwischen den einzelnen Proben ist ebenfalls nötig, damit eine Kreuzkontamination ausgeschlossen bleibt.

²¹ Bsp. Soilytix GmbH, 20354 Hamburg. <https://soilytix.com/mysoil/>, aufgerufen am 25.02.2025

Die Proben müssen anschließend in einem sauberen, verschließbaren Gefrierbeutel bei 4 °C gekühlt werden, bis sie in einem gepolsterten Umschlag an das Labor versendet werden können. Dabei muss vorab mit dem Labor geklärt werden, ob und wie die Ware während des Transports gekühlt werden sollte.

In Zukunft könnte es möglich sein, die mikrobielle Vielfalt des Bodens zu erhalten sowie wiederherzustellen und Nutzorganismen zu unterstützen, die intensiven landwirtschaftlichen Praktiken ausgesetzt sind. Es ist hier jedoch besonders wichtig, den Einfluss verschiedener Variablen wie Pflanzenart und Pflanzengenotyp zu berücksichtigen. Darüber hinaus sollten auch die Auswirkungen von Faktoren wie Bodentyp, Umweltbedingungen, Klimawandel, Bewirtschaftungspraktiken und Düngungsniveau berücksichtigt werden. Nicht zu vergessen sind selbstverständlich auch der Ansatz bzw. der Transfer in die praktische Anwendung direkt in die Landwirtschaft.



Ausblick: Neue Möglichkeiten durch Digital Farming

In den letzten Jahren hat sich in der Landwirtschaft viel im Bereich digitaler Technologien getan. Auch beim Thema Boden eröffnen sich dadurch neue Möglichkeiten. Digitale Werkzeuge können helfen, Unterschiede innerhalb von Schlägen sichtbar zu machen, Entwicklungen über mehrere Jahre zu beobachten und Entscheidungen auf eine breitere Informationsbasis zu stellen. Für die Bodenbeprobung und das Bodenmanagement könnten diese Technologien in Zukunft eine wichtige Ergänzung sein. Ein Beispiel dafür sind Satelliten- und Drohnendaten. Satelliten liefern heute regelmäßig Informationen über Vegetationsentwicklung, Biomasse oder Wasserstress in Pflanzenbeständen. Auf entsprechenden Karten werden Unterschiede innerhalb eines Schlagges sichtbar, zum Beispiel Bereiche mit schwächerem Pflanzenwachstum oder mit wiederkehrenden Stresssituationen. Solche Informationen können Hinweise auf Unterschiede im Boden liefern und dabei helfen, Flächen gezielter in Teilbereiche zu unterteilen. Dadurch lässt sich auch die Planung von Bodenproben verbessern.

Auch Daten aus der landwirtschaftlichen Praxis spielen dabei eine immer größere Rolle. Ertragskarten aus dem Mähdrescher oder Sensordaten von Maschinen zeigen häufig sehr deutlich, wo sich innerhalb eines Schlagges stabile Unterschiede ergeben. Werden diese Daten mit Informationen über Geländeformen, Bodenleitfähigkeit oder Satellitenbilder kombiniert, lassen sich daraus Karten erstellen, die verschiedene Standortfaktoren zusammenführen. Auf dieser Grundlage können Teilflächen genauer abgegrenzt und Bewirtschaftungsmaßnahmen besser an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst werden.

Parallel dazu entstehen immer mehr digitale Plattformen, die unterschiedliche Datenquellen miteinander verbinden. Bodenanalysen, Wetterdaten, Maschinendaten oder Satellitenbilder können dort gemeinsam ausgewertet werden. Solche Systeme sollen Landwirtinnen und Landwirte dabei unterstützen, Entscheidungen zur Düngung, Bodenbearbeitung oder Fruchtfolge besser einordnen zu können. Oft geht es dabei weniger um eine einzelne Kennzahl, sondern darum, mehrere Informationen zusammenzubringen und daraus ein Gesamtbild zu entwickeln.

Ein weiteres Feld, das sich derzeit stark entwickelt, sind Sensoren zur direkten Bodenmessung auf dem Feld. Einige Technologien ermöglichen bereits, bestimmte Bodeneigenschaften wie Bodenart, Humusgehalt oder einzelne Nährstoffe direkt während der Überfahrt zu erfassen. Viele dieser Systeme befinden sich allerdings noch in der Weiterentwicklung und ihre Ergebnisse müssen weiterhin wissenschaftlich überprüft werden. Dennoch zeigen sie, in welche Richtung sich die Datenerfassung im Bodenmanagement entwickeln könnte.

Auch bei der Untersuchung des Bodenlebens zeichnen sich neue Möglichkeiten ab. Fortschritte in der molekularbiologischen Analytik erlauben es zunehmend, Mikroorganismen im Boden genauer zu erfassen. In Kombination mit neuen Auswertungsmethoden könnten solche Daten künftig dabei helfen, Zusammenhänge zwischen Bodenbiologie, Bewirtschaftung und Pflanzenwachstum besser zu verstehen.

Trotz aller technischen Entwicklungen bleibt jedoch eine wichtige Erkenntnis bestehen: Digitale Werkzeuge können das Wissen über den Boden erweitern, ersetzen aber derzeit nicht die sorgfältige Probenahme und die fachliche Einordnung der Ergebnisse. Vielmehr liegt ihr Potenzial darin, klassische Bodenuntersuchungen zu ergänzen und zusätzliche Informationen über räumliche Unterschiede innerhalb eines Schlates zu liefern. Digital Farming bietet somit neue Möglichkeiten, Bodenmanagement stärker standortspezifisch und datenbasiert zu gestalten. Gleichzeitig bleiben die Erfahrung der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter unverzichtbar. Gerade die Kombination aus praktischer Erfahrung, fundierter Bodenanalyse und neuen digitalen Werkzeugen könnten allerdings künftig eine wichtige Grundlage dafür sein, Böden langfristig gesund und produktiv zu erhalten.

Maßnahmenableitung

Nach welchen Ergebnissen richte ich mich? Welche Maßnahmen stellen aufgrund der Ergebnisse die obersten Prioritäten zur Unterstützung des Bodens dar? Welche bisherigen Bearbeitungsformen haben zu den Ergebnissen geführt?

Der Boden und das Wetter sind die zwei wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Landnutzung. Da sich das Wetter nicht einfach ändern lässt und man den Klimawandel nicht mit einem Fingerschnippen aufhalten kann, stellt der Boden einen wichtigen Stellhebel dar. Entsprechend ihrer Ziele können Landwirtinnen und Landwirte die Prozesse im Boden beeinflussen, um für eine höhere Ertragsfähigkeit, gesteigerte Bodengesundheit und damit einhergehende höhere Resilienz zu sorgen.

Hinsichtlich der Auswahl von Analyseverfahren sollte sich an den Zielstellungen des jeweiligen Betriebs orientiert werden. Zur Auswertung der Ergebnisse und Beratung über durchzuführende Meliorationsmaßnahmen und deren Prioritäten kann man sich an den Probenahme-Dienstleistenden oder direkt an die Labore wenden.

Die Umsetzung von Düngemaßnahmen orientiert sich individuell an betriebswirtschaftlichen Möglichkeiten und Entscheidungen. Entsprechend werden vorrangig Maßnahmen mit höchster Priorität umgesetzt. Zudem sollte geprüft werden, ob bestimmte Schläge priorisiert werden sollten, die bspw. aufgrund ihrer Lage oder Größe eine effiziente Bearbeitung begünstigen. Unterscheiden sich die Ergebnisse innerhalb gleicher Teilflächen mit ähnlichen Bodenverhältnissen, sollten vergangene Bewirtschaftungsmaßnahmen und Fruchtfolgen berücksichtigt werden, da sie die Unterschiede beeinflusst haben könnten. Weiterhin sollte eindeutig festgestellt werden, in welchem Zustand sich die Böden befinden: Zeigen die Ergebnisse einen mit Nährstoffen gut versorgten Boden, den man nur hinsichtlich bestimmter Elemente supplementieren sollte, um seine weitere Funktionsfähigkeit und den Ertrag bestimmter Zielkulturen zu gewährleisten? Dann ist eine →Erhaltungsdüngung angebracht, die mit niedrigeren Aufwandsmengen und damit geringeren Kosten verbunden ist. Ist der Boden ausgelaugt und verarmt, wofür eine tiefgreifende →Aufdüngung

→ Düngestrategien

Erhaltungsdüngung: Regelmäßige Nährstoffzufuhr, um durch Ernte, Auswaschung oder andere Verluste entnommene Nährstoffe auszugleichen und das vorhandene Versorgungsniveau zu erhalten.

Aufdüngung: Gezielte Anhebung von Nährstoffgehalten im Boden, nach Feststellung von Mängeln, um die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und eine optimale Versorgung sicherzustellen.

nötig ist, um den Boden auf ein gesundes und ausgewogenes Grundniveau zu bringen? Bei einer Aufdüngung von verarmten Böden sind die Aufwandsmengen folglich deutlich höher und eine Priorisierung der Maßnahmen und deren Verteilung über mehrere

Jahre kann empfehlenswert sein. Auf Grundlage der Bodenprobenergebnisse können in Kombination mit weiteren agronomischen Daten, bspw. Ertragskarten oder Satellitenbilder, detaillierte Applikationskarten erstellt werden. Solche Applikationskarten dienen den Landwirtinnen und Landwirten, um Betriebsmittel wie Dünger, Pflanzenschutzmittel oder Saatgut gezielt und standortspezifisch auszubringen und den Bedürfnissen der verschiedenen Teilzonen gerecht zu werden. Bei entsprechender technischer Ausstattung sollte dies auch konsequent umgesetzt werden, da sowohl die Gefahr einer Überdüngung oder Nährstoffunterversorgung minimiert und die Anbaukultur somit optimal versorgt wird, als auch Kosten durch den gezielten Einsatz an Betriebsmittel eingespart werden. Neben der Düngung gibt es weitere Meliorationsmaßnahmen, welche pflanzenverfügbare Nährstoffe mobilisieren, den Humusgehalt erhöhen und die Diversität des Bodenlebens steigern können (Abbildung 9). Der Einbezug solcher Methoden sollte ebenfalls in Betracht gezogen werden, um die Böden und ihre Gesundheit langfristig zu stabilisieren (BMEL 2019b).

Um den Boden ganzheitlich bewerten und behandeln zu können, fließen neben den Analyseergebnissen auch weitere Faktoren wie vergangene Bewirtschaftungsmaßnahmen und der allgemeine Bodenzustand wesentlich in die Ableitung neuer Meliorationsmaßnahmen ein.



Abbildung 9: Verschiedene Maßnahmen, welche zusätzlich zur gezielten Düngung die Bodengesundheit beeinflussen: Beweidung, Ausbringen von Kompostfermenten, Zwischenfrüchte, Integration von Hecken und Blühstreifen. Abb.: Finck Stiftung (2024)

Fazit und Ausblick

Wie kann ich die Ergebnisse für mich nutzen?

Jeder Standort zeichnet sich durch individuelle Eigenschaften aus und benötigt angepasste Maßnahmen zur Melioration. Diese können mit Hilfe von Bodenuntersuchungen abgeleitet werden, um den Pflanzen kurzfristig die benötigten Nährstoffe zur Verfügung zu stellen oder die Gesundheit des Bodens langfristig zu regenerieren bzw. verbessern. Nur gesunde Böden sind langfristig vor Degradation geschützt, können Luft und Wasser sauber halten, beherbergen eine ausgeprägte biologische Vielfalt und bleiben multifunktionell nutzbar (FiBL et al. 2013). Bodengesundheit sollte daher als allgemeines Gut angesehen und so behandelt werden.

Auf vielen landwirtschaftlichen Flächen erfolgt die Düngung auf Basis vorhandener Richtwerte und betrieblicher Erfahrungen, jedoch nicht immer mit einer umfassenden Bodenanalyse für alle Nährstoffe. Jedoch kann sowohl ein Mangel an Nährstoffen als auch eine Überdüngung problematisch für die Bodengesundheit und Ertragsfähigkeit sein. Eine Unterversorgung führt zu Verlusten im Ertrag sowie der Qualität der Anbauprodukte und kann langfristig zur Erschöpfung des Nährstoffreservoirs im Boden führen. Eine zu starke Düngung erhöht die Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten, führt zur vermehrten Auswaschung von Nährstoffen ins Grundwasser (mit gesundheitsschädlichen Folgen) und verändert durch Wechselwirkungen der Nährstoffe untereinander viele Bodeneigenschaften oft zum Negativen (BLE 2020, FCI 2013, Führs & Elfrich 2013). Anschließend dauert es einige Jahre, bis der sich Boden nach der langwierigen Fehlnutzung erholen und seine Prozesse ins Gleichgewicht bringen konnte. Auf lange Sicht helfen Bodenbeprobungen durch Optimierung der Düngekosten, Minimierung von Nährstoffverlusten und langfristige Sicherung der Ertragsfähigkeit der Böden die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu erhalten. Außerdem geben sie Aufschluss, ob Nährstoffe durch andere Bearbeitungsformen oder Zwischenfrüchte mobilisiert werden können, oder ob der Boden durch zu hohe Düngegabe, Schwermetalle oder ähnliches belastet ist und durch welche Meliorationsmaßnahmen er sich wieder regenerieren kann. Weiterhin können die Methoden bezüglich bestimmter Anbaukulturen angepasst und verfeinert werden. Somit dienen Bodenuntersuchungen und die Anwendung angepasster Strategien dem Betrieb, der Gesellschaft und der Umwelt.

Neben den Analyseverfahren für physikalische und chemische Indikatoren der Bodengesundheit werden innovative Verfahren zur direkten Ermittlung biologischer Indikatoren immer umfassender und präziser. Dennoch sind solche DNA-basierten Verfahren sehr kostenintensiv und werden bisher nur von einzelnen Anbieterinnen und Anbietern zur Verfügung gestellt, obwohl die Untersuchung des Bodenlebens immer relevanter wird. Ein maßgeblicher Schlüssel für die Einschätzung der Bodengesundheit sind die verschiedenen Nah- und Fernerkundungstechnologien, die teilweise kostenfrei zur

Verfügung gestellt werden und Informationen über die versteckte Heterogenität des Bodens verschaffen. Selbst in kleinem Rahmen lohnt es sich einen Blick unter die Erde zu werfen und zu sehen, dass das Bild eines gesunden Bodens immer vollständiger wird.

Zusammenfassend formuliert sind gezielte Bodenbeprobungen und -analysen entscheidend für fundierte Entscheidungen in der „richtigen“ Bewirtschaftung von Böden. Die Wahl der passenden Bodenuntersuchungsverfahren und Maßnahmendurchführung richtet sich dabei nach den Gegebenheiten des Standorts sowie nach den Zielen



und den finanziellen Mitteln des Betriebs. Je nach Zielsetzung stehen unterschiedliche Analyseverfahren zur Verfügung, darunter das Standardverfahren nach VDLUFA, die Elektro-Ultrafiltration (EUF), Fraktionierte Analyse, Analyse nach Kinsey, Soil Balancing oder Haney-Tests. Die Analyseergebnisse liefern essenzielle Informationen über aktuelle (sowie nachlieferbare) Nährstoffgehalte und -verhältnisse, die Bodenstruktur und deren Verbesserung sowie die Aktivität des Bodenlebens. Aus diesen Erkenntnissen können gezielte Maßnahmen zur Düngung und Melioration abgeleitet werden, die sowohl unter Berücksichtigung der gesetzlichen Düngeverordnung als auch entsprechend der betrieblichen Prioritäten umgesetzt werden können. Ein gut durchdachtes Bodenuntersuchungskonzept und vor allem die tatsächliche Durchführung von Meliorationsmaßnahmen tragen zur langfristigen Schaffung und Erhaltung nachhaltiger, resilienter Böden bei, die sowohl kurz-

fristig eine optimale Nährstoffversorgung für Pflanzen bieten als auch langfristig die biologische Vielfalt und Bodengesundheit verbessern.

Quellen

AGROLAB (2025): Soil Balancing – Der Schlüssel zu nachhaltiger Bodengesundheit und Ertragsoptimierung. AGROLAB Agrar GmbH, Sarstedt. <https://www.agrolab.com/de/service/download/dokumente-suche/1658-agrolab-soil-balancing-2024/file.html>, aufgerufen am 20.02.2025

Albert, E.; Suntheim, L. (2004): Reduzierte Phosphatdüngung – Folgen für die Bodenfruchtbarkeit. In: Folgen negativer Nährstoffbilanzen in Ackerbaubetrieben. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) am 27. und 28. April 2004 in Würzburg.

Anhäuser, M.; Arnheim, K.; Becker-Follmann, J. et al. (1999): Extraktion. Lexikon der Biologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/extraktion/23384>, aufgerufen am 24.02.2025

BAFU (2021): Boden und seine Funktionen. Bundesamt für Umwelt. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/fachinformationen/boden-und-seine-funktionen.html>, aufgerufen am 25.03.2025

Bannach, W. (2025): BODENVITALITÄT nach Haney. Institut für Agrar- und Umweltanalytik (IAU) Freyburg. https://www.gruenebruecke.de/files/gruene-bruecke/flyer/2023-03-22_Fly_Bodentest_Haney_A4_WEB.pdf, aufgerufen am 18.02.2025

Baumgarten, A. (2000): Extraktion von pflanzenverfügbarem Phosphat: CAL- und DL-Methode im Vergleich. Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Jahrestagung 2000 in Gmunden, 39-40.

Bavougian, C. M.; Shapiro, C. A.; Stewart, Z. P.; Eskridge, K. M. (2019): Comparing Biological and Conventional Chemical Soil Tests in Long-Term Tillage, Rotation, N Rate Field Study. Soil. Sci. Soc. Am. J. 83:419-428. doi:10.2136/sssaj2018.06.0240

Bergmann W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.

Berlanas, C., Berbegal, M., Elena, G., Laidani, M., Cibriain, J. F., Sagües, A., & Gramaje, D. (2019): The Fungal and Bacterial Rhizosphere Microbiome Associated With Grapevine Rootstock Genotypes in Mature and Young Vineyards. Frontiers in Microbiology, 10, 1142. doi: 10.3389/fmicb.2019.01142

BISZ (2025): Was ist EUF? Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau. <https://bisz.suedzucker.de/duengung/fachbegriffe/was-ist-euf/>, aufgerufen am 18.02.2025

BLE (2020): Optimal versorgt – Düngung in der Landwirtschaft. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

BLE (2022a): Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2.Auflage. ISBN 978-3-8308-1407-8.

BLE (2022b): Lebendige Böden – fruchtbare Böden. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 1.Auflage.

BMEL (2018): Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf Ertrag und Qualität von Feldfrüchten und auf bodenökologische und bodenchemische Parameter. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Ein Beitrag von Dr. Kurt Möller, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodennutzung-bearbeitungsverfahren.html>, aufgerufen am 12.05.2025

BMEL (2019a): Wissen, wie man düngen muss - die Bodenuntersuchung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenuntersuchung.html>, aufgerufen am 12.02.2025

BMEL (2019b): Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für den ökologischen Landbau. Ein Beitrag von Dr. Hans Marten Paulsen, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst. 06.08.2019. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenfruchtbarkeit-oekolandbau.html>, aufgerufen am 24.03.2025

BMEL (2020): Grundlage der Bodenfruchtbarkeit – die Kalkung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Ein Beitrag von Dr. Frank Lorenz, LUFA Nord-West, Oldenburg, 14. Apr. 2020. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenfruchtbarkeit-kalkung-grundlagen.html>, aufgerufen am 03.03.2025

BMEL (2024a): Fachbegriffe erklärt – Bodenzahl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. <https://www.bmel-statistik.de/hilfe/fachbegriffe-erklart/>, aufgerufen am 21.11.2024

BMEL (2024b): Fachbegriffe erklärt – Ackerzahl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. <https://www.bmel-statistik.de/hilfe/fachbegriffe-erklart/>, aufgerufen am 21.11.2024

BMJ (2024): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html, aufgerufen am 05.02.2024

BMUV (2023): Europäische Bodenschutzpolitik. Stand 04.12.2023. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. <https://www.bmuv.de/WS1320>, aufgerufen 21.03.2025

Braun, H. (1992): Bemerkungen über den Einsatz der EUF-Methode für N-Düngungsempfehlungen zu Zuckerrüben, Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Abteilung Bingen, Fachbereich Landbau.

Breuer, J. (2014): Nährstoffverfügbarkeit Vergleich von Analysemethoden. LTZ Augustenberg Referat 12 – Ökologischer Landbau und Agrarökologie. Tagungsveranstaltung zu „Nährstoffverfügbarkeit und Düngung beim pfluglosen Ackerbau“ des AK Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat Baden-Württemberg, am 23. Januar 2014

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Beral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E. & Chenu, C. (2017): Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 236: 243-255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>

Christophel, D. (2025): Analysen/Boden. Geobüro Christophel. <https://www.gb-christophel.de/boden/>, aufgerufen am 18.02.2025

Compant, Stéphane; Clément, Christophe; Sessitsch, Angela (2010): Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. In *Soil Biology and Biochemistry* 42 (5), pp. 669-678. doi: 10.1016/j.soilbio.2009.11.024.

Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019): A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research*, 19, 29-37. doi: 10.1016/j.jare.2019.03.004

DeFAF (2020): Agroforstwirtschaft: Die Kunst, Bäume und Landwirtschaft zu verbinden. Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V. 1. Auflage, Cottbus

DeFAF (2022): Leitfaden -Bodenkundliche Untersuchungen in streifenförmigen Agroforstsystemen. Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V., 1. Auflage

Di Giacinto, S., Friedel, M., Poll, C., Döring, J., Kunz, R., & Kauer, R. (2020): Vineyard management system affects soil microbiological properties. *OENO One*, 54(1). doi:10.20870/oenooone.2020.54.1.2578

DIN EN 15936:2022-09. Schlamm, behandelte Bioabfälle und Boden – Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (TOC); Deutsche Fassung EN 15936:2022. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2022

DLG (2008): DLG-Merkblatt 349 – Grunddüngung effizient gestalten. DLG e.V. Fachzentrum für Land- und Ernährungswirtschaft, Ausschuss Pflanzenernährung, 1. Auflage, Stand 11/2008

Doran, J. W.; Zeiss, M. R. (2000): Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11

EU-Kommission (2023): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates zur Bodenüberwachung und -resilienz (Bodenüberwachungsgesetz). Brüssel, den 05.07.2023

FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC. (2020): State of Knowledge of soil biodiversity – Status, challenge and potentialities, Summary for policy makers. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1929en>

FAO und ITPS (2020): Towards a definition of soil health. Soil Letters 1, September 2020

FCI (2013): Informationsserie Pflanzenernährung, Ernährung – Wachstum – Ernte. Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V., 1. Auflage, Juli 2013

FiBL (2008): Bodenuntersuchungen im Biobetrieb. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Ausgabe Österreich, Nr. 1311

FiBL, Bio Austria, Bioland, Bio Suisse, Demeter, Naturland, IBLA (2013): Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit – Die Beziehung zum Boden gestalten. 2. Auflage

FiBL (2021): Bodenuntersuchungen für Biobetriebe - Dank ausgeglichenem Nährstoffzustand die Ertragssituation verbessern. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Ausgabe Schweiz, Nr. 1158

FiBL (2022): Regenwürmer – Baumeister fruchtbarer Böden. Bedeutung und Empfehlungen für ihre Förderung in der Landwirtschaft. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Merkblatt, Nr. 1610. 2. Auflage

Fründ, H.-C.; Jordan, B. (2003): Regenwurmerfassung mit Senf oder Formalin? Versuche zur Eignung verschiedener Senfzubereitungen für die Austreibung von Regenwürmern. Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen 29: 97–102. <https://dnb.info/1080484701/34>

Führs, H.; Elfrich, R. (2013): Nährstoffwechselwirkungen in Boden und Pflanze. Getreidemagazin 2:18, 46-50

Giri, Bhoopander; Prasad, Ram; Wu, Qiang-Sheng; Varma, Ajit (2019): Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment 55. doi: 10.1007/978-3-030-18933-4.

Haney, R. L.; Haney, E. B.; Smith, D. R.; Harmel, R. D.; White, M. J. (2018): The soil health tool—Theory and initial broad-scale application. Applied Soil Ecology 125: 162-168

Harmel, R.D., Haney, R.L. (2013): Initial field evaluation of the agro-economic effects of determining nitrogen fertilizer rates with a recently-developed soil test methodology open. J. Soil Sci. 3: 91–99

ISO 23611-1:2018. Soil quality – Sampling of soil invertebrates – Part 1: Hand-sorting and formalin extraction. International Organization for Standardization, Geneva, 2018.

ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.

KALI-Akademie (2021): Alles rund um BODENANALYSE. Die Wissensplattform der K+S Minerals and Agriculture GmbH. <https://www.kpluss.com/downloads/agriculture-wissensspeicher/de-wissensspeicher-alles-ueber-bodenanalyse.pdf>, aufgerufen am 18.02.2025

Klein (2024): Interview mit Hans Unterfrauner – Nährstoffspeicher erschließen. Wochenblatt Magazin, 13. Juli 2024 – 3: 18-20.

Köberl, M.; Wagner, P.; Müller, H.; Matzer, R.; Unterfrauner, H.; Cernava, T.; Berg, G. (2020): Unraveling the Complexity of Soil Microbiomes in a Large-Scale Study Subjected to Different Agricultural Management in Styria. Front. Microbiol. 11:1052. doi: 10.3389/fmicb.2020.01052

Köhler, P.; Veeh, S.; Zwingel, W. (2024): Öko light, öko plus oder etwas GANZ ANDERES? Naturland Nachrichten 5: 71-77

Kohls GbR (2025): Soil Balancing. <https://www.bodenbalance.de/analysen/>, aufgerufen am 21.03.2025

Kopittke, P. M.; Menzies, N. W. (2007): A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:259–265. doi:10.2136/sssaj2006.0186

Köster, W.; Nieder, R. (2007): Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar? 2. Auflage. Publiziert auf: www.beratung-mal-anders.de

Krämer (2023): Das EU-Bodengesetz: Entwicklungen am Knotenpunkt von Umwelt-, Klima-, Agrar- und Ernährungspolitik. NABU-Agrar-Blog, Stand: 03.08.2023

Langer, U.; Kuhn, K.; Weniger, T.; Neubert W. (2012): 17 Jahre Regenwurmerfassung auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Sachsen-Anhalt. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

Lehmann, J.; Bossio, D. A.; Kögel-Knabner, I.; Rillig, M. C. (2020): The concept and future prospects of soil health. Nature Reviews Earth & Environment, Springer Nature Limited 2020.

LfL (2019): Vielfalt und Leistungen nutzen - Regenwürmer in bayerischen Ackerböden. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. 8. Auflage.

LfL (2022): Festlegung von Kohlenstoff in Streuobstwiesen des Alpenvorlands. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Schriftenreihe 01, ISSN 1611-4159

LfL (2025): Ausführungsverordnung DüV – rote Gebiete, gelbe Gebiete. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. <https://www.lfl.bayern.de/rote-gebiete#:~:text=Aus->

[weisung%20der%20mit%20Nitrat%20belasteten%20Gebiete%20in%20Bayern%20\(roter%20Gebiete\)&text=Grundwasser%20ist%20eine%20unverzichtbare%20Lebensgrundlage,%22%20\(roter%20Gebiete\)%20ausgewiesen.,](#) aufgerufen am 12.02.2025

Li, J., Mavrodi, O. V., Hou, J., Blackmon, C., Babiker, E. M., & Mavrodi, D. V. (2020): Comparative Analysis of Rhizosphere Microbiomes of Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), Darrow's Blueberry (*V. darrowii* Camp), and Rabbiteye Blueberry (*V. virgatum* Aiton). *Frontiers in Microbiology*, 11, 370. Doi: 10.3389/fmicb.2020.00370

Liu, B.; Arlotti, D.; Huyghebaert, B., Tebbe, C. C. (2022): Disentangling the impact of contrasting agricultural management practices on soil microbial communities – Importance of rare bacterial community members. *Soil Biology and Biochemistry* 166. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108573>

LLG (2019): Richtwertsammlung Düngerecht abgestimmt mit den Ländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt. https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_teil3_duengerecht.pdf, aufgerufen am 26.02.2025

Lorenz, F.; Armbruster, M.; König, V; Nätscher, L.; Olf, H.-W. (2015): Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teil-schlagspezifische Düngung mit Kalk und Grundnährstoffen. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten – Standpunkt 16.02.2015

LVL (2009): Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln Gemeinsame. Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau, Reihe Landwirtschaft, Band 10, Heft XI

Martin, C.; Bischof, N.; Eiblmaier, M. (2000): Kationenaustauschkapazität. Lexikon der Geowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/kationenaustauschkapazitaet/8248>, aufgerufen am 11.03.2025

McLean, E. O.; Hartwig, R. C.; Eckert, D. J.; Triplett, G. B. (1983): Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops. II. Field Studies. *Agronomy Journal* 75: 635-639.

microBIOMETER 2023: https://microbiometer.com/de/blog/which-soil-test-is-right-for-me/?srsltid=AfmBOoqd_xlh5i3DNZHQeeF0xb6DgLSYHGI_GZ21VYuR-psi6Q7dzXOHI, Blogartikel vom 31.10.2023, aufgerufen am 03.12.2024

Möller, K. (2024): Regenerative Landwirtschaft Auf dem Prüfstand. Naturland Nachrichten 5: 79-81

Nätscher, L. (2009): Die Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe. 5.3.2009 Laborschulung – LfL. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/zentrale_analytik/dateien/fingerprobe.pdf, aufgerufen am 25.02.2025

ÖNORM S 2122-1 (2013): Erden aus Abfällen. Teil 1: Fraktionierte Analyse – Untersuchungsmethoden.

Pacifico, Davide; Squartini, Andrea; Crucitti, Dalila; Barizza, Elisabetta; Lo Schiavo, Fiorella; Muresu, Rosella et al. (2019): The Role of the Endophytic Microbiome in the Grapevine Response to Environmental Triggers. In Frontiers in plant science 10, p. 1256. doi: 10.3389/fpls.2019.01256.

Pankhurst, C. E., Doune, B. M.; Gupta, V. V. S. R. (1997): Biological Indicators of Soil Health. CAB International 419-434. ISBN 0 85199 158 0

Rühlicke, G. (2018): Was kann die Kinsey-Methode? Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt. Sonderdruck aus Heft 38 vom 21. September 2018.

Sanyal, D.; Graham, C. (2022): Using the Haney Soil Test to Predict Nitrogen Requirements in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.). Nitrogen 3: 376–386. <https://doi.org/10.3390/nitrogen3020024>

Schachtschabel, P.; Köster, W. (1978): Vergleich verschiedener Extraktionsmethoden zur Bestimmung der Kaliumverfügbarkeit in Böden. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 141, 43-55.

Schaks, M.; Staudinger, I.; Homeister, L.; Di Biase, B.; Steinkraus, B. R.; Spiess, A.-N. (2024): Local microbial yield-associating signatures largely extend to global differences in plant growth. Science of the Total Environment 958, 177946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177946>

Schroetter, S. (2019): Durchwurzelbarkeit – ein Indikator für die Bodenfruchtbarkeit. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Ein Beitrag von Susanne Schroetter (Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig, 06.08.2019. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/durchwurzelbarkeit.html>, aufgerufen am 11.03.2025

Shwiekh, R., Schick, J.; Kratz, S.; Rückamp, D.; Schnug, E. (2015): Comparative investigation and inter-calibration of different soil P tests – Vergleichende Untersuchung und Interkalibrierung verschiedener P-Extraktionsmethoden. Journal für Kulturpflanzen 67:2, 61–72. ISSN 1867-0911, DOI: 10.5073/JFK.2015.02.02

Smalla, K.; Heuer, H. (2012): Mikrobielle Vielfalt in der Rhizosphäre und im Boden. Fachgespräch „Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft“ - 09.-10. Februar 2012, Berlin-Dahlem, Julius-Kühn-Archiv 436: 115-122. DOI: 10.5073/jka.2012.436.018

Soilytix GmbH (2025): MySoil. <https://soilytix.com/mysoil/>, aufgerufen am 24.03.2025

Sonn (2025): Experteninterview mit Thorge Sonn am 14.02.2025

TB Unterfrauner GmbH (2025a): Fraktionierte Analyse. <https://www.bodenoekologie.com/labor/fraktionierte-analyse/>, aufgerufen am 04.03.2025

TB Unterfrauner. GmbH (2025b): In den Boden geschaut. <https://www.bodenoekologie.com/labor/in-den-boden-geschaut/>, aufgerufen am 18.02.2025

Tebbe, C. (2002): Bodenmikroorganismen: die verborgene Vielfalt. Forschungsreport Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft 2: 22-25

The Ohio University (2025): Standard Operating Procedure Mehlich 3. Soil Environmental Chemistry Program, The Ohio State University. Version 13. <https://swel.osu.edu/sites/swel/files/imce/Mehlich%203%20SOP%20SHI.pdf>, aufgerufen am 20.02.2025

Trotel-Aziz, Patricia; Couderchet, Michel; Biagianti, Sylvie; Aziz, Aziz (2008): Characterization of new bacterial biocontrol agents *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Pantoea* and *Pseudomonas* spp. mediating grapevine resistance against *Botrytis cinerea*. In Environmental and Experimental Botany 64 (1), pp. 21-32. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.12.009.

Wagner (2021): Bodenprobenahme auf Acker- und Grünlandböden zur Untersuchung auf Nährstoffe und Schadstoffe. Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum. Fachinformation; Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum.

Umweltbundesamt (2007): Bodenbiologische Bewertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) anhand von Lumbriciden. Workshop in Weimar 30. November bis 01. Dezember 2006. Texte 34/07, ISSN 1862-4804.

Umweltbundesamt (2013): Bodenfunktionen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen#boden-sichern-unsere-ernaehrung>, aufgerufen am 25.03.2025

Umweltbundesamt (2014): Bodenbearbeitung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/bodenbearbeitung>, aufgerufen am 12.02.2025

Unterfrauner, H. (2010): Nährstoffvorräte im Boden anders bewertet - Ein ganzheitliches Konzept stellt sich vor. Landwirtschaft ohne Pflug 9/10: 40-43

VDLUFA-Methodenbuch (1991): Band I. <https://www.methodenbuch.de/produkt/methodenbuch-band-i-boden/>, aufgerufen am 26.03.2025

VDLUFA (1997): VDLUFA Methodenbuch Band I, D 2.1, 2. Teillieferung. VDLUFA Verlag

VDLUFA (2017): Standortgerechte Landnutzung - umweltverträglich und wirtschaftlich. Kurzfassungsband. 129. VDLUFA-KONGRESS, 12. bis 15. September 2017 Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. VDLUFA-Verlag, Darmstadt

VDLUFA (2025): Ringversuche – Allgemeine Informationen über die Durchführung von Ringversuchen im VDLUFA. <https://www.vdlufa.de/ringversuche-3/>, aufgerufen am 21.03.2025

Vlk, I.; Horová, M.; Krejča, R.; Špejra, R. (2014): Soil Analysis using Mehlich 3 Extractant Technique for Sample Preparation. Hamilton Company, Lit. No. 695158/01 — 02/2014

Vogt-Kaute, W. (2020): Vergleich verschiedener Bodenuntersuchungen und Düngempfehlungen. Naturland Nachrichten 2: 41-43.

Zalewska, M.; Nogalska, A., Wierzbowska, J. (2018): Effect of basic cation saturation ratios in soil on yield of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). J. Elem., 23(1): 95-105. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1360

Zhang, H.; Kaiuki, S.; Schroder, J. L.; Payton, M. E.; Focht, C. (2009): Interlaboratory validation of the Mehlich 3 method for extraction of plant-available phosphorus. J AOAC Int. 92(1):91-102.

Anhang

Tabellarische Übersicht der Analyseverfahren

Tabelle 5: Detaillierte Übersicht über die getesteten Eigenschaften von physikalischen, chemischen und biologischen Indikatoren der einzelnen Analyseverfahren sowie allgemeine Merkmale zur Probenahme und Anerkennung in Deutschland.

	VDLUFA	EUF		Kinsey		Fraktionierte Analyse		Soil Balancing		Haney
	Standard-analyse	Plus	Standard	Albrecht Plus (BD98)	Albrecht Standard (BD95)	Basis-charakter	Akt. Nährst.-Versorgung	Plus (SBP)	Standard (SBS)	
Physikalische Indikatoren										
Bodenart, Bodenschwere	Fingerprobe	X	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	X
Humusgehalt	möglich	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Chemische Indikatoren										
Grundnährstoffe P, K, Mg, Na, N, S, Ca	P, K & Mg	✓	✓ Na für Grünland	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Weitere Nährstoffe & Spurenelemente Zn, Fe, Cu, Mn, B	möglich	✓	B	✓ + Si, Mb, Co, Se, Cl	✓	✓ & mehr	✓ & mehr	✓ + Se, Co, Mb	✓	✓
NO ₃ , NH ₄ , Ges-N	X	NO ₃	NO ₃	Ges-N	Ges-N	✓	✓	Ges-N	Ges-N	✓
Basensättigung am Kationen-Austauscher	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

	VDLUFA	EUF		Kinsey		Fraktionierte Analyse		Soil Balancing		Haney
	Standard-analyse	Plus	Standard	Albrecht Plus (BD98)	Albrecht Standard (BD95)	Basis-charakter	Akt. Nährst.-Versorgung	Plus (SBP)	Standard (SBS)	
Wechselwirkungen zw. Nährstoffen	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	X
Fraktionen wasserlöslich, austauschbar, Reserve	X	ohne Reserve	ohne Reserve	N-Nachlieferung	N-Nachlieferung	✓	ohne Reserve	X	X	X
P-Pools wasserlöslich, austauschbar, säurelöslich, organisch, gesamt	X	X	X	verfügbar & Vorrat	verfügbar & Vorrat	✓	X	X	X	X
Schadstoffe Al u.a. Säuren am Austauscher, Schwermetalle	X	X	X	X	X	✓	✓	Al	Al	Al
Humusqualität C/N-Verhältnis	X	X	X	✓	✓	✓ + C/P, C/S	✓ + C/P, C/S	✓	✓	X
KAK potentiell & effektiv	X	eff. KAK (kalkuliert)	X	✓	✓	✓	✓	eff. KAK (kalkuliert)	eff. KAK (kalkuliert)	X
pH-Wert in H ₂ O & Neutralsalz (KCl)	mit CaCl ₂	✓	✓	✓	H ₂ O	✓	✓	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O & CaCl ₂

	VDLUFA	EUf		Kinsey		Fraktionierte Analyse		Soil Balancing		Haney
	Standard-analyse	Plus	Standard	Albrecht Plus (BD98)	Albrecht Standard (BD95)	Basis-charakter	Akt. Nährst.-Versorgung	Plus (SBP)	Standard (SBS)	
Kalkgehalt (Carbonat)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Biologische Indikatoren										
Mikrobielle Aktivität	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
Allgemein										
Menge der Mischprobe	500 g	500 g	500 g	500 g	500 g	1,5 kg	1,5 kg	600 g	600 g	600 g
Max. Fläche für 1 Mischprobe	2-4 ha	6 ha	6 ha	5 ha	5 ha	2 ha	2 ha			
Zeit bis Folgebeprobung	6 Jahre					5-10 Jahre	2 Jahre	2 Jahre	2 Jahre	
Standard	VDLUFA-Methodenbuch	ISO 9001	ISO 9001	X	X	ÖNORM S2122-1, ISO 9001	ÖNORM S2122-1, ISO 9001	X	X	X
Offizielle Anerkennung	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X
Wissensch. Nachweis in Dt.	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X
Kosten je Probe	25-60 €	35 €	73 €	125 €	95 €	395 €	220 €	189 €	169 €	120 €

