



BODENFRUCHTBARKEIT ERKENNEN

Merkmale und Versuche zur Bestimmung von Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen im Feld.

Gernot Bodner

Arbeitsgruppe Nutzpflanzenökologie
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

 **LE 14-20**
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



VORWORT

Dieses Protokoll dient dazu, die Bodenansprache im Feld zu unterstützen. Es wurde in erster Linie aus der Erfahrung bei Feldtagen und in Lehrveranstaltungen für ackerbaulich genutzten Böden entwickelt. Es verbindet verschiedene feldbodenkundliche Ansätze und einfache Versuche für eine Bodendiagnose, die Stärken und Schwächen eines Bodens aufzeigen sollen.

Die hier entwickelte Bodenaufnahme unterteilt in:

1. **Grundbodeneigenschaften:** Grundzustand des Bodens aufgrund der natürlichen Bodenentstehung am Standort. Diese Eigenschaften sind vor allem von natürlichen bodenbildenden Faktoren (Klima, Ausgangsgestein, Topographie, Alter) geprägt und wenig veränderbar.
2. **Bodenphysikalische Eigenschaften:** Bodenzustand (Aggregate und Poren) und Funktionen (Wasseraufnahme), der sich aus dem Zusammenspiel der Grundbodeneigenschaften mit durch das Management beeinflussbaren Bodeneigenschaften (Bodenleben, organische Bodensubstanz, Nährstoffe) ergibt.
3. **Organische Bodensubstanz und Bodenleben:** Durch Landnutzung und Management deutlich beeinflussbare Bodeneigenschaften mit hoher Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit (Bodenstruktur, Nährstoffdynamik).
4. **Zeigerpflanzen:** Abschließend sind noch ein paar Beispiele für Pflanzen aufgelistet, die dazu beitragen können, den Bodenzustand zu erkennen

Jede Gruppe von Eigenschaften (1-3) kann im Aufnahmeblatt protokolliert werden, um so eine übersichtliche Gesamtbeurteilung zu erhalten. Für jedes Kriterium und einige einfache Versuche findet sich eine Beschreibung des Vorgehens.

Feldbodenansprache ist Erfahrungssache und sollte nur als erste Diagnose (wie in der Ersten Hilfe) gesehen werden. **Für die Beurteilung veränderbarer Bodeneigenschaften (Struktur, organische Substanz) empfiehlt sich eine Beurteilung mit einem Vergleichsboden von einem nahe liegenden Feldstück mit anderer Bewirtschaftung** (z.B. andere Bodenbearbeitung, andere Düngung, Wiese oder Windschutz). Das erleichtert es, Veränderungen zu erkennen.

Auch Veränderungen über die Tiefe sind aussagekräftig, da man so etwa den Effekt einer wendenden Bearbeitung (Pflug) besser verstehen kann.

Genauere Einblicke geben Bodenanalysen im Labor, die jedenfalls bei der Planung größerer Managementänderungen durchgeführt werden sollte.

Das Protokoll wird laufend auf Grundlage praktischer Anwendung, Rückmeldungen und neuer Ideen weiterentwickelt. Version 23. Juni 2022

I. GRUNDBODENEIGENSCHAFTEN

Diese Gruppe von Bodeneigenschaften ergibt sich aus der Bodenentstehung am Standort (Klima, Ausgangsgestein, Reliefposition, Alter). Sie sind – weitgehend – natürliche Standorteigenschaften und daher durch das Management nicht/nur in engen Grenzen zu verändern, prägen aber die Leistungsfähigkeit des Bodens als Pflanzenstandort sehr stark. Sie bilden die Grundlage der Bodenzahl (Textur, Zustandsstufe, Ausgangsmaterial) und sind in Bodenkarten zu finden (<https://bodenkarte.at/>).

Aus der Erhebung von Grundbodeneigenschaften in Verbindung mit dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung (zu finden in der elektronischen Bodenkarte www.bodenkarte.at) wird die Bodenwertigkeit (Bodenzahl) bestimmt.

MATERIAL:

- Messer
- Wasser (Spritzflasche)
- Maßband oder Zollstab
- Salzsäure (10 %ig)
- Feld-pH Meter

(1) BODENHORIZONTE

Bodenhorizonte zeigen ein Gesamtbild des Bodens. Sie haben unterschiedliche Bodeneigenschaften und müssen daher getrennt erfasst werden. Die Unterscheidung erfolgt v.a. nach Farbe und Texturunterschieden. In der Bodenaufnahme legt man die Horizonte fest und bestimmt ihre Mächtigkeit. Dadurch bestimmt man auch die Profiltiefe, der Pflanze zur Verfügung steht. Wichtig ist auch die Erfassung der Horizontübergänge. Die wichtigsten Kennzeichen sind:

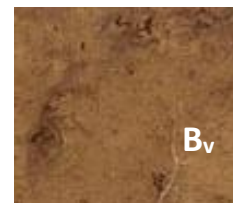
A-HORIZONT

A-Horizont: braune Humusfarbe. Es kann Farbunterschiede im Braunton geben, die auf unterschiedlich hohe Humusgehalte hinweisen. z.B. hellere Farbe im Bearbeitungshorizont durch höhere Mineralisierung; schwarzbraune (bläuliche) Farbe in tieferer Schicht des A-Horizonts bei einer Feuchtschwarzerde.



B-HORIZONT

Bv-Horizont: Gelb/rot-braun (im gemäßigten Klima) gefärbt durch Eisenoxide, die im Zuge der Verwitterung entstehen. Die Verwitterung bringt auch eine stärker lehmige Textur mit sich.



Bt-Horizont: Tonanreicherungshorizont. Darüber liegt meistens ein hellerer „E-Horizont“ (E... Eluvial=Auswaschung), von dem der Ton weg verlagert wurde. Da Ton den Boden dunkler färbt (Ton-Humus-Komplexe) wird der E-Horizont heller, der Bt dunkler. Merkbar ist der Bt-Horizont durch den höheren Tongehalt.



C-HORIZONT

C-Horizont: Horizont mit dem Ausgangsmaterial, aus dem der Boden entstanden ist (z.B. Sedimente, verwitterte Gesteine).

WASSER-BEEINFLUSSTE HORIZONTE

G-Horizont: Durch das Grundwasser beeinflusster Horizont, der blau gefärbt ist, da die Eisenoxide reduziert sind. *Luft in Grobporen – dort oxidiertes Eisen*



P-Horizont: Dichter Stauhorizont, der die Wasserversickerung zeitweise unterbindet. Entsteht aus einem Bt-Horizont.

S-Horizont: Stauzone, die über dem P-Horizont liegt. Hier sieht man eine Marmorierung zwischen gelblich/rötlichen Eisenoxiden (oxidiert) und bläulichen (reduziert). *Luft in Feinporen - Aggregate außen reduziert (blau)-innen oxidiert (rot).*



HORIZONTÜBERGÄNGE

Horizontübergänge sind sehr wichtig. Sind diese fließend (schwer zu erkennen), ist das ein Merkmal für einen gut durchmischten Boden. Auch Wurzeln und Bodentiere haben so keine Barrieren. Abrupte Horizontübergänge dagegen zeigen geringe mischende Faktoren und weisen auf mögliche Pflanzenbarrieren hin.

(2) BODENTEXTUR

Die Bodentextur beschreibt die Korngrößen der Mineralteilchen. Die Textur ist von sehr großer Bedeutung, da die meisten Bodeneigenschaften und -funktionen davon abhängen (Wasserspeicherung, Durchlüftung, Bearbeitbarkeit, Nährstoffspeichervermögen). Die Textur wird mit der Fingerprobe an einer angefeuchteten Bodenprobe durchgeführt.

1. Leichter (sandiger) Boden

Man fühlt die Sandkörner beim Zerreiben zwischen den Fingern und der Boden klebt nicht. Man hört auch das Knirschen der Körner. Er ist nur sehr schlecht formbar und ausrollbar. (Texturkategorien: Sand und anlehmiger Sand).


2. Mittlerer (schluffreicher) Boden

Der Boden fühlt sich samtig-mehlig an. Körner sind kaum mehr zu spüren. Beim Zerreiben zwischen den Fingern ist die Gleitfläche matt. Schluff glitzert sehr stark. Das Ausrollen funktioniert bis zu einem Röllchen von ca. 2 mm. (Texturkategorie: lehmiger Sand bis schluffiger Lehm).

3. Schwerer (tonreicher) Boden

Man fühlt beim Zerreiben keine Körner, der Boden ist sehr klebrig und die Gleitfläche glänzt. Man kann den Boden bis zu einem sehr feinen Röllchen (< 2 mm Durchmesser) und mehrfach wiederholt ausrollen.


Bodenart	Korngröße	Eigenschaften
Sand	0,063 mm – 2 mm	Nicht formbar, „schmutzt“ nicht, sicht- und fühlbar körnig
Schluff	0,002 mm – 0,063 mm	formbar, kaum bindig, samtig-mehlig, „schmutzt“ nicht, raue Gleitflächen
Ton	unter 0,002 mm	Gut formbar, klebrig, bindig, „schmutzt“, glänzende Gleitflächen
Lehm	Gemenge	Alle Korngrößen, eine kann bestimmend sein



Ein nussgroßes Bodenstück – mäßig durchfeuchtet (nicht nass, nicht trocken) und nicht aus der humusreichen Auflage, sondern aus dem darunter liegenden Bodenhorizont – wird in die Hand genommen. Das Material wird geknetet und zu einer Kugel geformt.


DI ELISABETH MURAUER

1. Ausrolltest




Es wird versucht, die Bodenprobe zwischen den Handtellern zu einem bleistift-dicken Würstel auszurollen.
→ Es geht nicht! Weiterrücken zu 2. Bindigkeitstest (Sand)
→ Es geht! Weiterrücken zu 4. Ausrolltest (Schluff, Lehme und Tone)

2. Bindigkeitstest




Zwischen Daumen und Zeigefinger wird der Zusammenhalt getestet.
→ Das Material haftet schwach am Finger = lehmiger Sand (LS)
→ Nicht bindig und nicht formbar! Weiterrücken zu 3. Zerreibtest (Sand)

3. Zerreibtest




Das Material wird auf der Handfläche zerrieben.
→ In den Handlinien sieht man etwas toniges Material = schwach lehmiger Sand (LS)
→ Man sieht nichts, kein toniges Material! = Sand (S)

4. Ausrolltest




Es wird versucht, ein Würstel halb bleistift-dick auszurollen.
→ Es geht nicht! Weiterrücken zu 5. Zeigefingerdrucktest (Lehm oder Schluff)
→ Es geht! Weiterrücken zu 6. Quetschtest (Sand, Lehm oder Ton)

5. Zeigefingerdrucktest




Die Probe zwischen Zeigefinger und Daumen zusammendrücken, auf fühlbare Sandkörner achten.
→ Es klebt etwas zwischen den Fingern und man spürt Sand = sandiger Lehm (sL)
→ Klebt nicht, kein Sand, aber samtig-mehlig (wenn sehr feucht sogar seifig) = Schluff (U)

6. Quetschtest




Probe zwischen Daumen und Zeigefinger beim Ohr quetschen
→ Es knirscht! = sandiger Lehm (sL)
→ Fast nichts zu hören! Weiterrücken zu 7. Gleitflächentest (Lehm, Ton)

7. Gleitflächentest



Wie schaut die Gleitfläche vom Quetschtest aus?
→ Sieht stumpf aus! = Lehm (L)
→ Glänzt ein bisschen! = toniger Lehm (tL)
→ Es glänzt! Weiterrücken zu 8. Beißtest

8. Beißtest



Auf eine kleine Menge draufbeißen.
→ Es knirscht! = lehmiger Ton (lT)
→ Wie Butter! = Ton (T)

Für ein aussagekräftiges Ergebnis sollte die Bestimmung öfter durchgeführt werden, damit das Gefühl geschärft wird. Die abgebildete Bestimmung wurde vereinfacht dargestellt, werden noch genauere Resultate gewünscht, sollte ein Experte und/oder Fachliteratur einbezogen werden. Weitere Informationen zu Boden, Bodenproben und im Besonderen zu Bodenarten bei der Boden.Wasser.Schutz.Beratung (050 6902 – 1426) und unter www.bwsb.at. Die Boden.Wasser.Schutz.Beratung bedankt sich sehr herzlich bei Stefanie.

(3) KARBONATGEHALT

Der Karbonatgehalt gibt einen Hinweis auf den pH Wert und auf den Kalkgehalt. Solange der Boden Karbonate hat, kann sein pH-Wert nicht unter 6,2 fallen (Karbonat-Puffer). Karbonate sind auch für die Bodenstruktur wichtig.

Die Bestimmung erfolgt mit 10%iger Salzsäure. Man tropft sie von oben beginnend auf den Boden (der Boden beginnt von oben zu Entkalken, da der Niederschlag im Feuchtgebiet das Kalzium - bei Böden, die es vom geologischen Ausgangsmaterial her enthalten - langsam auswäscht) und schaut ob und wie stark es schäumt.

- Schäumt stark/zischend: sehr hoher Carbonatgehalt – pH > 7,0
- Schäumt weniger/kein Zischen: geringer Carbonatgehalt – pH zwischen 6,5 – 7,0
- Schäumt kaum: Boden nahe pH 6,2

(4) pH WERT

Für die Feld-pH Messung bietet sich das Hellige pH-Meter als einfache Lösung an. Eine kleine Menge Boden wird mit einem Farbindikator versehen. Nach ca. 2 Minuten wird der Farbwert abgelesen. Genaue Instruktionen sind auf der Packung des Sets angegeben.



II. BODENPHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Diese Gruppe von Bodeneigenschaften bildet die Form und Stabilität der Bodenaggregate, der dazwischen liegenden Porenräume und ihrer Funktionen (z.B. Wasserinfiltration) ab. Es sind besonders wichtige Eigenschaften für die Bodenfruchtbarkeit, da sie den Luft- und Wasserhaushalt bedingen. Auch wichtige Umweltfunktionen des Bodens wie Erosionsstabilität ergeben sich aus der Bodenstruktur.

Die Beurteilung der bodenphysikalischen Eigenschaften umfasst folgende Schritte:

Schritt 1: Beurteilung der Aggregatverteilung im Oberboden (A-Horizont) durch eine angepasste Anwendung der Systeme Visual Soil Assessment (VSA) und Visual Evaluation of Soil Structure (VESS)

VSA: T.G. Shepherd (2008): VISUAL SOIL ASSESSMENT (VSA). Field Guides: <http://www.fao.org/3/i0007e/i0007e00.htm>

VESS: B.C. Ball, T. Batey, L.J. Munkholm (2007). Field assessment of soil structural quality—a development of the Peerlkamp test. Soil use and Management, 23(4), 329-337.

https://www.sruc.ac.uk/info/120625/visual_evaluation_of_soil_structure

Schritt 2: Beurteilung der Aggregatstabilität mittels Slake-Test.

Schritt 3: Beurteilung der Wasseraufnahmefähigkeit mittels Beerkan-Test.

Beerkan-Test: Beschreibung, Auswertehilfen und Videotutorial (englisch): <https://bestsoilhydro.net/>

Zusätzlich empfiehlt sich die Beurteilung von:

Schritt 4: Zustand der Bodenoberfläche und Bedeckungsgrad.

Schritt 5: Beurteilung der Durchwurzelung und von Verdichtungszone am Bodenprofil.

Schritt 6: Beurteilung der Bioporen mittels Färbemethode (Farbtracer)

Farbtracer-Versuch: Wahren, A., Feger, K. H., Schwärzel, K., & Münch, A. (2009). Land-use effects on flood generation—considering soil hydraulic measurements in modelling. Advances in Geosciences, 21, 99-107.

(5) Bodenstruktur – Aggregatform und Aggregatverteilung

Die Bodenstruktur ergibt sich aus dem Zusammenhalt zwischen den mineralischen Primärpartikeln in Form von **Bodenaggregaten**. Diese entstehen unter dem Einfluss der organischen Bodensubstanz, dem Bodenleben und der Zusammensetzung der Bodenlösung (Ionenkonzentration, Art der Ionen, v.a. Ca^{++}). Bodenstruktureigenschaften beschreiben die Größe und Form der Bodenaggregate sowie der dazwischen liegenden Porenräume.

Die Beurteilung der Bodenstruktur erfolgt am besten in frischem, feldfeuchten Zustand. Der Bodendarf nicht zu nach („schmierig“) noch zu trocken („verhärtet“) sein.

MATERIAL:

- Spaten
- Gefäß (Kübel, Box) mit Deckel
- Helle Unterlage (z.B. Papier, Plastikdeckel)
- Küchenwaage
- Siebe (z.B. 2 mm, 1 mm, 0,25 mm)

Ein Bodenziegel (Spatentiefe) wird mit dem Spaten entnommen. (Vor dem Ziegel eine Grube ausheben, Seitenwände und Rückwand abstechen, dann ausheben). Bereits am Bodenziegel bekommt man einen ersten Eindruck über Gefügebzustand (Bild unten), Lufmangel (Blaufärbung – tendenziell eher im Feucht- als im Trockengebiet als Merkmal zu finden)) sowie Durchwurzelung.

Nun wird ein Teil des Bodenziegels mechanisch zerteilt. Dafür werden ca. 500 g („repräsentativer Teil“) in das Gefäß gegeben, zugedeckelt und 10 x kräftig geschüttelt. Danach sortiert man die die Fragmente nach der Größe nach auf der weißen Unterlage (z.B. Ausschütteln), um sie visuell zu beurteilen.

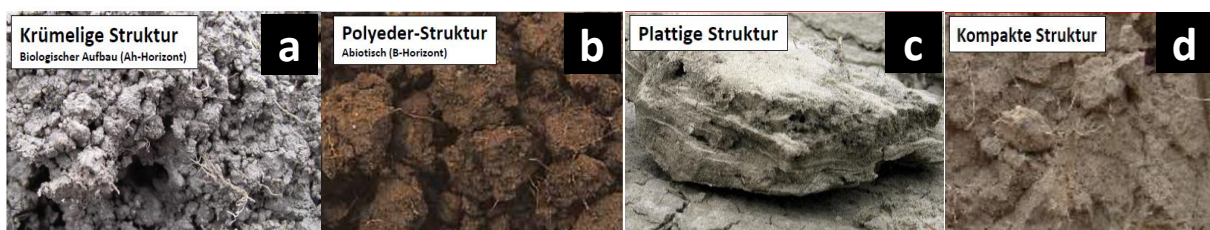


BEURTEILUNGSKRITERIEN (Semi-quantitativer Score):

Kriterium	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte	Gesamtpunkte
Größenverteilung der Aggregate	Gleichmäßig kleine Aggregate.	Gemisch aus einigen und feineren Aggregaten.	Sehr inhomogen mit vielen Klumpen. Struktur plattig.	
Form der Einzelaggregate	Aggregate gerundet, von Wurzeln vernetzt und leicht zerdrückbar	Gerundete bis kantige Aggregate, etwas schwerer zerdrückbar, keine sichtbare Wurzelvernetzung	Aggregate sehr fest, mit scharfen Kanten und schwer zwischen Fingern zerdrückbar.	
Porosität der Aggregate	Hohe Porosität	Ungleichmäßig verteilt (Makro)Poren	Massiv und kompakt.	
SUMME				

Beispiele für Formen der Bodenstruktur und von Aggregaten, die nach dem Abwurftest beobachtet werden können.

- (1) Abgerundete kleine (1- 5 mm) Krümel (a): Hinweis auf biologisches Aufbaugesüge.
- (2) Aggregate sind eher scharfkantige Polyeder (b): Hinweis auf Strukturbildung durch Schrumpfen und Wellen (meist bei tonreicheren Böden).
- (3) Gefüge mit horizontal ausgerichteten Platten (c): Hinweis auf Gefügeschaden, der Austausch (Wasserinfiltration, Luftaustausch) und Wurzelwachstum erschweren kann. z.B. bei langjährig gleicher Bodenbearbeitungstiefe/-methode.
- (4) Kompakte Struktur mit kaum Aggregaten (d): Der Boden ist wenig strukturiert und dichtgelagert. Folge der Absetzung des Bodens v.a. bei geringen Tongehalten und wenig Durchwurzelung; verstärkt durch Zusammendrücken des Bodens bei Befahren/Bearbeitung im feuchten Zustand.



BEURTEILUNGSKRITERIEN (quantitativ):

Es werden 500 g Boden eingewogen und auf einen Siebsatz (optimal: 2 mm, 1 mm und 0.25 mm) geleert und durchgesiebt. Anschließend werden die Mengen in den Sieben (> 2 mm, 1-2 mm, 0,25-2 mm und <0,25 mm) gewogen. Daraus kann man den mittleren Aggregatdurchmesser berechnen.

$$\text{Mittlerer Aggregatdurchmesser} = \sum_{i=1}^n w_i * X_i$$

d.h. auf jedem Sieb wird das Gewicht gewogen und durch das Gesamtgewicht (500 g) dividiert (z.B. auf dem 2 mm Sieb sind 300 g => 300/500 = 0,6). Das ist der jeweilige Wert **w** für jede Siebgröße **i**. Dieser Wert wird dann mit der Maschenweite des Siebes multipliziert (z.B. für das Beispiel: 0,6 x 2 mm). Das ist der Wert **X** für jede Siebgröße **i**. Die Summe aus allen so „gewichteten“ Maschenweiten (Σ) ergibt dann den mittleren Aggregatdurchmesser.

Datenprotokoll:

Eingewogene Gesamtmenge Boden (g): _____

Maschenweite Sieb (X_i , mm)	Gewicht Boden im Sieb (g)	Gewicht im Sieb / Gesamtmenge Boden (w_i , dimensionslos)
Mittlerer Aggregatdurchmesser (mm) (=Summe Spalte drei)		

(6) Bodenstruktur - Aggregatstabilität

Die Aggregatstabilität ist besonders für den Erosionsschutz wichtig, aber auch für Widerstand gegen Verschlammung. Stabile Aggregate werden durch Ca^{++} (Flockung), organische Schleimstoffe, Pilzhypen und Wurzeln erreicht.

Mit verschiedenen Tests (slake test“) kann man visuell die Stabilität der Aggregate im Wasser beurteilen. Das entspricht dem „Tauchsiebverfahren“ (Kemper und Koch-Methode), ist jedoch vor allem für eine qualitative Beurteilung im Feld gedacht. Es können verschiedene „Fabrikate“ für den Tester gebaut werden. Sie bestehen aus einem durchsichtigen Gefäß mit einem Sieb oder durchlöcherter Boden, das in einer (durchsichtigen) Wasserwanne steht. (Im Internet finden sich zahlreiche Umsetzungen unter dem Stichwort: „slake test“).

Man beobachtet, wie schnell ein Bodenkrümel im Wasser zerfällt. Intensiver wird der Zerfallstest, wenn man das Gefäß mit dem Boden auf und ab bewegt. Es empfiehlt sich, den Versuch immer **mit einem Vergleichsboden** durchzuführen!

Urteil:

Stabile auch nach langer Zeit und bei Bewegung des Gefäßes: ++

Stabile, zerfällt erst bei Bewegung: +

Instabil, Zerfall beginnt rasch nach dem Eintauchen ins Wasser: -



(7) Bodenstruktur – Funktion Wasseraufnahmefähigkeit

Dieser Versuch demonstriert die Aufnahmefähigkeit des Bodens für (Stark)regen. Der Versuch lehnt sich an Infiltrationstests mit einem Ring-Infiltrimeter an. Wiederum sollte der Versuch vergleichend durchgeführt werden. Die Wasseraufnahme bei Überstau hängt sehr stark von Makroporen ab (Risse, Regenwurmgänge) und ist recht variabel. Gut zeigen kann man Fahrspurverdichtungen.

MATERIAL:

- (Metall)zylinder
- 5-10 Gefäße für ca. 250 ml Wasser
- Stoppuhr

- Polokalrohr (ca. 25 cm Durchmesser)
- Brilliantblau-Lebensmittelfarbe

BEURTEILUNG QUANTITATIV (Beerkan-Test): Für den Versuch wird ein Metallzylinder (oder ein Polokalrohr) in den Boden gesteckt (ca. 1-2 cm). Dann lehrt man immer wieder mit den Gefäßen Wasser darauf (Achtung: Bodenoberfläche sollte nicht verschlämmt; Menge richtet sich nach Größe des Rohres) und stoppt die Zeit, bis das Wasser versickert ist. Nach 5-10 mal merkt man, dass es immer mehr oder weniger gleich lange dauert (=stetiger Zustand). Dazu misst man noch den Anfangswassergehalt und die Lagerungsdichte (ggf. schätzen).

Datenprotokoll:

Zeit (s)	Wassermenge (ml)

Aus den Werten kann man mit einer Excel-Anwendung die „hydraulischen Bodeneigenschaften“ errechnen. Eine genaue Anleitung (in Englisch) mit Video sowie die Excel-Auswertungstabellen findet man unter: <https://bestsoilhydro.net/>.

Eine etwas mehr dokumentierte Version der Excel-Auswertung kann über den Autor bezogen werden. Hier werden die Werte aus dem Datenprotokoll in die Excel-Auswertung übertragen (**Datenblatt „Values“** – mit Beispielwerten in grau; diese überschreiben) eingegeben. Zusätzlich ist hier einzugeben:

1. Der Durchmesser des Rohres/Zylinders einzugeben, der für den Infiltrationsversuch verwendet wurde.
2. Der Anfangswassergehalt.
3. Die Lagerungsdichte.
4. Werte für die Bodentextur.

Im Tabellenblatt „Values“ sind weitere genauere Instruktionen für die Dateneingabe und die Ausführung des Berechnungsskripts zu finden. Je nach Datenqualität und Menge (für die Infiltration aber auch für die Anzahl an Texturwerten) können verschiedene Berechnungsmethoden verwendet werden. Bei jeder Berechnung werden die Eingaben im Tabellenblatt „Input“ automatisch gelöscht.

Die **Ergebnisse** werden als Abbildungen im Tabellenblatt „Charts“ gezeigt. Die Werte finden sich im Tabellenblatt „Output“. (Für jede Berechnung wird eine Zeile hinzugefügt. Im Tabellenblatt „Input“ sollte daher eine ID eingegeben werden, um das Ergebnis leichter zu finden; „z.B. ORT_DATUM“).

Wichtig für die Standortcharakterisierung sind vor allem die „Gesättigte Wasserleitfähigkeit“ (k_s) und die pflanzenverfügbare Wassermenge (Nutzbare Feldkapazität, n_{FK}).

Ergebnis

Standort	K_s (mm s ⁻¹)	n_{FK} (mm m ⁻¹)

Grobe Orientierungswerte

Bodentyp	K_s^* (mm s ⁻¹)	n_{FK}^{**} (mm m ⁻¹)
Leichter Boden	> 0,04	< 100
Mittlerer Boden	> 0,0004	160-240
Schwerer Boden	> 0,000004	150-200

**Der K_s -Wert schwankt sehr stark, da er von Grobporen (z.B. Regenwurmgingen, Schrumpfrissen) überproportional beeinflusst wird. Daher sind hier grobe Werte für die Untergrenzen angegeben.*

*** Bezieht sich auf eine Profiltiefe von einem Meter.*

BEURTEILUNG QUALITATIV (Bioporen-Färbung): Für die visuelle Beurteilung von Bioporen (Regenwurm- und Wurzelgänge), die aufgrund ihrer Stabilität und Größe für die Regenverdaulichkeit besonders wichtig sind, kann man mit gefärbtem Wasser machen.

Das Wasser wird mit Brillantblau FCF = Blaue Lebensmittelfarbe) mit einer Menge von 3 g pro Liter gefärbt und etwa 10 Liter durch das Polokalrohr in den Boden infiltriert. Danach sticht man den Boden vertikal ab (ca. in der Mitte der Infiltrationsfläche) und kann vorhandene gefärbte Makroporen sehen, die das Wasser rasch in die Tiefe leiten (dort ist es auch vor unproduktiver Verdunstung geschützt!).

Urteil:

Gefärbte Makroporenkanäle sichtbar/nicht sichtbar: +/-



(8) Bodenoberfläche

- Oberfläche verschlämmt und verkrustet (a): Hinweis auf geringe Krümelstabilität, übermäßige mechanische Zerschlagung der Aggregate und fehlenden Schutz durch Erntereste.
- Oberfläche gut gekrümelt und locker (b): Zeigt gute Aggregatstabilität und/oder Schutz der Bodenoberfläche durch Mulch. Regenwurmlosung sichtbar.

HINWEIS: Mulchbedeckung kann durch <https://soilcover.josephinum.at/> genau bestimmt werden.



Urteil:

Krümeliger Oberboden mit Mulchdecke (ca. 30-50 %): ++

Krümeliger Oberboden mit einigen Klumpen und etwas Mulch (ca. 10-30 %): +

Oberboden Verschlämmt und ohne Mulch: -

(9) Durchwurzelung

Zusätzlich zur Beurteilung der Durchwurzelung im Oberboden wird hier (bei Vorliegen einer Profilgrube) die gesamte Profiltiefe auf Durchwurzelung und (Bio)makroporen beurteilt.

DURCHWURZELUNG

Durchwurzelungsmerkmale für einen gut strukturierten fruchtbaren Boden sind:

- Durchwurzelung im Oberboden gleichmäßig und dicht (a).
- Durchwurzelung bis in den Unterboden und ohne abrupte Abnahme.
- Boden haftet an Wurzeloberfläche (= engl. Rhizosheath [Wurzelmantelung]; vor allem bei Gräsern; a).

Durchwurzelungshinweise auf Bodenstrukturprobleme, die die Wurzeleistung hemmen:

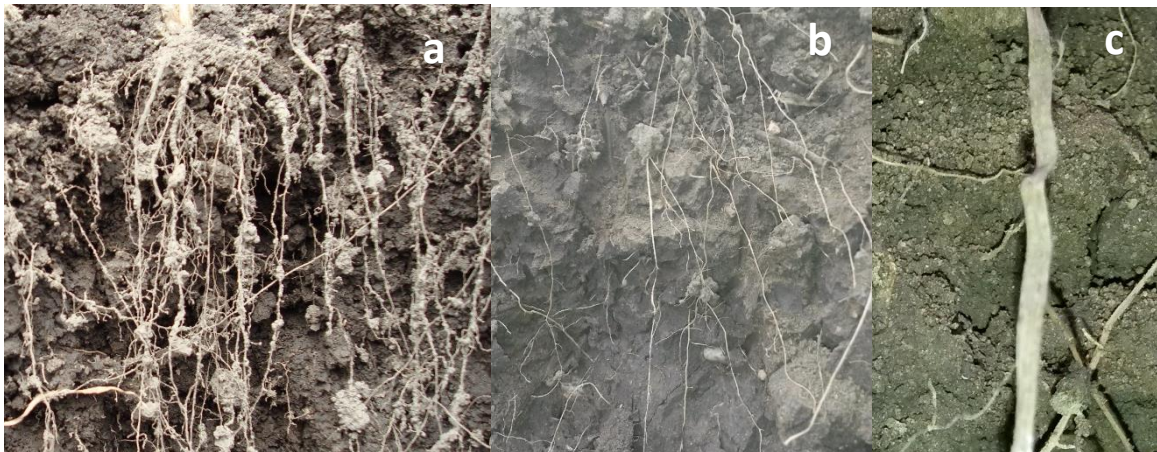
- Geringe Wurzeldichte im Oberboden (b)
- Wurzelachsen sind zusammengequätscht (c)
- Horizontale Abbiegen der Wurzeln und/oder abruptes Ende der Durchwurzelung
- Keine Durchwurzelung im Unterboden.

Urteil:

Dichte Durchwurzelung bis in den Unterboden: ++

Mittlere Durchwurzelung, einzelne Wurzelachsen im Unterboden: +

Gequätschte Wurzeln, abrupter Abbruch, keine Wurzeln im Unterboden: -



(10) VERDICHTUNGEN und MATTEN

VERDICHTUNG

Die Verdichtung wird durch den Widerstand beim Einstechen eines Messers entlang der Profilwand überprüft. Starker Widerstand ist ein Hinweis auf Verdichtung, die das Eindringen der Wurzel erschwert. Der Widerstand ist bei trockenem Boden immer höher und nimmt meist mit der Tiefe zu. Dichte Schichten können aus der Bodenbildung (z.B. Tonanreicherung) als auch von Management-Schadverdichtungen kommen.

Urteil:

Locker (zerfällt bzw. Messer leicht ganz eindrückbar): ++

Verfestigt (Messer nur ca. 1-2 cm eindrückbar): +

Verdichtet (Messer kaum/nur mit Gewalt eindrückbar) : -

MATTEN

Auch nicht verrottetes organisches Material kann den Wurzeldurchtritt erschweren und weist auf unzureichendes Bodenleben hin.

Organische Rückstände sind schlecht verteilt und bilden eine Matte im Boden. Sie sind wenig verrottet (Geruch) und können für das Wurzelwachstum eine Barriere bilden.

Gleichmäßige Verteilung und gute Verrottung der Erntesterete zeigt einen aktiven Boden an, in dem die Mikroorganismen ein geeignetes Milieu (Sauerstoff, Feuchte, pH) vorfinden, um das organische Material abzubauen. Erntesterete an der Bodenoberfläche wirken als schützender Mulch.



Urteil:

Gut verteilte Erntesterete: +

Mattenbildung: -

III. BODENBIOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

Die Bodenbiologie ist die sensibelste Bodeneigenschaft. D.h. sie ist sehr dynamisch (Tages-/ Jahresgang) und reagiert stark auf Management. Sehr variable Eigenschaften müssen bei den unvermeidlich nicht ganz zu standardisierenden Feldtests immer mit Vorsicht interpretiert werden. Die Bodenbiologie ist der Kern eines fruchtbaren Bodens und erfordert daher höchste Aufmerksamkeit.

(11) Humus - Bodenfarbe

Die klassische Beurteilung des Humusgehalts erfolgt über die Bodenfarbe. Dazu braucht es eine Farbskala (Munsell Soil Color Chart). Damit kann der Humusgehalt gemeinsam mit der Textur geschätzt werden. Unten ist dafür ein Schema nach der deutschen Bodenkundlichen Kartieranleitung angeführt.

Ist eine solche Farbskala nicht vorhanden, und in jedem Fall ergänzend, empfiehlt sich der Vergleich der Bodenfarbe (i) über die Tiefe und (ii) mit einem Vergleichsboden vom gleichen Standort (gleiche Textur; z.B. Wiese, Windschutz, Nachbarfeld). Der Wassergehalt muss dabei möglichst ähnlich sein, da dieser die Farbe beeinflusst.

Der Farbvergleich zeigt jedoch zumeist nur Standortunterschiede (oder Tiefenverteilung). Managementunterschiede bei gleichen Grundbodeneigenschaften sind nur in extremen Fällen ablesbar.

Farbe	Value nach MUNSELL COLOR CHART	Humusgehalt in Stufen					
		feuchter Zustand			trockener Zustand		
		Ss	Sl bis Ls	L, U, T	Ss	Sl bis Ls	L, U, T
hellgrau	7	h0	h0	h0	h1	h1	h1
hellgrau	6,5	h0	h0	h0	h1	h1	h1 bis h2
grau	6	h0	h0	h0	h1	h1 bis h2	h2
grau	5,5	h0	h0	h1	h2	h2	h3
grau	5	h1	h1	h1	h2	h3	h3
dunkelgrau	4,5	h1	h1	h1	h3	h4	h4
dunkelgrau	4	h1	h1	h1 bis h2	h3 bis h4	h4 bis h5	h4 bis h5
schwarzgrau	3,5	h1 bis h2	h2	h2 bis h3	h4	h5	h5
schwarzgrau	3	h2 bis h3	h3	h3 bis h4	h5	≥ h6	≥ h6
schwarz	2,5	h3 bis h4	≥ h4	≥ h4	≥ h5		
schwarz	2	≥ h4					

MUNSELL-Farbwert bei Chroma von 3,5 bis 6 Wert um 0,5 und bei Chroma mehr als 6 um 1 erhöhen.



Humusgehaltstabelle (organische Substanz)		
Kurzzeichen	Bezeichnung	in Masse-%
h0	humusfrei	0
h1	sehr schwach humos	< 1
h2	schwach humos	1 bis < 2
h3	mittel humos	2 bis < 4
h4	stark humos	4 bis < 8
h5	sehr stark humos	8 bis < 15
h6	extrem humos, anmoorig	15 bis < 30
h7	organisch, Torf	≥ 30

(12) Labiler Kohlenstoff

Labiler (=leicht umsetzbarer) Kohlenstoff ist das Futter der Bodenlebewesen und ein wichtiger Faktor der Bodenstruktur. Eine vergleichsweise einfache Methode ist die Beobachtung der Entfärbung von Kaliumpermanganat (KMnO_4). Dieses verbrennt (oxidiert) den leicht löslichen Kohlenstoff. Dabei verliert der Stoff (das „Oxidationsmittel“) seine violette Farbe. Die Methode wird im Labor quantitativ durchgeführt, eignet sich jedoch sehr gut, um im Feld vergleichende Betrachtungen durchzuführen.

Eine genaue Beschreibung mit Anweisungen zur Herstellung der Lösung findet sich in: Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B., & Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture, 18(1), 3-17.

Material:

- 0.02 molare KMnO_4 -Lösung
- Verschließbare Messröhrchen (ca. 50 ml)
- 5 g Boden

Der Boden wird in die Messröhrchen gefüllt, mit 20 ml KMnO_4 -Lösung versetzt, einige Zeit (1-2 Minuten) geschüttelt. Dann wartet man, dass sich der Boden absetzt und beobachtet die Entfärbung. Meist sieht man schon nach kurzer Zeit, wie sich die Farbe im Vergleich zur reinen Lösung aufhellt. Je mehr labiler Kohlenstoff, desto schneller passiert dies. Nach längerer Zeit kann sich die Lösung ganz entfärben.



Beispiel: Links gepflügter Boden (kaum Entfärbung), rechts langjährige Direktsaat mit intensiver Begrünung (starke Entfärbung)

Urteil:

Starke Entfärbung: ++

Mittlere Entfärbung: +

Geringe Entfärbung: -

Erweiterungen: Die Analyse kann Siebfraktionen (z.B. Makroaggregate > 2 mm, Mikroaggregate < 0,25 mm Siebung) durchgeführt werden. Dies gibt Hinweise auf die Bedeutung verschiedener Speicherpools. Der Boden kann auch mit kochendem Wasser (1 g Boden : 5 g Wasser) extrahiert werden. Anschließend wird die Suspension gespießt und die gelöste Kohlenstoffteile (z.B. Zucker) in den Heißwasserextrakten der Böden mit wenigen Tropfen KMnO_4 verglichen.

(13) Bodenenzyme (Katalase)

Bodenenzymaktivität ist ein wichtiger Hinweis auf die Tätigkeit der Mikroorganismen im Boden und besonders für natürliche Nährstoffkreisläufe von hoher Bedeutung. Einfach im Feld feststellbar ist die Aktivität des Enzyms Katalase, mit dem Bodenmikroorganismen ihre Zellen vor dem Zellgift Wasserstoffperoxid (H_2O_2) schützen. In zahlreichen Studien wurde eine gute Korrelation verschiedener Enzyme untereinander (z.B. Katalase, Dehydrogenase, Phosphatase, β -Glucosidase) und mit der mikrobiellen Biomasse festgestellt. Der Katalasetest ist daher ein guter Hinweis auf die Aktivität von Bodenmikroorganismen und ihrer Enzyme.

Material: 3 % iges Wasserstoffperoxid

Man tröpfelt das Wasserstoffperoxid auf den Boden. Mit etwas Verzögerung kann man Luftbläschen beobachten, da das H_2O_2 in Wasser (H_2O) und Sauerstoff (O_2) zerlegt wird. Bei Komposten als Vergleichssubstrat kommt es zu einem richtiggehenden Aufschäumen.

Urteil:

Starke Luftblasenbildung: ++

Mittlere Luftblasenbildung: +

Keine Luftblasenbildung: -

(14) Bodenatmung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Bodenatmung zu messen. Im Feld ist eine einfache Möglichkeit die Nutzung eines einfachen Luftqualitäts-Messgerätes. Diese Geräte messen CO₂ Gehalt und Temperatur. Vergleichend kann damit also die CO₂-Entwicklung durch Bodenatmung gemessen werden. Diese ist die Summe der mikrobiellen Atmung und der Wurzelatmung (wenn der Boden ohne Pflanzenwurzeln ist, dann nur mikrobielle Atmung). Die Bodenatmung ist sehr dynamisch und hängt von Temperatur und Feuchte ab. Die Messung sollte daher auch hier „vergleichend“ zwischen zwei Bereichen durchgeführt werden, wo Feuchte und Temperatur möglichst vergleichbar sind.

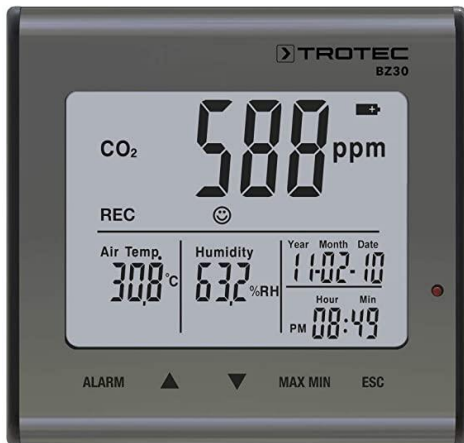
Man legt für den Versuch einfach das Luftqualitäts-Messgerät unter ein gasundurchlässiges Tupper-Geschirr, in dem die Atmung aufgefangen und über die Zeit beobachtet wird. Für die genaue Auswertung kann über den Autor ein Excel-Berechnungsprogramm bezogen werden, das eine Schätzung der mikrobiellen Aktivität und Biomasse ermöglicht.

Der Versuch kann auch mit Boden in dem Tupper-Geschirr durchgeführt werden. Das erleichtert die Standardisierung (Feuchte, Temperatur, nur Bodenatmung).

Material:

- Luftqualitäts-Messgerät
- Tupper-Geschirr

Beispiel eines Luftqualitäts-Messgeräts



Versuch mit Boden im Tupper-Geschirr



Auswertungen des Bodenatmungsversuchs können eine Schätzung der mikrobiellen Biomasse ermöglichen. Dazu steht ein *Excel-Skript* (SIR-Feldmethode) über den Autor zur Verfügung.

Dateneingabe

Zeit (s)	CO₂ (ppm)

ANHANG: ZEIGERPFLANZEN

Zeigerpflanzen sind eine wichtige Unterstützung in der Bodenansprache und zeigen den aktuellen Bodenzustand sehr gut an. Die hier vorliegende Zusammenstellung aus der Literatur ist vorläufig und noch NICHT mit Experten/innen diskutiert. Sie wird in nachfolgenden Versionen noch überarbeitet. Für die Bestimmung sind mobile Apps wie **PlantNet** oder **Flora Incognita** sehr hilfreich.

Verdichtungszeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

Quecke



Jährige Rispe



Strahlenlose Kamille



Gänsefingerkraut



Ackergänsedistel



Kriechender Hahnenfuß



Wasserknöterich



Breitwegerich



Nässezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout, ...

Wilde
Sumpfkresse



Krösenbinse



Echte Kamille



Huflattich



Ackergänsedistel



Zweizahn



Pfefferknöterich



Wasserknöterich



Ackerminze



Feuchtezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout, ...

Gundelrebe



Ackerschachtelhalm



Zaunwinde



Kohlkratzdistel



Sumpfsiest



Blutweiderich



Nährstoffzeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkrut.info, weedscout ...

Brennnessel



Wegmalve



Purpurtaubnessel



Hirsen



Stechapfel



Weißer Gänsefuß



Flughafer



Gundelrebe



Garezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkrut.info, weedscout ...

Schwarzer Nachtschatten



Kleines Knopfkraut



Echter Erdrauch



Vogelmiere



Portulak



Aufrechter Sauerklee



Schwerer Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

Giersch



Ackerglockenblume



Ackerfuchsschwanz



Echte Kamille



Gewöhnliches Hornkraut



Huflattich



Leichter Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

Sicheldolde



Ackersteinsame



Mäuseklee



Wolliges Honiggras



Acker-Hundskamille



Lehm

Klatschmohn



Sonnwendwolfsmilch



Saurer Boden

Mäuseklee



Knäuel



Spörgel



Mastkraut



Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzen-
wissenschaften

Kontakt

Priv. Doz. DI Dr. Gernot BODNER

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Konrad-Lorenz-Straße 24
A-3430 Tulln an der Donau
Tel. + 43 1 47654 95115
gernot.bodner@boku.ac.at
gernot.bodner@bodenleben.at