Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwändig sein – Teil 3: Bodenchemie

HANS HALBWACHS

HALBWACHS, H. (2011): Collecting ecological data in fungal research made simple. – Part 3: Soil chemistry. Z. Mykol. 77/1: 123-140

Key Words: ecology, fungi, soil analytics, acidity, nitrate, carbonate, phosphate, ammonium, magnesium, calcium, potassium, anions, cations, humus, soil fauna

Zusammenfassung: Es werden preisgünstige und einfach zu handhabende Methoden bzw. Geräte zur Untersuchung wichtiger chemischer Bodenfaktoren für die pilzökologische Feldforschung vorgestellt. Die Methoden beziehen sich auf Säuregrad sowie wichtige Anionen und Kationen. Die Zusammenstellung zeigt Möglichkeiten auch für Freizeitmykologen auf, mit wenig aufwändigen Methoden für die mykologisch-ökologische Feldforschung wissenschaftlich relevante Arbeit zu leisten.

Abstract: This article presents easy to apply low-cost methods and devices for the investigation of important soil parameters in the ecological field research on fungi, such as soil acidity plus soil anions and cations. Thus the compilation shows options, also for amateur researchers, how to use less costly methods that contribute to ecological field research in mycology in a scientifically acceptable fashion.

Diese Artikelreihe versucht einen methodischen Brückenschlag zwischen Amateuren und Profis. Sie wendet sich einerseits an die Mykologen, die Pilzkunde nicht als Beruf ausüben bzw. studiert haben und nicht über professionelle Laboreinrichtungen verfügen; andererseits sollte die Serie aber auch für Berufsmykologen von Interesse sein, weil Methoden vorgestellt werden, die trotz ihrer Einfachheit für Forschungszwecke geeignet sind.

Teil 3 befasst sich wie Teil 2 mit dem Pilzsubstrat „Boden" (vergl. CARLILE 2001: 336-340). Dieser Teil behandelt die Erfassung von chemischen Bodenparametern, die wie unten ausgeführt, wesentliche Einflussfaktoren in der Ökologie von Großpilzen sind. Die hier beschriebenen Methoden sind auch für Pilzkundler geeignet, die weder über ein voll ausgerüstetes Labor verfügen, noch größere Summen investieren können.

Böden als Chemielabor

Großpilze ernähren sich als heterotrophe Organismen vor allem von organischen Bestandteilen im Substrat. Diese Bestandteile stammen im Boden aus dem Zerfall von Organismen, z.B. der

Anschrift des Autors: Hans Halbwachs, Danziger Str. 20, D-63916 Amorbach

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Zersetzung von Laub bei Boden besiedelnden Pilzen. Es gibt aber auch eine ganze Reihe anorganischer, mineralischer Bestandteile, die wichtig für diese Pilze sind (DEACON 1997: 93f). Ein Teil des im Boden bzw. im Bodenwasser („Bodenlösung", siehe unten) vorhandenen Chemiecocktails verwerten sie für ihren Nahrungskreislauf, wie z.B. Phosphorverbindungen. Sie stellen das chemische Milieu dar, an das ein Pilz angepasst ist. Beispiele sind der Säuregrad des Bodens oder der Kalkgehalt. Böden agieren also als „ökologische Filter" für Boden besiedelnde Pilze.

Fazit: Ohne die Bodenchemie zu berücksichtigen ist es nicht möglich, die ökologischen Eigenschaften von Bodenpilzen zu charakterisieren. Die im Folgenden beschriebenen Kennwerte und Methoden sollen dazu beitragen, hinreichend genaue Aussagen mit geringstmöglichem Aufwand zu treffen.

Die pilzökologisch wichtigen Bodenkennwerte

Physikalische und morphologische Kenngrößen von Böden sind bereits in Teil 2 der Artikelreihe beschrieben worden (HALBWACHS 2009). Die wesentlichen chemischen Faktoren sind in Tab. 1 beschrieben. Sie beziehen sich auf den Mineralboden (Ah), sofern nicht anders angegeben.

Methoden und Geräte

Die im Weiteren aufgeführten Methoden sind so ausgewählt, dass sie trotz ihrer Einfachheit den Ansprüchen an die ökologischen Fragestellungen in der Mykologie genügen. Weitere Einzelheiten zur Auswahl der Methoden sind in Teil 2 der Artikelreihe beschrieben (HALBWACHS 2010: 89).

Die Erfassung von Zeigerpflanzen liefert wertvolle Zusatzinformationen zu den chemischen Eigenschaften von Böden, kann aber eine chemische Analyse, wie im Folgenden beschrieben, nicht ersetzen. Eine Reihe von Zeigerpflanzen reagieren zwar auf das chemische Milieu (ELLENBERG et al. 1992), weisen aber zumeist eine zu große Toleranz gegenüber den Bodeneigenschaften auf, um eindeutige Ergebnisse zu liefern. Dazu tragen kleinräumige Inhomogenitäten im Boden erheblich bei (s. zu diesem Fragenkomplex auch HALBWACHS 2007: 180).

Auch Bodentiere sind Indikatoren für den Bodenzustand bzw. für einen Standort. So deutet eine Über- oder Unterrepräsentation von Tiergruppen auf eine Störung des Bodens hin. Dafür sind neben physikalischen Einflüssen (z.B. Bodenverdichtung) in der Regel Schadstoffe verantwortlich (GISI 1997: 241ff, 300ff). Die Bodenfauna ist aber nicht nur ein Bodenindikator, sondern greift auch in den Lebenslauf von Boden bewohnenden Pilzen direkt ein. Besonders Springschwänze weiden z.B. Mycelien regelrecht ab (HAMMOND & LAWRENCE 1989: 280). Andere Bodentiere kommen als Vektor zur Verbreitung von Sporen in Frage, z.B. Insekten (CARLILE et al. 2001: 226f, LILLESKOV & BRUNS 2005). Aber die wichtigste Rolle der Bodentiere ist es, abgestorbenes organisches Material (Blätter, Holz, Tierkot, Pilze usw.) zu zerkleinern bzw. zu verdauen (Primär- und Sekundärzersetzer!) und damit das Bodensubstrat aufzubereiten (Vergl. GISI 1997: 234f). Angesichts der vielfältigen Rolle von Bodentieren wäre eine Erfassung der Bodenfauna, je nach ökologischer Fragestellung, durchaus sinnvoll. Die Darstellung der dazu notwendigen Extraktions- bzw. Bestimmungsmethoden würde allerdings den Rahmen des vorliegenden Artikels sprengen. Wer trotzdem Hinweise dazu sucht, kann sich auf www.pilze-amorbach.de/12.html weiter informieren.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Tab. 1: Wesentliche chemische Bodenfaktoren

Die Faktoren	Definition	Beispiele / Typische Werte*	Ökol. Bedeutung
Acidität	Säuregrad (Bodenreaktion), gemessen als pH (negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoff-Ionenkon-zentration) der Bodenlösung (s.u. Abschnitt „Bodenlösung"). Gemessen wird entweder in einer wässrigen oder einer $CaCl_2$- bzw. KCl-haltigen Bodenlösung, je nach Messziel (s. Abschnitt „Acidität")	Von sehr stark sauer (pH >3) bis mäßig alkalisch (pH <9), wobei die Nadelwaldböden meist zwischen pH 3,2 und und 4,0 liegen. Trockenwiesen weisen einen pH zwischen 6,5 und 7,5 auf (ENSSLIN et al 2000: 57).	Pilze wachsen überwiegend in einem pH-Bereich von ca. 3,5 bis 5,5 (vergl. HINTERMAIER-ERHARDT & ZECH 1997: 47). Nur wenige Pilzarten zeigen eine gewisse Toleranz gegenüber extremen pH-Werten. Pilze entwickeln selbst (organische) Säuren, die u.a. eine wichtige Rolle bei der Freisetzung von Calcium aus Bodenmineralien spielen können (vergl. BLUM et al. 2002)
Pufferkapazität	Elastizität von Böden gegenüber Versauerung. Die Pufferung bewirken im wesentlichen Kalke, Silikate und deren Zersetzungsprodukte. Die Puffer- (= Austausch-) kapazität lässt sich durch einen Vergleich zwischen den Aciditäten der Bodenlösung und eines Kaliumchloridextraktes abschätzen.	Die pH-Unterschiede zwischen Bodenlösung und Kaliumchloridextrakt liegen bei hoher Austauschkapazität unter 0,5 und können bei schlecht gepufferten Böden über 1 erreichen (ENSSLIN et al 2000: 56f, HALBWACHS 2008: 161)	Aussage über die Qualität des Substrates, d.h. Pilzen einen stabilen Säuregrad zu bieten
Carbonat	Calcium- und Magnesiumcarbonate sind die Hauptbestandteile von Kalk. Der Carbonatgehalt wird mittels der Reaktion mit Salzsäure halbquantitativ abgeschätzt.	Der Kalkgehalt kann von 0% bis über 50% reichen (AG BODENKUNDE 1982: 94)	Es gibt eine Reihe von Pilzarten, die nur in Gegenwart oder Abwesenheit von Kalken vorkommen (Bestimmungsmerkmal!)
Stickstoff	Der v.a. für saprotrophe Pilze relevante anorganische Bodenstickstoff liegt in der Regel als Nitrat- bzw. Ammoniumionen vor.	Siehe unten bei Parameter „Nitrat" und „Ammonium"	Neben organischen Quellen benötigen die meisten Pilze auch mineralischen Stickstoff (DEACON 1997: 99f.). Zu hohe anorganische Stickstoffanteile können erhebliche Folgen für die Artenvielfalt von Mykorrhizapilzen haben (LILLESKOV et al. 2002)
Nitrat (NO_3^-)	Angegeben als Milligramm Nitrat pro Liter Bodenlösung (mg/l) oder pro Kilogramm Boden (mg/kg), in der Forstwirtschaft auch Kilogramm Stickstoff pro Hektar (kg/ha)	In Waldböden typischerweise 10 bis 200 mg/l, was in etwa 5 bis 100 mg/kg (Lehm-) Boden bzw. 5 bis 100 kg/ha entspricht. Dabei werden Werte ab ca. 30 kg/ha als sehr hoch eingestuft (AK STANDORTKARTIERUNG 2003: 149)	Nitrophile bzw. -tolerante Pilze gedeihen auch bei hohen Nitratgehalten, im Gegensatz zu den meisten Mykorrhizapilzen (ARNOLDS 1991)
Ammonium (NH_4^+)	Angegeben als Milligramm Ammonium pro Liter Bodenlösung (mg/l) oder pro Kilogramm Boden (mg/kg)	In Waldböden typischerweise 0,5 bis 10 mg/l, was in etwa 0,25 bis 5 mg/kg (Lehm-) Boden bzw. 0,25 bis 5 kg/ha entspricht.	Hohe Ammoniumgehalte deuten auf eine gestörte Nitrifikation hin, z.B. bei sauerstoffarmen, staunassen oder stark sauren Böden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 306f, 146)

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Tab. 1: Fortsetzung.

Die Faktoren	Definition	Beispiele / Typische Werte*	Ökol. Bedeutung
Phosphat (PO_4^{3-})	Angegeben als Milligramm Phosphat pro Liter Bodenlösung (mg/l)	In Waldböden typischerweise < 0,05 bis 5 mg/l	Bei Phosphatmangel profitieren Pflanzen von Mykorrhizapilzen, die u.a. aus organischem Material Phosphor abspalten und den Pflanzen zuführen (DEACON 1997:100)
Kalium (K^+)	Jeweils angegeben als Milligramm pro Liter Bodenlösung (mg/l) oder pro Kilogramm Boden (mg/kg)	In Waldböden typischerweise 1 bis 15 mg/l	Diese Kationen sind für saprotrophe und Mykorrhizapilze wichtig (TLAKA et al. 2008, SMITH & READ 2009), zumindest für die Basidiomyceten
Calzium (Ca^{++})		In Waldböden typischerweise 1 bis 40 mg/l	
Magnesium (Mg^{++})		In Waldböden typischerweise 0,1 bis 10 mg/l	
Spurenelemente, Mikronährstoffe („micronutrients")	Meist angegeben als Milligramm pro Kilogramm Boden (mg/kg). Für Pilze sind v.a. wichtig Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Bor (B) (vergl. DÖRFELT & JETSCHKE 2001: 215).	Natürliche Böden (Mittelwerte und Wertebereich): B 40 (5-80) mg/kg Fe 0,02-5 mg/l Co 4 (1-40) mg/kg Cu 10 (2-40) mg/kg Mn 60 (40-1000) mg/kg Mo 1 (0,2-5) mg/kg Ni 13 (3-50) mg/kg (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 329)	Pilze benötigen Spurenelemente, v.a. für ihren Enzymhaushalt bei der Bildung von Co-Enzymen (CARLILE et al. 2001: 155f).
Humus (Details siehe HALBWACHS 2009)	Huminstoffe sind Abbauprodukte der organischen Auflage und verantwortlich für die dunkle Verfärbung im Oberboden.	Die Skala reicht von weniger als 1% bis mehr als 30%.	Huminstoffe bzw. die eingeschlossenen Makro- und Mikronährelemente können wichtige Nährstoffe für Großpilze sein, vor allem für Mykorrhizapilze (AGERER, R., pers. Mitteilung; LINDAHL & BOBERG 2008: 189).

* Die „typischen Werte" sind SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 145,129 und 92 entnommen, sofern nicht anders angegeben.

Die Bodenproben

Aus jeder zu untersuchenden Bodenschicht bzw. Bodenschichten (siehe HALBWACHS 2010: 91) werden etwa 100 g entnommen und bei 60°C getrocknet (Backofen), um mikrobiologische Veränderungsprozesse zu stoppen. Die getrocknete Bodenprobe wird dann mit einem Küchensieb o.ä. (Maschenweite ca. 2 mm) gesiebt. Wenn solche Proben in luftdichten Behältern gelagert, z.B. in Schraubdeckelgläsern, können sie monatelang aufgehoben werden. Will man die chemischen Eigenschaften des Bodens aus einer Probefläche mit üblicherweise 1000 qm ermitteln, genügen nach Erfahrung des Autors meist 5–10 zufallsverteilte Proben zu je 100–200 g aus dem obersten Mineralhorizont („Ah", siehe HALBWACHS 2010: 91) mittels einer Handschaufel gezogen. Bei speziellen Fragestellungen können natürlich auch Proben aus unterschiedlichen Horizonten entnommen werden. Generell sind Stellen zu wählen, die keinem Stammabfluss ausgesetzt sind, weil dort der Säureeintrag bei Niederschlägen am höchsten ist. Es sei denn, man möchte genau dies untersuchen.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Bei sehr homogenen Böden können die Proben noch vor Ort zusammen gemischt und davon eine ausreichende Menge mitgenommen werden. Dies ist aber eher selten der Fall, weil Böden fast immer kleinräumige Unregelmäßigkeiten aufweisen, die von Oberfläche aus kaum erkennbar sind (vergl. HALBWACHS 2010: 89). Deshalb sollte man im Regelfall eine Reihe von Einzelproben aufarbeiten und statistisch auswerten, indem zu den Mittelwerten auch die Schwankungen berechnet werden (Standardabweichungen). Das lässt sich ohne große statistische Vorkenntnisse mit Hilfe eines Tabellenprogramms bewerkstelligen, beispielsweise mit OpenOffice Calc oder Microsoft Excel.

Die Bodenlösung

Die uns interessierenden chemischen Stoffe sind in den allermeisten Fällen im Bodenwasser gelöst und damit v.a. für saprotrophe Pilze nutzbar. Nur ausnahmsweise können Pilze mineralisch gebundene Substanzen direkt verwerten, beispielsweise von felsigem Untergrund (GADD et al. 2006, ROSLING 2003).

Die im Folgenden beschriebenen Analysemethoden basieren auf einer standardisierten Gleichgewichtsbodenlösung, sofern nicht anders angegeben. Sie wird wie folgt hergestellt (verändert nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 153):

- 100 g einer wie oben beschriebenen Bodenprobe abwiegen, in einen Erlenmeyerkolben (500 ml) füllen und mit 200 ml destilliertem oder demineralisiertem Wasser versetzen, mit einem Stopfen verschließen, etwas 1 Minute schütteln und im Kühlschrank über Nacht stehen lassen. Es entsteht eine Aufschwemmung feinstverteilter Stoffe, eine Suspension. Die niedrige Temperatur verhindert chemische Veränderungen durch Mikroorganismen.
- Abschließend die Suspension abgießen und filtrieren (Filterpapier-Typ „langsam" oder „mittelschnell" bzw. „Blau-" oder „Weissband", 12,5 cm Ø). Stattdessen oder zur Vorklärung der Suspension kann eine Zentrifuge Zeit und Mühe sparen. Die festen Bestandteile werden verworfen. Die gewonnene Bodenlösung kann nun sofort für die unten beschriebenen Analysen verwendet werden. Gelagert werden muss die Bodenlösung im Kühlschrank, um etwaige mikrobiologisch verursachte Veränderung der chemischen Zusammensetzung zu minimieren.

Der Vorgang ist in Abbildung 1 nochmals schematisch dargestellt.

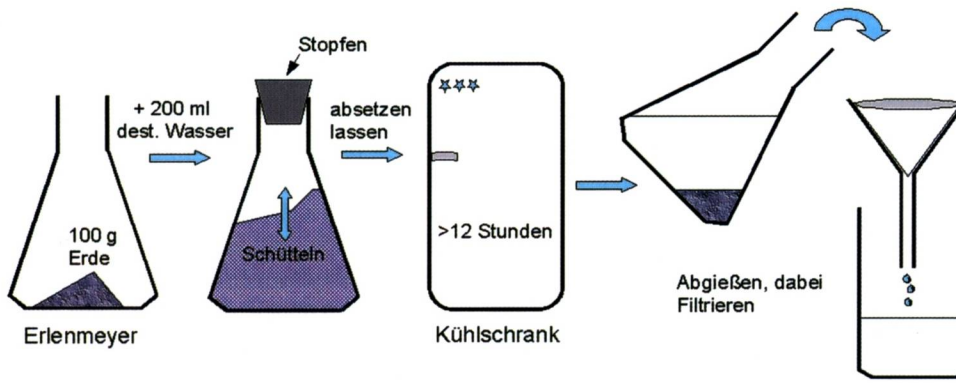

Abb. 1: Herstellung einer Bodenlösung

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Bei moorigen oder anmoorigen Böden kann die Bodenlösung braun eingefärbt sein. Weder Aktivkohle noch Bentonit (wird z.B. zur Klärung von Wein eingesetzt) helfen in der Praxis. Unklar ist außerdem, ob dadurch die Ergebnisse nicht verfälscht werden. Gut funktionieren hingegen „Chlorix" (Bleichmittel aus einer wässrigen Natriumhypochlorit-Lösung) und auch Wasserstoffperoxid. Da sich aber Chlor- bzw. Peroxidüberschüsse ohne erheblichen Aufwand nicht vermeiden lassen, werden die Farbreaktionen der Schnelltests nachhaltig gestört.

Man kann nur versuchen die Braunfärbung durch Verdünnen ausreichend abzuschwächen oder man beauftragt einen Labordienst (siehe Abschnitt „Bodenlabors" im Anhang).

Schnelltests

In der Bodenchemie werden die diversen Salze im Boden bzw. ihre gelöste Form (Anionen und Kationen) normalerweise mit quantitativen Labormethoden bestimmt, also durch Titration, Fotometrie und ähnlich komplexe und kostspielige Verfahren. In der Pilzökologie reichen aber im Regelfall vereinfachte, halbquantitative Methoden aus, die im häuslichen Umfeld ohne Probleme angewendet werden können.

Abweichungen von tatsächlichen Messwerten sind nicht nur das Resultat von Ungenauigkeiten aufgrund der Testkonzepte, sondern auch methodischer Fehlerquellen. Solche Fehler entstehen z.B. beim Abwiegen, Verdünnen oder ungünstiger Beleuchtung beim Einschätzen von Färbungen oder Trübungen. Nach der Erfahrung des Autors ist mit Abweichungen zwischen etwa 5 und 60 % zu rechnen. Meist wird ein zu geringer Gehalt des jeweiligen Ions gemessen.

In der deskriptiven mykologischen Feldforschung kommt es aber überwiegend auf das Erfassen von Größenordnungen der chemischen Bodenparameter an und nicht auf genaue Werte. Deshalb genügt es normalerweise, die Messungen mit 3 getrennten Proben zu wiederholen. Zeigen sich dabei auffällige Schwankungen oder geht das Forschungsziel über eine allgemeine Beschreibung des Bodens hinaus, sind 10 bis 15 Wiederholungen angezeigt. Oder sogar mehr, wenn der Standort erkennbare Bodenheterogenitäten aufweist.

Zu den geeigneten Tests zählen vor allem die Schnelltests, die von Chemiefirmen (z.B. Merckoquant) oder von der Zubehörindustrie für Aquaristik (z.B. JBL) angeboten werden. Sie basieren entweder auf der Verwendung spezieller Indikatorstäbchen oder Reagenzien, die eine Bodenlösung abhängig von der Konzentration des zu bestimmenden Ions einfärben und mittels einer Farbvergleichsskala arbeiten (Colorimetrie, Beispiel s. Abbildung 2).

Colorimetrische Methoden sind generell vorzuziehen. Meist ist nämlich der Farbvergleich so gestaltet, dass Einfärbungen oder Trübungen der zu analysierenden Lösungen das Ergebnis kaum verfälschen können.

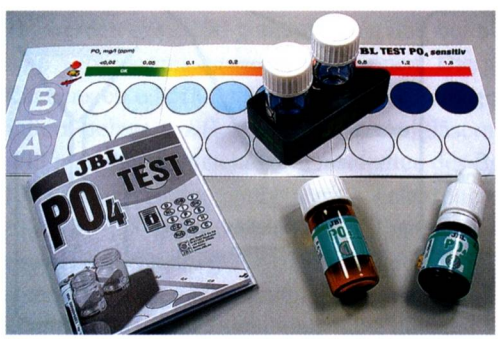

Abb. 2: Typischer Schnelltest für die Aquaristik

Die handelsüblichen Schnelltests sind nach Erfahrung des Autors über ein Jahr haltbar. Um sicher zu gehen, sollte man ältere Test-Kits mit einer Testlösung überprüfen. Testlösungen sind über den Handel erhältlich, können aber auch selbst angefertigt werden. Kationen-Testlösungen werden aus den entsprechenden Chlorsalzen (z.B. Kaliumchlorid), die für Anionen

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

aus den Kalium- oder Natriumsalzen (z.B. Natriumnitrat) und Wasser hergestellt. Eine genauere Anleitung findet sich im Anhang unter „Kalibrierlösung".

Der Einsatz ist einfach und in den Packzetteln genau beschrieben. Deshalb wird hier auf eingehende Gebrauchsanleitungen der angegebenen Schnelltests verzichtet.

Die ermittelten Werte geben die Konzentration in der Bodenlösung an, also den Substanzgehalt pro Liter. Der Substanzgehalt pro Kilogramm Boden ist dann wichtig, wenn es um die Bewertung anhand einschlägiger Literatur geht, also z.B. ob ein Boden wenig, mäßig oder stark mit Nitrat belastet ist. Der Substanzgehalt errechnet sich aus Konzentration (K) / Wassermenge der Bodensuspension (ml) × 1000 ml. Bei einer Bodenlösung aus 100 g Boden und 200 ml Wasser ergibt sich demnach: Substanzgehalt (mg/kg) = K × 1000 / 200.

Ein Beispiel: In der Bodenlösung wurden 15 mg/l gemessen. Der Substanzgehalt [S] beträgt S = 15 × 1000 / 200 = 75 mg/kg Boden.

Acidität und Pufferkapazität

Der Säuregrad eines Bodens, auch Bodenreaktion genannt, wird mittels Indikatorstäbchen (halbquantitativ) oder einem Taschen-pH-Meter (quantitativ) ermittelt. Je nach dem wie die Bodenlösung aufbereitet wird, ergeben sich unterschiedliche pH-Werte mit unterschiedlicher Bedeutung (s. ENSSLIN et al. 2000: 55-59):

1. Bodenlösung ohne Zusätze: „Aktuelle Acidität", entspricht dem Säuregrad nach ausgiebigen Regenfällen.
2. Bodenlösung mit Calciumchlorid ($CaCl_2$): „$CaCl_2$-Wert", entspricht dem Säuregrad eines normalfeuchten Bodens. Er ist niedriger als der Wert für die aktuelle Acidität.
3. Bodenlösung mit Kaliumchlorid (KCl): „Potentielle Acidität", entspricht dem Säuregrades eines trockenen Bodens. Er ist im allgemeinen niedriger als der $CaCl_2$-Wert.

Die Pufferkapazität des Bodens lässt sich aus den Unterschieden zwischen den Aciditätsformen einschätzen (Siehe „Auswertung").

Gerätschaften und Material

(s.a. „Bezugsquellen und Preise" im Anhang)

- Indikatorstäbchen (pH 4–7 reicht meist, Universal-Indikatorstäbchen, die den gesamten Bereich von 0–14 abdecken sind nur für Orientierungsmessungen geeignet). Ebenfalls geeignet sind Test-Kits für die Aquaristik (s.a. Abschnitt „Schnelltests").
- alternativ ein Taschen-pH-Meter mit einer Genauigkeit von ± 0,1 pH. Eichsubstanzen mit pH 4, 6,86 und 9,18 (siehe Abbildung 3).
- Laborgeräte: Erlenmeyerkolben weithals 250 ml; Messzylinder 50, 100 u. 250 ml; Bechergläser 50 oder 100 ml; Trichter oder/und Zentrifuge;

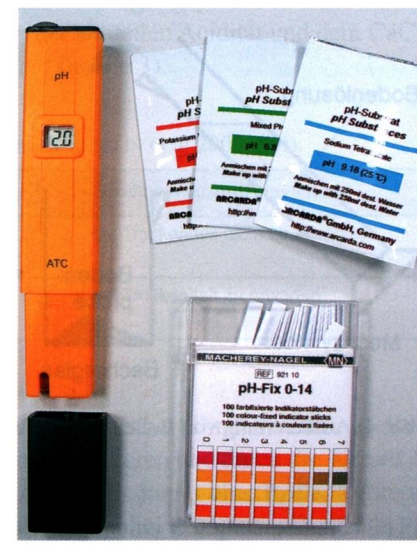

Abb. 3: Taschen-pH-Meter, Eichsubstanzen, Indikatorstäbchen

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Filterpapier wie im Abschnitt „Bodenlösung“ angegeben, aber mit 9 cm Ø; Spatel zum Zufügen von Substanzen; Glasstäbchen zum Umrühren

- Taschenwaage mit min. ± 0,05 g Genauigkeit
- Chemikalien: Destilliertes oder entionisiertes bzw. demineralisiertes Wasser („Batteriewasser“!), im Text einfach „Wasser“ genannt; Calciumchlorid × 2 H_2O (als Kristallwasser gebunden!); Kaliumchlorid.

Vorgehensweise

Es werden drei verschiedenen Bodenlösungen hergestellt:

1. Bodengleichgewichtslösung mit Wasser
2. mit einer Lösung von 0,15 g (eigentlich 147 mg) $CaCl_2$ in 200 ml Wasser. Für die Spezialisten: entspricht einer 5 mM Lösung.
3. mit einer Lösung von 14,9 g KCl in 200 ml Wasser. Für die Spezialisten: entspricht einer 1 M Lösung.

Drei wie oben beschriebene Bodenproben von je10 g mit jeweils 25 ml der drei Flüssigkeiten versetzen, 3 Minuten gut durchrühren und 10 Minuten absetzen lassen. Dann jeweils einen gefalteten Rundfilter von oben in die suspension schieben und warten, bis sich ausreichend Flüssigkeit im Inneren(!) des Filters gesammelt hat (s.a. Abbildung 4). Den pH-Wert nun mittels Teststäbchen oder pH-Meter ermitteln.

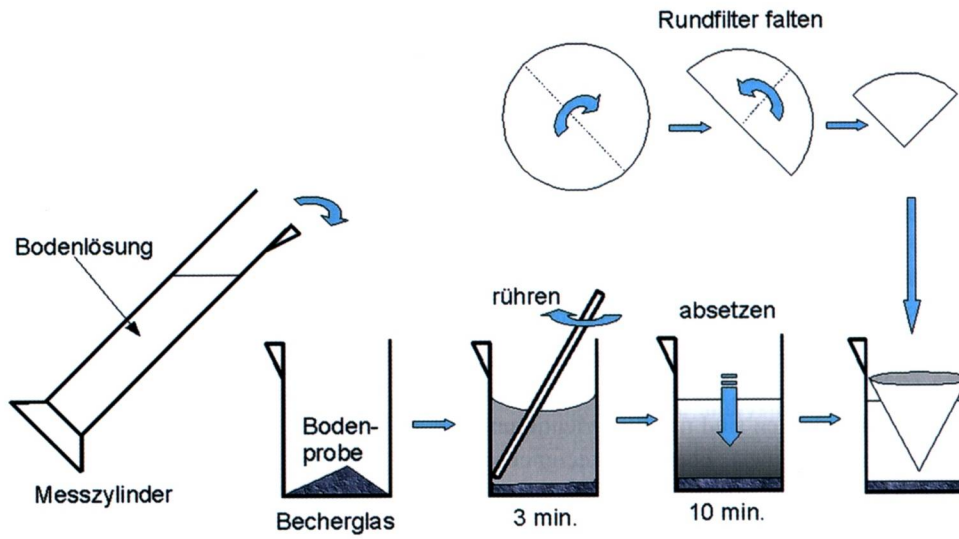

Abb. 4: Aufbereitung von Bodenproben für die Ermittlung der Acidität

Für die Messung mit einem pH-Meter muss dessen unterer Teil vollständig eingetaucht sein. Deshalb kann es je nach Bauart erforderlich sein, die Bodeneinwaagen und die Mengen der drei Lösungen zu verdoppeln. Zu beachten ist auch, dass Standardlösungen für pH-Meter

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

immer neu kalibriert werden müssen. Dies ist in der Betriebsanleitung beschrieben. Die Lösungen werden aus Puffersalz und Wasser gemäß Anweisung auf den Beuteln angesetzt. Luftdicht verschlossen halten die Eichsubstanzen mehrere Monate.

Leichte Trübungen der Lösung im Filterpapiertrichter beeinflussen die Analyse nicht.

Fehlerquellen

- Bodenprobe nicht repräsentativ oder aus der falschen Bodenschicht
- Bodenproben nur luftgetrocknet: Dies kann zur Verfälschung durch Mikroorganismen führen
- pH-Meter nicht am gleichen Tag vor der Messung kalibriert
- Indikatorstäbchen zu alt oder nicht luftdicht im Kühlschrank gelagert.

Auswertung

Für die Charakterisierung der Bodenreaktion eines Boden reicht es aus, den (durchschnittlichen) pH des $CaCl_2$-Werts anzugeben. Es kann aber oftmals sinnvoll sein, den Säuregrad auch zu bewerten. Dazu ist Tabelle 2 geeignet.

Tab. 2: Bewertung von Säuregraden (nach AK STANDORTKARTIERUNG 2003: 146).

pH	<3	3-4	4-5	5-6	6-6,5	6,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10	10-11	>11
	äußerst	sehr stark	stark	mittel	schwach	sehr schwach	sehr schwach	schwach	mittel	stark	sehr stark	äußerst
	< pH 7 = sauer						> pH 7 = alkalisch					

Um eine Aussage über die Pufferkapazität und das Schädigungspotential eines Bodens treffen zu können, werden die Unterschiede zwischen der aktuellen Acidität und dem $CaCl_2$-Wert (ΔpH_{Salz}) bzw. die potentielle Acidität betrachtet (Tabelle 3).

Tab. 3: Vergleich der Aciditätsformen (zusammengefasst nach ENSSLIN et al 2000: 56f).

Pufferkapazität	**ΔpH_{Salz}**	**pH_{KCl}**	**Schädigung von Feinwurzeln**
gesunder humushaltiger Boden, mittlere bis gute Puffereigenschaften	≤ 0,5	> 3	bei Trockenheit nicht zu erwarten
säuregeschädigter Boden, geringe Puffereigenschaften	> 0,5	≤ 3	bei Trockenheit zu erwarten

Achtung: Soll der Durchschnitt mehrerer pH-Messungen berechnet werden, so ist es streng genommen nicht zulässig, einfach die pH-Werte zu addieren und durch die Anzahl der Werte zu dividieren. Das spielt zwar bei Böden in der Praxis kaum eine Rolle. Sollte die Schwankungsbreite der Werte aber > 1 sein oder das Messziel bei der Verwendung von Präzisions-pH-Metern höchste Genauigkeit sein, muss man mathematisch korrekt vorgehen. Siehe dazu im Anhang den Abschnitt „Mittelung von pH-Werten".

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Der Kalkgehalt

Für die Charakterisierung des Carbonatgehaltes eines Bodens reicht der sog. Salzsäuretest völlig aus. Er beruht darauf, dass Säuren mit Kalk unter Entwicklung von Kohlensäure reagieren. Dies kann man hören und sehen. Der Test ist überraschend empfindlich, auch geringe Gehalte können damit nachgewiesen werden.

Gerätschaften und Material

- Uhrglas, kleiner Teller o.ä.
- Spatel
- evtl. kleiner Mörser zum Zerreiben der Bodenprobe
- 50 ml 10%-ige Salzsäure in Tropffläschchen.

Vorgehensweise

1. Eine Spatelspitze der trockenen (!) und feinkörnigen Bodenprobe in das Uhrglas häufeln
2. einen Tropfen der Säure vorsichtig auf die Probe aufbringen
3. Uhrglas ans Ohr halten und auf Knister- oder Sprudelgeräusche achten, dann Bläschenbildung beobachten.

Auswertung

Mit Hilfe der Tabelle 4 ist der Kalkgehalt einfach zu ermitteln.

Tab. 4: Bewertung des Salzsäuretests auf Kalk (verkürzt nach AG BODENKUNDE 1982: 94).

Beobachtung	Kalkgehalt	Bezeichnung
Keine Geräusche, keine Bläschenbildung sichtbar	< 0,5 %	sehr carbonatarm
Schwaches kurzes Knistern*, Bläschenbildung gerade noch sichtbar	0,5–2 %	carbonatarm
deutliches kurzes Aufbrausen, Bläschen deutlich sichtbar	2–10 %	carbonathaltig
starkes und anhaltendes Brausen, Schaumbildung	> 10 %	carbonatreich

* schwache Geräusche können auch durch Luftverdrängung aus den Poren entstehen. Deshalb Probe gut zerreiben.

Die Tabelle gilt für bindige Böden, also formstabile Böden wie z.B. Lehm. Nichtbindige Böden, wie z.B. Sandböden, reagieren empfindlicher auf den Test. Darauf sollte bei der Beschreibung eines Bodens hingewiesen werden. Eine noch genauere Differenzierung des Carbonatgehalts erlaubt eine Tabelle in AG BODENKUNDE (1982: 94).

Fehlerquellen

- Bodenprobe zu grobkrümelig
- zu hohe Umweltgeräusche
- Luftbläschen.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Anionen und Kationen in der Bodenlösung

Da die Analyyse der in Tabelle 1 aufgeführten Ionen ausnahmslos mit Hilfe von Schnelltests empfohlen wird, sind die Vorgehensweisen, Auswertungen und Fehlerquellen in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

Wenn nur einzelne (Misch-) Proben untersucht werden sollen, kann es sich lohnen, einen Labordienst in Anspruch zu nehmen (siehe Abschnitt „Bodenlabors" im Anhang).

Gerätschaften und Material

Die Testkits enthalten alles, was zur Analyse erforderlich ist. Allerdings ist zu empfehlen 5- oder 10-ml Messpipetten zu verwenden, statt der mitgelieferten Plastikspritzen.

Vorgehensweise

Die Bodengleichgewichtslösung kann ohne weitere Behandlung gemäß Bedienungsanleitung der Test-Kits gemäß Tabelle 5 benutzt werden.

Tab. 5: Testkits für die in der Bodenlösung zu bestimmenden Ionen.

Ion	Hersteller
NO_3^-	Merckoquant, 5-500 mg/l
PO_4^{3+}	JBL, 0,1-5 mg/l
K^+	A+H, 1-20 mg/l
Mg^{++}	A+H, 2-15 mg/l
Ca^{++}	JBL, 20-500 mg/l
NH_4^+	JBL, 0,1-5 mg/l

Unter „Hersteller" sind die vom Autor getesteten Kits und der jeweilige Messbereich angegeben. Schlüssel (s.a. „Bezugsquellen und Preise" im Anhang):

- JBL: JBL GmbH & Co. KG
- A+H: ARGE Ing. Anton Gabriel und Nicole L. Halanek.

Eine Ausnahme stellt die Bestimmung des Ammoniumions dar, da die Reaktion sehr empfindlich ist. Wenn 5 mg/l angezeigt werden, muss auf das Doppelte, nötigenfalls sogar noch öfter verdünnt und erneut getestet werden.

Auswertung

Die abgelesenen Werte können ohne weitere Bearbeitung bei der Beschreibung eines Bodens angegeben werden. Auch hier wieder die Ausnahme: Bei der Bestimmung des Ammoniumions muss das abgelesene Ergebnis mit der Verdünnungsstufe multipliziert werden.

Die Interpretation der gefundenen Konzentrationen kann mit Hilfe der Tabelle 1 erfolgen, in der typische Werte angegeben sind. Für weitergehende Beurteilungen sind Fachbücher erforderlich, in denen die vielfältigen Wechselwirkungen anorganischer und organischer Stoffe im Boden beschrieben sind, z.B. in SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2002).

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Fehlerquellen

- In den Gebrauchsanweisungen der Tests ist ggf. aufgeführt, wann mit Messstörungen zu rechnen ist. In der Regel sind die Tests aber recht robust
- Bodenlösung zu trüb oder zu dunkel
- Bodenlösung und Reagenzien zu kalt oder zu warm. Es ist Raumtemperatur anzustreben.

Spurenelemente

In den meisten natürlichen Böden sind diese Nährstoffe enthalten, so dass sich eine Analyse nur dann lohnt, wenn es sich um Sonderstandorte handelt. Dazu können beispielsweise Sande (Dünen!) zählen oder auch Schlacken aus der Verhüttung von Erzen.

Die Bestimmung von Spurenelementen erfordert einen hohen Aufwand an Reagenzien und Analyseapparaten. Deshalb bieten sich Bodenlabors an, die solche Untersuchungen für die Land- und Forstwirtschaft oder Gartenbau durchführen. Siehe dazu im Anhang den Abschnitt „Bodenlabors".

Ausblick

Die dargestellten Analysemethoden sind zwar einfach, jedoch haben Amateure meist keine Laborpraxis, so dass bei der Anwendung Fragen zu den Beschreibungen auftauchen könnten. In solchen Fällen können Sie sich gerne mit dem Autor per E-Mail über seine Website in Verbindung setzen: www.pilze-amorbach.de. Dort sind ggf. ergänzende Informationen zu finden bzw. Downloads der Erfassungsbögen (Feldmethoden < Downloads). Hinweise zu vertiefender Literatur finden sich im Abschnitt „Literaturempfehlungen" weiter unten.

Alle beschriebenen Methoden sind vom Autor im Zuge seiner Forschungstätigkeit in der Praxis erfolgreich erprobt worden. Dennoch wird eine breitere praktische Anwendung der beschriebenen Vorgehensweisen zeigen, ob und in welcher Weise Methoden angepasst werden müssen. Deshalb bittet der Autor um Rückmeldungen zu auftretenden Problemen und möglichen Alternativen bzw. Modifikationen.

Danksagung

Mein Dank gilt wie immer und zuallererst meiner Frau Christine für ihre unendliche Geduld. aber auch Dr. Claus Bässler in Grafenau für die kritische und damit mühevolle Durchsicht der Entwürfe von Teil 2 und 3, Prof. Reinhard Agerer für seine wertvolle Anregungen und Prof. h.c. Wolfgang Zwirner in Amorbach für die Überprüfung der Lesbarkeit des Textes.

Zitierte Literatur

ARBEITSGRUPPE (AG) BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

ARBEITSKREIS (AK) STANDORTKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortsaufnahme. – IHW-Verlag, Eching.

ARNOLDS, E. (1991): Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. – Agriculture, Ecosystems and Environment **35**: 209-244.

BLUM, J.D., A. KLAUE, C.A. NEZAT, C.T. DRISCOLL, C.E. JOHNSON, T.G. SICCAMA, C. EAGAR, T.J. FAHEYK & G.E. LIKENS (2002): Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. – Nature **417**: 729-731.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

DEACON, J.W. (1997): Modern Mycology. – Blackwell Science.

DÖRFELT, H. & G. JETSCHKE (2001): Wörterbuch der Mycologie. – Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.

ENSSLIN, W., KRAHN, R. & S. SKUPIN (2000): Böden untersuchen. – Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

GADD, G.M., E.P. BURFORD, M. FOMINA & K. MELVILLE (2007): Mineral transformations and biogeochemical cycles: a geomycological perspective. In GADD, G.M., S.C. WATKINSON & P.S. DYER. – Cambridge University Press, 77-111.

GISI, U., R. SCHENKER, R. SCHULIN, F.X. STADELMANN & H. STICHER (1997): Bodenökologie. – G. Thieme Verlag, Stuttgart.

HALBWACHS, H. (2007): Fruchtkörperbildung bei saprotrophen und Mykorrhizapilzen: Ein Beitrag zur Ökologie von Großpilzen in einem Kiefernforst der Rhein-Main-Ebene. – Zeitschrift für Mykologie **73**(2): 145-202.

HALBWACHS, H. (2010): Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwändig sein – Teil 2: Morphologische und physikalische Bodeneigenschaften. – Zeitschrift für Mykologie **76**(1): 88-105.

HAMMOND, P.M. & J.F. LAWRENCE (1989): Mycophagy in Insects: a Summary. In WILDING, N., N.M. COLLINS, P.M. HAMMOND & J.F. WEBBER: Insect-Fungus Interaction, 14th Symposium of the Royal Entomological Society of London and the British Mycological Society 1987. – Academic Press London, 275-324.

HINERMAIER-ERHARDT, G. & W. ZECH (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. – F. Enke Verlag, Stuttgart.

JANETSCHEK, H. (Hrsg.) (1982): Ökologische Feldmethoden. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

LILLESKOV, E.A. & T.D. BRUNS (2005): Spore dispersal of a resupinate ectomycorrhizal fungus, *Tomentella sublilacina*, via soil food webs. – Mycologia **97**(4): 762–769.

LILLESKOV, E.A., T.J. FAHEY, T.R. HORTON & G.M. LOVETT (2002): Belowground ectomycorrhizal fungal community change over a nitrogen deposition gradient in Alaska. – Ecology, **83**(1): 104–115.

LINDAHL, B. & J. BOBERG (2008): Distribution and Function of Litter Basidiomycetes in Coniferous Forests. In BODDY, L., J. C. FRANKLAND & P. VANWEST: Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes. – Elsevier, 183-196.

SMITH, S.E. & D. READ (2009): Mycorrhizal Symbiosis (3rd Edition). – Elsevier Academic Press London.

ROSLING, A. (2003): Responses of Ectomycorrhizal Fungi to Mineral Substrates, doctoral thesis at the Swedish University of Agricultural Sciences. – Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Uppsala 296.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde (15. Auflage). – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.

TLAKA, M., D. BEBBER, P.R. DARRAH & S.C. WATKINSON (2008): Mycelial Networks: Nutrient Uptake, Translocation and Role in Ecosystems. In BODDY, L., J. C. FRANKLAND & P. VANWEST: Ecology of saprotrophic basidiomycetes. – Elsevier / Academic Press, London, 45.

Literaturempfehlungen

ARBEITSGRUPPE (AG) BODENKUNDE (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

ARBEITSKREIS (AK) STANDORTKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortsaufnahme. – IHW-Verlag, Eching.

ENSSLIN, W., KRAHN, R. & S. SKUPIN (2000): Böden untersuchen. – Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2010): Lehrbuch der Bodenkunde (16. Auflage). – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

ANHANG

Das Verdünnen von Lösungen

Häufig müssen handelsübliche oder Stammlösungen für die hier beschriebenen Zwecke verdünnt werden. Die Mischungsverhältnisse in Volumenanteilen lassen sich auf einfache Weise über Verhältnisrechnung ermitteln:

Ausgangskonzentration (A) verhält sich zu Lösemittel (L) wie Zielkonzentration (Z) zur Summe von Ausgangskonzentration und Zielkonzentration – als Formel:

$Z : (A + Z) = A : L$

Beispiel: Eine Salzsäure mit 25 % (Ausgangskonzentration) soll auf 10 % (Zielkonzentration) verdünnt werden. Demnach müssen 10 Teile der 25 %igen Säure mit 25 + 10 = 35 Teilen Lösemittel, also Wasser verdünnt werden.

Achtung: Konzentrierte Säuren oder Laugen werden beim Verdünnen heiß und können spritzen. Deshalb immer die zu verdünnende Säure oder Lauge zum Mischen unter Rühren langsam in die berechnete Menge Wasser gießen, und nie umgekehrt! Dabei Schutzbrille tragen!

Mittelung von pH-Werten

Der pH ist definiert als der negative Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. So bedeutet z.B. pH 4 eine Wasserstoffionenkonzentration von 10^{-4} Mol/Liter. Aus mathematischer Sicht ist es nicht zulässig nur die Exponenten zu mitteln. Richtig ist dagegen:

Durchschnittlicher pH = -log ($\sum$H-Ionenkonzentrationen / n)

Beispiel (siehe Tabelle 6)

Tab. 6: Vergleich von Methoden zur Ermittlung eines pH-Mittelwerts.

pH-Werte	H-Ionenkonz.	
4	10000	
3,8	6309,57	
3,2	1584,89	
4,2	15848,93	
2,9	794,33	
3	1000	
3,8	6309,57	
24,9	41847,3	**Summen**
3,56	5978,19	**Mittelwerte**
	3,78	**-log**
falsch	**richtig**	

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Immerhin erhält man einen pH-Wert in diesem Beispiel, der um 0,32 zu klein ist, wenn unkorrekt gerechnet wird.

Bodenlabors

Es gibt eine Reihe von Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten der Bundesländer (LUFAs, s. www.vdlufa.de/content/view/56/84/) und privatwirtschaftliche Labors, die Bodenanalysen auch für Privatkunden durchführen. Die Preise liegen zwischen 4 und 10 Euro pro Parameter, im Mittel bei 7 Euro. Es gibt aber auch Kombi-Analysen mit den wichtigsten Kennwerten für 15 bis 30 Euro.

Hier einige Beispiele für Bodenlabors:

LUFA Nord-West (Niedersachsen): www.lufa-nord-west.de/lufa_9.php

Labors der LUFA Bayern: www.lfl.bayern.de/labor_aktuell/artikel/12398/linkurl_0_0_0_6.pdf

Reblu GmbH: www.schnelltest-heimtest.de/umwelttest/bodenanalyse/index.php

DVF-Labor (Österreich): http://labor.agriaaustria.at/index.php?id=163

Weitere Untersuchungsstellen finden sich im Internet und im Branchenverzeichnis der Bundespost.

Bezugsquellen und Preise

Als Bezugsquellen (s. Tabelle 7, S. 138) werden vorzugsweise solche genannt, die nicht im wissenschaftlichen Fachhandel angesiedelt sind und somit auch von Freizeitmykologen einfach zu nutzen sind. Es werden nur Materialien aufgeführt, die nicht haushaltsüblich sind bzw. nicht zur Standardausrüstung von Mykologen gehören. Die erwähnten Markennamen sind als Beispiele zu verstehen.

Kalibrierlösungen

Kalibrierlösungen enthalten definierte Mengen der in der Bodenanalyse zu bestimmenden Substanzen. Sie dienen zur Überprüfung der Reagenzien bzw. Gerätschaften, die für die Analysen eingesetzt werden. Solche Prüfungen können dann sinnvoll sein, wenn Reagenzien älter als ein Jahr sind, wenn ungewöhnliche Ionenkonzentrationen im Boden ermittelt werden oder generell, wenn Zweifel an der Richtigkeit von Ergebnissen auftauchen. Wer ganz sicher gehen möchte, kann natürlich begleitend zu jeder Bodenanalyse zusätzlich mit Kalibrierlösungen arbeiten.

Es sind zwei getrennte Lösungen erforderlich. Die eine – Lösung A – enthält Nitrat, Ammonium, Kalium, Calcium und Magnesium, die andere – Lösung B – nur Phosphat. Denn Phosphat bildet mit Calcium- und Magnesiumionen unlösliche Salze, nämlich Calcium- und Magnesiumphosphat ($Ca_3(PO_4)_2$ bzw. $Mg_3(PO_4)_2$).

Die benötigten Substanzmengen sind sehr gering und können deshalb mit preisgünstigen Waagen mit einer maximalen Auflösung von ± 0,05 g nicht ausreichend genau abgewogen werden. Man stellt deshalb zunächst konzentriertere Stammlösungen her, die dann auf die richtige Konzentration verdünnt werden müssen.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Tab. 7: Bezugsquellen und Preise.

Gerätschaft / Material	Bezugsquelle	Preis (€)
Metallringe zur Probenahme • aufgeschnittene Konservendosen • Speisen- oder Servierringe	Haushaltswaren, Kochutensilien, Google Shopping	ca. 4
Destilliertes oder entionisiertes bzw. demineralisiertes Wasser	„Batteriewasser" aus Baumärkten	ca. 1 pro Liter
Erlenmeyerkolben, Bechergläser, Trichter, Messzylinder, Filterpapier, Spatel, Glasstäbe	E-Bay, Google Shopping, Winzerbedarf	1–6 pro Teil
Schnelltests • für die Aquaristik (JBL, Tetra) • Umwelttechnik • Testkoffer Boden • wissenschaftlich (Merck, Macherey & Nagel)	• Zoofachgeschäfte, E-Bay, Google Shopping • ARGE AG-NH (www.wasserpantscher.at/) • Fa. LMS: www.lms.de/wbc.php?sid=1014692920543 & tpl=produktdetail.html&pid=104706&rid=10673&recno=2 • Google Shopping, www.vlm-laborshop.de/mobile_analytik_merckoquant_teststaebchen,rid,75,page,2,kl.html	• je ca. 10 • 5–10 • ca. 120 • je 30–70
Testsubstanzen für Schnellteste (s. Abschnitt „Schnelltests"), generell Chemikalien	Apotheke, Fa. Windaus (www.windaus.de) Hinweis: Da nur sehr geringe Mengen benötigt werden, sind Schulen evtl. bereit auszuhelfen, wenn die Forschungsergebnisse unterrichtsrelevant sind	je 5–12
Aktivkohle100 g	Apotheke, Aquaristik, Internet	1–5
Indikatorstäbchen pH	Apotheke, Internet	7–10
Taschen-pH-Meter	Conrad Electronic (www1.conrad.de), Internet	20–60
pH-Standardlösungen	E-Bay („pH-Pufferlösungen"), Aquaristik	1–6
Taschenwaage	Conrad Electronic (www1.conrad.de), Internet	20–75
Salzsäure 25 %, Ammoniak 10 % je 1 l zum Verdünnen	Baumärkte (für Reinigungszwecke)	ca. 5
Schutzbrille aus Kunststoff	Baumärkte	5–10

Kalibrierlösung A:

Abgewogen werden

9,75 g Kaliumnitrat (KNO_3)
1,35 g Ammoniumchlorid (NH_4Cl)
22,0 g Calciumchlorid-Dihydrat ($CaCl_2 \times 2H_2O$)
20,2 g Magnesiumchlorid-Hexahydrat ($MgCl_2 \times 6H_2O$)

und in einem 500 ml Erlenmeyerkolben mit 300 ml destilliertem oder entionisiertem bzw. demineralisiertem Wasser unter Schütteln oder Rühren gelöst. Die Stammlösung muss zum Gebrauch 1000fach verdünnt werden, ggf. in zwei Stufen. Dazu sind 10 ml auf 1 l verdünnen, dann von dieser neuen Lösung 10 ml auf 100 ml.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Die fertige Kalibrierlösung enthält:

20 mg/l Nitrat
3 mg/l Ammonium
12,6 mg/l Kalium
20 mg/l Calcium
8 mg/l Magnesium

Kalibrierlösung B:

Abgewogen werden 4,3 g Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4) und in einem 500 ml Erlenmeyerkolben mit 300 ml destilliertem oder entionisiertem bzw. demineralisiertem Wasser unter Schütteln oder Rühren gelöst. Die Stammlösung muss zum Gebrauch in zwei Stufen 10.000fach verdünnt werden. Dazu sind 10 ml auf 1 l verdünnen, dann von dieser neuen Lösung 10 ml auf nochmals 1000 ml. Die fertige Kalibrierlösung enthält 1 mg/l Phosphat.

Die Konzentrationen der Lösungen A und B sind zur Prüfung der in Tabelle 5 aufgeführten Schnelltests abgestimmt. Sollen andere Prüfkonzentrationen verwendet werden, lassen sich die abzuwiegenden Mengen per Dreisatz bzw. Verhältnisrechnung leicht neu berechnen. Die Formel lautet:

alte Prüfkonzentration : alte Einwaage = Zielkonzentration : neue Einwaage

bzw.

neue Einwaage = alte Einwaage × Zielkonzentration / alte Prüfkonzentration.

© 2011, Deutsche Gesellschaft für Mykologie

Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der **DGfM**.

www.dgfm-ev.de

Über Zobodat werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
  Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
  (Name der Heftreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
  Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
  Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz (CC BY-ND 4.0).

- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die vollständigen Lizenzbedingungen, wovon eine offizielle deutsche Übersetzung existiert. Freigebiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society

Jahr/Year: 2011

Band/Volume: 77_2011

Autor(en)/Author(s): Halbwachs Hans

Artikel/Article: Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwändig sein -Teil 3: Bodenchemie 123-139