



ARBEITSGRUPPE «VOLLZUG BODENBIOLOGIE»
GROUPE DE TRAVAIL «BIOLOGIE DU SOL - APPLICATION»

Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter

Arbeitsgruppe "Vollzug Bodenbiologie VBB"

IMPRESSUM

Herausgeber Arbeitsgruppe „Vollzug Bodenbiologie“ VBB

Mitarbeit Claudia Maurer-Troxler, Bodenschutzfachstelle Kanton Bern
 Gaby von Rohr, Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn
 Hans-Rudolf Oberholzer, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
 Nicolas Rossier, Institut agricole de l'Etat de Fribourg Grangeneuve
 Paul Mäder, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
 Roland von Arx, BAFU, Sektion Boden
 Françoise Okopnik, Fachstelle Bodenschutz Kanton Aargau

Zitiervorschlag Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009: Arbeitshilfe zur Anwendung
 und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.

Bezugsquelle Sekretariat VBB, Dr. Paul Mäder, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL,
 Postfach, CH – 5070 Frick

© Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB, 2009

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
2	AUSSAGEKRAFT UND EINSATZMÖGLICHKEITEN BODENBIOLOGISCHER PARAMETER	5
3	EIGENHEITEN BODENBIOLOGISCHER REFERENZWERTE	6
3.1	Differenzierung zwischen Richtwerten –resp. Vergleichs- und Referenzwerten.....	6
3.2	Berücksichtigung der natürlichen Variabilität und der Nutzungsform.....	6
3.3	Datengrundlage der Vergleichs- und Referenzwerte.....	7
4	VERGLEICHSWERTE UND REFERENZWERTE	8
4.1	Definition und Geltungsbereich.....	8
4.2	Parameterübersicht.....	8
4.2.1	Mikrobielle Parameter	8
4.2.2	Mykorrhiza	9
4.2.3	Faunistische Parameter	10
4.2.4	Referenzmethoden.....	10
4.3	VERGLEICHSWERTE	11
4.3.1	Mikrobielle Parameter	11
4.3.2	Mykorrhiza	13
4.3.3	Faunistische Parameter	13
4.4	REFERENZWERTE	13
4.4.1	Mikrobielle Parameter	14
4.4.2	Mykorrhiza	21
4.4.3	Faunistische Parameter	21
5	GESAMTBEURTEILUNG EINES STANDORTES	21
6	LITERATURVERZEICHNIS	22
7	ANHANG	23

1 Einleitung

Die Verordnung über Belastungen des Bodens VBBo bezweckt die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Dabei gilt ein Boden als fruchtbar, wenn er eine für seinen Standort typische artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft und typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist. Die Bodenlebewesen als schützenswerte Lebensgemeinschaft, als Strukturbildner und Garanten für die ungestörte Funktionalität der Böden stehen somit im Zentrum des Bodenschutzes.

Die Bedeutung der Bodenbiologie für die Charakterisierung der Bodenfruchtbarkeit kommt bereits in der „Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit“ (1991) zum Ausdruck. Diese empfiehlt den Einbezug bodenbiologischer Parameter parallel zu bodenphysikalischen, bodenchemischen und vegetationskundlichen Aufnahmen. Die Gleichbehandlung der Bodenbiologie wird begründet mit der Bedeutung der Bodenlebewesen für den Ab- und Umbau von organischem Material und der daraus resultierenden Nährstoff-Verfügbarkeit, für die Humus- und Strukturbildung. Die damals vorgeschlagenen Methoden und Erfahrungswerte entsprechen nur noch teilweise dem heutigen Wissensstand.

Trotz der anerkannten, grossen Bedeutung der Bodenlebewesen werden in der Vollzugsarbeit des Bodenschutzes kaum bodenbiologische Parameter eingesetzt. Die Gründe lagen und liegen im beschränkten Wissensstand über standorttypische Arten und Aktivitäten, in der Unsicherheit bezüglich Methoden und Dateninterpretation. Nicht zuletzt gibt es auch Hindernisse finanzieller Art beim Einsatz bodenbiologischer Parameter.

Seit 1991 engagiert sich die Arbeitsgruppe Bodenbiologie - ab 1995 unter dem Namen VBB Vollzug Bodenbiologie - für die Erarbeitung von Grundlagen im diesem Bereich. In ihrem Konzept „Bodenbiologie und Bodenschutz“ (1999) beschreibt sie die Einsatzmöglichkeiten bodenbiologischer Parameter insbesondere für die Langzeitbeobachtung und für die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit bei Bodenbelastungen.

Nachdem das Hauptaugenmerk der VBB in den ersten Jahren auf der Evaluierung und Standardisierung von praxistauglichen bodenbiologischen Methoden lag, steht nun die Bereitstellung von Interpretationshilfen (Vergleichs- und Referenzwerte) im Vordergrund. Die gesamtschweizerisch beschränkten finanziellen und personellen Ressourcen erlauben zwar nur ein langsames Voranschreiten dieser Arbeiten. Dennoch konnten in den letzten Jahren mit verschiedenen Methoden erste Erfahrungswerte gesammelt und Interpretationshilfen erstellt werden.

Die Mitglieder der VBB sind der Meinung, dass die empfohlenen Methoden und Interpretationsgrundlagen trotz dargelegter Einschränkungen genügend abgesichert sind, um sie im Rahmen dieser Arbeitshilfe zu veröffentlichen und damit einer breiteren Anwendung zugänglich zu machen. Mit dieser Arbeitshilfe stehen den Bodenschutzfachstellen und weiteren Interessierten Grundlagen zur Verfügung, um bodenbiologische Parameter einsetzen zu können. Sie versteht sich in diesem Bereich als Aktualisierung der „Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit“.

2 Aussagekraft und Einsatzmöglichkeiten bodenbiologischer Parameter

Bodenbiologische Parameter können Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit integrierend anzeigen: Pflanzen und Bodenorganismen liefern anhand von Art- und/oder Aktivitätsparametern Informationen zur kombinierten Wirkung von chemischen und physikalischen Bodenverhältnissen, die weit über einzelne chemische und/oder physikalische Analysen hinausgehen. Biologische Parameter können somit als Indikatoren der Bodenqualität bezeichnet werden.

Pflanzen und Bodenorganismen können auf verschiedene Belastungen des Bodens unterschiedlich reagieren. Negative Veränderungen der bodenbiologischen Parameter und somit der Bodenfruchtbarkeit müssen nicht unbedingt eine unmittelbare Beeinträchtigung der Produktionsfunktion des Bodens (Pflanzenproduktion) anzeigen. Sie sind aber in jedem Fall ein Hinweis auf ein Ungleichgewicht im Ökosystem Boden, das langfristig zu Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen und zu Produktionseinbußen führen kann.

Bodenbiologische Parameter lassen sich unter anderem in folgenden Gebieten einsetzen:

- **Bodendauerbeobachtung**
Im Rahmen des Projektes LAZBO (*Oberholzer et al. 2006, Schwab et al. 2006*) konnte gezeigt werden, dass sich die mikrobielle Biomasse BM (SIR) in Bezug auf alle untersuchten Kriterien für die Langzeitbeobachtung eignet. Für die andern untersuchten bodenbiologischen Parameter konnte die Eignung in einzelnen Punkten noch nicht eindeutig bestätigt werden. Die dazu notwendigen Arbeiten sind im Gang. In Anbetracht der Bedeutung der Bodenorganismen für die Bodenfruchtbarkeit ist es wichtig, bodenbiologische Parameter in die Langzeitbeobachtung einzubinden. Sie ermöglichen die Beurteilung des biologischen Bodenzustandes und die Erfassung von schleichen Veränderungen.
- **Erfassung und Überwachung von belasteten Böden / Abklärung von Standorten mit unklaren Beeinträchtigungen**
Belastungen chemischer und/oder physikalischer Art haben Auswirkungen auf die Bodenlebewesen und damit auf die Bodenfruchtbarkeit. Beeinträchtigungen (z.B. verminderte Abbauleistungen oder Strukturprobleme) können dokumentiert und überwacht werden. Bei unklaren Belastungssituationen, in denen chemische oder physikalische Richtwerte kaum oder nur gering überschritten werden, können dank der integrierenden Aussagekraft biologischer Parameter wichtige Hinweise gewonnen werden.
- **Erfolgskontrolle von Rekultivierungen/Regenerationen und Bodensanierungen**
Nach Rekultivierungen oder Sanierungen von Böden muss sich die standortgerechte Bodenbiözönose schrittweise neu etablieren. Erst wenn diese intakt ist und ihre vielfältigen Funktionen wieder wahrnehmen kann, ist auch die Bodenfruchtbarkeit wieder hergestellt. Mit Hilfe bodenbiologischer Parameter ist eine Erfolgskontrolle möglich.
- **Öffentlichkeitsarbeit**
Das Wissen, dass Boden belebt ist und die Kenntnis der Bodenlebewesen helfen, die Wertschätzung des Bodens als etwas Lebendiges und den Respekt beim Umgang mit Boden zu fördern. Damit wird ein emotionaler Bezug zum Boden und Verständnis für die Notwendigkeit des Bodenschutzes geschaffen.
- **Überprüfung von Auswirkungen umweltgefährdender Organismen**
Mit bodenbiologischen Parametern können mögliche Auswirkungen pathogener, ortsfremder oder gentechnisch veränderter Organismen frühzeitig erkannt werden.
- **Landwirtschaftliche Beratung**
Mit bodenbiologischen Parametern kann man die Bodenfruchtbarkeit beurteilen und mit der landwirtschaftlichen Praxis in Zusammenhang setzen. Mit Hilfe anderer Analysen lassen sich Massnahmen für die Beratung ergreifen.

3 Eigenheiten bodenbiologischer Referenzwerte

3.1 Differenzierung zwischen Richtwerten -resp. Vergleichs- und Referenzwerten

Im Gegensatz zu den Vollzugsgrundlagen für chemische und physikalische Bodenbelastungen, wo mit Richt-, Prüf- und Sanierungswerten resp. Richt- und Massnahmewerten eindeutige Interventionswerte festgelegt sind, werden für die bodenbiologischen Parameter Vergleichs- und Referenzwerte definiert. Es bestehen grundsätzliche Unterschiede in ihrer Wesensart:

- Die Richtwerte für Schwermetalle und organische Schadstoffe sind ein Instrument, um chemisch bedingte Gefährdungen der Bodenfruchtbarkeit zu erkennen. Ebenso sind die Richtwerte für Bodenerosion resp. die Richtwertvorschläge für Schadverdichtungen ein Instrument, um physikalisch bedingte Gefährdungen zu erkennen. Die Richtwerte sind so festgelegt, dass bei ihrer Überschreitung von einer Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit auszugehen ist und Interventionen gemäss VBBo (z.B. Reduktion des Schadstoffeintrags) ergriffen werden müssen.
- Demgegenüber sind die hier vorgeschlagenen Vergleichs- und Referenzwerte für bodenbiologische Parameter nicht primär geeignet, biologisch bedingte Gefährdungen des Bodens zu erkennen. Sie sind vielmehr ein Instrument für eine integrative Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit resp. allfälliger (synergistischer) Auswirkungen von chemischen und physikalischen Bodenbelastungen. Aufgrund der grossen natürlichen Variabilität der Bodenbiozönosen können für bodenbiologische Parameter keine absoluten Richtwerte festgelegt werden – es werden daher Werte vorgeschlagen, mit deren Hilfe eine Interpretation von Messresultaten hinsichtlich der Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit möglich ist. Weist der Zustand der Bodenbiologie auf eine gestörte Bodenfruchtbarkeit hin, so sind die Ursachen dieser Situation zu klären und geeignete Massnahmen zu ergreifen.

3.2 Berücksichtigung der natürlichen Variabilität und der Nutzungsform

Ein fruchtbarer Boden bedingt – wie in der VBBo festgeschrieben – eine standorttypische, artenreiche und biologisch aktive Lebensgemeinschaft von Bodenorganismen.

Die Zusammensetzung und Aktivität der Bodenbiozönose kann stark variieren und wird geprägt von einer Vielzahl natürlicher und anthropogener Einflüsse: Bodeneigenschaften, klimatische und jahreszeitliche Unterschiede, Bodennutzung, bestehende chemische und physikalische Bodenbelastungen. Bei der Beurteilung des Zustandes und möglicher Veränderungen der Bodenbiologie sowie bei der Festlegung von Vergleichs- und Referenzwerten für die Bodenschutzpraxis muss dieser natürlichen Streubreite Rechnung getragen werden.

Bei der Festlegung von Vergleichs- und Referenzwerten muss die Nutzungsform des Bodens mitberücksichtigt werden. Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse im In- und Ausland wird zwischen folgenden grundlegend verschiedenen Nutzungsformen unterschieden:

- Ackerland: Standorte mit Bodenbearbeitung und/oder Ackerfruchtfolge
- Grünland: Standorte ohne Bodenbearbeitung resp. Ackerfruchtfolge
- Wald

Diese drei Nutzungsformen zeichnen sich aus durch eine unterschiedliche Intensität und Periodizität menschlicher Eingriffe in den Boden, mit unterschiedlichem Einfluss auf die Bodenbiologie und Bodenstruktur. Bei nachhaltiger Nutzung entwickelt sich in allen drei Systemen eine typische Lebensgemeinschaft von Bodenorganismen. Diese wird durch entsprechende Vergleichs- resp. Referenzwerte repräsentiert. Die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit eines Standortes erfolgt somit anhand von Vergleichs- resp. Referenzwerten, die die Eigenheiten der entsprechenden Nutzungsform mitberücksichtigen.

Die vorhandenen Daten in der Schweiz ermöglichen derzeit die Festlegung von Vergleichs- und Referenzwerten für Acker- und Grünland.

3.3 Datengrundlage der Vergleichs- und Referenzwerte

Für die Erarbeitung von Vergleichs- und Referenzwerten sollten möglichst unbeeinträchtigte Standorte beigezogen werden. Die Festlegung dessen, was als unbeeinträchtigt gilt, also des „Normalzustandes“, ist in der Praxis mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Absolut gültige, zeitlose Werte können nie formuliert werden, weil der Einfluss menschlicher Tätigkeiten auf die Bodenlebewesen überall stattfindet. Zudem fehlen Datenreihen über den Zustand der Bodenbiologie unter früheren Bedingungen, d.h. bei geringerem Eintrag von Schadstoffen, weniger intensiven Acker- und Futterbausystemen oder weniger baulichen und meliorativen Einflüssen auf die Böden.

Die hier vorgeschlagenen Werte basieren somit auf der heutigen Situation und schliessen Einflüsse der menschlichen Tätigkeit gezwungenermassen mit ein. Allfällige bereits eingetretene plötzliche oder schleichende Veränderungen der Bodenbiozöosen, infolge der Intensivierung der Landwirtschaft seit Mitte des letzten Jahrhunderts, können nicht oder nicht mehr berücksichtigt werden.

Als Datengrundlage dienen verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre auf Acker- resp. Grünlandstandorten mit derzeit üblicher Bewirtschaftungsintensität. Bei diesen landwirtschaftlich genutzten Böden stellt sich in starkem Masse die Frage, welche Art und Intensität der Landnutzung, also welche acker- resp. futterbaulichen Bewirtschaftungssysteme als „normal“ betrachtet und als Bezugsgrösse berücksichtigt werden. Die Vergleichs- und Referenzwerte sollen eine bezüglich der Bodenfruchtbarkeit nachhaltige Landwirtschaft repräsentieren. Böden, die aufgrund einer intensiven Nutzung besonderen physikalischen und/oder stofflichen Belastungen ausgesetzt sind, werden daher bei der Festlegung der Vergleichs- und Referenzwerte nicht berücksichtigt.

4 Vergleichswerte und Referenzwerte

4.1 Definition und Geltungsbereich

In dieser Arbeitshilfe werden zwei Arten von Interpretationshilfen eingeführt, Vergleichs- und Referenzwerte. Die beiden Arten unterscheiden sich im Präzisionsgrad der Aussagemöglichkeiten:

Vergleichswerte beschreiben Durchschnitt und Streubreite von Messwerten eines Parameters, ohne Berücksichtigung von standortspezifischen Bodeneigenschaften. Sie ermöglichen eine allgemeine Beurteilung von Messergebnissen. Tiefe und hohe Werte sowie Ausreisser können erkannt werden.

Referenzwerte ermöglichen eine differenzierte, standortspezifische Beurteilung von Messwerten eines Parameters, indem die beeinflussenden standortspezifischen Bodeneigenschaften in die Berechnung mit einfließen.

Die Herleitung von Referenzwertmodellen bedingt eine genügend grossen Datenmenge und ist deshalb erst für wenige Parameter möglich. Bei den übrigen Parametern stehen jedoch Erfahrungswerte zur Verfügung, die eine allgemeine Interpretation von Messergebnissen ermöglichen. Sie werden als Vergleichswerte einer breiteren Nutzung zugänglich gemacht. Mit zunehmender Datengrundlage sollen auch für diese Parameter Referenzwertmodelle entwickelt werden.

Die klimatischen Einflüsse auf die Bodenbiologie werden durch die Bildung von Regionen berücksichtigt. Die hier vorgeschlagenen Vergleichs- und Referenzwerte gelten für Böden im Schweizerischen Mittelland, beschränkt auf die Nutzungsformen Acker- und Grünland. Für die Acker- und Grünlandböden in anderen Regionen sowie für die Waldböden fehlt derzeit die nötige Datengrundlage zur Festlegung von Vergleichs- und Referenzwerten. Mit zunehmender Datengrundlage sollen sie fortlaufend ergänzt werden.

4.2 Parameterübersicht

Für die Beurteilung des biologischen Zustandes eines Bodens stehen verschiedene Parameter und Methoden zur Verfügung, die sowohl national wie auch international häufig angewendet werden und damit breit abgestützt sind. Für eine gesamtheitliche Betrachtung der Bodenbiologie ist eine Kombination von mikrobiellen und faunistischen Aspekten sinnvoll.

4.2.1 Mikrobielle Parameter

Die bodenmikrobiologischen Parameter bauen auf verschiedenen Aspekten der mikrobiellen Aktivität auf, die für die Funktionalität der Böden relevant sind. Sie ermöglichen unterschiedliche Aussagen.

Die VBB empfiehlt primär die Parameter Mikrobielle Biomasse SIR und FE, Basalatmung, Metabolischer Quotient, Verhältnis mikrobieller Biomasse-Kohlenstoff zu totalem organischem Kohlenstoff (C_{org}) und N-Mineralisierung zur Anwendung. Die Mikrobielle Biomasse ATP und die Kohlenstoffmineralisierung gelangen in verschiedenen Projekten zum Einsatz, u.a. im FRIBO mit seinen langjährigen Reihen.

- Mikrobielle Biomasse, SIR, FE-C, FE-N

Sie ist ein allgemeines Mass zur Beschreibung des Belebtheits- und Aktivitätszustandes des Bodens. Die Grösse der mikrobiellen Biomasse ist von verschiedenen Umweltfaktoren abhängig (Klima, Bodeneigenschaften, Bodennutzung und -bewirtschaftung). Sie ist eine wichtige Kenngrösse des Bodens, da diese Organismen sowohl für den Ab- und Umbau von organischem Material des betreffenden Bodens ausschlaggebend sind, als auch einen Vorrat schnell umsetzbarer Nährstoffe darstellen. Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse kann auf zwei Arten erfolgen. Mit der physiologischen Methode der „Substratinduzierten Respiration“ SIR werden Bodenproben mit Glucose versetzt und so lange bebrütet, bis eine maximale initiale Atmung erreicht ist. Diese maximale Atmung ist proportional zur mikrobiellen Biomasse. Bei der „Fumigations-Extraktionsmethode“ (FE-C resp. FE-N) wird der Boden mit Chloroform begast, um die Bodenmikroorganismen abzutöten und

die Zellwände zu zerstören. Die vorhandene organische Substanz des Bodens verändert sich kaum; der Gehalt an mikrobiellem Biomasse-Kohlenstoff resp. mikrobiellem Biomasse-Stickstoff kann extrahiert werden.

- **Basalatmung**
Das beim Abbau von organischer Substanz produzierte CO_2 ist ein Mass für die aerobe Atmungsaktivität (Respiration) aller Bodenorganismen. Unter ungestörten Bedingungen stellt sich im Boden ein ökologisches Gleichgewicht zwischen den Organismen und deren Abbautätigkeit ein. Die Respiration in diesem Zustand wird als Basalatmung bezeichnet. Bei einer Störung des Gleichgewichts ändert sich die Respiration als Folge einer Veränderung der mikrobiellen Biomasse und deren Mineralisierungstätigkeit. Die Bewertung der Basalatmung erfolgt über den Metabolischen Quotienten.
- **Metabolischer Quotient, $q\text{CO}_2$**
Dieser Quotient ist ein Mass für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft und entspricht dem Verhältnis zwischen Basalatmung und mikrobieller Biomasse (SIR oder FE-C). Er ist eine Kenngrösse für den physiologischen Zustand der Mikroorganismen. Je grösser der Metabolische Quotient ist, desto mehr Substrat wird zu CO_2 veratmet und desto kleiner ist der Substratanteil, der in die mikrobielle Biomasse inkorporiert wird.
- **Verhältnis mikrobieller Biomasse-Kohlenstoff zu organischem Kohlenstoff, $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$**
Dieser ökophysiologische Quotient erlaubt Aussagen über die C-Dynamik von Böden. Er ist ein Indikator für die mikrobielle Verfügbarkeit des organischen Substrates und verdeutlicht, in welchem Ausmass die Mikroorganismen den Kohlenstoff des Bodens zum Aufbau und zur Erhaltung ihrer Biomasse nutzen können. Damit sind Hinweise möglich zur langfristigen Humusentwicklung.
- **N-Mineralisierung**
Die N-Mineralisierung ist eine Aktivitätsmessung im Bereich der Stickstoffdynamik des Bodens. Mit der verwendeten Methode wird das Mineralisierungspotential der aktuell im Boden vorhandenen Mikroorganismen unter den gegebenen bodenchemischen Bedingungen unter optimalen Bedingungen bezüglich Temperatur, Luft- und Wasserhaushalt gemessen. Dazu werden Bodenproben unter aeroben Bedingungen bei $25\text{ }^\circ\text{C}$ inkubiert. Die aus organischen N-Verbindungen freigesetzte Menge an mineralischem Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) während 28 Tagen wird bestimmt.
- **Mikrobielle Biomasse, ATP**
Das Adenosintriphosphat findet sich in allen lebenden biologischen Zellen. Da dieses Molekül nach dem Zelltod rasch hydrolysiert wird, handelt es sich um einen guten Indikator für lebendige Organismen. Es dient der Übertragung und Speicherung von Energie bei den meisten biochemischen Reaktionen. Die Messung ermöglicht es, die Masse lebender Mikroorganismen in einer bestimmten Menge Boden abzuschätzen. Das Biomasse-ATP ist abhängig vom Tongehalt und vom Humusgehalt, welcher eine Energiequelle für die Mikroorganismen darstellt.
- **Kohlenstoffmineralisierung (Min.-C)**
Die Kohlenstoffmineralisierung ist eine Schätzung der von den Mikroorganismen mineralisierten Menge organischer Substanz. Der gemessene Wert entspricht der Summe des freigesetzten CO_2 während 15 Tagen Inkubationszeit. Dieser Wert wird nachher in Kohlenstoffäquivalente umgerechnet und dann als organische Substanz ($\mu\text{g OS g}^{-1}\text{ TS des Bodens } 15\text{ Tage}^{-1}$) ausgedrückt. Die Analyse-Methode entspricht derjenigen der Basalatmung, die Messung erfolgt jedoch in einem anderen Zeitintervall und an getrockneten und wiederbefeuchteten Proben.

4.2.2 Mykorrhiza

Mykorrhizapilze sind aufgrund ihrer Bedeutung für das Pflanzenwachstum und die Bodenstruktur ein wichtiger biologischer Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit. In Landwirtschaftsböden sind die sogenannten arbuskulären Mykorrhizapilze weit verbreitet.

- **Mykorrhiza-Infektionspotenzial**
Mit der Standardmethode Mykorrhiza-Infektionspotenzial MIP lässt sich die Aktivität der arbuskulären Mykorrhizapilze in einer Bodenprobe anhand eines Bioassays bestimmen. Lauch-Samen wer-

den in feldfrische Bodenproben gesät und nach 60 Tagen Wachstumsdauer unter standardisierten Bedingungen wird der Mykorrhizierungsgrad der Wurzeln der Indikatorpflanzen bestimmt.

4.2.3 Faunistische Parameter

Lediglich für die Tiergruppe der Regenwürmer besteht in der Schweiz eine ausreichende Datengrundlage für Vergleichswerte. Für andere Tiergruppen wurden bisher keine Vergleichswerte formuliert.

- Regenwürmer

Die Regenwürmer beeinflussen mit ihren Aktivitäten verschiedene Aspekte der Bodenfruchtbarkeit: sie beeinflussen den Stoffkreislauf (Ab- und Umbau von organischem Material), die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften (Ton-Humus-Komplexe, Wasser- und Lufthaushalt, Nährstoffangebot in den Regenwurmgingen) und die Bodenmikroorganismen (Beweiden und Stimulierung der Bodenmikroben).

Zur ökologischen Charakterisierung der Regenwurmfaua eignen sich die Artenzahl und -Verbreitung, die Biomasse, die vier ökomorphologischen Gruppen sowie die Abundanz:

Artenzahl, -Verbreitung: Das Vorkommen der einzelnen Arten kann direkt aus den Verbreitungskarten herausgelesen werden (Cuendet et al. 1997).

Biomasse: Sie widerspiegelt die ökologisch relevante Wirkung der Regenwürmer auf den Boden (Durchmischung, Lockerung).

Ökomorphologische Gruppen: Anhand der Grösse, der Färbung und der Lebensweise unterscheidet man epigäische Arten (Streubewohner), endogäische Arten (Mineralbodenbewohner), anözische Lumbricus (Tiefgräber, zieht sich in die Tiefe zurück) und anözische Nicodrilus (Tiefgräber, ringelt sich auf).

Abundanz: Eignet sich zur Beurteilung von populationsdynamischen Aspekten (Reproduktion, Entwicklungspotenzial). Für die Abundanz bestehen keine Vergleichswerte.

4.2.4 Referenzmethoden

Damit die Resultate verschiedener Untersuchungen miteinander verglichen werden können, müssen die Bodenuntersuchungen mit definierten und beschriebenen Methoden in den verschiedenen Labors gleich durchgeführt werden. In den Referenzmethodenbüchern der Eidgenössischen Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten (Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope 1996, jährlich aktualisiert) wird die Durchführung der praktischen Arbeiten im Feld und Labor beschrieben.

Die bodenbiologischen Untersuchungen finden sich im Band 2: Bodenuntersuchung zur Standort-Charakterisierung (Bodenphysikalische, -biologische und -chemische Untersuchungen):

- Allgemeine Erläuterungen
Probenahmestrategien, Methodenauswahl, Laborstrategien (Kapitel 2 und 3 „Bodenmikrobiologische Untersuchungen“, „Bodenzoologische Untersuchungen“: RM-ERL-2, Seite 7-16)
- Kapitel A: Probenahme und Probenaufbereitung
Entnahme, Aufbereitung, Lagerung und Vorinkubation mikrobiologischer Bestimmungen (Teil „Biologische Bodeneigenschaften“: B-M-PN, B-PAL, B-VI).
- Kapitel B: Extraktion von Bodenproben
Extraktion von Regenwürmern mittels Formalinlösung und Handauslese (Teil „Biologische Bodeneigenschaften“: B-RW-E, B-RW-H).
- Kapitel E: Bestimmung der biologischen Bodeneigenschaften
Bestimmungen der mikrobiellen Biomasse SIR, FE, ATP, der Basalatmung, der N-Mineralisierung, des Mykorrhiza-Infektionspotenzials und der Regenwurmpopulation (B-BM-HM bzw. B-BM-IS, B-BM-FE, B-BM-ATP, B-BA-IS, B-NM-BA, B-MIP, B-RW-B).

Für die umfassende Beurteilung und Interpretation der mikrobiologischen Parameter müssen an derselben Probe auch Ton- und Sandgehalt, pH-Wert und C_{org} -Gehalt bestimmt werden.

4.3 Vergleichswerte

4.3.1 Mikrobielle Parameter

Für alle empfohlenen bodenmikrobiologischen Parameter stehen Erfahrungswerte (Median, Unteres Quartil (25%)/Oberes Quartil (75%), Minimum/Maximum) zur Verfügung, die in den folgenden Vergleichstabellen zusammengestellt sind. Diese Erfahrungswerte basieren auf dem Total bisheriger Untersuchungsstandorte, differenziert nach den drei Nutzungsformen Acker, intensives Grünland und extensives Grünland. Sie sind nicht differenziert nach chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften. Die Vergleichstabellen ermöglichen eine erste grobe Einordnung mikrobiologischer Daten, eine differenziertere Interpretation unter Berücksichtigung der standortspezifischen Bodeneigenschaften ist nicht möglich.

Die Grundlagen für die Abstützung der Vergleichswerte sind sehr unterschiedlich. Die grössten Datenmengen liegen für die Mikrobielle Biomasse SIR, FE und ATP sowie für die Basalatmung resp. die Kohlenstoffmineralisierung vor, am wenigsten Grundlagendaten gibt es bisher für das Mykorrhiza-Infektionspotenzial.

Mit den empfohlenen mikrobiellen Methoden können keine qualitativen Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation erkannt werden.

Geltungsbereich Vergleichswerte

Die Vergleichswerte gelten für Böden im Schweizerischen Mittelland (400-800 m. ü. M.), bei den Parametern Mikrobielle Biomasse ATP und Kohlenstoffmineralisierung für Böden im Westlichen Schweizerischen Mittelland (400-900 m. ü. M.).

Tabelle 1: Vergleichswerte für Mikrobielle Biomasse SIR / FE-C / FE-N, Basalatmung CO₂, Verhältnis C_{mik}/C_{org}, Metabolischer Quotient qCO₂, Mikrobielle Biomasse ATP und Kohlenstoffmineralisierung in den Nutzungsformen Acker, Grünland (intensive bis wenig intensive Wiesen ohne Alpweiden) resp. extensives Grünland und intensives Grünland. (n: Anzahl Vergleichswerte; TS: Bodentrockensubstanz).

	Median	Minimum	Maximum	Unteres Quartil	Oberes Quartil
Mikrobielle Biomasse SIR	[mg kg ⁻¹ Boden TS]				
Ackerland ¹⁾ : n=220	477	189	1163	362	633
Ackerland ²⁾ : n=32	474	214	1148	321	654
Grünland ³⁾ : n=151	659	226	2528	470	941
Grünland extensiv ²⁾ : n=8	1303	790	2094	958	1672
Grünland intensiv ²⁾ : n=8	1550	914	1961	1207	1812
Mikrobielle Biomasse FE-C	[mg kg ⁻¹ Boden TS]				
Ackerland ¹⁾ : n=220	518	216	1692	412	744
Ackerland ²⁾ : n=32	548	269	1254	402	737
Ackerland ⁴⁾ : n=98	601	220	1286	440	741
Grünland extensiv ²⁾ : n=8	2077	1407	2898	1760	2482
Grünland intensiv ²⁾ : n=8	2282	1445	3001	1552	2837
Mikrobielle Biomasse FE-N	[mg kg ⁻¹ Boden TS]				
Ackerland ¹⁾ : n=220	78	25	231	59	107
Ackerland ²⁾ : n=32	150	60	379	105	197
Grünland extensiv ²⁾ : n=8	573	344	712	457	616
Grünland intensiv ²⁾ : n=8	536	346	683	407	655
Basalatmung CO₂	[mg CO ₂ -C kg ⁻¹ Boden TS h ⁻¹]				
Ackerland ¹⁾ : n=219	0.493	0.185	1.136	0.394	0.638
Ackerland ²⁾ : n=32	0.452	0.226	1.382	0.392	0.689
Grünland ³⁾ : n=68	0.98	0.33	2.50	0.71	1.20
Grünland extensiv ²⁾ : n=8	1.597	1.008	1.976	1.210	1.820
Grünland intensiv ²⁾ : n=8	1.59	0.923	1.725	1.286	1.654
Verhältnis C_{mik} / C_{org}	[mg C _{mik} g ⁻¹ C _{org}]				
Ackerland ¹⁾ : n=219 SIR	27.1	6.5	52.0	23.3	31.0
Ackerland ²⁾ : n=32 SIR	27.7	19.0	40.7	21.2	30.9
Ackerland ⁴⁾ : n=98 FE-C	23.8	4.5	39.7	21.3	28.2
Grünland ³⁾ : n=151 SIR	27.3	14.1	60.0	23.3	34.0
Grünland extensiv ²⁾ : n=8 SIR	26.4	17.7	35.9	20.0	34.5
Grünland intensiv ²⁾ : n=8 SIR	34.1	28.5	47.7	29.4	39.6
Metabolischer Quotient qCO₂	[mg CO ₂ -C g ⁻¹ C _{mik}] (SIR)				
Ackerland ¹⁾ : n=220	1.05	0.71	1.94	0.92	1.22
Ackerland ²⁾ : n=32	1.06	0.78	1.76	0.97	1.19
Grünland ³⁾ : n=68	1.13	0.70	2.14	0.91	1.32
Grünland extensiv ²⁾ : n=8	1.21	0.73	1.80	0.90	1.51
Grünland intensiv ²⁾ : n=8	1.02	0.74	1.17	0.91	1.10
N-Mineralisierung	[mg N _{min} kg ⁻¹ Boden TS * 24 h]				
Ackerland ¹⁾ : n=219	1.22	0.62	2.73	1.00	1.42
Mikrobielle Biomasse ATP	[ng g ⁻¹ Boden TS]				
Ackerland ⁵⁾ : n=135	926	102	4354	664	1498
Ackerland ⁶⁾ : n=136	775	102	4354	522	1179
Grünland ⁵⁾ : n=66	2070	541	5834	1339	2964
Grünland ⁶⁾ : n=67	1666	541	5087	1218	2629
Kohlenstoffmineralisierung (Min.-C)	[µg OS g ⁻¹ Boden 15 d ⁻¹]				
Ackerland ⁵⁾ : n=135	633	496	1975	483	920
Ackerland ⁶⁾ : n=136	624	171	1744	497	898
Grünland ⁵⁾ : n=66	1451	446	3878	1236	1897
Grünland ⁶⁾ : n=67	1558	626	3428	1274	1945

Die Daten stammen aus verschiedenen Untersuchungen aus der Schweiz: ¹⁾ Oberholzer et al. 1999; ²⁾ Oberholzer et al. 2007; ³⁾ Oberholzer unveröffentlicht; ⁴⁾ Brunner et al. 1999; ⁵⁾ Rossier et al. 2003; ⁶⁾ Rossier et al. 2007

4.3.2 Mykorrhiza

Für den Parameter Mykorrhiza-Infektionspotential liegen derzeit noch zu wenige Daten vor, weshalb noch keine Vergleichswerte festgelegt werden können.

4.3.3 Faunistische Parameter

Die Vergleichswerte gelten für Regenwurm-Biomassen

- in Grünlandböden (mind. 10 Jahre nicht gepflügt),
- mit einem Humusgehalt von 2-15%,
- im Schweizerischen Mittelland (400-800 M. ü. M. und <1200 mm Niederschlag).

Die regionstypische Arten-Zusammensetzung des Regenwurmbestandes wird mit Hilfe der Verbreitungskarten in Cuendet et al. (1997) beurteilt.

Die Biomassen des Gesamtbestandes und der vier ökomorphologischen Gruppen werden mit Hilfe der Vergleichswerte in Tabelle 2 interpretiert.

Tabelle 2: Vergleichswerte Regenwurmbiomasse (g m^{-2} und %-Anteile) für Grünlandböden.

*) aus zoogeografischen Gründen fehlt die eine oder andere Gruppe.

Datengrundlage: Cuendet et al. (1997).

	Median	Minimum	Maximum	Unteres Quartil	Oberes Quartil
Regenwurm-Biomasse, Grünland	[g m^{-2}]				
alle Arten	301	130	515	250	400
epigäische Arten	4	1	20	1	9
endogäische Arten	61	10	171	37	92
anözische Arten total	229	73	497	173	309
- anözische Lumbricus	105	*	220	63	149
- anözische Nicodrilus	121	*	365	75	198
Regenwurm-Biomasse, Grünland	[%-Anteile]				
epigäische Arten	2	1	7	1	4
endogäische Arten	22	2	50	13	30
anözische Arten total	76	48	98	67	85
- anözische Lumbricus	33	*	70	21	44
- anözische Nicodrilus	43	*	92	27	60

Bemerkung: Weil die vorliegenden Vergleichswerte mit der kombinierten Formalin-Handauslese-Methode erarbeitet wurden, sind die mit andern Methoden erhobenen Werte nur bedingt vergleichbar.

4.4 Referenzwerte

Die Beurteilung der mikrobiellen Parameter mit Hilfe standortspezifischer Referenzwerte stützt sich u. a. auf den pH-Wert und den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden (C_{org}) bzw. den Humusgehalt ($= 1.72 \times C_{\text{org}}$) des betreffenden Standortes ab. Bevor eine solche Beurteilung erfolgt, müssen pH-Wert und C_{org} -Gehalt des betreffenden Standortes bzw. deren Entwicklung geprüft werden: Bewirtschaftungsbedingt tiefe pH-Werte und C_{org} -Gehalte müssen anhand geeigneter Grundlagen (GRUDAF-Sollwerte für pH-Wert, Soll- oder Vergleichswerte für C_{org} -Gehalt) als solche erkannt werden und in die Gesamtbeurteilung des Standortes eingehen. Wenn der pH-Wert bzw. C_{org} -Gehalt durch die Bewirtschaftung beeinträchtigt worden sind, muss dies für die Interpretation der mikrobiellen Parameter berücksichtigt werden. Sonst führt die Anwendung mikrobieller Richtwerte zu falschen Schlussfolgerungen. Anhand der Formel für Referenzwerte kann der Einfluss der Veränderungen von pH-Wert und C_{org} -Gehalt auf den Referenzwert abgeschätzt werden.

4.4.1 Mikrobielle Parameter

Die Datenbasis bei den bodenmikrobiologischen Parametern mikrobielle Biomasse (SIR, FE und ATP), Basalatmung und Kohlenstoffmineralisierung ermöglicht es, erste Referenzwertmodelle festzulegen, mit deren Hilfe standortspezifische Referenzwerte berechnet werden können. Diese Modelle beziehen sich vorerst auf das Schweizer Mittelland sowie auf die Nutzungsform Ackerland, für die mikrobielle Biomasse SIR und ATP und die Kohlenstoffmineralisierung zusätzlich auch auf Grünland.

Prinzip

Die an einem Standort gemessenen Daten werden mit Hilfe eines standortspezifischen Referenzwertes beurteilt. Für die Herleitung des Referenzwertes müssen verschiedene chemisch-physikalische Bodeneigenschaften dieses Standortes bekannt sein. Der Referenzwert kann mit Hilfe einer Regressionsgleichung berechnet werden. Als Rechenhilfe steht bei den Autoren eine programmierte Excel-Datei zur Verfügung.

Als vereinfachte Interpretation können die Referenzwerte aus Referenzwert-Diagrammen resp. den dazugehörigen Tabellen (s. Anhang) abgeleitet werden. Es gilt zu beachten, dass die Klassenbildungen und die für die Berechnung je Klasse verwendeten Werte eine gutachterliche Festlegung sind, die Werte der Diagramme resp. der dazugehörigen Tabellen daher mit entsprechendem Vorbehalt behaftet sind.

A) Berechnung

Mit Hilfe der Regressionsgleichung wird für einen bestimmten Standort der zu erwartende Wert, also der standortspezifische Referenzwert, hergeleitet. Einflussgrößen sind chemisch-physikalische Bodeneigenschaften dieses Standortes, nämlich der Ton- und z.T. Sandgehalt, der pH (CaCl₂) und der C_{org}-Gehalt bzw. der Humusgehalt, wobei diese unterschiedlich oft in die verschiedenen Regressionsgleichungen einfließen. Diese Standort-Parameter müssen bekannt sein.

Der Referenzwert kann entweder mittels der betreffenden Regressionsgleichung berechnet werden, oder er wird aus dem betreffenden Referenzwert-Diagramm oder den Tabellen im Anhang herausgelesen.

Geltungsbereich Referenzwertmodell

Die Referenzwertmodelle für Mikrobielle Biomasse SIR und FE sowie für die Basalatmung CO₂ sind gültig für Böden mit einem Tongehalt von 10% bis 40%, einem pH (CaCl₂) von 4.3 bis 7.5 und einem Gehalt an C_{org} von 1% bis 4%.

Die Referenzwertmodelle für die Mikrobielle Biomasse ATP und für die Kohlenstoffmineralisierung sind gültig für Böden mit einem Tongehalt von 8% bis 60% und einem Humusgehalt von 1% bis 20%.

a) Mikrobielle Biomasse SIR, Nutzungsform Ackerland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{SIR}) = 3.58 + 0.823 \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.154 \text{ pH} + 0.311 \ln(\text{Ton}) + 0.005 (\text{Sand})$

b) Mikrobielle Biomasse SIR, Nutzungsform Grünland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{SIR}) = 3.606 + 0.916 \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.2848 \text{ pH} + 0.17 \ln(\text{Ton})$

c) Mikrobielle Biomasse FE-C, Nutzungsform Ackerland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{FE}) = 4.70 + 0.963 \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.0637 \text{ pH} + 0.21 \ln(\text{Ton}) + 0.0008 (\text{Sand})$

d) Basalatmung CO₂, Nutzungsform Ackerland [! Einheit: mg CO₂ kg⁻¹ Boden TS 24 h⁻¹]

Regressionsgleichung: $\ln(\text{CO}_2) = 2.697 + 0.625 \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.199 \text{ pH} - 0.146 \ln(\text{Ton}) - 0.0009 (\text{Sand})$

e) Mikrobielle Biomasse ATP, Nutzungsform Ackerland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{ATP}) = 1.5571 + 1.0826 \ln(\text{Ton})$

f) Mikrobielle Biomasse ATP, Nutzungsform Grünland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{ATP}) = 2.1854 + 0.7697 \ln(\text{Ton})$

g) Kohlenstoffmineralisierung, Nutzungsform Ackerland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{Min.-C}) = 2.4953 + 0.7601 \ln(\text{Humus})$

h) Kohlenstoffmineralisierung, Nutzungsform Grünland

Regressionsgleichung: $\ln(\text{Min.-C}) = 2.6741 + 0.7476 \ln(\text{Humus})$

Datengrundlage für die Definition der Referenzwertmodelle a) bis d)

- Oberholzer et al., 1999: Untersuchungen der FAL zur Definition typischer Bereiche bodenmikrobiologischer Kennwerte in Abhängigkeit von chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften.
- Oberholzer et al., 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte: Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio).

Datengrundlage für die Definition der Referenzwertmodelle e) bis h)

- Rossier et al., 2007: FRIBO: Réseau fribourgeois d'observation des sols.

Beurteilung:

Der gemessene Wert wird mit dem individuell bestimmten, standorttypischen Referenzwert verglichen und beurteilt. Die Vertrauensbereiche (95% bzw. 67%-Vertrauensbereich) bilden die Referenzbereiche des Beurteilungsschemas. Als „normal“ beurteilt werden Werte, die innerhalb des 67%-Vertrauensbereichs liegen, darüber sind die Werte „hoch“, darunter „tief“. Werte, die über bzw. unter dem 95%-Vertrauensbereich liegen, werden als „sehr hoch“ bzw. „sehr tief“ beurteilt.

B) Referenzwert-Diagramme

Referenzwert-Diagramme sind die graphische Darstellung der Referenzwertmodelle (Boxplot-Diagramme) für definierte Bodenklassen und ermöglichen ein einfaches Ablesen des standorttypischen Referenzwertes und seiner Streubreiten.

Die den Referenzwert-Diagrammen zu Grunde liegenden Daten sind im Anhang tabellarisch zusammengestellt.

Für die Referenzwert-Diagramme werden die jeweiligen Einflussgrößen klassiert, je Klasse ein Wert für die Berechnung festgelegt und auf dieser Basis mit Hilfe der jeweiligen Regressionsgleichung die Boxplot-Diagramme für alle Kombinationen dieser Klassen hergeleitet.

Einflussgrößen für die Parameter Mikrobielle Biomasse SIR und FE und die Basalatmung

Die Kriterien für die Klasseneinteilung der drei Einflussgrößen C_{org} , pH (CaCl_2) und Tongehalt sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Wo der Sandgehalt in die Regressionsgleichung einfließt, wurden Werte eingesetzt, die den aufgrund der Tongehalte definierten Körnungsklassen entsprechen (40%, 20% und 10% Sand für sandige, lehmige bzw. tonige Böden).

Tabelle 3: Kriterien für die Klassierung der Einflussgrößen C_{org} , pH ($CaCl_2$) und Tongehalt für die Parameter Mikrobielle Biomasse SIR und FE und die Basalatmung.

Die Klassen und ihre Bezeichnungen orientieren sich an der Bodenkartieranleitung der FAL.

kursiv: Klassen, die mit dem Regressionsmodell nicht abgedeckt sind.

Parameter	Wertebereich	Code	Bezeichnung
Gehalt C_{org} [%]	0 - 1.2	1	humusarm
	1.2 - 2.9	2	schwach humos
	3.0 - 5.9	3	humos
	6.0 - 11.9	-	<i>humusreich</i>
	> 11.9	-	<i>sehr humusreich</i>
pH ($CaCl_2$)	< 6.7	1	Sauer bis neutral
	> 6.7	2	alkalisch
Tongehalt [%]	0 - 10	-	<i>Sandige Böden</i>
	10 - 30	2	Lehmige Böden
	> 30	3	Tonige Böden

Einflussgrößen für die Parameter Mikrobielle Biomasse ATP und die Kohlenstoffmineralisierung:
Die Kriterien für die Klasseneinteilung der zwei Einflussgrößen Humus und Tongehalt sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Kriterien für die Klassierung der Einflussgrößen Humus und Tongehalt für die Parameter Mikrobielle Biomasse ATP und die Kohlenstoffmineralisierung.

Die Klassen und ihre Bezeichnungen orientieren sich an der Bodenkartieranleitung der FAL.

Parameter	Wertebereich	Code	Bezeichnung
Humusgehalt [%]	0 - 1.9	1	humusarm
	2.0 - 4.9	2	schwach humos
	5.0 - 9.9	3	humos
	10 - 19.9	4	humusreich
	> 19.9	-	Humusboden
Tongehalt [%]	0 - 10	1	sandige Böden
	10 - 20	2	sandig-lehmige Böden
	20 - 30	3	lehmige Böden
	> 30	4	tonige Böden

Es liegen folgende Referenzwert-Diagramme vor:

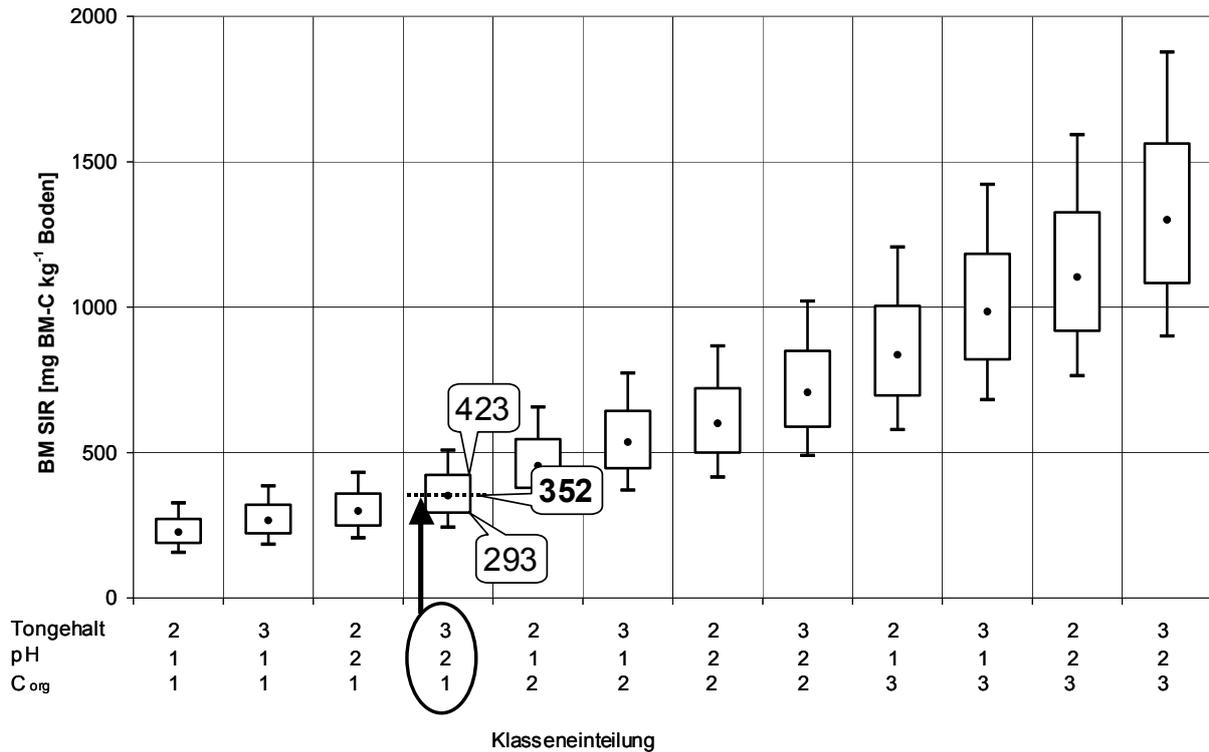


Abbildung 1: Referenzwert-Diagramm für die **mikrobielle Biomasse SIR**, Nutzungsform: **Ackerland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

Lesebeispiel

Bei einem ackerbaulich genutzten Boden mit:

- Tongehalt > 30% Tongehaltsklasse 3
- pH(CaCl₂) > 6.7 pH-Klasse 2
- C_{org} < 1.2% C_{org}-Klasse 1

ist eine mikrobielle Biomasse SIR von 352 mg BM-C kg⁻¹ Boden (67%-Vertrauensbereich 293 bis 423 mg BM-C kg⁻¹ Boden) zu erwarten.

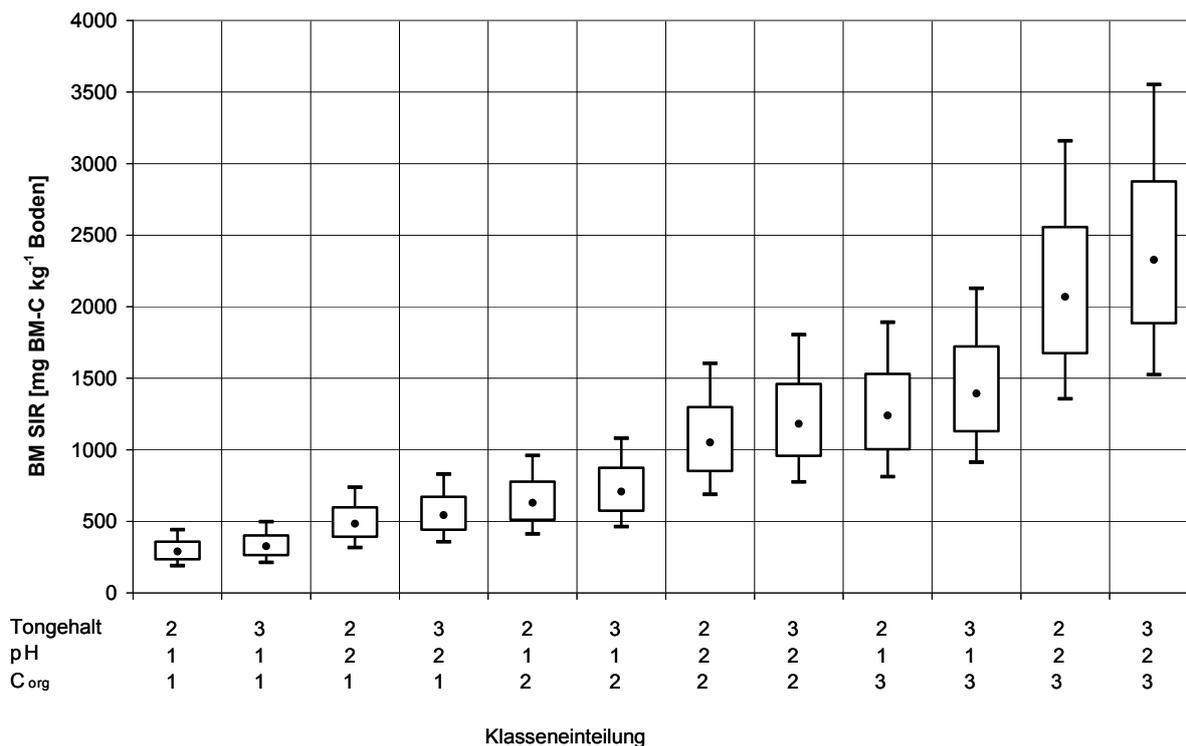


Abbildung 2: Referenzwert-Diagramm für die **mikrobielle Biomasse SIR**, Nutzungsform: **Grünland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

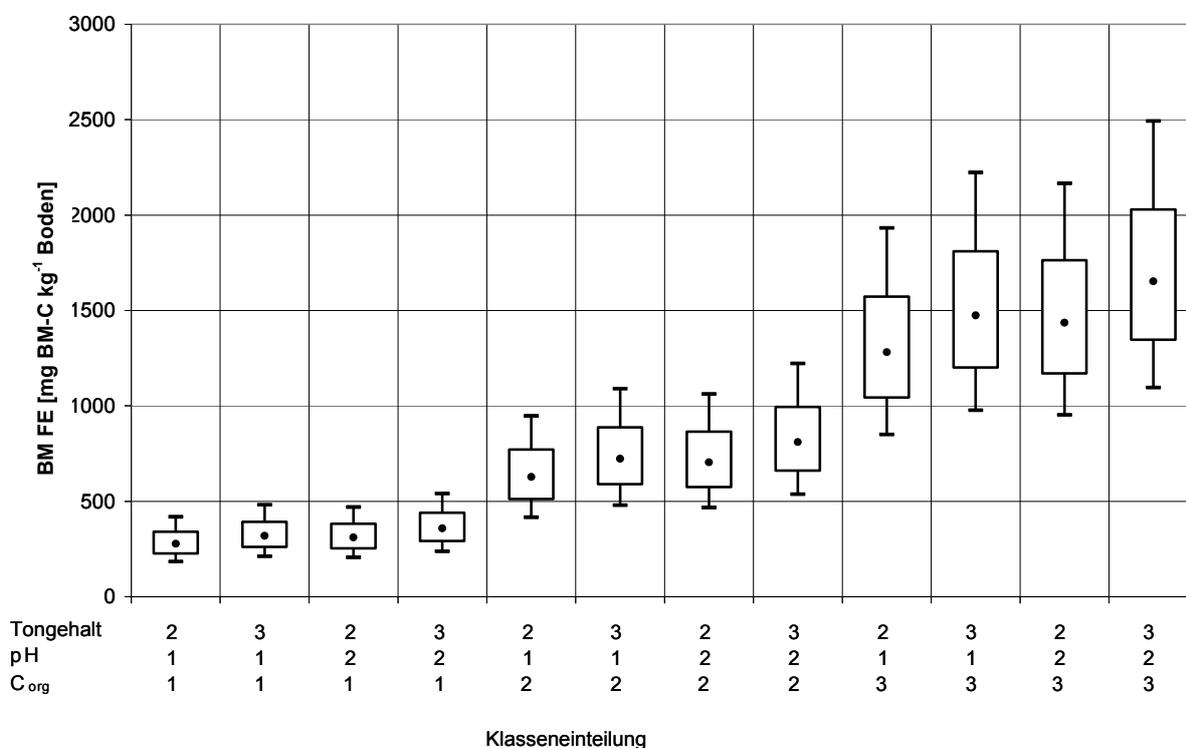


Abbildung 3: Referenzwert-Diagramm für die **mikrobielle Biomasse FE-C**, Nutzungsform: **Ackerland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

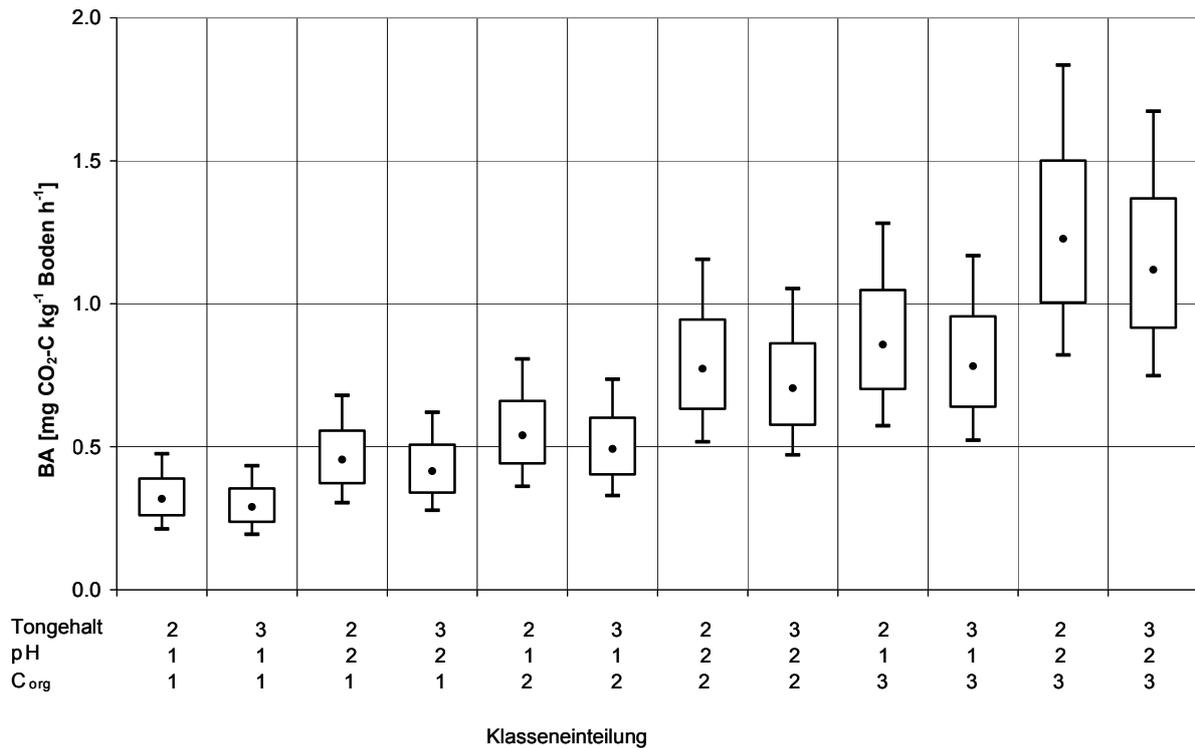


Abbildung 4: Referenzwert-Diagramm für die **Basalatmung**, Nutzungsform: **Ackerland**

Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

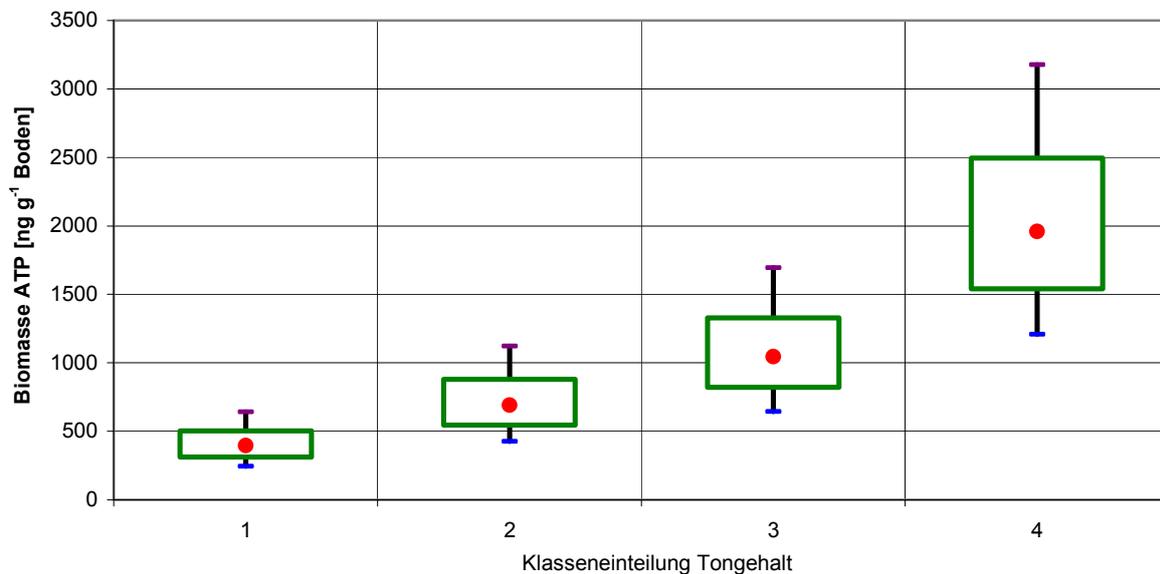


Abbildung 5: Referenzwert-Diagramm für die **mikrobielle Biomasse ATP**, Nutzungsform: **Ackerland**

Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

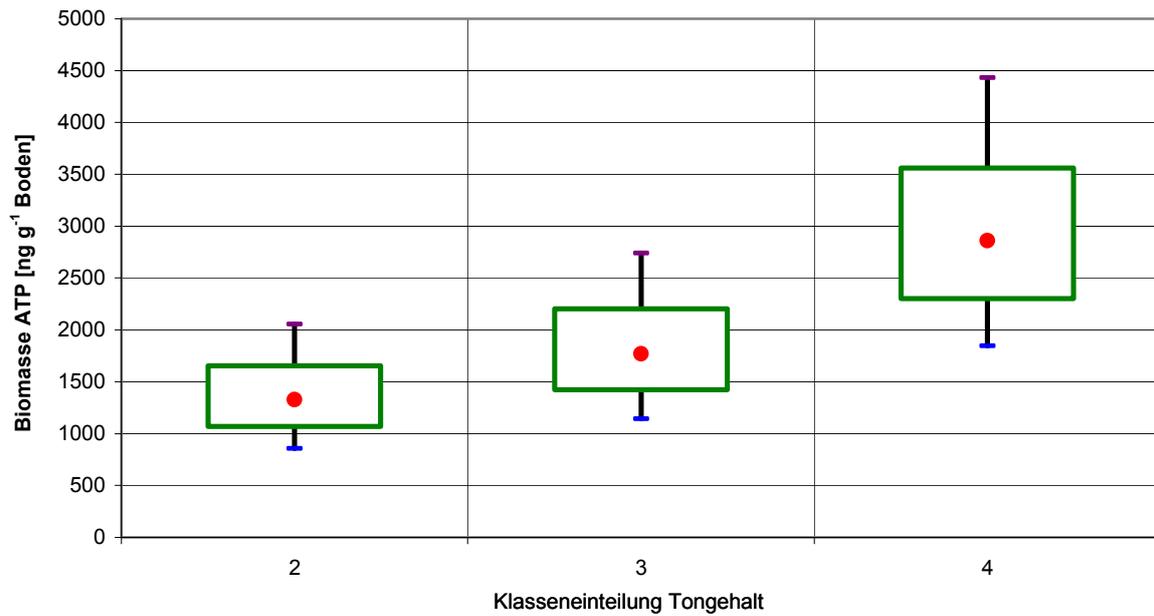


Abbildung 6: Referenzwert-Diagramm für die **mikrobielle Biomasse ATP**, Nutzungsform: **Grünland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

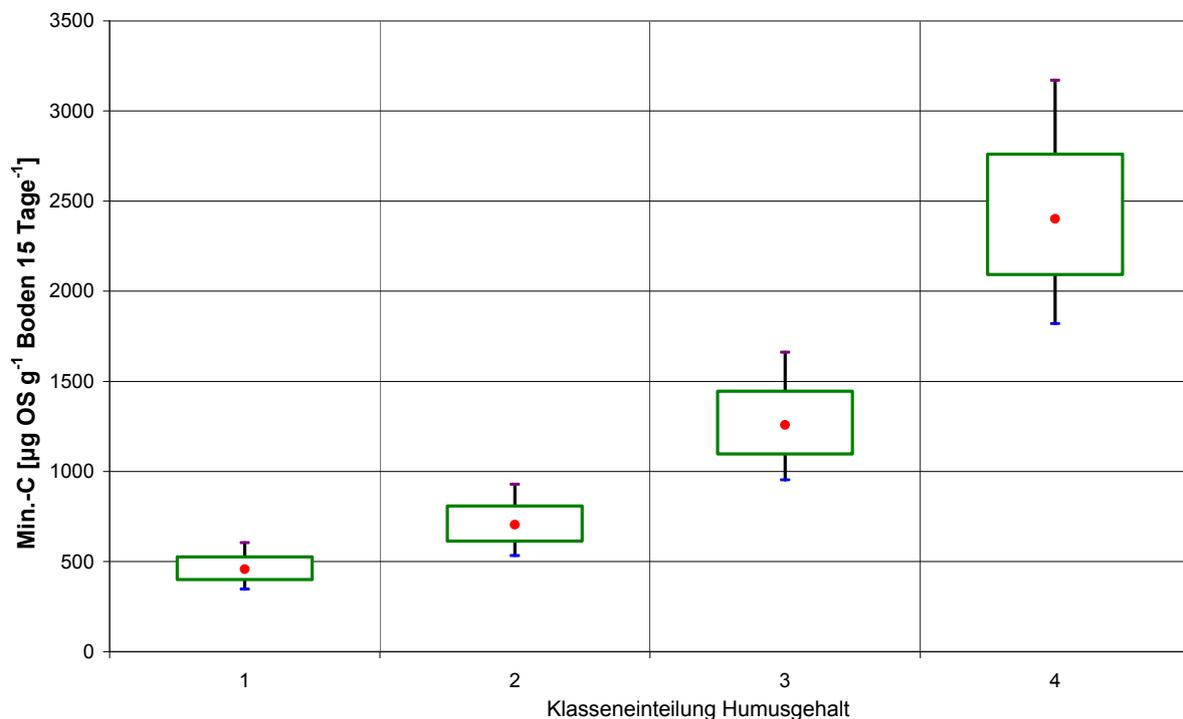


Abbildung 7: Referenzwert-Diagramm für die **Kohlenstoffmineralisierung**, Nutzungsform: **Ackerland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

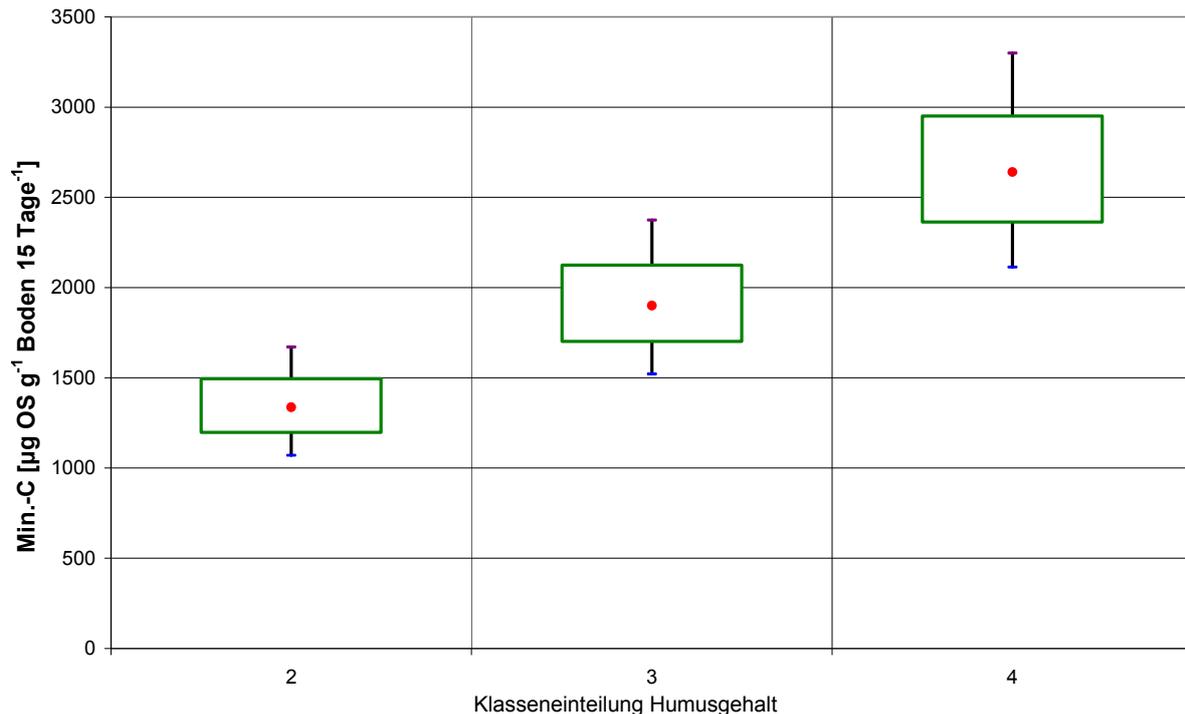


Abbildung 8: Referenzwert-Diagramm für die **Kohlenstoffmineralisierung**, Nutzungsform: **Grünland**
 Legende: Kreis = Referenzwert, Box = 67%-Vertrauensbereich des Referenzwertes, Whisker = 95%-Vertrauensbereich des Referenzwertes.

4.4.2 Mykorrhiza

Für das Mykorrhiza-Infektionspotential gibt es derzeit keine Referenzwerte.

4.4.3 Faunistische Parameter

Für die Regenwurm-Population gibt es derzeit keine Referenzwerte.

5 Gesamtbeurteilung eines Standortes

Die Erhebung bodenbiologischer Parameter erlaubt es, einen Boden hinsichtlich seines biologischen Zustandes zu charakterisieren. Bei der Interpretation dieser Parameter muss beachtet werden, dass chemische und physikalische Bodeneigenschaften sowie die Bodenbewirtschaftung die Bodenlebewesen in ihrer Artenzusammensetzung und Aktivität beeinflussen. Daher setzt die Interpretation der bodenbiologischen Parameter wie auch die Gesamtbeurteilung der Bodenfruchtbarkeit eines Standortes und allenfalls daraus abgeleiteter erforderlicher Massnahmen den Miteinbezug chemischer, physikalischer und agronomischer Aspekte voraus. Erst diese Gesamtschau ermöglicht es, die Situation eines Standortes als Ganzes zu erfassen und zu bewerten sowie notwendige Massnahmen breit abgestützt zu formulieren.

Die vorliegende Arbeitshilfe für den Bereich Bodenbiologie ergänzt in diesem Sinne die chemischen Richtwerte der VBBo, die physikalischen Richtwertvorschläge (BGS 2004) und die Vollzugshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen (erscheint 2009).

6 Literaturverzeichnis

- Anderson T.-H., Domsch K.H., 1989: Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 471-479.
- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB), 1999: Bodenbiologie und Bodenschutz. Frick/Bern. Groupe de travail biologie du sol – application (BSA), 1999: La biologie du sol et la protection des sols. Frick/Berne.
- Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, 2004: Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. LmZ, Zollikofen.
- Brunner J., Jäggi F., Nievergelt J., Peyer K., 1997: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, Kartieranleitung. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich.
- Brunner T., Oberholzer H.-R., Bosshard C., Mäder P., 1999: Bodenzustand und Mineralstoffgehalt von Winterweizen auf Biobetrieben in Abhängigkeit von der Umstellungszeit auf biologischen Landbau, Teilprojekt Bodenmikrobiologie. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick.
- BUWAL und Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 1991: Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Cuendet G., Stähli R., Suter E., 1997: Die Regenwurm-Fauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes, Synthesebericht. / Peuplements lombriciens des prairies permanentes du plateau suisse – rapport de synthèse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 291 Boden, BUWAL.
- Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL (Hrsg.), 1997: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden (Kartieranleitung). Zürich-Reckenholz.
- Eidg. Forschungsanstalten Agroscope ART ACW, 1996: Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten der Agroscope. Band 2 (jährlich aktualisiert). Bezug: Forschungsanstalt ART, Reckenholz-Zürich.
- Mäder, P., Nowack, K., Alföldi, T. 1994: Literaturstudie zur Wahl der Methode für die Schätzung der mikrobiellen Biomasse im Boden sowie zur zeitlichen und räumlichen Variabilität der mikrobiellen Biomasse, der Bodenatmung und des Zelluloseabbaus. Oberwil.
- Oberholzer H-R., Rek J., Weisskopf P., Walther U. 1999: Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. *Agribiological Research* 52 (2): 113-125.
- Oberholzer, H., Scheid, S., Schwab, P., Bonvicini, A., Müller, S., Brunner, H., 2006: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften – Pilotprojekt LAZBO – Teil 3 Bodenmikrobiologische Untersuchungen. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich. 83 pp.
- Oberholzer H-R., Scheid S., 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Oberholzer H-R., unveröffentlicht: Adresse des Autors: Oberholzer Hans-Rudolf, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich-Reckenholz. E-Mail: hansrudolf.oberholzer@art.admin.ch.
- Rossier N., Dessureault-Rompré J., 2003: Evolution des paramètres biologiques des sols agricoles fribourgeois; FRIBO Réseau d'observation des sols agricoles 1987 – 2001. Institut agricole de l'Etat de Fribourg, Posieux.
- Rossier, N., Altermath, J., Niggli, T., 2007: FRIBO. Réseau fribourgeois d'observation des sols. 1997-2006. Institut agricole de l'Etat de Fribourg, Posieux.
- Schwab, P., Weisskopf, P., Oberholzer, H., Scheid, S., Berli, M., 2006: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften – Pilotprojekt LAZBO – Teil 4 Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich. 27 pp.
- Schweizerische Eidgenossenschaft: Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998 (Stand am 1. Juli 2008). SR-Nummer 814.12. Bern
- Von Lützw M., Leifeld J., Kainz M., Kögel-Knabner I., Munch J.C., 2002: Indications for soil organic matter quality in soils under different management. *Geoderma* 105: 243-258.

7 ANHANG

Die Tabellen dieses Anhangs enthalten die den Referenzwert-Diagrammen (Kapitel 4.4.1, Abbildungen 1-4) zu Grunde liegenden, mit Hilfe der jeweiligen Regressionsgleichung (Kapitel 4.4.1) berechneten Werte. (Datengrundlage für Tabellen A1 bis A4: Oberholzer et al., 1999: Untersuchungen der FAL zur Definition typischer Bereiche bodenmikrobiologischer Kennwerte in Abhängigkeit von chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften. Oberholzer et al., 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte: Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Datengrundlage für Tabellen A5 bis A8: Rossier et al., 2007: FRIBO: Réseau fribourgeois d'observation des sols.)

Tabelle A1: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%-Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Mikrobielle Biomasse SIR**, Nutzungsform: **Ackerland**.

Klasse	C _{org} [%]	pH-Wert (CaCl ₂)	Ton [%]	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)
				Ackerland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
				[mg BM-C kg ⁻¹ Boden]				
112	< 1.2	< 6.7	10-30	226	157	188	272	327
113			> 30	267	185	222	320	385
122		> 6.7	10-30	299	207	249	359	431
123			> 30	352	244	293	423	508
212	1.2 - 2.9	< 6.7	10-30	455	315	379	546	657
213			> 30	536	371	446	644	774
222		> 6.7	10-30	600	416	500	721	867
223			> 30	707	490	589	850	1021
312	3.0 - 5.9	< 6.7	10-30	836	579	696	1005	1207
313			> 30	985	682	820	1183	1422
322		> 6.7	10-30	1104	765	919	1326	1593
323			> 30	1300	901	1082	1562	1877

Tabelle A2: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Mikrobielle Biomasse SIR**, Nutzungsform: **Grünland**.

Klasse	C _{org} [%]	pH-Wert (CaCl ₂)	Ton [%]	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)	BM(SIR)
				Grünland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
				[mg BM-C kg ⁻¹ Boden]				
112	< 1.2	< 6.7	10-30	290	190	235	358	442
113			> 30	326	214	264	403	497
122		> 6.7	10-30	484	317	392	598	738
123			> 30	544	357	441	672	831
212	1.2 - 2.9	< 6.7	10-30	630	413	510	778	961
213			> 30	708	464	573	875	1081
222		> 6.7	10-30	1051	689	851	1299	1604
223			> 30	1182	775	957	1461	1805
312	3.0 - 5.9	< 6.7	10-30	1240	812	1003	1531	1892
313			> 30	1394	913	1128	1722	2128
322		> 6.7	10-30	2070	1356	1675	2557	3159
323			> 30	2328	1525	1884	2876	3553

Tabelle A3: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Mikrobielle Biomasse FE-C**, Nutzungsform: **Ackerland**.

Klasse	C _{org} [%]	pH-Wert (CaCl ₂)	Ton [%]	BM(FE-C)	BM(FE-C)	BM(FE-C)	BM(FE-C)	BM(FE-C)
				Ackerland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
				[mg BM-C kg ⁻¹ Boden]				
112	< 1.2	< 6.7	10-30	278	184	226	341	419
113			> 30	320	212	260	392	482
122		> 6.7	10-30	311	206	254	382	470
123			> 30	358	238	292	440	540
212	1.2 - 2.9	< 6.7	10-30	628	417	512	772	947
213			> 30	723	479	589	888	1090
222		> 6.7	10-30	704	467	574	865	1062
223			> 30	810	537	660	995	1222
312	3.0 - 5.9	< 6.7	10-30	1281	850	1043	1573	1932
313			> 30	1474	978	1201	1810	2223
322		> 6.7	10-30	1436	952	1170	1764	2166
323			> 30	1653	1096	1346	2030	2492

Tabelle A4: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Basalatmung CO₂**, Nutzungsform: **Ackerland**.

Klasse	C _{org} % [%]	pH-Wert (CaCl ₂)	Ton % [%]	BA CO ₂	BA CO ₂	BA CO ₂	BA CO ₂	BA CO ₂
				Ackerland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
				[mg CO ₂ -C kg ⁻¹ Boden h ⁻¹]				
112	< 1.2	< 6.7	10-30	0.318	0.213	0.260	0.389	0.475
113			> 30	0.290	0.194	0.237	0.354	0.433
122		> 6.7	10-30	0.455	0.304	0.372	0.556	0.680
123			> 30	0.415	0.278	0.339	0.507	0.620
212	1.2 - 2.9	< 6.7	10-30	0.540	0.361	0.442	0.660	0.807
213			> 30	0.492	0.329	0.403	0.602	0.736
222		> 6.7	10-30	0.773	0.517	0.632	0.945	1.155
223			> 30	0.705	0.471	0.576	0.862	1.053
312	3.0 - 5.9	< 6.7	10-30	0.857	0.574	0.701	1.048	1.282
313			> 30	0.782	0.523	0.639	0.956	1.169
322		> 6.7	10-30	1.227	0.821	1.004	1.501	1.835
323			> 30	1.119	0.749	0.915	1.368	1.673

Tabelle A5: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Mikrobielle Biomasse ATP**, Nutzungsform: **Ackerland**.

Klasse	Ton	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)
		Ackerland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
[%]		[ng ATP g ⁻¹ Boden]				
1	0 - 10	395	244	310	504	641
2	10 - 20	691	426	543	880	1121
3	20 - 30	1044	644	820	1330	1694
4	> 30	1959	1207	1538	2495	3178

Tabelle A6: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Mikrobielle Biomasse ATP**, Nutzungsform: **Grünland**.

Klasse	Ton %	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)	BM (ATP)
		Grünland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
[%]		[ng ATP g ⁻¹ Boden]				
2	10 - 20	1328	857	1067	1653	2057
3	20 - 30	1769	1142	1421	2202	2741
4	> 30	2860	1846	2298	3561	4431

Tabelle A7: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Kohlenstoffmineralisierung**, Nutzungsform: **Ackerland**.

Klasse	Humus	Min.-C	Min.-C	Min.-C	Min.-C	Min.-C
		Ackerland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
[%]		[µg OS g ⁻¹ Boden 15 Tage ⁻¹]				
1	< 2	458	347	398	526	604
2	2 – 4.9	704	533	613	808	929
3	5.0 – 9.9	1258	953	1095	1445	1661
4	10 – 19.9	2402	1820	2091	2759	3170

Tabelle A8: Tabellarische Zusammenstellung von Referenzwert, 67%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes und 95%- Vertrauensgrenzen (VG) des Referenzwertes für definierte Bodenklassen, für die **Kohlenstoffmineralisierung**, Nutzungsform: **Grünland**.

Klasse	Humus	Min.-C	Min.-C	Min.-C	Min.-C	Min.-C
		Grünland	untere VG 95%	untere VG 67%	obere VG 67%	obere VG 95%
[%]		[µg OS g ⁻¹ Boden 15 Tage ⁻¹]				
2	2 – 4.9	1337	1070	1196	1495	1670
3	5.0 – 9.9	1900	1521	1700	2124	2374
4	10 – 19.9	2640	2114	2362	2951	3298