

Dauerbeobachtung Bodenmikrobiologie: Das Mikrobiom in den Aargauer Böden

Annette den Boer | Matthias Hunziker | Gruner AG
Im Auftrag der Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Unsere Böden erfüllen wichtige Funktionen wie die Regulierung des Wasserkreislaufes sowie die Filterung von Schadstoffen und anderen Substanzen. Zugleich bilden sie die Grundlage für die Landwirtschaft als Nahrungsmittelproduktion und bieten Lebensraum für eine grosse Vielfalt an Lebewesen. Um zu beurteilen, ob die Bodenfunktionen langfristig erhalten bleiben, sind Informationen über den Zustand und die Entwicklung der Böden notwendig – auch betreffend Bodenbiologie.



Foto: Eckhard Völcker / www.penard.de

Amöben gehören zur Mikrofauna. Eine Amoeba proteus schliesst hier mit ihren «Scheinfüsschen» ein Pflanzenstück in eine Nahrungsvakuole ein.

Der Boden ist durchsetzt mit einer Menge von Organismen. Unter einem Quadratmeter Bodenoberfläche finden sich nicht nur Wirbeltiere wie Maulwürfe und Mäuse, sondern auch Dutzende bis Hunderte von Regenwürmern, Tausendfüsslern, Asseln, Spinnen, Insektenlarven, Schnecken und Käfer. Die Mesofauna – dazu zählen Kleinringelwürmer, Bärtierchen, Rädertierchen, Milben, Springschwänze und Fadenwürmer – ist mit vielen Tausend Individuen vertreten. Mikroorganismen, bestehend aus der Mik-

rofauna (beispielsweise Amöben und Flagellaten) und der Mikroflora (Bakterien, Pilze und Algen), kommen in Milliarden bis Billionen vor und machen 80 bis 90 Prozent der Bodenbiomasse aus. All diese Bodenorganismen tragen ihren Teil zur Funktionalität eines Bodenökosystems bei und sind an verschiedenen Bodenfunktionen beteiligt:

- Gemeinsam können sie nahezu alle organischen Verbindungen ab- oder umbauen. Daraus resultiert die Nährstoffverfügbarkeit im Boden.

- Sie lockern und durchmischen den Boden (Bioturbation) und bilden so das Bodengefüge mit.
- Sie können Schadstoffe wie Mineralölkohlenwasserstoffe oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (organische Schadstoffe) durch teilweise oder vollständige Umwandlung abbauen.
- Sie bilden hochmolekulare Stoffe (Huminstoffe), die für die Bindung von Nähr- und Schadstoffen von Bedeutung sind.
- Sie beeinflussen die Sauerstoffversorgung im Boden und die damit verbundenen Prozesse.

Aufgrund dieser Schlüsselfunktionen für die Bodenfruchtbarkeit misst der Kanton Aargau im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung (KABO) seit 2005 neben Bodeneigenschaften und Schadstoffen zusätzlich mikrobiologische Parameter an ausgewählten Standorten. Über dieses Monitoring erschien im November 2015 bereits eine Auswertung der Ergebnisse der ersten 10 Jahre (UMWELT AARGAU, Sondernummer 45, November 2015, Seiten 11 bis 15).

Bodenbiologische Parameter können Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit aufzeigen. Denn Vorkommen, Diversität und Aktivität der Bodenlebewesen werden durch Veränderungen der chemischen und physikalischen Bodenverhältnisse beeinflusst. So können mithilfe von langjährigen bodenbiologischen Messreihen mögliche Ungleichgewichte und störende Einflüsse im Boden erkannt und untersucht werden.

Untersuchungsmethoden und Resultate

An ausgewählten Standorten wird in regelmässigen Abständen im Frühling vor dem Start der Vegetationszeit und vor der ersten Düngergabe der Oberboden beprobt. Im Jahr 2020 erfolgte

die Beprobung der Böden aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht. Per Definition beträgt die Beprobungstiefe im Kanton Aargau bei Grünlandstandorten 0 bis 10 Zentimeter und bei Ackerstandorten 0 bis 20 Zentimeter. Pro Standort und Jahr werden drei bis vier Mischproben generiert und von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART analysiert. Dabei werden die mikrobielle Biomasse und die Basalatmung gemessen. Im Anschluss wird der metabolische Quotient berechnet.

Die Messresultate werden zur Beurteilung mit Erfahrungswerten verglichen, die aus früheren Studien resultieren und für die Nutzungsformen Acker und extensives Grünland für Schweizer Mittellandböden (400 bis 800 Meter über Meer) herangezogen werden können. Die Vergleichswerte ermöglichen eine erste grobe Einordnung mikrobiologischer Daten der Aargauer Standorte im nationalen Vergleich.

Vergleicht man die Resultate der Aargauer Böden über die Nutzungsformen hinweg, erkennt man ein generelles Muster. Die Böden der überwachten Grünlandstandorte weisen die höchsten Gehalte an mikrobieller Biomasse wie auch die höchste Basalatemungsaktivität auf. Bei den Ackerböden

Begriffe

Mikrobielle Biomasse: Die mikrobielle Biomasse ist ein Mass zur Beschreibung des Belebtheits- und Aktivitätszustandes des Bodens. Die Grösse des mikrobiellen Biomassepools ist von verschiedenen Umweltfaktoren abhängig (Klima, Bodeneigenschaften, Bodennutzung und -bewirtschaftung). Die Menge an Mikroorganismen ist eine wichtige Kenngrösse des Bodens, da diese Organismen sowohl für die Abbauleistung des betreffenden Bodens ausschlaggebend sind als auch einen Pool von schnell umsetzbaren Nährstoffen darstellen.

Basalatmung: Analog der menschlichen Atmung entsteht beim Abbau organischer Substanz Kohlenstoffdioxid (CO₂). Das produzierte CO₂ ist ein Mass für die aerobe Atmungsaktivität aller Bodenorganismen. Unter ungestörten Bedingungen stellt sich im Boden ein ökologisches Gleichgewicht zwischen den Organismen und deren Tätigkeit ein. Die Respiration in diesem Zustand wird als Basalatmung bezeichnet. Bei einer Störung des Gleichgewichtes ändert sich die Respiration infolge einer Veränderung der mikrobiellen Biomasse und deren Tätigkeit.

Metabolischer Quotient: Dieser Quotient ist ein Mass für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft und entspricht dem Verhältnis zwischen Basalatmung und mikrobieller Biomasse. Der Quotient ist eine Kenngrösse für den physiologischen Zustand der Mikroorganismen und gibt einen Näherungswert für den Erhaltungsbedarf der mikrobiellen Lebensgemeinschaft eines Bodens an. Je grösser der metabolische Quotient ist, desto mehr Substrat wird zu CO₂ veratmet und desto kleiner ist der Substratanteil, der in die mikrobielle Biomasse eingebaut wird. Hohe Werte weisen darauf hin, dass die mikrobielle Gemeinschaft Stressoren ausgesetzt ist.

und den Naturschutzstandorten mit Oberbodenabtrag sind diese beiden Parameter tendenziell am tiefsten.

Mögliche Erklärungen sind, dass bei Grünlandstandorten im Vergleich zu Ackerstandorten eine höhere Verfüg-

Die acht KABO-Standorte und die drei Naturschutzstandorte mit Oberbodenabtrag («abhumusiert») mit den dazugehörigen Vergleichsflächen

Kürzel	Ortschaft	Nutzung und Bemerkungen	Anzahl Messungen
100Ob	Obermumpf	Ackerland, Biologischer Landbau	15
101He	Hellikon	Ackerland	17
121Gr	Gränichen	Ackerland	15
122Ku	Küttigen	Grünland, Magerwiese	14
153Su	Suhr	Ackerland	16
154Ro	Rohr	Grünland, gemäht	14
156Bö	Bözen	Grünland, intensiv, auch beweidet	15
157Sc	Schinznach	Grünland, Reben	16
301Eh_Ref	Ehrendingen	Grünland, extensiv; Referenz	10
302Eh_abh.	Ehrendingen	Grünland, Oberbodenabtrag im Jahr 2006	10
303Ba_abh.	Baden	Grünland, Oberbodenabtrag im Jahr 2004	15
304Ba_Ref	Baden	Grünland, extensiv; Referenz	15
305Me_abh.	Merenschwand	Grünland, Oberbodenabtrag im Jahr 2008	13
306Ba_Ref	Merenschwand	Grünland, extensiv; Referenz	13

Die Standorte werden nach der Nutzungsform (Ackerbau, Grünland, Naturschutzflächen inkl. Referenzflächen) kategorisiert. Die Naturschutzflächen (Nr. 302, 303 und 305) sind extensive Grünlandstandorte, bei denen der Oberboden abgetragen wurde. Die Standorte Nr. 301, 304 und 306 dienen als Referenzflächen in unmittelbarer Nähe der Naturschutzflächen und wurden zum Zeitpunkt des benachbarten Oberbodenabtrages auf den Naturschutzflächen letztmals umgebrochen.

barkeit an organischem Material für das Mikrobiom vorliegt und Grünlandstandorte bessere Porensystemstrukturen und somit vorteilhaftere Umstände für die aerobe Mikrobiom-Gemeinschaft aufweisen – was wiederum in der messbaren höheren Basalatmung erkennbar ist. Gestörte Porenstrukturen (Bodenverdichtungen durch Befahren) beeinflussen das Mikrobiom, indem das Lebensmilieu durch den reduzierten Wasser- und Gasaustausch verschlechtert wird. Anaerob lebende Mikroorganismen werden vorherrschend und die Stoffwechselvorgänge ändern sich, was einen Einfluss auf die Basalatmung hat. Zudem zeigte kürzlich eine Studie der Universität Zürich auf, dass je mehr Pflanzenschutzmittelrückstände sich im Boden befinden, desto weniger arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze vorhanden sind – diese können 20 bis 30 Prozent der mikrobiellen Biomasse ausmachen. Arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze besiedeln die Wurzeln der meisten

Kulturpflanzen. Das Pflanzenwachstum wird erhöht, indem durch die Präsenz dieser Pilze die Nährstoff- und Wasseraufnahme verbessert wird oder Krankheitserreger und Schädlinge unterdrückt werden.

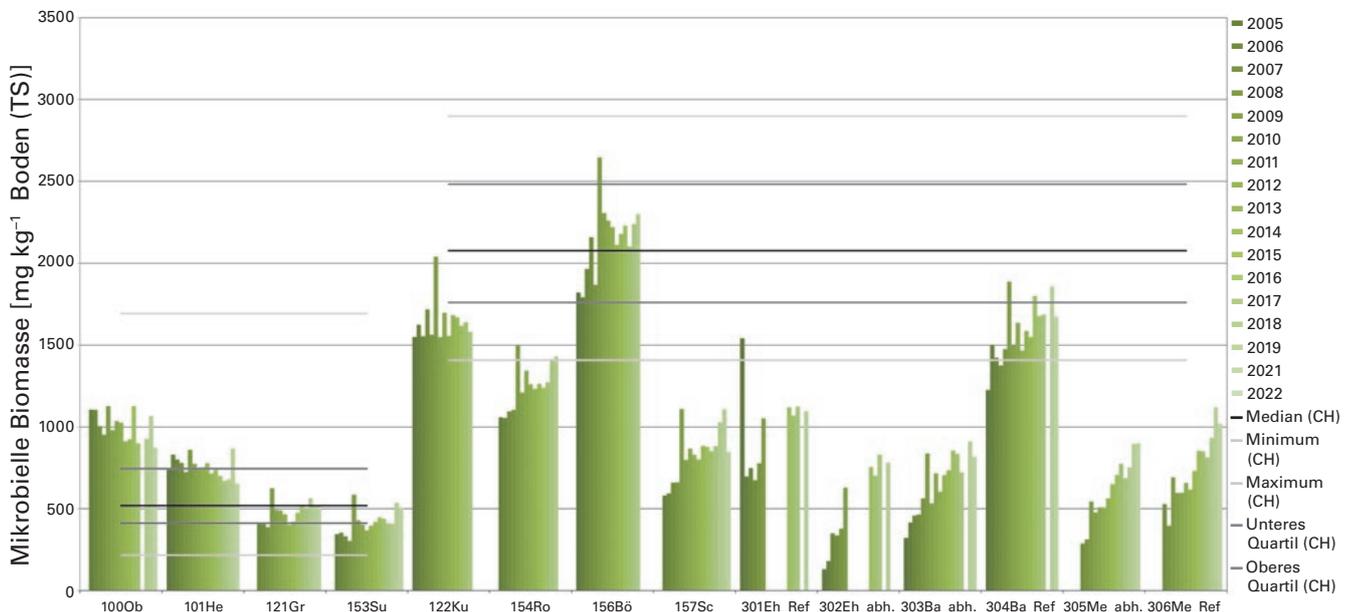
Fazit

Alle bodenbildenden Faktoren inkl. der Nutzung wirken gegenseitig in unterschiedlicher Weise aufeinander ein und bieten den Mikroorganismen verschiedene Lebensbedingungen, was sich in der Menge, der Aktivität und dem Zustand des Mikrobioms messen lässt. Wie die Resultate des Monitorings der vergangenen 17 Jahre zeigen, können bodenbiologische Parameter gut als Indikatoren für die Bodenqualität genutzt werden. So ist gerade nach Veränderungen wie bei den Naturschutzflächen eine Dauerbeobachtung auch hinsichtlich der Bodenbiologie sehr ratsam. Die hochaufgelöste Beprobung aufgrund der hohen Variabilität nach dem Störungs-

ereignis – bis sich die Gleichgewichtszustände eingestellt haben – sollte dabei mitberücksichtigt werden.

Die Untersuchungen zeigen, dass die mikrobiologischen Eigenschaften eines Bodens standortabhängig sind. Um das Verhalten des Mikrobioms und die vielseitigen Wechselwirkungen zu verstehen und basierend darauf Handlungsempfehlungen ableiten zu können, sollten nebst den bereits erhobenen Standortparametern wie pH-Wert, organischer Kohlenstoff- und Tongehalt mitanalysiert und weitere Informationen wie Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur von vorhandenen Bodenmessstationen sowie Informationen zur Bewirtschaftungsweise mitberücksichtigt werden. Zudem weist die Bodenmikrobiologie eine hohe Diversität auf, die durch den Bodenzustand geregelt wird und Einfluss auf die Stoffwechselprozesse und Verfügbarkeiten von Pflanzennährstoffen hat.

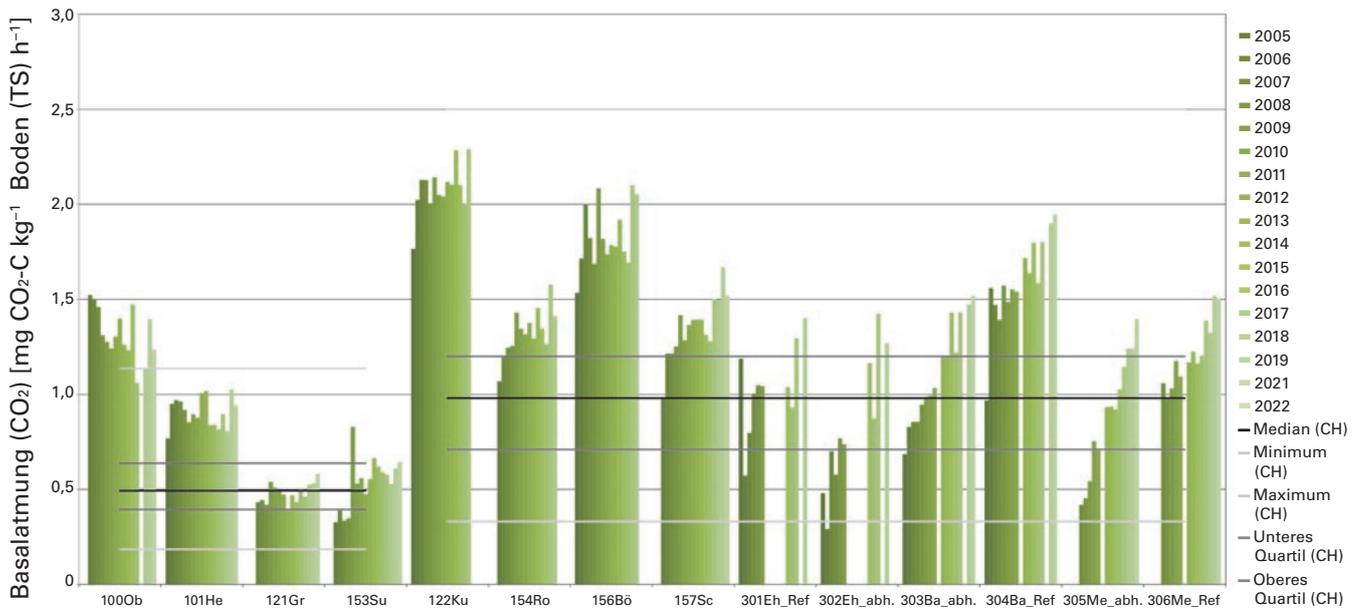
Veränderung der mikrobiellen Biomasse auf Acker- und Grünlandstandorten



mg kg⁻¹ Boden (TS): Milligramm pro Kilogramm Bodentrockensubstanz

Grünlandstandorte weisen in der Regel eine höhere mikrobielle Biomasse auf als Ackerstandorte. Die Werte der mikrobiellen Biomasse der Standorte 154Ro (Grünland, gemäht) und 157Sc (Grünland, Reben) unterschreiten im Vergleich zu den untersuchten Böden im Mittelland den minimalen Erfahrungswert (CH) bei extensiven Grünlandstandorten. Die Zeitreihenwerte an beiden Standorten ähneln jenen für Ackerbaustandorte, was vermuten lässt, dass die intensive Nutzung als Rebberg und regelmässig gemähte Wiese mit diversen Überfahrten und zugeführten Nährstoffeinträgen zu unvorteilhaften Standorteigenschaften für die mikrobielle Biomasse im Vergleich zu anderen Grünlandstandorten führt.

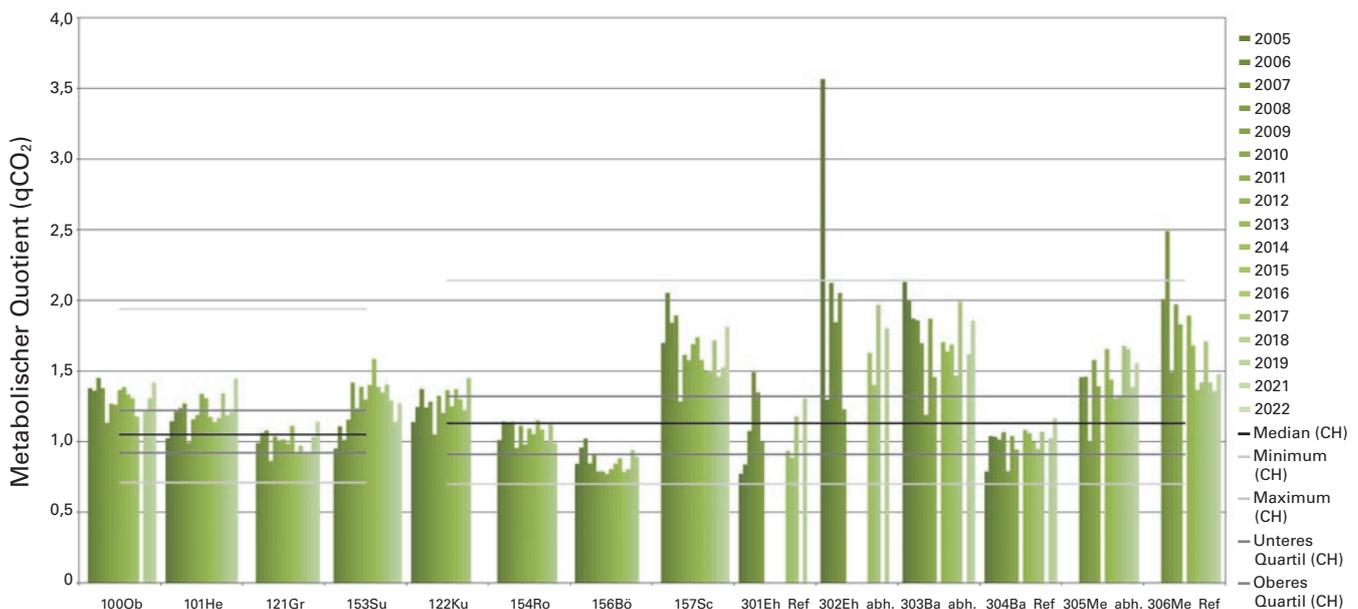
Veränderung der Basalatmung auf Acker- und Grünlandstandorten



mg CO₂-C kg⁻¹ Boden (TS)*h: Milligramm Kohlendioxid pro Kilogramm Bodentrockensubstanz und Stunde

Betreffend Basalatmung sind die Messwerte der Aargauer Böden mit den Schweizer Erfahrungswerten (Median (CH), Minimum (CH) usw.) für Acker- und Grünlandstandorte vergleichbar.

Veränderung des metabolischen Quotienten auf Acker- und Grünlandstandorten



Der metabolische Quotient liegt bei allen Nutzungsformen in den Bereichen der Erfahrungswerte (CH) für Schweizer Mittellandböden, wobei die Variabilität bei den Naturschutzstandorten innerhalb der Zeitreihen wie auch zwischen den Standorten am grössten sind. Hohe Werte des metabolischen Quotienten weisen auf eine Störung des Systems und suboptimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen hin.

Zeitreihen, wie jene über die Bodenmikrobiologie im Kanton Aargau von den vergangenen 17 Jahren, sind von grosser Bedeutung. Trends und Veränderungen – beispielsweise nach Störungsevents oder während Fruchtfolgezyklen – können nur mit Hilfe von

regelmässigen Messungen und über eine längere Zeit erkannt werden. Eine Weiterführung des Monitorings steigert diesen Wert und ist Bestandteil der Überwachung der Bodenfruchtbarkeit hinsichtlich der Bodenbiologie. Zusätzlich können auch die

Auswirkungen von menschgemachten Veränderungen im Landschaftshaushalt (Stichworte wie Klimalandschaften, Vernässungen, Humusaufbau, Gründüngungen) auf die Bodenmikrobiologie und deren Veränderung beurteilt werden.