

# 10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring

Dominik Mösch, Matthias Hunziker | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

**Der Boden ist durchsetzt mit einer Menge von Organismen. Sie sind Teil des Bodenökosystems und leisten wertvolle Arbeit. Im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung führt die Abteilung für Umwelt seit 2005 an ausgewählten Standorten im Kanton bodenmikrobiologische Untersuchungen durch. Die Resultate zeigen den Einfluss von Bodennutzung und abiotischen Bodeneigenschaften auf das Vorkommen und die Aktivität der Bodenmikroorganismen. Umgekehrt kann die Bodenbiologie als Indikator für Veränderungen im Boden herangezogen werden.**

Boden ist ein vielfältiger Lebensraum für viele Lebewesen. So leben unter einem Quadratmeter Bodenoberfläche, neben Wirbeltieren wie Maulwürfen oder Mäusen, Dutzende bis Hunderte Regenwürmer, Tausendfüssler, Asseln, Spinnen, Insektenlarven, Schnecken und Käfer. Die Mesofauna – dazu zählen Kleinringelwürmer, Bärtierchen, Rädertierchen, Milben, Springschwänze und Fadenwürmer – kommt mit vielen Tausend Individuen vor. Die Mikroorganismen, beste-

hend aus der Mikrofauna (beispielsweise Amöben und Flagellaten) und der Mikroflora (Bakterien, Pilze und Algen), sind zu Milliarden bis Billionen vertreten und machen dabei 80 bis 90 Prozent der Bodenbiomasse aus.

Der Boden als Teil des Ökosystems erfüllt wichtige Funktionen. Viele dieser Ökosystemleistungen stehen im direkten Zusammenhang mit den Bodenlebewesen. So sind sie massgeblich an folgenden Bodenfunktionen beteiligt:

1. Gemeinsam können sie nahezu alle organischen Verbindungen ab- oder umbauen. Daraus resultiert die Nährstoffverfügbarkeit im Boden.
2. Sie durchwühlen und durchmischen den Boden (Bioturbation) und bilden so das Bodengefüge mit.
3. Sie können Schadstoffe wie Mineralölkohlenwasserstoffe oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (organische Schadstoffe) durch eine teilweise oder vollständige Umwandlung abbauen.
4. Sie bilden hochmolekulare Stoffe (Huminstoffe), die für die Nähr- und Schadstoffbindung von Bedeutung sind.
5. Sie beeinflussen die Sauerstoffversorgung im Boden und die damit verbundenen Prozesse.

Die Auflistung zeigt, dass die Bodenlebewesen für die Bodenfruchtbarkeit essentiell sind. Im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung (KABO) werden seit zehn Jahren bodenmikrobiologische Parameter an ausgewählten Standorten jährlich gemessen. Die Hintergründe der bodenbiologischen Messungen im Kanton Aargau und die Ergebnisse der ersten drei Messjahre wurden im UMWELT AARGAU Nr. 46, November 2009, Seite 21 bis 24, ausführlich beschrieben.

## **Bodenbiologische Parameter als Indikatoren der Bodenqualität**

Der Boden – als Lebensraum der Bodenorganismen – wird auf natürliche Weise und durch menschliches Handeln durch chemische, physikalische und biologische Einflüsse gebildet und verändert. Diese widerspiegeln sich in Vorkommen, Diversität und Aktivität der Bodenlebewesen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Bodenorganismen sensibel auf Veränderungen ihrer Umwelt reagieren. Aus diesem Grund können sie als Indikatoren für die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit genutzt werden. Langjährige bodenbiologische Untersuchungen liefern zudem frühzeitig Hinweise auf schädliche Veränderungen im Boden.



Foto: Eckhard Völcker / www.penard.de

*Eine Amöbe (Amoeba proteus) als Vertreterin der Mikrofauna. Als gefräßiger Einzeller umschliesst sie mit ihren «Scheinfüsschen» ihre Beute (hier ein Pflanzenstück) und schliesst sie in eine kreisförmige Nahrungsvakuole ein.*

## 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 (CO<sub>2</sub>). Das produzierte CO<sub>2</sub> 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.

**Metabolischer Quotient:** Dieser Quotient ist ein Mass für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft und entspricht dem Verhältnis zwischen Basalatmung und mikrobieller Biomasse, die mit der substratinduzierten Respirationmethode (BM-SIR) gemessen wurde. Der Quotient ist eine Kenngrösse für den physiologischen Zustand der Mikroorganismen und gibt einen Näherungswert für den Erhaltungsbedarf der Mikrobenlebensgemeinschaft eines Bodens an. Je grösser der metabolische Quotient ist, desto mehr Substrat wird zu CO<sub>2</sub> veratmet und desto kleiner ist der Substratanteil, der in die mikrobielle Biomasse eingebaut wird.

## Untersuchungsmethoden

An ausgewählten Standorten wird jährlich im Frühling vor dem Start der Vegetationszeit und vor der ersten Düngergabe der Oberboden beprobt. Per Definition beträgt die Beprobungstiefe bei Grünlandstandorten 0 bis 10 Zentimeter und bei Ackerstandorten 0 bis 20 Zentimeter. Die vier Mischproben pro Standort werden von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART analysiert. Dabei werden die mikrobielle Biomasse, die Basalatmung und der metabolische Quotient bestimmt.

Alle Standorte wurden im Jahr 2006 im Rahmen der KABO-Beprobung übergeordnet beurteilt. Dabei wurden für jeden Standort der Bodenkohlenstoffgehalt, der pH-Wert und die Korngrössenverteilung bestimmt. Auf Basis dieser Parameter und der schweizweit ermittelten Regressionsformel können die mikrobiellen Eigenschaften für die untersuchten Standorte mithilfe von Referenzwerten abgeschätzt werden. Eine Abweichung des Messwertes vom Referenzwert bedeutet, dass andere Standorteigenschaften die Mikrobiologie mitbeeinflussen. Weiter dienen Vergleichswerte aus der Literatur, die auf nationaler Ebene erhoben wurden, zur Bewertung der Resultate der Aargauer Standorte. Die KABO-Standorte werden nach der Nutzungsart (Ackerbau, Grünland) kategorisiert. Die Kategorie «Grünland» enthält zudem noch zwei zusätzliche Standorte (Nr. 303, 305), deren nährstoffreicher Oberboden abgetragen wurde. Sie agieren nun als nährstoffarme Magerstandorte. Die Standorte Nr. 304 und 306 liegen unmittelbar neben den «abhumusierten» Flächen, wurden zum gleichen Zeitpunkt wie die Magerstandorte letztmals umgebrochen und dienen als Vergleichsflächen.

## Resultate

Generell zeigen die Resultate, dass die Werte der mikrobiellen Biomasse und der Basalatmung bei den Grünlandstandorten höher liegen als bei den ackerbaulich genutzten Flächen. Das bedeutet, dass die Abbauleistung und die Umsetzungsraten bei den Grünlandstandorten höher sind. Grund da-

## Die elf KABO-Standorte und die zwei abhumusierten Standorte mit den dazugehörigen Vergleichsflächen

Kürzel	Ortschaft	Nutzung und Bemerkungen	Anzahl Messungen
100Ob	Obermumpf	Ackerland, Bio	9
101He	Hellikon	Ackerland	10
105Me	Merenschwand	Ackerland	7
121Gr	Gränichen	Ackerland mit viel Kunstwiese in der Fruchtfolge	10
122Ku	Küttigen	Grünland, Magerwiese	10
124Ab	Abtwil	Grünland, organischer Boden	7
153Su	Suhr	Ackerland	9
154Ro	Rohr	Grünland, extensiv	9
156Bö	Bözen	Grünland	10
157Sc	Schinznach	Grünland, Reben	9
158Me	Mettau	Ackerland	3
303Ba_abh.	Baden	Grünland, abhumusiert	7
304Ba_Ref.	Baden	Grünland (Referenz), extensiv	7
305Me_abh.	Merenschwand	Grünland, abhumusiert	5
306Me_Ref.	Merenschwand	Grünland (Referenz), extensiv	5

für ist, dass bei Grünlandstandorten der organische Kohlenstoffgehalt naturgemäss höher ist als bei Ackerstandorten. Wenn also die Menge der Nahrungsgrundlage grösser ist, kommen die Mikroorganismen mengenmässig häufiger vor und produzieren dadurch auch mehr CO<sub>2</sub>. Die Resultate der letzten zehn Jahre des metabolischen Quotienten zeigen, dass die Daten der Ackerbaustandorte zwischen den Standorten weniger variieren und tendenziell auf tieferem Niveau liegen als jene der Grünlandstandorte.

Im Vergleich zu den berechneten standortspezifischen Erwartungswerten (Referenzwert) für die Ackerstandorte liegen die gemessenen Werte für die mikrobielle Biomasse und die Basalatmung mit Ausnahme vom Standort Obermumpf (100Ob) generell im statistischen Vertrauensbereich. Der biologische Anbau sowie die günstigen Bodeneigenschaften (guter Kohlenstoffgehalt und pH-Wert) führen beim Standort 100Ob möglicherweise dazu, dass die Messwerte sogar im und über dem Bereich der schweizweit gemessenen Maxima-Werte (Vergleichswerte) liegen.

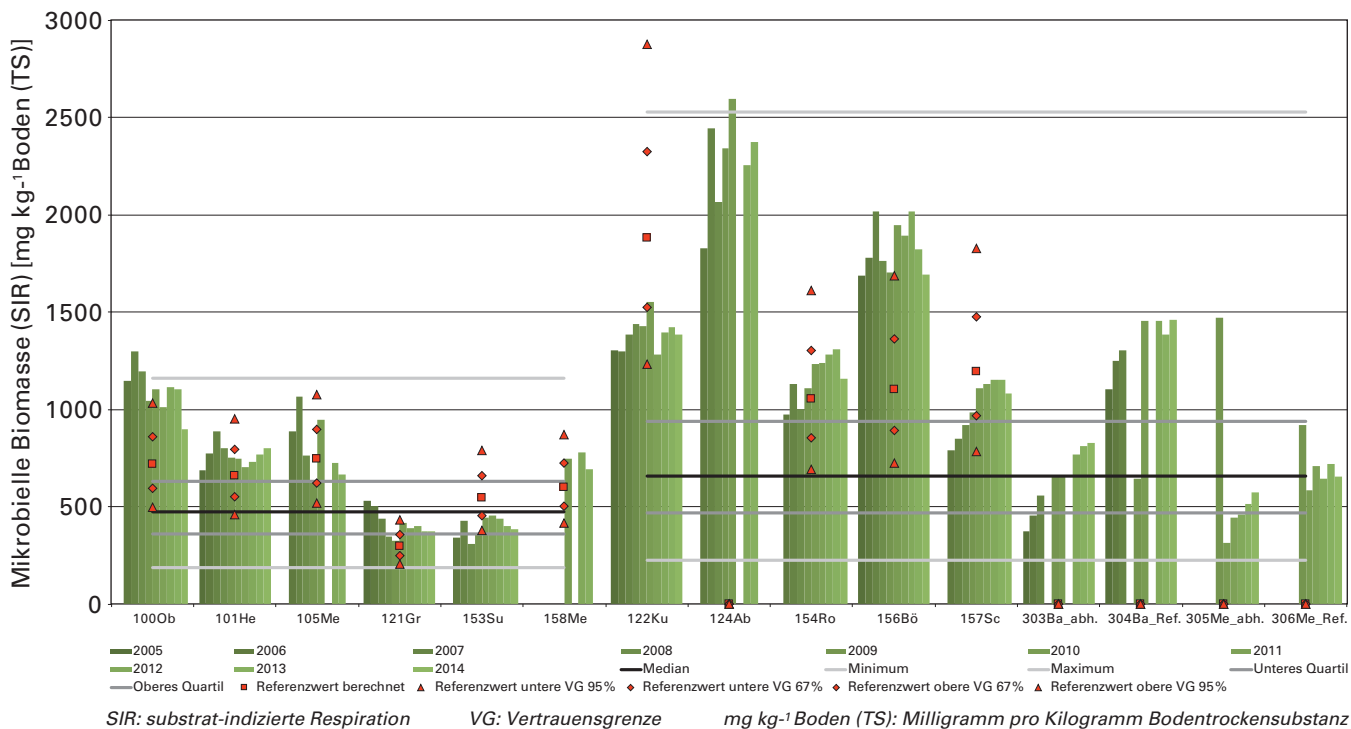
Die Werte der mikrobiellen Biomasse und der Basalatmung von den Grünlandstandorten liegen in den oberen 25 Prozent der Vergleichswerte der Schweiz. Für Grünlandstandorte gibt es im Moment noch keine Referenzwerte, weshalb standortspezifische Erwartungswerte nicht abgeschätzt werden können.

Die Magerwiese von Küttigen (122Ku) ist hinsichtlich des Nährstoffangebots ein Extremstandort. Die Resultate zeigen eine im Vergleich zum standorttypischen Referenzwert tiefe mikrobielle Biomasse und im schweizweiten Vergleich eine überdurchschnittliche Basalatmung auf. Der metabolische Quotient ist während der zehnjährigen Messperiode vergleichsweise hoch. Es scheint, dass die nicht in Massen vorkommenden Mikroorganismen unter diesen äusseren Bedingungen ausharren, dabei eine für sie ungünstige Umsetzungsleistung aufweisen und hinsichtlich des Nährstoffangebots auf bessere Zeiten warten. Denn dann kann die Diversität und Quantität der Mikroorganismen zunehmen und die Stoffwechselprozesse können auf einem besseren Niveau ablaufen.

Von den Ackerbau-Standorten weisen die Flächen Gränichen (121Gr) und Suhr (153Su) die tiefsten Werte bezüglich mikrobieller Biomasse und Basalatmung auf. Die Ergebnisse werden aber durch die standortspezifischen Erwartungswerte bestätigt, wobei der sandige, relativ kohlenstoffarme und schwach saure Standort 121Gr die schlechtesten Bedingungen für die Mikroorganismen darstellt. Beim Standort Gränichen bewegt sich der metabolische Quotient – kaum verändert – im schweizweiten Vergleich um das obere Quartil. Das heisst, er befindet sich im Viertel mit den höchsten Messwerten. Es scheint, dass die Mikroorganismen an diesem Standort nicht die optimalen Lebensbedingungen vorfinden und somit im Vergleich zu anderen Aargauer Ackerstandorten in geringerer Menge vorkommen (mikrobielle Biomasse), im Ganzen weniger aktiv sind (Basalatmung) und ihre Stoffwechsel weniger effizient ablaufen (metabolischer Quotient).

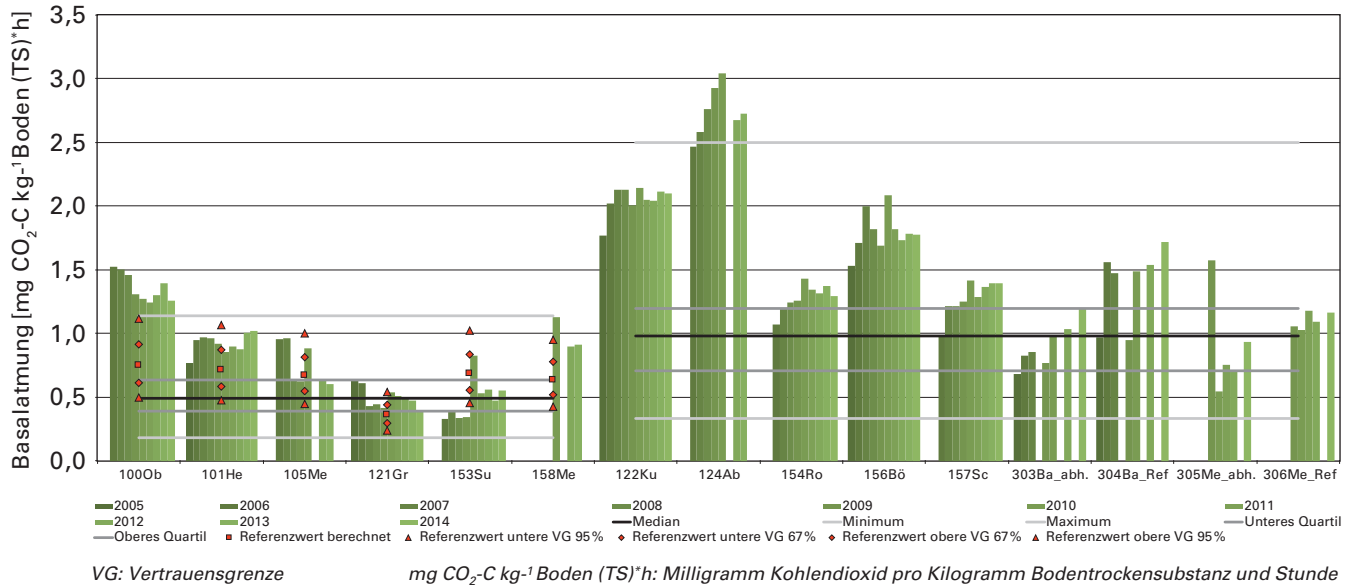
Standort Suhr (153Su) ist ein intensiv genutzter Ackerbaustandort, auf dem Hackfrüchte (beispielsweise Mais) produziert werden. Mehrmaliges Befahr-

### Veränderung der mikrobiellen Biomasse auf Acker- und Grünlandstandorten



Es zeigt sich, dass Grünlandstandorte (rechts) in der Regel eine höhere mikrobielle Biomasse aufweisen als Ackerstandorte (links).

## Veränderung der Basalatmung auf Acker- und Grünlandstandorten



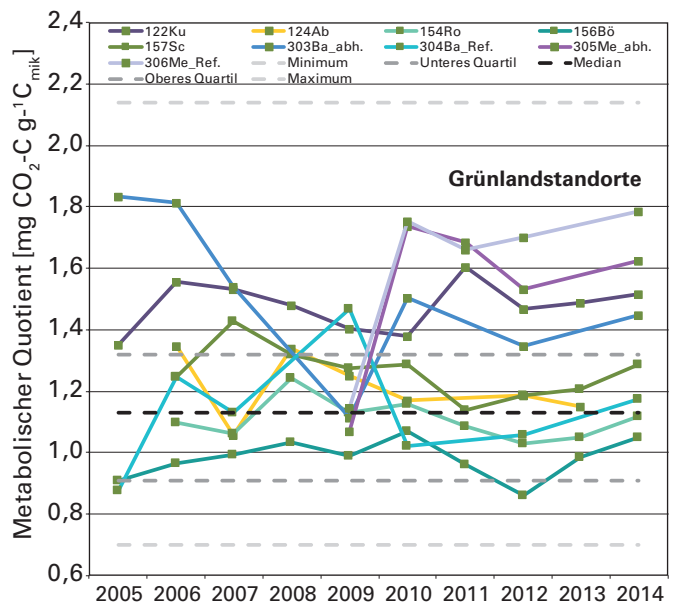
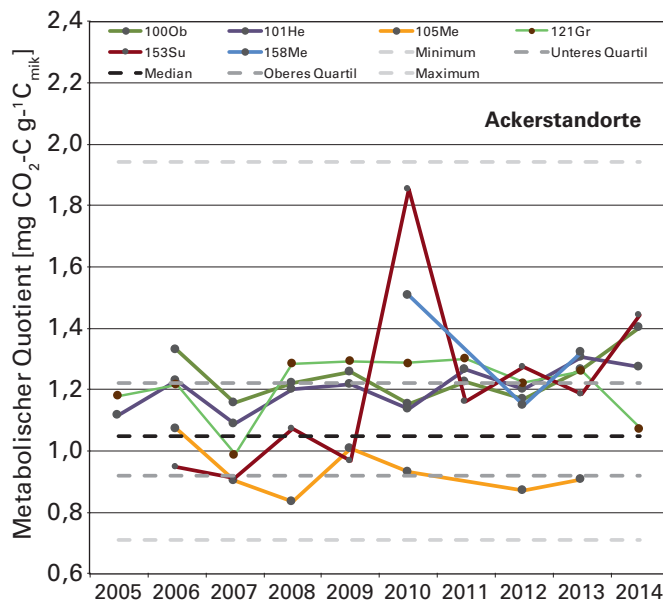
Wenig intensiv bewirtschaftete Flächen weisen oft eine höhere Basalatmung auf (links Ackerstandorte, rechts Grünlandstandorte). Für die Grünlandstandorte existieren bei der Basalatmung keine Referenzwerte.

ren während einem Jahr – auch im Herbst während der Erntezeit – kann zur Schädigung des Bodens führen. Hinsichtlich der mikrobiellen Biomasse liegen die tiefen Messwerte sogar unter dem prognostizierten Erwartungswert. Dieser Standort zeigt als einer der wenigen einen deutlichen Anstieg des metabolischen Quotien-

ten, was vor allem auf die veränderte Basalatmung zurückzuführen ist. Gemäss den untersuchten Parametern scheint dieser Standort bodenbiologisch ungünstig genutzt zu werden. Die höchsten Werte hinsichtlich mikrobieller Biomasse und Basalatmung weist der Standort Abtwil (124Ab) auf. Dies ist mit dem hohen organischen

Gehalt im Boden zu begründen. Die Resultate liegen teilweise über dem maximalen Vergleichswert und ausserhalb der Einsatzgrenze des Referenzwertsystems (grösser 4 Prozent C-Gehalt), weshalb es keine standortspezifischen Abschätzungen für diesen Standort gibt.

## Veränderung des metabolischen Quotienten



$mg\ CO_2-C\ g^{-1}\ C_{mik}$ : Milligramm Kohlendioxid pro Gramm mikrobieller Biomassen-Kohlenstoff

Die braunen Punkte (links Ackerstandorte) und die dunkelgrünen Quadrate (rechts Grünlandstandorte) stellen Jahre mit Messungen dar. Hohe Werte des metabolischen Quotienten weisen auf eine Störung des Systems und suboptimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen hin.

Beide Flächen in Baden (303Ba\_abh., 304Ba\_Ref.), die direkt nebeneinander an einem südostexponierten Hang liegen, zeigen einen Anstieg in der mikrobiellen Biomasse und in der Basalatmung. Der metabolische Quotient zeigt eine Tendenz zur Abnahme bei 303Ba\_abh. und eine Stagnation mit grosser Variabilität bei 304Ba\_Ref. Die bodenbiologischen Parameter weisen demzufolge auf eine Steigerung der mikrobiologischen Aktivität hin, die zu Beginn bedingt durch die Bodenveränderung (Abtrag des Oberbodens bei 303Ba\_abh. resp. Umpflügen der Referenzfläche bei 304Ba\_Ref.) eine weniger effiziente Ausnutzung des organischen Materials verzeichnete. Die beiden Flächen in Baden werden in dieser Broschüre auf den Seiten 53 bis 56 noch detaillierter beschrieben.

Ein Eingriff in das System wie jener der Abhumisierung an den Beispielen Baden (303Ba\_abh.) und Merenschwand (305Me\_abh.) zeigt, dass die Werte der mikrobiellen Biomasse und damit verbunden jene der Basalatmung in den darauffolgenden Jahren ansteigen und sich dem Ausgangswert der Referenzflächen annähern. Weiter weisen die im Vergleich zu den anderen Grünlandstandorten hohen Werte des metabolischen Quotienten auf eine Störung des Systems und folglich auf suboptimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen hin.

### Fazit

Alle bodenbildenden Faktoren wirken gegenseitig in unterschiedlicher Weise aufeinander ein und bieten den Mikroorganismen verschiedene Lebensbedingungen, was sich in der Häufigkeit, der Aktivität und dem Zustand messen lässt. Wie die Resultate des Monitorings der vergangenen 10 Jahre zeigen, können bodenbiologische Parameter gut als Indikatoren für die Bodenqualität herangezogen werden. So ist gerade nach Veränderungen ein Monitoring auch hinsichtlich der Bodenbiologie sehr ratsam. In diesen Situationen sollte aber aufgrund der grösseren Variabilität (wie bei 303Ba\_abh. bis 306Me\_Ref.) eine gut aufgelöste und längere Überwachung gewählt werden, um Fehlinterpretationen vermeiden zu können.

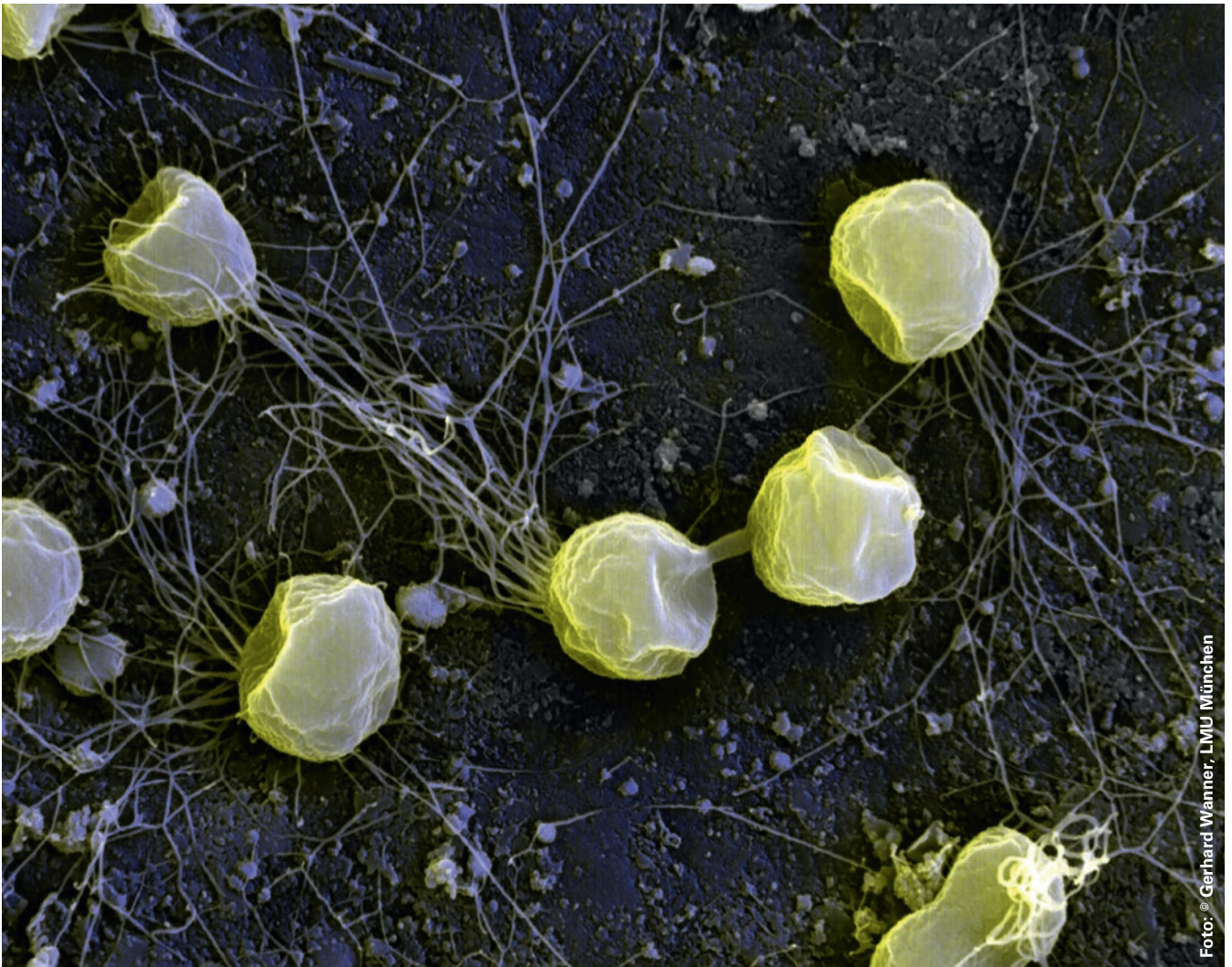


Foto: © Gerhard Wanner, LMU München

Die Archaeen vom Typ *Pyrococcus furiosus* können sich mit ihren Geisseln an festen Oberflächen von Holz, Metallen oder Sand befestigen. Sie wurden erstmals 1986 aus erhitzten Meeressedimenten (90 bis 100 Grad Celsius) am Strand der Insel «Vulcano» in Italien isoliert. Bei ihren Verwandten, den Bodenarchaeen, gelingt dies nur in sehr wenigen Fällen. Sie lassen sich fast nur mittels Gen-Analysen im Bodenmikrobiologie-Pool orten.