

# Mikrobiologische Untersuchungen in Rückegassen

Bodenmikroorganismen wirken als Zeiger für stark verdichtete Fahrspuren

Beat Frey und Peter Lüscher

**Zur Umsetzung des Bodenschutzes fordern sowohl die Praxis als auch Behörden Richtwerte sowie praktikable Methoden, mit denen sich Beeinträchtigungen der Bodenqualität erkennen und vermeiden lassen. Bodenmikroorganismen können mechanische Belastungen des Bodens anzeigen, denn sie erfassen die tatsächlichen Wirkungen vor Ort. Auf Grund der funktionellen Beziehungen zwischen den physikalischen Bodeneigenschaften, den von ihnen beeinflussten Lebensbedingungen sowie der Zusammensetzung von Bakterienpopulationen in Fahrspuren eignen sich Mikroorganismen als Indikatoren für die Bodenqualität.**

Unsere Böden sind im Verlauf von Jahrtausenden entstanden. Zerstört werden sie dagegen sehr viel rascher. Gefahren drohen den Böden heute von verschiedener Seite. Um einen fruchtbaren Boden zu stören, genügt bereits der Raddruck einer schweren Holzerntemaschine, wenn sie auf einem durchnässten Boden eingesetzt wird. Der Schutz unserer Waldböden ist daher wichtig, weil bereits entstandene Beeinträchtigungen nur mit großem Aufwand zu beheben sind.

Die natürliche Regeneration von Böden dauert lange, fruchtbare Böden lassen sich in menschlichen Zeiträumen kaum ersetzen. Ein fruchtbarer Waldboden ist nicht nur das Fundament für ein robustes Baumwachstum und die Produktion von Holz, sondern er übernimmt auch wichtige Funktionen im Naturhaushalt, zum Beispiel als unverzichtbarer Wasserspeicher oder Trinkwasserfilter. Ein gesunder Waldboden bildet auch das größte Reservoir für die biologische Vielfalt im Wald. Ein Gramm Boden enthält bis zu 8.000 verschiedene Mikroorganismen, zwanzigmal so viele wie ein Ackerboden. Eine aktive Bodenmikroflora beeinflusst ganz wesentlich die Stoffkreisläufe und trägt damit zur Vitalität von Waldbeständen bei. Der Verlust dieser Vielfalt zieht folgenreiche Konsequenzen für die Bodenfruchtbarkeit wie den Streuabbau und die Humusbildung nach sich. Viele der äußerst komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen in den Böden, die sich darüber hinaus von Bodentyp zu Bodentyp unterscheiden, werden noch nicht vollständig verstanden. Dies erschwert den Schutz dieser nicht erneuerbaren Ressource erheblich.

## Bodenmikroorganismen als Indikatoren für die Bodenqualität

Seit der Sturmkatastrophe »Lothar« im Dezember 1999 wird auch dem physikalischen Bodenschutz im Wald stärkere Beachtung geschenkt. Die eilig ausgeführten Räumungsarbeiten hinterließen mancherorts beträchtliche Fahrspuren (Abbildung 1), die tiefgreifende und lang anhaltende Veränderungen im Bodengefüge verursachten. Das Zusammenpressen der porösen Bodenkrümel genügt, um die ökologische Funktionalität des Bodens erheblich zu beeinflussen.



Foto: M. Walsler

Abbildung 1: Stark verdichtete Fahrspur mit teilweise schlecht abfließendem Wasser

Zur Umsetzung des Bodenschutzes fordern sowohl die Praxis als auch Behörden Richtwerte sowie einfache praktikable Methoden, mit denen sich Beeinträchtigungen der Bodenfruchtbarkeit erkennen und vermeiden lassen. Zur Charakterisierung der Bodenstrukturstörungen genügen physikalische Parameter nicht. Kenngrößen des Bodenlufthaushaltes sowie biologische Parameter sind ebenso wichtig. Insbesondere gelten heute mikrobiologische Parameter als Indikatoren der Bodenqualität, die kurz-, mittel- und langfristige Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit integrierend anzeigen können. Bodenmikrobiologische Parameter liefern vor allem Informationen über die Wirkungen der chemisch-physikalischen Bodenumwelt auf bodenbiologische Aktivitäten und Prozesse, die auf Grund rein chemisch-physikalischer Analysen des Bodenzustandes nicht zu erkennen sind.

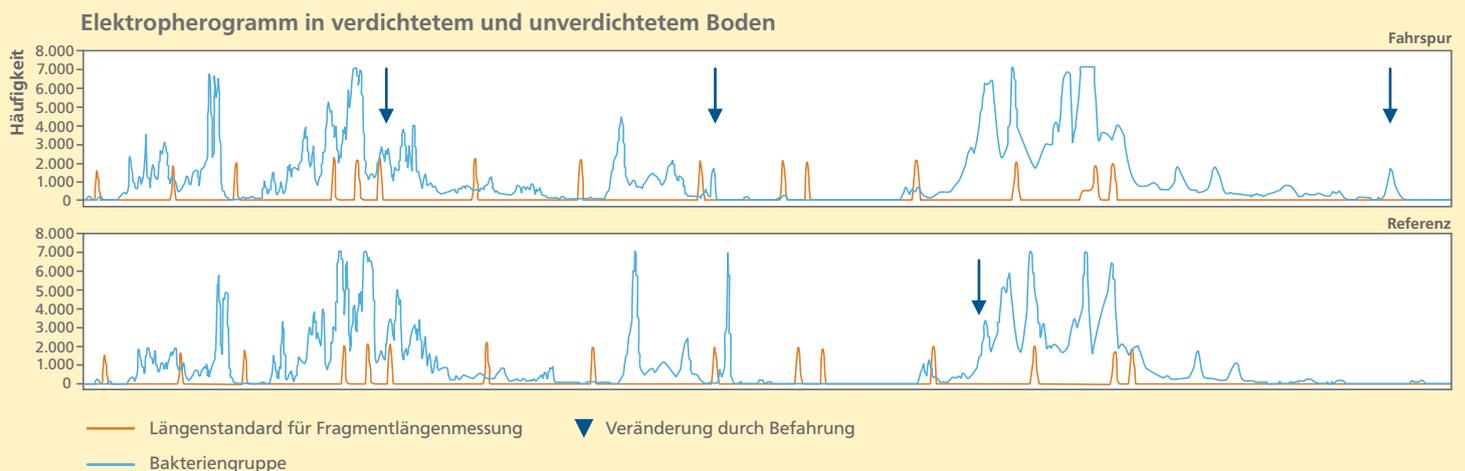


Abbildung 2: Elektropherogramm (T-RFLP Profile) in verdichteten und unverdichteten Böden

Das Ziel unserer Studie ist es, die funktionellen Beziehungen zwischen den physikalischen Bodeneigenschaften, den von ihnen unmittelbar und mittelbar beeinflussten Lebensbedingungen sowie Menge, Aktivität und Zusammensetzung von Bodenmikroorganismen zu untersuchen. Intensive Wechselwirkungen zwischen biologischen, chemischen und physikalischen Prozessen finden im Boden unter anderem über den Gashaushalt statt. Intakter Boden besteht je zur Hälfte aus fester Substanz und aus luft- oder wasserführenden Poren. Ein beschädigtes und eingeschränktes Porensystem verringert die Transportleistung für Wasser und Luft. Die Feinporen sind häufiger mit Wasser gefüllt. Weil Sauerstoff zehntausendmal langsamer in Wasser als in Luft diffundiert, wird Sauerstoff

im Porenraum viel langsamer nachgeliefert, der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre ist in einem verdichteten Boden, beispielsweise in Fahrspuren, gestört. Die Folge sind sauerstoffarme oder vollständig anaerobe Verhältnisse sowie eine Artenverschiebung unter den Mikroorganismen zugunsten solcher Arten, die unter sauerstoffarmen Verhältnissen überleben können. Dies spiegelt sich in der Zusammensetzung der vom Boden an die Atmosphäre abgegebenen Gase wider, denn bei Sauerstoffarmut decken die Mikroorganismen ihren Energiebedarf nicht über Verbrennungs-, sondern vor allem über Reduktionsprozesse. Dementsprechend wird der Anteil von Lachgas ( $N_2O$ ) und bei extrem reduzierenden Bedingungen jener von Methan ( $CH_4$ ) zunehmen.

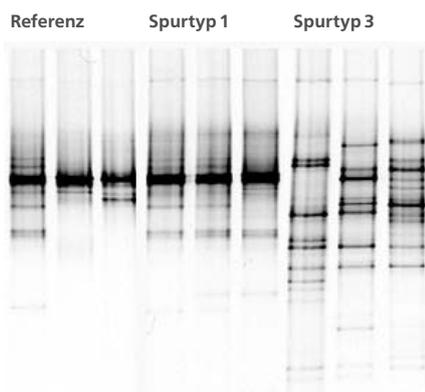


Abbildung 3: Bandenmuster (DGGE Profile) bakterieller Populationen in verdichteten und unverdichteten Böden; jede Bande zeigt eine spezielle Bakteriengruppe an, die im Stickstoffkreislauf im Boden eine Rolle spielt. Die bakteriellen Populationen unterscheiden sich klar zwischen unbelasteter Referenz, Spurtyp 1 und Spurtyp 3.

## Veränderungen mikrobieller Lebensgemeinschaften in verdichteten Fahrspuren

In einem gemeinsamen Projekt mit der Technischen Universität München wurde eine klare, einfache Typisierung vorhandener Fahrspuren anhand optisch gut zu erkennender morphologischer Merkmale erarbeitet. Diese unterscheidet drei bodenmechanisch bedingte Verformungstypen (I elastische, II plastische, III viskoplastische Verformung) (Lüscher, S. 19–21 in diesem Heft). Anhand dieser Typisierung wurden Testflächen kartiert, um die Verbreitung auf mehreren Standorten zu dokumentieren. Proben aus unterschiedlichen Fahrspurtypen in den kartierten Testflächen und solche aus Befahrungsversuchen, bei denen unter kontrollierten Bedingungen bestimmte Fahrspurtypen erzeugt wurden, bilden die Datengrundlage. An Probepunkten mit typischer Ausprägung wurden physikalische und mikrobiologische Parameter erhoben. Aus den Bodenstrukturveränderungen, die sich auf die ökologische Funk-

tionalität auswirken, sowie aus der Zusammensetzung der unterschiedlichen mikrobiellen Populationen sollen Schwellenwerte abgeleitet werden, oberhalb derer sich ein Waldboden noch regenerieren kann.

Aus Bodenproben (Fahrspuren, Referenzproben) extrahieren wir DNS (Erbsubstanz von Lebewesen) und weisen mittels genetischer Analysen (T-RFLP, DGGE) unterschiedliche Strukturen der mikrobiellen Lebensgemeinschaften in den verschiedenen Spurtypen nach. Genetische Muster (Abbildungen 2 und 3) der verschiedenen Spurtypen wurden mittels multivariater Statistik (Hauptkomponentenanalyse) verglichen (Abbildung 4). Bakteriengruppen, die eine starke mechanische Belastung des Bodens anzeigen (Indikatoren), werden dann mittels Klonierung und Sequenzierung identifiziert. Dabei untersuchen wir Bakteriengruppen, die entweder vorwiegend unter anaeroben oder nur unter aeroben Bedingungen dominant vorkommen. Im Zentrum des Interesses stehen sowohl Bakterien, die Nitrat verwerten, als auch solche, die einen Boden mit Nitrat anreichern. Beide Gruppen hängen stark vom Gashaushalt des Bodens ab und üben wichtige Funktionen im Boden aus.

Bisherige Auswertungen auf den Pilotflächen in Messen (Kanton Solothurn) und Ermatingen (Kanton Thurgau) zeigen, dass unter den Fahrspuren des Typs I und einem Teil der Spuren vom Typ II keine deutlichen Unterschiede zu den Referenzproben bestehen, während die Spuren des Typs III und ein Teil des Typs II sich klar von Letzteren absetzen (Abbildung 4). Diese Befunde stehen in engem Zusammenhang mit nachweisbaren Bodenstrukturveränderungen und drastischen Reduktionen der Leitfähigkeiten. Ähnliche Muster bilden sowohl die Typisierung der Fahrspuren als auch die unterschiedlichen Cluster der mikrobiellen Lebensgemeinschaften nach.

Diese ersten Untersuchungen zeigen, dass eine mechanische Bodenbelastung mit schweren Erntemaschinen mikrobielle Lebensgemeinschaften beeinträchtigt. Anaerobe Verhältnisse in den verdichteten Fahrspuren fördern die an sauerstoffarme Verhältnisse angepassten Bakterienarten und verändern die mikrobiellen Gemeinschaftsstrukturen. Auf Grund der ersten Ergebnisse sind wir zuversichtlich, Schwellenwerte zu finden, oberhalb derer die Funktionsfähigkeit der Böden zumindest auf niedrigerem Niveau erhalten bleibt und damit Regenerationschancen bestehen.

Dr. Beat Frey leitet die Gruppe Rhizosphären-Prozesse in der Forschungseinheit »Boden-Wissenschaften« der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf. [beat.frey@wsl.ch](mailto:beat.frey@wsl.ch)

Dr. Peter Lüscher ist Senior Consultant in der Forschungseinheit »Boden-Wissenschaften« der WSL. [peter.luescher@wsl.ch](mailto:peter.luescher@wsl.ch)

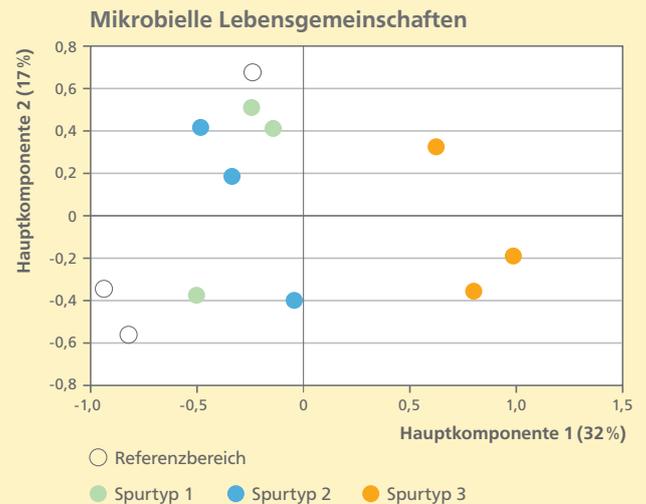
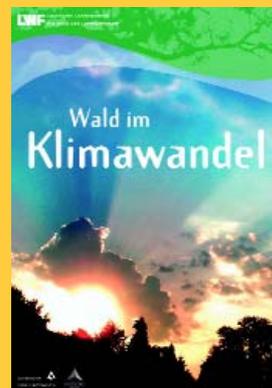


Abbildung 4: Die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften zeigt in Abhängigkeit vom Spurtyp stark unterschiedliche Cluster in der Hauptkomponentenanalyse auf. Spurtypen 1 und 2 liegen eng bei den Proben aus dem unbelasteten Referenzbereich, davon unterscheiden sich die mikrobiellen Populationen im Spurtyp 3 deutlich.

#### Klima-Poster der LWF



Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hat eine elf Tafeln umfassende Posterausstellung mit dem Titel »Wald im Klimawandel« erarbeitet. Mit kurzen Texten informieren die Poster rund um das Thema Klimawandel und seine Auswirkungen auf das Ökosystem Wald. Die Tafeln können bis zu einem Format von DIN A0 (841 x 1188 Millimeter) ausgedruckt werden. Die LWF stellt den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten die digitalen Daten in druckfähiger Qualität zur Verfügung. red