

3.3 Bodenmikrobiota im Wandel der Zeit – Untersuchung der zeitlichen Entwicklung der mikrobiellen Gemeinschaften an NABObio Standorten über zehn Jahre

Janine Moll-Mielewczik¹, Florian Walder¹ und Florian Gschwend²

¹ Agroscope, Bodenqualität und Bodennutzung, 8046 Zürich

² Agroscope, Molekulare Ökologie, 8046 Zürich

Bakterielle und pilzliche Gemeinschaften im Boden verändern sich im Verlauf eines Jahres, beeinflusst durch die Jahreszeiten, der Pflanzengemeinschaft-Zusammensetzung und dem Zustand der Pflanzen, die dort wachsen. Dabei können sich sowohl der Artenreichtum der Bakterien und Pilze wie auch die Zusammensetzung der Gemeinschaften und die Häufigkeiten von einzelnen Taxa verändern (Lauber et al., 2013). Wie verändern sich die Zusammensetzung und Struktur von mikrobiellen Gemeinschaften aber über mehrere Jahre? Es gibt nur einzelne Studien, welche die mikrobiellen Gemeinschaften über mehrere Jahre hinweg unter nicht-experimentellen Bedingungen untersuchten. Zwei Studien untersuchten bakterielle und pilzliche Gemeinschaften in Böden über 5 Jahre und gehören zu den längst andauernden Studien in diesem Bereich: Für tschechische Waldböden im Zeitraum von 2013-2017 konnte gezeigt werden, dass sich die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften über die Zeit leicht ändern und somit zunehmend von der ursprünglichen Gemeinschaft abweichen (Martinovic et al., 2021). Die Zweite Studie wurde im Rahmen der nationalen Bodenbeobachtung der Schweiz (NABO) von 2012-2016 durchgeführt (Gschwend et al., 2021) und wurde anschliessend auch weitergeführt.

Die in der Schweiz seit über 10 Jahren jährlich durchgeführten bodenbiologischen Erhebungen im Rahmen der NABO (NABObio), bei welchen die Summenparameter «Basalatmung» und «mikrobielle Biomasse», sowie die DNA basierten Diversitätsdaten (DNA-Metabarcoding) erhoben werden, können nun einen wichtigen

Beitrag zur Schliessung dieser Wissenslücke leisten – und das über verschiedene Landnutzungsformen hinweg. In der vorliegenden Studie zeigen wir, dass die zeitlichen Veränderungen der mikrobiellen Bodengemeinschaften je nach Landnutzung unterschiedlich ausfallen. Erste Anhaltspunkte lieferte die NABObio-Studie von 2012 bis 2016: nur an drei der 30 untersuchten Standorte wurden Hinweise für konsistente Veränderungen der mikrobiellen Bodengemeinschaften über fünf Jahre gefunden (Gschwend et al., 2021). Durch die Weiterführung dieser Untersuchungen, liegen inzwischen für 19 der ursprünglich 30 Standorte der NABObio Daten über einen Zeitraum von 10 Jahren vor (Moll-Mielewczik et al., in Vorbereitung). Bei diesen Standorten handelt es sich um neun Acker, sieben Dauergrünland sowie zwei Standorte mit einem Wechsel von Dauergrünland zu Kulturen und einem Standort, bei welchem Gras nach Bodenbearbeitung zwei Mal über die Jahre neu eingesät wurde. Anhand der Analysen der mikrobiellen Gemeinschaften dieser Standorte wurde untersucht, (i) wie sich bakterielle und pilzliche Gemeinschaften in Böden von Acker- und Dauergrünlandstandorten über 10 Jahre mit jährlichen Messungen verändern, (ii) in welchem Verhältnis diese zeitlichen Änderungen im Vergleich zu den Bodeneigenschaften und den Landnutzungen sind, (iii) welche Bakterien und Pilz Taxa sich änderten und (iv), ob sich zeitliche Änderungen noch in einem erwarteten Bereich bewegen. Hier werden die Hauptresultate der wissenschaftlichen Publikation von Moll-Mielewczik et al. (in Vorbereitung) zusammengefasst.

Die mikrobiellen Indikatoren zeigen über den Untersuchungszeitraum eine deutliche zeitliche Entwicklung (Abb.1): Die mikrobielle Biomasse nimmt an Acker- und Dauergrünlandstandorten jährlich um 0.7 % ab und der bakterielle inverse Simpson-Index (Alpha Diversitätsindikator) geht im Vergleich zum Wert von 2012 jährlich um 1.6% zurück. Die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften der Acker und Dauergrünlandstandorte weichen um 0.6 % und 1 % pro Jahr im Vergleich zu den Gemeinschaften von 2012 ab. Bei der Basalatmung und der Alphadiversität der Pilze hingegen konnten keine Änderungen über die Gesamtheit der Acker- und Dauergrünlandstandorte über 10 Jahre festgestellt werden. Auf taxonomischer Ebene konnten spezifische Taxa identifiziert werden, deren relative Häufigkeit sich über den Untersuchungszeitraum veränderte. Bei den Bakterien wurden 28 von 183 (15 %) und bei den Pilzen 5 von 257 (2 %) Familien identifiziert, die sich in ihrer relativen Häufigkeit über die Zeit veränderten.

Es sind also bei verschiedenen der untersuchten mikrobiellen Parameter zeitliche, stetige Verschiebungen über 10 Jahre sichtbar. Diese können sowohl durch Anpassung an Veränderungen von pedoklimatischen Parametern, wie beispielsweise Temperatur, Niederschlag, Nährstoffgehalt oder Bodenfeuchtigkeit, die sich von Jahr zu Jahr leicht unterscheiden, durch die Bodenbearbeitung, als auch durch natürliche Variabilität der Mikroorganismen und ökologische Selektion, verursacht werden. Vergleicht man die zeitlichen Veränderungen jedoch mit dem Einfluss der pedoklimatischen Eigenschaften auf die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften, werden dem Faktor Zeit bei Bakterien nur 5 % und für Pilze 4 % der Variation zugeschrieben. Die Haupttreiber sind der Standort (Bakterien: 39 %, Pilze: 45 %), der Landnutzungstyp (je 22 %) sowie der pH-Wert (Bakterien: 22 %, Pilze: 17 %). Bakterien- und Pilzgemeinschaften ändern sich also über 10

Jahre in einem verhältnismässig kleinen Mass, was die Standortspezifität der mikrobiellen Gemeinschaften hervorstreicht.

Um herauszufinden welche Bodenparameter und meteorologischen Eigenschaften einen Einfluss auf die sich zeitlich verändernden, biologischen Parameter haben, wurden verschiedene klimatische und pedologische Parameter mittels linearer, hierarchischer Modelle (Mixed Effect Models) untersucht. Für die mikrobielle Biomasse konnte ein Teil des Effekts der Zeit durch den organischen Kohlenstoff erklärt werden, sowie im geringeren Masse durch die mittlere jährliche Temperatur und den Wassergehalt des Bodens. Die zeitliche Änderung des Alphadiversitätsindex der Bakterien ist nur eine Tendenz und nicht signifikant nach Anpassungen des p -Wertes für mehrfaches Testen, scheint aber auch stark von der mittleren jährlichen Temperatur und dem Raumgewicht der Feinerde abhängig zu sein. Die Veränderung der Gemeinschaften zu denjenigen von 2012 war für Bakterien und Pilze signifikant von der mittleren jährlichen Temperatur abhängig.

Um einzuordnen, ob sich die beobachteten zeitlichen Veränderungen innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite bewegen oder darüber hinausgehen, wurden für die einzelnen mikrobiellen Parameter Normalbereiche definiert. Diese sogenannten NORs (normal operating ranges) basieren auf dem 95 %-Konfidenzintervall der Messwerte und wurden getrennt nach Landnutzung auf die Mittelwerte der Messungen von 2012-2016, in welchen die Gemeinschaften stabil waren, berechnet. Als Standort mit zeitlicher Veränderung wurde ein Standort gewertet, an dem die drei Replikate eines Messparameter mindestens drei Jahre in Folge ausserhalb der NOR lag und bis zum Ende der Messreihe nicht in den NOR-Bereich zurückkehrte. Vier Ackerstandorte und ein Dauergrünlandstandort veränderten sich nach dieser Definition über die Zeit und überschritten die

NOR-Grenzlinien. Die Gründe dafür sind jedoch momentan nicht bekannt und müssten fallspezifisch abgeklärt werden.

Die Standorte mit einem Wechsel in der Landnutzung bieten eine Grundlage, um die NOR zu testen und zu sehen, welche Indikatoren diesen Wechsel in der Bewirtschaftung sichtbar machen. Der Wechsel von Dauergrünland zu Ackerkulturen führte zu Überschreitungen der NOR für die mikrobielle Biomasse sowie der bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften. Zudem wurde die NOR von der bakteriellen Alpha-diversität für mindestens drei Jahre nach dem Wechsel überschritten, kam aber mit den weiteren Jahren wieder in diese zurück. Der sanftere Wechsel an einem Standort von Dauergrünland zu Dauergrünland mit eingesäten Hanfreihen führte zu einer Überschreitung der NOR der mikrobiellen Biomasse. Am dritten Standort wurde über die zehn Jahre zwei Mal neu Gras eingesät und im letzten analysierten Jahr, 2021, wurde Winterweizen angebaut. Bei diesem Standort wurde die NOR der Veränderung der bakteriellen Gemeinschaft im Vergleich zu 2012 erst mit Verzögerung zur ersten Massnahme von 2018 – 2021 drei Mal überschritten, mit Ausnahme von 2019. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass trotz der Nichterfüllung der strikten NOR-Regeln, starke Hinweise bestehen, dass dieser Standort im Ungleichgewicht ist. Insgesamt zeigen die Standorte mit Landnutzungswechsel, dass die mikrobielle Biomasse und die Bakterien- und Pilzgemeinschaften besser geeignet sind, um Wechsel in den Bodenökosystemen festzustellen als die Basalatmung oder die

Alphadiversität. Die Definition der NOR ist ein erster Schritt hin zu einer Beurteilung, inwieweit sich bakterielle und pilzliche Gemeinschaften ändern können, bevor der Druck so hoch wird, dass sie in einen anderen Zustand wechseln.

Mit dieser intensiven, jährlichen Beprobung und der vertieften Analyse der mikrobiellen Gemeinschaften mittels DNA-Metabarcoding in Kombination mit den Summenparametern über 10 Jahre hinweg konnten rigorose Tests durchgeführt werden, inwiefern diese Indikatoren zeitliche Veränderungen robust abbilden können. Anhand der NABObio-Datenreihen konnte gezeigt werden, dass mikrobielle Gemeinschaften und die mikrobielle Biomasse besser geeignet sind, um Veränderungen festzustellen als Basalatmung und Alphadiversitätsmessungen. Zudem zeigte sich klar, dass die Standortspezifität der mikrobiellen Gemeinschaften sehr ausgeprägt ist und Veränderungen über zehn Jahre verhältnismässig klein sind. Da die festgestellten Änderungen in den mikrobiellen Gemeinschaften mit der steigenden Temperatur korrelieren, ist jedoch davon auszugehen, dass in den nächsten Jahrzehnten durch den Klimawandel grössere Verschiebungen in mikrobiellen Bodenökosystem zu erwarten sind. Inwiefern diese in Änderungen der Funktionen von mikrobiellen Bodenökosystemen resultieren, ist noch nicht absehbar und weitere Untersuchungen, die das funktionelle Potential der Bodenmikroorganismen an NABO Standorten charakterisieren, werden erste Aufschlüsse darüber geben können.

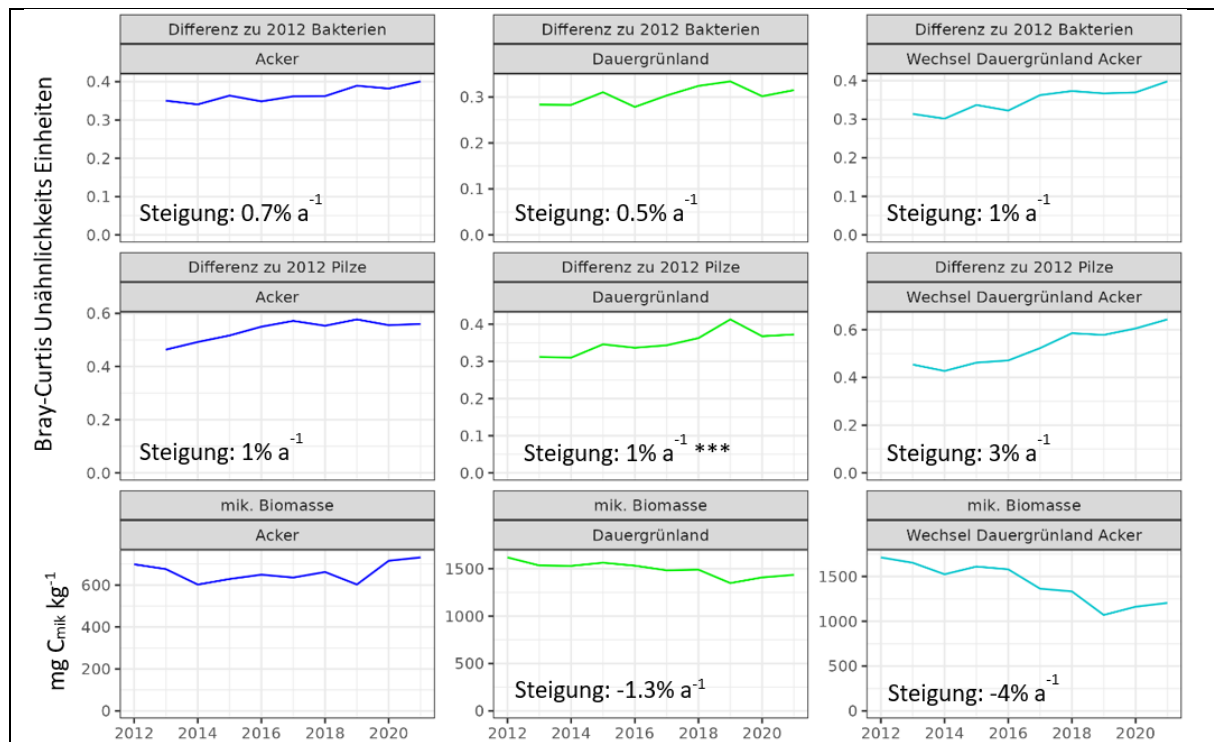


Abbildung 1: Zeitliche Verläufe der Mittelwerte über die Ackerstandorte (blau), Dauergrünlandstandorte (grün) und Standorte mit Nutzungswechsel (türkis) der Verschiebung der bakteriellen (oben) und pilzlichen Gemeinschaften (Mitte), sowie der mikrobiellen Biomasse (unten). Die Steigung der linearen Mixed Effect Modelle ist in Prozent Änderung pro Jahr (a^{-1}) zur ursprünglichen Messung im Jahr 2012 angegeben, wenn die Änderung statistisch signifikant war (p -Wert < 0.001).

Referenzen

Gschwend, F., Hartmann, M., Hug, A. S., Enkerli, J., Gubler, A., Frey, B., Meuli, R.G., & Widmer, F. (2021). Long-term stability of soil bacterial and fungal community structures revealed in their abundant and rare fractions. *Molecular Ecology* 30, 4305-4320.

Lauber, C. L., Ramirez, K. S., Aanderud, Z., Lennon, J., & Fierer, N. (2013). Temporal variability in soil microbial communities across land-use types. *The ISME Journal* 7, 1641-1650.

Martinović, T., Odriozola, I., Mašínová, T., Doreen Bahnmann, B., Kohout, P., Sedlák, P., ... & Baldrian, P. (2021). Temporal turn-over of the soil microbiome composition is guild-specific. *Ecology Letters* 24, 2726-2738.

Moll-Mielewicz, J., Durand-Maniclas, F., Widmer, F., Walder, F., & Gschwend, F. (in Vorbereitung) Long-term dynamics of soil bacterial and fungal communities over ten years (in Vorbereitung).