

## Rare Biosphere – eine verborgene Quelle

*Thomas Hardtmuth*

«Die Kräfte, die im Makrokosmos zu beobachten sind, wirken bis in das Zellige hinein. Und das, was in den Zellen wirkt, ist im Grunde genommen nichts anderes als ein Abbild dieser makrokosmischen Wirkung.»

(Steiner 1922, GA 312)

Unter «rare biosphere» verstehen wir heute die (extrem) seltenen Arten innerhalb mikrobieller Gemeinschaften. Ihre Bedeutung für die Multifunktionalität, Stoffwechselfunktion, Stresstoleranz und damit für die Gesundheit und «Lebendigkeit» von Ökosystemen rückt in jüngster Zeit immer mehr in den Fokus des Interesses.

Standardmethoden der Kultivierung erfassen bis vor wenigen Jahren gerade einmal 0,1 % der mikrobiellen Arten in Böden, Gewässern und Därmen von Mensch und Tier (Fuhrmann 2009). Die modernen Hochdurchsatz-Sequenzierungstechnologien eröffnen nun einen viel umfassenderen Einblick in die höchst dynamische und vielfältige Welt der mikrobiellen Ökosysteme.

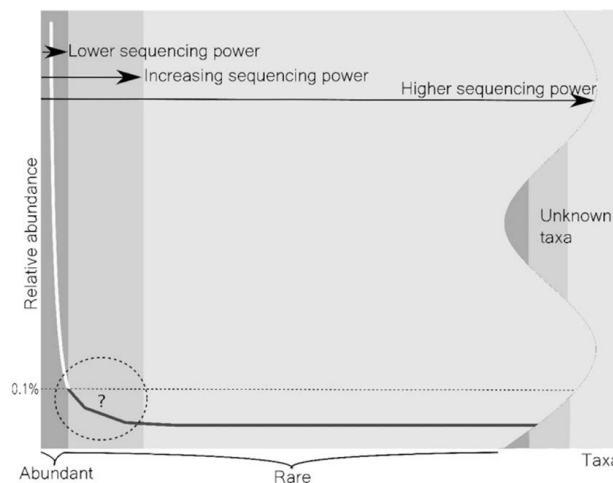


Abb. 1: Darstellung der mikrobiellen Artenhäufigkeits-Verteilung. Alle Taxa sind von der am häufigsten vorkommenden zur am wenigsten vorkommenden geordnet. Der lange Schwanz der Kurve veranschaulicht die seltene Biosphäre, aber der Anfang dieses langen Schwanzes ist nicht eindeutig, wie durch das Fragezeichen dargestellt. (Die Definition der «Seltenheit» bewegt sich heute von 0,01 % bis 0,1 % Anteil an der Gesamtpopulation. Anm. T.H.) Die Pfeile und Grüntöne veranschaulichen, wie unterschiedliche Auflösungen der Sequenzierungsstärke die Sicht auf die seltene Biosphäre beeinflussen, und die Wellen am Ende stellen die Taxa dar, die unbekannt sind (Abb. aus Pascoal 2021).

Die Anzahl der nachweisbaren Taxa stieg dadurch beispielsweise in der nordatlantischen Tiefsee von 500 auf über 5200 an (*Sogin 2006*). In den Darm-Mikrobiomen der Menschen in den Industrieländern wird die Zahl der verschiedenen Spezies mittlerweile auf etwa 2000 geschätzt – bei Naturvölkern ist sie deutlich höher. Die höchste Mikroben-Diversität findet sich in gesunden Böden mit bis zu 10'000 Arten in einem Gramm Humus. Aber trotz modernster Techniken lässt sich die gesamte vorhandene Vielfalt nicht vollständig erfassen, es bleibt eine unbekannte Zone innerhalb der rare biosphere.

Das Verständnis der mikrobiellen Netzwerk-Funktionen wird durch die Unschärfe des Art-Begriffs bei den Prokaryonten weiter erschwert; durch ständigen Genaustausch (horizontaler Gen-Transfer), hohe Mutationsraten und ein dadurch enorm beschleunigtes Evolutionstempo – wir sprechen auch von Habitat-spezifischer Mikroevolution – sowie durch die noch weitestgehend unverstandenen Wechselwirkungen mit Myriaden von verschiedenen kommensalen Viren unterliegen die einzelnen Mikroben-Spezies einem ständigen Wandel, der in der Regel vom systemischen Kontext (Ökosystem oder Wirtsorganismus) und weniger von intrinsischen, genetischen Determinanten induziert ist. Das Mengenverhältnis von Viren und Bakterien innerhalb der Mikroben-Sphären kann man grob mit etwa 10:1 angeben, wobei immer deutlicher wird, dass die Vielfalt, Variabilität und genetische Plastizität der Virosphäre unsere bisherigen, mehr von stabilen, taxonomischen Einheiten ausgehenden Vorstellungen bei weitem übersteigen (*Hardtmuth 2023*). Die modernen Sequenzierungstechniken haben zu einem exponentiellen Anstieg der neu entdeckten Viren-Spezies geführt, Schätzungen gehen heute von bis zu 10 Billionen verschiedenen Arten aus (*Adiliaghdam 2020*). Ihre Bedeutung als essentielle Systemkomponenten des Mikrobioms beginnen wir erst in Ansätzen zu verstehen. Die Viren stellen sich immer mehr als Urform alles Genetischen, ja als «Supermacht des Lebens» (*Mölling 2015*) heraus.

Die Bedeutung der seltenen Arten wird bislang weit unterschätzt. In der Regel werden sie bei den Mikrobiom-Analysen als funktionell nicht relevant vernachlässigt, was auch rein pragmatische Gründe haben kann, denn die Auflistung von 2000 verschiedenen Spezies eines menschlichen Darm-Mikrobioms hat keinerlei praktische Relevanz. Wir sprechen heute eher vom Metabolom als vom Mikrobiom, denn es kommt weniger auf die Einzelkomponenten als vielmehr auf die Funktion des Ganzen an. Das bloße Vorhandensein von Genen sagt noch nichts über deren Aktivität aus. Aber dennoch: Das routinemässige Entfernen der seltenen Arten aus den wissenschaftlichen Datensätzen hat dazu geführt, dass ein ganz wesentlicher Teil der Mikro-Biosphäre systematisch übersehen wird.

Man kann es als einen allgemeinen biologischen Trend bezeichnen, dass die Artenvielfalt der Lebewesen mit ihrer Kleinheit zunimmt – ein Prinzip, das in der Mikrowelt der Viren kulminiert. Die spezifischen Mikrobiome innerhalb eines Habitats zeichnen sich dadurch aus, dass sie nicht eine ho-