

Ökologische Relevanz prokaryotischer Assoziationen

ALEXANDER SCHMIDT

Die folgende Darstellung enthält überarbeitete Passagen aus der eigenen Diplomarbeit (SCHMIDT 2005) sowie aus einem Exposé, welches für ein Forschungsprojekt an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität zu Greifswald entwickelt wurde.

Die bemerkenswerte Präsenz und Bedeutung, die symbiotischen Vergesellschaftungen in den unterschiedlichsten Lebensgemeinschaften zukommt, lässt sich bereits in Betrachtung prokaryotischer Organismen vielfach bestätigen. Schließlich trifft man die Mehrzahl bakterieller Lebensformen in spezifischen Vergesellschaftungen an, vor allem in Form von Biofilmen und schichtartig aufgebauten Matten. Solche Mikrobiozönosen zeichnen sich durch ein hohes Maß an Komplexität aus, die für gewöhnlich mit einem wechselseitigen Stoff- und Signaltransfer der beteiligten Prokaryoten verknüpft ist. Mit hoher Wahrscheinlichkeit waren Biofilme die Erstbesiedler der Landlebensräume – viele Jahrtausende vor den komplexeren eukaryotischen Lebensformen. Den symbiotischen Assoziationen aus Bakterien und Archaeen kommen auch in den rezenten Biozönosen nennenswerte ökologische Funktionen zu – beispielsweise bei der Vorbereitung von Substraten für nachfolgende Organismengruppen.

Präsenz der Biofilme und Mikrobienmatten

Der überwiegende Anteil der Bakterien und bakterienähnlichen Mikroorganismen (Archaeen) lebt in Aggregaten und bildet synergetische Lebensgemeinschaften in Form von Biofilmen, Flocken oder Matten, die in vielen Fällen als mutualistische Symbiosen zu interpretieren sind (FLEMMING & WINGENDER 2001: 171; FRITSCH & LAPLACE 1999 sowie SOMMER 1998 erläutern diese am Beispiel des Farbstreifensandwatts, vgl. Tab. im Anhang). Solche Mikrobiozönosen kommen in allen Lebensräumen der Erde (von den Polargebieten bis zu den Tropen) vor. Besonders hohe Individuendichten und komplexe Assoziationen weisen sie unter solchen Umweltbedingungen auf, in denen sich eukaryotische Organismen nicht oder nur sporadisch etablieren können, z.B. in hypersalinen Gewässern, heißen Quellen, Wüsten, Tiefseesedimenten und terrestrischen Tiefengesteinen (vgl. KARSTEN & KÜHL 1996: 17). Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass marine Substrate zumeist von (einschichtigen) Biofilmen oder (mehrschichtigen) Mikrobienmatten besiedelt sind (KRUMBEIN & SCHOLZ 1994: 101). Darüber hinaus kommen endo- und epilithische Bakterienmatten bzw. Biofilme in Landlebensräumen häufig vor. Mikrobielle Assoziationen besiedeln im Prinzip die meisten Substratober-

flächen (einschl. der eukaryotischen Organismen) und kommen nicht zuletzt in den Verdauungstrakten der Tiere vor.

Ökologische Relevanz prokaryotischer Assoziationen

Den prokaryotischen (häufig symbiotischen) Lebensgemeinschaften kommt im globalen Maßstab vor allem deshalb eine herausragende ökologische Bedeutung zu, weil sie die *Stoffkreisläufe* (insb. N, S und C) beeinflussen und damit die *biologische Funktionsfähigkeit* der belebten Welt maßgeblich unterstützen (vgl. MARGULIS & SAGAN 1997: 84 ff.). Sie wirken auf ihre jeweiligen Wuchsunterlagen ein und begünstigen nicht selten – durch Abgabe spezifischer Substanzen – deren *Verfestigung* („Zementierung“) bzw. Prozesse biogener Sedimentation (KARSTEN & KÜHL 1996); epilithische Filme können aber auch die *Gesteinsverwitterung* beschleunigen (FLEMMING & WINGENDER 2001: 171).

Biofilme und Mikrobenmatten zeichnen sich des Weiteren durch eine hohe *Produktivität* und eine – zumindest in globaler Dimension – große *Biomasse* aus. Nicht selten fungieren sie innerhalb von Sukzessionsprozessen als *Pionierorganismen*. Schließlich sind diese Artengemeinschaften in der Lage, die *Ansiedlung* eukaryotischer vielzelliger Organismen quasi „vorzubereiten“ (KARSTEN & KÜHL 1996: 17). Bereits einschichtige Biofilme können einen hohen Anteil an der biologischen *Selbstreinigung* in aquatischen Lebensräumen bewerkstelligen und für den Stoffhaushalt wesentliche *Nähr- bzw. Mineralstoffdepots* anlegen (FLEMMING & WINGENDER 2001: 170).

Relevanz der Biofilmbildung für die partizipierenden Mikroorganismen

Die synergetische Lebensweise in Biofilmen stellt für die beteiligten Organismen in vielen Fällen eine erhebliche Erleichterung mikrobieller Stoffwechselprozesse dar. Schwer abbaubare Substrate können oft erst durch die Zusammenarbeit (Synergie) nutzbar gemacht werden. Außerdem synthetisieren die Mikroorganismen spezielle Stoffe (EPS = extrazelluläre polymere Substanzen), denen eine wesentliche mikroökologische Funktion als Energiespeicher, Nährstoffdepot und Recycling-system zukommt. Außerdem bieten die EPS einen bemerkenswerten Schutz vor Austrocknung, exogenen toxischen Stoffen und vor pH-Extremen; weiterhin sind sie das Medium, in welchem biogene Stoffe und genetische Informationen (selbst über die Artengrenzen hinweg) transferiert bzw. ausgetauscht werden können. Spezifische Signalmoleküle dienen dabei der zwischenartlichen Kommunikation und der gemeinschaftlichen Regulation bestimmter Entwicklungsprozesse

(„*Quorum sensing*“; Näheres u. a. bei FLEMMING & WINGENDER 2001; vgl. auch LOSICK & KAISER 1997; BEN-JACOB et al. 1994; ZWÖLFER & VÖLKL 1998)¹.

Die Bildung von Assoziationen in Form von Biofilmen bzw. Mikrobenmatten kann als wesentlicher Mechanismus und als erfolgreiche Strategie für die Besiedlung und das Überleben von Mikroorganismen in unterschiedlichsten Lebensräumen interpretiert werden. Diese Vergesellschaftungsformen haben die Fähigkeit, sich in einem bestimmten Maße wie multizelluläre Organismen zu verhalten.

Literatur

- BEN-JACOB, E.; SHOCHET, O.; TENENBAUM, A.** (1994): Ordnung in Kolonien – Bakterien schließen sich zu bizarren Formationen zusammen. *IN: DEUTSCH* (Hrsg.) (1994).
- DEUTSCH, A.** (Hrsg.) (1994): Muster des Lebendigen - Faszination ihrer Entstehung und Simulation. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft; Braunschweig, Wiesbaden.
- FLEMMING, H.-C.; WINGENDER, J.** (2001): Biofilme – die bevorzugte Lebensform der Bakterien. *IN: Biologie unserer Zeit* (2001), Nr. 3: 169 ff; VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- FRÄNZLE, O.; MÜLLER, F.; SCHRÖDER, W.** (Hrsg.) (1996-2003): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung; Ecomed-Verlag; Landsberg am Lech.
- FRITSCH, W.; LAPLACE, F.** (1999): Mikrobiologie. Spektrum, Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin.
- KARSTEN, U.; KÜHL, M.** (1996): Die Mikrobenmatte – das kleinste Ökosystem der Welt. *IN: Biologie unserer Zeit*; 26. Jahrgang 1996; Nr. 1: 16 ff; VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- KRUMBEIN, W. E.; SCHOLZ, J.** (1994): Entwicklung tropischer Korallenriffe. *IN: Biologie unserer Zeit*; 24. Jahrgang 1994; Nr. 2: 96 ff; VCH Verlagsgesellschaft; Weinheim.
- LOSICK, R.; KAISER, D.** (1997): Wie und warum Bakterien kommunizieren. *IN: MARKL* (1998).
- MARGULIS, L.; SAGAN, D.** (1997): Leben – vom Ursprung zur Vielfalt. Spektrum, Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin, Oxford.
- MARKL, J.** (1998): Biologie der Organismen. Spektrum, Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin.
- SCHMIDT, A.** (2005): Die Relevanz mutualistischer Wechselbeziehungen für die Entwicklung ökologischer Systeme. Diplomarbeit im Studiengang Naturschutz und Landschaftsplanung; Hochschule Anhalt (FH), Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotoxologie, Landespflege; Bernburg.
- SIEGERT, F.; STEINBOCK, O.** (1994): Die Natur schlägt Wellen – Spiralwellen organisieren die Entwicklung sozialer Amöben. *IN: DEUTSCH* (Hrsg.) (1994).
- SOMMER, U.** (1998): Biologische Meereskunde. Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York.
- ZWÖLFER, H.; VÖLKL, W.** (1998): Informationsfluss und Informationsverarbeitung in ökologischen Systemen. *IN: FRÄNZLE et al.* (Hrsg.) (1996-2003): Kapitel IV-2.3.

¹ SIEGERT & STEINBOCK (1994: 71) betonen, dass sich Zellen und Organismen stets miteinander verständigen müssen, um überhaupt ein *koordiniertes Verhalten* sicherstellen zu können. Dies trifft für Bakterien und Archaeen ebenso zu wie für sämtliche eukaryotische Lebensformen.

Anhang: Fallbeispiel Farbstreifensandwatt

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick zu den Korrelationen innerhalb eines Farbstreifensandwatts. Die Parallelen zu den Wechselbeziehungen zwischen Vertretern unterschiedlicher Trophieebenen, wie sie in (komplexen) ökologischen Systemen vorzufinden sind, werden hier besonders deutlich. Viele mikrobielle Artengemeinschaften formieren sich nach diesen Grundprinzipien; sie sind gleichermaßen als Öko- wie als Symbiosesysteme zu interpretieren.

Übersicht zu den mikrobiellen Prozessen im Farbstreifensandwatt (nach FRITSCH & LAPLACE 1999; SOMMER 1998; *Zeichenerklärung*: ↑ = sehr hoch, ↓ = sehr gering, ↗ = zunehmend, ↘ = abnehmend).

Farben der Watt-schichten	Wesentliche Organismen-gruppen	Lebensbe-dingungen	Prozesse	Ökologische Leistungen
gelb	Diatomeen	Licht ↑, O ₂ ↑	oxygene Photosynthese	Synthesierung organischer Substanzen, Emission von O ₂
grün bis blaugrün	Cyano-bakterien (auch Pilze und heterotrophe Bakterien)	Licht ↘, O ₂ ↘	oxygene Photosynthese (tagsüber) Stickstofffixierung (v. a. nachts); Oxidation von H ₂ S; Ausfällung von CaCO ₃	Synthesierung organischer Substanzen, Emission von O ₂ , Exsudate als wichtige Energiequelle für Heterotrophe; Anreicherung mit Stickstoffverbindungen Sedimentverfestigung
farblos	Schwefeloxi-dierende Bak-terien (auch chemo-synthetische Prokaryoten)	Licht ↘, O ₂ ↓ H ₂ S ↗ (nachts)	Oxidation von Schwefelwas-serstoff	Sulfationen als Endprodukte emittiert
rosafarben	Schwefelpur-purbakterien	Licht ↓, H ₂ S ↗	anoxygene Photosynthese (Einbezug des H ₂ S in die Stoffwechselprozesse)	Synthesierung organischer Verbindungen (neben Cyanobakterien sind die Purpurbakterien wichtige Primärproduzenten des Watts); Sulfationen als Endprodukte emittiert
schwarz	Sulfatmer (auch methanogene Gärer)	H ₂ S ↑; auch CH ₄	Reduktion von Sulfat zu Sulfid; Ausfällung von CaCO ₃	Sulfid verbindet sich teilw. mit Eisenionen zu Eisensulfid (Sedimentverfestigung ↑); Emission von H ₂ S (Ausgangs-stoffe für Schwefelbakterien, s. o.)