

- Kusch, H.* (1981): Archäologische und Speläologische Untersuchungen in Höhlen von Westmalaysia. Die Höhle, 32, 2, Wien 1981, 47.
- Kusch, H.* (1983): Kult- und Tempelhöhlen in Westmalaysia. Die Höhle, 34, 4, Wien 1983, 148–158.
- Lamb, A.* (1965): Early Mahayana Buddhist shrines in the Malayan limestone. Malayan Nature Journal, 19, 1, Kuala Lumpur 1965, 36–39.
- Matthews, J. M.* (1961): A check-list of "Hoabinhian" sites excavated in Malaya 1860–1939. Papers on Southeast Asian Subjects, 3. Eastern University Press Ltd., Singapore 1961.
- Peacock, B. A. V.* (1965): The Prehistoric Archaeology of Malayan caves. Malayan Nature Journal, 19, 1, Kuala Lumpur 1965, 40–56.
- Sievecking, G. de G.* (1962): The Prehistoric cemetery at Bukit Tengku Lembu, Perlis. Federations Museums Journal, 12, NS, Kuala Lumpur 1962, 25–54.
- Sorensen, P.* (1967): Archaeological excavations in Thailand, Ban-Kao. Munksgaard, Copenhagen 1967, Volume II.
- Tweedie, M. W. F.* (1953): The Stone Age in Malaya. Journal of the Malayan Branch of the Royal Asiatic Society, 26, 2, Singapore 1953, 1–90.
- Williams-Hunt, P. D. R.* (1951): Recent Archaeological discoveries in Malaya (1945–50). Journal of the Malayan Branch of the Royal Asiatic Society, 24, 1, Singapore 1951, 186–191.
- Williams-Hunt, P. D. R.* (1952): Recent Archaeological discoveries in Malaya (1951). Journal of the Malayan Branch of the Royal Asiatic Society, 25, 1, Singapore 1952, 181–190.

Myxobakterien (Myxobacterales) in Höhlen- sedimenten des Hagengebirges (Nördliche Kalkalpen)

Von Benjamin Menne (Mühlacker) und Gerhard Rückert (Karlsruhe)

1. Zusammenfassung

Seit 1985 werden in neu entdeckten Höhlensystemen des Hagengebirges Sedimentproben entnommen und auf ihre Besiedelung durch Myxobakterien untersucht. Erstmals konnten diese in Höhlen nachgewiesen werden. Die Untersuchungen lassen Aussagen zur Verteilung der Bakterien im System zu. Es wurden psychrotrophe Stämme gefunden und isoliert. Insgesamt ergeben sich Überlegungen zur Karsthygiene.

*

Since 1985 in recently discovered cave systems in the Hagen Mountains (Bavarian Alps) sediment samples have been collected and investigated on Myxobacteria. A first proof in such substrates could be realized. Tendencies, concerning the distribution of myxobacteria in cave systems, can be pointed out. Psychrotrophic strains could be isolated. Karsthygienic approaches are discussed.

2. Einleitung

Seit 1983 wird der südwestliche Rand des Hagengebirges, im Bereich des Eisgrabens sowie der Wildpalfen- und Blühnbachkopfhochfläche, durch die Höhlenforschergruppe Mühlacker untersucht. In den dort befindlichen, ausgedehnten hochalpinen Höhlensystemen können während der Neulandforschung völlig unberührte, natürliche Böden aus den Sedimentationszonen entnommen werden. Aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes ist ein denaturierender Oberflächeneinfluß, etwa durch Tourismus oder landwirtschaftliche Nutzung, ausgeschlossen. Die Oberfläche stellt völliges Ödland dar. Meist liegt nackter Karst vor, abwechselnd mit alpinen Rasen.

Seit 1985 wurden 33 Sedimentproben auf ihre Besiedlung durch Myxobakterien untersucht. Ein Artenspektrum der Proben ist aufgenommen. Seit 1987 wird versucht, die Verteilung der Bakterien innerhalb der Höhle durch die Messung physikalischer und chemischer Parameter näher zu beschreiben. Parallel dazu und für einen späteren Bericht werden Proben aus anderen Karstgebieten vergleichend herangezogen.

3. Modellvorstellung zur Mikrobiologie von Höhlensedimenten

3.1 *Energieinput*

Die autochthone Lebewelt der Höhlen wird infolge des Lichtmangels von eingebrachten organischen und anorganischen Stoffen bestimmt (WARTH, 1980). Menge und Zusammensetzung der den Lebewesen in der Höhle zur Verfügung stehenden Nährstoffe (= Energieinput) ist in erster Näherung abhängig vom Zufluß an frischem Wasser. Die in einem speziellen Biotop tatsächlich angelieferte Stoffmenge und Qualität hängt ab von der Periodizität, der Intensität und der bereits zurückgelegten Versinkungsstrecke des Trägerwassers.

Die untersuchten Sedimente beeinflussen den Stoffaustausch durch ihre Korngrößenverteilung bezüglich der möglichen Verweilzeiten und der Durchströmungsmöglichkeiten des zutretenden Wassers. Durch ihre Lagerungsdichte nehmen sie zusätzlich noch Einfluß auf die Sauerstoffversorgung des Sediments.

Über die Bedeutung des chemolithotroph-autotrophen Lebens als weitere Möglichkeit des Energieinputs, etwa durch Oxidation von Eisen (II) zu Eisen (III), Sulfatreduktion oder ähnliche Prozesse, kann im Augenblick keine Aussage gemacht werden. Es gibt jedoch Hinweise, die auf einige Bedeutung schließen lassen (SEEMANN, 1982).

Ein weiterer Eintrag von Material sowie dessen Verteilung können durch den Höhlenwind erfolgen. Zusätzlich zu dieser Transportfunktion sind durch den Wind entstehende Feuchtegradienten aufgrund von Wasserdampfdruckveränderungen zu beachten (BÖGLI, 1978, MENNE, 1988).

Nicht vergessen werden darf der Eintrag organischen Materials im Laufe der Sukzession durch aktiv die Höhle aufsuchende Lebewesen, wie zum Beispiel Chiropteren oder Arvicoliden.

3.2 Reaktionsgeschwindigkeit

Bedeutende und die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmende Faktoren sind die Temperaturverhältnisse. Höhlen stellen mit ihren relativ konstanten Klimabedingungen Kryostaten größten Ausmaßes dar. Die Reaktionsgeschwindigkeits-Temperaturregel kann in eingeschränkter Weise Anwendung finden.

Im Untersuchungsgebiet liegen die Temperaturen der Eingangsregionen zwischen 0° C und +2° C. Innerhalb der Höhlen finden sich in den tagnahen Zonen Temperaturen um 1,5° C, in den tagfernen Bereichen um 2,5° C (MENNE, 1988).

3.3 Sukzession

Neben Pilzen müssen Bakterien als die wichtigsten Massenorganismen in Höhlen angesehen werden. Tatsächlich ist aber das Vorkommen von Bakterien in Höhlen bislang nur sehr spärlich erforscht worden. In Verbindung mit der Nutzung von Karstwasserkörpern zur Trinkwasserversorgung erscheint jedoch eine bessere Kenntnis der endogenen mikrobiologischen Verhältnisse im Karstkörper erforderlich (PAVUZA und TRAINDL, 1985). Keimzahluntersuchungen an Quellaustritten sind wertvolle orientierende Untersuchungen; jedoch werden dadurch die im Gebirgskörper stattfindenden Prozesse nicht vollständig beschrieben.

Für die Beurteilung des Besiedlungsprozesses muß die zeitliche Ordnung, die sich aus der Geologie des Gesteins ergibt, Berücksichtigung finden. Nach Ablagerung des Sediments und dessen diagenetischer Verfestigung kann der Gebirgskörper als annähernd organismenfrei (steril) bezeichnet werden. Durch die Hebung, Verfrachtung und tektonische Beanspruchung des Gesteins kommt es zur Klüftung und damit zur Wasserwegigkeit. Mit dem eindringenden Oberflächenwasser erfolgt die primäre Besiedlung des Gesteinskörpers. In dieser Phase der Landschaftsentwicklung, die gleichzeitig die Initialphase der Speläogenese darstellt, erfolgt die Besiedlung ausschließlich durch eindringendes Oberflächenwasser und die damit verbundene passive Verfrachtung von Organismen des Bodens und des Regenwassers sowie durch aktives Einwandern von Bodenorganismen in das wachsende Spaltensystem des Gesteins. Erst in einer späteren Phase der Landschaftsentwicklung – nach Öffnung der Höhle durch mehr oder weniger große Eingänge zur Außenwelt hin – kann die Einwanderung anderer, höhlentypischer Organismen erfolgen. Es sei an dieser Stelle auf den äußerst nützlichen Begriff des Klasums hingewiesen (NEUHERZ, 1979).

Liegt eine mehrphasige Landschaftsentwicklung vor wie im Hagengebirge (LANGENSCHIEDT, 1986), dann folgen mit der Tieferlegung des Karstwasserspiegels mehrere Sukzessionsphasen aufeinander, die jedoch nicht völlig gleichartig ablaufen werden.

Die Vorfahren aller in der Höhle lebenden Organismen sind also ursprünglich von der Oberfläche her eingewandert – zumindest in ihren jwei-

ligen Verbreitungs- bzw. Überdauerungsstadien. Diese Feststellung ist vor allem für die Beobachtung von Adaptions- und Selektionsphänomenen von Bedeutung. Bakterien eignen sich zum Studium solcher Vorgänge sehr gut.

4. Zur Biologie der Myxobakterien

Es handelt sich um gram-negative, einzellige, gleitend bewegliche und aerob lebende Bakterien. Ihre Ernährung erfolgt heterotroph, indem organische Makromoleküle hydrolysiert werden. Als Nahrung finden dabei Proteine, Bakterien, aber auch – bei Vertretern der Familie der Polyangiaceen – Zellulose Verwendung. Die speziellen, unten aufgezeichneten Köderungsmethoden lassen jedoch eine Erfassung der cellulolytisch tätigen Arten nicht zu.

Allgemein liegt das Wachstumsoptimum der Myxobakterien bei 25° bis 30° C. Das Temperaturminimum wird mit 15° C angegeben. Der pH-Wert ist optimal um den Neutralpunkt, es werden jedoch auch extremere Werte im basischen und sauren Bereich vertragen (GOROLL, 1978, RÜCKERT, 1980).

Das eigenartigste Merkmal der Myxobakterien ist ihre kooperative Morphogenese, während derer sich die Einzelzellen zu Fruchtkörpern ausformen. Im Bakterienchwarm bilden sich Aggregationszentren aus, auf die die Einzelzellen zugleiten. Dort wird dann mittels Schleimabsonderung der Fruchtkörper gebildet, der arttypisch ist und ästhetisch sehr schön sein kann. Die maximale Größe solcher Fruchtkörper liegt bei 1 mm Durchmesser. Dadurch wird eine Identifikation mit dem Stereomikroskop nach 10 bzw. 20 Tagen Bebrütungszeit bei 30° C möglich (KÜHLWEIN und REICHENBACH, 1965, REICHENBACH und DWORKIN, 1981, RÜCKERT, 1980).

Innerhalb der Fruchtkörper, aber auch durch bestimmte Reize außerhalb derselben, können Myxosporen ausgebildet werden. Sie sind durch ihre starke Wandverdickung sehr stabil gegen ungünstige Umweltbedingungen (REICHENBACH, 1974).

Über die Ökologie dieser Organismengruppe liegen bereits umfangreiche Untersuchungen vor, so daß auch Aussagen zur Brauchbarkeit der verwendeten Methoden gemacht werden können (GOROLL, 1978, RÜCKERT, 1980, 1985).

5. Material und Methoden

5.1 Probenahme im Hagengebirge

Ungefähr 300 bis 400 Gramm Sediment werden unter möglichst sterilen Bedingungen aus den noch unbetretenen, neu entdeckten Gängen aufgenommen und in sterile Plastikbeutel verpackt.

Seit 1987 wird schnellstmöglich danach eine Bestimmung der Sedimentfeuchte nach der CM-Methode vorgenommen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit an der Sammelstelle werden gemessen. Die Bodenfarbe wird vor Ort und im Labor beurteilt. Es wird auch eine genaue Betrachtung der hydrologischen Verhältnisse am Sammelort vorgenommen (Wasserzutritt, Abfluß, Verdunstung etc.).

Die beprobten Lokalitäten sind:

	Probenzahl	Eingangshöhe	erforsch. Länge
Wildpalfensystem	30	1986 m NN	4516 m
Vobo-Loch	1	2208 m NN	100 m
Schlupferle	1	2205 m NN	45 m
Teufelsschlinger	1	1895 m NN	262 m
Geländeoberfläche	3	2000 m NN	—

Das Wildpalfensystem (Abb. 1) weist zwei übereinanderliegende horizontale Gangniveaus auf, deren Vertikalabstand voneinander im Mittel bei 150 Metern liegt (Abb. 2). Die Abgrenzung der beiden Stockwerke, in denen auch die wichtigsten Sedimentationszonen zu finden sind, ist sehr gut möglich (MENNE, 1988). Dadurch lassen sich die Proben in zwei Großgruppen aufteilen, die sich durch ihre Herkunft aus zwei unterschiedlichen Entnahmetiefen im Gebirgskörper unterscheiden.

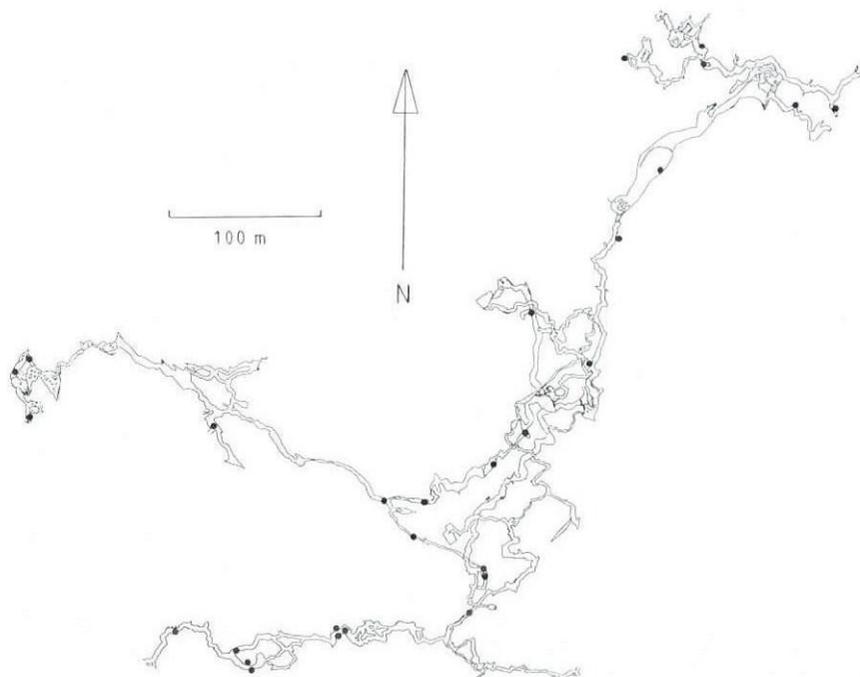


Abb. 1: Plan des Wildpalfensystems. Vermessung: Höhlenforschungsgruppe Mühlacker (1983–1987), Zeichnung: B. Menne (1983–1987)

Die Probenentnahmestellen sind durch schwarze Punkte gekennzeichnet.

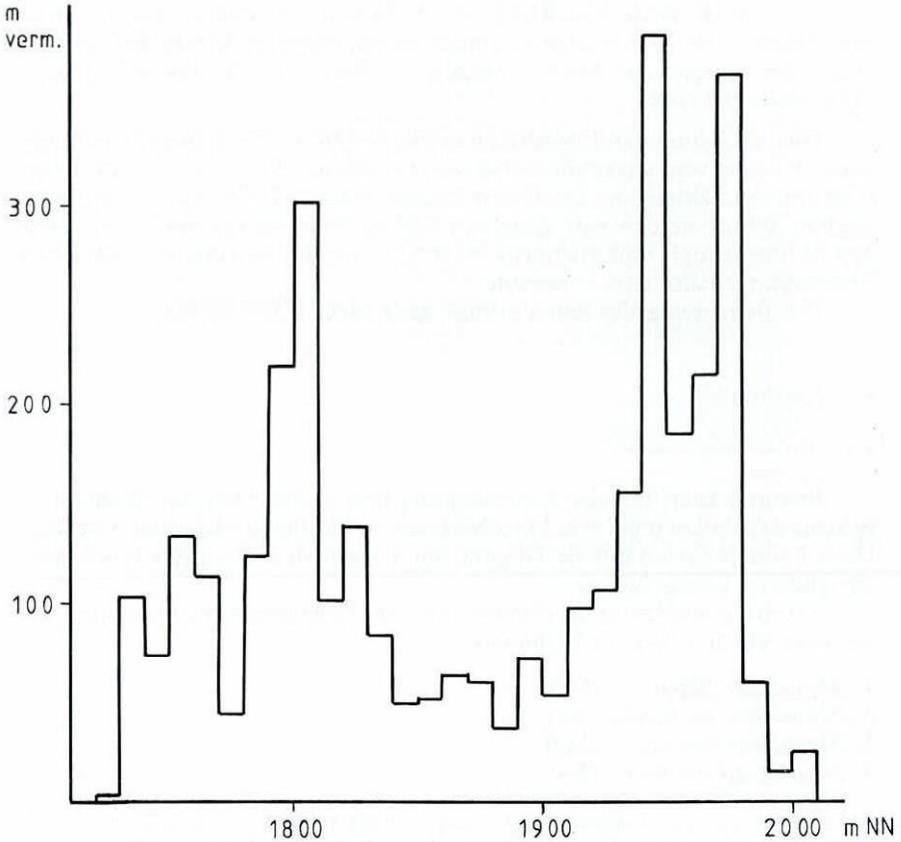


Abb. 2: Höhenverteilung der Horizontalgänge des Wildpalfensystems.

5.2 Labormethoden

Um die eventuell im Sediment vorhandenen Myxobakterien bestimmen zu können, werden sie nach folgenden Methoden zur Fruchtkörperbildung veranlaßt:

a) Platte modifiziert nach KRZEMIENIEWSKA und KRZEMIENIEWSKI, 1926: 5 Platten werden mit je ca. 30 Gramm luftgetrocknetem Sediment beschickt, gut durchgefuechtet und mit autoklaviertem Hasenmist (je 10 Köder pro Platte) inkubiert.

b) Platte modifiziert nach SINGH, 1947: 10 Platten mit neutralem Wasseragar werden mit einer autoklavierten Bierhefesuspension bestrichen. Nach dem Antrocknen werden pro Platte 5 Sedimenthäufchen aufgebracht.

c) Methode nach RÜCKERT, 1978: Falls bei Platten a) und b) keine Fruchtkörper von *M. virescens* zu finden waren, wurde ½ Ansatz nach obigen Methoden mit geringer Kochsalzzugabe zur Förderung der Fruchtkörperbildung nachgearbeitet.

Die Inkubation der Rohkulturen erfolgt bei 30° C. Nach 10 und nochmals nach 20 Tagen wird stereomikroskopisch das Artenspektrum festgestellt. Es erfolgt eine Auszählung der befallenen Einzelansätze (= Befallsdichte). In einem zweiten Schritt werden von einzelnen Proben Fruchtkörper auf Platten vom Typ b) übergeimpft und nochmals bei 7° C – also bei annähernd natürlichen Temperaturverhältnissen – bebrütet.

Die Benennung der Arten erfolgt nach McCURDY (1974).

6. Ergebnisse

6.1 Artenidentifikation

Erstmals kann mit der Untersuchung von Sedimenten des Wildpalfensystems das Vorkommen von Myxobakterien in Höhlen nachgewiesen werden. Diese Befunde finden ihre Bestätigung durch mehr als 29 beprobte Lokalitäten aus anderen Karstgebieten.

An Arten wurden in den Sedimenten des Hagengebirges festgestellt (verwendete Abkürzungen in Klammer):

1. *Myxococcus fulvus* (Mf)
2. *Myxococcus coralloides* (Mc)
3. *Myxococcus virescens* (Mv)
4. *Nannocystis exsedens* (Ne)

Dabei ist das Auftreten von *Nannocystis exsedens* (REICHENBACH, 1970) nicht in jeder Probe sicher beurteilbar, da die Fruchtkörper nicht immer leicht erkennbar sind. Methode a) ist für diese Art offenbar sehr ungünstig. Für die stärker differenzierte ökologische Untersuchung der Proben ist diese Art daher nicht gut verwendbar. Es handelt sich dabei also um einen nicht näher bewertbaren Zusatzbefund (MENNE, 1986, 1987, 1988).

6.2 Statistische Kennzahlen

Die untenstehende Tabelle ermöglicht eine Übersicht über die wichtigsten Kennzahlen (GOROLL, 1978) des gesamten Fundkomplexes aus dem Hagengebirge. Dabei wird ein Vergleich zwischen den beiden Teilmengen „tagnah“ und „tagfern“ möglich. Tagnah bedeutet dabei – entsprechend obenstehender Charakterisierung des Gebietes – eine Überdeckung von nicht mehr als 100 Meter Gestein und damit eine Herkunft meist aus dem obersten Höhlenstockwerk.

Kennzahl	Hagengebirge	tagnah	tagfern
Probengesamtzahl	33	13	20
Absolute Artenzahl	4	3	4
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,09	1,31	0,95
Standardabweichung DAZ	0,88	0,75	0,94
Variabilitätskoeffizient in Prozent	80,60	57,40	99,40
Anzahl positiver Proben	23	11	12
Prozent positiver Proben	69,70	84,60	60,00
Präsenzen der einzelnen Arten			
<i>Myxococcus fulvus</i>	57,6	61,5	55,0
<i>Myxococcus coralloides</i>	45,5	69,2	30,0
<i>Myxococcus virescens</i>	6,1	0,0	10,0
(<i>Nannocystis exsedens</i>)	6,1	7,7	5,0
Gesamtpräsenz	115,3	138,4	100,0

Deutlich kann erkannt werden, daß mit zunehmender Tiefe weniger Proben einen positiven Befund aufweisen. Sind im tagnahen Probenteil noch 84,6 Prozent aller Proben positiv, so sind es im tagfernen Bereich nur noch 60 Prozent. Dieser Befund entspricht sehr gut obiger Modellvorstellung. Dies ist einerseits durch die Ernährungsweise der Myxobakterien als Saprophyten bedingt, da ihnen mit zunehmender Versinkungstiefe des Wassers ständig abnehmende Stoffmengen zur Verfügung stehen (= aktive Komponente). Andererseits erfolgt auch eine ständige Entladung des Trägerwassers an Bakteriensporen und vegetative Zellen durch Adsorptionsprozesse im Gesteinskörper und in den Spaltenfüllungen (= passive Komponente). Je langsamer das Wasser den Gesteinskörper durchfließt und je größer der Quotient aus Kontaktfläche und Wassermenge ist, desto steiler ist der Entladungsgradient. Ein sekundäres Weiterverfrachten von Zellen darf nicht vergessen werden.

Ein weiterer interessanter Befund liegt in der Verteilung der einzelnen Arten auf die beiden Tiefenlagezonen. Wie die beigegebenen Diagramme zeigen, ist im tagnahen Bereich die Art *M. coralloides* knapp dominant (Abb. 3), während im tagfernen Bereich eindeutig *M. fulvus* dominiert (Abb. 4). Ein Vergleich mit der Besiedlung der Oberflächenböden kann sich nur auf drei Proben stützen, was für eine echte Aussage viel zu wenig ist (zehn weitere aufgesammelte Proben wurden vom Parkplatzwärter in Königssee als Müll dem Container zugeführt und vom Verfasser nicht mehr aufgefunden). Alle drei Proben sind jedoch völlig einheitlich: *M. coralloides* dominiert eindeutig über *M. fulvus*. Daraus würde sich ein ständiges Abnehmen der Dominanz von *M. coralloides* mit zunehmender Tiefenlage ergeben. Dieser interessante Trend muß noch durch eine Anzahl weiterer Proben untersucht werden.

Das Fehlen der Art *M. virescens* im tagnahen Bereich kann auf eine noch zu geringe Probenzahl zurückgeführt werden. Allerdings muß auch ein Einfluß

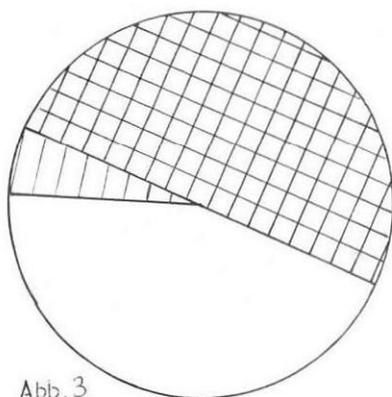


Abb. 3

□ : Mv (▣ : Ne)

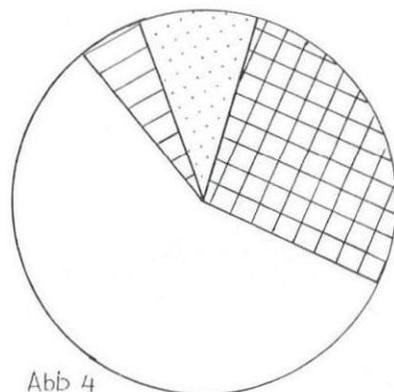


Abb 4

□ : Mf (▣ : Mc)

Abb. 3: Dominanzen der Myxobakterienarten im tagnahen Bereich des Wildpalfensystems

Abb. 4: Dominanzen der Myxobakterienarten im tagfernen Bereich des Wildpalfensystems
Es bedeuten: Mc = Myxococcus coralloides, Ne = Nannocystis exsedens, Mf = Myxococcus fulvus, Mv = Myxococcus virescens.

von Chiropteren diskutiert werden, deren Mumien in der Nähe der Fundstellen von *M. virescens* zu finden sind.

Betrachtet man nun die Variabilitätskoeffizienten, so kann – selbst bei aller Vorsicht, die bei der Interpretation solcher Maßzahlen angebracht ist (RÜCKERT, 1980) – erkannt werden, daß die Probenteilmenge „tagfern“ insgesamt äußerst uneinheitlich ist. Ein Versuch, das Auftreten der Myxobakterien im tagfernen Bereich mit der Sedimentfeuchtigkeit zu korrelieren, gelingt deshalb möglicherweise nicht. Dagegen können im wesentlich einheitlicheren tagnahen Bereich ohne weiteres Korrelationen von Sedimentfeuchte und Myxobakterienbefall von 82 Prozent erreicht werden, was für eine ökologische Studie dieser Art mit Rohdaten günstig ist. Die Arbeiten auf diesem Gebiet werden deshalb fortgesetzt. Es kann jedoch deutlich erkannt werden, daß in Proben trockener Standorte weniger Myxobakterien zu finden sind als in Proben feuchter Standorte. Negative Proben sind häufig entweder staubtrocken, oder es handelt sich um dicht gepackte Lehme oder Tone.

6.3 Psychrotrophie

Der typisch mesophile Charakter der Myxobacterales und das bislang beschriebene Wachstumsminimum bei ungefähr 15° C lassen zuerst vermuten, daß diese Organismengruppe unter den Klimabedingungen des Höhlenraumes

nicht zu Lebensäußerungen fähig ist. Die Verteilung im System wäre dann allein durch die Verfrachtung der Sporen von der Oberfläche her zu erklären. Obige Befunde liefern jedoch Hinweise, die auf aktive Lebensprozesse schließen lassen. Wie nachgewiesen werden konnte, sind mit zunehmender Tiefe weniger befallene Proben zu finden. Dies kann allein mit der ständigen Entladung des Trägerwassers erklärt werden und ist an sich ein passiver Prozeß. Anders jedoch die nachweisbare Veränderung der Artendominanzen in den untersuchten Tiefenlagezonen. Rein passive Prozesse würden zwar abnehmende Befallsraten, jedoch gleiche Dominanzen erwarten lassen.

Von Interesse sind daher die Befunde der Bebrütung bei 7° C. Bereits nach zwei bis drei Wochen konnte auf Platten vom Typ b) ein Schwärmen der Bakterien festgestellt werden. Es erfolgt also eine zelluläre Morphogenese von der Spore zur vegetativen Zelle auch bei 7° C. Des weiteren können deutliche Lysishöfe in der Bierhefesuspension beobachtet werden, was einen funktionsfähigen Stoffwechsel anzeigt. Nach ca. sechs Wochen, also etwa dreimal länger als bei der Bebrütung bei 30° C, zeigen sich Aggregationszentren und Fruchtkörper, die sogar normale Pigmentierung aufweisen. Zusätzlich wird während der Phase der Aggregation erheblich mehr Schleim gebildet, als das bei 30° C beobachtbar ist. Der Myxobaktérienschwarm teilt sich in Domänen aus dichten Schleimpolstern, an denen randlich die Fruchtkörper gebildet werden. Die unter psychrotrophen Bedingungen gebildeten Myxosporen weisen lichtmikroskopisch eine verringerte Dichte auf.

Regelmäßig konnten diese Befunde mit *Myxococcus fulvus* gemacht werden. Es steht zur Zeit ein von den Affenschloten des Wildpalfensystems isolierter Stamm AF 1 für die weitere Erforschung des psychrotrophen Verhaltens zur Verfügung. Mit *M. coralloides* gelang nur einmal nach Methode a) eine Fruchtkörperbildung. Diese Beobachtung ist interessant, was die oben beschriebene Verteilung der Arten im System betrifft.

Direkt im Höhlensystem ausgelegte Versuche scheiterten bislang, da das Problem der Verpilzung und Austrocknung der Platten noch nicht gelöst werden konnte. Möglicherweise spielt auch das Fehlen einer Lichtinduktion für die Fruchtkörperbildung eine Rolle.

7. Diskussion

Vorstehende Ergebnisse erfordern eine vorsichtige Interpretation. Da eine gute quantitative Erfassung von Myxobakterien in Böden noch nicht gelungen ist, werden Proben als positiv bewertet, wenn auch nur ein Ansatz jeweils positiv ist. Es wird also kein Unterschied gemacht zwischen Proben, in denen 92 Prozent aller Ansätze positiv sind, und Proben, in denen nur 2 Prozent der Ansätze einen Befund aufweisen.

Interessant ist die Tatsache, daß in sehr reichen Rohkulturen meist größere Reste organischer Substanzen zu sehen sind (Fellreste von Chiropteren, Pflanzenzellen, Insektenpanzer etc.).

Trotz der sehr vorsichtigen Bewertung gelingt es gut, Habitate innerhalb der Höhle voneinander abzugrenzen. Der Einfluß der Tiefenlage auf die Organismenhäufigkeit und das Artenspektrum kann recht deutlich erkannt werden. Diese Abgrenzungsmöglichkeit ergibt sich auch aus der relativen Ähnlichkeit aller Proben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Tatsache, daß die Bakterien unter den Klimabedingungen der Höhle zu Lebensäußerungen und Stoffwechselaktivität fähig sein können. Zu beachten ist auch die Tatsache, daß dies aus dem bisherigen Kenntnisstand nicht ableitbar war. Innerhalb des Systems werden möglicherweise psychrotrophe Stämme selektiert. Dieser Befund sollte angesichts der Nutzung von Karststöcken als Trinkwasserreservoir Beachtung finden; in diesem Zusammenhang kann an Vorkommnisse wie die bakterielle Verunreinigung der Wasserversorgung von Hallstatt erinnert werden (TRIMMEL, 1982). Der Eindruck, der durch Keimzahluntersuchungen an den Quellaustritten und den Versinkungsstellen im Sinne einer Input-Output-Analyse entsteht, bedarf daher einer näheren Prüfung. Durch Adsorption von Bakterien im Gesteinskörper, der anschließenden Selektion und den daraus folgenden Wachstumsprozessen werden unter Umständen sowohl qualitative als auch quantitative Änderungen der „Keimlast“ des Karstwassers zu erwarten sein. Vorgänge dieser Art sollten eingehend untersucht werden, um die Nutzbarkeit von Wässern aus Karstgebieten besser beurteilen zu können.

Des weiteren ermuntern die dargestellten Ergebnisse zu einer weiteren Beschäftigung mit verschiedenen einschlägigen Fragestellungen. Ein Vergleich mit anderen Karstgebieten ist von größtem Interesse. Der Zusammenhang von Sedimentfeuchte und Bakterienbefall sollte weiter untersucht werden, was eine bessere quantitative Erfassung der Populationen erfordert, und gezielte Keimzahluntersuchungen im Höhlensystem können die distribuierenden Prozesse erkennen helfen. An rein biologischen Fragestellungen ist das außerordentlich interessante Verhalten der Myxobakterien unter kühlen Lebensbedingungen von besonderem Interesse, ist doch sogar eine vermehrte Schleimbildung zu beobachten.

8. Danksagung

Eine Untersuchung dieser Art kann nur unter besonders günstigen Bedingungen durchgeführt werden, wozu das Auffinden eines neuen, sehr großen Höhlensystems gehört. Die Oberfläche muß ungenutzt sein. Vor allem aber müssen die beteiligten Kollegen zu größter Zusammenarbeit bereit sein. Oft ist es notwendig, den Vorstoß einzuschränken oder Umwege zu machen, damit unbetretenes Sediment gesammelt werden kann. Für die ausgezeichnete Mitarbeit sei daher allen Forschern der Höhlenforscherguppe Mühlacker herzlich gedankt.

Ein Dank geht auch an die zuständigen Beamten der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden und der Naturschutzbehörde des Landratsamtes Berchtesgadener Land für die ausgestellten Forschungsgenehmigungen.

Literatur

- Bögli, A. (1978), Karsthydrographie und physische Speläologie. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1978.
- Goroll, E. (1978), Myxobakterien in tropischen Böden. Ein Vergleich von Kulturland und natürlichen Biotopen im tropischen Regenwald von Peru. Unveröffentlichte Staatsexamenarbeit, Karlsruhe 1978.
- Krzemieniewska, H., und Krzemieniewski, S. (1926), Die Myxobakterien von Polen. Acta Soc. Bot. Pol., 4: 1–54, Warszawa.
- Kühlwein, H., und Reichenbach, H. (1965), Anreicherung und Isolierung von Myxobakterien. In: SCHLEGEL, H. G., und KRÖGER, E., Anreicherungskultur und Mutantenauslese. Zbl. Bakt., Abt. I, Suppl. 1, 57–80. Fischer-Verlag, Stuttgart.
- Langenscheidt, E. (1986), Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen. Dokumente der Landschaftsentwicklung in den nördlichen Kalkalpen. Forschungsbericht der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Nr. 10. Berchtesgaden.
- McCurdy, H. D. (1974), Myxobakteriales. The fruiting myxobacteria. In: BUCHANAN, R. E., und GIBBONS, N. E. (Edit.), Bergey's manual of determinative bacteriology. 8th edit: 76–98. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Menne, B. (1986), Hagen 1985. Beiträge z. Karst- und Höhlenkunde des Hagengebirges, 3 (1). Mühlacker.
- Menne, B. (1987), Hagen 1986. Beiträge z. Karst- und Höhlenkunde des Hagengebirges, 4 (1). Mühlacker.
- Menne, B. (1988), Hagen 1987. Beiträge z. Karst- und Höhlenkunde des Hagengebirges, 5 (1). Mühlacker.
- Neuberz, H. (1979), Das Klasmus – ein unterirdisches Ökosystem. In: Höhlenforschung in Österreich; Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum in Wien, Neue Folge, 17. Wien.
- Pavuz, R., und Traindl, H. (1985), Zur Hydrochemie und Bakteriologie alpiner Karstwässer. Die Höhle, 36 (4): 123–142. Wien.
- Reichenbach, H. (1970), Nannocystis exsedens gen. nov., spec. nov., an new myxobacterium of the family Sorangiaceae. Arch. Mikrob., 70: 119–138.
- Reichenbach, H. (1974), Die Biologie der Myxobakterien. Biologie in unserer Zeit. 4: 33–45.
- Rückert, G. (1978), Förderung der Fruchtkörperbildung von Myxococcus virescens THAXTER (Myxobacteriales) in Rohkulturen durch Salzzusatz. Z. Allg. Mikrobiol., 18: 69–71. Berlin.
- Rückert, G. (1980), Beiträge zur Verbreitung, Verbreitungsökologie und Ökologie der Myxobakterien (Myxobacteriales). Habilitationsschrift, Karlsruhe.
- Rückert, G. (1985), Myxobakterien (Myxobacteriales) in kleinstandörtlich aufgegliederten Teillebensräumen der südwestdeutschen Rheinauen. Tuxenia, Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft. Nr. 5: 455–459. Göttingen.
- Seemann, R. (1982), Elementarer Schwefel in der Dachstein-Mammuthöhle (vorläufiger Bericht). Die Höhle, 33 (1): 1–6. Wien.
- Singh, B. N. (1947), Myxobacteria in soils and composts; their distribution; number and lytic action on bacteria. J. gen. Microbiol., 1: 1–10. Cambridge.
- Trimmel, H. (1982), Probleme mit der Wasserversorgung von Hallstatt (Oberösterreich). Die Höhle, 33 (3): 109–110. Wien.
- Warth, H. (1980), Höhlen. Stuttgarter Beiträge z. Naturkunde, Reihe C, Heft 13. Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: [039](#)

Autor(en)/Author(s): Menne Benjamin, Rückert Gerhard

Artikel/Article: [Myxobakterien \(Myxobacterales\) in Höhlensedimenten des Hagengebirges \(Nördliche Kalkalpen\) 120-131](#)