

Myxobakterien in der Rettenbachhöhle

Eine karstmikrobiologische Studie

von Benjamin Menne, Mühlacker

Inhaltsverzeichnis

1.	ABSTRACT	2
2.	EINFÜHRUNG	2
3.	MATERIAL UND METHODEN	3
3.1.	Probennahme.....	3
3.2.	Physikalische und chemische Methoden	4
3.3.	Mikrobiologische Verfahren	4
4.	ERGEBNISSE.....	5
4.1.	Kennwerte der Sedimente	5
4.2.	Das Artenspektrum	5
4.3.	Statistische Kennzahlen	6
4.4.	Die einzelnen Artnachweise.....	7
4.5.	Die Myxobakterienverteilung in Abhängigkeit vom pH-Wert der Sedimente.....	7
4.6.	Die Sedimenttextur und ihr Einfluß auf die Myxobakterienverteilung.....	8
4.7.	Myxobakterienbefall und Abstand zum Karstwasserspiegel („Niedrigwasser“)......	9
4.8.	Der Einfluss der Sedimentfeuchte auf den Myxobakterienbefall in der Rettenbachhöhle	11
4.9.	Weitere Befunde in den entnommenen Sedimenten	12
5.	DISKUSSION	13
6.	DANKSAGUNG.....	17
7.	LITERATUR.....	17

1. Abstract

In der Rettenbachhöhle (Sengsengebirge, Oberösterreich) wurden 14 Sedimentproben mikrobiologisch auf das Vorkommen von Myxobakterien untersucht. Physikalische Messwerte ergänzen die Befunde. Insgesamt wurden fünf verschiedene Arten nachgewiesen, wovon *Myxococcus fulvus* die absolut dominante Art war. Die quantitative Verteilung der Myxobakterien erwies sich als stark abhängig von der Entfernung der Proben zum Karstwasserspiegel. Eine deutliche Abhängigkeit konnte auch von dem beprobten Sedimenttyp (Textur) erkannt werden. Sande erwiesen sich als bevorzugt besiedelt. Eine sehr schwache Abhängigkeit besteht zum pH-Wert und das Fehlen einer Korrelation zum Feuchtigkeitsgehalt der Sedimente wurde nachgewiesen. Ein gemeinsames Vorkommen von Magnetit und Myxobakterien als Indikatororganismen wirft Fragen bezüglich der mikrobiologischen Bildung dieses Minerals in der Rettenbachhöhle auf. Ein neuer Ansatz zur biologischen Bewertung von Höhlenbiotopen wurde im Oberflächenbezugsindex (OBIX; Chlorophyllgehalt der Sedimente nach Standardinkubation) gefunden. Die Myxobakterienbefunde werden im Rahmen der bisher gemachten Feststellungen in Höhlen diskutiert. Dabei wird die Einteilung des Karstgebirgskörpers in vier vorwiegend vertikale Zonen mikrobiologischer Aktivität und Biotopheterogenität eingeführt: Subcutum, Epiklasal, Hypoklasal und Hydroklasal.

Fourteen sediment samples have been collected in the Rettenbachhöhle (Sengsengebirge, Oberösterreich). The occurrence and the distribution of the myxobacteria in the samples became examined. Physical measurements complete the results. Five different species altogether were identified. *Myxococcus fulvus* was the absolutely dominant species of this. The quantitative distribution of the myxobacteria proved as strong dependently on the position of the samples to the Karst water-table (vertical distance). A clear dependence also could be seen by the sedimenttype (texture). Sand proved to be colonised preferentially. A very weak dependence exists for the pH-value. Being missing a correlation to the moisture content of the sediments was proved. A common occurrence of magnetit and myxobacteria as indicator organisms raises questions regarding the microbiological formation of this mineral in the cave. A new attempt for the biological assessment of cave biotops was found in the „Oberflächenbezugsindex“ (OBIX; this is chlorophyll content of the sediments after standard incubation). The myxobacteria results are discussed in the context of the observations made till now into other caves. A new biological division of the karstic limestone into four mainly vertical zones gets established. These show various microbiological activity and heterogeneity: Subcutum, Epiklasal, Hypoklasal and Hydroklasal.

2. Einführung

Die mikrobiologischen Prozesse in Karstlandschaften und Höhlen sind erst in Grundzügen bekannt. In jüngster Zeit vermehrt sich jedoch das Interesse an einer Erforschung der Zusammenhänge zwischen Mikrobiologie, Verkarstung und Hydrologie. Neben den Interessen, die sich aus der Grundlagenforschung ergeben, sind auch wirtschaftliche und gutachterliche Fragen von Bedeutung. Hierbei steht an vorderster Stelle der Schutz der Trinkwasserreserven, die in Karstgebirgen in reichem Maße vorhanden sind.

Die Rettenbachhöhle war und ist das Ziel zahlreicher biologischer Forschungen. Eine Zusammenfassung dazu findet sich bei WEISSMAIR und HAUSER (1992). Ferner werden von der Höhle und ihrem Einzugsgebiet umfassende interdisziplinäre Datensammlungen im Rahmen des Nationalpark-Karst-programmes erstellt (WIMMER 1995, HASEKE 1996). Diese Umstände machen die Höhle zu einem sehr geeigneten Objekt für das Studium der Mikrobiologie des Karstes. Die im freien Wasser der Hinteren Rettenbachquelle (238 HRQ) austretenden Bakterien werden schon über einige Vegetationsperioden untersucht (SCHMIDT 1996). Die „Schwarzen Ablagerungen“ im jenseits des Mittagbergs liegenden Höhlenteil sind als mikrobiologisch induzierte Mn/Fe-haltige Schichten erkannt worden (MENNE 1996a).

Die Erforschung komplexer natürlicher Systeme mit multivariaten Kreisläufen und Feed-back-Strukturen stellt die Untersucher vor die Herausforderung, Teilbereiche abzugrenzen. Für die Mikrobiologie hat es sich als nützlich erwiesen, auch autökologische Ansätze zu wählen und gezielt bestimmte Organismengruppen zu untersuchen. Der Versuch, an bestimmten Standorten alle vorkommenden Mikroorganismen zu identifizieren, führt stets zu einer praktisch nicht mehr zu bewältigenden Arbeitsmenge und Datenfülle (RUSTERHOLTZ und MALLORY 1994). Daher ist es von Interesse, im Sinne einer biotoporientierten Forschung bestimmte Organismengruppen selektiv zu betrachten. In den vergangenen zehn Jahren hat der Autor hier gute Erfolge mit der Gruppe der Myxobakterien gehabt. Über die Ökologie dieser Gruppe ist recht viel bekannt (GOROLL 1978, RÜCKERT 1980, 1985 ROSENBERG 1984, REICHENBACH und DWORKIN 1992). Aus Höhlen liegt ein umfangreiches Datenmaterial vor. Teile dieser Untersuchungen wurden bereits veröffentlicht. (MENNE und RÜCKERT 1988, MENNE 1986, 1987, 1988a, 1988b, 1989, 1990, 1992, 1996b). Vorliegende Studie stellt eine erste, orientierende Untersuchung in der Rettenbachhöhle bei Windischgarsten dar. Die Befunde sollen Anregungen für weitere Aktivitäten geben und Forschungsstrategien aufzeigen.

3. Material und Methoden

3.1. Probennahme

Die Probennahme erfolgte im Rahmen des karstkundlichen Workshops der Nationalparkforschungsstelle im März 1996. Während der Befahrung der Rettenbachhöhle wurden Sedimentproben an geeigneten Stellen über die gesamte Längserstreckung der Höhle aufgesammelt. Die Sammlung der Sedimente (zwischen 150 und 300 Gramm) erfolgte entweder mittels frisch sterilisierten Löffels (Ethanol, Hitze) oder mit Umstülpverfahren der PE-Beutel. In jedem Fall wurde im Höhlenplan sofort die Probestelle markiert und die Probe selbst vor Ort beschriftet. Etwaige Kommentare wurden in der Kopie des Höhlenplanes vermerkt.

Insgesamt kamen in dieser Studie 14 einzelne Standorte zur Untersuchung. Die Probenbezeichnungen und der jeweilige Entnahmeort gehen aus Tabelle 1 und Abbildung 1 hervor.

Tabelle 1: Die Probenbezeichnungen und Probenahmeorte in der Rettenbachhöhle; Aufsammlung vom März 1996. Meßpunkte nach THALER 1976.

Bez.	nächster Meßp.	kurze Bemerkungen zum Fundort/Sediment
RET 1	77	Sedimente RET 1-3: kleinräumige Aufsammlung; hier dichte Lehme von Block
RET 2	77	Grobsande unterhalb des Blockes
RET 3	77	Feinsande seitlich von obigem Block; maximale Distanzen: 0,5m RET 1-RET 3
RET 4	73	Sande vom Höhlenboden, Südseite des Ganges; etwas erhöht liegend
RET 5	69	submerse Probe aus dem „Tümpel“
RET 6	68	Sand von der Westseite des Ganges; Boden
RET 7	63	Sand von Boden (Westseite) der Dückenröhre
RET 8	59	Mischsediment von Felsrippe des Mittagsberges in Richtung SE.
RET 9	32	Boden der langen Kluft, steiniges Sediment
RET 10	31	Bodensediment, sandig
RET 11	25	Sediment von Wandleisten unterhalb Schmugglerstiege
RET 12	22	feuchter Lehm vom Boden
RET 13	19	sehr nasser, fast submerser Lehm in der Regenhalle; Frischwasserzufuhr
RET 14	24	Wandbeläge vom mittleren Höhenniveau der Langen Kluft/Schmugglerstiege; die Beläge haben eine lamellierte Struktur.

Somit kann festgestellt werden, daß sich die Probennahme überwiegend auf die Bodensedimente der Höhle bezieht. Diese Entnahmemethode hat sich in anderen Höhlen für eine Übersichtsstudie bewährt, da die höchsten Konzentrationen an Bakterien gerade in den Bodensedimenten zu finden sind (MENNE 1996b).

3.2. Physikalische und chemische Methoden

Unmittelbar nach Verbringung der Proben ins Labor erfolgt eine erste sterile Durchmischung und Probenteilung. Etwa 5% der Probenmenge wird für die materialzerstörenden Untersuchungen abgetrennt und in ein verschließbares Glasröhrchen überführt. Die Hauptmenge der Probe wird sorgfältig steril ausgebreitet und bei Raumtemperatur getrocknet. Dabei wird die Feuchtigkeitsklasse des Sedimentes empirisch bestimmt (1 = staubtrocken; 6 = submers, stark abtropfend) Der Trocknungsprozess dauerte zwischen 3 und 10 Tagen. Nach völliger Lufttrocknung wird die Probe im sterilen Mörser vorsichtig zerkleinert. Die Kies- und Steinfraction (Partikel > 2mm) wird durch trockene Siebung abgetrennt. Beide Siebfractionen werden gewogen und in sterile PE-Beutel überführt. Die Sedimentklasse wird nun (Fingerprobe) mittels Geländemethode bestimmt. Die Probenfraction im Glasröhrchen wird der Feuchtigkeitsbestimmung zugeführt (Gravimetrie, 105°, 24 h). Ferner wird damit der pH-Wert bestimmt (Gravimetrie und Elektrometrie; Aqua dem.: Probe = 2,5 : 1). Der Glühverlust wurde im Muffelofen (950°C, 3 h) festgestellt.

Die Lagezuordnung der Proben und die Höhe über dem normalen Karstwasserspiegel wurde graphisch aus dem Höhlenplan bestimmt.

3.3. Mikrobiologische Verfahren

Um das Vorkommen von Myxobakterien in den Sedimenten zu untersuchen, werden Ködermethoden verwendet, die die Organismen zur Fruchtkörperbildung veranlassen sollen. Dabei beschränkten wir uns auf die gut reproduzierbare Methode nach SINGH (1947), welche hier verändert zur Anwendung kam.

Die Methode lässt sich wie folgt beschreiben: Eine neutrale Wasseragarplatte (Agar hochrein nach DAB, für Mikrobiologie: 1,8%) wird mit 0,1ml (Volac-Dispensette) einer sterilen 4%-Bierhefesuspension ausgespaltet (Drigalsky). Im Anschluß werden auf die Platten kleine Sedimenthäufchen mittels sterilem Löffel aufgesetzt. Nach völliger Durchfeuchtung des Sedimentes wird die Platte topside-down in den Inkubator gestellt. Insgesamt werden mit diesem Verfahren pro Sediment 50 Einzelansätze hergestellt. Bebrütet wird bei 23°C für 10 Tage. Danach sind die Platten ein erstes Mal mittels Stereolupe genaustens durchgesehen worden. Alle vorgefundenen Myxobakterienpopulationen werden determiniert und markiert. Dann wird die Platte ca. 10 Stunden (Tageslicht) belichtet und für weitere 10 Tage inkubiert. Es folgt darauf eine erneute Durchsicht aller Einzelansätze - insgesamt also 14*50=700.

Als Endergebnisse werden notiert: Die nachgewiesenen Arten pro Sediment, die Anzahl der befallenen Einzelansätze, und etwaige Nebenfunde (sowohl sedimentologische als auch biologische Beobachtungen). Die Anzahl der befallenen Einzelansätze wird als quantitativer Befund bewertet, da feststeht, daß ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Anzahl befallener Einzelansätze und der Myxobakterienkeimzahl besteht (MENNE 1989, unveröffentlicht).

Alle Determinierungen richten sich nach den neuesten Systematiken, insbesondere nach REICHENBACH und DWORKIN (1992) sowie nach ROSENBERG (1984).

Unsicherheiten bei der Bestimmung wurden, soweit nötig, durch Kontrolle der Myxosporen in Durchlichtmikroskopie (1000x; Ölimmersion), durch Dimensionsmessungen derselben oder aber durch Übernahme der fraglichen Stämme in Reinkultur und Beobachtung dieser ausgeschaltet.

4. Ergebnisse

4.1. Kennwerte der Sedimente

Die Messung der physikalischen und chemischen Daten sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Physikalische und chemische Kennwerte der Sedimentproben aus der Rettenbachhöhle (Aufsammlung 3/96)

Bez.	pH	Höhe ü. KWS	Feuchte (Klasse)	Feuchte (gravi.)	% <2mm	Sedim. typ	Glühver- lust %	Biotop
RET 1	7,50	6,9	4	36,9	100,0	Lehm	32,6	semiaquat.
RET 2	8,50	6,1	4	4,8	90,8	Sand	46,7	semiaquat.
RET 3	7,90	6,4	5	25,1	100,0	Feinsand	37,7	semiaquat.
RET 4	8,40	2,8	4	4,9	86,7	Sand	18,9	semiaquat.
RET 5	8,35	0	6	21,6	94,8	Sand	24,3	aquat.
RET 6	8,30	1,0	3	5,3	98,0	Sand	27,2	semiaquat.
RET 7	7,85	10,1	3	14,1	99,0	Sand	38,8	semiaquat.
RET 8	8,80	53,0	3	5,5	92,2	Feinsand	47,3	ter.
RET 9	8,70	44,5	4	15,3	57,9	s.Lehm,stein.	28,6	semiaquat.
RET 10	8,25	45,2	3	6,9	91,7	Sand	32,9	semiaquat.
RET 11	7,75	56,5	4	27,8	100,0	Sand, lehmig	36,1	semiaquat.
RET 12	7,90	69,3	5	31,0	100,0	Feinsand	40,3	semiaquat.
RET 13	8,10	0	6	73,9	92,3	Feinsand	37,7	aquat.
RET 14	7,85	56,6	4	67,2	100,0	„Montmilch“	40,6	ter.

Als weiterer wichtiger Faktor muß in diesem Zusammenhang die Temperatur genannt werden. Für den Mittagsberg (RET 8) werden Temperaturen um 8°C gemessen. Die anderen Proben liegen meist im Einflußbereich des Karstwassers. Hier kann der Literaturwert von 6,8°C übernommen werden (WIMMER 1995, WEISSMAIR und HAUSER 1992). Die Temperaturen der Quellwässer (HRQ) liegen meist einige Zehntelgrade darunter (SCHMIDT 1996).

4.2. Das Artenspektrum

In den aufgesammelten Sedimenten konnten insgesamt fünf verschiedene Myxobakterienarten nachgewiesen werden:

Artnamen	Verwendete Abkürzung
----------	----------------------

<i>Myxococcus fulvus</i>	(<i>Mf</i>)
<i>Myxococcus virescens</i>	(<i>Mv</i>)
<i>Myxococcus stipitatus</i>	(<i>Ms</i>)
<i>Corallococcus coralloides</i>	(<i>Cc</i>)
<i>Archangium gephyra</i>	(<i>Ag</i>)

Alle fünf Arten sind schon aus anderen Höhlen und Karstsystemen bekannt. Sie stellen über 99% aller bisher in Höhlen gemachten Funde an Myxobakterien dar.

4.3. Statistische Kennzahlen

In Tabelle 3 werden zuerst alle Befunde einzeln aufgelistet. Dabei wird jeweils die Befallsstärke in % der pro Art und Sediment befallenen Einzelansätze (n = 50) angegeben.

Tabelle 3: Die Myxobakteriennachweise in der Rettenbachhöhle (Zahlenwerte sind % befallener Einzelansätze; Sum. = Gesamtbefall einer Probe mit Myxobakterien; AZ = in der Probe festgestellte Artenzahl)

Probe	M.fulvus	M.virescens	M.stipitatus	C.coralloides	A.gephyra	Sum.	A Z
RET 1	0	0	0	0	0	0	0
RET 2	48	0	2	18	0	68	3
RET 3	24	0	4	8	0	36	3
RET 4	80	0	12	4	0	96	3
RET 5	40	4	4	0	0	48	3
RET 6	40	0	0	0	0	40	1
RET 7	64	0	0	4	2	70	3
RET 8	30	0	0	4	0	34	2
RET 9	10	0	0	0	0	10	1
RET 10	20	8	0	0	0	28	2
RET 11	4	0	0	0	0	4	1
RET 12	2	0	0	0	0	2	1
RET 13	88	0	2	28	0	108	3
RET 14	8	0	0	0	0	8	1

Aus der Befundliste gemäß Tabelle 3 lassen sich nun einige statistische Kennzahlen bezüglich der Probengesamtheit berechnen, die wir in Tabelle 4 aufführen.

Tabelle 4: Grundlegende statistische Daten Rettenbachhöhle März 1996

Kennzahl	Maßzahl
Probengesamtzahl	14
Absolute Artenzahl (AAZ)	5
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,93
Standardabweichung DAZ	1,07
Variabilitätskoeffizient in %	55,5 %
Anzahl positiver Proben (ApP)	13
Prozent positiver Proben (PpP)	92,9 %

Bezüglich der einzelnen Arten lassen sich folgende Ergebnisse darstellen (Tabelle 5):

Tabelle 5: Statistische Kennzahlen der einzelnen nachgewiesenen Myxobakterienarten

Artname	Präsenz	durchschn. Befall	St.abw.d.Befalls
Myxococcus fulvus	92,8 %	32,7 %	28,9 %
Myxococcus virescens	14,3 %	0,9 %	2,3 %
Myxococcus stipitatus	35,7 %	1,7 %	3,3 %
Coralloccus coralloides	42,9 %	4,7 %	8,4 %
Archangium gephyra	7,1 %	0,1 %	0,5 %

Erwartungsgemäß konnte in einem hohen Prozentsatz (92,8%) der Proben Myxobakterien nachgewiesen werden. Günstige Lebensbedingungen für Mikroorganismen werden in dem beprobten Teil der Rettenbachhöhle durch die episodischen und periodischen Überschwemmungen sowie durch die sandige Struktur der Sedimente hervorgerufen. Etwas überraschend war jedoch die Tatsache, daß insge-

samt fünf Arten gefunden wurden. In den meisten alpinen Höhlenbiotopen sind bisher zwischen drei und vier Arten nachgewiesen worden.

Es wurde die durchschnittliche Artenzahl in den Proben aus der Rettenbachhöhle mit 1,93 bestimmt. Die Standardabweichung bewegt sich im üblichen Rahmen.

4.4. Die einzelnen Artnachweise

In jeder Hinsicht ist Myxococcus fulvus die dominierende Art. Dieser Organismus kann als der typische Vertreter der Höhlensedimente gelten. In allen positiven Proben wurde diese Art gefunden. War in einer Probe nur eine Art nachzuweisen, so ist dies hier stets M. fulvus gewesen. In der vorliegenden Proben-gesamtheit waren einige Sonderbildungen bei den M. fulvus-Populationen zu sehen. Ein recht hoher Prozentsatz der Fruchtkörper erwies sich als gestielt. Die Stiele zeigten dabei Längen von durchaus 100-300µm Länge. Dadurch war die Abgrenzung zu M. stipitatus etwas erschwert. Differentialdiagnostische Methoden mussten eingesetzt werden. Einige Stämme von M. fulvus wurden in Reinkultur genommen. Dabei stellten wir erfreulicherweise fest, daß sich ein Befund aus dem Wildpalfensystem reproduzieren ließ. Hier waren sogenannte Domänen, d.h. dicke Schleimpolster mit randlichen Fruchtkörpern als Sonderbildung festgestellt worden (MENNE und RÜCKERT 1988). In einer der Reinkulturen aus der Rettenbachhöhle wiederholte sich dieses Phänomen.

Als zweithäufigste Art stellte sich C. coralloides heraus. (Anmerkung: Die Art wird z.T. auch unter dem Namen Myxococcus coralloides geführt.) Auch dieser Befund entspricht absolut den bisherigen Feststellungen in alpinen Höhlen. C. coralloides kann als Indikator für den Grad der Beeinflussung von der Oberfläche her gelten. In der Regel sind die höchsten Konzentrationen von C. coralloides in den tag nächsten Höhlenteilen zu entdecken oder im Bereich zu Wasserzubringern mit kurzen Abstands- geschwindigkeiten. Es überrascht daher nicht, in Probe RET 13, stammend aus der Regenhalle (geringe Felsüberdeckung, starker Wasserzutritt, starke Klüftung), die höchste Konzentration von dieser Art zu finden.

Selten für alpine Höhlen ist das reichliche Vorkommen von M. stipitatus. In der Rettenbachhöhle ist das Vorkommen der Art sehr eng mit dem Wasserzutritt verbunden. Sie taucht hier nur in Proben auf, die direkten und häufigen Kontakt mit frischem Wasser haben.

M. virescens folgt schliesslich in der Häufigkeit. Bislang konnten wir bei dieser Art zwei Verbreitungsschwerpunkte in Höhlen erkennen. Zum einen handelt es sich um belastete Höhlenbäche, und zum zweiten um trockene Sande. Im vorliegenden Fall kann aufgrund der Seltenheit keine klare Aussage zum Vorkommen von M. virescens gemacht werden.

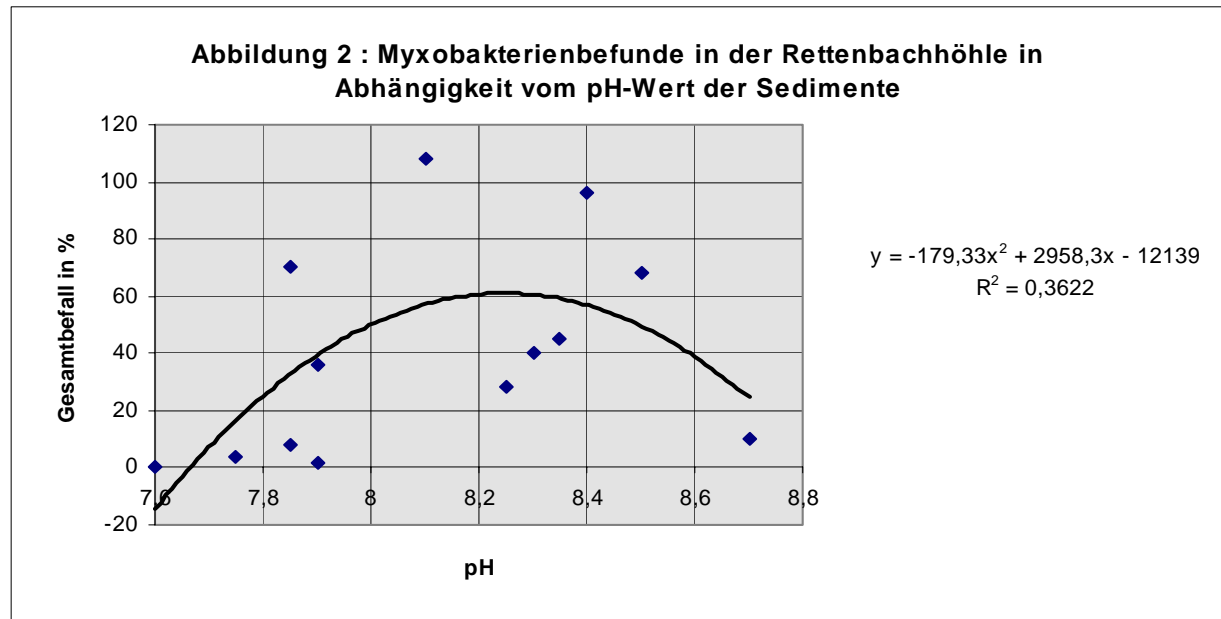
Schliesslich ist noch Archangium gephyra zu nennen. Ähnlich wie C. coralloides kommt A. gephyra sehr häufig in alpinen und subalpinen Böden, aber auch in Böden geringerer Höhenstufen vor. Ferner tauchte A. gephyra meist nur in Höhlen mit höherer Präsenz auf, die eine Temperatur von mehr als etwa 7°C aufweisen. Der in der Rettenbachhöhle gemachte Einzelbefund lässt sich natürlich nicht näher bewerten. Es bleibt jedoch festzustellen, daß auch hier ein enger Bezug zum aktiven Karstgängen vorliegt.

4.5. Die Myxobakterienverteilung in Abhängigkeit vom pH-Wert der Sedimente

Es ist nun interessant, die Myxobakterienverteilung in den Proben in Abhängigkeit von verschiedenen physikalischen und chemischen Parametern zu betrachten.

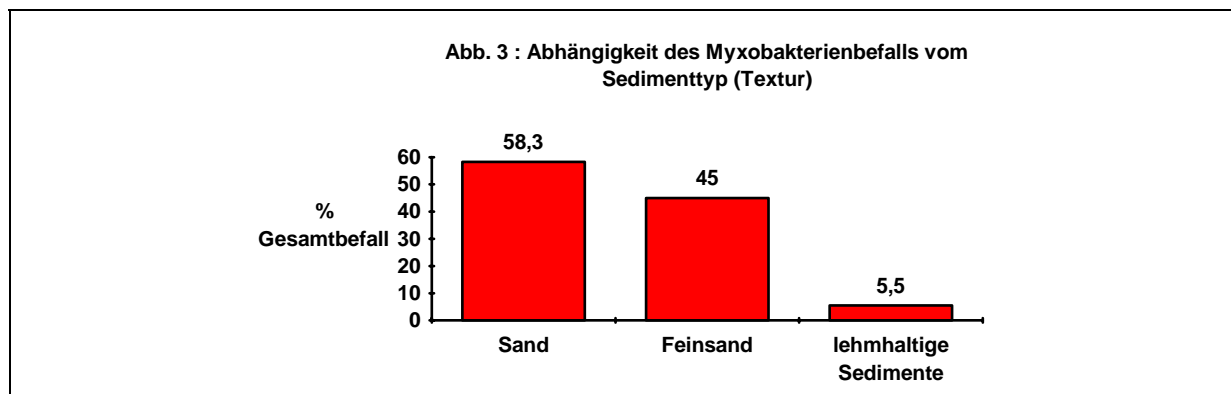
Innerhalb der Probenserie existiert eine für Höhlensedimente relativ weite pH-Spanne von 7,5-8,8. Dies ließ eine Untersuchung nach eventueller Abhängigkeit des Gesamtbefalls vom pH sinnvoll erscheinen. Die Messwerte des Gesamtbefalls (Summe aller Einzelnachweise pro Sediment) sind in

Abbildung 2 gegen den pH aufgetragen. Es ist eine Trendlinie eingefügt, die lediglich der Veranschaulichung der Messdaten dient. Es zeigt sich eine gewisse, wenn auch schwache Abhängigkeit des Myxobakterienbefalls vom pH-Wert. Die eingefügte polynomische Trendlinie weist auf ein Optimum bei pH 8,2 bis 8,3 hin. Dieser Befund entspricht nicht ganz den Literaturdaten, die den Myxobakterien eher ein Verbreitungsoptimum um den Neutralpunkt zuordnen. Interessant findet der Autor den vorliegenden Befund jedoch deshalb, weil es sich bei dem gefundenen Optimumsbereich ziemlich genau um einen markanten pH-Wert des Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes handelt („m-Wert“). Außerdem entspricht dieser Wert sehr gut den korrespondierenden Messwerten von der HRQ (SCHMIDT 1996).

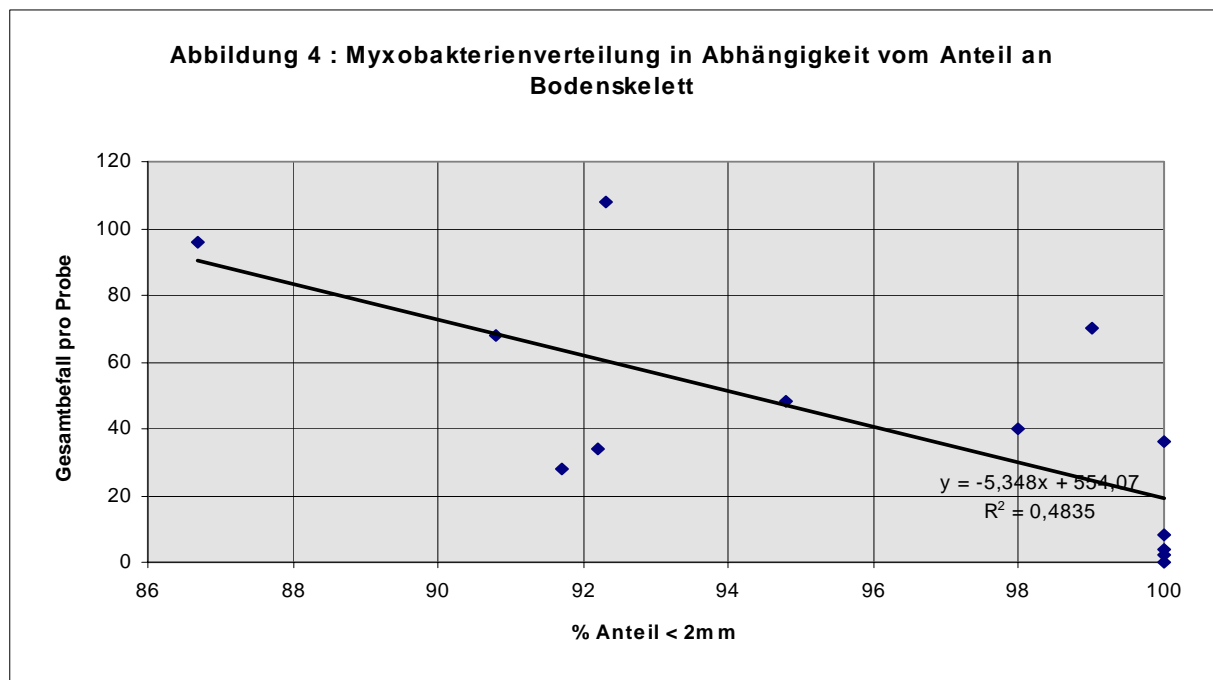


4.6. Die Sedimenttextur und ihr Einfluß auf die Myxobakterienverteilung

Untersuchen wir nun, wie der Sedimenttyp die Verteilung der Myxobakterien beeinflusst hat. In Abbildung 3 sind die quantitativen Befunde (% durchschnittlich befallene Einzelansätze) gegen die verschiedenen Sedimenttypen, welche besammelt wurden, aufgetragen. Die klassifizierte Daten zeigen, daß Mittel- und Grobsande deutlich die stärkste Besiedelung durch Myxobakterien aufwiesen. Auch die Feinsande sind noch als günstiges Biotop zu bezeichnen. Je lehmiger die Sedimente sind, umso ungünstiger werden die Bedingungen. Der Tonanteil erwies sich somit als entscheidender Faktor der Besiedelung.

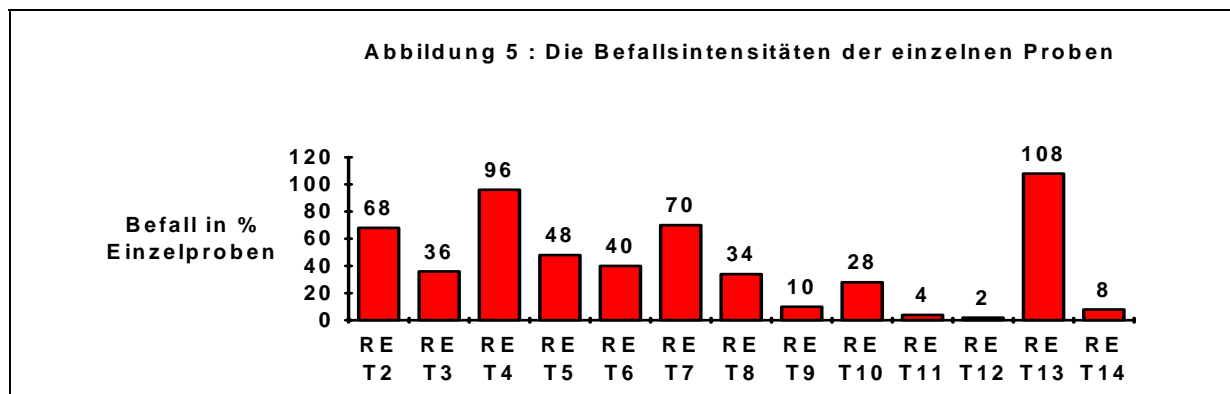


Was kann darüber ausgesagt werden, wie der Gehalt an Bodenskelett die Myxobakterienverteilung beeinflusst? In Abbildung 4 stellen wir die Ergebnisse der Siebung den einzelnen Standortbefunden gegenüber. Beurteilt werden kann im vorliegenden Fall der Bereich zwischen 0 und 20% makro-klastischer Komponenten. Probe RET 9 stellt mit starken 40% Bodenskelett eine Ausnahme dar. Sie ist der Übersichtlichkeit halber nicht in Abbildung 4 enthalten. Wie zu erkennen ist, scheint ein gewisser Anteil an Bodenskelett das Vorkommen von Myxobakterien zu fördern. Von den Proben ohne gröber klastische Anteile sind die meisten nur gering von Myxobakterien besiedelt. Dies unterstreicht die Fest-stellung, daß in der Höhle eine hohe Uneinheitlichkeit der Biotope besteht. Außerdem wird der Trend aus Abbildung 3 weiter fortgesetzt. Es ist jedoch zu erwarten, daß ein wesentlich größerer Anteil an gröber klastischen Komponenten im Sediment wieder zu einem Rückgang der Besiedelungsdichte führt.



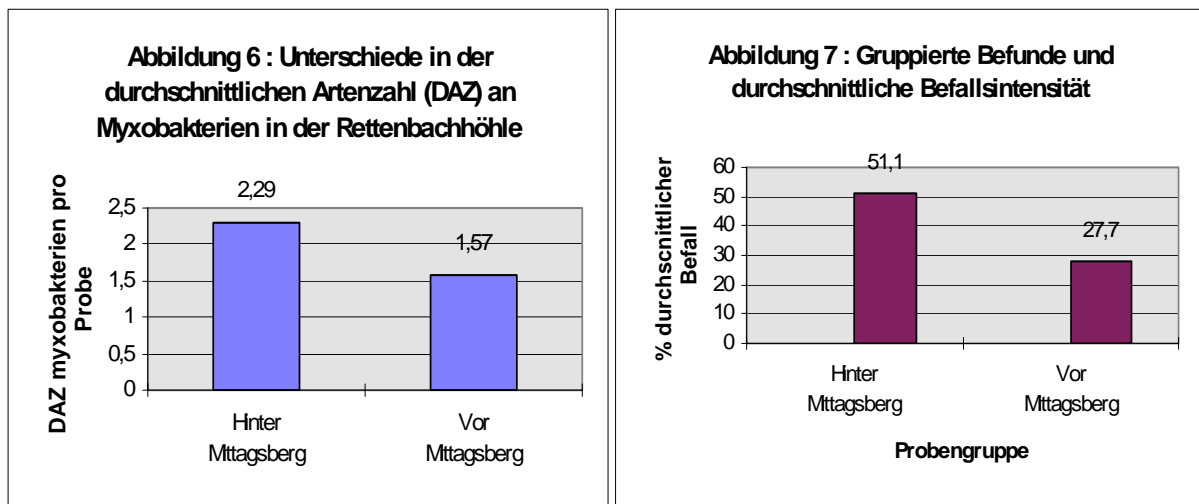
4.7. Myxobakterienbefall und Abstand zum Karstwasserspiegel („Niedrigwasser“)

Bei der grafischen Darstellung der Befallsstärken pro Probe deutet sich ein Trend an (Abbildung 5). Die Befallsintensität scheint irgendwie (Ausnahme Probe 1 und 13) von der Probennummer abzuhängen.

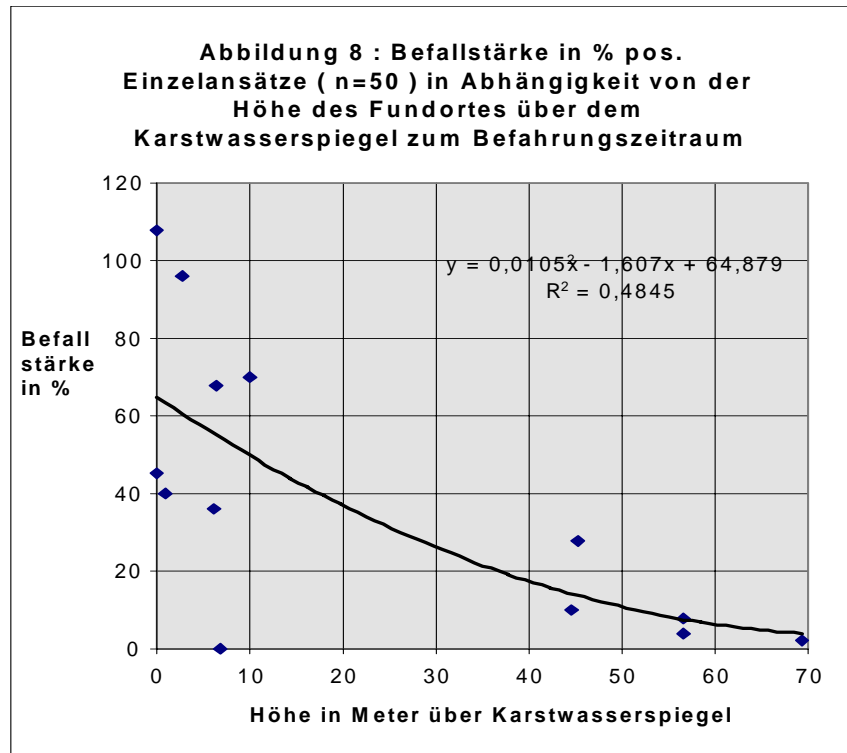


Mit zunehmender Probennummer nimmt die Befallsintensität ab. Dabei handelt es sich nicht um ein Artefakt, sondern dieser optische Befund hat durchaus logische Gründe, wenn man die Strategie der Probennahme und die Lage der einzelnen Proben zum Karstwasserspiegel untersucht. Die Numerierung erfolgte ja generell vom Endsee an auswärts. Die Proben RET 1 bis RET 7 befanden sich unter Berücksichtigung des aktuellen Karstwasserspiegels in unmittelbarer Nähe desselben. Probe RET 8 liegt wesentlich über dem aktuellen Karstwasserspiegel. Dies trifft zum Befahrungszeitraum auch auf die Proben RET 9 - RET 14 zu. Zu diesem Zeitpunkt musste der Wasserspiegel in diesem Höhlenbereich irgendwo am Grund des Edelschachtes zu finden gewesen sein. Probe RET 13 stellt insofern eine Ausnahme dar, als dort ein direkter und intensiver Wasserzutritt erfolgt. Wir bewerten dies in der Folge so, als ob diese Probe auch direkt dem Karstwasserspiegel angeschlossen wäre.

Allein die Trennung der Befunde in zwei Probengruppen A: „Vor Mittagsberg“ (= RET 8-14) und B: „Hinter Mittagsberg“ (RET 1-7) zeigt signifikante Unterschiede auf, sowohl was die durchschnittliche Artenzahl der Proben als auch was die Befallsintensitäten betrifft (Abbildungen 6 und 7).



Aus dem Längsschnitt des Höhlenplanes (THALER 1976) wird es nun möglich, die Lage jeder einzelnen Probe zum Karstwasserspiegel grafisch zu bestimmen. In Abbildung 8 haben wir diese Maßzahl gegen den Probenbefall an Myxobakterien aufgetragen.



Es ist deutlich zu erkennen, daß mit zunehmender Entfernung zum Wasserspiegel der Befall an Myxobakterien abnimmt. Die hier ausgewählte polynomische Trendlinie zeigt nicht unbedingt den tatsächlichen funktionalen Zusammenhang der beiden Parameter an, stellt jedoch eine interessante Näherung dar. Sie zeigt, daß in unmittelbarer Nähe des Wasserspiegels der Abstand eine grössere Rolle spielt als in weit vom Karstwasser entfernten Biotopen. Die Nähe des Wasserspiegels kann als Maß für die Häufigkeit von Überflutungsereignissen gelten. Diese führen neues Zellmaterial und Nährstoffe zu. In der Rettenbachhöhle kommt es nicht bei jedem Hochwasser in der Dückenröhre und im Seengang auch zu einem Hochwasser in der Langen Kluft (WIMMER 1995). Die Ergebnisse sind somit plausibel.

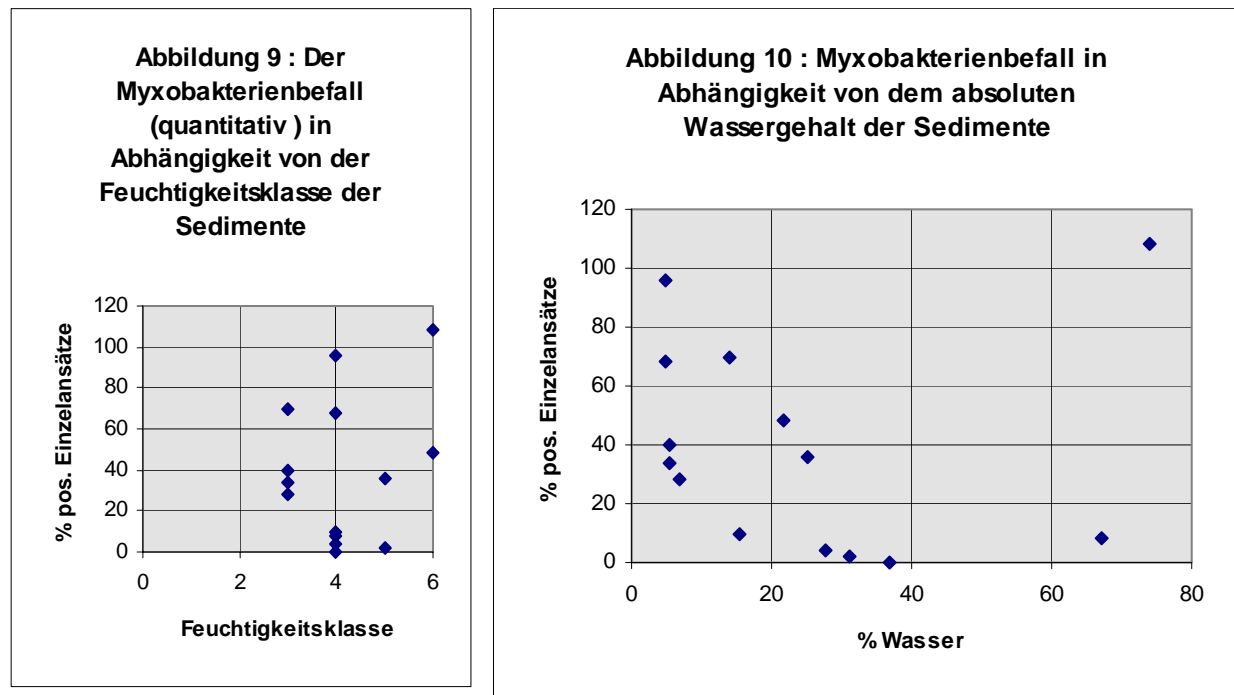
Ferner ist auch die durchschnittliche Artenzahl in ähnlicher Weise abhängig vom Abstand zum Karstwasser. In den Sedimenten nahe am Karstwasserspiegel ist es recht wahrscheinlich, zwei oder drei Arten zu finden, während in den entfernteren Sedimenten nur ein bis höchstens zwei Arten gefunden wurden. Der Karstwasserspiegel beeinflusst somit sowohl quantitativ als auch qualitativ die Zusammensetzung der Mikrobiozönose.

4.8. Der Einfluss der Sedimentfeuchte auf den Myxobakterienbefall in der Rettenbachhöhle

Wenden wir uns nun der Bedeutung der Sedimentfeuchte zu. Den klassifizierten Daten weisen wir eine grössere Bedeutung zu als den gravimetrisch bestimmten Absolutwerten des Wassergehaltes. Dies erfolgt deswegen, da der absolute Wassergehalt der Proben sehr stark schwanken kann. Gerade die sandigen Proben haben eine geringe Wasserhaltekapazität. Sie werden schon rein gravitativ rasch entwässert. Außerdem sind auch Verdunstungsprozesse dort rascher. Lehme hingegen weisen einen hohen Wassergehalt auf, welcher jedoch aufgrund der ihnen eigenen Saugspannung nicht voll für Organismen zur Verfügung steht. Die Ergebnisse dieser Teiluntersuchung sind in Abbildung 9 und 10 dargestellt.

Im vorliegenden Fall kann keine positive Korrelation zwischen Sedimentfeuchte und Myxobakterienbefall erkannt werden. Dies ist typisch für Höhlen vom Bachtypus oder im hochphreatischen Bereich. Die Sedimentfeuchten wechseln hier relativ häufig. Positive Korrelationen existieren meist bei tagnahen Höhlensystemen oder Höhlenteilen.

In Abbildung 10 wird sogar, unter Nichtberücksichtigung der beiden Werte über 50% Feuchtigkeit, eine negative Korrelation zwischen Feuchte und Myxobakterienbefall nahegelegt. Diese Beobachtung verdient in Zukunft nähere Aufmerksamkeit.



4.9. Weitere Befunde in den entnommenen Sedimenten

Während der Untersuchung der Sedimente machten wir noch einige Zusatzbefunde, die hier ebenfalls Erwähnung finden sollen.

In oberirdisch entnommenen Sedimentproben findet man sehr häufig neben Myxobakterien in den Petrischalen Nematoden. Diese sind unerwünscht, da sie die Fruchtkörper der Myxobakterien auffressen. Erstaunlicherweise sind jedoch in den Höhlenproben stets nur sehr wenige Nematoden zu finden, obwohl diese sehr resistente Dauerformen ausbilden können. Im vorliegenden Fall konnte in keiner Probe ein Nematode gesichtet werden.

In den Proben RET 8 und RET 7 wuchsen neben den Myxobakterien auch einige Pilze in den Kulturgefäßen heran (Mucor-Typus).

Sowohl in Probe RET 7 als auch in RET 6 fanden wir teils zahlreiche Schneckenhäuschen. Diese waren meist noch mit dem Tierkörper gefüllt, also zum Entnahmezeitraum lebendig. Es wird sich dabei um die bei WEISSMAIR und HAUSER (1992) genannten Bythinella austriaca handeln. Anders als bei dortigen Befunden konnten wir jedoch lebende Tiere entnehmen und zudem feststellen, daß ein Verbreitungsschwerpunkt die Dückenröhre (abfallende Flanke des Mittagsberges) sein könnte.

Von weiterer Bedeutung ist der Fund von Magnetit im Sediment. In den Proben RET 2 durchgehend bis RET 10 waren im Sediment kleine und kleinste Magnetitpartikel, in teils recht bedeutender Quantität, nachzuweisen. In den Proben RET 1 und RET 11 bis RET 14 war dagegen kein Magnetit zu finden. Mit Ausnahme von Probe RET 13, welche eine Sonderstellung einnimmt, war somit genau in den Proben kein Magnetit zu finden, die auch eine sehr geringe Besiedelung durch Myxobakterien aufweisen (Probengruppe mit Magnetit: DAZ = 2,33; durchschnittl. Befall = 47,8%; Probengruppe ohne Magnetit (u.o. RET 13): DAZ = 0,75; durchschnittl. Befall = 3,5%). Wie kann dieser Befund erklärt werden? Grundsätzlich könnte das Mineral aus zentralalpinen Gesteinen kommen und im Laufe der Gebirgsbildung in die Höhle eingetragen worden sein. Die positive Korrelation zwischen Myxobakterienbefall und Magnetitvorkommen wäre dann so zu deuten, daß Myxobakterien eben in den aquatischen und semiaquatischen Lebensräumen in Höhlen die besten Lebensbedingungen finden. Der Zusammenhang bestünde nur aufgrund gemeinsamer Transportmechanismen. Dasselbe Wasser transportiert eben auch die Mineralpartikel und die organischen Stoffe. Es gibt jedoch noch eine andere Möglichkeit der Überlegung. Die Entdeckung sogenannter magnetotaktischer Bakterien führte zu interessanten Ergebnissen bezüglich mikrobiologischer Magnetitbildung (BAZYLINSKI, FRANKEL und JANNASCH 1988; LOVLEY, STOLZ, GORDON und PHILLIPS 1987; A.A <Jae> 1988). Diese Ergebnisse sind für die Geochemie der Sedimente von großem Interesse, da sie zugleich eine Erklärung für den Restmagnetismus derselben liefern, den man in der Vergangenheit mit diversen abiotischen Entstehungshypothesen zu deuten versuchte. Nun ist es nicht so, daß Myxobakterien Magnetit bilden können. Ihr gehäuftes Vorkommen ist lediglich ein Hinweis (Zeigerorganismen) auf eine allgemein reiche mikrobiologische Besiedelung der untersuchten Sedimente. Ob solche mikrobiologischen Prozesse auch in Höhlen - speziell im vorliegenden Fall in der Rettenbachhöhle - eine Rolle bei der Magnetitbildung spielen, ist eine vertiefte Arbeit wert. Dies ist vor allem deshalb so, da der Sedimentbestand von Höhlen häufig auch zur Erklärung der Landschaftsgeschichte herangezogen wird.

Im Laufe der Untersuchung stiess der Autor noch auf einen weiteren interessanten Befund. Nachdem die Petrischalen ausgewertet waren, wurden sie für einen Monat dem Tageslicht ausgesetzt und schliesslich nochmals durchgesehen. Dabei trat ein Befund buchstäblich zu Tage, der zu einer neuen Methode speläobiologischer Sedimentuntersuchungen denkbar werden lässt. Es fiel auf, daß sich in einigen Proben kleine Algenansammlungen und in einem Fall sogar (RET 13) ein winziges Farnprothallium gebildet hatte. Bei nochmaligem Überprüfen der Proben war erkennbar, daß von Probe zu Probe grosse Unterschiede in dem Vorkommen grüner Pflanzen, also an Chlorophyll, festzustellen sind. In Proben, wo schon morphologisch ein sehr enger Oberflächenbezug existiert (RET 13) waren auch besondere Mengen von, vereinfacht ausgedrückt, Chlorophyll zu sehen. Dieser Befund lässt die Vermutung zu, daß man mittels definierter Inkubation von Höhlensedimenten (Tageslicht, Feuchtigkeit konstant, Zeit konstant, Nährmedium konstant) und anschliessender Extraktion des Chlorophylls, quantifiziert als µg/g einen Oberflächenbezugsindex (OBIX) definieren kann, da gerade diese photolithoautotrophen Organismengruppen nur sehr eingeschränkt zu Wachstum in Höhlen befähigt sind. Diesem Thema soll in Zukunft verstärkt nachgegangen werden.

5. Diskussion

Die hier dargestellten Ergebnisse fügen sich fast nahtlos in die Befunde aus anderen Karstgebieten ein. In allen bisher untersuchten Höhlengebieten stellten wir fest, daß Höhlenbäche und die hochphreatische Zone die günstigsten Biotope für Myxobakterien und damit wohl auch für Bakterien im weiteren Sinne sind. Ferner stellten wir bereits fest, daß sich vor allem nasse sandige Sedimente als ausgezeichnete Bakterienbiotope im Karst erweisen. Dieser Befund erscheint von großem Interesse, was die Bewertung von mikrobiologischen Befunden an Karstquellen betrifft. Es wurde festgestellt, daß die Netto-mineralisierung in Böden allgemein bei Sanden wesentlich schneller abläuft als bei Böden mit höherem Tongehalt. In Böden mit hohen Tongehalten kommt es durch verschiedene Mechanismen zu einem Schutz der organischen Substanz vor Abbau (SCHINNER und SONNLEITNER 1996). Dieser Effekt scheint in Höhlen besonders bedeutend zu sein. Befunde dieser Art haben eine noch näher zu diskutierende Bedeutung für den Prozess der Verkarstung.

Im Gegensatz zu oberflächennahen Höhlensystemen zeigt die Verteilung der Myxobakterien in den beprobten Sedimenten der Rettenbachhöhle keine positive Abhängigkeit von der Sedimentfeuchte. Dies ist auf die stark wechselnden hydrologischen Situationen der einzelnen Probennahmeorte zurückzuführen. Im Wildpalfensystem (Hagengebirge) stellten wir fest, daß in dem oberen, tagnahen Höhlen-niveau eine gute Korrelation zwischen Sedimentfeuchte und Myxobakterienbefall vorliegt. Im tieferen Niveau war dagegen keine Abhängigkeit mehr festzustellen. Es kommen hier zusätzliche Faktoren hinzu, die die Verteilung bestimmen. Wir schlußfolgern daher, daß im Karstgebirgskörper mindestens vier mikrobiologische Differenzierungszonen vorliegen. Die Bezeichnung erfolgt in Anlehnung an NEUHERZ (1979):

1. Subcutane Zone, 0 - 5 (10) Meter unter Oberboden
2. Obere vadosa Differenzierungszone (Epiklasal)
3. Untere vadosa Differenzierungszone (Hypoklasal)
4. Hochphreatische und phreatische Zone; Höhlenbäche (Hydroklasal)

Im **Epiklasal** spielt der direkte Oberflächeneinfluß durch die diffus zutretenden Wässer eine hauptsächliche Differenzierungsrolle. Das zutretende und frei verfügbare Wasser ist in dieser Zone ein guter Hinweis auf die mikrobiologische Besiedelung der Sedimente. Im **Hypoklasal** ist das zutretende Wasser kein unmittelbarer Hinweis mehr auf die mikrobiologische Besiedelung der Sedimente. Andere Faktoren wie Chemolithotrophie, Nährstoffzufuhr durch höhere Organismen, nährstoffreichere Einzelwässer u.ä. ist bedeutender als das Wasser allein. (Z.B. kann in dem etliche Sekundenliter schütten den Höhlenbach im Nordgang des Wildpalfensystems praktisch kein Myxobakterium gefunden werden, trotz reichlich sandiger Sedimente; der Bach sickert zuvor durch den ca. 100m hohen Versturzb erg des MÜMÜ-Ganges, und ist hier praktisch vollständig filtriert.) Eine scharfe Trennungslinie zwischen Epiklasal und Hypoklasal kann nicht gezogen werden. Im **Hydroklasal** schliesslich kommt es sprunghaft zu einem Anwachsen der Besiedlungsmöglichkeiten durch Mikroorganismen. Hier stellt allerdings die Sediment-feuchte kein brauchbares Maß mehr dar, sondern vielmehr der vertikale Abstand zum Karstwasser-spiegel. Im Hydroklasal existieren subhydrische und semihydrische Lebensräume.

In der Rettenbachhöhle ist eine über etliche Zehnermeter ausgedehnte semihydrische (semiaquatische) Besiedelungszone vorhanden, die mit dem hochphreatischen Bereich identisch ist. Es wurde eine sehr enge Bindung der Myxobakterienverteilung an die Häufigkeit der Überschwemmungen festgestellt. Im Bereich hinter dem Mittagsberg (RET 1 - 7) sind die Überschwemmungen häufiger als in der langen Kluft oder in den Proben, die aus dem Bereich der Schmugglerstiege entnommen wurden. Hier ist auch die Filterwirkung des Mittagsberges selbst mit zu berücksichtigen.

In Tabelle 6 stellen wir den Befunden in der Rettenbachhöhle einige andere, vergleichbare Höhlen gegenüber. Die Falkensteinerhöhle (Schwäbische Alb) kann als Musterbeispiel eines Hydroklasals dienen. Ihr Höhlenbach fließt ständig, die Wasserstandsschwankungen liegen im Meterbereich, und die Abhängigkeit der Myxobakterienverteilung von der Höhe über dem Normalwasserspiegel wurde bereits nachgewiesen (MENNE 1992). Die Salzgrabenhöhle liegt ebenfalls, ähnlich wie die Rettenbachhöhle, am Fuß eines etwa tausend Meter mächtigen, durchgängig verkarsteten Gebirgskörpers. In dieser Höhle wurde bislang gezielt der unterste hypoklasale Bereich, also die mächtigen Sandlager, welche direkt über der Hochwasserzone liegen, beprobt. Schliesslich sei noch als Beispiel für das Epiklasal und obere Hypoklasal die Befunde aus dem Wildpalfensystem angeführt.

Tabelle 6: Vergleich der Myxobakterienbefunde in der Rettenbachhöhle mit der Salzgrabenhöhle, der Falkensteinerhöhle und dem Wildpalfensystem

	Rettenbachh.	Falkensteinerh.	Salzgrabenh.	Wildpalfen-syst.
Anzahl untersuchter Sedimente	14	37	10	37
Absolute Artenzahl (AAZ)	5	5	4	4
Durchschnitl.Artenzahl (DAZ)	1,93	2,69	1,70	1,16
Standardabweichung DAZ	1,07		0,82	0,91
Biotoptemperatur (mittl.)	6,8	8,4	6,1	1,7
% pos. Proben	92,9	97,3	90,0	70,3
Präsenz <i>M.fulvus</i>	92,8	94,6	50,0	62,2
Präsenz <i>M.virescens</i>	14,3	43,2	40,0	5,4
Präsenz <i>M.stipitatus</i>	35,7	5,4	00,0	0,0
Präsenz <i>C.coralloides</i>	42,9	78,4	70,0	45,9
Präsenz <i>A.gephyra</i>	7,1	37,8	10,0	5,4
durchschnittl. Gesamtbefall %	39,4	44,6	20,8	18,3

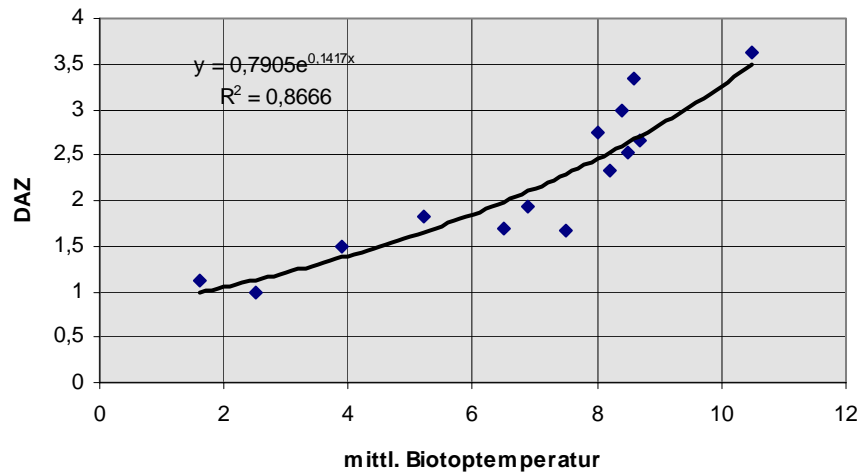
Obige Tabelle vergleicht die Höhlen jeweils qualitativ. Ein quantitativer Vergleich würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Das Wildpalfensystem mit seinem hochalpinen Einzugsgebiet, überwiegend aus dem Kalkkarst, hat erwartungsgemäß die geringste Besiedelung aufzuweisen. *M. fulvus* und *C. coralloides* dominieren den Myxobakterienbestand, wobei im oberen Höhlenniveau (Epiklasal) sich beide Arten die Waage halten, während im Hypoklasal eindeutig *M. fulvus* dominiert. Was die Präsenzen der einzelnen Arten betrifft, so zeigt sich die gleiche Reihenfolge wie bei der Rettenbachhöhle. Allerdings kommt bei letzterer noch *M. stipitatus* dazu. Diese Art wird normalerweise nur in den wärmeren Höhlen gefunden. Die Rettenbachhöhle ist bislang eines der kältesten Biotope, wo diese Art nachzuweisen war.

Im Vergleich zur Falkensteinerhöhle fällt auf, daß dort alle Arten, von *M. stipitatus* abgesehen, mit deutlich höheren Präsenzen auftauchen. Hier spielt es sicher eine Rolle, daß die Falkensteinerhöhle ihr Wasser ausschliesslich aus dem Grünkarsst bezieht und außerdem noch eine gewisse, auch chemisch messbare Verschmutzung des Wassers vorliegt.

Die Salzgrabenhöhle ist hier als Muster für ein völlig gestörtes Myxobakterienspektrum angeführt. In keiner anderen Höhle konnten vergleichbare Verhältnisse gefunden werden. Gelegentlich im untersten Hypoklasal wäre mit sehr geringen Myxobakterienbefunden zu rechnen. Gefunden wird ein Überwiegen von *C. coralloides* und ein fast gleichstarkes Auftreten von *M. fulvus* und *M. virescens*. Da sonst in allen Höhlenproben *M. fulvus* zumindest knapp, meist jedoch deutlich die höchste Präsenz aufweist, vermuten wir, daß es sich bei den Befunden aus den eingangsnahen Sanden (Sammlung Eingang bis Satteldom) um Hinweise auf die Befahrungsaktivitäten und intensiven Biwakaktivitäten in dieser Zone handelt, also anthropogen ist.

Als weiterer wichtiger Faktor taucht in obiger Tabelle die mittlere Biotoptemperatur auf. Es wurde festgestellt, daß ein enger Zusammenhang zwischen dieser und der durchschnittlichen Artenzahl in Höhlen besteht. Abbildung 11 gliedert die Rettenbachhöhle in das Bild aller bisher untersuchten Höhlengebiete ein. Es wird eine ausgezeichnete Übereinstimmung der Befunde festgestellt. Die Aufsammlung verstärkt den Eindruck, daß es sich bei diesem Zusammenhang um ein naturgesetzliches Phänomen handelt. Eine Erklärung findet sich in den unterschiedlichen und vermutlich genetisch fixierten Kardinaltemperaturen der einzelnen Arten.

**Abbildung 11 : Durchschnittliche Artenzahlen und
mittlere Biotoptemperaturen von
Myxobakterienbefunden in Höhlen**



Die durchgeführten Untersuchungen ermuntern zu weiteren Arbeiten. Angesichts der idealen Verknüpfung unterschiedlichster Fachgebiete im Rahmen des Nationalpark-Karstprogrammes sind erstmals Ansätze erkennbar, die eine Verknüpfung mikrobiologischer Faktoren mit hydrologischen und limno-logischen Daten im Karst möglich machen.

In der Rettenbachhöhle selbst erscheint es sinnvoll, nunmehr die Flanke des Mittagsberges in Richtung Vordersee zu besammeln, gleichfalls den Warmstollen und Edelsee. In das Hypoklasal könnte durch Erklettern der diversen Schlote vorgedrungen werden. Gleichfalls erscheint die Beprobung von Profilen sinnvoll. Auch eine Beprobung der Oberfläche und im Transekt liegender Höhlen ist indiziert.

Aufgrund der detailliert verfügbaren hydrologischen und meteorologischen Daten könnte hier erstmals der Versuch gemacht werden die Besiedelung von Höhlen-/Karstsedimenten zu simulieren. Dazu müssten im hinteren Höhlenbereich ausreichend Sedimente entnommen werden, diese sterilisiert werden und mit geeigneten, fixierten Fangeinrichtungen (durchströmbarer und sterilisierbarer Metallkorb) wieder ausgebracht werden. Durch sukzessives Bergen der Fangeinrichtung kann die Besiedelungsstrategie analysiert werden. Dies wäre ein weltweit einmaliges Projekt.

Eine Anbindung der Untersuchungen an die mikrobiologischen Arbeiten von S. Schmidt, Graz, kann dadurch erfolgen, daß eine Probenserie Sedimente parallel auf die Keimzahlen (CFU, E. coli, coliforme Keime, etc. und Myxobakterien) untersucht wird, und gleichzeitig auch Keimzahlbestimmungen in den Höhlenwässern (sowohl dem Hauptwasserlauf als auch den starken Tropfwasserquellen) durchgeführt werden.

6. Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt. Ferner erfolgte eine finanzielle Unterstützung durch das Büro für Ingenieurbiologie (Mühlacker) und das Labor für chemisch-technische Untersuchungen (Wiernsheim, beide Bundesrepublik Deutschland). Herrn Dr. H. Haseke und Frau S. Schmidt sei für die freundliche Einladung aufrichtig gedankt. Bei meiner Ehefrau möchte ich mich für das Korrekturlesen und die Literaturarbeit bedanken.

7. Literatur

A. A. <JAE.> (1988): Magnetit-Sedimente. Naturwissenschaftliche Rundschau 41(6): 251.

BAZYLINSKI, B.A.; FRANKEL, R.B.; JANNASCH, H.W. (1988): Anaerobic magnetite production by a marine magnetotactic bacterium. Nature 334: 518-519. London

GOROLL, E. (1978): Myxobakterien in tropischen Böden: Ein Vergleich von Kulturland und natürlichen Biotopen im tropischen Regenwald von Peru. Unveröffentl. Staatsexamensarbeit; Karlsruhe

HASEKE, H. (1996): Karstquellen Monitoring und Ereigniskampagne 1995. Jahresberichte 1995 Nationalpark Karstprogramm. Nationalpark Kalkalpen.

LOVLEY, D.R.; STOLZ, J.F.; GORDON, L.N.; PHILLIPS, E.J.P (1987): Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism. - Nature 330: 252-254. London

MENNE, B. (1986): Untersuchung von Höhlensedimenten auf das Vorkommen von Myxobakterien. - In: MENNE, B.: HAGEN 1985: Beitr. z. Karst- u. Höhlenkunde d. Hagengebirges 3(1): 27-32. Mühlacker

MENNE, B. (1987): Vorkommen von Myxobakterien in den Sedimenten der Höhlen des Eisgrabens. - In: MENNE, B.: HAGEN 1986: Beitr. z. Karst- u. Höhlenkunde d. Hagengebirges 4(1): 67-70, Mühlacker

MENNE, B. (1988a): Speläobiologische Sedimentuntersuchungen in der Bergerhöhle - Atlantis - Höhlenforschung aktuell 1/88: 41-45. Salzburg

MENNE, B. (1988b): Mikrobiologie von Höhlensedimenten. - In: MENNE, B.: HAGEN 1987. Beitr. z. Karst- u. Höhlenkunde im Hagengebirge 5(1): 57-61. Mühlacker

MENNE, B. (1990): Speleobiologie: Mikrobiologie. in: MENNE, B.; JACOBI, K; LAMMERER, P.; RAPP, P.; SCHMIDT, F.; WAGNER, W.: HAGEN 1989: Beitr. z. Karst- u. Höhlenkunde im Hagengebirge 7(1): 56-58. Mühlacker

MENNE, B. (1992): Einige Befunde zur Besiedelung von klastischen Höhlensedimenten der Schwäbischen Alb durch Mikroorganismen der Ordnung Myxobacterales. Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch. 38(3): 60-62, München

MENNE, B. (1996a): Manganhaltige Ablagerungen in der Rettenbachhöhle (Kat.-Nr. 1651/1, Oberösterreich) und ihre Zusammenhänge mit mikrobiologischen Prozessen. - Die Höhle (in Druck)

MENNE, B. (1996b): Einige Befunde zur Besiedelung von Sedimenten des Fuchslabyrinths (6626/3a) durch Mikroorganismen der Ordnung Myxobacterales. Beiträge zur Höhlen- und Karstkunde in Südwestdeutschland. (In Druck.)

MENNE, B.; RÜCKERT, G. (1988): Myxobakterien (Myxobacterales) in Höhlensedimenten des Hagengebirges (Nördliche Kalkalpen). - Die Höhle 39(4): 120-131, Wien

NEUHERZ, H. (1979): Das Klasum - ein unterirdisches Ökosystem. - In: Höhlenforschung in Österreich. Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum in Wien. Neue Folge 17: 71-76. Wien.

REICHENBACH, H.; DWORKIN, M. (1992): The Myxobacteria. - In BALOWS, A.; TRÜPER, H.G. (Eds.): The Prokaryotes. 2. Aufl. Vol. 4: 3416-3487. Berlin.

ROSENBERG, E (Ed.) (1984): Myxobacteria - Development and Cell Interaction.- Springer New York.

RÜCKERT, G. (1980): Beiträge zur Verbreitung, Verbreitungsökologie und Ökologie der Myxobakterien (Myxobacterales). Habilitationsschrift Universität Karlsruhe.

RÜCKERT, G. (1985): Myxobakterien (Myxobacterales) in kleinstandörtlich aufgeliederten Teillebensräumen der südwestdeutschen Rheinauen. Tuxenia, Mitteilungen der floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft, Nr. 5: 455-459, Göttingen.

RUSTERHOLTZ, K. J.; MALLORY, L. M. (1994): Density, Activity, and Diversity of Bacteria Indigenous to a Karstic Aquifer. Microbial Ecology 28: 79-99. New York

SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1996): Bodenökologie I: Mikrobiologie und Boden-enzymatik. Grundlagen, Klima, Vegetation und Bodentyp. Springer Berlin.

SCHMIDT, S.: (1996): Mikrobiologische Beprobung, Analyse und Auswertung der Quellwässer. Projektendbericht Teil 1 Karstprogramm 1995; Nationalpark Kalkalpen.

SINGH, B.N. (1947): Myxobacteria in soils and composts: their distribution, number and lytic action on bacteria. - J. Gen. Microbiol. 1: 1-10. Cambridge.

THALER, H. (1976): Höhlenplan der Rettenbachhöhle (Teufelsloch) bei Windischgarsten O.Ö. Kataster Nr. 1651/1

WEISSMAIR, W; HAUSER, E. (1992): Biospeläologische Untersuchungen zur Fauna der Rettenbachhöhle bei Windischgarsten. Nationalpark Kalkalpen, Jahresbericht 30.01.1992. Leonstein.

WIMMER, M (1995): Bericht über hydrographische und karsthydrologische Beobachtungen in der Rettenbachhöhle. - Mitteilungen des Landesvereins für Höhlenkunde in Oberösterreich 41(1), lfd. Nr. 100:6-24, Linz.