

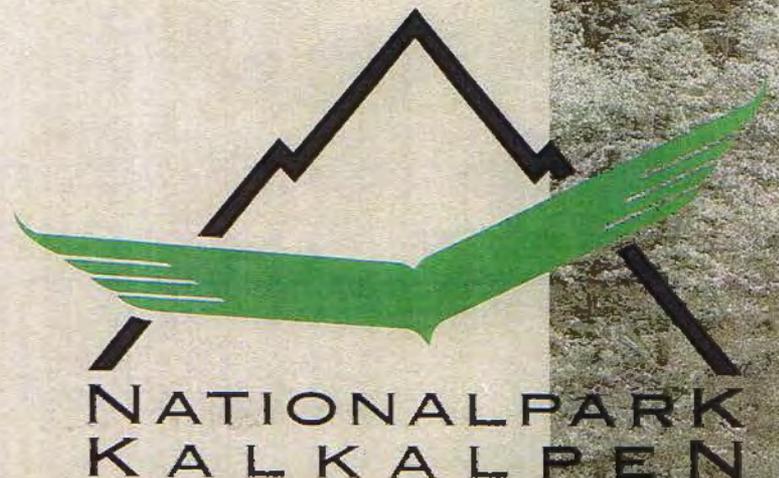
**„Sessile Mikrobiologie
(Myxobakterien) im
hochphreatisch-hydroklasalen
Raum der Rettenbachhöhle,
Stichprobenerhebung im
Einzugsgebiet“**

Mikrobielle Analytik III
Karstprogramm Teilprojekt 7.5.3.

Benjamin Menne

Endbericht 1997

Geördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie



**NATIONALPARK
KALKALPEN**

NATIONALPARK KALKALPEN
KARSTPROGRAMM 1997

TEILPROJEKT 7.5.3.
Mikrobielle Analytik III

„ Sessile Mikrobiologie (Myxobakterien) im hochphreatisch-hydroklasalen Raum der
Rettenbachhöhle, Stichprobenerhebungen im Einzugsgebiet “

Projektendbericht

Benjamin Menne, Mühlacker, 25.Dezember 1997

Diese Arbeit wurde beauftragt vom Nationalpark Kalkalpen GmbH und aus Mitteln des
Bundesministeriums für Umwelt und des Landes Oberösterreich finanziert.

Inhalt	Seite
1. Summary	3
2. Einleitung und Problemstellung	7
3. Material und Methoden	8
3.1 Probennahme	8
3.1.1 Subterrane Sedimente	8
3.1.2 Beläge der Höhlenwände	8
3.1.3 Oberirdische Sedimente	9
3.1.4 Sterile Sedimente/Sukzessionsversuch	10
3.2 Physikalische und chemische Meßverfahren	11
3.3 Mikrobiologische Untersuchungsmethoden	12
3.3.1 Myxobakterienscreening	12
3.3.2 Mikroskopische Methoden	12
3.3.3 Filterstempelversuche	12
3.3.4 Bestimmung von CFU, coliformen Keimen und E. coli	12
4. Ergebnisse	13
4.1 Subterrane, autochthone Sedimente	13
4.1.1 Das Artenspektrum	13
4.1.2 Probenserie vom Februar 1997	16
4.1.3 Probenserie vom April 1997	19
4.1.4 Probenserie vom Juni 1997	21
4.1.5 Probenserie vom Juli 1997	23
4.1.6 Probenserie vom September 1997	25
4.1.7 Weitere beprobte Höhlen (Maulaufloch, Nadelöherschacht)	25
4.2 Der Sukzessionsversuch	27
4.2.1. Serie 1 vom Februar 1997	27
4.2.2 Serie 2 vom Juni 1997	30
4.2.3 Serie 3 vom September 1997	32
4.3 Die Oberflächenproben	33
4.3.1 Proben aus dem Einzugsgebiet des Rettenbachhöhlensystems	33
4.3.2 Proben aus dem Vorflutbereich des Rettenbachhöhlensystems	35
4.4 Jahreszeitliche Änderungen der Mikrobiozöosen (Sonderstandorte)	37
4.4.1 Der Sonderstandort RET 6 (Dückenröhrenbach)	37
4.4.2 Der Sonderstandort RET 9 (Hauptauslauf Lange Kluft)	38
4.4.3 Der Sonderstandort RET 7 (Schmugglerstiege)	39
4.4.4 Vergleichende Betrachtung der Sonderstandorte	40
4.5 Die Wandbeläge	43
4.4.1 Abstriche und Kultivierungsversuche	43
4.4.2 Physikalischer Biofilmaustrag und Mikroskopie	45
5. Diskussion	49
6. Konzeptive Weiterentwicklung der Untersuchungsansätze	65
7. Literatur	66

1. Summary

Während des Untersuchungszeitraumes 1997 wurden im Rettenbachhöhlensystem insgesamt 5 Probenreihen natürlicher Sedimente gezogen und, neben diversen chemisch-physikalischen Parametern, auf ihre Myxobakterienbesiedlung untersucht. Dies geschah in Fortsetzung der bereits 1996 begonnenen Arbeiten. Im November 1996 wurde ein neu entwickelter Sukzessionsversuch, bestehend aus zehn sterilen Containern, welche jeweils 3 sterile Sandsäckchen á 100g Sediment enthielten, gestartet. Die Sandsäckchen wurden in drei Kampagnen (Februar, Juni und September) eingesammelt und ebenfalls auf ihre Myxobakterienbesiedlung untersucht. Im Juli wurden 15 Sedimentproben an der Oberfläche, im Einzugsbereich des Rettenbachhöhlensystems, aufgesammelt. Gleichfalls sind aus den Bachsedimenten der Vorflut des Höhlensystems 5 Proben entnommen worden. Einige Probenahmen in kleineren Höhlensystemen (Maulaufloch, Nadelörschacht) rundeten das Bild ab.

Wichtig war die aktive Suche nach Biofilmen im Höhlensystem. Mittels physikalischer Verfahren wurde im Rahmen dieses Projektes nach oberflächengebundenen Anteilen der subterranean Mikrobiozöosen mit Erfolg gesucht.

Anders als 1996 konnte die Art *M.virescens* nicht mehr in der Höhle nachgewiesen werden. *M.fulvus*, *C.coralloides*, *M.stipitatus* und *A.gephyra* waren die 1997 nachgewiesenen Myxobakterien-Arten. Wie schon zuvor durch den Verfasser im Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nördliche Kalkalpen) gezeigt, gibt es eine vertikale Differenzierung der Mikrobiozöosen. Dabei hat die Art *M.fulvus* eindeutig ihren Verbreitungsschwerpunkt im Substratum, während *C.coralloides* im Epiklasum und in den oberirdischen Sedimenten bedeutender ist. Dadurch gewinnt das PV1, als Maßzahl für den Grad des Oberflächeneinflusses zu einem bestimmten Zeitpunkt, an Bedeutung. Der Oberflächeneinfluß nimmt im Sommer und bei Hochwasserereignissen demnach deutlich zu. Neu ist, daß eine „Basisliniendrift“ und eine gewisse Abhängigkeit von der Jahreszeit für den Parameter PV1 festgestellt wurde. Die Basisliniendrift beschreibt bei vertikal sehr ausgedehnten Untersuchungsgebieten die mikrobiozöotischen Veränderungen in den Oberflächensedimenten in Abhängigkeit von den Höhenstufen. Als weiteres Ergebnis stellten wir fest, daß Hochwasserereignisse keine eindeutige und (bislang) vorhersehbare Wirkung auf die sessilen Mikrobiozöosen (SSB) im Substratum haben. Während im Oktober 1996 nach einem eingipfeligen Hochwassereignis eine starke Zunahme der Myxobakterienbefunde im System zu bemerken war, traf dies im Juli 1997 in folge eines zweigipfeligen Extremhochwassers nicht zu. Letzteres wirkte sich insgesamt negativ auf die Bakterienmenge und Diversität aus. Artspezifische Reaktionen auf die Ereignisse waren zu erkennen.

Die Untersuchungen weisen darauf hin, daß laminar durchströmte Anteile des Substratums insgesamt die günstigsten Bedingungen für mikrobielles Wachstum haben. In den Jahresverlaufskurven ist ein Maximum der Besiedlung im Spätwinter/Frühjahr (April) zu erkennen, ein Maximum der Diversität allerdings im Herbst. Jede Spezies zeigt unterschiedliche Jahresverlaufskurven.

Die spezielle Untersuchung ausgewählter Einzelstandorte zeigt, daß die Feuchtigkeit je nach Lage des Sediments und der lokalen Situation sowohl positiv bei insgesamt geringem Wassergehalt, als auch negativ bei insgesamt hohem Wassergehalt, mit dem Myxobakterienbefall korreliert sein kann. In high-energy-Partien mit häufigen Hochwässern und Sedimentumlagerungen ist kein Zusammenhang zwischen Sedimentfeuchte und Befall gegeben. Die Untersuchung ausgewählter

Einzelstandorte (Sonderstandorte) zeigt, daß die räumliche Auflösung der mikrobiellen Biozönosen sehr hoch ist. Dies wird auch durch neuerliche Analysen geschichteter Sedimente bestätigt. Bis in den Millimeterbereich hinein sind Unterschiede der Besiedlung festzustellen.

Im Sukzessionsversuch, der allerdings die natürlichen Verhältnisse nicht exakt nachstellt, wurde eine Sukzessionsfolge von *M.fulvus*, *C.coralloides* und *A.gephyra* festgestellt. Dies entspricht exakt den bekannten physiologischen Möglichkeiten der nachgewiesenen Arten. Der Versuch weist darauf hin, daß mehr als eine Vegetationsperiode nötig ist um ein Klimaxstadium zu erreichen. In einigen Containern wurde ein direkter Wettbewerb zwischen den Spezies *M.fulvus* und *C.coralloides* festgestellt.

Im Höhlensystem wurden an vielen Stellen sehr unterschiedliche Biofilme gefunden und mikroskopisch untersucht. In den Filmen fanden sich außerordentlich diverse Lebensgemeinschaften der „Fissure Surface Biocoenosis“, die auch interessante Protozoenfaunen und Nematoden zeigten. Der direkte Nachweis von in situ gewachsenen Biofilmen verstärkt die Vorstellung vom Karst als natürlichem Festbetteaktor. Der direkte Nachweis von *coliformen Keimen* und *E.coli* auf den inneren Oberflächen der Rettenbachhöhle (Wasserlinie Vordersee) gibt darüber hinaus bezüglich der hygienischen Parameter an Karstquellen zu denken.

Insgesamt gesehen zeigen die Untersuchungen 1997, daß die subterranean Mikrobiozönosen einer jahreszeitlichen und ereignisabhängigen komplexen Dynamik unterworfen sind, wobei lokale Faktoren eine wesentliche Rolle spielen. Biofilme und Sedimentumlagerungen wirken sich direkt auf den Gesamtprozess aus. Hochstrukturierte Lebensgemeinschaften sind erkennbar. Artspezifische Reaktionen liegen vor.

During the year 1997 altogether 46 sediment samples of „natural“ klastic cave sediments have been collected (5 campaigns). We examined chemical and physical parameters together with the myxobacteria screening. This part of the work has to be considered as continuation of the 1996 project. In November 1996 we installed a new designed microbiological succession experiment in the cave. The experiment consists of ten sterile stainless-steel-containers, fixed at different places in the cave and filled with three sterile sand pockets (à100g) respectively. We collected the exposed pockets in three campaigns (february, june, september) and examined the myxobacteria content. In July 15 sediment samples from the surface have been collected and although 5 samples from the brooksediments below the cave spring. Some more samples have been taken from the caves Maulaufloch and Nadelöhrschacht.

Important was the search for in situ Biofilms in the cavesystem, using physical sampling methods.

In the 1997 samples of natural sediments, we identified the species *M.fulvus*, *C.coralloides*, *M.stipitatus* and *A.gephyra*. In contrast to 1996 samples there was no proof of the species *M.virescens*. The vertical zonation of the sessile microbiocoenosis of the klastic cave sediments has been confirmed. The index PV1 as indikator of the the surface influence at a given time on the cave ecosystem has been verified. According to the results from the Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nördliche Kalkalpen) the species *M.fulvus* has to be viewed as the predominant Myxobacteria in the subsurface. The species *C.coralloides* is predominant in the surface sediments and also important in the epiklasal. New is, that we have to consider a natural „basis-line-drift“ and seasonal effects on the PV1 value. The basislinedrift exists due to the influence of the altitude line on the myxobacteria diversity. Another important result was that it is not possible yet to describe the influence of flood events on the sessile subterraneous microbiocoenosis with a single explanation. The flood event (single peak) October 1996 was positively correlated with the quantity and diversity of the myxobacteria species in the klastic cave sediments, whereas a negative correlation between myxobacteria content and diversity was stated after the July 1997 event (double peak). Moreover it was possible to detect species-specific reactions.

Our research indicates that the laminar flow system of the subsurface offers best conditions for microbiological growth and development. The analysis from 1997 indicate a maximum of myxobacteria concentration in late winter / beginning spring (April). The highest diversity was detected in autumn. Every species has a different behavior.

Special examinations at three individual locations in the cave showed us that the parameter moisture content has very different effects on the microbiological ecosystem. In one case at a location with low water content, moisture and myxobacteria concentration is correlated positively. At another site, with relatively high water content, a negative correlation was proved. In the case of high-energy condition, next to the cave river, no correlation between moisture content and myxobacteria could be found.

Moreover, we proved again that the microbiological communities are of high diversity, even if we examine sediment layers with a thickness of 2-4mm. Strong differences between the layers have been detected.

During the succession experiment, we realized a sequence of species detection which started with *M.fulvus*, than *C.coralloides* and finally *A.gephyra*. From physiological experiments, obtained from

cardinal temperature measurements, we knew exactly the same sequence of species. The new experiment indicates as well, that more than one vegetation-period is necessary to reach the climax phase of succession. At some places (e.g. container 4) we discovered direct competition between *M.fulvus* and *C.coralloides*.

Within the Rettenbach Cave System, we sampled a high variety of biofilms. The microscopic examination indicates a ecosystem at the subterraneous surfaces („fissure surface biocoenosis“; FSB) with really enormous diverse biocoenosis. Next to the procaryotic systems, we observed a dense *protozoafauna*, probably heterotrophic *algae* and *nematodes*. This confirms the hypothesis of the karst as natural solid surface reactor. The direct identification of *coliforms* and *E.coli* on cave surfaces (waterline Vordersee) is leading to new interpretation models for karst springs under hygienic viewpoint.

Altogether we learn from the 1997 examinations in the Rettenbach Cave System, that the subterraneous microbiocoenosis is subjected to seasonal and singular (event) dynamics. Local factors are very important. Biofilms and transport of clastic sediments are very important for the process of karstification. Highly structured microbial communities are observable. Species-specific reactions are important.

2. Einleitung und Problemstellung

Nachdem die Mikrobiologie von Karstsystemen jahrelang nur ein Schattendasein im Bewußtsein der Wissenschaft gefristet hat, sind in den letzten Jahren weltweit intensive Anstrengungen zu verzeichnen, ein klareres Bild von den unterirdischen Biozönosen zu zeichnen.

Gute Erfolge konnten in systemanalytischen Studien mittels der Organismengruppe der Myxobakterien erzielt werden. Der Autor konnte damit zahlreiche Untersuchungsansätze und Strukturmerkmale unterirdischer Biozönosen beschreiben.

Im Rahmen des Karstdynamikprojektes in Nationalpark Kalkalpen ergab sich nun die ausgezeichnete Möglichkeit im Framework zahlreicher Fachrichtungen eine systematische Systemstudie über einen längeren Zeitraum hin zu installieren. Die ersten Arbeiten fanden 1996 statt. Hieraus ergaben sich Untersuchungsansätze, die vor allem die Dynamik der sessilen Mikrobiozönosen betrafen.

Es wurde erkannt, daß im Rettenbachhöhlensystem der Karstwasserspiegel und sein Schwankungsbereich eine wesentliche Rolle spielt. Hochwasserereignisse modifizierten die Verhältnisse deutlich. Im Vergleich zu dem Epiklasum des Sengengebirges entnommenen Höhlensedimenten konnten die Untersuchungen, die Ende der 80er Jahre im Hagengebirge stattfanden, bestätigt werden. Insbesondere zeigte sich erneut die diagnostische Bedeutung des Präsenzverhältnisses der Arten *M.fulvus* und *C.coralloides*.

Das Projekt 1997 sollte erstmals die jahreszeitlichen Veränderungen der Mikrobiozönosen in den Höhlensedimenten erfassen. Weiters ging es darum, eine Verbindung zu den Studien der mobilen Mikrobiozönosen, durchgeführt von S.Schmidt, herzustellen. Ein nächster Themenkomplex ist die Frage, wie schnell es zu einer Besiedlung der unterirdischen Sedimente kommen kann. Dazu wurde in der Höhle ein Sukzessionsversuch installiert.

Mittels der Aufsammlung von Oberflächensedimenten aus dem hydrologischen Einzugsbereich der Höhle und ebensolchen Sedimenten aus dem Vorflutbereich des Höhlensystems können erste Hinweise auf Export-/Import-Prozesse gefunden werden.

Die Komplexität der unterirdischen Biozönosen erfordert auch methodische Konzepte zur Untersuchung und Erfassung der sogenannten FSB (Fissure Surface Biocoenosis), also der mikrobiellen Lebensgemeinschaften, welche auf den inneren Oberflächen des Systems beheimatet sind. Dazu wurde eine Reihe von Methoden getestet und auf ihre Nutzbarkeit für künftige Arbeiten untersucht.

Insgesamt sind die diesjährigen Untersuchungen die umfänglichsten, die bislang in einem einzelnen Höhlensystem mittels der Myxobakterienmethode durchgeführt worden sind.

3. Material und Methoden

3.1 Probenahme

3.1.1 Subterrane Sedimente

Die Beprobung der subterranean Sedimente erfolgte grundsätzlich mittels PE-Beutel und Umstülperverfahren. Dabei wird die sterile Innenseite zuerst nach außen umgestülpt und der Beutel wie ein Handschuh benutzt. Die händisch entnommenen Sedimente brauchen dann nur noch mittels abermaligem Umstülpens ins Beutelinere verbracht werden. Alle wichtigen Informationen werden sofort ins Geländeprotokoll eingetragen. Die Entnahmetiefe betrug maximal 20 cm.

Ein zweites, in einzelnen Fällen verwendetes Verfahren besteht in der Benutzung steriler Spatel. Auf diese Weise wurden Sedimente von Höhlenwänden abgetragen oder aber geschichtete Sedimente vor Ort in mehrere Teilproben zerlegt.

Während des Untersuchungszeitraumes wurden einige Stellen wiederholt beprobt. Diese Sonderserien (RET 6, RET 9, RET 7) lassen es zu, Veränderungen der Populationen an einem bestimmten Standort zu untersuchen. Bei jedem Probennahmetermin, mit Ausnahme vom September 97, wurde zusätzlich noch eine gewisse Anzahl von Proben nach dem Zufallsprinzip aus den vorhandenen Lockersedimenten der Rettenbachhöhle gezogen.

Folgende Probennahmekampagnen fanden statt:

1. Serie 28. Februar 1997	Winter	12 Sedimentproben
2. Serie 18. April 1997	Winter	15 Sedimentproben
3. Serie 27. Juni 1997	Frühsommer	6 Sedimentproben
4. Serie 10. Juli 1997	Hochwasser	10 Sedimentproben
5. Serie 19. September 1997	Spätsommer	3 Sedimentproben

Daraus ergibt sich eine Entnahme von insgesamt 46 Sedimentproben aus der Rettenbachhöhle. Weitere Höhlensedimente wurden im Maulaufloch (2 Proben, 20.9.97) und im Nadelöhrschacht (1 Probe, 20.9.97) aufgesammelt. Die Gesamtzahl aller Höhlenproben im Untersuchungsjahr 1997 beträgt somit 49. Zusammen mit den 30 Höhlenproben aus dem Jahr 1996 (22 Rettenbachhöhle, 8 Kleinhöhlen Bereich Feichtau) kann die Region als die zur Zeit am intensivsten auf subterrane Myxobakterienvorkommen untersuchte bezeichnet werden.

3.1.2 Beläge der Höhlenwände

Auf der Suche nach Biofilmen fand ein Abbürsten von Steinen und festem Fels statt. Die abgebürsteten Bestandteile sind in Gasfläschchen aufgefangen worden. Gleichfalls fanden sterile Spatel Verwendung, mittels derer Wandbeläge direkt in kleine Glasröhrchen überführt wurden.

Einige Biofilme fanden sich auch im limnologischen Probengut. Diese wurden von E.Weigand aussortiert und zur Bearbeitung weitergereicht.

Ein direkter Nachweis von Bakterien wurde mittels Abstrichen (sterile Wattetupfer) durchgeführt. Dabei sind jeweils 2 cm² Fläche beprobt worden. Die Tupfer wurden entweder sofort vor Ort auf ein Minimalmedium (0,05% Yeast-Extrakt Agar) ausgestrichen oder als Tupfer ins Labor verbracht und dort auf selektive Nährböden ausgestrichen (E.coli, Coliforme, CFU; siehe Ausführungen TP 7.5.1, S. Schmidt).

3.1.3 Oberirdische Sedimente

Hier wurde vor Probennahme die oberste Schicht (2 cm) abgetragen. Danach erfolgte die Probennahme mittels sterilem Löffel über eine Fläche von etwa 200 cm² (Mischprobe). Die Verpackung erfolgte analog zu den subterranean Sedimenten.

Die Oberflächenproben wurden zu folgenden Terminen gezogen:

1. Reihe	9. Juli 1997	Vorflutbereich und unterster Einzugsbereich HRQ	7 Proben
2. Reihe	11. Juli 1997	Einzugsbereich HRQ bis Merkenstein	10 Proben
3. Reihe	20. September 1997	Blättenbach	3 Proben

Insgesamt fand somit die Untersuchung von 20 Oberflächensedimenten statt.

3.1.4 Sterile Sedimente/Sukzessionsversuch

Die 10 fixen Probencontainer wurden im November 1996 montiert und mit jeweils 3 sterilen Sandsäckchen á 100 Gramm gesiebttem Sand (Körnung < 2 mm) gefüllt.

Da die Testsedimente in sterile Baumwollsäckchen verpackt waren, konnte die Probenahme einfach mittels steriler Pinzette stattfinden. Die Säckchen wurden jeweils in PE-Beutelchen überführt. Die Reihenfolge der Probenahme entsprach der Anordnung in den Containern.

Im Verlauf des Versuches zeigte es sich, daß die Verwendung von Naturstoff (Baumwolle) für den Test eher ungünstig gewesen ist. Bei der Mehrheit der Behälter war schon eine starke Maszerierung des Stoffes zu beobachten.

An folgenden Terminen erfolgte die Probenahme:

Serie 1: 28. Februar 1997	10 Probenbeutel
Serie 2: 27. Juni 1997	9 Probenbeutel
Serie 3: 19. September 1997	9 Probenbeutel

Somit kamen insgesamt 28 Sukzessionsproben zur Untersuchung. Alle Proben zusammengerechnet ist 1997 die Gesamtzahl von 97 Sedimenten bearbeitet worden.



Fotografie 1: Sterile Container des Sukzessionsversuches in der Rettenbachhöhle

3.2 Physikalische und chemische Meßverfahren

Temperaturmessung: Vor Ort wird Boden- oder Wasser- sowie Lufttemperatur gemessen (Greisinger GTH 1160 Digitalthermomether; Eintauchfühler); das Gerät wurde mittels Eichschrauben an die Anzeigewerte der Nationalparkmessgeräte angepaßt. Bei der Bodentemperaturmessung wird die Sonde mindestens 10 cm weit, nötigenfalls schräg, in das Sediment eingestochen.

Feuchtigkeitsmessung: Aus den frischen Probenbeuteln werden zwischen 10 und 20 Gramm Sediment steril entnommen und auf Aluplättchen ausgewogen. Die Trocknung erfolgt bei 110° für 3 Stunden. Durch Differenzwägung wird der Wassergehalt festgestellt und notiert. Als zweite Maßzahl wird die klassifizierte Feuchte angegeben. Hier wird der Probe im Gelände ein Wert zwischen 1 (= staubtrocken) und 6 (= naß, abtropfend) zugeordnet.

Sedimentkörnung : Die luftgetrockneten Sedimente werden im sterilen Mörser vorsichtig homogenisiert. Die Bestandteile mit einem Teilchendurchmesser > 2mm werden durch trockene Siebung abgetrennt. Beide Fraktionen werden ausgewogen und der Anteil der Fraktion < 2mm als Maßzahl für den Anteil an Feinsedimenten angegeben.

pH-Wert: Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgt an der luftgetrockneten, gesiebten Probenfraktion (< 2mm). Hierzu werden 4g Sediment sorgfältig abgewogen und im Verhältnis 1:5 mit demineralisiertem Wasser versetzt. Mittels Minimagnetrührer wird nun 2 min. intensiv bei mittlerer Drehzahl gerührt und schliesslich der pH-Wert mittels WTW pH 330 und der Autoread-Funktion gemessen (Ser. Nr. 73288511). Die Eichkurven werden vor jeder Messreihe neu erstellt.

Sedimenttyp und Sedimentfarbe werden sowohl im Gelände mittels Feldmethoden als auch im Labor unter vergleichender Betrachtung der Proben qualitativ bestimmt.

Archivierung: Die homogenisierten Proben werden komplett aufgehoben. Um eine mögliche Kontamination der Gesamtprobe zu vermeiden, wird eine Menge von 20ml in ein separates Glasröhrchen umgefüllt, der Probensack danach verschlossen. Die mikrobiologischen Untersuchungen und die pH-Messung finden dann aus der Teilprobe statt. Teilproben und Hauptprobe werden getrennt aufbewahrt.

3.3 Mikrobiologische Untersuchungsmethoden

3.3.1 Myxobakterienscreening

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 0,1 ml (Volac-Dispensette) einer sterilen 4%-Bierhefepesuspension ausgespatelt (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 werden die Platten ein erstes Mal mittels Stereolupe genaustens durchgesehen. 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 mit endgültiger Determination. Insgesamt wurden 1997 (bei 97 Proben á 50 =) 4850 Einzelansätze untersucht.

Als Endergebnisse werden notiert: Die nachgewiesenen Arten pro Sediment, die Anzahl der befallenen Einzelansätze, und etwaige Nebenbefunde (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.

3.3.2. Mikroskopische Methoden

Mikroskopische Untersuchungen fanden vor allem an den im System entnommenen Biofilmen statt. Dabei wurde ohne Färbung gearbeitet. Die Biofilme wurden lebendfeucht verarbeitet und im Wasserfilm beobachtet. Auf eine Fixierung verzichteten wir, um Bewegungsaktivitäten im Film beobachten zu können. Wichtige Ergebnisse wurden mittels Olympus-Mikrofotosystem dokumentiert.

3.3.3. Filterstempelversuche

Im Laufe des Untersuchungszeitraumes wurden neue Verfahren zur Probennahme durchführt. Dabei stempelten wir Felsoberflächen in der Höhle mittels steriler Filterpapiere ab. Das Filterpapier wurde jeweils mit steriler Pinzette auf die Felsoberfläche aufgelegt, angerückt und dort für 5min belassen. Die nun feuchten Papierchen wurden nun in PE-Beutel überführt und ins Labor gebracht. Hier erfolgte Lufttrocknung. Die getrockneten Filter sind dann mittels sterilem Skalpell in 8 gleich grosse Teile zerlegt worden, welche schliesslich auf die Wasseragar-/Hefeextraktplatte nach SINGH ausgelegt wurden. Die Bebrütung und Identifikation erfolgt analog zu den normalen Sedimentuntersuchungen.

3.3.4. Bestimmung von CFU, coliformen Keimen und E.coli

Alle hier erwähnten Ergebnisse wurden mittels der in TP 7.5.1 genannten Standardmethodik von S.Schmidt gewonnen. Von entscheidender Bedeutung ist die Inkubationstemperatur.

4. Ergebnisse

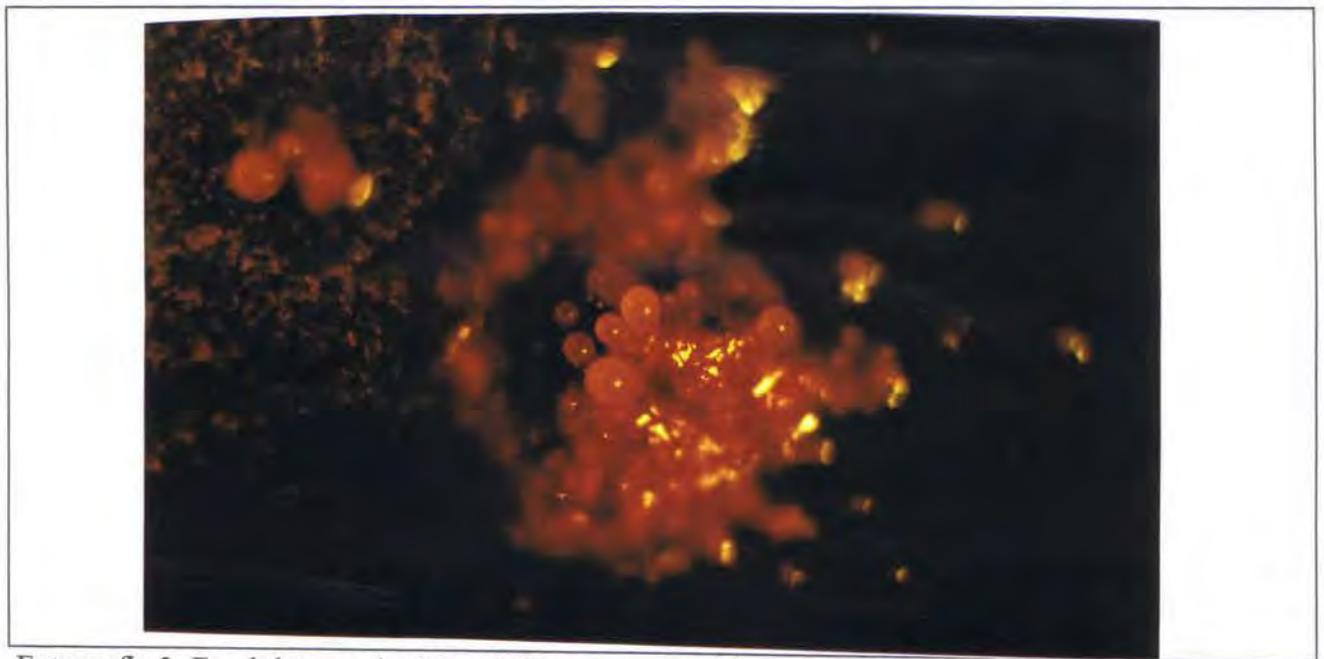
4.1 Subterrane, autochthone Sedimente

4.1.1 Das Artenspektrum

Während des Untersuchungszeitraumes konnten folgende vier Arten in den Höhlensedimenten festgestellt werden:

Artname	Verwendete Abkürzungen
<i>Myxococcus fulvus</i>	MF, Mf
<i>Myxococcus stipitatus</i>	MS, Ms
<i>Corallococcus coralloides</i>	CC, Cc
<i>Archangium gephyra</i>	AG, Ag

Im Vergleich zum Vorjahr war es diesmal nicht möglich, die Art *Myxococcus virescens* nachzuweisen.



Fotografie 2: Fruchtkörper der Myxobakterienspezies *Myxococcus fulvus*.

In Tabelle 1 sind alle ermittelten Basisdaten der Forschungen 1996 und 1997 (autochthone Sedimente) zusammengefasst und hier auf den Folgeseiten beigefügt.

Orig.Bez	Höhe	Datum	T °C	pH	% < 2mm	Feuchte %	Fd	Höhe NN	MP.Nr.	BPNr.	Biotope	Sedimentbez.	Farbe	Überde.	MF	CC	MV	MS	AG	AAZ	Befall
Serie April 1997																					
REH97/1	Rettenbachh.	Apr 97	7,80	8,97	98,50	30,00	6	692	19	3	aquat	Feinsand, schl	grau/schwarz	30	62,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	62,00
REH97/2	Rettenbachh.	Apr 97	6,90	8,97	61,20	5,10	3	680	49	2	semiaquat	Sand, kiesig	grau/braun	100	46,00	6,00	0,00	2,00	0,00	3	54,00
REH97/3	Rettenbachh.	Apr 97	7,00	9,20	99,80	22,40	6	693	63	3	aquat	Feinsand	grau/braun	150	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	34,00
REH97/4	Rettenbachh.	Apr 97	7,00	8,76	92,00	19,80	4	680	71	2	semiaquat	Sand	grau/braun	190	44,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	44,00
REH97/5	Rettenbachh.	Apr 97	n.d.	8,41	100,00	n.d.	5	617	117	2	semiaquat	Lehm	braun	130	34,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2	36,00
RET1.2	Rettenbachh.	Apr 97	7,00	8,42	100,00	43,80	3	690	77	2	semiaquat	Lehm	braun	210	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	22,00
RET2.2	Rettenbachh.	Apr 97	7,00	8,61	95,60	2,60	3	690	77	2	semiaquat	Sand	grau/braun	210	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	16,00
RET3.2	Rettenbachh.	Apr 97	7,00	8,62	99,80	25,60	4	690	77	2	semiaquat	Feinsand	grau/braun	210	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	40,00
RET6.4.a	Rettenbachh.	Apr 97	6,80	9,07	96,30	22,50	6	677	66	3	aquat	Sand	braun	180	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	32,00
RET6.4.b	Rettenbachh.	Apr 97	6,90	9,11	99,20	21,50	6	677	66	3	aquat	Sand	braun	180	60,00	4,00	0,00	4,00	0,00	3	68,00
RET6.4.c	Rettenbachh.	Apr 97	6,70	9,08	69,50	7,80	3	677	66	2	semiaquat	Sand	braun	180	48,00	6,00	0,00	4,00	0,00	3	58,00
RET6.4.d	Rettenbachh.	Apr 97	6,70	8,68	100,00	26,70	2	677	66	2	semiaquat	Feinsand, schl	braun	180	34,00	0,00	0,00	2,00	0,00	2	36,00
RET7.4	Rettenbachh.	Apr 97	7,10	8,77	99,60	27,10	4	670	23	2	semiaquat	Feinsand, schl	grau/schwarz	70	50,00	8,00	0,00	0,00	0,00	2	58,00
RET8.2	Rettenbachh.	Apr 97	7,40	9,34	97,80	4,90	2	733	59	1	ter.	Feinsand	hellbraun	100	24,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	28,00
RET9.4	Rettenbachh.	Apr 97	6,40	9,04	76,20	16,20	3	659	32	2	semiaquat.	Feinsand	grau	100	54,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2	56,00
Serie Juni 1997																					
RET6/97/1	Rettenbachh.	Jun 97	6,30	8,96	94,80	10,90	4	681	67	2	semiaquat.	Sand	grau	180	68,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	72,00
RET6/97/2	Rettenbachh.	Jun 97	6,60	9,09	95,10	11,60	4	678	65	2	semiaquat.	Sand	grau/braun	170	42,00	0,00	0,00	2,00	0,00	2	44,00
RET6/97/3	Rettenbachh.	Jun 97	7,10	8,71	99,40	17,60	4	690	64	2	semiaquat.	Sand	grau/braun	140	22,00	6,00	0,00	0,00	0,00	2	28,00
RET 9.5	Rettenbachh.	Jun 97	6,20	9,11	98,30	7,50	3	659	32	2	semiaquat.	Feinsand	braun	100	22,00	2,00	0,00	2,00	0,00	3	26,00
RET 7.5	Rettenbachh.	Jun 97	n.d.	8,73	99,90	33,30	5	670	23	2	semiaquat.	Feinsand	braun	70	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	12,00
RET 6.5	Rettenbachh.	Jun 97	6,70	9,24	97,50	16,30	6	677	66	3	aquat	Sand	grau/braun	180	36,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	40,00
Serie Juli 1997 (nach Hochwasser)																					
RET7/97/1	Rettenbachh.	Jul 97	5,90	8,72	100,00	25,30	5	677	84	2	semiaquat.	Feinsand/Lehm	graubraun	180	12,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2	14,00
RET7/97/2	Rettenbachh.	Jul 97	6,20	8,77	99,80	21,70	4	679	65	2	semiaquat.	Sand	graubraun	175	28,00	8,00	0,00	0,00	0,00	2	36,00
RET7/97/3	Rettenbachh.	Jul 97	6,20	8,88	97,80	15,20	4	681	65	2	semiaquat.	Sand	graubraun	170	36,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	40,00
RET7/97/4	Rettenbachh.	Jul 97	n.d.	8,67	96,20	26,60	5	687	64	2	semiaquat	Feinsand/Lehm	braun	155	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	28,00
RET7/97/5	Rettenbachh.	Jul 97	6,30	9,19	87,40	23,40	5	672	34	2	semiaquat.	Sand/steinig	braun	105							
RET7/97/7	Rettenbachh.	Jul 97	n.d.	9,20	98,50	19,40	4	659	32	2	semiaquat.	Sand	braun	100	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	32,00
RET7/97/10	Rettenbachh.	Jul 97	n.d.	8,52	100,00	43,50	4	670	32	2	semiaquat.	Lehm	schwarzbraun	40	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	1	4,00
RET 6.6	Rettenbachh.	Jul 97	6,60	9,12	98,80	19,10	6	677	66	3	aquat.	Sand	graubraun	180	4,00	6,00	0,00	0,00	0,00	2	10,00
RET 7.6	Rettenbachh.	Jul 97	6,50	8,62	100,00	29,40	5	670	23	2	semiaquat.	Feinsand	braun/schwarz	70	36,00	6,00	0,00	0,00	0,00	2	40,00
RET 9.6	Rettenbachh.	Jul 97	6,10	8,91	100,00	12,70	4	659	32	2	semiaquat.	Sand	braun	100	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	36,00
Serie September 1997																					
RET 7.7	Rettenbachh.	Sep 97		8,55	99,80	28,00	4	670	23	2	semiaquat.	Feinsand	braun/schwarz	70	26,00	6,00	0,00	2,00	0,00	3	34,00
RET 9.7	Rettenbachh.	Sep 97		8,77	99,60	8,40	3	659	32	2	semiaquat.	Sand	braun	100	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	34,00
RET 6.7	Rettenbachh.	Sep 97		8,72	99,10	21,20	5	677	66	3	aquat.	Sand	graubraun	180	24,00	4,00	0,00	2,00	0,00	3	30,00
Weitere Höhlenproben September 1997																					
Maul 1	Maulaufloch	Sep 97		8,71	58,50	19,20	5		?	3	aquat	Grobsand/steinig	braun/bunt		32,00	6,00	0,00	4,00	0,00	3	42,00
Maul 2	Maulaufloch	Sep 97		8,56	100,00	91,90	5		?	2	semiaquat.	Montmilch	hellbraun		10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	10,00
Stol 170.1	Sondierstoll	Sep 97		9,05	24,40	9,20	5		160m	2	semiaquat.	Sand/steinig	braun/gelb		2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	2,00

Messwerte aller subterranean Myxobakterienproben aus dem Sengsengebirge 1996/1997

Orig.Bez	Höhle	Datum	T °C	pH	% < 2mm	Feuchte %	Fd	Höhe NN	MP.Nr.	BP.Nr.	Biotope	Sedimentbez.	Farbe	Überde.	MF	CC	MV	MS	AG	AAZ	Befall
Proben 1996																					
RET1	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,60	100,00	36,90	4	691	77	2	semiaquat.	Lehm	braun	189	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00
RET2	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,50	90,80	4,80	4	690	77	2	semiaquat.	Grobsand	grau/braun	190	48,00	18,00	0,00	2,00	0,00	3	68,00
RET3	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,90	100,00	25,10	5	690	77	2	semiaquat.	Feinsand	braun	190	24,00	8,00	0,00	4,00	0,00	3	36,00
RET4	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,40	86,70	4,90	4	688	73	2	semiaquat.	Grobsand	grau/braun	192	80,00	4,00	0,00	12,00	0,00	3	96,00
RET5	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,35	94,80	21,60	6	680	69	3	quat	Grobsand	grau/braun	200	40,00	0,00	4,00	4,00	0,00	3	48,00
RET6	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,30	98,00	5,30	3	681	68	2	semiaquat	Sand	grau/braun	184	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	40,00
RET7	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,85	99,00	14,10	3	693	63	2	semiaquat	Sand	grau/braun	147	64,00	4,00	0,00	0,00	2,00	3	70,00
RET8	Rettenbachh	Mär 96	8,00	8,80	92,20	5,50	3	733	59	1	ter.	Feinsand	braun	97	30,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	34,00
RET9	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,70	58,20	15,30	4	659	32	2	semiaquat	s. Lehm, stein	grau/braun	101	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	10,00
RET10	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,25	91,70	6,90	3	669	21	2	semiaquat	Sand	grau/braun	81	20,00	0,00	8,00	0,00	0,00	2	28,00
RET11	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,75	100,00	27,80	4	675	25	2	semiaquat	Lehm, sandig	braun	65	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	4,00
RET12	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,90	100,00	31,00	5	688	20	2	semiaquat	Feinsand	grau/braun	42	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	2,00
RET13	Rettenbachh	Mär 96	6,80	8,10	92,30	73,90	6	695	18	3	quat	Feinsand	braun	35	88,00	28,00	0,00	2,00	0,00	3	108,00
RET14	Rettenbachh	Mär 96	6,80	7,85	100,00	67,20	4	683	24	2	semiaquat	Montmilch	hellbraun	77	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	8,00
REH1	Rettenbachh	Okt 96	6,20	9,05	97,90	14,50	4	659	32	2	semiaquat	Sand	grau/braun	101	76,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2	78,00
REH2	Rettenbachh	Okt 96	6,20	8,65	69,90	12,00	6	668	34	3	quat	Sand, kiesig	grau/braun	102	56,00	14,00	0,00	0,00	0,00	2	70,00
REH3	Rettenbachh	Okt 96	7,30	8,55	44,20	10,90	4	702	53	2	semiaquat	Lehm, steinig	hellbraun	108	76,00	30,00	0,00	0,00	0,00	2	106,00
REH4	Rettenbachh	Okt 96	6,40	8,15	100,00	20,00	5	680	86	2	semiaquat	Wandbelag	Schw/Braun	195	54,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	58,00
REH5a	Rettenbachh	Okt 96	6,40	8,10	100,00	29,20	4	677	84	2	semiaquat	Lehm, sandig	grau/braun	183	86,00	14,00	0,00	0,00	0,00	2	100,00
REH5b	Rettenbachh	Okt 96	6,40	8,30	98,90	23,10	4	677	84	2	semiaquat	Lehm	hellbraun	183	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	4,00
REH6	Rettenbachh	Okt 96	6,40	8,30	98,70	25,50	6	682	65	2	semiaquat	Lehm, sandig	hellbraun	163	78,00	36,00	2,00	2,00	0,00	4	118,00
REH7	Rettenbachh	Okt 96	6,40	8,35	99,90	26,50	5	679	25	2	semiaquat	Lehm, sandig	braun/schwarz	61	28,00	86,00	0,00	0,00	2,00	3	116,00
Kleinhöhlen (Epiklasal)																					
NL1	Nixlucke	Okt 96	4,60	8,25	78,80	49,50	5	1445	6	3	quat	Lehm, steinig	braun	50	36,00	12,00	0,00	0,00	0,00	2	48,00
NL2	Nixlucke	Okt 96	4,80	8,20	60,20	20,30	2	1445	1	1	ter.	Lehm, sandig	hellbraun	50	60,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	64,00
NL3	Nixlucke	Okt 96	4,60	7,80	75,90	52,50	3	1445	7	1	ter.	Lehm, sandig	schwarz	50	58,00	10,00	0,00	0,00	0,00	2	68,00
FTS1	Farntalscha.	Okt 96	2,00	7,80	61,50	60,20	5	1360	5	1	ter.	Humus	schwarz	10	64,00	22,00	0,00	0,00	0,00	2	86,00
FTS2	Farntalscha.	Okt 96	2,00	8,10	61,70	36,40	6	1360	8	2	semiaquat.	Lehm, steinig	schwarz	10	10,00	12,00	0,00	0,00	0,00	2	22,00
FTS3	Farntalscha.	Okt 96	2,00	7,85	97,00	61,90	4	1360	1	2	semiaquat.	Lehm, humos	schwarz	10	58,00	40,00	0,00	0,00	0,00	2	98,00
KH1	Karrenhöhle	Okt 96	3,60	8,15	63,90	31,60	4	1335	2	1	ter.	Lehm	braun	70	50,00	18,00	0,00	0,00	0,00	2	68,00
KH2	Karrenhöhle	Okt 96	3,60	8,30	85,20	26,50	3	1335	4	1	ter.	Lehm, sandig	braun	70	6,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	10,00
NÖR	Nadelöhrsch	Sep 97	n.d.	8,12	57,10	69,20	4	1325	4	1	ter.	Humus	schwarz	20	10,00	42,00	0,00	0,00	0,00	2	52,00
Serie Februar 1997																					
REH5/a	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	8,05	100,00	n.d.	4	677	84	2	semiaquat.	Lehm, sandig	grau/braun	180	54,00	4,00	0,00	0,00	0,00	2	58,00
REH5/b	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	8,05	100,00	n.d.	4	677	84	2	semiaquat.	Lehm	braun	180	4,00	0,00	0,00	0,00	4,00	2	8,00
REH5/c	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	8,20	100,00	n.d.	4	677	84	2	semiaquat.	Lehm	hellbraun	180	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	20,00
REH6/2	Rettenbachh.	Feb 97	7,20	8,55	97,30	19,40	5	677	66	3	quat.	Grobsand	grau/braun	180	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	16,00
REH1/2 (9.2)	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	8,40	95,70	6,20	3	659	32	2	semiaquat.	Grobsand	grau/braun	100	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	32,00
REH7/2	Rettenbachh.	Feb 97	7,20	8,35	99,80	27,50	4	670	23	2	semiaquat.	Feinsand	braun/schwarz	70	40,00	2,00	0,00	2,00	0,00	3	44,00
REH8	Rettenbachh.	Feb 97	7,10	8,95	45,10	11,00	5	678	78	3	quat.	Grobsand, steinig	grau/braun	225	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	12,00
REH9	Rettenbachh.	Feb 97	6,80	8,40	96,80	5,20	3	681	67	2	semiaquat.	Grobsand	grau/braun	180	74,00	6,00	0,00	4,00	0,00	3	84,00
REH10	Rettenbachh.	Feb 97	7,10	8,25	100,00	29,00	5	680	64	2	semiaquat.	Feinsand, lehmig	braun	155	30,00	8,00	0,00	2,00	0,00	3	40,00
REH11a	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	8,00	100,00	n.d.	5	730	61	1	ter.	Montmilch/lehmig	hellbraun	100	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	8,00
REH11b	Rettenbachh.	Feb 97	n.d.	n.d.	100,00	n.d.	5	730	61	1	ter.	Montmilch/lehmig	hellbraun	100	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	6,00
REH7/0	Rettenbachh.	Mär 96	n.d.	8,20	99,10	28,40	4	670	23	2	semiaquat.	Feinsand	braun/schwarz	70	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	20,00

4.1.2 Probenserie vom Februar 1997

Hydrologische Situation: Die Befahrung erfolgte bei sonnigem, trockenem Wetter. Südseitig war Ausaperung der Hänge bis in die Gipfelregion hinein zu beobachten. Niederschläge waren in den Wochen davor selten. Im Seengang war normaler Wasserstand festzustellen. Die Angstlücke konnte ohne größere Probleme überschritten werden. Aus den Tropfwasserschloten kam allerdings reichlich Sickerwasser. Im Edelschacht stellten wir einen Wasserstand bis hinauf zu MP 114 bei fallender Tendenz fest.

Befunde: Alle vier dieses Jahr nachgewiesenen Arten traten in der Probenserie auf. Folgende Kennwerte konnten ermittelt werden:

Probenanzahl	12
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,67
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	29,0 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	26,33%, 1,67%
Präsenz MF, CC (in %)	100%, 33,3 %
PV1 (MF/CC)	3,0

Tabelle 2: Die Grundkenndaten der Probenserie 2/97

Seit der letzten Probenserie vom Oktober 1996 ist ein starker Rückgang der Myxobakterienpopulation festzustellen. Hier war noch ein Gesamtbefall (DBG) von 81,12% bei einer durchschnittlichen Artenzahl (DAZ) von 2,25 gemessen worden. Das PV1 stieg von 1,14 auf 3,00. Insgesamt zeigt sich hier die Populationsentwicklung während des Winters. Die Klüfte führen nur relativ wenig Wasser, die biologische Aktivität an der Oberfläche ist stark reduziert, das System also theoretisch relativ autonom. Besonders eindrucksvoller Hinweis ist das hohe PV1, welches nach Maßgabe meiner Arbeitshypothese einen ganz geringen Oberflächeneinfluß dokumentiert.

Vergleicht man die Zahlen mit der Serie vom März 1996, so wird eine grundsätzliche Übereinstimmung erkennbar. Der Gesamtbefall (DGB) wurde damals mit 39,43%, die DAZ mit 1,97 und das PV1 mit 2,17 bestimmt.

Im Februar 1997 wurden die höchsten Artenzahlen im Bereich des Vordersees und bei der Schmuggerstiege gefunden.

Interessant war der Befund aus den Schloten beim Mittagsberg. Hier wurde den Seilen entlang aufgestiegen und an zwei Stellen der Wandbelag entnommen. Die Proben (REH11a,b) entstammen eindeutig dem Hypoklasal. Eine Hochwasserbeeinflussung durch den Karstwasserspiegel gibt es nicht. In beiden Proben wurde *Myxococcus fulvus* mit einer geringen Befallsintensität (8 respektive 6 %) nachgewiesen.

In der Probenserie eingeschlossen ist die Untersuchung eines dünnen, geschichteten Sediments beim Vordersee (REH5a,b,c). Hier wiederholten wir den Versuch vom Herbst 96, um die vertikale Verteilung der Myxobakterien in dem Sediment nachzuvollziehen. Diesmal wurde das Sediment in drei Schichten zerlegt: (1.) die oberste, dunkle, graue Schicht = REH5a, (2.) die mittlere, hellbraune Zone ohne Felskontakt = REH5b und (3.) die untere Zone mit Kontakt zum Felsboden = REH5c.

Wie schon im Herbst 1996 zeigte sich, daß die oberste Schicht den intensivsten Befall aufweist. (10/96: 100%, 2/97: 58%). In der mittleren Schicht fanden wir in beiden Fällen ganz deutlich weniger Myxobakterien (10/96: 4%, 2/97: 8%). Eine weitere Differenzierung war 1996 nicht vorgenommen worden. Interessant ist an dem Wiederholungsversuch, daß in der Schicht mit Felskontakt wieder eine Zunahme des Befalls auf 20% festgestellt wurde. Aus den beiden Versuchen ergeben sich zahlreiche Fragen für weitere Untersuchungen. Wichtigstes Ergebnis im Augenblick ist der Nachweis der sehr kleinräumigen Differenzierung der Mikrobiozöosen, bis hin in den Millimeterbereich.

RETTENBACHHÖHLE (TEUFELSLOCH)

BEI WINDISCHGARSTEN OÖ

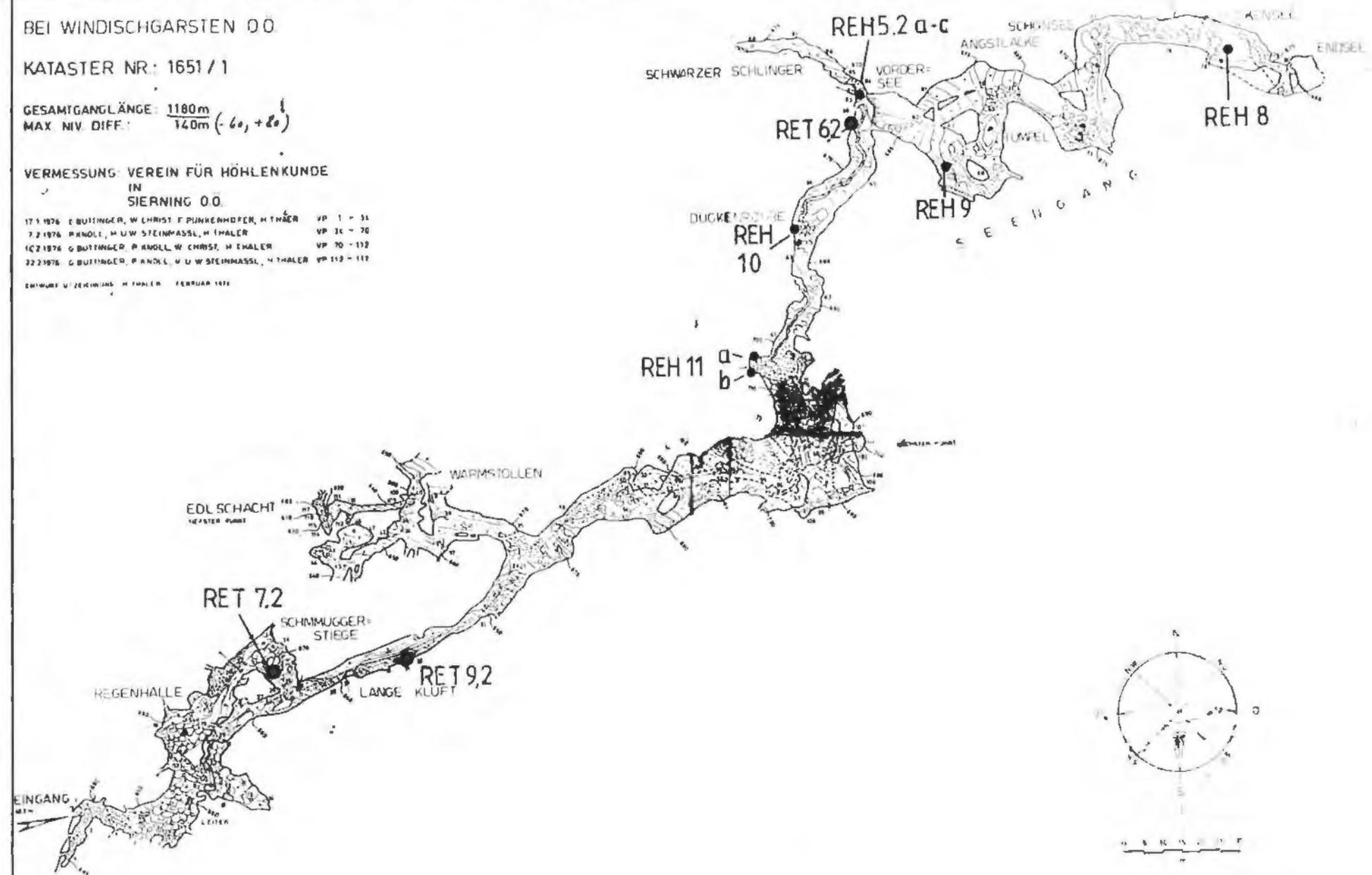
KATASTER NR.: 1651 / 1

GESAMTGANGLÄNGE: 1180m
 MAX. NIV. DIFF.: 140m (-60, +80)

VERMESSUNG: VEREIN FÜR HÖHLENKUNDE
 IN
 SIERNING OÖ.

17.1.1976 G. BÜTTINGER, W. LCHRIST, F. PUNKERHOFER, H. THALER VP 1 - 31
 7.2.1976 P. ANDOL, H. U. W. STEINMÄSSL, H. THALER VP 34 - 70
 10.2.1976 G. BÜTTINGER, P. ANDOL, W. LCHRIST, H. THALER VP 70 - 112
 22.2.1976 G. BÜTTINGER, P. ANDOL, H. U. W. STEINMÄSSL, H. THALER VP 112 - 119

ENTWURF U. ZERLEGNUNG: H. THALER FEBRUAR 1976



4.1.3 Probenserie vom April 1997

Hydrologische Situation: Die Befahrung fand im Rahmen der Schneeschmelzkampagne statt. Allerdings war in der entsprechenden Woche starker Schneefall und Frost aufgetreten. In der Höhle lagen daher extreme Niederwasserbedingungen vor. Die Tropfstellen rannen im Vergleich zum Februar deutlich weniger. Im Edelschaft konnten wir erstmals den MP 117 erreichen. Hier fanden wir einen neuen Schlot, der etwa fünf Meter aufwärts erklettert werden konnte.

Ergebnisse: Im Zuge der Aprilbeprobung konnten nur die Arten *Myxococcus fulvus*, *Corallocooccus coralloides* und *Myxococcus stipitatus* nachgewiesen werden. Die wichtigsten Kennzahlen wurden wie folgt ermittelt:

Probenanzahl	15
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,73
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	42,93 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	40,00, 2,13
Präsenz MF, CC (in %)	100%, 46,7 %
PV1 (MF/CC)	2,14

Tabelle 3: Grundkenndaten der Probenserie von 4/97

Im Vergleich zum Februar nahm der Gesamtbefall (DGB) deutlich zu. Dies war vor allem auf einen Zuwachs der Befunde von *M.fulvus* zurückzuführen. Auch die Präsenz von *C.coralloides* war höher. Die durchschnittliche Artenzahl (DAZ) stieg geringfügig, während das PV1 deutlich abnahm.

Ein Vergleich der Serien 2/97, 3/96 und 4/97 scheint auf eine kontinuierliche Zunahme der Myxobakterienpopulation im Spätwinter/Frühjahr hinzudeuten.

Das System insgesamt zeigte somit Zuwachs an Myxobakterien, der Wintertiefpunkt ist überschritten. Der Einfluß der Oberfläche steigt, was durch das PV1 rechnerisch nachvollziehbar ist.

Die höchsten absoluten Artenzahlen fanden wir diesmal wiederum im Bereich Vordersee und neu bei der Abzweigung zum Warmstollen.

Im Bereich der regelmäßig beprobten Stelle beim Vordersee (RET6.x) wurden vier Proben über die gesamte Raumbreite gezogen (6.4a,b,c,d). Der Probenteil a) entstammt direkt dem kleinen Bachlauf, in dem auch der Container 6 steht. Teilprobe b) wurde aus den noch stark bewässerten Sedimenten zur Gangmitte hin entnommen. Die schon trockeneren und nur bei mindestens leichten Hochwässern überfluteten Sande weiter zur östlichen Seitenwand hin sind Teilprobe c), während d) aus den feinsandigen bis lehmigen Sedimenten stammt, welche ganz an der östlichen Wandseite abgelagert sind.

Es zeigte sich, daß im Bach selbst sowohl der geringste Befall als auch die geringste Artenzahl zu finden war. Die höchsten Werte wurden in Teilprobe b) und c) festgestellt. Die Wachstumsbedingungen sind somit in den schwächer durchströmten Bereichen günstiger, als im Hauptzustrom. Dieser Befund weist auf ein Wachstums-/Exportgleichgewicht im System hin.

4.1.4 Probenserie vom Juni 1997

Hydrologische Situation: Diese Probenreihe entnahmen wir im Verlauf der Einspeisung der Farbstoffe (Markierungsversuch) ins Höhlensystem, bei trockener, sonniger Witterung. Die Schneeschmelze hatte relativ intensiv während des Monats Mai stattgefunden. Die Höhle war mehrfach überflutet worden. Allerdings konnten immer noch Probennahmespuren im Bereich der Schmutzgerstiege und beim Dückensee gesichtet werden. Im Edelschacht war ein etwa 3m höherer Wasserstand als im April festzustellen.

Ergebnisse: Die Spezies *M.fulvus*, *C.coralloides* und *M.stipitatus* konnten in dieser Serie nachgewiesen werden. Die Kennzahlen der Reihe vom Juni sehen wie folgt aus:

Probenanzahl	6
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	2,00
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	37,00 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	33,67%, 2,67%
Präsenz MF, CC (in %)	100%, 66,7 %
PVI (MF/CC)	1,50

Tabelle 4: Grundkennzahlen der Serie von 6/97

Insgesamt ist bei dieser Probenserie der relativ geringe Probenumfang von nur 6 Einzelsedimenten zu berücksichtigen. Im Vergleich zum April hat der Gesamtbefall leicht abgenommen, liegt aber noch sehr deutlich über den Werten vom Februar. Dies ist vor allem auf einen quantitativen Rückgang der Befunde von *M.fulvus* zurückzuführen. Die Art *C.coralloides* legte im Mittel dagegen 0,5% zu.

Interessanterweise kann man aus obiger Tabelle eine durchschnittliche Artenzahl von 2,0 entnehmen. Somit stieg dieser Parameter zum Sommer hin kontinuierlich an.

Die höchste Artenzahl fanden wir in der Langen Kluft (9.5).

Als weiterer Befund, der den zunehmenden Oberflächeneinfluß dokumentiert, kann das PVI vom Juni gelten. Mit 1,5 ist dies bisher der Tiefpunkt des Wertes im Jahr 1997 und macht deutlich, daß das Höhlensystem im Sommer stärker von der Oberfläche her beeinflusst ist.

4.1.5. Probenserie vom Juli 1997

Hydrologische Situation: Während der Sommerkampagne (Hochwasserereignis) wurde diese Serie gesammelt. In der Höhle selbst war nur zwei Tage nach einem Wasseraustritt aus dem Höhlenportal Normalwasser anzutreffen. Allerdings hatte dieses Hochwasser die Probennahmespuren im Bereich der Schmugglerstiege ausgelöscht. Die klastischen Sedimente zeigten sich insgesamt wasserreich, der Wasserstand im Edelschacht lag jedoch nur knapp einem Meter über dem vom Juni (Einspeisung Farbstoff)

Ergebnisse: Nach dem Hochwasser wurden nur die Arten *M.fulvus* und *C.coralloides* in der Rettenbachhöhle nachgewiesen. Die grundlegenden Kennzahlen berechneten wir wie folgt:

Probenanzahl	9
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	2
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,56
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	26,67 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	23,56%, 3,33%
Präsenz MF, CC (in %)	88,9%, 66,7 %
PV1 (MF/CC)	1,33

Tabelle 5: Grundkennzahlen der Serie von 7/97

Die Ergebnisse der Beprobung nach dem Julihochwasser sind zuerst ziemlich überraschend. Im Gegensatz zum Oktoberhochwasser 1996, nach dem die Höhlensedimente extrem stark mit Myxobakterien angereichert waren, finden wir nun die geringste Besiedlungssituation des ganzen Jahres. Nur zwei Arten konnten nachgewiesen werden. Die durchschnittliche Artenzahl und der durchschnittliche Befall erreichte sein Minimum im Beobachtungszeitraum. Selbst die Präsenz von *M.fulvus* fiel unter 100%.

Interessanterweise jedoch war ein weiterer Anstieg des durchschnittlichen Befalls bei der Art *C.coralloides* festzustellen. In einem Sediment, es stammt aus dem Tümpel der Eingangssenke, war nur *C.coralloides* nachzuweisen.

Das PV1 von 1,33 stellt den intensivsten Oberflächeneinfluss des beobachteten Zeitraumes dar.

4.1.6 Probenserie vom September 1997

Hydrologische Situation: Diese Höhlenbefahrung diente in der Hauptsache der Bergung der letzten Containerserie. Dabei erfolgte zusätzlich noch eine Probenahme an den drei Standardpunkten. Zwischen Juli und September war es noch mehrfach zu Überschwemmungsereignissen gekommen. Der Befahrung voraus ging jedoch eine mehrwöchige Schönwetterphase.

Befunde: Zwei Monate nach den Julihochwässern konnten wieder drei Arten im System nachgewiesen werden: *M.fulvus*, *C.coralloides*, *M.stipitatus*. Die Kennzahlen der Kleinserie wurden wie folgt festgestellt:

Probenanzahl	3
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	2,33
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	32,67 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	28,00%, 3,33%
Präsenz MF, CC (in %)	100%, 66,7 %
PVI (MF/CC)	(1,5)

Tabelle 6 : Gunkennndaten der Serie von 9/97

Insgesamt handelt es sich nur um eine sehr kleine Stichprobe. Es wurden lediglich die Standard-Probenstellen zusammen mit den Containerfüllungen besammelt.

Alle Maßzahlen zeigten sich im Vergleich zum Juli wieder deutlich erholt. In zwei Fällen konnten drei Arten nachgewiesen werden. Die durchschnittliche Artenzahl stieg daher deutlich auf 2,33, den höchsten Wert in 1997, an.

Auch der Gesamtbefall war über dem Niveau von Februar und Juli . Dies ist vor allem auf einen erneuten Zuwachs von *M.fulvus* zurückzuführen.

Aufgrund des geringen Probenumfangs müssen alle Maßzahlen vorsichtig betrachtet werden. Das PVI von 1,5 ist daher auch entsprechend zu betrachten.

4.1.7 Zusätzlich beprobte Höhlen (Maulaufloch, Nadelöhrschacht)

Während der Probennahme im September fand eine Befahrung des Maulaufloches bis über die zweite Wasserfallstufe statt. Ferner konnte noch kurz der Nadelöhrschacht bei insgesamt gutem Wetter befahren werden.

In den zwei Proben aus dem Maulaufloch fanden wir einerseits in den Bachsedimenten *M.fulvus*, *C.coralloides* und *M.stipitatus*, andererseits in den weichen Wandbelägen bei der Wasserfallstufe *M.fulvus*.

Im Nadelöhrschacht stellte sich eine sehr gute Übereinstimmung mit den letztjährigen Befunden aus der Karrenhöhle und dem auch nahegelegenen Farntalschacht ein. *C.coralloides* war die dominierende Art in der Probe (42%). *M.fulvus* ließ sich auch nachweisen (10%). Die Dominanz der Art *C.coralloides* in den epiklasalen Höhlen wird damit bestätigt.

4.2 Der Sukzessionsversuch

4.2.1 Serie 1 vom Februar 1997

Bis zu dem Zeitpunkt der Probennahme war im Seegang und folglich auch in allen anderen Höhlenteilen kein Hochwasser seit dem Containereinbau aufgetreten. Der Zuwachs in sterilen Sedimenten konnte also nur aus den Sickerwässern oder aus den autochthonen Mikrobiozöosen der Höhle erfolgen.

Die Container 2, 3, 7 und 9 waren noch zu keiner Zeit mit Höhlenwasser in Berührung gekommen. Die Sedimente wiesen daher nur eine Feuchtigkeit von durchschnittlich 1,5% auf und zeigten keinen Befall von Myxobakterien. Auf allen Petrischalen wuchsen aber sehr reiche Pilzkulturen aus diesen Sedimenten heraus. Zum teil waren dünne Pilzhyphen sogar an den Containerwänden außen zu sehen.

Zeitweise mit Wasser in Kontakt waren die Behälter 10 und 8. Diese sind so in Seegang montiert, daß leichte Hochwässer, wie im November 1996, nötig sind, um die Container zu erreichen. Bei Normalwasser liegen die Behälter trocken. Im Container 10 war ein geringer Nachweis von *M. fulvus* zu erkennen (2%).

Ständigen Kontakt mit Tropfwasser oder stehendem Wasser hatten die Container 1,4 und 6. In allen drei Containern wurde die Art *M. fulvus* nachgewiesen. Den höchsten Befall fanden wir bei C4, der in den Tümpel in der Langen Kluft montiert ist.

In dieser ersten Serie dokumentierte sich somit sehr gut die Dominanz der Art *M. fulvus* im subterranean Milieu. In Verbindung mit ständigem Wasserzutritt konnten teils reiche Besiedlungen nachgewiesen werden.

Der Container C5 in der Dückenröhre musste wegen Kontamination unbekannter Ursache ausgeschieden werden und ist in der Untersuchung nicht mehr berücksichtigt.

Betrachtet man die Serie als Einheit, gleich wie die autochthonen Sedimente, so können folgende Maßzahlen angegeben werden:

Probenanzahl	9
Prozent positiver Proben	44,4 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	1
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	0,4
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	11,33 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	11,33%, 0,0%
Präsenz MF, CC (in %)	44,4%, 0,0 %
PV1 (MF/CC)	nicht definiert

Tabelle 7: Grundkenndaten der 1. Containerserie vom Februar 1997

Die durchschnittliche Feuchtigkeit der Proben lag bei 10,7%, und der mittlere pH ergab sich zu 7,83. Die Lage der Container im Höhlensystem ist aus der nachfolgenden Abbildung 6 ersichtlich. Die Basisdaten des Containerversuches können aus Tabelle 8 entnommen werden.

Abb. 6a : Lage der sterilen Container im Bereich der Langen Kluft

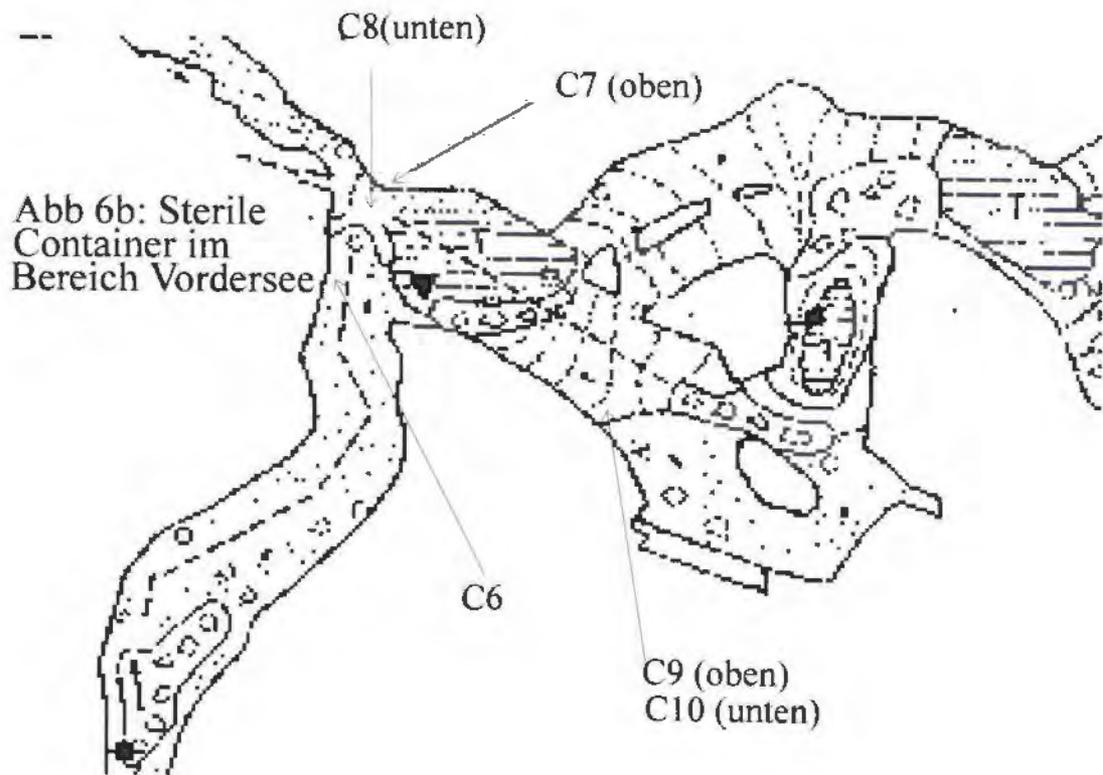
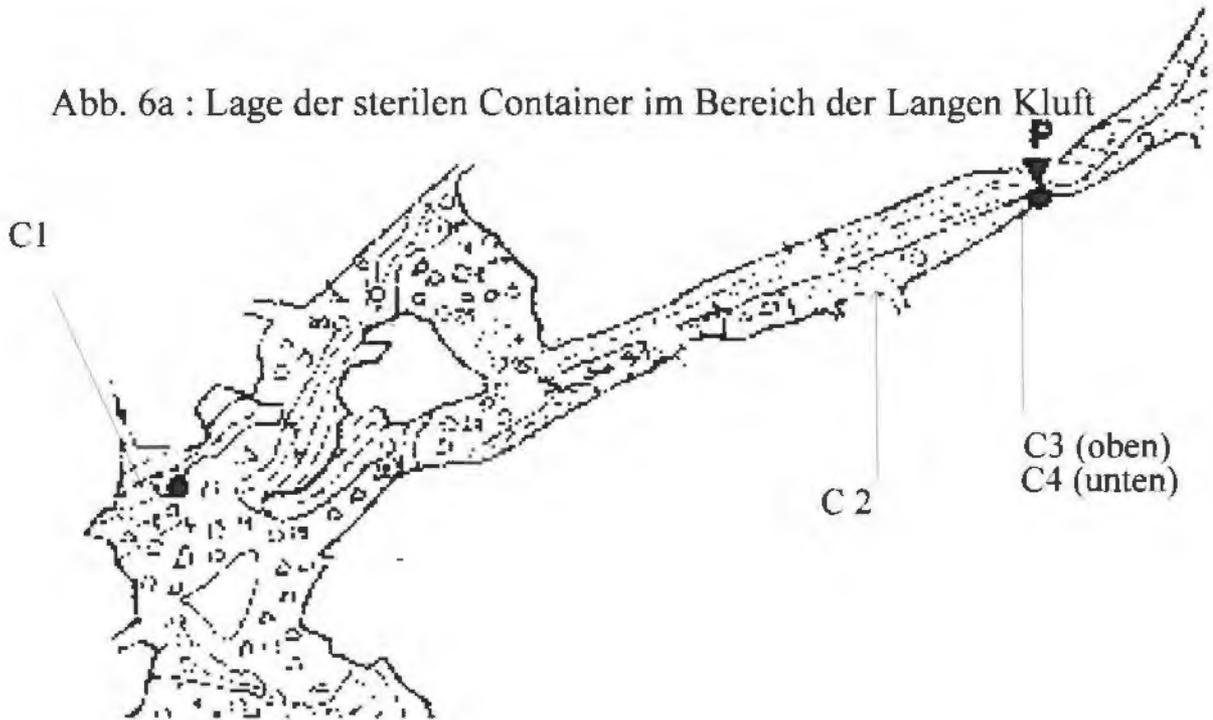


Abb 6b: Sterile Container im Bereich Vordersee

Messwerte des Sukzessionsversuches in der Rettenbachhöhle 1997

Orig.Bez.	Höhle	Datum	pH	Feuchte %	Fd	Höhe NN	Anz.U	Diff 0 Pegel	MP.Nr.	MF	MC	AG	AAZ	Befall
Serie 1, Entnahme Februar 1997														
C1/1	Rettenbachh	Feb 97	8,65	19,3	5	690,00	0	30,80	18	4,00	0,00	0	1,00	4,00
C2/1	Rettenbachh	Feb 97	7,5	2	2	658,80	0	-0,40	32	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C3/1	Rettenbachh	Feb 97	7,45	2	2	661,00	0	1,80	32/33	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C4/1	Rettenbachh	Feb 97	8,6	18,3	5	659,20	0	0,10	32/33	84,00	0,00	0	1,00	84,00
C6/1	Rettenbachh	Feb 97	7,55	18,4	5	677,30	1	0,30	66	12,00	0,00	0	1,00	12,00
C7/1	Rettenbachh	Feb 97	7,85	1	2	678,70	0	1,70	84	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C8/1	Rettenbachh	Feb 97	7,85	16,7	4	677,00	2	0,00	83	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C9/1	Rettenbachh	Feb 97	7,4	1	2	681,60	0	4,60	67	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C10/1	Rettenbachh	Feb 97	7,6	18	5	679,80	0	2,80	67	2,00	0,00	0	1,00	2,00
Serie 2, Entnahme Juni 1997														
C1/2	Rettenbachh	Jun 97	8,40	17	4	690,00	0	30,80	18	4,00	2,00	0	2,00	6,00
C2/2	Rettenbachh	Jun 97	8,35	16,9	4	658,80	11	-0,40	32	0,00	20,00	0	1,00	20,00
C3/2	Rettenbachh	Jun 97	8,16	20,3	4	661,00	11	1,80	32/33	2,00	0,00	0	1,00	2,00
C4/2	Rettenbachh	Jun 97	8,10	18,1	4	659,20	(11)	0,10	32/33	2,00	100,00	0	2,00	102,00
C6/2	Rettenbachh	Jun 97	8,28	18,4	4	677,30	(33)	0,30	66	90,00	20,00	0	2,00	110,00
C7/2	Rettenbachh	Jun 97	7,93	19,7	4	678,70	20	1,70	84	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C8/2	Rettenbachh	Jun 97	8,02	19,5	4	677,00	33	0,00	83	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C9/2	Rettenbachh	Jun 97	8,17	21,1	4	681,60	16	4,60	67	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C10/2	Rettenbachh	Jun 97	7,96	15,6	4	679,80	33	2,80	67	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Serie 3, Entnahme September 1997														
C1/3	Rettenbachh	Sep 97	8,26	20	4	690,00	0	30,80	18	0,00	0,00	0	0,00	0,00
C2/3	Rettenbachh	Sep 97	8,04	19,8	3	658,80	14	-0,40	32	10,00	92,00	0	2,00	102,00
C3/3	Rettenbachh	Sep 97	8,32	18	3	661,00	14	1,80	32/33	6,00	0,00	0	1,00	6,00
C4/3	Rettenbachh	Sep 97	7,97	16,7	6	659,20	(14)	0,10	32/33	34,00	80,00	0	2,00	114,00
C6/3	Rettenbachh	Sep 97	8,27	15,7	5	677,30	(36)	0,30	66	0,00	2,00	0	1,00	2,00
C7/3	Rettenbachh	Sep 97	8,24	18,3	4	678,70	23	1,70	84	84,00	40,00	2	3,00	124,00
C8/3	Rettenbachh	Sep 97	8,01	17,6	4	677,00	36	0,00	83	2,00	0,00	0	1,00	2,00
C9/3	Rettenbachh	Sep 97	7,94	15,6	4	681,60	19	4,60	67	4,00	2,00	0	2,00	6,00
C10/3	Rettenbachh	Sep 97	8,33	15,7	5	679,80	36	2,80	67	4,00	0,00	0	1,00	4,00
Legende Fd = Feuchte deskriptiv, Anz U = Anzahl der nachweisbaren Überschwemmungen, Diff 0 Pegel = Höhenunterschied zum nächsten Pegel														

4.2.2 Serie 2 vom Juni 1997

Diese Probenserie war von November bis Juni im Höhlensystem. Im Anschluß an die trockene Winterperiode, welche exakt von Serie 1 beschrieben wird, folgte zuerst im März eine kleine Schneeschmelze, danach die endgültige Schneeschmelze im Mai.

Für die einzelnen Container können folgende Überflutungszeiten angegeben werden:

- C1: dauernd Tropfwasser; kein Karstgrundwasser (Hochwasser)
- C2: ca. 80 Stunden insgesamt (11 Ereignisse)
- C3: ca. 80 Stunden insgesamt (11 Ereignisse)
- C4: permanent im Wasser
- C6: permanent im Höhlenbach der Dückenröhre
- C7: ca. 410 Stunden insgesamt (20 Ereignisse)
- C8: ca. 565 Stunden insgesamt (33 Ereignisse)
- C9: ca. 160 Stunden insgesamt (16 Ereignisse)
- C10: ca. 565 Stunden insgesamt (33 Ereignisse)

Die Werte wurden ermittelt aus den Datensammleraufzeichnungen des hydrografischen Dienstes (Max Wimmer).

Nunmehr waren also alle Container vom Karstwasser in der einen oder anderen Form erreicht worden.

Neben der schon nachgewiesenen Art *M.fulvus* konnte jetzt auch die Spezies *C.coralloides* festgestellt werden. Das Auftreten dieser Art war eng verknüpft mit der Schneeschmelze, Flutereignissen und somit einem „Oberflächeneinfluss“.

Die Container 7-10, welche alle im Seegang installiert sind, waren trotz der intensiven Wässerung des Höhlenabschnittes frei von Myxobakterien.

Im Container 6, der auch Hochwassereinfluss hat, aber zusätzlich auch ständig von dem Dückenröhrenbach versorgt ist, war eine ganz reiche Myxobakterienflora (110%) festzustellen. Es trat sowohl *M.fulvus* (90%) als auch *C.coralloides* (20%) auf.

Im vorderen Höhlenteil waren in den Containern 3 und 2 erstmals Myxobakteriennachweise zu sehen. In C3 gab es 2% *M.fulvus*, in C2 20% *C.coralloides*.

Sehr überraschend fiel der Befund in C4, welcher ja in dem kleinen See steht, aus. Die hohe Konzentration von *M.fulvus* aus dem Winter wurde bis auf 2% zurückgedrängt, während nunmehr 100% der Einzelansätze mit *C.coralloides* befallen waren.

Es kommt nicht zu einer intensiven Besiedlung der Container im Seegang, obwohl reichliche Wasserzutritte zu beobachten sind. Die Neubesiedlung findet in der zweiten Phase im Bereich vor dem Mittagsberg, also in den tagnahen Zonen der Höhle statt.

Die Serienparameter sehen wie folgt aus:

Probenanzahl	9
Prozent positiver Proben	55,5 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	2
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	0,89
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	26,67 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	10,89%, 15,78%
Präsenz MF, CC (in %)	44,4%, 44,4,0 %
PV1 (MF/CC)	1,0

Tabelle 9: Grundkenndaten der Containerserie 2 vom Juni 1997

Analog zu den Proben der natürlichen Sedimente nahm von Februar bis Juni der Gesamtbefall an Myxobakterien deutlich zu. Auch die durchschnittliche Artenzahl erhöhte sich stark, wobei in den Containern allerdings deutlich geringere Werte als in den natürlichen Sedimenten festgestellt wurden.

Das Auftreten der Art *C.coralloides* ist auch in dem Sukzessionsversuch ganz eng mit dem Zutritt frischer Oberflächenwässer verknüpft. Im Falle des C4 kippt sogar die gesamte Besiedlung des sterilen Sediments und die dominierende Art wird hier *C.coralloides*.

Im Vergleich zur Winterprobenserie bleibt die Besiedlung durch *M.fulvus* annähernd gleich.

Die durchschnittliche Sedimentfeuchte liegt nun bei 18,5%, der pH bei 8,15.

4.2.3 Serie 3 vom September 1997

Zwischen der Juniserie und der Septemberserie kommt es zu insgesamt drei vollständigen Überflutungsereignissen in der Höhle. Wasseraustritte aus dem Höhlenportal mit maximal 3-4 m³/s sind zu beobachten. Dadurch erhöhen sich die Überflutungszeiten aller Container um ca. 45 Stunden.

Es sind interessante Entwicklungen der Biozönose zu erkennen. Der Container 1 zeigt keine Myxobakterienbesiedlung mehr. Auch in dem ansonsten immer reich besiedelten C6 werden nur noch ganz wenige Myxos nachgewiesen.

Im Gegensatz dazu findet nun die Besiedlung aller Container des Seeganges statt. Besonders bemerkenswert ist die reiche Flora in C7, dem Container im Hochstaubereich des Vordersees. Erstmals wird auch die Art *A. gephyra* hier im Sukzessionstest gefunden.

Bei C4 nimmt die Bedeutung von *M. fulvus* wieder zu. Insgesamt kann ein weiterer Anstieg der Myxobakterienbesiedlung diagnostiziert werden. Dies wird aus den Standardwerten ersichtlich:

Probenanzahl	9
Prozent positiver Proben	88,9 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,4
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	40,00 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	16,00%, 24,00%
Präsenz MF, CC (in %)	77,8%, 55,6 %
PV1 (MF/CC)	1,40

Tabelle 10: Grundkennndaten der 3. Containerserie vom September 1997

Praktisch alle Kennwerte sind weiter angestiegen, die Besiedlung der künstlich eingebrachten Sedimente hat ähnliche Kennzahlen erreicht, wie bei den natürlichen Sedimenten. Allerdings ist im Vergleich zu diesen die Art *C. coralloides* überrepräsentiert. Die knapp 1 Jahr dauernde Exposition der Sedimente reicht demnach nicht aus, um im Sediment die Realverhältnisse der autochthonen Sedimente zu simulieren. Dies könnte natürlich auch ein Effekt der Versuchseinrichtung selbst sein, was später noch zu diskutieren ist.

4.3 Die Oberflächenproben

Die Basisdaten der Oberflächenproben können aus Tabelle 11 auf der folgenden Seite entnommen werden.

4.3.1 Proben aus dem Einzugsgebiet des Rettenbachhöhlensystems (fakultativer Import)

Unmittelbar im Anschluß an die Hochwässer im Juli fand eine Beprobung des Einzugsbereiches des Rettenbachhöhlensystems statt. Dieses war zuvor durch H.HASEKE mittels Färbeversuch eindeutig nachgewiesen worden. Im Bereich Brudergraben, Merkenstein-Südflanke bis hinauf zum Merkensteinbründl sowie auf der Nordseite (2) wurden insgesamt 15 Sedimente unterschiedlichster Standorte entnommen und untersucht.

In den Oberflächensedimenten des Einzugsbereiches fanden wir die Arten: *M.fulvus*, *C.coralloides* und *A.gephyra*. Weitere Arten konnten nicht bestimmt werden. Die Grundkennwerte der Serie sehen wie folgt aus:

Probenanzahl	14
Prozent positiver Proben	64,3 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	2
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,0
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	4,86 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	1,43%, 2,71%
Präsenz MF, CC (in %)	28,6%, 57,1 %
PV1 (MF/CC)	0,50

Tabelle 12: Grundkennndaten der Proben aus dem Einzugsbereich der Rettenbachhöhle

Überraschend war zunächst die sehr geringe Besiedlung der Oberflächensedimente. Nur zwei von drei Proben hatten überhaupt Myxos aufzuweisen. Dann kamen aber auch nur geringe Befallsintensitäten von maximal 24% vor.

Die durchschnittliche Artenzahl lag gleichfalls deutlich unter dem Niveau in der Höhle. Interessanterweise gibt es jedoch eine gewisse Übereinstimmung zwischen den *C.coralloides*-Befallintensitäten in der Höhle (Juli 3,33) und der Oberfläche (2,71) Gleiches gilt für die Präsenz.

Das PV1 zeigt den geringsten Wert aller Probenserien an und dokumentiert somit die Aussagekraft der einfachen Maßzahl.

Messwerte aller oberirdischen Myxobakterienproben aus dem Sengsengebirge 1997

Orig.Bez.	Datum	pH	%<2mm Fd	Höhe NN	Biotop	Sedimentbez.	Farbe	MF	CC	MV	MS	AG	AAZ	Befall	
A) Einzugsbereich des Rettenbachhöhlensystems und sonstige Oberfläche															
EB1	Jul 97	7,64	65,00	5	1560	Latschen, Alpenrosen	Humus	Schwarz	2,00	0	0	0	0,00	1	2
EB2	Jul 97	7,50	40,80	5	1555	Wiese, Viola bicolor	Lehm, humos	schwarzbraun	0,00	0	0	0	0,00	0	0
EB3	Jul 97	6,89	72,50	4	1560	(Aconitum), vegetationslos	Lehm, humos	schwarz	0,00	0	0	0	0,00	0	0
EB4	Jul 97	8,40	27,30	4	1555	vegetationslos, Wegrand	Steine mit Humus	grau/schwarz	0,00	0	0	0	0,00	0	0
EB5	Jul 97	7,44	81,30	6	1555	Brunnensediment	organ. Schlamm	grün-schwarz	0,00	2	0	0	0,00	1	2
EB6	Jul 97	8,30	60,40	5	1530	Doline/Höhle	Lehm	garu/braun	0,00	0	0	0	0,00	0	0
EB7	Jul 97	6,08	96,40	5	1500	Kryptogamen	Humus	schwarz	0,00	4	0	0	2,00	2	6
EB8	Jul 97	7,39	60,60	4	1420	Lärchen/Fichten Mischwald	Lehm, humos	schwarzbraun	2,00	12	0	0	0,00	2	14
EB9	Jul 97	5,47	84,30	4	1200	Fichtenwald, Nadelstreu	Humus	schwarzbraun	0,00	4	0	0	8,00	2	12
EB10	Jul 97	8,53	27,00	4	990	Schuttreisse	Steine m. Feinsed.	graubraun	2,00	2	0	0	0,00	2	4
OR2a	Jul 97	5,09	78,50	4	650	Mischwald	Humus	schwarz	0,00	2	0	0	0,00	1	2
OR2b	Jul 97	6,17	57,20	4	650	Mischwald	Lehm	braun	0,00	0	0	0	0,00	0	0
OF 1	Sep 97	5,19	56,10	3	1120	Mischwald, unter Zwielauf	Lehm, Wurzeln	graubraun	0,00	2	0	0	0	1	2
OF 2	Sep 97	8,32	25,50	3	1000	Schuttreisse unter Zwielauf	Sand, steinig	braun	14,00	10	0	0	0	2	24
								1,43	2,71	0,00	0,00	0,71	1,00	4,86	
B) Vorflutbereich des Rettenbachhöhlensystems und sonstige Bachbetten im Sengsengebirge															
OR1	Jul 97	8,92	99,90	6	605	Fischteichwaller	Schneckensand	hellbraun	0,00	14	0	0	0,00	1	14
OR3	Jul 97	8,28	18,60	4	660	Bachsediment Budu	Steine, lehmig	braun	6,00	0	0	0	0,00	1	6
OR4	Jul 97	7,41	85,40	4	650	Bachsediment U3	Lehm	schwarz	0,00	8	0	0	4,00	2	12
OR5	Jul 97	9,32	82,80	5	610	Brücke Fischbach	Sand	hellbraun	8,00	0	0	0	6,00	2	14
OR6	Jul 97	9,13	83,40	5	600	Brücke Rettenbach	Sand	hellbraun	36,00	2	0	2	2,00	4	42
OF 3	Sep 97	8,37	16,80	3	780	Blättenbach, trocken	Grobsand steinig	hellbraun	24,00	6	0	0	0	2	30
								12,33	5,00	0,00	0,33	2,00	2,00	19,67	

4.3.2 Proben aus dem Vorflutbereich des Rettenbachhöhlensystems (fakultativer Export)

Die hier zu nennenden fünf Proben wurden aus den Sedimenten der Vorfluter entnommen. Insgesamt waren vier Arten anzutreffen: *M.fulvus*, *C.coralloides*, *A.gephyra* und *M.stipitatus*. Die Kennzahlen sind:

Probenanzahl	6
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	4
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	2,00
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	19,67 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	12,33% 5,00%
Präsenz MF, CC (in %)	66,7%, 66,7 %
PV1 (MF/CC)	1,00

Tabelle 13: Grundkenndaten der Probenserie aus dem Vorflutbereich des Rettenbachhöhlensystems

Im Exportbereich des Karstsystems herrschen nach Maßgabe dieser einfachen Stichprobe ähnliche Verhältnisse wie im Karstsystem selbst. Hier dominiert wieder leicht die Art *M.fulvus*. *C.coralloides* erreicht eine Befallsintensität von 5% . Obwohl sechs Proben nur eine kleine Stichprobe darstellen, ist doch die hohe durchschnittliche Artenzahl von 2,0 beachtenswert.

Während somit im Einzugsbereich die Sedimente von *C.coralloides* dominiert sind, wird in den Sedimenten des Exportbereiches eine leichte Dominanz von *M.fulvus* festgestellt, was als Einfluß der unterirdischen Biozöosen bewertet werden muß.

Die Lage sämtlicher Probennahmeorte an der Oberfläche ist in Abbildung 7 erkennbar.



Knordeboden

Hagler

Riegelmaier

Merkers

Störnach Siedelstatt

Gamssteig

E83

E84

Bunnies

Tenschau

Luftersloch

Oberberg

025
026
027
028
029
030

Hollerberg

4.4 Jahreszeitliche Änderungen der Mikrobiozöosen (Die Sonderstandorte)

Um Änderungen der mikrobiellen Besiedlung nicht nur an Mittelwerten von Probenserien untersuchen zu können, sammelten wir während des Untersuchungszeitraumes an drei ausgewählten Plätzen Sedimente ein. Die unterschiedlichen Standortfaktoren werden so leichter erkennbar.

4.4.1 Der Sonderstandort RET 6 (Dückeröhrenbach)

Standortfaktoren: Sandige Bachsedimente am unteren Auslauf der Dückeröhre. Die Entnahme erfolgte nicht aus dem „Stromstrich“ sondern aus den seitlichen, gerade noch langsam durchflossenen Sanden. Jedes Hochwasser überschwemmt den Bereich vollständig. In den Sedimenten sind regelmäßig viele Gastropodengehäuse, überwiegend *Hauffenia spec.* zu finden. Im Jahresmittel ließen sich folgende Basiskennwerte berechnen:

Probenanzahl	6
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	2,0
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	32,67 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	28,67% 3,00%
Präsenz MF, CC (in %)	100,0%, 66,7 %
PV1 (MF/CC)	1,50

Tabelle 14: Grundkenndaten des Sonderstandortes RET6

Die physikalischen Jahresmittel lauteten : Feuchte: 20,0% +/- 2,23%
 pH: 8,97 +/- 0,27
 Körnung < 2mm: 98,03% +/- 1,18%

Das folgende Diagramm zeigt die Populationsdynamik des Standortes im Jahresverlauf. Für den Monat April ist dabei der Umstand zu berücksichtigen, daß die Probennahme am Standort aus mehreren Teilproben (6.4a-d) bestand. Der hier eingesetzte Wert ist der Mittelwert aus 6.4a und 6.4b, was dem üblicherweise beprobten Sediment am besten entspricht.

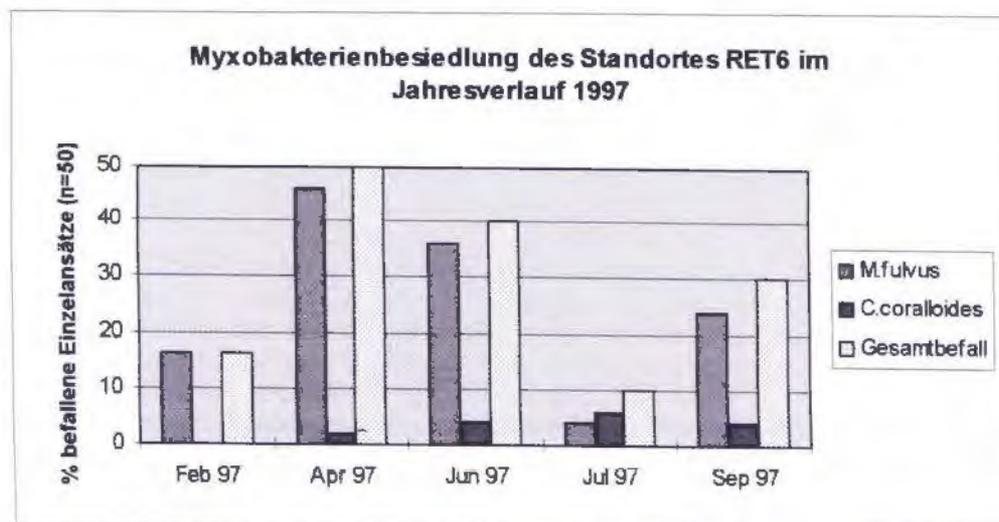


Abbildung 8 : Myxobakterienbesiedlung des Standortes RET6 im Jahresverlauf 1997

Wie das Diagramm zeigt, war an Standort RET6 die Besiedlung insgesamt im April am intensivsten. Dies ist vor allem auf die Spezies *M.fulvus* zurückzuführen. Die Art *C.coralloides* legt im Jahresverlauf langsam an Bedeutung zu, um schliesslich gegen Herbst wieder abzunehmen.

Interessant ist der Einfluß des Hochwasserereignisses im Juli. Die Population von *M.fulvus* nimmt dramatisch ab, ja *C.coralloides* wird im Juli sogar die häufigste Art am Standort. Im Laufe der weiteren jahreszeitlichen Entwicklung kommt es wieder zu einem deutlichen Zuwachs von *M.fulvus*. Die Probenreihe belegt das arttypische Verhalten der beiden häufigsten Myxobakterienspezies in der Rettenbachhöhle.

4.4.2 Der Sonderstandort RET 9 (Hauptauslauf Lange Kluft)

Standortfaktoren: Hier wurden die sandigen, meist relativ trockenen Sedimente am Hauptablauf der Langen Kluft besammelt. Wasserzutritt gibt es an dieser Stelle nur bei Hochwässern, ansonsten ist kein Tropf- oder Sickerwasserzutritt erkennbar.

Probenanzahl	5
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,6
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	36,80 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	35,60% 0,80%
Präsenz MF, CC (in %)	100,0%, 40,0 %
PV1 (MF/CC)	2,50

Tabelle 15: Grundkenndaten des Sonderstandortes RET9

Die physikalischen Jahresmittel lauteten: Feuchte: 10,2% +/- 4,15%
 pH: 8,85 +/- 0,28
 Körnung < 2mm: 93,96% +/- 10,07%

Wie schon bei dem vorigen Sonderstandort wollen wir nun den Jahresverlauf der Myxobakterienpopulation betrachten.

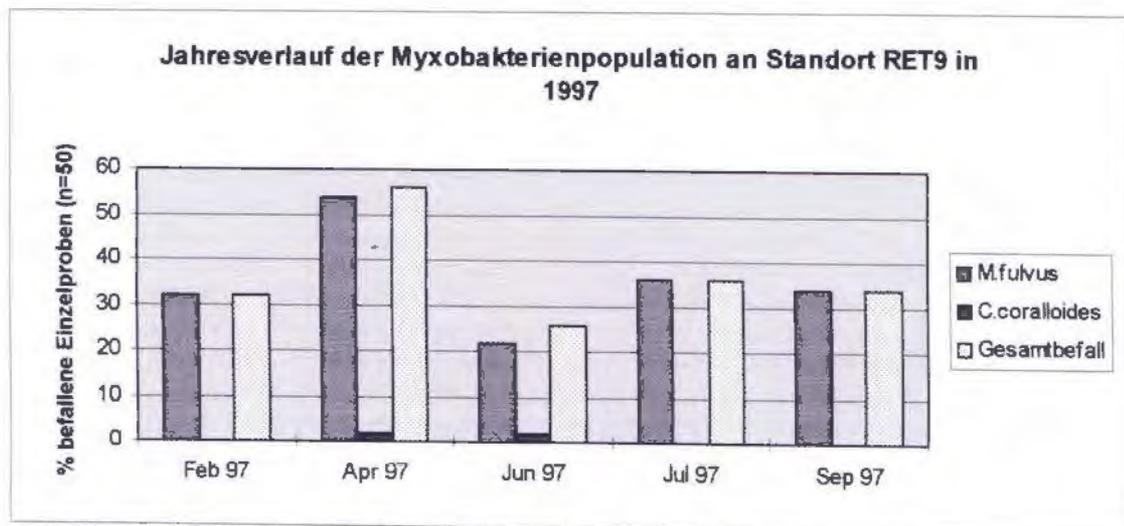


Abbildung 9: Jahresverlauf der Myxobakterienpopulation an Standort RET9 in 1997

Im Gegensatz zu RET6 findet sich an diesem Standort nur eine geringe Dynamik der Art *C.coralloides*. RET9 ist ganz überwiegend durch *M.fulvus* geprägt, wobei sich das Julihochwasser nicht in der gleichen Form auswirkt wie bei RET6. Das festgestellte Besiedlungsminimum tritt im Juni, also mit Abschluß der Schneeschmelze auf. Das Maximum liegt dagegen gleich wie bei RET6 im April. Insgesamt kann am Standort nur eine geringe jahreszeitliche Dynamik erkannt werden.

4.4.3 Der Sonderstandort RET 7 (Schmugglerstiege)

Standortfaktoren: Östlich unterhalb der Schmugglerstiege finden sich dichte Lager eines feinsandigen, meist relativ nassen Lockersediments. Die Oberfläche ist häufig unregelmäßig braun und schwarz gestreift und zeigt Überflutungsereignisse an. Ein Wasserzutritt an dieser Stelle erfolgt einerseits über extrem langsame Sickerprozesse, andererseits aber auch bei Regenfällen von der Regenhalle her sowie bei extremen Hochwässern auch aus dem Karstwasserspiegel. An RET7 können die Probennahmespuren respektive die Auslöschung selbiger sehr deutlich erkannt werden. Die Jahresmittelwerte sehen wie folgt aus:

Probenanzahl	5
Prozent positiver Proben	100 %
Maximale absolute Artenzahl (MAAZ)	3
Durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	2,2
Durchschnittlicher Befall (gesamt) (DBG)	37,60 %
Durchschnittlicher Befall MF, CC	32,80% 4,40%
Präsenz MF, CC (in %)	100,0%, 80,0 %
PV1 (MF/CC)	1,25

Tabelle 16: Grundkenndaten des Sonderstandortes RET7 im Jahresverlauf 1997

Die physikalischen Jahresmittel lauteten: Feuchte: 29,06% +/- 2,62%
 pH: 8,60 +/- 0,17
 Körnung < 2mm: 99,82 % +/- 0,15 %

Der Jahresgang der Besiedlung durch Myxobakterien wird durch die folgende Grafik veranschaulicht:

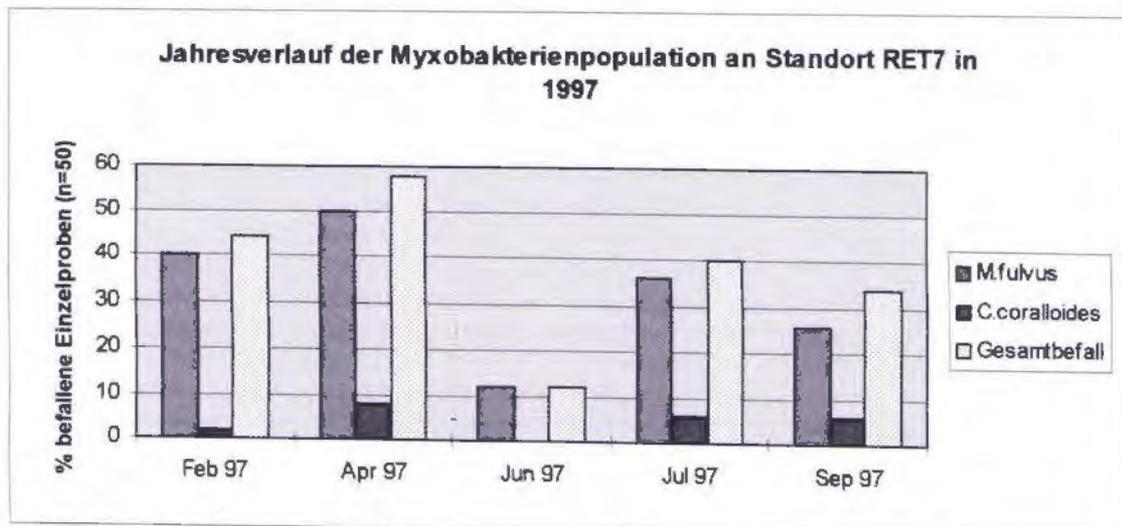


Abbildung 10: Jahresverlauf der Myxobakterienpopulation an Standort RET7 in 1997

Die Grafik zeigt im wesentlichen den gleichen Verlauf wie bei RET9: einen Zuwachs von Winter zum Frühjahr. In Folge der Schneeschmelze nimmt die Population drastisch ab. Das Hochwasserereignis führt hier zu einer raschen Neubesiedelung, welche in den folgenden Monaten im großen und ganzen konstant bleibt. Anders als bei RET9 spielt an Standort RET7 die Art *C.coralloides* eine wichtige Rolle. Einzig im Juni ist sie am Standort nicht vertreten.

4.4.4 Vergleichende Betrachtung der Sonderstandorte

Die obigen Kennwerte und Diagramme zeigen ein recht unterschiedliches Verteilungsmuster und sich überlagernde Dynamiken an.

RET7 und 9 liegen vor dem Mittagsberg, also vor der unterirdischen Barriere, welche nur bei starken Hochwasserereignissen überwunden wird. Der Jahresgang beider Standorte gleicht sich: Minimum im Juni, im Anschluß an die Schneeschmelze, Maximum im April, also am Winterausgang und deutlicher Zuwachs der Population in Folge des sommerlichen Hochwassers. Insgesamt ist der Jahresgang wenig dynamisch (low energy system)

Sehr viel variabler ist die Situation in Standort RET6. Dieser liegt in der hochphreatischen Zone. Der Jahresgang ist nicht nur wesentlich unausgeglichener, es ist auch ein völlig anderes Reaktionsmuster auf die Hochwasserereignisse vorhanden. Hier kommt es zu einem weitgehenden Zusammenbruch der Population in Verbindung mit dem Sommerhochwasser. Das Maximum der Besiedlung ist allerdings gleich wie bei RET7 und 9, nämlich im April. Der Standort RET6 weist ausgesprochen starke Schwankungen seiner Besiedlung auf (high energy system).

In den Jahresmitteln gleichen sich die Standorte allerdings überraschend gut. Die Schwankung des mittleren Befalls liegt im Bereich des Nachweisfehlers ($\pm 4\%$). Auch die pH-Werte und die Sedimentkörnung ist gut vergleichbar. Deutliche Unterschiede ergeben sich jedoch in der mittleren Feuchtigkeit der Standorte, weshalb es sich lohnt, den Parameter hier näher zu betrachten.

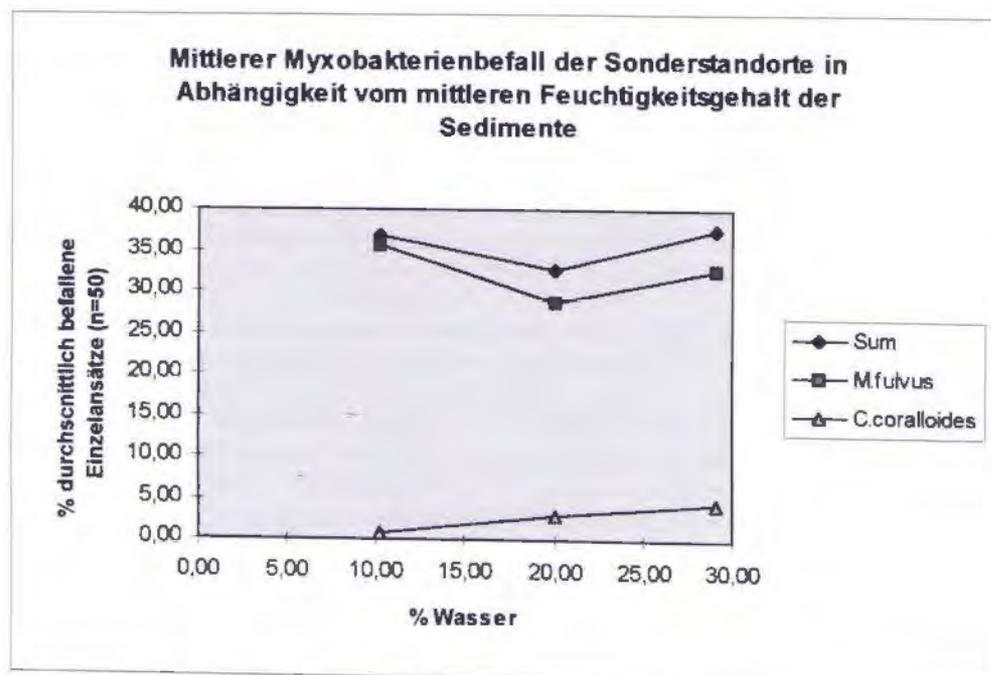


Abbildung 11: Jahresmittel der Feuchtigkeit gegen Jahresmittel des Myxobakterienbefalls (Sonderstandorte).

Während das Feuchtigkeitsmittel auf die Verteilung von *M. fulvus* offensichtlich keinen Einfluß hat, findet sich in obigem Diagramm ein erster Hinweis darauf, daß die mittlere Feuchtigkeit für die Spezies *C. coralloides* von großer Bedeutung ist. Mit steigender Feuchtigkeit ist ein kontinuierlicher Befallszuwachs verbunden. Dieser Umstand drückt sich dann auch in den durchschnittlichen Artenzahlen aus:

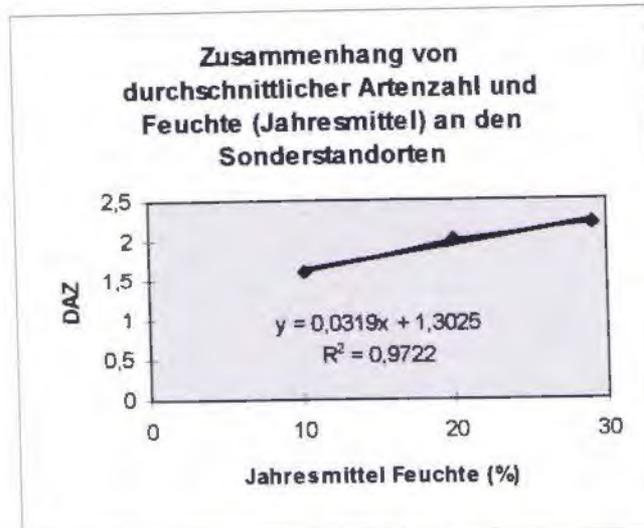


Abbildung 12: Zusammenhang von durchschnittlicher Artenzahl und Feuchte (Jahresmittel) an den Sonderstandorten.

Wie die Abbildung 12 zeigt, ist der Zusammenhang sehr deutlich und im untersuchten Spektrum quasi linear. Man beachte den hohen Regressionskoeffizienten. Mit zunehmender Sedimentfeuchte ist also qualitativ im Mittel mit höheren durchschnittlichen Artenzahlen zu rechnen.

Wie verhält sich nun jeder Einzelstandort bezüglich der Feuchtigkeitswechsel im Jahresverlauf? Die folgenden Grafiken sollen darüber Aufschluß geben:

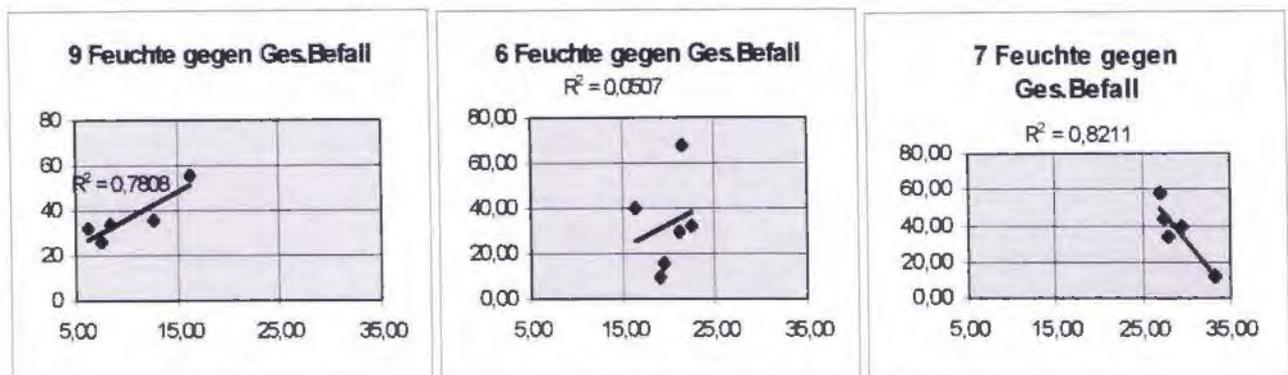


Abbildung 13a-c : Messwerte der Sedimentfeuchte gegen Myxobakterienbefall im Vergleich aller drei Sonderstandorte

Bei der Betrachtung obiger Diagramme gibt es zuerst eine Überraschung. Alle drei Standorte verhalten sich hinsichtlich des zutretenden Wassers grundverschieden. Während bei RET9, dem trockenen Sediment aus der Langen Kluft, eine deutlich positive Korrelation zwischen Wasser und Myxobefall besteht, ist der Standort RET6, der Bach aus der Dückenröhre, vom Wassergehalt fast unabhängig. Bei Standort RET7, Schmugglerstiege, wird gar eine negative Korrelation zwischen Feuchte und Myxobefall dokumentiert.

Wie kann dieser Befund erklärt werden? Zum ersten macht der Vergleich deutlich, wie unterschiedlich jedes einzelne Habitat, ja jeder einzelne Standort im Subterranum reagiert. Pauschale Antworten gibt es nicht.

Wie schon oben ausgeführt unterscheiden sich alle drei Standorte sehr deutlich in ihrem mittleren Wassergehalt. Die Mittelwerte sind um jeweils etwa 10% absolut verschieden. Wie die Diagramme zeigen schwankt auch an jedem Standort der absolute Wassergehalt in einem Intervall von etwa 10%. RET9 wäre damit ein Beispiel für einen trockenen Standort, RET6 für einen mittelfeuchten Platz, und RET7 für einen Zustand dauernd hohen Wassergehalts.

Im Karstsystem wirkt das Zutrittswasser in zwei Extremen auf die Mikrobiozösen. Zum einen ist es ein wichtiger Transportfaktor organischer Substanzen, also „Nahrungsmittel“ der Organismen, andererseits ergibt sich auch ein Transport (auch Export) der Bakterien durch hohe Wassergehalte. Weitere Ergebnisse unterschiedlicher Wassergehalte sind Konkurrenzeffekte der Biozösen. Bei der Betrachtung der Daten darf nicht vergessen werden, daß es sich bei den Myxobakterien-Untersuchungen nicht um eine Betrachtung der gesamten subterranean Mikrobiozösen handelt.

Für den vorliegenden Fall können die Daten so bewertet werden, daß in trockenen Sedimenten ein mehr an Wasser auch eine Zunahme der Myxobesiedlung zur Folge hat. Bei mittleren Wassergehalten etwa um 20% ist die Besiedlung nahezu unabhängig von der Feuchte, wohingegen bei höheren Wassergehalten das Optimum überschritten ist und es wieder zu einer Abnahme der Besiedlungsmöglichkeiten kommt. Ursache für letzteres sind entweder Exportprozesse oder Konkurrenzeffekte respektive physiologische Barrieren.

Die Experimente an den Sonderstandorten zeigen auch, daß weiterhin zwischen den Höhlenbereichen „Vor Mittagsberg“ und „Nach Mittagsberg“ unterschieden werden sollte. Dies war auch schon in den 1996er Untersuchungen deutlich geworden. Die hydrologischen Bedingungen, der Energieeintrag und die Herkunft der zutretenden Wasser ist in beiden Bereichen bedeutend verschieden. Während der Bereich „Nach Mittagsberg“ in der Hauptsache aus dem tiefen Karst mit Wasser versorgt wird, ist in der Langen Kluft eine Mischung aus Überlauf Dückenröhre, Überlauf Edelschacht und oberflächennahen Bachzutritten zu verzeichnen. Nach Hochwasserspitzen fällt die Lange Kluft rasch wieder trocken. Insgesamt sind hier die Verhältnisse ausgeglichener, Störungen seltener.

Wie kann dieser Befund erklärt werden? Zum ersten macht der Vergleich deutlich, wie unterschiedlich jedes einzelne Habitat, ja jeder einzelne Standort im Subterranum reagiert. Pauschale Antworten gibt es nicht.

Wie schon oben ausgeführt unterscheiden sich alle drei Standorte sehr deutlich in ihrem mittleren Wassergehalt. Die Mittelwerte sind um jeweils etwa 10% absolut verschieden. Wie die Diagramme zeigen schwankt auch an jedem Standort der absolute Wassergehalt in einem Intervall von etwa 10%. RET9 wäre damit ein Beispiel für einen trockenen Standort, RET6 für einen mittelfeuchten Platz, und RET7 für einen Zustand dauernd hohen Wassergehalts.

Im Karstsystem wirkt das Zutrittswasser in zwei Extremen auf die Mikrobiozöosen. Zum einen ist es ein wichtiger Transportfaktor organischer Substanzen, also „Nahrungsmittel“ der Organismen, andererseits ergibt sich auch ein Transport (auch Export) der Bakterien durch hohe Wassergehalte. Weitere Ergebnisse unterschiedlicher Wassergehalte sind Konkurrenzeffekte der Biozöosen. Bei der Betrachtung der Daten darf nicht vergessen werden, daß es sich bei den Myxobakterien-Untersuchungen nicht um eine Betrachtung der gesamten subterranean Mikrobiozöosen handelt.

Für den vorliegenden Fall können die Daten so bewertet werden, daß in trockenen Sedimenten ein mehr an Wasser auch eine Zunahme der Myxobesiedlung zur Folge hat. Bei mittleren Wassergehalten etwa um 20% ist die Besiedlung nahezu unabhängig von der Feuchte, wohingegen bei höheren Wassergehalten das Optimum überschritten ist und es wieder zu einer Abnahme der Besiedlungsmöglichkeiten kommt. Ursache für letzteres sind entweder Exportprozesse oder Konkurrenzeffekte respektive physiologische Barrieren.

Die Experimente an den Sonderstandorten zeigen auch, daß weiterhin zwischen den Höhlenbereichen „Vor Mittagsberg“ und „Nach Mittagsberg“ unterschieden werden sollte. Dies war auch schon in den 1996er Untersuchungen deutlich geworden. Die hydrologischen Bedingungen, der Energieeintrag und die Herkunft der zutretenden Wasser ist in beiden Bereichen bedeutend verschieden. Während der Bereich „Nach Mittagsberg“ in der Hauptsache aus dem tiefen Karst mit Wasser versorgt wird, ist in der Langen Kluff eine Mischung aus Überlauf Dückenröhre, Überlauf Edelschacht und oberflächennahen Bachzutritten zu verzeichnen. Nach Hochwasserspitzen fällt die Lange Kluff rasch wieder trocken. Insgesamt sind hier die Verhältnisse ausgeglichener, Störungen seltener.

4.5 Die Wandbeläge

4.5.1 Abstriche und Kultivierungsversuche

Die Untersuchung der sessilen Mikrobiozösen auf den Kluftoberflächen ist eine der wichtigsten Aspekte der Karstforschung, da sich wesentliche Prozesse der Karstdynamik gerade dort abspielen. Im Untersuchungszeitraum wurde daher versucht, neue Probennahmeverfahren zu entwickeln, die künftig die sogenannte FSB leichter untersuchbar machen. Konkrete Ökosystemstudien liegen jedoch noch nicht vor. Im Rahmen des Karstprogrammes wurden folgende Verfahren getestet:

a) Abstriche mit sterilen Wattetupfern und Kultivierung auf Minimalmedium.

Die Versuchsergebnisse sind grundsätzlich positiv. Von Standort zu Standort können deutliche Unterschiede erkannt werden, wobei sowohl Direktausstrich als auch Suspension gute Ergebnisse versprechen. Eine Bestimmung der Kolonien erfolgte nicht. Es handelt sich um eine Art Keimzahlbestimmung auf einem heterotroph-oligotrophen Medium. Eine Bebrütung bei Temperaturen unter 10°C ist möglich. Das Verfahren kann also grundsätzlich zur Bestimmung der Besiedlungsdichte durch heterotrophe Bakterien Einsatz finden, wenn folgendes beachtet wird: Es müssen immer gleiche Flächen verglichen werden. Der Suspension in sterilem Wasser ist der Vorzug zu geben.

Negative Befunde sagen nicht aus, daß der Standort steril ist, sondern bedeuten lediglich, daß dort kein auf diesem Medium kultivierbarer Mikroorganismus vorlag.

Die Fotografie 3 zeigt einen solchen Befund aus dem Bereich Lange Kluft. Beide Abstriche wurden nur wenige Zentimeter nebeneinander getätigt, wobei der positive Befund von einem dunklen Wandstreifen stammt.



Fotografie 3: Abstriche in der Rettenbachhöhle auf Glucose-Minimal-Medium

b) Abstriche mit sterilen Wattetupfern und Untersuchung auf *E.coli* und *Coliforme*

Diese Teiluntersuchung wurde zusammen mit S.SCHMIDT durchgeführt. Dazu wurde im Juli eine kleine Probenserie im Bereich des Vordersees entnommen. Folgende Abstriche wurden gemacht:

ABS1: Nullcheck (Tupfer steril entnommen, der Höhlenluft ausgesetzt und ins Transportgefäß gegeben)

ABS2: Boden Vordersee (nicht submers, sondern bei braunen Krusten, 4 cm²)

ABS3: Decke Vordersee (2 cm²)

ABS4: Wasserlinie Vordersee (2 cm²)

Die Tupfer wurden nun wie folgt weiterverarbeitet:

a) Direktausstrich

b) Suspension in 10 ml Deionat; 1 ml Ausstrich auf Chromoplate

c) Deionat-Wattetupferausstrich, angereichert auf Chromoplate.

Es kam zu folgenden Ergebnissen:

Probe	Ort	Direktausstrich	Suspension	Angereichert
ABS1	Nullcheck	0	0	0
ABS2	Boden	0	0	0
ABS3	Decke	0	0	0
ABS4	Wasserlinie	17 Coliforme	0	1 <i>E.coli</i> ; 10 colif.

Tabelle 17: Ergebnisse der „hygienischen“ Abstriche an den Wandflächen des Vordersees

Dieser erste Versuch ermuntert unbedingt zu weiterer Arbeit gerade auch in Richtung der hygienischen Parameter in der sessilen Mikrobiozönose. Mit diesem Versuch ist es erstmals gelungen, *coliforme Keime* und *E.coli* auf den Kluftoberflächen des Höhlensystems nachzuweisen. Somit steht fest, daß auch die Bewertung der Keimfracht von Quellen im Karst die Biozönosen der unterirdischen Oberflächen mit zu berücksichtigen hat. Die Indikatorkeime sind somit keinesfalls einfach als Ausdruck frischer Verunreinigungen zu werten. Diese Beobachtung war schon früher vermutet worden (MENNE und RÜCKERT 1988).

Interessant ist auch, daß die Wasserlinie des Vordersees der Nachweisort gewesen ist.

c) Stempelversuche mit sterilen Filterpapieren

Im Bereich Vordersee und Seegang versuchten wir die Wände oder die Sedimente mittels steriler Filterpapierchen abzustempeln. Von den Höhlenwänden kam es auf diese Weise nicht zu einem Nachweis von Myxobakterien, sehr wohl jedoch von einem Stempelversuch an den Sedimenten bei C6. Die Art *M.fulvus* wurde nachgewiesen. Grundsätzlich scheint die Probennahmemethode also wirksam zu sein. Eventuell müsste die Verweilzeit des Papiers erhöht werden (1-10Tage?)

Methoden erfolgt. Hier sind zum einen die Determinierungsprobleme zu nennen. Krasse Schwierigkeiten zwischen *M.fulvus* und *C.coralloides* zu unterscheiden, gibt es in der Regel nicht,

sehr wohl jedoch bei der Differenzierung von *A.gephyra* und *C.coralloides*. Die relative Seltenheit von *A.gephyra* lässt jedoch die unmittelbare Bedeutung dieses Problems gering erscheinen. Um irgend welche Fehler, die sich aufgrund falscher Determinierung in das Gesamtergebnis einschleichen könnten, in ihrer Auswirkung auf die Gesamtbeurteilung zu minimieren, benutzen wir stets zusätzlich den Parameter „Gesamtbefall“, welcher die artunabhängige Summe aller einzelnen Myxobakteriennachweise darstellt. Ein kritischer Vergleich der artspezifischen Aussagen mit dem Gesamtbefall hilft die Wirkung eventueller Determinationsfehler zu verkleinern.

Die größte Fehlerquelle stellt zweifellos die mikroskopische Befundstellung selbst dar. In Blindversuchen konnte festgestellt werden, daß man im Mittel etwa 1 positiven Ansatz übersieht. Da von jedem Standort und jeder Zeit 50 Einzelansätze (= 100%) ausgelegt werden ergibt sich aus diesem Fehler (Übersehfehler) eine Unterschätzung des wirklichen Befalls von im Mittel 2%.

Eine zweite Fehlerquelle der halbquantitativen Auswertung ergibt sich aus der Mobilität der Myxobakterien. Die Mobilität der Myxobakterienschwärme ist von Art zu Art verschieden. *C.coralloides* kriecht erfahrungsgemäß sehr viel schneller über das Substrat als *M.fulvus*. Die Auswertung in befallenen Einzelansätzen (es werden stets mehrere auf einer Platte ausgeführt) setzt die Unabhängigkeit jedes einzelnen Ansatzes vom nächsten voraus. Erfolgt nun die Infektion eines Einzelansatzes durch „Hinüberkriechen“ eines Schwarms von einem benachbarten Ansatz aus, so kommt es zu einer Überschätzung des tatsächlichen Befalls. Dieser Fehler ist speziesabhängig. Mikroskopisch erfolgt eine Fehlerreduzierung durch eine Determinierung des Schwarmursprunges. Da die Kriechspuren der Schwärme meist gut erkennbar sind, wird daher immer geprüft, ob die Fruchtkörper, welche an einem Einzelansatz sitzen, ihren Schwarmursprung an diesem Ansatz haben oder aber einem benachbarten Ansatz zuzuordnen sind. Wird letzteres festgestellt, so ist der Befund nur dem Schwarmursprung zuzurechnen. Durch den „Ursprungsfehler“ überschätzt man die tatsächlich vorhandene Myxobakterienpopulation, wobei der Fehler um so gravierender wird, je dichter ein Sediment besiedelt ist und um so mehr schnell kriechende Myxobakterienspezies betroffen sind. Der Ursprungsfehler könnte leicht dadurch umgangen werden, daß pro Platte nur ein Einzelansatz erfolgt. Dadurch würde sich allerdings der Plattenbedarf und Raumbedarf (Inkubator) so drastisch erhöhen, daß dies mit den vorhandenen Mitteln nicht mehr finanzierbar ist. Dieses Verfahren wurde auch noch niemals in einem Labor angewandt.

Die grundsätzliche speziesbezogene Messfehlerkalkulation des Verfahrens kann daher wie folgt angegeben werden:

$$\text{Abs. Befall}_{\text{pec. \%}} = (\text{gemessener Befall}_{\text{spec \%}} + \text{Übersehfehler \%} - (\text{Ursprungsfehler \%} * K_1)) * K_2$$

dabei sind K_1 : artabhängiger Mobilitätsfaktor
 K_2 : methodenspezifischer Abweichungsfaktor

Da K_1 und K_2 bislang unbestimmte Größen sind, ist es nicht möglich den Fehler exakt zu berechnen. Aus der Empirik heraus geben wir daher Schätzgrößen an:

M.fulvus: gemessener Befall +/- 2%

C.coralloides: gemessener Befall +/- 2% (für Befall < 40%) darüber : +2, - 6 %

A.gephyra: gemessener Befall +/- 2%.

M.stipitatus: gemessener Befall +/- 2%

d) Aufsaugversuche mit sterilen Filterpapieren

In gleicher Weise versuchten wir durch ca. 10 minütiges Eintauchen von Filterpapieren in die Wasserkörper der Rettenbachhöhle Myxobakterien im freien Wasser nachzuweisen. Die Versuche

mißlingen. Kein einziges Myxobakterium konnte so erfaßt werden. Ob dies daran liegt, daß die Methode ungeeignet ist, oder daran, daß nicht ausreichend Bakterien im Wasser vorlagen, kann nicht beurteilt werden.

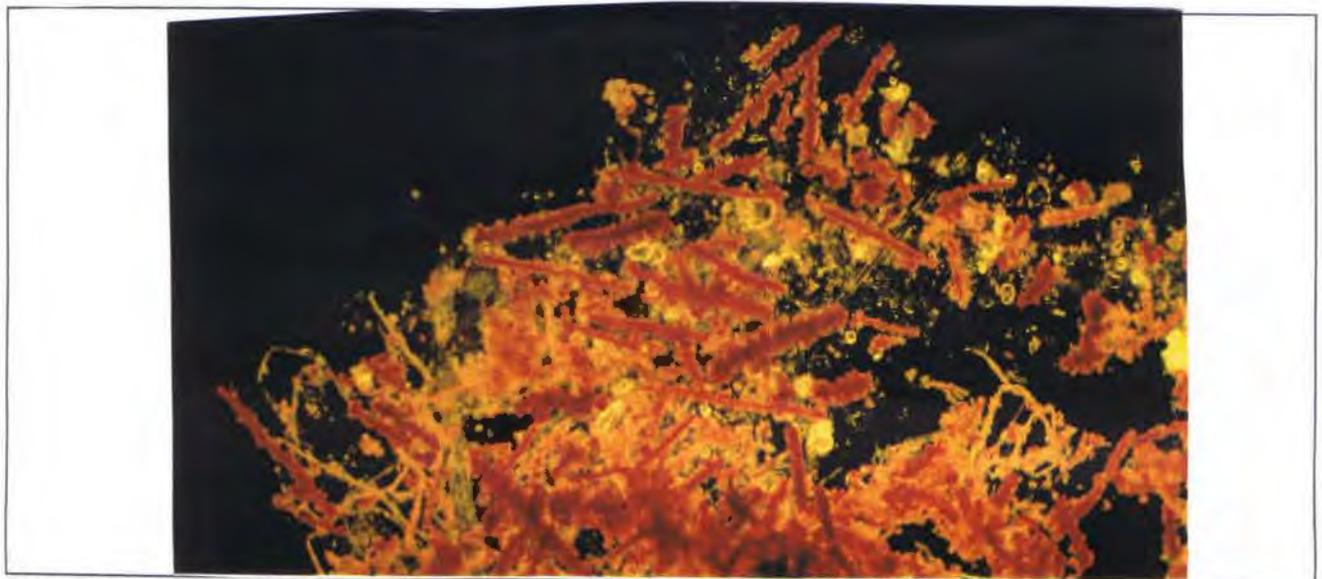
4.5.2 Physikalischer Biofilmabtrag und Mikroskopie

Mittels dieser Methode wurden zahlreiche Proben im System entnommen. Die unterschiedlichsten Biozönosen wurden beobachtet, wobei allein die mikroskopischen Methoden zum Einsatz kamen. Einer sorgfältigen Bearbeitung dieses Themas sollte in Zukunft erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

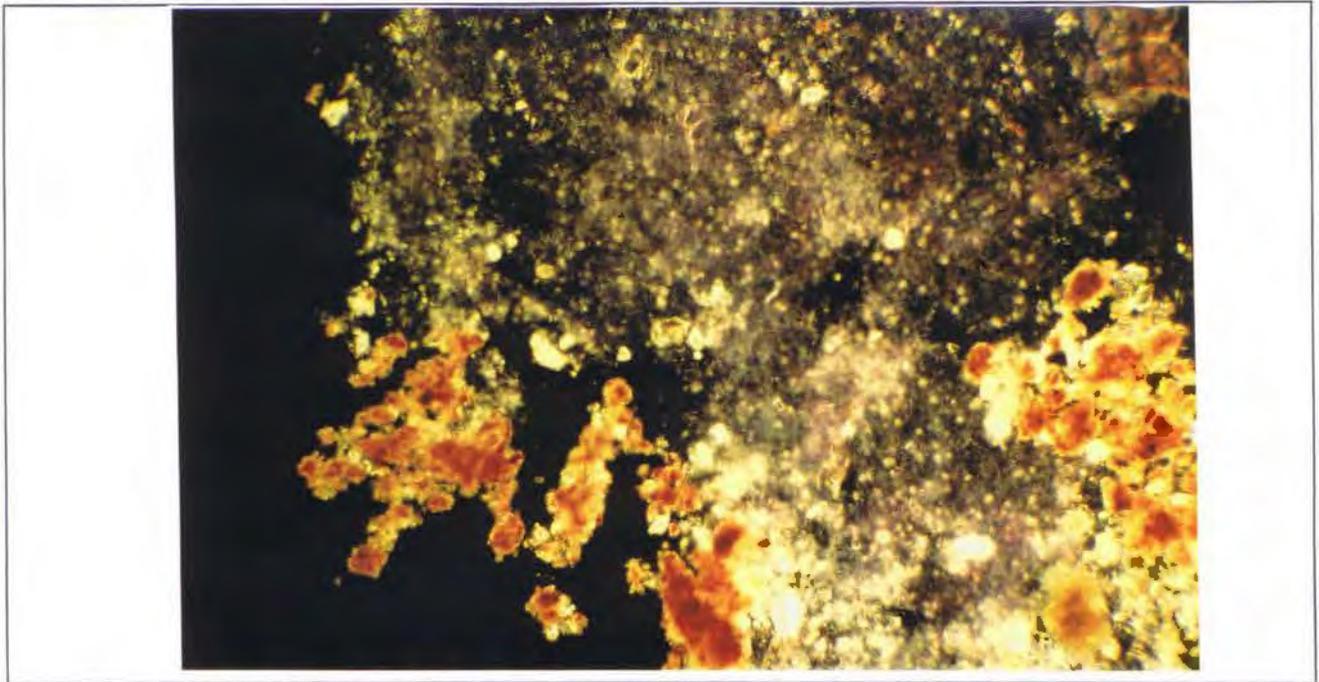
Die physikalisch gewonnenen Biofilme waren aus den unterschiedlichsten Organismen zusammengesetzt. Einige Beispiele sind in den folgenden Fotografien dargestellt. An folgenden Stellen wurden Biofilme abgetragen und direkt beobachtet:

Lacke (Pegeltümpel) in der Langen Kluft: Die Biofilme dort waren erstmals im Februar beobachtet worden. Der Schraube des Containers hafteten einige braune, schon makroskopisch sichtbare Büschel an. Andere kleinere Büschelchen konnten in der Nähe des Containers beobachtet werden. Die Fotografie 4 zeigt stengelige, durchaus 100-200 µm lange Stäbchen, welche inkrustiert sind mit eisenhaltigen Gallerten. Die Stäbchen selbst können als Bakterienscheiden betrachtet werden, in deren Innern Ketten von Einzelzellen liegen. Vereinzelt wurden auch farblose Gallerten gesichtet, die geringe Zelldichten aufwiesen. In den Gefügelücken wurde eine reiche *Protozoenfauna* beobachtet (mindestens 3-4 Spezies).

Bei der neuerlichen Probennahme im Juni war der Biofilm auf dem Boden des Pegeltümpels ganz verändert. Die braunen Stäbchen waren kaum mehr zu finden, dafür waberte um den Container herum eine leicht sichtbare Gallerte, welche mittels steriler Pipette entnommen werden konnte. Die Gallerte zeigte reiche Mikrobiozönosen, welche in Fotografie 5 dargestellt sind.



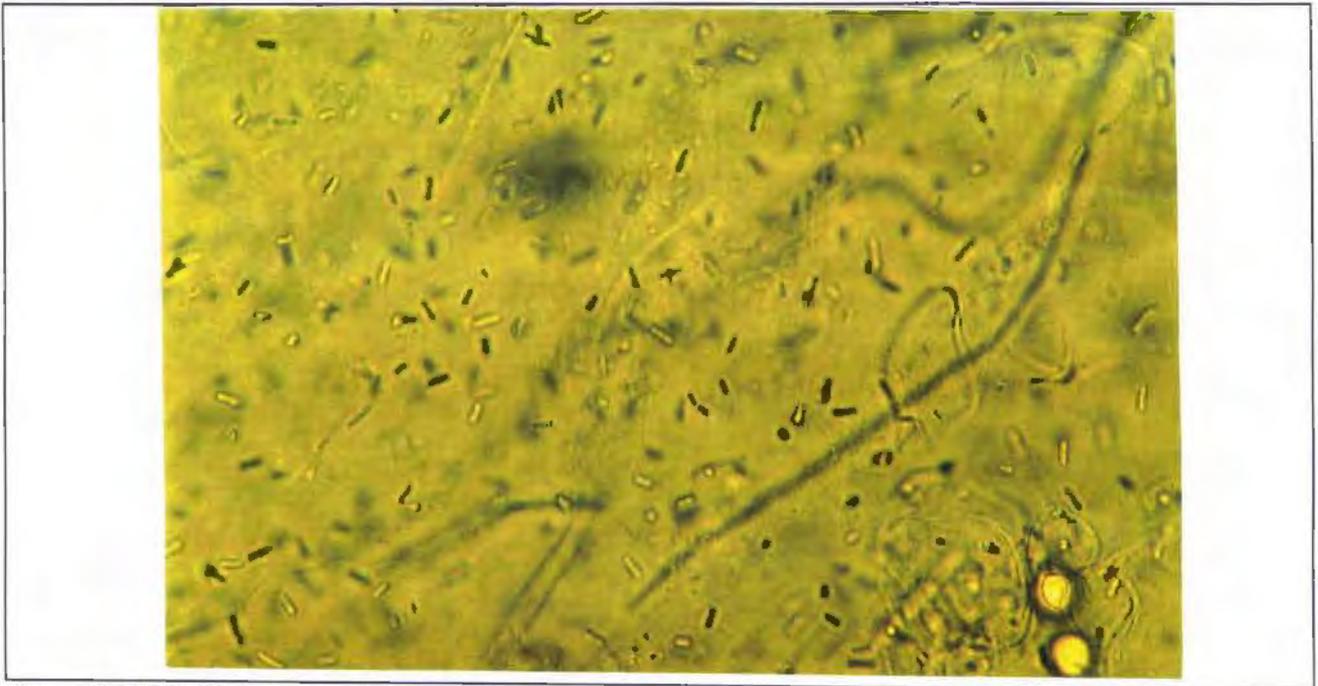
Fotografie 4: Biofilme Tümpel Lange Kluft, Februar 1997; Vergrößerung im Original 400fach.



Fotografie 5: Biofilme Tümpel Lange Kluft, Juni 1997, Vergrößerung im Original 400fach

Die schwarzen Überzüge im hinteren Höhlenteil können durchaus auch als Biofilm angesprochen werden (MENNE 1996a). An den Probenentnahmestellen von 1996 werden regelmäßig Kontrollbeobachtungen gemacht. Ein neues Wachsen der schwarzen Filme findet aber nicht statt, so daß entweder mit sehr langsamen Wachstumszeiten zu rechnen ist oder aber die Manganschichtbildung mit rezente singulären Ereignissen in Verbindung zu bringen ist.

Im Vordersee fielen bei der limnologischen Probennahme und dem Abbürsten der Steine und Höhlenwände wiederholt Biofilme an. Diese zeigten sehr interessante Strukturen. In einem Fall (Foto 6) saßen auf der Gesteinsseite stäbchenförmige Bakterien mit geringer Zelldichte und einer ausgeprägten EPS. Auf der Wasserseite waren in den Biofilm spirillenförmige Bakterien eingewachsen, welche mit dem einen Zellende in der EPS-Schicht verankert waren, mit dem anderen Ende aber frei im Wasser strudelten. Die kreisförmigen Rotationen der Zellen konnte man im Mikroskop am lebenden Präparat sehr gut beobachten (Abbildung 14).



Fotografie 6: Biofilme von Felsoberflächen Vordersee (orig. 1000-fach)

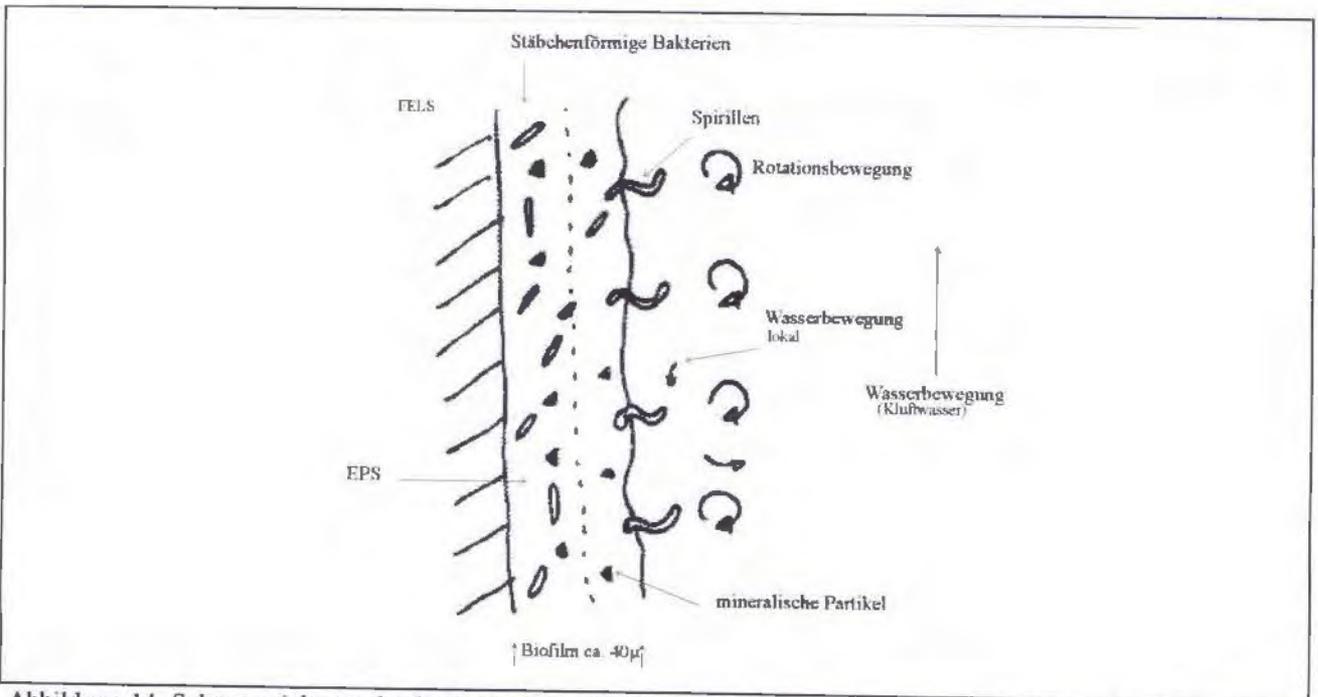
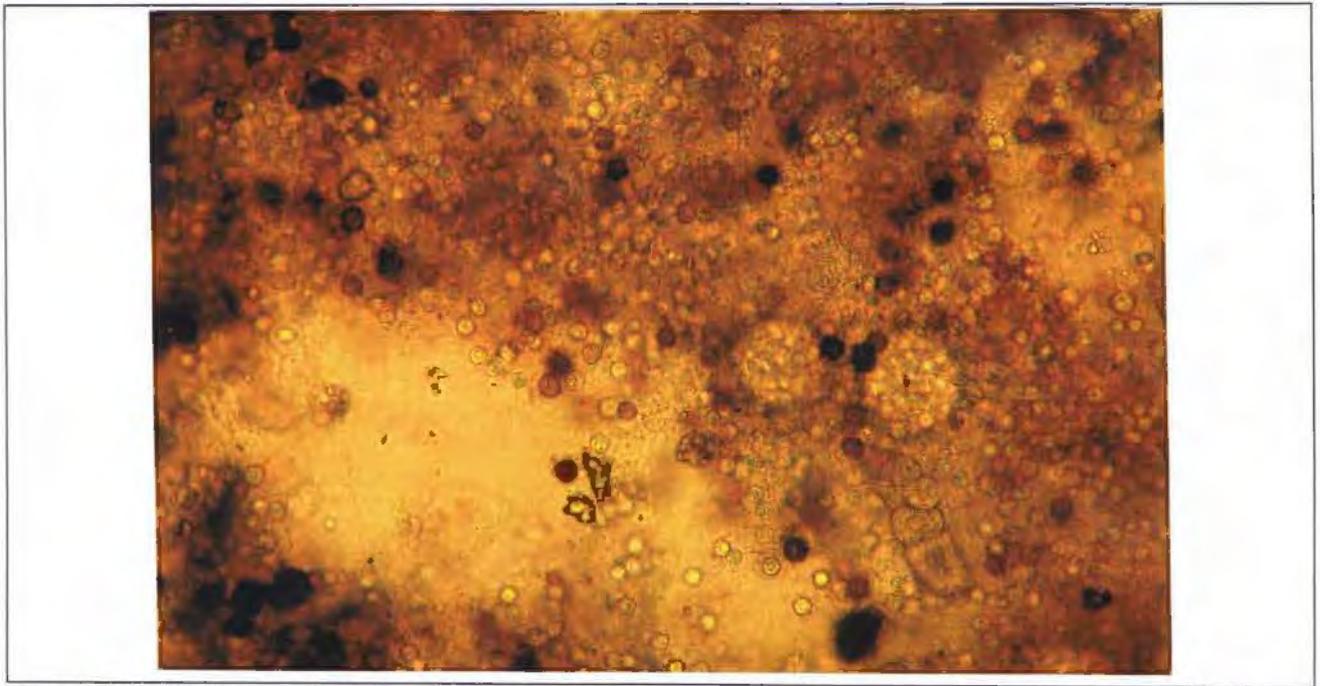


Abbildung 14: Schemazeichnung hoch strukturierter Biofilme vom Bereich Vordersee.

In den Löchern der sterilen Container wurden wiederholt teils dicke Biofilme gefunden (Foto 7). Diese zeigten eine sehr hohe Vielfalt an verschiedenen Lebensformen, wobei durchaus sogar die Vermutung naheliegt, daß heterotrophe Algen eine Rolle spielen können. Als besonders reich an mikrobieller Aktivität erwies sich der C6 in der Dückenröhre. An den dortigen Biofilmen wurde an algenähnlichen Zellen eine Inkrustierung mit braun-schwarzen Ablagerungen wahrgenommen. Dies könnte eventuell etwas mit der Ausbildung der „schwarzen Schichten“ zu tun haben.



Fotografie 7: Biofilme von Containeroberfläche (C6) Vordarsee. (orig. 400-fach)

5. Diskussion

Trotz des unbestreitbaren Erfolges, den die Untersuchung der sessilen Mikrobiologie im Subterrannum des Sengeseengebirges gehabt hat, gilt es Daten und Aussagen kritisch zu bewerten. Dabei ist in erster Linie eine Methodenkritik vorzunehmen, gleichfalls aber auch eine Überprüfung der Aussagekraft und Verallgemeinerbarkeit der Befunde.

Methodologische Kritik

a) Agar-Platten-Kultivierung und Auswertung

Es fällt am leichtesten, hier mit den Untersuchungen der subterranean autochthonen Sedimente zu beginnen. Die Methodik ist in vielen oberirdischen und unterirdischen Studien verwendet worden und kann daher am leichtesten überprüft werden. In jüngerer Zeit war es vor allem RÜCKERT (1980), der intensive geomikrobiologische und ökologische Verbreitungsstudien mit Myxobakterien angefertigt hat. Er verwendete zur Untersuchung stets drei Ködermethoden: die Agar-Platte nach SINGH, die Mistködermethode und schliesslich die von RÜCKERT selbst entwickelte NaCl-Methode. In unserer Studie fand aus lediglich die Agar-Platte Verwendung. Das Ziel der klassischen Verfahren nach RÜCKERT war es ein möglichst vollständiges Myxobakterienspektrum zu erhalten. Die Untersuchung von Dynamiken fand nicht statt. Alle Verfahren fördern in unterschiedlicher Weise das Wachstum der diversen Myxobakterienspecies. Die Randbedingungen und funktionalen Zusammenhänge sind nicht bekannt. Daher würde man bei der zeitlichen Auswertung der Multi-Kulturmethodik auf unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen. Daher entschieden wir uns - natürlich spielten auch Zeit und Kosten eine Rolle - nur eine Methode einzusetzen. Die Wahl fiel auf das Verfahren, welches a) die geringsten Probenmengen erfordert und b) die beste theoretische Reproduzierbarkeit aufweist. Nachteil dieser auf die Dynamik des Systems ausgerichteten Verfahren ist, daß möglicherweise das absolute Artenspektrum nicht vollständig erfaßt worden ist. Dies betrifft weniger die Hauptarten als vielmehr die nur vereinzelt auftretenden Nebenarten. Somit muß die Interpretation der Verteilung von Nebenarten extrem vorsichtig durchgeführt werden.

Eine zweite Schwierigkeit ergibt sich aus der Vergleichbarkeit mit vorigen Myxobakterien-Untersuchungen. Gerade die wichtigen Arbeiten im Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nationalpark Berchtesgaden) oder in der Schwäbischen Alb (Deutschland) wurden mittels der klassischen Verfahren durchgeführt, da diese ja auch nicht auf die Dynamik des Gesamtsystems konzentriert waren. Um nun zu echten Vergleichen mit den Sengeseengebirgs-Untersuchungen kommen zu können, wurden die Rohdaten dieser Untersuchungen neu berechnet, indem nur die mittels Agar-Platte gewonnenen Ergebnisse in den Vergleich einfließen. Dadurch kann es zu Abweichungen der hier referierten Werte von denen in der Literatur befindlichen kommen (MENNE & RÜCKERT 1988; MENNE 1992). Es sei der Vollständigkeit halber angemerkt, daß sich, unabhängig davon welchen Vergleichsdatensatz man wählt, dieselben Schlußfolgerungen ziehen lassen und obige Aussage methodologisch zu werten ist.

Wenden wir uns der Abschätzung der grundsätzlichen Meßfehler zu. Da in jedem Fall exakt die gleichen Materialien (Agar, Hefe, Verdünnungswasser) verwendet wurden, sind die aus der Kultivierungsmethodik resultierenden Unter- oder Überschätzungen bestimmter Arten in allen Ansätzen gleich. Sie wirken sich somit nicht unmittelbar auf die Interpretation der Dynamik aus. Ein gravierenderes Problem stellt die Befundstellung an sich dar, die ja bekanntlich mittels optischer

Ein Großteil der Schwierigkeiten der halbquantitativen Verfahren lässt sich umgehen, wenn man sich lediglich auf qualitative Aussagen stützt. Hier spielt es keine Rolle, wieviele Einzelansätze von einer Spezies im Probenvolumen auftauchen, sondern lediglich im Sinne des Presence/Absence-testens, ob die Art da ist oder nicht. Ein Befund mit 2% infizierten Einzelansätzen wird dann natürlich gleich behandelt wie einer mit 100% Befallsintensität. Die Meßfehler der qualitativen Auswertung beschränken sich auf zwei Hauptbereiche: a) die oben genannten Determinierungsprobleme und b) die untere Nachweisgrenze.

In der Gesamtschau können die Determinierungsprobleme bei qualitativer Auswertung als wesentlich geringer denn bei der quantitativen Auswertung betrachtet werden. Hier kommt es nicht mehr darauf an, jeden Einzelschwarm richtig zu bestimmen, sondern nur darauf, einen sicheren Artnachweis zu haben. Das kann mit relativ hoher Sicherheit erreicht werden.

Die untere Nachweisgrenze wird bei Proben mit Gesamtbefall $< 6\%$ erreicht. 2% bedeutet, daß gerade noch ein Einzelansatz positiv war. Bei qualitativer Auswertung lohnt es sich somit trotzdem, einen Blick auf die quantitativen Daten zu werfen. Die P/A-Methode wird um so unsicherer, je geringer die Befallsintensitäten sind.

In dieser Arbeit werden die Maßzahlen der „durchschnittlichen Arten“, „absoluten Artenzahl“ und der „Präsenz“ sowie des „PVI“ als qualitative Wertbestimmungen gebraucht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine gute Bewertung der Gesamtsituation nur dann erfolgen kann, wenn sowohl quantitative als auch qualitative Auswertelgorithmen Verwendung finden und man kritisch auf Identität der Schlußfolgerungen achtet.

b) Sukzessionsversuch

Grundsätzlich gilt hier das unter a) Gesagte in gleicher Weise. Weitere Ansatzpunkte für Kritik ergeben sich aus den Versuchsbedingungen selbst.

Es soll zwischen rein handwerklichen Gesichtspunkten und prinzipiellen Verfahrensproblemen unterschieden werden.

Aufgrund der Versuchsanordnung gibt es bei einigen Containern, nämlich bei denen im Bach/Tümpel oder Tropfwasser installierten, einen unmittelbaren Kontakt zwischen potentiellm Quellsubstrat und sterilen Beuteln. In den anderen Fällen hängen die Beutel frei im Luftraum (bei Normalwasser). Eine dauernde Verbindung zum potentiellen Quellsubstrat besteht nur über den Metallkorb. Der sich aus diesem prinzipiellen Unterschied ergebende mögliche Fehler liegt in der vertikalen Anordnung der drei sterilen Sandsäckchen begründet. Während das jeweils unterste Säckchen direkten Substratkontakt hat, ist das bei den darüber befindlichen nur über das jeweils untere der Fall. Es gibt also in der Versuchsanordnung selbst einen internen Gradienten im Fall der Container mit Substratkontakt. Für die hochwasserumspülten Container kann dieser Gradient nahezu vernachlässigt werden, da faktisch die Umspülung der einzelnen Sandsäcken zeitgleich abläuft.

Um obigen Tatsachen Rechnung zu tragen, entnehmen wir daher stets den jeweils untersten Beutel aus den Containern.

Ein handwerkliches Problem stellt die Montage der Container selbst dar. Nach der Hitzesterilisierung sind die Container selbst zwar steril, in der Höhle wird es aber nötig, sie wieder anzufassen, um ein Festschrauben zu ermöglichen. Eine Verbesserung des Verfahrens durch Einpacken der Container in Alufolie und zusätzlich der Verwendung von OP-Handschuhen bei der Montage kann das Problem theoretisch verkleinern. Allerdings kann auch dann nicht ausgeschlossen werden, daß andere Höhlenbesucher die Container berühren. Insgesamt gesehen ist eine Übertragung von einer ausreichend großen Menge Myxobakterien auf den Container durch die Hände des Bearbeiters eher als unwahrscheinlich zu betrachten. Blindversuche in dieser Richtung verliefen stets negativ. Trotzdem sollte dieser Fehlerquelle durch Besucherlenkung und steriler Montageverpackung der Container Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die Versuchsanordnung selbst simuliert nicht vollständig die reale Besiedlung der Höhlensedimente. Zum einen haben die Höhlensedimente einen direkten Kontakt zur Umgebung, während sie in den Containern sowohl der Umgebung des Metallkorbes (Oberflächenpotential; Durchströmbarkeit) als auch des Baumwollsäckchens (Organische C-Quelle; Durchströmbarkeit) ausgesetzt sind.

In vielen Fällen, insbesondere da, wo es einen direkten Kontakt der Container zur Höhlenoberfläche gibt, kommt es massiver Zersetzung (Maszerierung) des Baumwollsackes.

Innerhalb der Säckchen ergeben sich daher deutlich geringere Strömungen als im Aussenbereich bei zusätzlich erhöhtem Nahrungsangebot, sei es nun direkt durch Zersetzung der Baumwolle oder durch lytische Aktivitäten an anderen baumwollzerstörenden Mikroorganismen.

Als letzter Faktor sei noch erwähnt, daß die sterilen Sedimente nicht dem Höhlensystem entstammten, sondern gewaschener Rheinsand waren. Die Oberflächenpotentiale unterscheiden sich daher sicher. Letzteres Problem wurde bei der Montage 1997 (für Beobachtungsjahr 98) durch Nutzung von Sedimenten aus dem Vorflutbereich der Rettenbachhöhle verkleinert.

Eine direkte Simulation der Besiedlung von Höhlensediment müsste alle Prozesse berücksichtigen: Umlagerung und Transport, Verweilzeiten und C-Quellen, direkter Kontakt zum Wasser-/Luftraum. Eine Umsetzung dieser Forderungen scheitert an zahlreichen Schwierigkeiten. Zum einen müssten die physikalischen Sedimentationsprozesse inklusive des „Einzugsgebietes“ exakt bekannt sein, und zum anderen müsste die Versuchseinrichtung zwar einerseits einen freien, nicht potentialverändernden oder C-Quellen aufweisenden Zugang zum Wasser haben, andererseits aber trotzdem noch eine „Wiederfindung“ des sterilen Sandes ermöglichen. Entsprechende Einrichtungen würden einen hohen finanziellen Aufwand nötig machen.

Die hier benutzte Versuchseinrichtung kann somit nicht ohne weiteres direkt mit den aus den autochthonen Sedimenten gewonnenen Daten verglichen werden. Die Auswertung muß die prinzipiellen Unterschiede berücksichtigen und sich auf die „arttypischen“ Reaktionsmuster konzentrieren. Deshalb wird der Versuch auch Sukzessionsversuch genannt. Wichtigster Befund ist die qualitative Abfolge der Besiedelung. Die quantitativen Ergebnisse sind mit größter Vorsicht zu behandeln wenn man damit einen Bezug zu den Befunden der „freien“ autochthonen Sedimente herstellen will. Relativ, also versuchsintern, kann ihnen jedoch eine wichtige Aussagekraft zugeschrieben werden.

c) sonstige mikrobiologische Verfahren

Da die anderen hier referierten Ergebnisse Vorerkundungen darstellen, ist eine intensive methodische Kritik an den Verfahren augenblicklich verfrüht.

Inhaltliche Diskussion der Befunde

Nach Maßgabe der karstmikrobiologischen Hypothese des Festbettreaktors muß es vertikale Differenzierungen in den Biozönosen geben. Für das Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nationalpark Berchtesgaden) wurde eine solche Zonierung bereits gezeigt (MENNE 1997b). Für den Fall des Sengsengebirges deutete sich im Untersuchungsjahr 1996 ein gleichartiges Ergebnis an (MENNE 1996b). Bereitet man nun die neuen Daten auf, so lassen sich folgende Zusammenhänge erkennen:

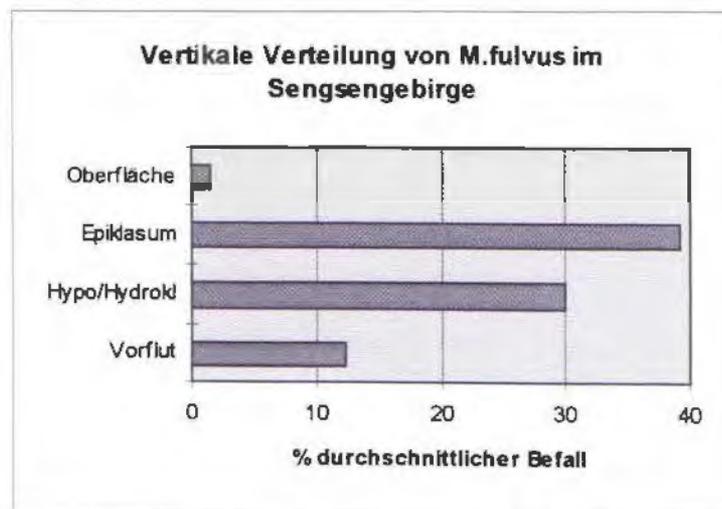


Abbildung 15: Vertikale Verteilung von *M. fulvus* im Sengsengebirge

Die Art *M. fulvus* zeigt hier im quantitativen Vergleich das grundsätzlich gleiche vertikale Verteilungsmuster, wie es im Wildpalfensystem beobachtet wurde: geringe Konzentrationen an der Oberfläche, eine massive Aufkonzentrierung in den obersten, tagnahen Bereichen des Karststockes und ein langsames Abfallen der Befallsintensitäten zur Tiefe hin.

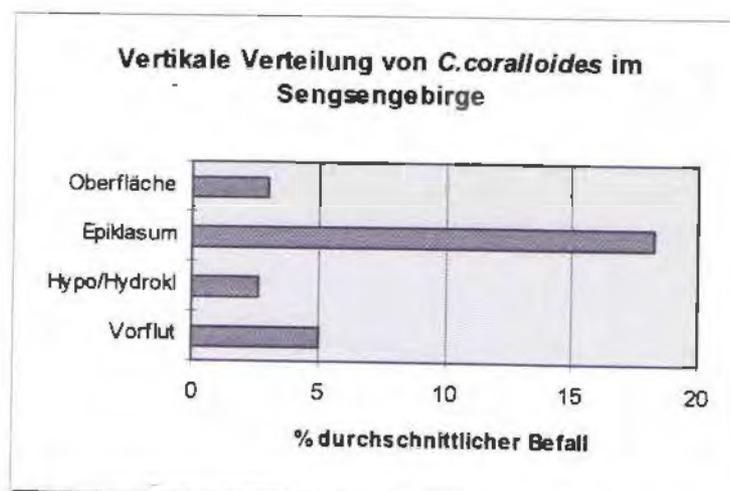


Abbildung 16: Vertikale Verteilung von *C. coralloides* im Sengsengebirge

Bei der Art *C. coralloides* ist eine deutlich andere vertikale Verteilung erkennbar. Es kommt zwar auch zu einer Aufkonzentrierung im Epiklasum, allerdings in deutlich geringerem Maß als bei *M. fulvus*. An der Oberfläche ist *C. coralloides* häufiger als *M. fulvus*, in der Höhle ist es umgekehrt. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Befall drastisch ab. Die höchsten Befallsraten von *C. coralloides* finden sich an der Oberfläche des Vorflutbereiches und im Epiklasum. Auch dieser Befund bestätigt grundsätzlich die im Wildpalfensystem gewonnenen Erkenntnisse.

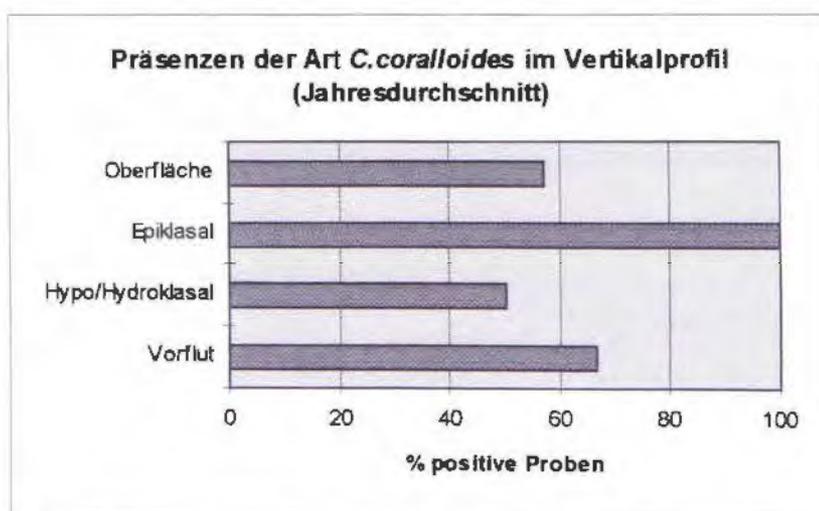


Abbildung 17: Präsenzen der Art *C. coralloides* im Vertikalprofil (Jahresdurchschnitt)

Zur Absicherung des Befundes ziehen wir nun den qualitativen Vergleich heran. Wie obige Abbildung zeigt ergibt sich für *C. coralloides* das gleiche Bild wie bei quantitativer Auswertung. In beiden Fällen wird das vertikale Verbreitungsminimum im Hypo- und Hydroklasal des Gebirgsstockes ausgewiesen.

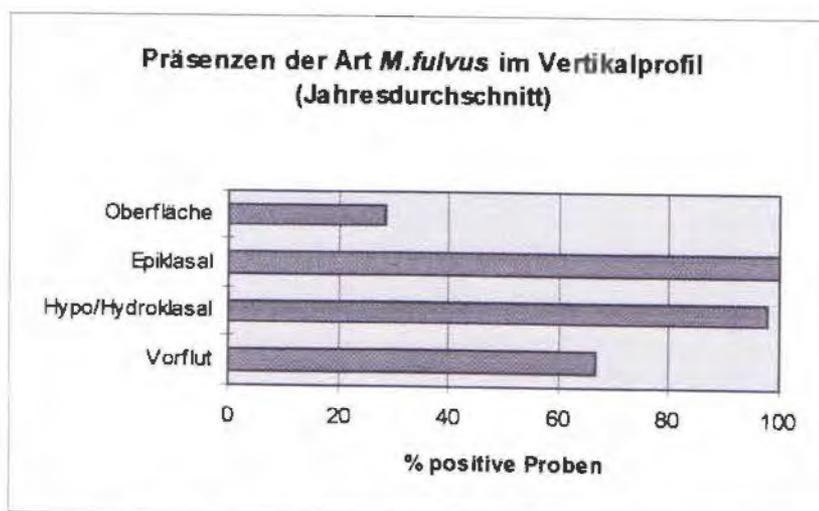


Abbildung 18: Präsenzen der Art *M. fulvus* im Vertikalprofil (Jahresdurchschnitt)

Auch die qualitative Datenauswertung für die Spezies *M. fulvus* führt zu den gleichen Schlußfolgerungen wie die quantitative Betrachtung. Allerdings fällt der qualitative Vergleich zwischen den Arten noch deutlicher aus als es bei quantitativem Ansatz möglich war. *M. fulvus* findet deutlich sein Verbreitungsmaximum im Karstkörper selbst. Mit der Tiefe nimmt die Präsenz nur wenig ab.

Eine Zusammenschau der qualitativen Ergebnisse bei *C.coralloides* und *M.fulvus* gibt das PV1 (zur Erinnerung: Präsenzverhältnis in % Präsenz *M.fulvus* dividiert durch % Präsenz *C.coralloides*). An der Oberfläche wird ein PV1 von ca. 0,5, im Epiklasum von 1 und im Hypo-/Hydroklasum von etwa 2 ermittelt. Temporäre Absenkungen des PV1 im Hydroklasum werden somit als Oberflächeneinfluß interpretiert, wobei das Ausmaß der Absenkung mit dem Grad der Beeinflussung direkt korreliert. Dieser Befund wurde erstmals am Wildpalfen gemacht, gilt jedoch auch, wie die Ergebnisse nahelegen, im Sengsengebirge. Neu bei den Befunden aus dem Sengsengebirge ist die Einbeziehung der Vorflut in die Gesamtbetrachtung.

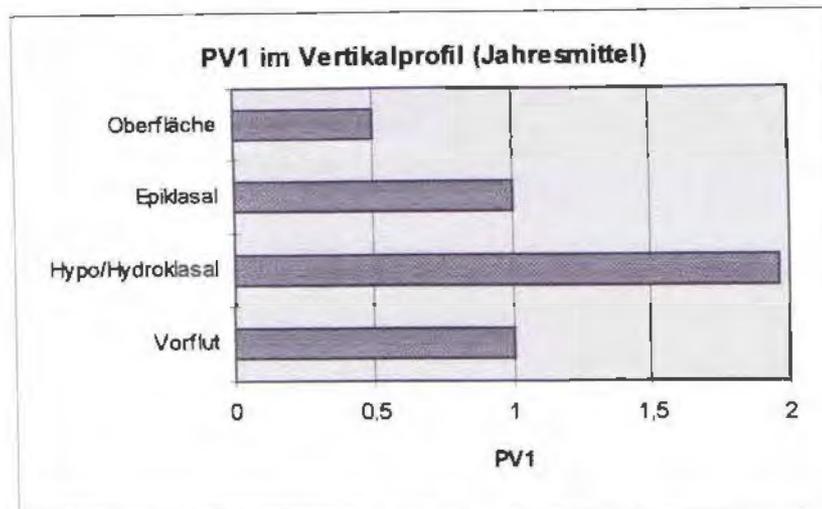


Abbildung 19: Das PV1 im Vertikalprofil (Jahresmittel)

Obige Grafik zeigt, daß das PV1 der Vorflut durchaus gleich hoch ist wie im Epiklasal, obwohl die Sedimente an der Oberfläche gesammelt wurden. Dies fordert zu erneuter kritischer Auseinandersetzung mit dem Index auf.

In den Studien von RÜCKERT (1980) wird klar herausgearbeitet, daß es wesentliche Unterschiede in der Besiedlung von Oberflächensedimenten in Abhängigkeit von der Höhenstufe gibt. In diesen Studien, die allerdings über sämtliche weiteren Standortfaktoren hinweg generalisieren, kommt er für hochalpine Böden zu Messwerten, die sich zu einem PV1 von 0,9 berechnen lassen, für (sub)alpine Böden dann zu einem PV1 von 2,5. Wenn sich auch diese Zahlenwerte aufgrund der Methodik und der Generalisierung über viele Gebirgsstöcke hinweg nicht kritiklos vergleichen lassen, so zeigen sie doch den gleichen Trend an, wie wir ihn im Sengsengebirge vorfinden: mit abnehmender Höhe steigt das PV1 der Oberfläche. Diese „Basisliniendrift“ muß somit bei der Analyse von Karstgebieten mit einer ausgedehnten Vertikalerstreckung berücksichtigt werden. Dieser Befund stellt eine grundlegende neue Erkenntnis der Forschungsperiode 1997 dar.

Zusammenfassend kann zur vertikalen Zonierung der Biozönosen gesagt werden, daß die Arbeiten von 1997 eine erneute Bestätigung der Hypothese vom Festbettreaktor darstellen und das PV1 als Maßzahl für Oberflächeneinfluß an Bedeutung gewinnt.

In der Folge betrachten wir nun die zeitliche Entwicklung der Biozönosen näher und diskutieren die diesbezüglichen Ergebnisse. Dabei sei nochmals auf den unterschiedlichen Probenumfang jeder Kampagne hingewiesen. Nachdem die Sonderstandorte gezeigt haben, daß innerhalb des Karstsystems durchaus unterschiedliche Reaktionen von Standort zu Standort vorliegen, soll nun mittels der jeweiligen Mittelwerte aller Kampagnen eine Aussage zum Gesamtsystem erzielt werden.

Als erstes wollen wir den mittleren Gesamtbefall der Kampagnen untersuchen. Dabei sind die Probennahmezeitpunkte in Wochen umgerechnet worden, um einen klaren und realitätsnahen Eindruck drastischer Veränderungen („Ereignisse“) richtig erkennen zu können. Die Mittelwerte zeigen eine Besiedlungszunahme vom Winter bis zum Frühjahr an. Zum Sommer hin wurde dann ein leichter Rückgang festgestellt. Im Mittel aller Befunde wirkte sich das Hochwasserereignis vom Juli negativ auf die Besiedlung der Höhlensedimente aus. Es kam zu einem deutlich sichtbaren Minimum, gefolgt von einem etwas langsameren Zuwachs als im Frühjahr.

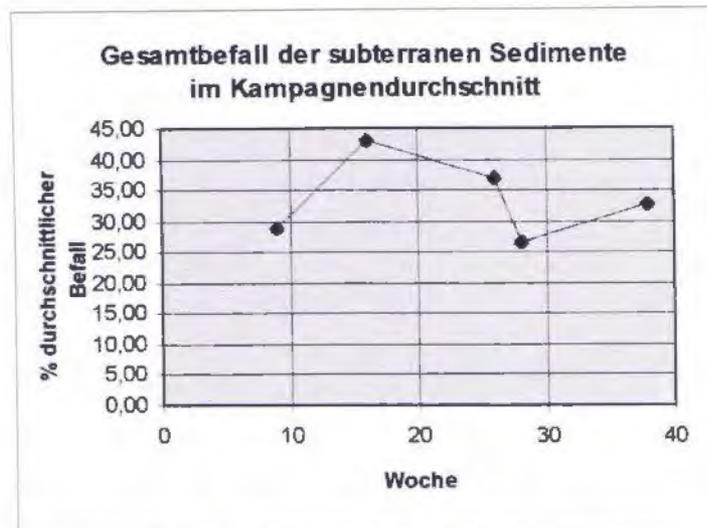


Abbildung 20: Gesamtbefall der subterranean Sedimente im Kampagnendurchschnitt

Die quantitativen Werte sollen nun durch die qualitative Betrachtung des Jahresverlaufs der mittleren Artenzahlen nachgeprüft werden. Die untenstehende Grafik zeigt einen langsamen Anstieg der DAZ vom Winter zum Sommer, ja möglicherweise bis in den Herbst hinein. Dieser Prozess wird durch das Hochwasserereignis empfindlich gestört, und es kommt zu einem Minimum. Es kann unter Hinzuziehung der Daten von 1996 vermutet werden, daß es im Laufe des Herbstes und im Winter dann erneut zu einem Rückgang der DAZ kommt. (Im Herbst 1996 wurde im System eine DAZ von 2,25 festgestellt.)

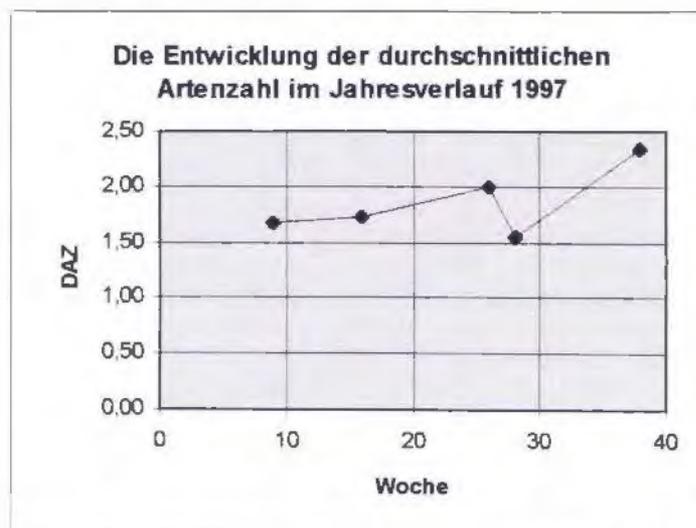


Abbildung 21: Die Entwicklung der durchschnittlichen Artenzahl (DAZ) im Jahresverlauf 1997

Es ist interessant, daß das Hochwasserereignis vom Juli 1997 ganz andere Konsequenzen auf die subterrane Mikrobiozönose hat als das Extremhochwasser von Oktober 1996. Wurde im Herbst 96 eine sehr deutliche Zunahme der Besiedelung festgestellt, ja das Maximum aller bisherigen Probenreihen erreicht, so stellt die Serie vom Juli 97 das Minimum aller bisherigen Untersuchungen dar. Grundsätzlich muß dazu festgestellt werden, daß auf keinerlei Erfahrungen über den jahreszeitlichen Verlauf der mikrobiellen Besiedelung (Myxobakterien) echter Subterranstandorte zurückgegriffen werden kann. Eine sichere Interpretation des Befundes werden erst kommende Datensammlungen möglich machen. Es kann jedoch wie folgt zum Thema überlegt werden:

Betrachten wir zuerst offensichtliche Unterschiede zwischen beiden Hochwasserereignissen:

- Zeitpunkt des Ereignisses: (Ende Oktober / Anfang Juli) somit einmal am Anfang, das andere mal am Ende der Vegetationsperiode.
- Intensität des Ereignisses: Im Oktober 96 traten zwischen 8 und 10 m³ Wasser aus dem Höhlenportal aus, im Juli 97 lediglich zwischen 2 und 4 m³.
- Ereignisdynamik: Bei der Hochwasserspitze von 96 handelte es sich um ein einmaliges Ereignis, während im Juli 97 zwei annähernd gleich starke Ereignisse in etwa 24 stündlichem Abstand stattfanden.

Im Vergleich mit den Proben aus dem Wildpalfensystem zeigte sich weiters, daß in den Oberflächensedimenten aus dem Sengsengebirge relativ wenig Myxobakterien gefunden wurden. Die Oberflächenproben wurden kurz nach dem Hochwasserereignis aufgesammelt. Die folgende Tabelle vergleicht die Befunde von RÜCKERT (1980) aus hochalpinen Böden mit den Wildpalfenbefunden und denen vom Sengsengebirge.

	Hochalpine Böden (RÜCKERT 1980)	Wildpalfen (MENNE 1989)	Sengsengebirge
durchschnittliche Artenzahl (DAZ)	1,75	1,44	1,00
durchschnittl. Befall.	n.b.	20,7	4,86
Präsenz mf/cc	56,3/62,5	33,3/88,8	28,6/57,1
Befall mf/cc	n.b.	1,11/19,33	1,43/2,71

Tabelle 18: Vergleich einiger Befallskennzahlen verschiedener Untersuchungen alpiner Böden

Die Befunde vom Sengsengebirge erscheinen im Vergleich mit den beiden anderen Versuchsreihen sehr niedrig. Möglicherweise fand die Probennahme zu einem Zeitpunkt statt, indem die mikrobielle Biozönose des Oberbodens noch nicht voll entwickelt war, was die Myxos betrifft. In dem Untersuchungsjahr gab es intensiven Schneefall im April, hier wurde auch das Schneemaximum des Winters überhaupt erreicht. Die späte Schneeschmelze im Mai wurde von einem relativ kühlen Juni gefolgt, so daß die Wachstumsbedingungen durchaus nicht ideal waren. Dieser Erklärungsversuch ist allerdings rein spekulativ, da es gleichfalls keine Vergleichsdaten zur Dynamik der oberirdischen Habitate gibt. Die geringe Besiedelung der Oberflächensedimente (Böden) aus dem Sengsengebirge, Einzugsbereich der Rettenbachhöhle, ist jedoch augenfällig.

Eine weitere Hypothese ergibt sich aus der Ereignisdynamik. Die drastische Erhöhung des Myxobakterienbefalls im Oktober 1996 ging mit einer einmaligen Flutwelle einher. Der Befund kann unmittelbar nur mit Einschwemmung und Aufkonzentrierung der Myxobakterien durch die hohen Schleppkräfte des Wassers erklärt werden. Wachstumsprozesse scheiden bei der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit aus. Die Überlegung geht daher dahin, daß die mobilisierbaren Bakterien aus Epikarst und Epiklasum stammen und im Hydroklasum akkumuliert wurden, wobei Deponierung und ablaufende Welle eine funktionale Einheit bilden. Im Juli 1997 waren die Verhältnisse bei der ersten Hochwasserwelle identisch, nicht jedoch bei der zweiten. Hier müssen die mobilisierbaren Bakterien im Epikarst/Epiklasum weitestgehend gefehlt haben respektive ausgewaschen worden sein. Die von der ersten Welle in der Höhle deponierten Bakterien wurden dann von der zweiten auflaufenden Welle remobilisiert und aus dem System ausgetragen, während in der ablaufenden Welle nichts wesentliches mehr deponiert werden konnte. Innerhalb dieses Szenarios übertraf der Export den Import. Eine relative Zunahme der Präsenz und des durchschnittlichen Befalls durch *C.coralloides* muß die Folge sein.

Welche der beiden Hypothesen dem Grundsatz nach zutrifft müssen weitere Ereigniskampagnen unter Einbeziehung der Oberflächenbefunde zeigen. Die unten stehenden Diagramme liefern zusätzliche Informationen darüber, wie sich der Befall der Höhlensedimente im Jahresverlauf auf Artebene entwickelt hat.

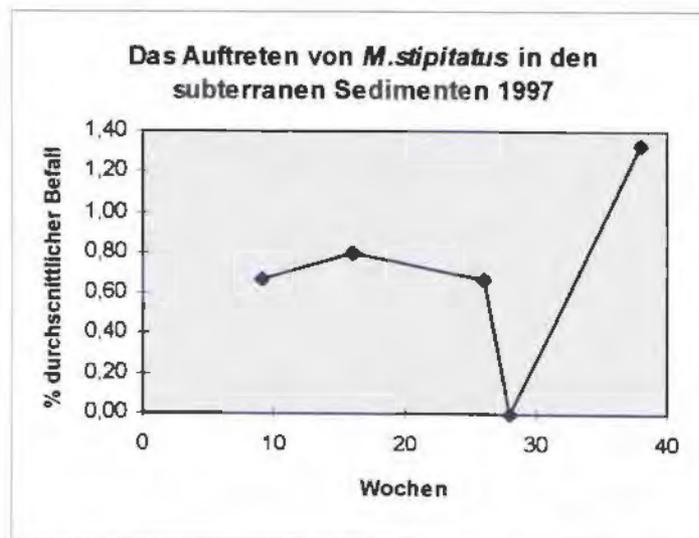


Abbildung 22: Das Auftreten von *M.stipitatus* in den subterranean Sedimenten 1997

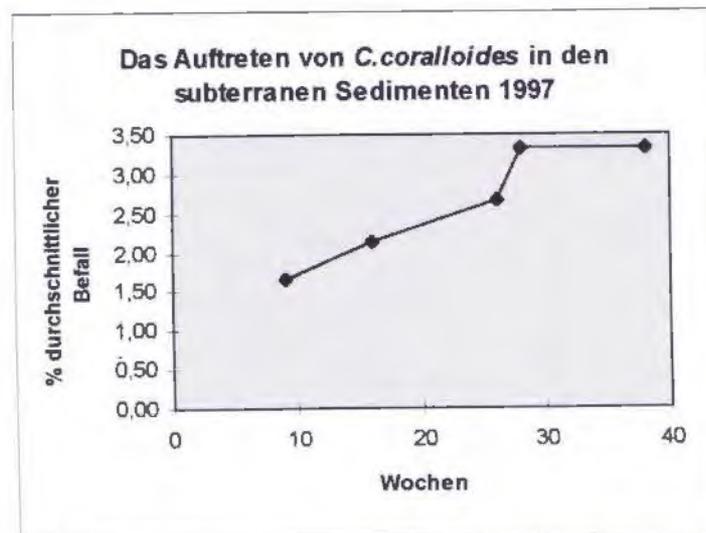


Abbildung 23: Das Auftreten von *C. coralloides* in den subterranean Sedimenten 1997

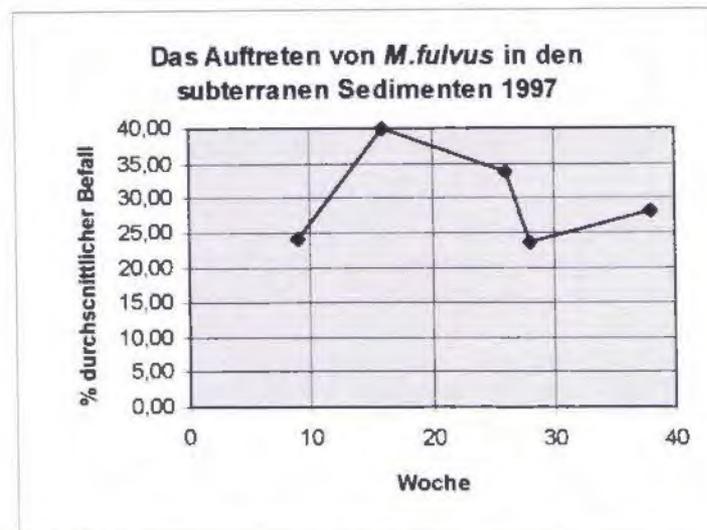


Abbildung 24: Das Auftreten von *M. fulvus* in den subterranean Sedimenten 1997

Interessanterweise beobachten wir bei *M. fulvus* und *M. stipitatus* einen deutlichen negativen Einfluß des Hochwasserereignisses auf die Befallsintensität, bei *C. coralloides* jedoch einen positiven „Sprung“. Dies weist in Richtung der Dynamikhypothese.

Insgesamt deutet sich bei *M. fulvus* ein Besiedlungsmaximum im Frühjahr an, bei *C. coralloides* ein solches im Herbst. Dieser Befund zeigt, daß es nötig ist weitere Jahresverlaufskurven aufzunehmen, da die Entwicklung artspezifischer Maxima in den praktisch nutzbaren Oberflächenbezugsindex PVI einfließen muß.

Es soll hier nicht versäumt werden, noch auf den gemessenen Jahrgang von Sedimentfeuchte und pH hinzuweisen. Das Hochwasserereignis wirkte sich deutlich positiv auf den Wassergehalt der Höhlensedimente aus.

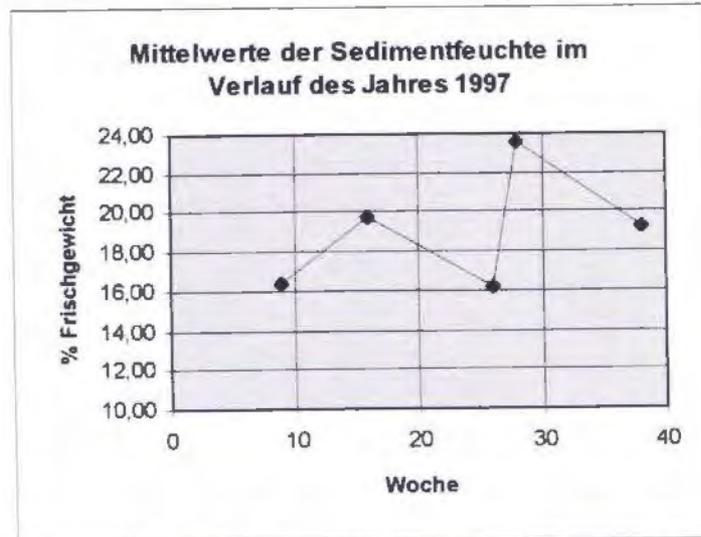


Abbildung 25: Mittelwerte der Sedimentfeuchte im Verlauf des Jahres 1997

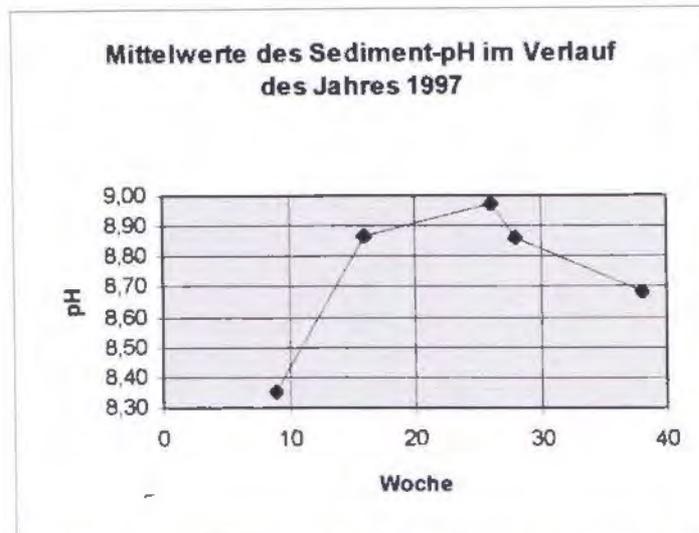


Abbildung 26: Mittelwerte des Sediment-pH im Verlauf des Jahres 1997

Interessant ist die pH-Wert Kurve, da sich hier ein Jahresoptimum im Sommer andeutet. Das Hochwasserereignis hat keinen wesentlichen erkennbaren Einfluß auf diesen Parameter.

Es soll nun die inhaltliche Diskussion des Sukzessionsversuches folgen. Betrachten wir zuerst die Anzahl Myxobakterien enthaltender Container. Es kann nach unten stehender Abbildung eindeutig festgestellt werden, daß im Gesamtrahmen des Versuches immer mehr Container mit Myxobakterien infiziert wurden. Dabei fand die schnellste Infektion in Containern statt, die direkt mit langsam bewegtem Karstwasser (laminar flow) in Verbindung stehen. Die Container, welche im hochphreatischen Niveau installiert sind, wurden erst im Laufe des Jahres myxobakterienpositiv. Gegen Ende des Versuches waren fast alle Ansätze positiv. Somit wurde ein Präsenzniveau erreicht, welches annähernd den Befunden in den natürlichen Sedimenten entspricht.

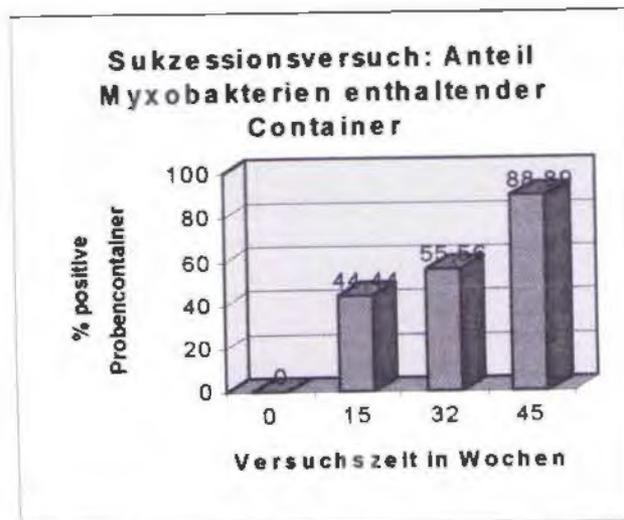


Abbildung 27: Sukzessionsversuch: Anteil Myxobakterien enthaltender Container

Es war nun interessant die zeitliche Entwicklung des mittleren Befalls innerhalb der Containerfüllungen zu untersuchen. Das unten stehende Diagramm zeigt eine sehr enge Korrelation zwischen mittlerem Befall und Zeit auf. Die Versuchszeit wurde hier in Wochen nach Installation der Container umgerechnet sowie der mittlere Befall bei Montage (da steril) auf Null gesetzt.

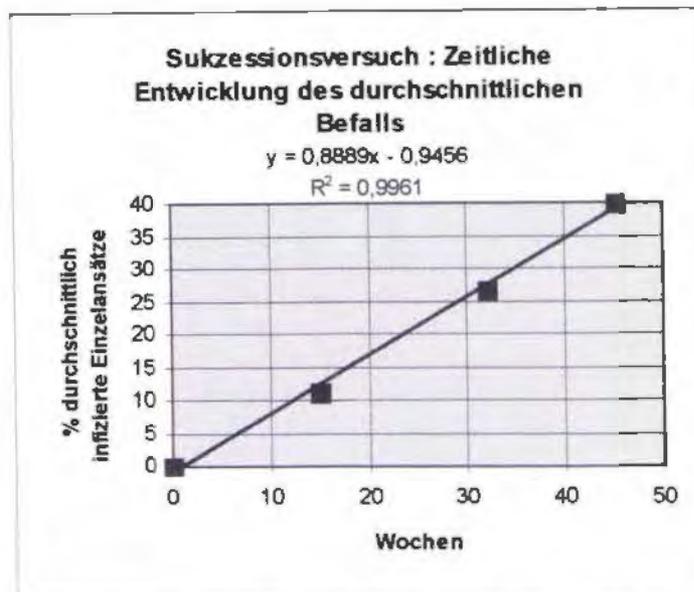


Abbildung 28: Sukzessionsversuch: Zeitliche Entwicklung des mittleren Befalls

Nach Ablauf des Versuches wurden absolute Werte des durchschnittlichen Befalls erzielt, die deutlich über den zeitgleichen Befunden in den natürlichen Sedimenten liegen. Dies muß darauf zurückgeführt werden, daß die Sedimente in den Containern vor der Remobilisierung von Zellmaterial während Hochwasserereignissen geschützt sind, sowie auch an dem Fraßschutz, der sich aus der Versuchsanordnung ergibt (siehe methodologische Diskussion). Beindruckend ist die kontinuierliche Sukzession, welche meßbar wurde. Ein Klimaxstadium war noch nicht erreicht. Dieser Umstand sollte so verstanden werden, daß mehr als eine Vegetationsperiode nötig ist, um einen steady-state im subterranean System zu erzeugen.

Wie schon zuvor festgestellt, kann die durchschnittliche Artenzahl als einer der sichersten Maßzahlen betrachtet werden. In untenstehender Grafik wird verdeutlicht, wie sich die DAZ im Laufe des Versuches entwickelt hat.

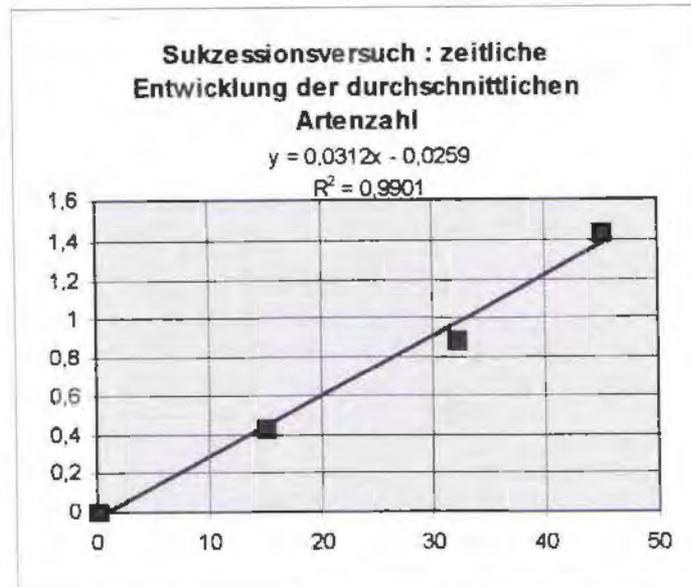


Abbildung 29: Sukzessionsversuch: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Artenzahl

Auch hier wird ein strenger Zusammenhang zwischen Zeit und DAZ nachgewiesen. Die Tatsache, daß wir hier eine lineare Regression als Modell benutzen, ergibt sich lediglich aus dem vorhandenen Datenmaterial. Ein realitätsnäheres Modell der Sukzession muß eine LAG-Phase voraussetzen, woran sich eine Zuwachphase (logarithmische Phase?) anschließt, um schliesslich in einem Klimaxstadium zu enden. Der Kurvenverlauf ist dann sigmoid. Weitere, zeitlich feiner differenzierte Sukzessionsversuche sind dazu nötig. In unserem (weltweit) ersten Experiment dieser Art zeigt sich in erster Näherung die Zuwachphase. Nach Versuchsende war auch aus Sicht der DAZ das Maximum oder Klimaxstadium noch nicht erreicht. In den natürlichen Sedimenten werden durchaus höhere DAZ erreicht. Somit ergibt sich ein weiterer Hinweis, daß die Sukzession der subterranean Mikrobiözenosen länger als eine Vegetationsperiode dauert. Die Vermutung, daß die Karstmikrobiologie in der Hauptsache durch „mangelnde Filterwirkung“ und „Einschwemmung“ erklärt werden kann, muß somit definitiv als obsolet angesehen werden.

Wenden wir uns nun der Artebene zu. Wie verhalten sich die einzelnen Spezies, was ihre zeitliche Entwicklung und eventuelle Konkurrenzphänomene betrifft? Um den gesamten Versuch richtig bewerten zu können, muß noch einmal festgestellt werden, daß der Startzeitpunkt (hier Beginn des Winters) einen wesentlichen Einfluß auf die absoluten Ergebnisse nimmt. Die Dynamiken, welche sich aus der Analyse der natürlichen Sedimente ablesen lassen, betreffen natürlich auch den Containerversuch unter Berücksichtigung der methodologischen Differenzen. Hieraus ergibt sich, nebenbei bemerkt, ein weiterer interessanter Versuchsansatz, indem mehrere Sukzessionsversuche parallel betrieben werden könnten, wobei der Versuchsbeginn jeweils zeitlich versetzt stattzufinden hat. Aus der so entstehenden dreidimensionalen Datenmatrix ließe sich die Gesamtdynamik vertieft ableiten.

Die Spezies *M.fulvus* war als erste in den Containern zu finden. Bei der zweiten Probennahme war kein Zuwachs zu erkennen, es bildete sich ein Plateau aus. Erst bei der dritten Serie kam es erneut zu

einem deutlich vermehrten mittleren Befall. Die Besiedlung der sterilen Sedimente durch *M.fulvus* erfolgte somit mindestens zweiphasig.

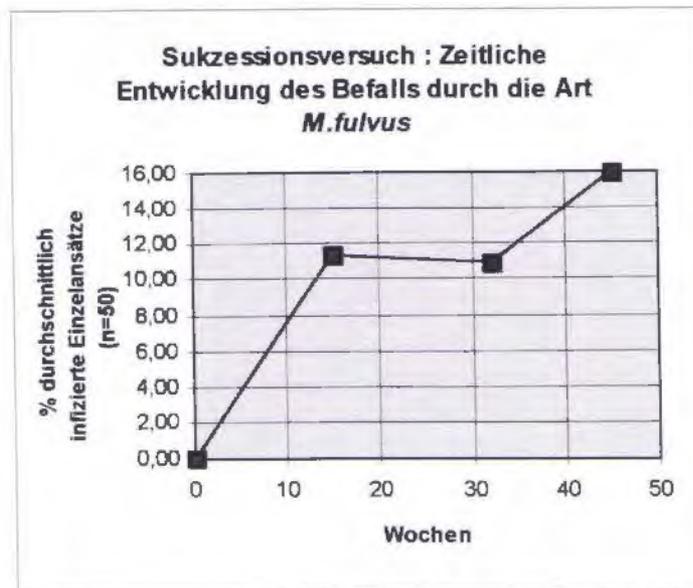


Abbildung 30: Sukzessionsversuch: Zeitliche Entwicklung des Befalls durch die Art *M.fulvus*

Völlig verschieden stellt sich die Situation bei der Spezies *C.coralloides* dar. Innerhalb der ersten 15 Wochen wurde kein Container mit einer nachweisbaren Menge der Art infiziert. Zwischen der 15. und der 32. Woche kam es dann jedoch zu einem raschen Zuwachs, zeitgleich bildete sich das Plateau bei *M.fulvus* aus. Bis zum Versuchsende wurde ein weiterer Zuwachs festgestellt. Bemerkenswert ist, daß die Art *C.coralloides* auch in physiologischen Versuchen wesentlich längere LAG-Phasen und Zuwachszeiten aufwies, als *M.fulvus* (MENNE 1991), die Sukzessionsfolge somit auch physiologisch begründet ist. Der rasche initiale Zuwachs von *C.coralloides* geht im diesjährigen Versuch mit einer Hemmung des Wachstums von *M.fulvus* einher.

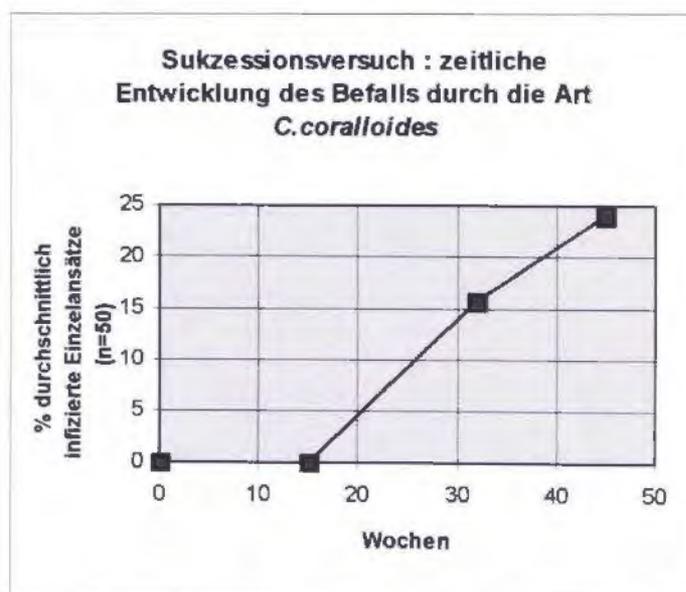


Abbildung 31: Zeitliche Entwicklung des Befalls durch die Art *C.coralloides*

Als dritte Art tauchte im Sukzessionsversuch *A.gephyra* auf. Sie konnte erstmals in der dritten Probenserie und in geringer Konzentration nachgewiesen werden. Auch dieser Befund stimmt verblüffend gut mit den physiologischen Messungen an Reinkulturen überein (MENNE 1991).

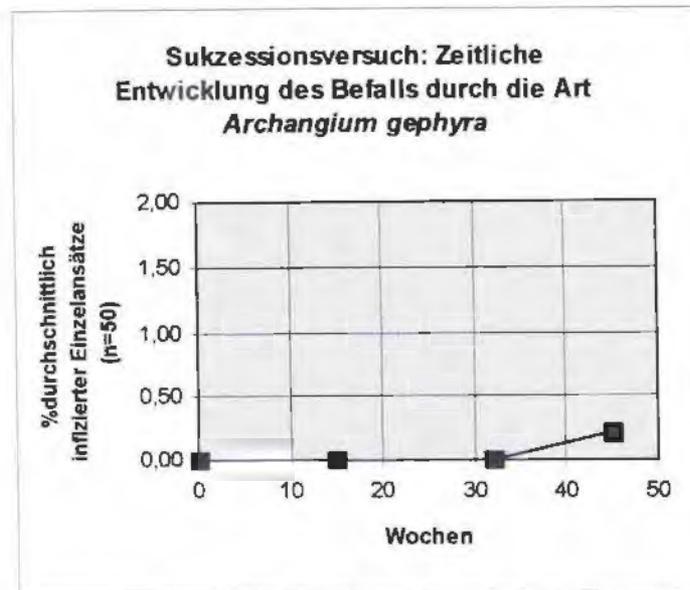


Abbildung 32: Sukzessionsversuch: Zeitliche Entwicklung des Befalls durch die Art *A.gephyra*

Wir haben somit im System eine Sukzessionsfolge der Arten *M.fulvus*, gefolgt von *C.coralloides*, gefolgt von *A.gephyra* gefunden. Die Reihenfolge des Auftretens geht einher mit stetig wachsenden Befallsraten und durchschnittlichen Artenzahlen, ist somit in sich begründet. Es muß auch hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß die beobachtete Sukzession streng abhängig von dem Startzeitpunkt (Jahreszeit) des Versuches und von den Sonderereignissen ist. Die Ergebnisse des Sukzessionsversuches wären mit Sicherheit verschieden, wenn die Container bereits vor dem extremen Hochwasser im Oktober 96 montiert worden wären. Durch günstige Umstände konnten wir jedoch eine tatsächlich „ungestörte“ Winterphase mit Probenahme der ersten Serie exakt vor den Schneeschmelzen untersuchen. Auch die beiden anderen Probennahmeterminen lassen sich hydrologischen Abschnitten eindeutig zuordnen, so daß sich obiges einheitliches Bild ergibt.

6. Konzeptive Weiterentwicklung der Untersuchungsansätze

Angesichts der wirklich zufriedenstellenden Ergebnisse des Untersuchungsjahres 1997 sollte trotz des Endes des Karstdynamikprojektes ein gewisser Probenumfang weiter bearbeitet werden. Von den folgenden Punkten erscheinen dem Verfasser die Positionen 1 und 2 für 1998 unbedingt erforderlich.

- (1) In erster Linie gehört dazu ein erneutes Betreuen des Sukzessionsversuches, welcher bereits wieder gestartet wurde (6. Dezember 1997). Die Befüllung erfolgte dieses Mal mit Sand aus dem Hinteren Rettenbach.
- (2) Um Aufschluß über die Gesamtdynamik zu erhalten, sollte auch die Beprobung der Sonderstandorte mindestens an 5 Zeitpunkten durchgeführt werden.
- (3) Von besonderem Interesse sind extreme Hochwasserereignisse. Idealerweise sollte hier eine Beprobung unmittelbar vor und direkt im Anschluß an das Ereignis stattfinden.
- (4) Es ist auch zu empfehlen, erneut im Einzugsbereich und im Vorflutniveau Proben zu untersuchen.

Ein längerfristiges Monitoring könnte hier die Dynamiken der sessilen Mikrobiozöosen erhellen. Dazu gehört auch ein mehrfaches Beprobieren der oberflächennahen Höhlen (Feichtau).

Ein ganz anderer Untersuchungsansatz besteht in der Untersuchung der internen Oberflächen. Hier ist es sehr wichtig, die Suche nach adsorbierten *E.coli/coliformen Keimen* systematisch zu betreiben. Inkludiert müssen darin auch quantitative Ansätze sein.

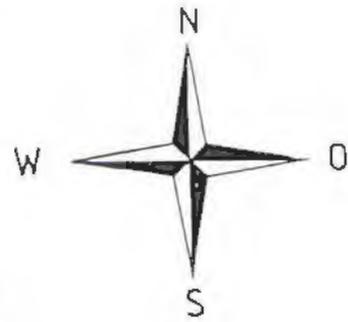
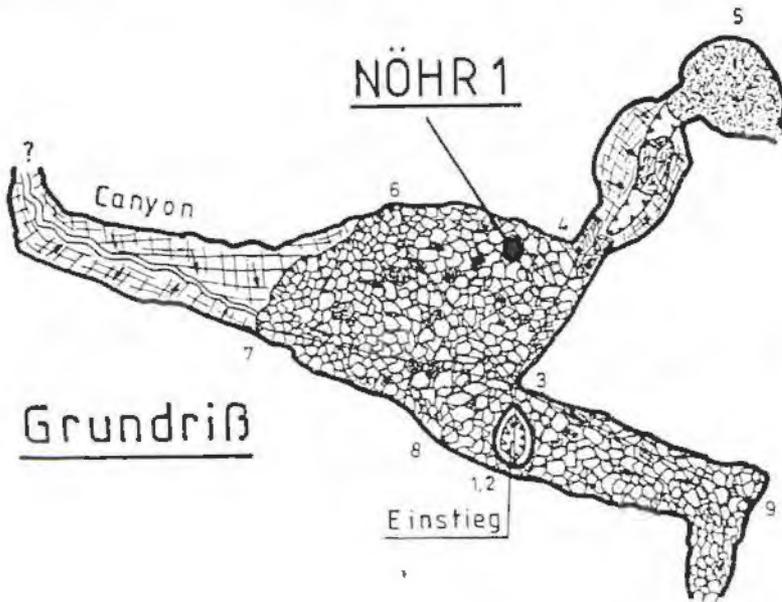
Auf eigene Rechnung führte der Autor 1997 auch Untersuchungen der inneren Karstoberflächen mittels luminometrischer Verfahren durch. Diese versprechen sehr grosse Erfolge, sind jedoch auch mit hohem Kostenaufwand verbunden.

Die Simulation der realen Besiedlungsstrategien stellt ein weiteres Projektfeld dar. Dazu hat der Verfasser ein Versuchsdesign entwickelt, welches in der Hauptsache aus einem in ca. 10 Scheibchen geschnittenen Wettersteinkalkblock besteht. Mittels PVC-Distanzscheibchen unterschiedlicher Dicke lassen sich unterschiedliche Spaltbreiten herstellen. Setzt man den abschliessend fixierten Block in den Höhlenbach, so kann die Besiedlung der Oberflächen (Spalte) studiert werden. In Richtung Carbonatolyse ließen sich Untersuchungen durchführen, wenn selektive, markierte Zonen einer vergleichenden rasterlektronenmikroskopischen Untersuchung unterzogen werden. Das Gesamtkonzept kann mit dem Begriff „fissure settlement simulation“ bezeichnet werden.

7. Literatur

- MENNE, B. und RÜCKERT, G. (1988): Myxobakterien (Myxobacterales) in Höhlensedimenten des Hagengebirges (Nördliche Kalkalpen); Die Höhle 39(4) Seite 120-131. Wien
- MENNE, B. (1989) : Verdünnungsreihen Myxobakterien enthaltender Sedimente. Unveröffentlichte Studienarbeit
- MENNE, B. (1991): Kritische Untersuchungen zur Mesophilie von Myxobakterien. Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Karlsruhe.
- MENNE, B. (1992): Einige Befunde zur Besiedelung von klastischen Höhlensedimenten der Schwäbischen Alb durch Mikroorganismen der Ordnung Myxobacterales; Mitteilungen des Verbandes deutscher Höhlen- und Karstforscher 38(3), Seite 60-62; München
- MENNE, B. (1996a): Manganhaltige Ablagerungen in der Rettenbachhöhle (Kat.Nr.1651/1, Oberösterreich) und ihre Zusammenhänge mit mikrobiologischen Prozessen. Die Höhle 47(3): 69-74. Wien.
- MENNE, B. (1996b): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle und in einigen Kleinhöhlen des Sengengebirges. Eine karstmikrobiologische Studie. Unveröffentl. Forschungsarbeit Nationalpark Kalkalpen, 32S., Mühlacker
- MENNE, B. (1997a) : Microbiological processes at the cave development and karstification - Proceedings of the 12. Int. Congress of Speleology 1997 Bd.2, S.119. La-Chaux-de Fond
- MENNE, B. (1997b): Mikrobiologische Prozesse im Karst(wasser)Körper -Proceedings of the 12. Int. Congress of Speleology 1997. Bd.3, S 289-292. La-Chaux-de Fond
- REICHENBACH, H.; DWORKIN, M. (1992): The Myxobacteria. In: BALOWS, A.; TRÜPER, H.G.; DWORKIN, M.; HARDER, W.; SCHLEIFER, K.H. (Eds): The Prokaryotes 2nd. ed. 1992. Berlin: Springer
- 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.
- SINGH, B.N. (1947): Myxobacteria in soils and composts: their distribution, number and lytic action on bacteria. - J. Gen. Microbiol. 1: 1-10. Cambridge.

NADELÖHRSCHACHT 1664/009



M. 1:100

