

Franz Brümmer
Michael Nickel

Schwamm drüber!

Vom Hygieneartikel zum Arzneilieferant aus dem Meer





Jeder kennt ihn, viele besitzen ihn: den Badeschwamm. Doch Schwämme sind von weit höherem Nutzen: Sie produzieren eine Vielzahl bioaktiver Substanzen von großem pharmazeutischen Wert. Im Meer schützen sich die festgewachsenen Schwämme dadurch vor dem Gefressen- und Überwachsenwerden. Aber auch beim Kampf um neuen Lebensraum, zum Beispiel im dichtbesiedelten Korallenriff, werden die chemischen „Kampfstoffe“ eingesetzt (Abb. 1,2). Diese Substanzen können bisher jedoch nicht in großem Maßstab gewonnen und genutzt werden. Abhilfe können neue Methoden zur Kultivierung von Schwämmen im Meer und in Aquarien sowie zur Züchtung von Schwammzellen in der Petrischale oder im Bioreaktor leisten. Erstmals wird in einem bundesweiten Projekt die nachhaltige Nutzung mariner Schwämme in Zusammenarbeit mit internationalen Gruppen fokussiert. Durch die Bündelung und Vernetzung der Kompetenzen sollen die ersten Erfolge der am Forschungsvorhaben *BIOTEC* marin beteiligten Gruppen weiterentwickelt werden, Extrakte hinsichtlich der pharmazeutischen Produkte untersucht und biotechnologische Verfahren zur Produktion erarbeitet werden.



Abb. 2: Schwammmarkt in der Türkei. Der Preis eines Badeschwammes richtet sich nach der Größe und der Qualität. Mittelmeer-Badeschwämme sind besonders weich und halten lange. Foto: Brümmer.

Schwämme leben festsitzend und von kleinstem Geschweßel

Die Schwämme stellen die ältesten vielzelligen Organismen dar. Die Wissenschaft kennt heute etwa 7.500 Vertreter, die im Tierstamm Porifera zusammengefasst werden. Vermutlich existieren jedoch zwei- bis sechsmal so viele Arten.



Abb. 1: Badeschwämme (a) sind die speziell bearbeiteten Skelette von bestimmten Schwammarten, beispielsweise *Spongia officinalis* (b). Fotos: Brümmer.

Franz Brümmer / Michael Nickel ■

Schwamm drüber! ■

Vom Hygieneartikel zum Arzneilieferant aus dem Meer ■

ben. Etwa 250 Arten aus einer Ordnung (Spongillina) besiedeln Seen und Flüsse. Eine fast unüberschaubare Anzahl von Erscheinungsformen zeichnet diese Gruppe aus. So können Schwämme als dünne Krusten ausgebildet sein oder über eine schlauch-, becher- oder trichterförmige Gestalt zu einer beachtliche Größe heranwachsen. Baum-, geweih- und strauchartige Formen sind ebenso keine Seltenheit. Neben der Gestaltsvielfalt sind die kräftigen Farben – rot, gelb, orange, weiß oder seltener blau – der Schwämme auffallend (Abb. 4). Sie wachsen als feinste Überzüge in Spalten und Höhlungen in Korallenriffen und versorgen von dort die Korallen mit Nährstoffen.

Schwämme besiedeln als sessile Organismen die Meere, Flüsse und Seen aller geographischen Breiten. Sie wachsen in großer Artenvielfalt vor allem im Tiefenbereich bis 100 Meter. Dort heften sie sich an Pflanzen, Felsen, Steine, Muschel- und Schneckenschalen an. Spezialisten unter den Schwämmen gelang es, schlammigen Boden und die Tiefsee zu besiedeln oder sogar im Gestein zu leben. Diese Bohrschwämme vermögen mit ihren Ätzzellen winzige Spalten ins Gestein zu

treiben und darin den Schwammkörper anzusiedeln.

Schwämme sind aber auch Lebensräume für andere Organismen. In ihren Hohlräumen leben einige marine Tiergruppen, wie zum Beispiel Schlangen-, Haarsterne und Polychaeten (Borstenwürmer). Fast immer sind Schwämme von Bakterien, Cyanobakterien und einzelligen Organismen besiedelt.

Einen Schwamm kann man sich – stark vereinfacht – als Flasche vorstellen, wobei die geschlossene Seite, der Flaschenboden, auf einer Unterlage festsetzt. Die äußere Schicht, ein einlagiges, dünnes Plattenepithel (Pinacoderm), schließt den Schwammkörper nach außen hin ab. Im Innern ist der Schwammhohlraum (Spongocoel) ebenfalls mit einer einfachen Epithelschicht ausgekleidet. Zwischen diesen beiden Grenzschichten befindet sich eine gelatinöse Matrix (Mesohyl), die die Hauptmasse des Schwammkörpers darstellt. Wichtige Funktionen, wie Skelettbildung, Aufbau der Grundsubstanz, Nahrungstransport, Defäkation, Wachstum, Regeneration sowie Oogenese, finden hier statt.

Die Position der Schwämme im Ordnungssystem der Organismen war lange umstritten. 1794 schrieb Esper „Die meisten Naturforscher sind in der Bestimmung des Naturreichs dieses Geschlechts einig, es werden die Saugschwämme für wirkliche Pflanzen angenommen, wenigstens als sehr zweifelhaft unter die Körper von thierischen Organen, gerechnet“. Im Jahre 1836 gab R. E. Grant dieser Tiergruppe den noch heute gültigen Namen Porifera, was so viel bedeutet wie „Poren tragend“ (lat. porus = Pore, ferre = tragen, Abb. 3). Doch an der Zuordnung und dem Bild über die Schwämme hat sich bis 1868 nichts geändert: E. Haeckel betont die Zuordnung der Schwämme zu den „Pflanzentieren“. Erst 1896 stellt Haeckel die Schwämme, Spongien oder Schwammthiere aufgrund von ontogenetischen und histologischen Daten zu den echten Metazoen, den vielzelligen Tieren.

Die Schwämme oder Poriferen sind aquatische, echte Vielzeller (Metazoa) mit einem relativ einfachen Bauplan ohne Nervenzellen, jedoch mit echten Epithelien (Deckgewebe). Schwämme sind primär marine, festsitzende Tiere, die sekundär auch das Süßwasser erreicht ha-

Abb. 4: *Axinella polypoides* ist einer der größten geweih- oder bäumchenförmig wachsenden Schwämme des Mittelmeers. Foto: Brümmer.

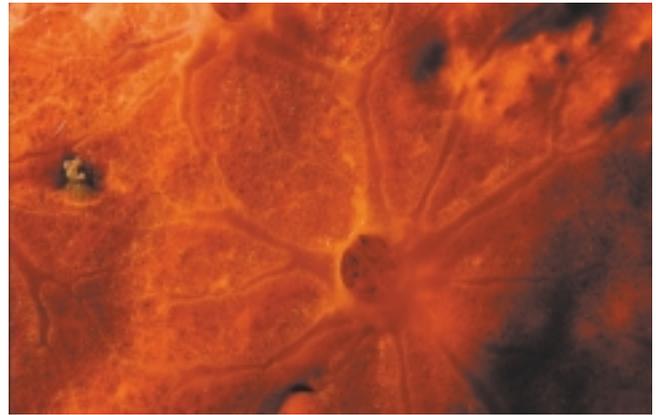


Abb. 3: Betrachtet man die Oberfläche von Schwämmen näher (hier *Anchinoe tenacior*), wird klar, woher ihr lateinischer Name „Poren tragend“ kommt. Die rötliche Tentakelkrone gehört zu einem sessilen Borstenwurm, den der Schwamm umwachsen hat. Foto: Nickel.



Als Nahrung dienen Schwämmen schwebende Partikel im Wasser (Suspensionsfresser). Hierzu zählen neben einzelnen Algen und Bakterien auch organischer Abfall (Detritus). Bis zu 40 Prozent der Biomasse eines Schwammes können Bakterien sein. Zur Nahrungsaufnahme werden diese Partikel über einen ständigen Wasserstrom durch feine Poren in kleine Kanäle eingestrudelt (innere Strudler). Eingeschaltet in das feine Kanalsystem sind spezielle Zellen (Kragengeißelzellen), die sich in kleinen Hohlkammern (Geißelkammern) befinden. Ihren Namen verdanken sie einem Kragen aus Plasmafortsätzen, der die Geißel umgibt. Durch regelmäßiges rotierendes oder wellenförmiges Schlagen der Geißel erzeugen sie einen kontinuierlichen Wasserstrom. Dadurch gelangt die Nahrung über die einführenden Kanäle in die Geißelkammern. Von dort werden die Nahrungsreste in die ausführenden Kanäle transportiert sowie verdauliche Bestandteile aussortiert, weitergegeben und verdaut. Die ausführenden Kanäle vereinigen sich zu immer größeren, die schließlich in einer großen Öffnung (Osculum) nach außen münden (Abb. 5).

Abb. 5: Die Ausstromkanäle, über die das gefilterte Wasser abtransportiert wird, vereinigen sich bei vielen krustenförmig wachsenden Schwämmen sternförmig in einer Ausstromöffnung, dem Osculum. Foto: Nickel.



Schwämme sind nichtselektive Filtrierer, das heißt sie strudeln sämtliches Umgebungswasser ein. Um das filtrierte und mit Abfällen versehene Wasser nicht sofort wieder einzusaugen, sind Schwämme in der Lage, ihre Abfallprodukte unter großem Druck weit aus dem Osculum und ihrem aktiven Filtrationsbereich ausstoßen. Damit wird eine Frischwasserzufuhr gewährleistet.

Über das Wasserleitungssystem wird nicht nur die Nahrung und die Exkretion erledigt, sondern auch der lebensnotwendige Sauerstoff herbeitransportiert. So

verlässt das eingeströmte Wasser den Schwamm in filtrierte Zustand. Gleichzeitig wird Sauerstoff entnommen und auch andere, lebenswichtige Inhaltstoffe wie Silikat. Dieses wird für den Aufbau der Silikatnadeln des Stützskeletts benötigt.

Die Porifera werden in drei Klassen eingeteilt (Abb. 6): die Horn- oder Kieselchwämme (Demospongiae), die Glasschwämme (Hexactinellida) und die Kalkschwämme (Calcarea). Diese systematische Zuordnung erfolgt überwiegend anhand der in fast allen Schwämmen

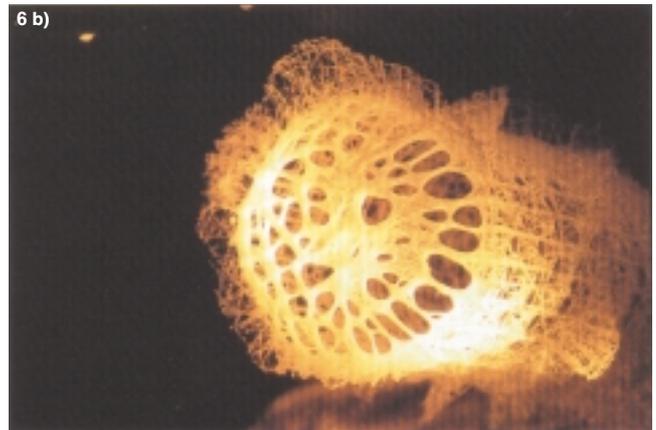


Abb. 6: Beispielhafte Vertreter der drei Klassen der Schwämme: a. Hornschwamm (Demospongiae, hier: *Aplysina aerophoba*), b. Glasschwamm (Hexactinellida), c. Kalkschwamm (Calcarea, hier: *Clathrina clathrus*). Fotos: a/c Brümmer, b. Prof. W.E.G. Müller, Universität Mainz, mit freundlicher Genehmigung.

vorhandenen mineralischen Skelett-Elemente, den Nadeln (Spicula, Skleren). In den Kieselschwämmen sind sie aus Kieselsäure (Siliciumdioxid) aufgebaut, in den Kalkschwämmen als Kalkkristalle (Kalziumkarbonat). Die Skleren der Glasschwämme sind ebenfalls aus Kieselsäure, aber im Gegensatz zu den Kieselschwamm-Nadeln von sechsstrahliger Geometrie. Der Besitz dieser mineralischen, mikroskopisch kleinen Nadeln ist für eine genaue Artbestimmung wichtig – genauer gesagt, die Kombination der Nadeln – und trägt wesentlich zum Aufbau des Schwammkörpers bei. Sie stellen zudem einen wirksamen Schutz gegen Angriffe anderer Tiere und gegen das Gefressenwerden dar. Nur wenige Spezialisten, wie beispielsweise Nacktschnecken, ernähren sich von Schwämmen.

Vom Nutzen der Schwämme

Unter „Schwamm“ stellt sich der Laie im allgemeinen nicht selten ausschließlich den „Badeschwamm“ vor. Schon bei Aristoteles ist von Badeschwämmen die Rede. Betrachtet man die ursprüngliche Benutzung, so ist dies leicht zu verstehen. Jahrzehntlang wurden Schwämme als „saubere, saugfähige und hygienische Hilfsmittel“ angewandt. Diese Eigenschaft – das Auf- und Wegsaugen – führte wohl auch zu dem häufig verwendeten Ausspruch „Schwamm drüber“! Doch nicht nur als Badeschwamm im engeren Sinne, ein Blick in den Katalog eines Schwammlieferanten zeigt eine Auflistung von über 40 möglichen Verwendungszwecken: vom Abbeizschwamm über Ohrenschwämmchen bis hin zum Zeichenschwamm. Und auch in der Medizin wurden „Naturschwämme“ vielfach verwendet: als Kompressen zur Blutstillung und Wundreinigung oder als Implantat nach Brustoperationen. Als Schwamm-pessar wurden sie auch zur Empfängnisverhütung eingesetzt.

Durch eine große Vielfalt interessanter Inhaltsstoffe eignen sich Schwämme aber zu mehr als nur zum Badeschwamm. So ist Schwammpulver, die Asche gerösteter Badeschwämme, vor allem wegen seines hohen Jod-Gehaltes als wirksames Mittel gegen Kropfbildung bekannt. Interessanterweise beruhte der Gebrauch von Süßwasserschwämmen gerade auf dem Vorhandensein der Nadeln. Am bekanntesten ist hier das so genannte Badiagapulver. Dazu wurden getrocknete und gut gereinigte Süßwasserschwämme zu Pulver gemahlen. Dieses wurde dann in die Haut eingerieben. Die dadurch hervorgerufene Wärmebildung sollte bei rheumatischen Leiden Hilfe leisten. In Osteuropa wurde dieses Pulver auch als hauttröndende Schminke benutzt. In beiden Fällen hielt sich das Vergnügen wohl in Grenzen, verursachten doch die Kieselnadeln oder Bruchstücke davon außer der Rötung und einer ersten wohligen Wärme auch ein unangenehmes Jucken bis hin zu starken Hautreizungen und Schwellungen. Besonders deutlich wird dies vor dem Hintergrund, dass derartige Pulver auch als Polier- und Schleifmittel von Messing-, Silber- und Kupfergegenständen benutzt wurde.

Neben der industriellen Gewinnung der Badeschwämme ist noch die Nutzung von Süßwasserschwämmen in der Keramik-Industrie bekannt. Dazu wurde das gesammelte Schwamm-Material zuerst gebrannt, danach pulverisiert und anschließend mit dem Töpferton vermischt. Die Beimengung des Schwamm-Materials, vor allem die darin enthaltenen Nadeln, trugen sehr stark zur Verfestigung und Bruchsicherheit der Keramikgefäße bei.

Erst in neuerer Zeit sind die Schwämme wieder vermehrt ins Blickfeld von Wissenschaft und Industrie gerückt. Besonderes Interesse erweckten dabei eine Reihe von biologisch aktiven Stoffen (Sekundärmetabolite), obwohl bereits 1937 eine ausführliche Darstellung von über 400 Seiten zu den Inhaltsstoffen von Schwämmen verfasst wurde. Derart ausgestattet, sind die Schwämme bestens für ihre festsitzende Lebensweise und eine erfolgreiche Abwehr gerüstet. Mit diesen bioaktiven Substanzen wird die Besiedlung durch Bakterien und/oder Algen – sogenannte Epibionten – verhindert. Mehrere hundert verschiedene Sekundärmetabolite mit unterschiedlichsten Aktivitäten wurden zwischenzeitlich in Vertretern der Porifera nachgewiesen (Tab. 1). Das Wirkspektrum reicht von antibakteriell und entzündungshemmend bis hin zu cytotoxisch und virostatisch. Einige Substanzen aus Schwämmen befinden sich bereits in der klinischen Erprobung.

Schwämme als Produzenten wertvoller bioaktiver Substanzen und das Nachschubproblem

Unter den marinen Invertebraten (wirbellose Tiere) stellen sich die Schwämme als ergiebigste Quelle an Naturstoffen dar. Die Hälfte der jährlich ca. 750 in marinen Organismen neu entdeckten Substanzen wird in Schwämmen gefunden (Abb. 7).

Die Gewinnung von Schwämmen zur pharmazeutischen Prüfung der Sekundärmetaboliten erfolgt bisher ausschließlich aus drucklufttaucherischen Aufsammlungen oder dredgender, eher zufälliger Be-

Tabelle 1: Porifera-Sekundärmetaboliten mit pharmazeutisch interessanter Wirkung, kombiniert nach verschiedenen Quellen.

Sekundärmetabolit	Quelle/Spezies	Wirkung	Pharmazeut. Status
Aeropylsinin	<i>Verongia aerophoba</i>	Bakterizid, cyto-statisch (Tyrosinkinase-Inhibitor)	Keine Angaben
Avarol	<i>Dysidea avara</i>	Virostatisch: Anti-HIV	Keine Angaben
Discodermodil	<i>Discoderma dissoluta</i>	Cytotoxisch, immunosuppressant	Fortgeschrittene Präklinische Studien
Halenachinon	<i>Xestospongia exigua</i>	Bakterizid	Keine Angaben
Halichondrin B	<i>Halichondria okadae</i>	Cytotoxisch	Fortgeschrittene Präklinische Studien
Jaspalkilonid	<i>Jaspis</i> spp.	Cytotoxisch, fungizid	Präklinische Studien
Kalihinol-A	<i>Acanthella</i> spp.	Bakterizid	Keine Angaben
Manolid	<i>Luffariella variabilis</i>	Antibakteriell, anti-inflammatorisch, analgetisch	Keine Angaben
KRN7000	<i>Agelas mauritianus</i>	Cytotoxisch	Klinische Phase I
IPL-567	<i>Petrosia contignata</i>	inflammatorisch	Klinische Phase I

probung von Porifera in deren natürlichen Lebensräumen. Gerade das Dredgen (Netzfang) stellt dabei eine nicht unerhebliche Belastung, ja Zerstörung der marinen Lebensräume dar! Es gibt bis heute keine verlässliche Möglichkeit, Schwämme in größerem Maßstab zu kultivieren und damit deren enormes pharmazeutisches Potential nutzbar zu machen, außer durch Wildsammlung. Wildsammlungen in großem Umfang widersprechen der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen im Sinne der UN-Agenda 21 und dem Übereinkommen zur biologischen Vielfalt. Beide Dokumente wurden auch von der Bundesrepublik Deutschland unterzeichnet!

se von ca. 300 Tonnen (t) kalkulieren. Aus einer Tonne können etwa 300 Milligramm Halichondrin B isoliert werden. Das bedeutet, dass bei der zur Zeit vorliegenden Sammelgenehmigung für 15 t lediglich 4,5 g an Substanz gewonnen werden können. Zu wenig für klinische Studien!

Neue Wege der Schwammkultur und zur Gewinnung bioaktiver Substanzen – das Kompetenzzentrum BIOTECmarin

Zur nachhaltigen pharmazeutischen Nutzung der Schwämme ist es nötig, neue

BEO); das Kompetenzzentrum *BIOTECmarin*.

Ein Schwammgarten in der Adria

Unumgänglich für die Forschungsarbeiten in allen *BIOTECmarin*-Projekten sind Schwämme. In den letzten Jahren konnten die Beprobungs- wie die Hälterungsbedingungen überaus erfolgreich optimiert werden. Über zehn verschiedene Schwammarten aus dem Mittelmeer lassen sich derzeit am Biologischen Institut über einen längeren Zeitraum von Monaten bis Jahren in künstlichem Meerwasser in den Aquarien halten. Damit wird gewährleistet, dass einmal dem Meer entnommene Schwämme den Weg in die Labore gut überstehen und dort zumindest über einen gewissen Zeitraum für die Experimente zur Verfügung stehen. Zu diesem Erfolg hat die gute Kooperation mit dem Zoologisch-Botanischen Garten Wilhelma hier in Stuttgart beigetragen. Nicht nur, dass in den Aquarien am Biologischen Institut künstliches Meerwasser aus der Wilhelma benutzt wird, auch die jahrelange Erfahrung der Wilhelma im Bereich der marinen Aquaristik erbrachte so manchen Hinweis und verhalf zur erfolgreichen Schwammhaltung.

Das Ausgangsmaterial, also die Aufsammlung in einem begrenzten Umfang, erfolgt in der Adria im Meeresgebiet um Rovinj in Kroatien. Hierfür wurde von den kroatischen Behörden (State Directorate for the Protection of Nature and Environment of Croatia, Ministry of Culture, Zagreb) eine Genehmigung erteilt. Diese ist zeitlich befristet und enthält sowohl eine Mengenbeschränkung als auch Größenbegrenzung. Gleichzeitig wurde die Errichtung einer Plattform für eine Aquakultur in einem Meeresschutzgebiet genehmigt. All diese Arbeiten in der Adria werden in engster Abstimmung und voller Beteiligung der kroatischen Projektpartner durchgeführt. Erstmals werden interessante Schwammarten auf speziellen, direkt im Meer hergestellten Oberflächen gezüchtet (Abb. 8). Hierzu werden Drahtgitter, die in verschiedenen Tiefen hän-

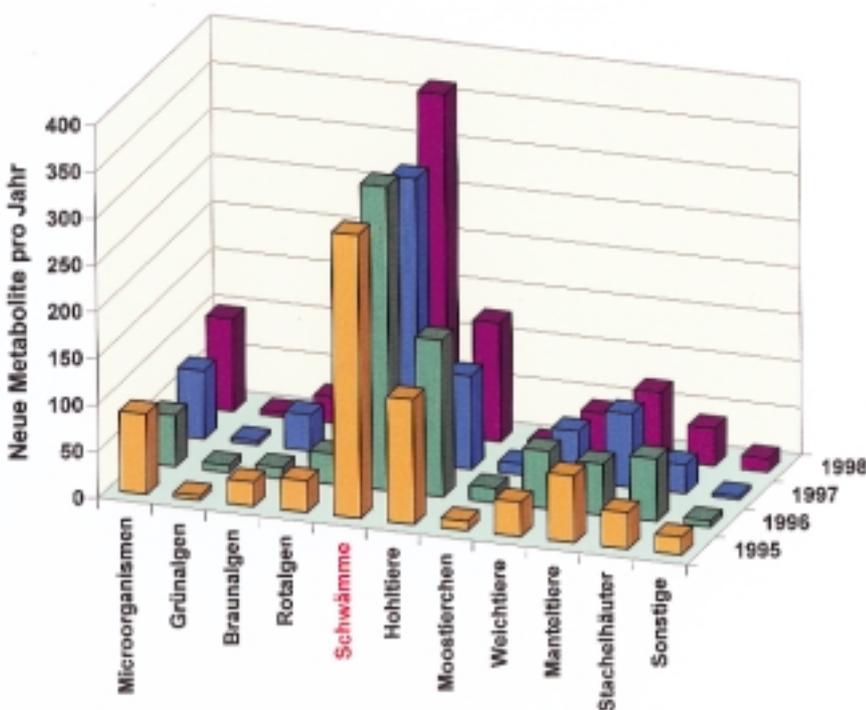


Abb. 7: Jährlich werden mehrere hundert neue potentiell pharmazeutisch verwendbare chemische Verbindungen aus marinen Organismen beschrieben. Bioaktive Substanzen aus Schwämmen nehmen dabei eine herausragende Stellung ein, wie ein Vergleich der Tiergruppen aus den Jahren 1995-98 zeigt.

Will man aber eine Zerstörung der natürlichen Ressource vermeiden, muss das Nachschubproblem gelöst werden. Anhand der Substanz Halichondrin B aus dem Schwamm *Lissodendoryx n.sp.* soll dies beispielhaft verdeutlicht werden: Für klinische Studien werden zehn Gramm benötigt. Sollte sich daraus ein erfolgreicher Wirkstoff etablieren lassen, so wären es ein bis fünf Kilogramm pro Jahr. Das bekannte Vorkommen der Schwammart beschränkt sich aber auf fünf Quadratkilometer mit einer mittleren Biomasse von ca. 70 Gramm (g) pro Quadratmeter. Daraus lässt sich leicht eine Gesamtbiomas-

Methoden der Kultivierung durch Kombination von Zellbiologie, Molekularbiologie sowie Biotechnologie zur Verfügung zu stellen unter der Ausnutzung geeigneter Hälterungsbedingungen. Eine sichere taxonomische Grundlage ist dazu unerlässlich. Ergänzt wird diese Vorgehensweise durch das Anlegen von Schwammzuchten im Meer (Aquakulturen) zur beschleunigten Züchtung der interessanten Schwammarten sowie durch die Erforschung des Schwammgenoms. Diesen Ansatz verfolgt ein Verbundforschungsprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF/Projekträger

tersuchungen werden die Errichtung und den Betrieb der Plattform beziehungsweise des „Schwamm-Meeresgarten“ begleiten.

Primmorphe und Fragmorphe – vielversprechende dreidimensionale Zellkulturen

gen und vorgeformt sind, mit Hilfe einer Solaranlage bestromt. Durch das Anlegen von Gleichstrom können die reichlich im Meerwasser gelösten Kalzium- und Magnesiumionen an einer Kathode niedergeschlagen werden (elektrolytische Mineralakkretion) und es entstehen harte Krusten aus Aragonit und Brucit. Auf diesem ökologisch unbedenklichen und kostengünstigen Substrat, so die ersten Ergebnisse, wachsen „Schwammstecklinge“ gut fest, also eine aussichtsreiche Möglichkeit zur Nachzucht. Ökologische Un-

Neben der Züchtung von Schwämmen in Aquakulturen im Meer und der Hälterung in Aquarien sind Zellkulturen eine weitere vielversprechende Möglichkeit, Schwamm-Material für die Forschung zur Verfügung zu stellen. Und nicht nur für die Forschung, bei Erfolg auch zur Produktion der bioaktiven Substanzen.

Eigentlich kein Problem, sollte man denken. Hat man es hier doch mit einfa-

chen Vielzellern zu tun, die zudem sehr leicht ihren zellulären Zusammenhalt als funktionierender Schwamm aufgeben: Bringt man einen Schwamm in Kalzium- und Magnesium-freies Meerwasser, so löst sich der Zellverband auf (Abb. 9). Übrig bleiben Einzelzellen, die sich, nachdem die richtige Wasserzusammensetzung wieder hergestellt wird, verklumpen (aggregieren) und letztendlich aus diesem Zellhaufen einen funktionsfähigen Schwamm bilden, gleich dem Phönix aus der Asche. Diese Erkenntnis ist nicht neu, denn bereits 1907 wurde diese Dissoziation und Reaggregation von Wilson bei Schwämmen erstmals beobachtet. Doch die Versuche, Schwammzellen in Plastikschaalen als einlagige Zellschichten (Monolayer) in künstlichem Nährmedium zu vermehren, misslangen. Neben dem fehlenden zellbiologischen Detailwissen über Schwämme spielt aber auch die Unkenntnis über geeignete Nährmedien eine Rolle. Die Wiederbelebung der Wilson'schen Zellaggregation brachte hier erste hoffnungsvolle Ergebnisse mit dem von uns mitentwickelten Primmorphen-System (Abb. 10). Nach einer bestimmten Inkubationszeit sind vielzellige Reaggregate entstanden, die sich über einen langen Zeitraum in Plastikschaalen kultivieren lassen. Mehr noch, mit den Primmorphen – wie wir die Schwamm-Reaggregate nennen – steht erstmals ein Zellsystem zur Verfügung, das geeignet ist, um die Bedürfnisse der Schwammzellen in Kultur näher zu untersuchen. So benötigen die Primmorphen neben Silicat auch Eisen. Auch zur Produktion der bioaktiven Substanzen eignen sich die dreidimensionalen Zellaggregate: der Schwamm *Dysidea avara* produziert die Substanz Avaron. Diese findet sich auch in Primmorphen aus dieser Schwammart!



Abb. 8: Ein so genanntes ARCON®-Modul, auf dem mittels Solarstrom eine elektrolytische Abscheidung von Magnesium- und Calciumcarbonat stattfindet. Die aufgesetzten Schwammstecklinge werden dadurch einzementiert oder wachsen auf dem Substrat fest. Foto: Dr. Lothar Schillak, Mannheim, mit freundlicher Genehmigung.



Abb. 9: a (li). Eine Suspension dissoziierter Schwammzellen von b. *Dysidea avara*, der die antivirale Substanz Avarol produziert. Foto: Brümmer.



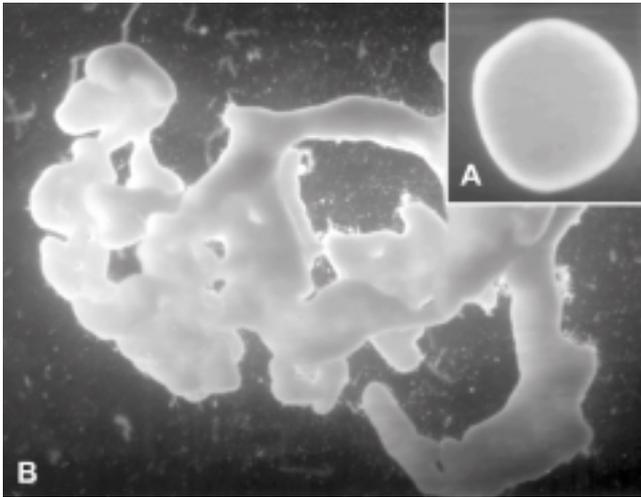


Abb. 10: A. Ein unter definierten Bedingungen entstandenes primäres Zellreaggregat (Primmorph®). B. unter unkontrollierten Bedingungen entstandenes sekundäres Reaggregat von unregelmäßiger Gestalt. Fotos: Nickel.

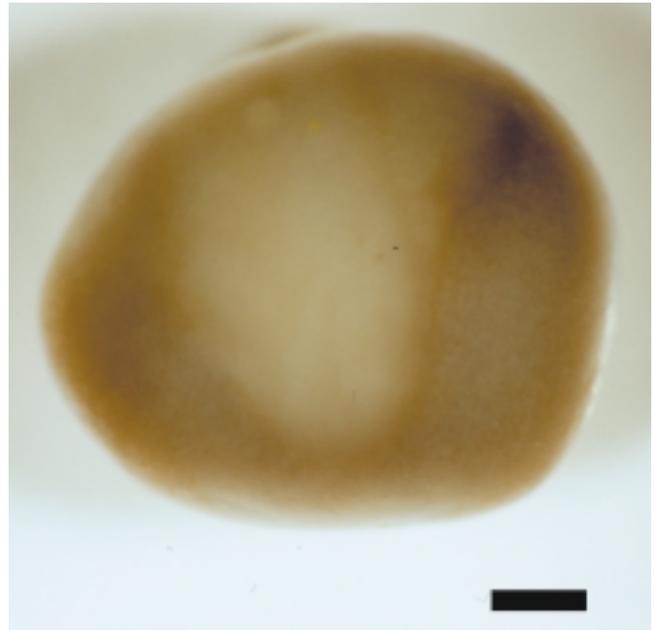


Abb. 11: Ein Fragmorph von *Chondrosia reniformis*. Foto: Nickel.

Fragmorphe stellen das jüngste Mitglied der in Stuttgart entwickelten *in vitro*-Kulturtechniken dar (Abb. 11). Dazu werden Schwämme in definierte Stücke geschnitten und unter verschiedenen, teilweise artspezifisch angepassten Bedingungen zu eingeständigen Fragmenten entwickelt, die wieder eine vollständige Körperdecke (Pinacoderm-Schicht) aufweisen. Solche Fragmorphe lassen sich für die Weiterentwicklung von Kulturbedingungen und zu Vorarbeiten für biotechnologischen Verfahren einsetzen.

Doch damit nicht genug der Forschung hier in Stuttgart: Gemeinsam mit den Ingenieuren vom Institut für Bioverfahrenstechnik haben wir ein ehrgeiziges Ziel formuliert: einen Bioreaktor für Schwämme und Schwammzellen zu entwickeln. Die Grundüberlegung dazu kommt aus der Ökologie: wir müssen in der Lage sein, die Bedingungen im Reaktor so zu wählen, wie sie an unterschiedlichen Schwammstandorten im Meer anzutreffen sind. Deshalb wurde ein modularer und damit flexibler Aufbau gewählt. Derzeit sind bereits erste unterschiedliche Module entwickelt und aufgebaut und erste Schwämme als Untersuchungsobjekte eingesetzt worden. Ein Beitrag über dreidimensionale Zellkulturen ist auch in den „Wechselwirkungen“ 1995 von Dieter F. Hülser nachzulesen.

Schwämme – spannende Objekte für die Grundlagenforschung

Auch für die Grundlagenforschung zeigen sich die Schwämme immer mehr als in-

teressante Versuchsobjekte. So konnte sowohl ein Aggregationsfaktor als auch der dazugehörige Aggregationsrezeptor bei Schwämmen isoliert und charakterisiert werden. Jede Schwammart besitzt ihren eigenen Aggregationsfaktor, der aus Einzelzellen wieder einen echten, funktionsfähigen Schwamm entstehen lässt. Neben dieser Funktion als Zellkitt wirkt er gleichzeitig noch als Wachstumsfaktor.

Erstmals konnte das Gen für Insulin aus einem Schwamm isoliert und sequenziert werden. Wenn auch noch keine eindeutigen funktionellen Befunde für ein Immunsystem bei Schwämmen vorliegen, allein das Vorhandensein der Gensequenz wirkt vielfältige und äußerst spannende Fragen auf. Weit verbreitet im Tierreich ist eine Nukleotid-Sequenz, die sogenannte Homöobox, deren Genprodukte wichtige Steuerungselemente für die Differenzierung und Entwicklung darstellen. Auch Schwämme besitzen solche Homöobox-Sequenzen.

Durch Anwendung von modernsten Klonierungstechniken wurde aufgedeckt, dass Schwämme Charakteristika besitzen, die sie gemeinsam mit den übrigen vielzelligen Tieren haben. Moleküle der extrazellulären Matrix (Kollagen, Lektin), unter anderen mit ihnen wechselwirkende Zelloberflächen-Rezeptoren (Integrine), Signaltransduktions-Proteine (Tyrosin-Kinasen), Apoptose-Moleküle (Caspasen), kommen nur bei Tieren, die Schwämme eingeschlossen, vor und belegen, dass

alle vielzelligen Tiere einen gemeinsamen Vorfahren haben, der als „Urmetazoa“ bezeichnet werden kann (Abb. 12). Deshalb stellen die Spongien eine Tiergruppe dar, die in exemplarischer Weise als Prototyp für Evolutionsstudien über den Ursprung der Metazoen dienen. Durch eine weitere Aufklärung des Schwamm-Genoms, die im Gange ist, lassen sich weitere Erkenntnisse darüber gewinnen, welche Struktur- und Regulationsmoleküle bei dem Übergang von den Pilzen, als nächstverwandte Organismen, zu den vielzelligen Tieren hinzugewonnen wurden.

Und war da nicht noch der „schnellste Schwamm der Welt“ *Tethya wilhelma*? Richtig! Üblicherweise werden Schwämme als festsitzende Tiere beschrieben. Gerade deshalb gibt es im Zusammenhang mit der Wanderung von *T. wilhelma* noch viele offene Fragen und jede Menge zu entdecken! (siehe unikurier 89, April 2002)

Warum in die Ferne schweifen?

Die erste neuentdeckte Tierart, die nach der Wilhelma benannt wurde

Nun wurde sie also gefunden und beschrieben: die erste neue Tierart aus der Wilhelma, die auch nach dem Zoologisch-botanischen Garten benannt ist. Ein Schwamm aus den tropischen Becken des Aquariums: *Tethya wilhelma* Sarà, Sarà, Nickel & Brümmer 2001 (Abb. 13). Der Name setzt sich aus zwei lateinischen Worten zusammen, dem Gattungsnamen *Tethya*, der die Gruppenzugehörigkeit eines Tieres angibt, sowie dem Artnamen *wilhelma* und dazu die Angabe, von wem und wann die Art beschrieben wurde. Das alles interessiert den Schwamm jedoch herzlich wenig, denn die Art lebte wohl schon Jahrzehnte in der Wilhelma, ohne dass sie je große Beachtung fand.

Schwämme, die unter der Dusche und in der Badewanne landen, sind die Überreste des faserigen Skeletts eines vormalig lebenden Tieres! Mit dem Badeschwamm ist unser Wilhelma-Schwamm zwar verwandt, hat jedoch sonst mit ihm äußerlich und innerlich nicht viel zu tun. Er ist viel kleiner, meistens nur zwischen

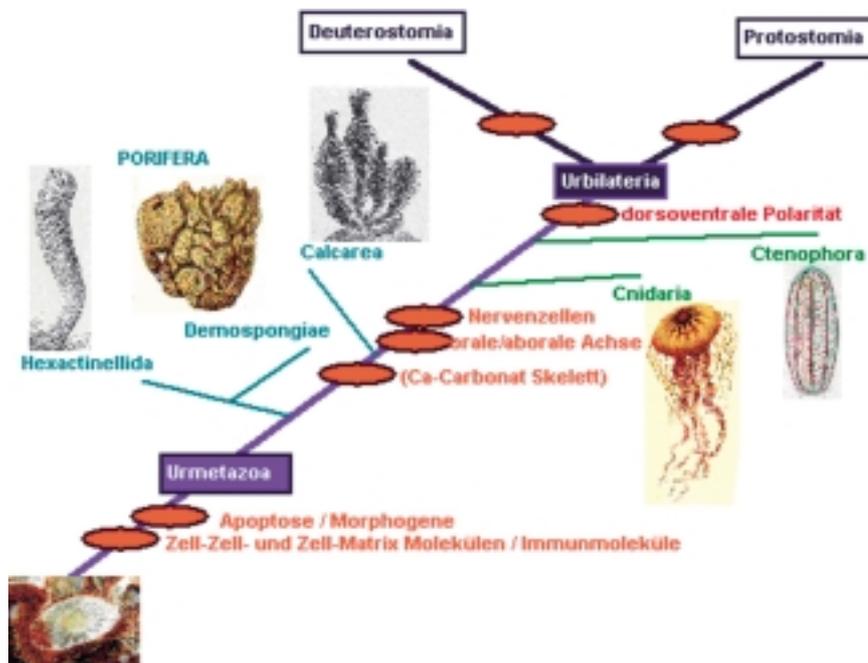


Abb. 12: Schwämme stellen die ursprünglichsten, noch lebenden, vielzelligen Tiere dar. Das hypothetische Urmetazoon wies bereits viele der typisch tierischen Funktionsmoleküle auf, zum Beispiel Komponenten der extrazellulären Matrix. Bereits innerhalb der Schwämme werden Unterschiede deutlich: die Kalkschwämme (Calcarea) stehen den übrigen Tieren verwandtschaftlich näher als die Glasschwämme (Hexactinellida) und die Hornschwämme (Demospongiae). Grafik: Prof. W.E.G. Müller, Mainz, mit freundlicher Genehmigung.

ein und vier Zentimeter im Durchmesser. Der Körper ist kugelförmig und weiß (Abb. 14). Manchmal setzen sich Algen an der Oberfläche ab, dann schimmert er grünlich. Im Gegensatz zum Badeschwamm besitzt er kein faseriges Skelett, sondern ein aus mineralischen Nadeln, die ihm die Körperform stabilisieren. Diese aus Silikat bestehenden Nadeln sind auch ein

wichtiges Merkmal, um den Schwamm zu bestimmen oder zu beschreiben. Weil viele Schwämme unterschiedliche und teilweise bizarre Nadelstrukturen ausbilden, kann man sie daran gut unterscheiden. *Tethya wilhelma* besitzt neben langen Nadeln sehr schöne mikroskopische „Weihnachtssterne“ in unterschiedlichen Größen (Abb. 15).

Wie findet man denn ausgerechnet in der Wilhelma eine so kleine Schwammart? Natürlich per Zufall. Ursprünglich waren wir im Rahmen eines Forschungsprojektes des Biologischen Instituts der



Abb. 13: Einzelnes Exemplar von *Tethya wilhelma* mit typischen Körperausläufern, die für die Fortbewegung des Schwammes eine Rolle spielen. Foto: Nickel.



Abb. 14: Eine Gruppe von *T. wilhelma* auf einem abgestorbenen Korallenblock in ihrem „natürlichen“ Habitat in einem Aquarium im Biologischen Institut. Foto: Nickel.

Universität Stuttgart auf der Suche nach leicht kultivierbaren Schwämmen. Für Schwämme interessiert sich die Wissenschaft derzeit sehr stark, weil sie ähnlich den tropischen Pflanzen viele pharmazeutisch wirksame Stoffe gegen Viren, Krebs und andere Krankheiten enthalten. Um diese Stoffe zu gewinnen, müssen Schwämme kultiviert werden, weil man sie nicht einfach in genügend großen Mengen aus dem Meer fischen kann. Auf der Suche nach nutzbaren Schwämmen fanden wir in der Wilhelma dann eben unsere kleinen weißen Kugeln, auch wenn sie leider keine Wirkstoffe enthalten. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Universität Genua (Italien) wurde die neue Art dann beschrieben. Nebenbei bemerkt wurden noch zwei weitere ähnliche neue Arten in anderen Aquarien entdeckt: *Tethya minuta* im Vivarium Karlsruhe und *Tethya gracilis* im Aquazoo-Loebekke-Museum Düsseldorf.

Der schnellste Schwamm der Welt

Nun könnte man meinen, dass unser Wilhelma-Schwamm nach seiner Entdeckung wieder in der Versenkung der Bedeutungslosigkeit verschwindet. Weit gefehlt! *Tethya wilhelma* ist ein besonderer Schwamm. Als festgewachsene Tiere sind Schwämme in der Regel bewegungslos. Nicht so unsere weißen Kugeln. Bis zu mehrere Zentimeter pro Tag wandern sie über Steine und Wände. Wie es funktioniert, ist im Detail noch ungeklärt. Die feinen Körperfortsätze spielen wohl eine Rolle (Abb. 16). Und weil dieses Verhalten so besonders ist, wird *Tethya wilhelma* weiter an der Universität Stuttgart untersucht. Es bleibt also schwammig und spannend!

Abb. 16: Mikroskopischer Blick auf einen Körperausläufer von *T. wilhelma* (Insert). Die langen Macroscleren (ms) stabilisieren die Ausläufer. Microscleren (Micrastern, ma) sind vermutlich als Fraßschutz und eventuell als Ansatzpunkte für Kraftübertragungen zwischen Zellen eingelagert. Pinacocyten (pc) bilden die Oberfläche. Spindelförmige Actinocyten oder Myocyten (mc) sind wichtig für die Ausbildung und Schrumpfung der Ausläufer. Granuläre Archaeocyten (gc) können vielfältige Funktionen, zum Beispiel Stofftransport, wahrnehmen.

Foto: Nickel.

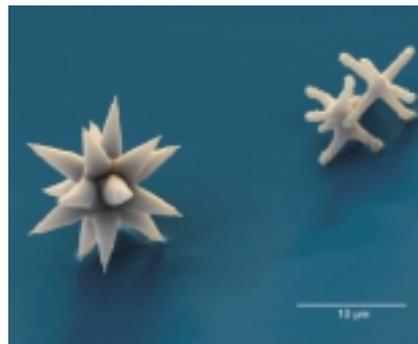
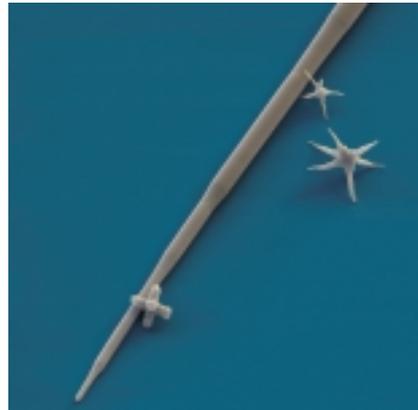
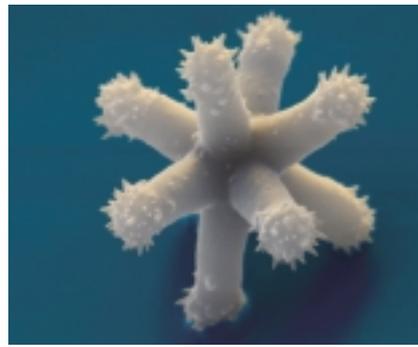
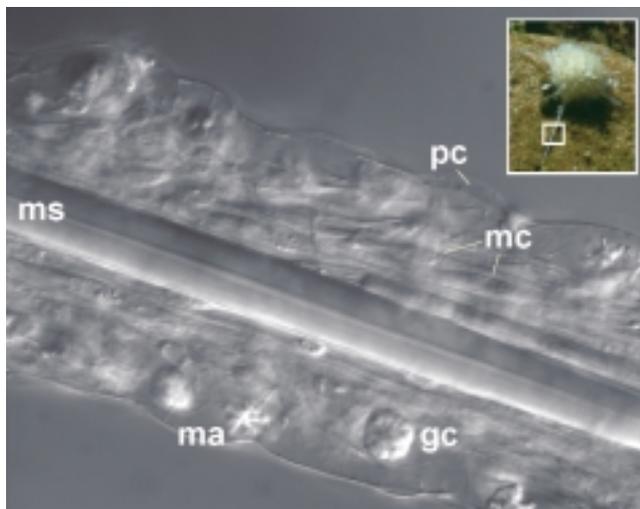


Abb. 15: Verschiedene Skelettelemente (Spicula) von *T. wilhelma*, winzig kleine Silikatpartikel von teils skurriler Form, die sich von Art zu Art unterscheiden. Fotos: nach Spicula-Präparationen von M. Nickel, © Meckes/Ottawa, Eye of Science, Reutlingen, mit freundlicher Genehmigung.

Schwämme in unseren Seen und Flüssen

Auch im Süßwasser kommen Schwämme vor. Von den weltweit etwa 7500 Arten sind es zwar „nur“ 250, doch es fällt schwer, sie zu übersehen. Gerade im Sommer kann man oft auf Zweigen, Steinen oder auf Schilf sowohl im stehenden als auch in fließendem Wasser Schwämme beobachten. Zu dieser Jahreszeit bilden die Süßwasserschwämme teilweise riesige busch- oder geweihförmige Körper – bis zu einem Meter hoch – oder überwachsen Quadratmeter große Flächen an Steilwänden. Die Form ist stark von der Wasserbewegung abhängig. Auch die Färbung ist variabel und hängt ebenfalls von den Umgebungsbedingungen ab. Üblicherweise weißliche bis bräunliche Arten können beim Vorhandensein von einzelligen Algen kräftig grün gefärbt sein. Die Algen werden vom Schwamm eingestrudelt und sind in der Lage, im Schwamm zu leben. Gerade die grüne Farbe hat dazu geführt, dass lange Zeit unklar war, wie die Schwämme korrekt einzugliedern sind – bei den Pflanzen oder bei den Tieren. So findet sich in der älteren Literatur die Bezeichnung „Pflanzentiere“, und auch noch heute werden in manchen Regionen die in Seen vorkommenden Schwämme als „Moos“ bezeichnet. (Richtig ist natürlich, dass wir es hier mit echten, vielzelligen Tieren zu tun haben!)

Die Überwinterung der Süßwasserschwämme weist eine Besonderheit auf: die Ausbildung so genannter Dauerstadien (Gemmulae, Abb. 17). Diese senfkornfarbigen, nur etwa ein Millimeter großen Kügelchen enthalten sämtliche Informationen, die für die Neuentwicklung eines Schwammes nötig sind. Im Innern befinden sich besondere Zellen (Archaeocyten), aus denen andere Zelltypen gebildet werden können. Die äußere Hülle wird durch kleine, dicht an dicht stehende, garnrollen-artige Nadeln gestützt und geschützt. Gemmulae sind äußerst widerstandsfähig. Sie können ein mehrmona-

tiges Einfrieren ebenso überstehen wie ein vollständiges Austrocknen. Neben dieser ungeschlechtlichen Vermehrung sind die Süßwasserschwämme natürlich auch in der Lage, sich geschlechtlich fortzupflanzen. Dies geschieht im Frühsommer über Eier, die im Schwammkörper befruchtet werden und aus denen sich dann schwimmfähige Larven entwickeln.

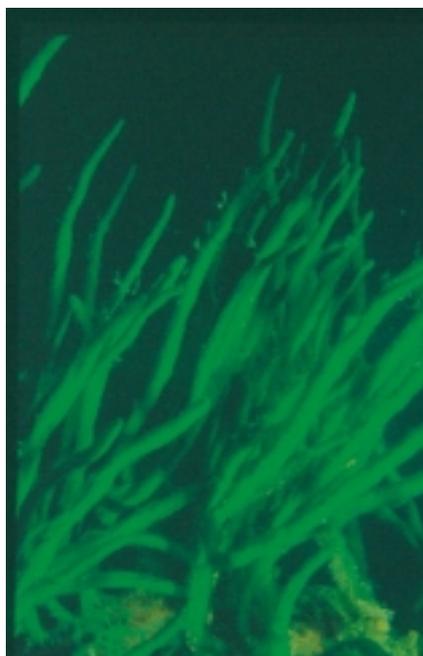


Abb. 17: Dauerstadien (Gemmulae) im Gewebe eines Süßwasserschwammes, der im Herbst zerfällt und die Gemmulae freisetzt. Foto: Brümmer.



Abb. 18: *Spongilla lacustris*, der Geweihschwamm, aufgenommen im Bodensee. Foto: Brümmer

Da die Süßwasserschwämme in der Regel getrenntgeschlechtlich sind, müssen die Spermien von anderen Schwämmen über das einströmende Wasser hertransportiert werden. Die Larven setzen sich auf einer geeigneten Unterlage fest, flachen sich ab und wachsen dann zu einem neuen Schwamm heran.

Wie viele Arten gibt es nun in heimischen Gewässern? Für den Bodensee werden fünf Arten genannt, im Mittel- und Nordkanal konnten drei Arten beobachtet werden und für den Rhein sind sogar sechs Arten verzeichnet. Die weitaus am häufigsten anzutreffenden Arten sind bei uns der Geweihschwamm (*Spongilla lacustris*, Abb. 18) und der Klumpenschwamm (*Ephydatia fluviatilis*). Für den Rhein ist noch eine Besonderheit zu vermerken. *Eunapius carteri* – eine eigentlich in den Tropen und Subtropen heimische Schwammart – konnte 1995 erstmals auch im Rhein und damit als Erstfund in Mitteleuropa nachgewiesen werden: Im wärmeren Auslauf des Kernkraftwerkes Biblis.

Information der Öffentlichkeit

Die „Schwammforschung“ bietet sowohl unter angewandten Aspekten als auch unter ökologischen wie zellbiologischen oder molekularbiologischen Gesichtspunkten eine Fülle von Neuigkeiten, die auch der interessierten Öffentlichkeit verständlich übermittelt werden muss. Dazu wurde eine eigene Homepage [www.biotechmarin.de] eingerichtet. Diese Internetseite informiert ebenso über das Forschungsvorhaben wie über den Fortgang der Arbeiten. Halboffene Datenbanken zu den genetischen Informationen aus Schwämmen sowie zu den in den Projekten bearbeiteten Schwammarten ergänzen das frei zugängliche Angebot.

Zum zehnjährigen Bestehen des Überkommens über die biologische Vielfalt im Jahre 2002 initiierte das Bundesumweltministerium (BMU) eine breit angelegte Kampagne zur Arten- und Lebensraumvielfalt mit dem Slogan „Leben braucht Vielfalt“. Ziel ist es, den Bürgerinnen und Bürgern durch unterschiedliche Beiträge die große Palette der biologischen Vielfalt und ihre Bedeutung für unser tägliches Leben näher zu bringen. Auch das Kompetenzzentrum *BIOTECC*marin ist ein Beitrag zur Aktion *biologische Vielfalt.de* des BMU.

Medizin aus Schwämmen – deutsche Forscher bündeln ihr Wissen

Seit September 2001 arbeiten elf Forschergruppen in Deutschland gemeinsam an marinen Schwämmen. Beteiligt sind die Universitäten Mainz, Stuttgart, Düsseldorf, Kiel und Würzburg, darüber hinaus ein Ingenieurbüro in Mannheim und die Meeresbiologische Station in Rovinj, Kroatien. Naturstoffe aus marinen Schwämmen und ihre Mikroorganismen stehen dabei im Mittelpunkt.

Mit dem Projekt sollen neue Wege zur schonenden und nachhaltigen Nutzung der Rohstoffquelle Schwamm entwickelt werden. Hierzu werden die Schwämme und die mit ihnen zusammenlebenden Mikroorganismen artgenau bestimmt. Anschließend soll versucht werden, sie in so genannten „Marikulturen“, das heißt Kulturen direkt im Meer, aber auch in Zellkulturen zu züchten und die medizinisch interessanten Wirkstoffe zu isolieren und zu charakterisieren. Außer in Zell- und Marikulturen sowie mit biotechnologischen Verfahren wollen die Forscher im Kompetenzzentrum *BIOTECC*marin die bioaktiven Substanzen noch auf anderen Wegen gewinnen: Mit Hilfe einer Schwamm-Genomanalyse sowie durch chemische Synthesen.

Diese Arbeiten werden in den nächsten drei Jahren mit insgesamt vier Millionen Euro gefördert. Zwei Drittel dieser Mittel kommen aus dem Forschungsprogramm Marine Naturstoffforschung, den Rest steuern die jeweiligen Bundesländer und Universitäten bei.

Im Rahmen des Kompetenzzentrums haben die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits eine Verwertungsgesellschaft gegründet, die *BIOTECC*marin GmbH. Aufgabe dieses Unternehmens ist es, die wirtschaftlich verwertbaren Ergebnisse zu patentieren, Lizenzen zu vergeben, Forschungsprojekte zu finanzieren und eigene Produkte zu entwickeln, die über Partner produziert und vertrieben werden.

Im Einzelnen lassen sich folgende Ziele für das Kompetenzzentrum *BIOTECC*marin formulieren:

- Sicherung der Ressourcen durch eine einwandfreie Taxonomie
- die Kultivierbarkeit (Schwamm-Zellkultur) fortzuentwickeln und zu standardisieren

- die Hälterung in Aquarien von Schwämmen zu standardisieren
- Schwammzellkulturen zu etablieren
- assoziierte Mikroorganismen zu kultivieren
- biotechnologische Verfahren zur Massenfermentation zu entwickeln
- assoziierte Mikroorganismen und Schwammzellen biotechnologisch zu nutzen
- Genetische Informationen aus Schwämmen zu gewinnen
- besonders die Vertreter der Länder, deren marine Ressourcen genutzt werden, zu beteiligen
- dieses Potential sowohl für die Grundlagenforschung als auch für die angewandte Forschung (Biotechnologie, Umweltforschung und Medizin) zu nutzen und diese Nutzung – zusammen mit den Industriepartnern – auch in der Praxis umzusetzen.

*BIOTEC*marin ist als bundesweites Kompetenzzentrum organisiert. Das Antragskonzept beruht auf einem so genannten Meilenstein-Konzept. Zu den herausragenden Meilensteinen in den ersten drei Jahren zählte die Gründung einer Verwertungsgesellschaft. Der erste Förderzeitraum ist auf drei Jahre festgelegt. Bei Erreichen der gesteckten Ziele sind weitere zwei dreijährige Förderperioden skizziert, zu deren Finanzierung aber zusätzliche Drittmittel aus der Industrie akquiriert werden müssen.

Das Kompetenzzentrum und die Konvention zur Biologischen Vielfalt

Übergeordnetes Ziel des Kompetenzzentrums ist die nachhaltige Nutzung mariner Schwämme. Damit wird sofort deutlich, wie sehr dieses Forschungsvorhaben die beiden Rio-Dokumente – die Agenda 21 und das Übereinkommen zur biologischen Vielfalt (CBD) – berührt. Aber neben der Nachhaltigkeit sind es der Zugang zu den genetischen Ressourcen und die Beteiligung derer, die diesen Zugang ermöglichen. Weitere Berührungspunkte des Kompetenzzentrums mit dem Übereinkommen zur Biologischen Vielfalt sind unter anderem die ökologische Überwachung, ein umfangreicher Informationsaustausch und die weitergehende Ausbildung. Diese wird durch einen regen Studenten- und Wissenschaftler-austausch gewährleistet. Die *in situ*- und *ex situ*-Erhaltung wird mit dem Schwammgarten in der Adria und der



Schwämme sind nicht nur ein spannendes Forschungsobjekt, sondern oftmals auch schlichtweg ästhetisch zu betrachten. Ihre Form- und Farbvielfalt verleiht der Unterwasserwelt der Meere vielfältige Blickfänge, wie hier die beiden Mittelmeerarten *Spirastrella cunctatrix* (orange) und *Anchinoe tenacior* (blau). Foto: Nickel.

Aquarienhälterung verfolgt. Ebenso in dem Übereinkommen zur Biologischen Vielfalt erwähnt finden wir den Einsatz der Biotechnologie. Gerade in diesem Bereich liegen mit den dreidimensionalen Zellkulturen und dem neuartigen modularen Bioreaktor, der zusammen mit dem Institut für Bioverfahrenstechnik (Prof. Christoph Syldatk) entwickelt wird, die Stuttgarter Schwerpunkte im Kompetenzzentrum *BIOTEC*marin.

Ausblick

Das Kompetenzzentrum *BIOTEC*marin wird als ein offenes Forschungsvorhaben zu wesentlichen Teilen aus Bundesmitteln vom BMBF durch den Projektträger BEO und die beteiligten Bundesländer finanziell unterstützt. Es steht weiteren Forschergruppen und Forschungsvorhaben offen. Kurz vor der Aufnahme in das Kompetenzzentrum steht eine Arbeitsgruppe, die ihre Forschungsarbeiten auf häufige, mit Schwämmen assoziierte Organismen wie Bakterien und Pilzen konzentriert.

Literatur

- Bergquist, P.R. (1978) Sponges. Hutchinson & Co, London. 268 pp.
- Brümmer, F., Koch, I. & Niederhöfer, H.J. (1994) Wirbellose Meeresbewohner. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde. Ser. C. Nr. 37, 1-89
- Brümmer, F. & Nickel, M. (2002) Nachhaltige Nutzung mariner Schwämme. In: Korn, H. & Feit, U. (Bearb.) Treffpunkt Biologische Vielfalt II. Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 183-189
- Brümmer, F., Nickel, M. & Sidri, M. (2002) Schwämme. In: Hofrichter, R. (ed.) Das Mittelmeer Band II/1. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Custodio, M.R., Prokic, I., Steffen, R., Koziol, C., Borovic, R., Brümmer, F., Nickel, M. & Müller, W.E.G. (1998) Primmorphs generated from dissociated cells of the sponge *Suberites domuncula*: A model system for studies of cell proliferation and cell death. Mech. Ageing Develop. 105, 45-59
- Gugel, J. (1997) Zur Nischendifferenzierung und intraspezifischen Variabilität von Süßwasserschwämmen (Profiera, Spongillidae). Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt

Hooper, J.N.A. (2000) Sponguide. Guide to sponge collection and identification. (<http://www.qmuseum.qld.gov.au/organisation/sections/SessileMarineInvertebrates/index.asp>) Queensland Museum, Australia: 129 pp.

Hooper, J.N.A. & Van Soest, R.W.M. (2002) Systema Porifera. A guide to the supraspecific classification of Sponges and Spongiomorphs (Porifera). Plenum, New York

Kilian, E.F. (1993) Stamm Porifera. In: Gruner, H.-E. (Hg.) Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Begründet von A. Kästner. Band 1: Wirbellose Tiere. 1. Teil: Einführung, Protozoa, Placozoa, Porifera. 5. Auflage. Gustav Fischer, Jena, 251-288

Le Pennec, G., Perovic, S., Shokry A. Ammar, M., Grebenjuk, V.A., Steffen, R., Brümmer, F. & Müller, W.E.G. (2003) Cultivation of primmorphs from the marine sponge *Suberites comuncula*: morphogenetic potential of silicon and iron. A review. *J Biotech* 100(2): 93-108

Möhn, E. (1984) System und Phylogenie der Lebewesen. Bd. 1. Physikalische, chemische und biologische Evolution, Prokaryota, Eukaryota (bis Ctenophora). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 884 pp.

Müller, W.E.G. (2001): Review: How was Metazoan threshold crossed? The hypothetical Urmetazoa. *Comparative biochemistry and Physiology*, 129 A: 433-460

Nickel, M., Proll, G. & Brümmer, F. (2000): Natural products of marine sponges - from ecology to biomass. *Proceedings of Internat. Congress on Biochemical Engineering 2000*, 194-198

Nickel, M., Leiniger, S., Proll, G. & Brümmer, F. (2001): Comparative studies on two potential methods for the biotechnological production of sponge biomass. *J. Biotechnology*, 92, 169-178

Nickel, M. (2001) Cell Biology and Biotechnology of Marine Invertebrates. Sponges (Porifera) as Model Organisms. *Arbeiten und Mitteilungen aus dem Biologischen Institut der Universität Stuttgart*. Nr. 32 - 2001. 154 pp.

Nickel, M. & Brümmer, F. (2002) In vitro sponge fragment culture of *Chondrosia reniformis* (Nardo, 1847). *J. Biotechnology*, 100(2): 147-159

Osinga, R., Tramper, J. & Wijffels, R.H. (1999) Cultivation of marine sponges. *Mar. Biotechnol.* 1, 509-532

Pronzato, R. & Manconi, R. (2001): Atlas of European freshwater sponges. *Ann. Mus. civ. St. nat. Ferrara* 4: 3-64

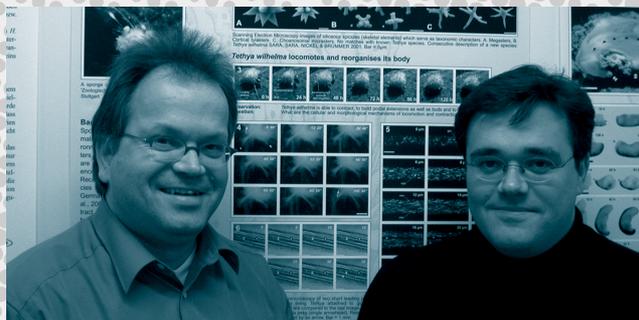
Sara, M., Sara, A., Nickel, M. & Brümmer, F. (2001): Three new species of *Tethya* (Porifera, Demospongiae) from German aquariums. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A (Biologie)* 631, 15 S.

Simpson, T.L. (1984) *The Cell Biology of Sponges*. Springer, New York. 662 pp.

Van Soest, R.M.W., Picton, B. & Morrow, C. (1999) Sponges of the North East Atlantic. *World Biodiversity Database CD-ROM Series*. ETI. Springer Verlag, Heidelberg

Weissenfels, N. (1989): *Biologie und Mikroskopische Anatomie der Süßwasserschwämme (Spongillidae)*. G. Fischer Verlag, Stuttgart. 110pp.

Wilson, H.V. (1907) On some phenomena of coalescence and regeneration in sponges. *J. Exp. Zool.* 5, 245-258



Dr. Franz Brümmer

Apl. Prof., Jahrgang 1956, Studium der Biologie an der Universität Stuttgart, dort 1987 Promotion zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur interzellulären Kommunikation tierischer Zellen. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Biophysik widmete er sich den Themen Nierensteinertrümmerung und mögliche Auswirkungen des Ultraschalls auf Zellen und Gewebe. 1994 Habilitation und Venia legendi für Zoologie und Biophysik. Seit 1995 ist Franz Brümmer in der Zoologie tätig und führt dort regelmäßig die Lehrveranstaltungen zur Allgemeinen und Speziellen Zoologie und zur Ökologie durch. Dazu zählen auch meeresbiologische Exkursionen und Veranstaltungen für Studierende der Geologie und Geographie sowie der Umweltschutztechnik. In seiner wissenschaftlichen Arbeit untersucht er marine Schwämme als mögliche Lieferanten wertvoller Naturstoffe und dies unter den Aspekten einer nachhaltigen Nutzung mariner Ressourcen. Weitere Schwerpunkte seiner Forschungen sind die Entstehung und Ausbreitung giftiger Algenblüten sowie die Identifizierung intrazellulärer Symbionten bei Protozoen. Als deren Gründungsmitglied engagiert sich Franz Brümmer in der Wissenschaftlichen Tauchgruppe der Universitäten Stuttgarts (WITUS) sowie als Umweltreferent im Verband Deutscher Sporttaucher (VDST e.V.). Dr. Brümmer ist Mitglied im Umweltbeirat des Landes Baden-Württemberg.

Dr. Michael Nickel

Geboren 1971, studierte Technische Biologie an der Universität Stuttgart, 2001 Promotion zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur Zellbiologie und biotechnologischen Nutzung von Schwämmen. Studien- und Arbeitsaufenthalte an Forschungsinstituten in Dänemark, Italien und Kanada. Seit 2001 als Hochschulassistent am Lehrstuhl von Prof. Dr. Hans-Dieter Görtz. Betreut im Studienfach Technische Biologie Anfängerkurse in Zoologie und Meeresbiologische Exkursionen für Fortgeschrittene sowie Zoologische Tagesexkursionen für Technische Biologen und Umweltschutztechniker. In seiner wissenschaftlichen Arbeit beschäftigt sich Michael Nickel mit der 3D-Zellkultur von Schwämmen, Interzellulärer Kommunikation und Bewegungsphänomenen beim „Wilhelma-Schwamm“ und anderen Modellarten sowie der dreidimensionalen Rekonstruktion von Schwamm-Skeletten mittels 3D-Mikroskopie und Computertomographie. Weiterhin interessiert er sich für die Ökologie, Taxonomie und Phylogenie der Schwämme, besonders des Mittelmeers, sowie der Biodiversität von Arachniden (Spinnentieren). Dr. Nickel ist gewählter Mittelbau-Vertreter im Fakultätsrat Geo- und Biowissenschaften und Mitglied in verschiedenen nationalen und internationalen biologischen und zoologischen Fachgesellschaften sowie der Wissenschaftlichen Tauchgruppe der Universitäten Stuttgarts (WITUS).