

Zehn Jahre mikrobiologische Forschung im Nationalpark Unteres Odertal: ein Rückblick

Erschienen in:

Nationalpark Jahrbuch Unteres Odertal (7), 6-15

1. Einleitung

Der Nationalpark "Unteres Odertal" ist sowohl für Deutschland als auch für Europa ein einmaliges Feuchtgebiet. Entlang der Oder erstrecken sich eine Vielzahl unterschiedlicher Kleingewässer, von kleinen Bächen und Flüssen bis hin zu Teichen und Altarmen. Jedes dieser Gewässer hat eine eigene Charakteristik und ist damit ein kleines Universum mit ganz charakteristischen Lebensgemeinschaften. Die Diversität dieser vielen aquatischen Lebensräume hat zur Folge, dass der Nationalpark insgesamt eine außergewöhnlich hohe Artenvielfalt aufweist. Dies bezieht sich nicht nur auf die größeren Organismen, wie zum Beispiel Vögel und Insekten, sondern setzt sich auch im Bereich der Mikrowelt fort (siehe unten).

Die Mikrobiologie beschäftigt sich mit winzig kleinen Lebewesen, den sogenannten Mikroorganismen, die eine Größe von wenigen Mikrometern haben. Sie können nur unter dem Mikroskop bei 100-1000facher Vergrößerung für das menschliche Auge sichtbar gemacht werden. Zu diesen mikroskopisch kleinen Lebewesen zählen insbesondere Bakterien, Algen und Einzeller (Amöben, Wimperntierchen). In Gewässern mit hohen Nährstoffkonzentrationen können Massenentwicklungen von Bakterien und Algen vorkommen, die dann mit dem bloßen Auge durch Trübung des Wassers und – bei Algen und phototrophen Bakterien – durch Grünfärbung („Algenblüten“) sichtbar werden. Im Nationalpark Unteres Odertal sind die Gewässer aber nicht so nährstoffreich und daher, unter einer Deckschicht aus Wasserlinsen, meist sehr klar. In solchen Gewässern sind die bevorzugten Aufenthaltsorte für viele Mikroorganismen die Oberflächen. Solche Oberflächen finden sich u. a. auf Steinen und Ästen im Wasser sowie auf Blättern von Wasserpflanzen. Durch die Besiedlung mit Mikroorganismen bildet sich auf diesen Oberflächen ein oft spürbarer schleimiger Belag, der auch Biofilm genannt wird. Warum aber sitzen die Bakterien und Algen auf Oberflächen? Dies hat viele Gründe, die den Mikroorganismen einen Überlebensvorteil bieten. So bringt z. B. das strömende Wasser laufend Nährstoffe heran, man ist im Biofilm geschützt und wird nicht so leicht von strudelnden Räubern gefressen, und man wird bei einer Überflutung nicht weggespült. Für die Untersuchung von Mikroorganismen in Biofilmen wurden spezielle Techniken entwickelt, die in meiner Arbeitsgruppe an der TU Berlin in vielen natürlichen und technischen Lebensräumen eingesetzt werden.

2. Erste Untersuchungen von Biofilmen

Die ersten Untersuchungen zu Mikroorganismen auf Oberflächen im Nationalpark Unteres Odertal fanden im Jahr 2000 im Rahmen einer Studentenexkursion statt. Als künstliche Oberflächen wurden Glasobjektträger im Wasser ausgehängt, auf denen sich die Mikroorganismen festsetzen können und die dann direkt unter ein Mikroskop gelegt werden können zur Betrachtung der darauf festsitzenden Bakterien und Algen. Es zeigte sich, dass diese künstlichen Oberflächen sehr schnell bewachsen wurden. Bereits nach 3 Tagen hatte sich ein dünner Biofilm ausgebildet, und nach 1-2 Wochen war das Glas mit einem dicken, schleimigen Biofilm bewachsen, der eine auffällige, rotbraune Färbung aufwies. Weitere intensive Untersuchungen folgten, unter anderem im Rahmen des Tages zur mikrobiellen Artenvielfalt, der in der Wildnisschule und im Schloss Criewen durchgeführt wurde (Abb. 1).



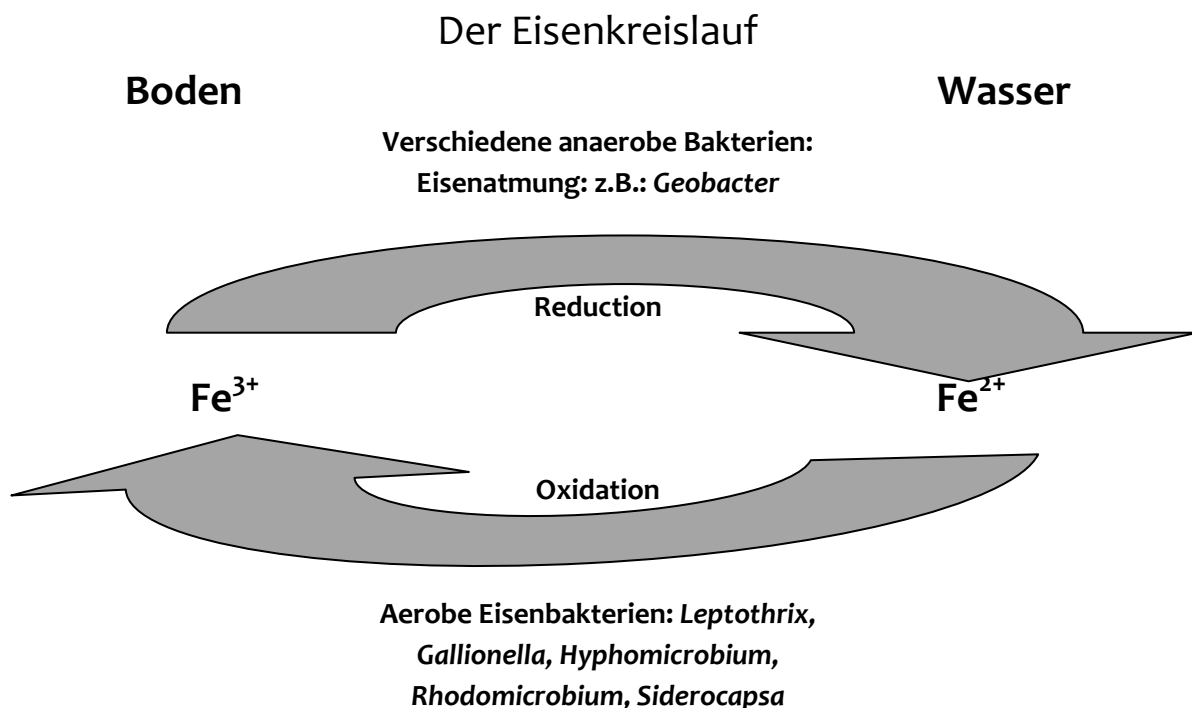
Abb. 1: Mikroskopische Untersuchung von Biofilmen während des Tages der mikrobiellen Artenvielfalt

Unter dem Mikroskop zeigte sich eine große Vielfalt von Mikroorganismen, und zu unserer großen Überraschung waren darunter viele unterschiedliche Eisenbakterien, die auch für die rotbraune Färbung des Biofilms verantwortlich waren. Außerdem traten sehr viele Cyanobakterien auf. Dies sind blaugrün gefärbte Bakterien, die wie die höheren Algen und Pflanzen Photosynthese betreiben können. Sie werden daher umgangssprachlich auch als Blaualgen bezeichnet (siehe 6).

Eisenbakterien sind sehr interessante Bakterien, die zwar schon vor langer Zeit entdeckt wurden, die aber bisher nur vereinzelt mit modernen Methoden untersucht wurden und über deren Lebensweise daher noch wenig bekannt ist. Aufgrund der großen Vielfalt an Eisenbakterien im Nationalpark Unteres Odertal wurden mehrere Forschungsprojekte durchgeführt, um die Diversität und Lebensweise dieser Bakterien genauer zu untersuchen (siehe 4). Doch zunächst ein kurzer Exkurs zu den Aktivitäten der Eisenbakterien, die wir Menschen einerseits seit Jahrtausenden nutzen, die aber auch Probleme bereiten können.

3. Eisenbakterien und Eisenerz

Eisenbakterien sind in der Lage, im Wasser gelöstes, zweiwertiges Eisen zu oxidieren und damit auszufällen und als rotbraune Eisenoxide (Ocker) abzulagern. Dies geschieht in solchen Lebensräumen, in denen Wasser aus sauerstofffreien (anoxischen) Zonen in eine sauerstoffhaltige (oxische) Umgebung kommt. Sobald Sauerstoff verfügbar ist, kann das reduzierte zweiwertige Eisen oxidiert werden (siehe Schema Eisenkreislauf).



Der Vorgang der Eisenablagerung kann in vielen natürlichen und technischen Systemen beobachtet werden. In manchen Systemen ist diese Aktivität unerwünscht, zum Beispiel in den Brunnen bei der Trinkwassergewinnung und bei der Brauchwasseraufbereitung. Dort kann die Ablagerung von Eisen zu braunem Wasser und zur Verstopfung von Rohren und Brunnen führen und wird als Verockerung bezeichnet (Abb. 2). Im Zuge der Aufbereitung des Grundwassers zum Trinkwasser werden diese Prozesse dann gezielt eingesetzt, um das Eisen aus dem Wasser zu entfernen und für uns genießbar zu machen.

Die Ausfällung von Eisen kann aber auch zu Produkten führen, die vom Menschen genutzt werden können. In der Natur kann es beim Vorliegen von geeigneten Bedingungen, insbesondere in Böden, in großem Umfang zu Eisenausfällung kommen. Sofern ein Boden in den unteren Schichten mit Wasser gesättigt ist und der Wasserstand schwankt, so dass zeitweise Sauerstoff verfügbar ist und zu anderen Zeiten dieser fehlt, also zeitweise anoxische Verhältnisse herrschen, kommt es in dem Bereich mit schwankenden Sauerstoffkonzentrationen zur Ausfällung von Eisenoxiden. Voraussetzung dafür ist, dass in der Umgebung eisenhaltiges Gestein vorhanden ist, aus dem das Eisen unter anaeroben Verhältnissen herausgelöst werden kann.

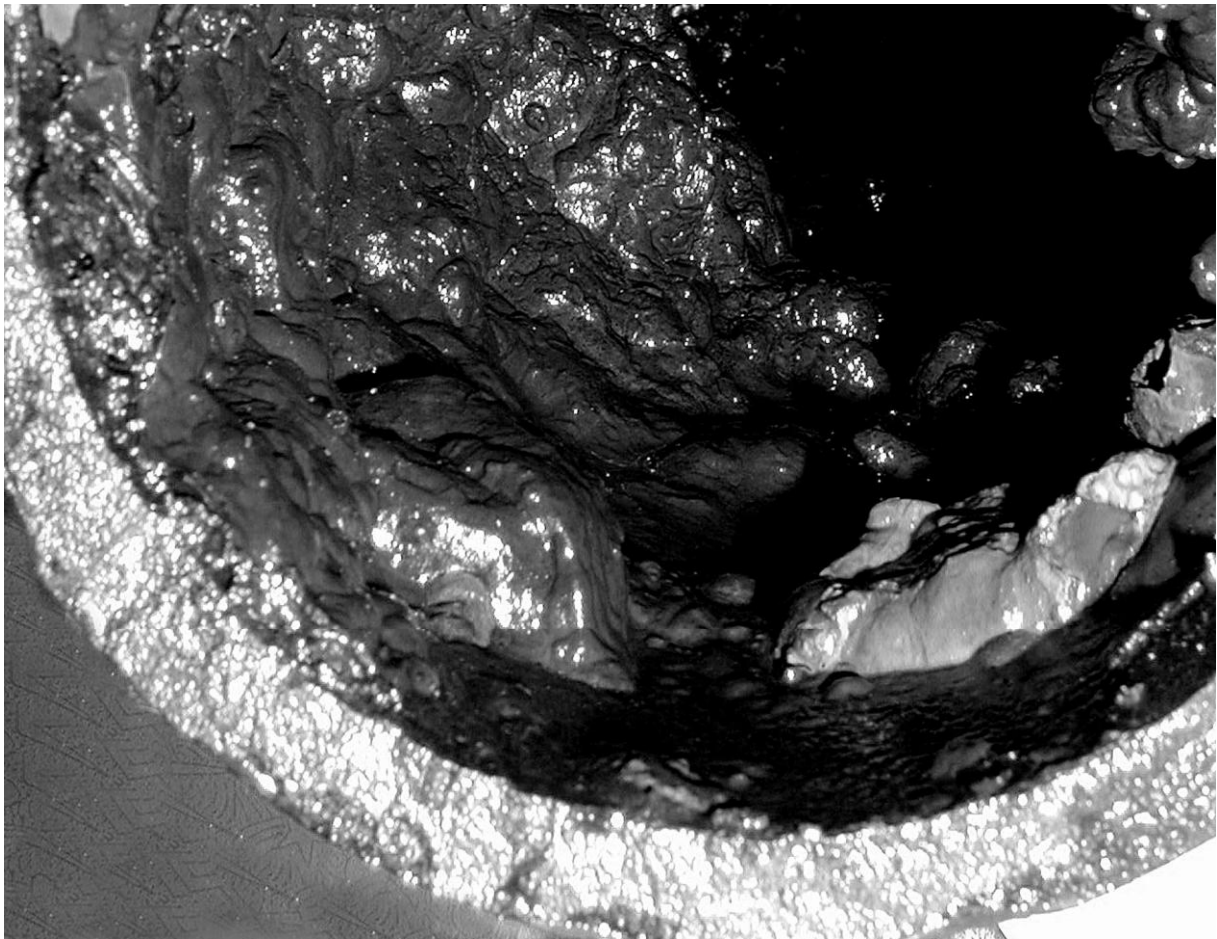


Abb. 2: Blick in ein Trinkwasserrohr aus Gusseisen, welches über 80 Jahre in Gebrauch war. Die Innenseite ist mit dicken Ablagerungen von Eisenoxiden überzogen, die weitgehend von Eisenbakterien verursacht wurden. Das Rohr selbst ist völlig intakt und weist keine Anzeichen von Korrosion auf.

An beiden Prozessen, sowohl der Lösung des Eisens als auch der Ausfällung der Eisenoxide, sind Bakterien und andere Mikroorganismen entscheidend beteiligt (siehe Schema Eisenkreislauf). Wenn der Prozess der Verockerung in einem Boden über Jahre und Jahrzehnte hinweg kontinuierlich stattfindet, kommt es zur Akkumulation der Eisenoxide. Die eisenhaltigen Schichten sind Zentimeter bis Dezimeter dick und können im Laufe von Jahrhunderten auch steinharte Schichten ausbilden. Diese harten Schichten sind in Böden Brandenburgs und vielen

anderen Bereichen Norddeutschlands weit verbreitet und werden als Raseneisenstein bezeichnet.

Dieses Material wurde in großem Umfang gesammelt und stellte die Grundlage für eine Gewinnung von Eisen zur Herstellung von Stahl dar. Besonders am Rand von Mooren sowie in Böden entlang von Flussläufen wurde besonders viel Eisenoxid in den Böden abgelagert. Um Eisen zu gewinnen, wurde der Raseneisenstein zunächst geröstet und dann mithilfe von Holzkohle in Brennöfen ausgeschmolzen. In ganz Norddeutschland, aber auch in Skandinavien und Nordamerika stellte Raseneisenstein eine wichtige Eisenquelle seit der Eisenzeit bis ins 19. Jahrhundert dar. Auch in Brandenburg kann man heute noch Reste der auf Raseneisenstein basierenden Eisengewinnung finden und zum Teil in Museen bewundern (Abb. 3).



Abb. 3: Ein Brocken Schlacke im Wald in der Nähe eines Moores gefunden ist ein Überrest mittelalterlicher Eisengewinnung aus Raseneisenstein oder Moorerz.

Raseneisenstein hatte allerdings noch eine weitere Verwendung. Das sehr harte Material wurde vor allem in Gegenden, wo Steine als Baumaterial Mangelware waren, zum Bau von Gebäuden verwendet. Viele Feldkirchen Brandenburs und andere ältere Gebäude enthalten in ihren Mauern mehr oder weniger große Anteile von Raseneisenstein. Es ist schon faszinierend, wenn man bedenkt, dass Materialien, die durch die Aktivität von Mikroorganismen gebildet wurden, eine so große Bedeutung für die kulturelle Entwicklung einer Region hatten. Man könnte sogar sagen, dass die Entwicklung von Eisengeräten und damit ein wesentlicher Schritt in der Entwicklung der Menschheit ohne die Aktivität der Eisenbakterien nicht oder sehr viel schwerer möglich gewesen wäre.

4. Eisenbakterien im Nationalpark Unteres Odertal

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten und von Prof. Szewzyk koordinierten Verbundprojektes wurden Mikroorganismen aus den verschiedenen Ökosystemen des Nationalparks untersucht. Das besondere Augenmerk galt hierbei gerade denjenigen Mikroorganismen, die sich an Oberflächen festsetzen und damit Biofilme ausbilden. Um diese Biofilme nicht nur am Rand der Gewässer untersuchen zu können, wurden auf verschiedenen Gewässern des Nationalparks Flöße ausgebracht. Unterhalb der Flöße waren Gestelle montiert, in denen Objektträger aus Glas als künstliche Oberflächen für weitergehende mikroskopische und mikrobiologische Untersuchungen exponiert werden konnten.

Auch bei diesen Untersuchungen waren die Objektträger binnen kurzer Zeit mit einem rotbraunen Biofilm überzogen, der auf das Wachstum von Eisenbakterien hindeutet. Warum aber gibt es diese Eisenbakterien und woher stammt das Eisen im Nationalpark? Während der Eiszeiten wurden in der Umgebung des Nationalparks eisenhaltige Gesteine abgelagert. Von dort wird durch Verwitterung und mikrobiologische Aktivität zweiwertiges Eisen herausgelöst und mit dem Regenwasser in den Nationalpark transportiert. In den mit Wasser gesättigten, anaeroben Bodenschichten bleibt das zweiwertige Eisen so lange gelöst, bis es mit dem Wasser in eine sauerstoffhaltige Umgebung kommt. Dann kann eine Oxidation zu dreiwertigem Eisen und die Ablagerung von rotbraunen Eisenoxiden erfolgen. Durch die wechselnden Wasserstände und die unterschiedlichen Fließrichtungen der Gewässer werden im Nationalpark sehr viele Zonen geschaffen, in denen sich anaerobe und aerobe Zustände abwechseln. Solche Übergangszonen von anaeroben zu aeroben Bedingungen sind der bevorzugte Lebensraum von Eisenbakterien.

Die mikroskopischen und molekularbiologischen Untersuchungen der auf den Oberflächen gewachsenen Bakterien bestätigten in überwältigender Weise den Eindruck der Artenvielfalt bei der ersten Studentenexkursion (siehe 2). Allein mehr als 100 verschiedene Eisenbakterien wurden in der Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen von Prof. Szewzyk, TU Berlin, und Dr. Meixner, Firma SMB, gefunden. Viele davon waren noch nie zuvor beschrieben worden. Durch gezielte Variation der Wachstumsbedingungen ist es außerdem gelungen, viele dieser Eisenbakterien erstmalig außerhalb ihres natürlichen Lebensraumes im Labor zum Wachstum zu bringen. Nun kann die Lebensweise dieser faszinierenden Bakterien und die Rolle, die sie in der Umwelt, aber auch in technischen Systemen spielen, im Detail untersucht werden. Aus den wenigen bisher durchgeführten Untersuchungen wird u. a. vermutet, dass diese Bakterien ein großes Potential zum Abbau von Schadstoffen haben (siehe 5).

Die große Vielfalt der Bakterien, die nun auch mit wissenschaftlichen Methoden nachgewiesen wurde, zeigt eindrucklich, dass der Nationalpark Unteres Odertal für die Bewahrung der Biodiversität auch bei den mikroskopisch kleinen Lebewesen eine große Rolle spielt.

5. Die Böden des Nationalparks als effektiver Biofilter

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Verbundprojektes wurde auch untersucht, inwieweit die Bakterien in Biofilmen auf Oberflächen zum Abbau von Schadstoffen beitragen.

Dazu wurden auf den auf unterschiedlichen Gewässern des Nationalparks ausgebrachten Flößen solar getriebene Bioreaktoren installiert. In den Bioreaktoren befanden sich Oberflächen, auf denen Bakterien Biofilme ausbilden konnten. Durch die Reaktoren wurde kontinuierlich Wasser aus dem umgebenden Gewässer gepumpt.

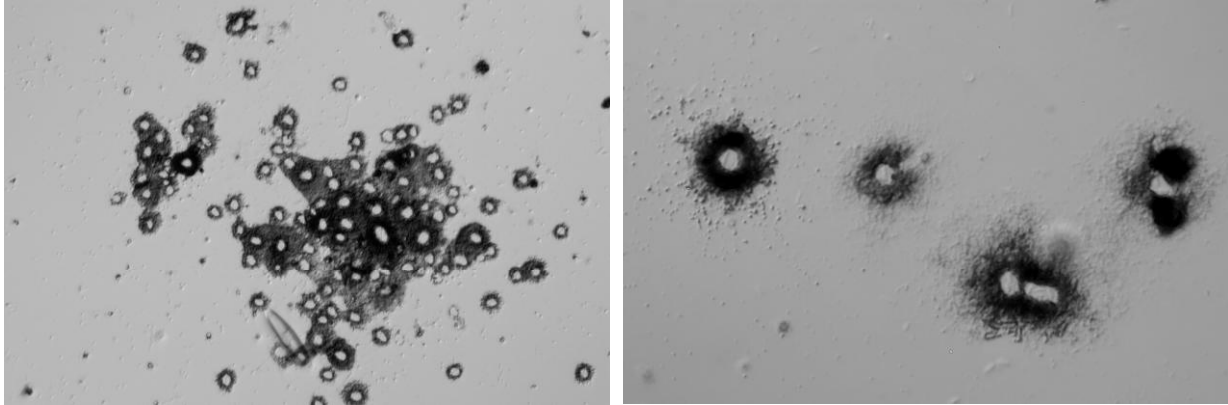


Abb. 4: Mikroskopische Aufnahmen von zwei unterschiedlichen Eisenbakterien, die Eisen um ihre Zellen oder Kolonien herum ablagern. Vergrößerung: links ca. 500x, rechts ca. 1200x.

Um zu untersuchen, ob Schadstoffe in diesen Bioreaktoren abgebaut werden können, wurden dem zufließenden Wasser in sehr geringen Konzentrationen Stoffe zugesetzt, deren Abbau in Kläranlagen, aber auch in natürlichen Gewässern derzeit intensiv untersucht wird. Um zu verhindern, dass Spuren dieser Stoffe, die in den Reaktoren nicht abgebaut wurden, mit dem ablaufenden Wasser ins Gewässer gelangen, wurden Aktivkohlefilter eingesetzt, die die Schadstoffe zuverlässig herausfilterten.

In den Bioreaktoren wuchsen im Laufe der Wochen und Monate viele Organismen aus den Gewässern des Nationalparks auf den Füllkörpern und bildeten dicke Biofilme. In dem Teilprojekt, das von Prof. Rotard, TU Berlin, geleitet wurde, konnte gezeigt werden, dass die Bakterien in den Biofilmen entweder direkt vor Ort oder bei späteren Untersuchungen im Labor in der Lage waren ausgewählte Schadstoffe effektiv abzubauen.

Übertragen auf die natürlichen Lebensräume dieser Bakterien heißt das, dass die Böden und Gewässer des Nationalparks mit ihrer großen Vielfalt an Mikroorganismen, die auf Oberflächen sitzen, wie ein riesiger Biofilter wirken und maßgeblich zum Schadstoffabbau und somit zur Selbstreinigung in dem durch den Nationalpark strömenden Wasser beitragen.

6. Cyanobakterien als Lieferanten für neue Stoffe

Nicht nur bei den Eisenbakterien gibt es eine große Vielfalt im Nationalpark. In den Gewässern und in den Biofilmen traten auch sehr viele unterschiedliche Arten von Cyanobakterien auf. Cyanobakterien sind blaugrün gefärbt und können wie die höheren Pflanzen Photosynthese machen. Sie werden daher umgangssprachlich auch als Blaualgen bezeichnet. Diese Bakteriengruppe ist dafür bekannt, dass sie ungewöhnliche Stoffe produzieren kann.



Abb. 5: Floß mit Aufbau für Bioreaktoren, durch welche mittels solar betriebenen Pumpen Wasser gepumpt wurde, um den Abbau von Schadstoffen zu untersuchen. Außerdem konnten unter dem Floß Objektträger als Aufwuchsfläche für Biofilme exponiert werden.

In zwei weiteren Forschungsteilprojekten, die von der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Isolde Röske an der TU Dresden und der Fa. Cyanobiotec durchgeführt wurden, wurden daher Cyanobakterien aus dem Nationalpark auf ihre Fähigkeit zur Produktion von pharmakologisch interessanten Stoffen untersucht. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, aber es wurden bereits mehrere vielversprechende Stoffe isoliert, deren Wirkungsspektrum in weiteren Studien genau analysiert wird.

7. Ausblick

Die vielfältigen Lebensräume des Nationalparks Unteres Odertal ermöglichen eine hohe Biodiversität nicht nur bei den Tieren und Pflanzen, sondern auch bei den mikroskopisch kleinen Lebewesen, den Mikroorganismen. Die überwältigende Vielfalt der im Nationalpark nachgewiesenen Bakterien stellt auch eine Ressource für die Biotechnologie dar. Sowohl für den Abbau von Schadstoffen als auch bei der Suche nach neuen Naturstoffen findet sich im Nationalpark ein noch lange nicht ausgeschöpftes Potential an neuen Bakterien mit ungewöhnlichen Eigenschaften. Diese Ressource für die Biotechnologie kann ohne Beeinträchtigung der Umwelt genutzt werden, da bereits wenige Milliliter Wasser oder eine kleine, ausgebrachte künstliche Oberfläche ausreichen, um solche Bakterien zu erhalten und dann im Labor im Detail untersuchen zu können.

8. Danksagung

Herrn Beschnidt von der Nationalparkverwaltung möchten wir für seine engagierte Unterstützung sowohl bei der Vorbereitung als auch der Durchführung des Forschungsprojekts danken. Frau Böhme, Brandenburgische Akademie Schloss Criewen, danken wir für die Unterstützung bei der Organisation des Tages der mikrobiellen Artenvielfalt und des Abschluss Symposiums des Forschungsprojektes. Herrn Wendt von der Naturwacht und dem Wasser- und Bodenverband "Welse" danken wir für die Unterstützung bei der Ausbringung der Flöße. Der Wildnisschule Teerofenbrücke danken wir für die Lagerung der Flöße im Winter und vielfältige Hilfe.

Die Forschung wurde u. a. ermöglicht durch ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt, Förderkennzeichen 02WU0715.

Veröffentlichungen:

Braun, B. Richert, I. Szewzyk, U. (2009):

Detection of iron-depositing Pedomicrobium species in native biofilms from the Odertal National Park by a new, specific FISH probe. Journal of Microbiological Methods, 79 (1), 37-41.

Ercolano, L. (2009):

Untersuchung des Phenazonabbaupotentials eisenpräzipitierender Bakterien mittels LC-MS/MS. Bachelorarbeit.

Hummelt, D. (2008):

Optimierung der CARD-FISH-Methode für eisenoxidierende Bakterien im Biofilmen des Nationalparks "Unteres Odertal". Projektarbeit.

Hummelt, D. (2009):

Evaluierung von Oligonukleotid-Sonden zur Detektion von eisenpräzipitierenden Bakterien in nativen Biofilmen. Diplomarbeit.

Krüner, D. (2009):

Optimierung von Oligonukleotid-Sonden für den Nachweis von eisenpräzipitierenden Bakterien in nativen Biofilmen. Bachelorarbeit.

Nielsen, K. (2008):

Optimierung der FISH-Methode für eisenoxidierende Bakterien in Biofilmen des Nationalparks "Unteres Odertal". Projektarbeit.

Oppermann, S. (2009):

Vergleichende Populationsanalyse von Biofilmen des Unteren Odertals mittels DGGE. Projektarbeit.

Pieper, C., Risse, D., Schmidt, B., Braun, B., Szewzyk, U., Rotard, W. (2010):

Investigation of the microbial degradation of phenazone-type drugs and their metabolites by river water derived natural biofilms using liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Water Research*, 44, 4559 – 4569.

Rademacher, A. (2009):

Physiological characterization of iron and manganese precipitating bacteria from the National Park Unteres Odertal. Diplomarbeit.

Richert, I. (2009):

Specific detection of iron and manganese depositing *Pedomicrobium* spec. in biofilms of Nationalpark Unteres Odertal . Diplomarbeit.

Sauter, D. (2009):

Untersuchung des Estrogenabbaupotentials eisenpräzipitierender Bakterienstämme. Studienarbeit.

Schmidt, B. (2008):

Physiologie und Phylogenie eisenoxidierender Bakterienisolate auf schadstoffhaltigen Medien. Diplomarbeit.

Selge, F. (2009):

Vergleichende Populationsanalyse von Biofilmen des Nationalparks Unteres Odertal. Studienarbeit.

Szewzyk, U., Qin, S., Braun, B., Thronicker, O., Böckelmann, U., and Meixner, M. (2008):

Microbial iron oxidation and the degradation of persistent organic pollutants. In: *Microbes and the Environment: Perspectives and challenges*. Eds.: S.-J. Liu and H.L. Drake, Science Press, Beijing.

Szewzyk, U., R. Szewzyk (2007):

Der Nationalpark Unteres Odertal – ein Schutzgebiet auch für Mikroben. In: Vössing, A. (Hrsg.) *Nationalpark-Jahrbuch Unteres Odertal*, Nationalparkstiftung Unteres Odertal, 8-14.

Szewzyk, U., Szewzyk, R., Schmidt, B., and Braun, B.:

Neutrophilic iron depositing bacteria *Annual Biofilm Reviews* (in press).