

# NATUR und WISSEN

Mitteilungen aus dem Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg

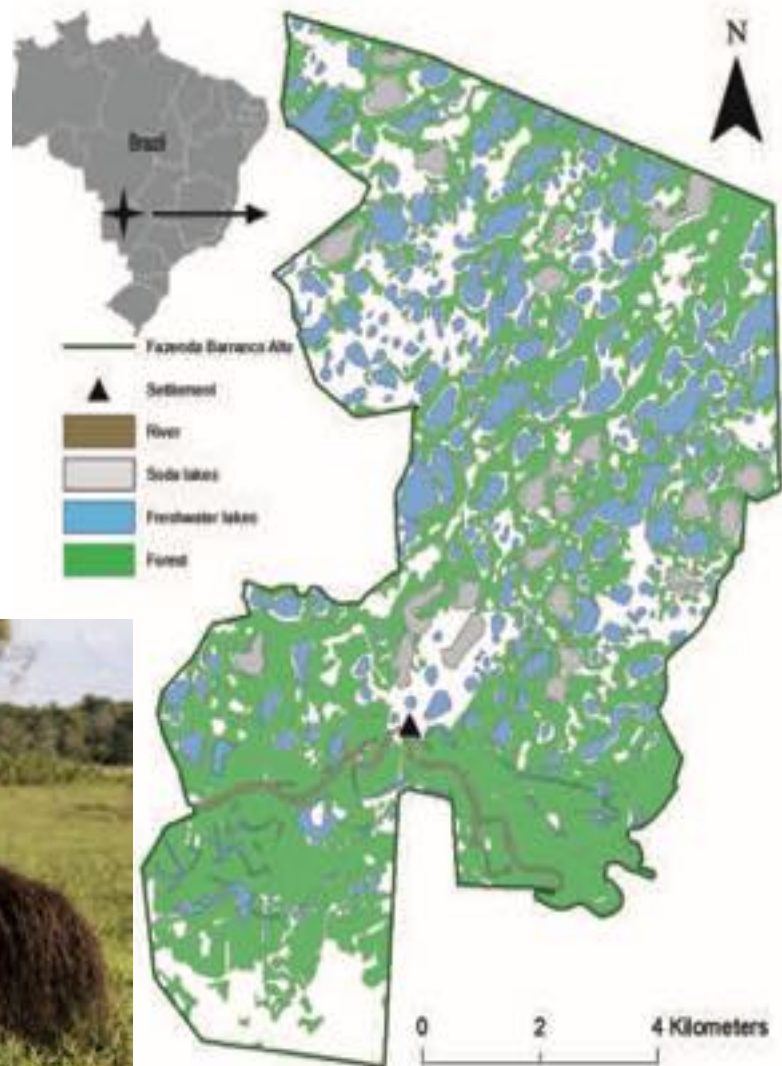


Foto: © Lydia Mücklinghoff, CO.BRA

# NATUR und WISSEN

Mitteilungen aus dem Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg

Heft 16 – 15. Jahrgang 2019

## Inhalt

- 1 Editorial und Bericht des Vorstandes für 2019  
**Sommerausflug 2019**
- 2 Harald Schliemann: Sommeraflug 2019  
**Allgemeine Veranstaltungen: Vorträge**
- 4 Gudrun Wolfschmidt: 400 Jahre Astronomie in Hamburg
- 7 Lydia Möcklinghoff: Auf der Spur des Großen Ameisenbären
- 11 Veit Hennig: Der Zusammenbruch der Bestände des Elbstints und die Folgen für die Vogelwelt  
Christof Ellger: Geotourismus – Reiseerlebnisse im Spannungsfeld zwischen Bildungsauftrag, Geotopschutz und Regionalentwicklung
- 12 Ullrich Riller: Auswirkungen großer Meteoriteneinschläge  
**Öffentliche Vortragsreihe 2017**
- 14 Friedrich Widdel: Mikroben – gefürchtet, benötigt, bewundert
- 19 Alexander Gruhl und Nicole Dubilier: Essen ohne Mund: Symbiosen zwischen darmlosen Meerestieren und Bakterien
- 21 Michael Blaut: Das intestinale Mikrobiom – die unsichtbare Kraft im Verdauungstrakt
- 28 Martin Aepfelbacher: Mikroben und unsere Gesundheit  
Kerstin Kuchta: Mikroben in der Technik
- 31 **Berichte aus dem Verein und den Arbeitsgruppen**  
Wolfgang Linz Bericht über die Exkursion nach Südhessen
- 33 Wolfgang Linz: Jahresbericht 2019 der Geologischen Gruppe  
Wolfgang Linz: Jahresbericht 2019 der Arbeitsgruppe für Geschiebekunde  
Nachruf Friedrich-Karl Zechlin
- 34 Protokoll der Mitgliederversammlung vom 28. März 2019
- 37 Michael Hesemann: Bericht der AG Mikropaläontologie 2019
- 38 Stefan von Boguslawski: Tätigkeitsbericht der Höhlengruppe
- 40 Bob Lammert: Tätigkeitsbericht der AG Mikro 2018

## Impressum

Herausgeber: Naturwissenschaftlicher Verein in Hamburg – gegründet 1837.

Verantwortlich für den Inhalt: Matthias Burba.

Redaktion: Peter Stiewe.

Namentlich gekennzeichnete Artikel geben die Meinung des Verfassers, nicht in jedem Falle die der Redaktion wieder.

Druck: Hamburger Printservice, Martin-Luther-King-Platz 4, 20146 Hamburg.

Redaktionsadresse: NATUR und WISSEN, c/o Zoologisches Museum Hamburg, Martin-Luther-King-Platz 3, 20146 Hamburg.

Email: [info@nwv-hamburg.de](mailto:info@nwv-hamburg.de)

Erscheinungsweise: NATUR und WISSEN erscheint einmal jährlich.

Erscheinungsort: Hamburg.

Auflage: 300 Exemplare. ISSN 1614-0931.

Der Bezugspreis für diese Zeitschrift ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.



Foto: U. Seilenschlo

## Sommerausflug 2018

Seite 2

Der diesjährige Sommeraflug führte uns ins Lauenburgische und zwar zum Elbe-Lübeck-Kanal und nach Mölln.

Ziel des Ausfluges war neben der Altstadt Mölln vor allem zu verstehen, was es mit der sogenannten Stecknitzfahrt auf sich hatte.

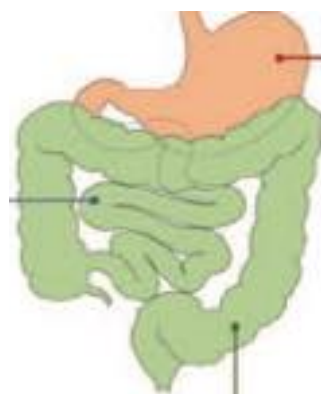


Foto: © Lydia Möcklinghoff COBRA

## Auf der Spur des Großen Ameisenbären

Seite 7

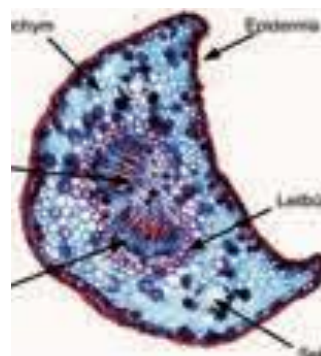
Direkt vor mir gräbt sich der Große Ameisenbär schnaufend durch den Sand. Gesehen, gehört oder gerochen hat er mich offensichtlich noch nicht...



## Das intestinale Mikrobiom – die unsichtbare Kraft im Verdauungstrakt

Seite 21

Obwohl Mikroorganismen mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind, haben sie praktisch alle Lebensräume auf unserem Planeten erobert.



## Tätigkeitsbericht der MIKRO

Seite 40

Der Arbeitsnachmittag der Mikrogruppe widmete sich der Herstellung von Pflanzenschnitten und war mit ca. 25 Teilnehmern außergewöhnlich gut frequentiert.

### Editorial

Liebe Mitglieder des Naturwissenschaftlichen Vereins,  
ein neues Jahrzehnt hat begonnen, Zeit für einen kleinen Rückblick und Ausblick.

Das Jahr 2019 war durch vielfältige Herausforderungen gekennzeichnet.

Da war zunächst der inhaltliche und auch finanzielle Abschluss des Projektes „Quallenatlas“, was eine Reihe von Vorstandsmitgliedern bis an den Rand dessen belastet hat, was zumutbar ist.

Umso größer die Freude darüber, dass es in jederlei Hinsicht ein Erfolg geworden ist.

Die Website wurde grundlegend überarbeitet und bietet jetzt den Gruppen erweiterte Möglichkeiten der Präsentation.

Der Vorstand hat auch beschlossen, die Mitgliederversammlung zu bitten, einer Erhöhung der Beiträge um 10 € zuzustimmen. Das Nähere wird sich aus der Einladung zur Mitgliederversammlung ergeben. Der sehr niedrige Mitgliedsbeitrag wurde seit über 20 Jahren an die Preis- und Leistungssteigerungen nicht angepasst. Die Kostensteigerungen lassen sich leider nicht mehr im Budget abfangen. Wir bitten sehr herzlich um Verständnis für diesen unumgänglichen Schritt.

Die Vernetzung mit anderen Vereinen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund entwickelt sich langsam, schauen wir, was dabei am Ende herauskommt.

Zum Abschluss eine Bitte: in diesem Jahr sind erhebliche Veränderungen im Vorstand zu erwarten, der Ende März in der Mitgliederversammlung zur Neuwahl ansteht. Wenn Sie Interesse an einer Tätigkeit im Vorstand haben, geben Sie sich einen „Schubs“ und informieren - noch besser - bewerben Sie sich. Die Chancen, die Geschicke und Themen des Vereins zu bestimmen, sollten Sie sich nicht entgehen lassen. Es ist eine reizvolle und spannende Aufgabe.

Gerne können Sie mich anschreiben oder anrufen, um Näheres über Hintergründe und Möglichkeiten zu erfahren.

Ihr Matthias Burba

### Bericht des Vorstandes für 2019

Der Vorstand hat sich im Jahr 2019 alle 1-2 Monate als Gesamtvorstand getroffen, um über anstehende Probleme und Veranstaltungen zu beraten.

Daneben haben sich Vorstandsmitglieder annähernd wöchentlich in unterschiedlichen Besetzungen getroffen, um das aktuelle Tagesgeschäft des Vereins zu erledigen.

Bei den Zusammenkünften konzentrierte sich die Arbeit auf die Organisation der Vorträge, Fragen im Zusammenhang mit dem Quallenatlas und der Kommunikation mit den Behörden im Zusammenhang mit der Gefährdung des Elbstints. Ein weiteres intensiv diskutiertes Thema war der beabsichtigte Zusammenschluss von CeNak mit dem Museum Alexander König und den daraus resultierenden Fragen über den Verbleib und die Eigentumsverhältnisse an den Sammlungen, an deren Entwicklung der Naturwissenschaftliche Verein seit mehr als 100 Jahren intensiv Anteil hat und hatte. Auch die Neugestaltung der Website und die Frage, ob unsere Vorträge auch per Video aufgenommen und in das Netz gestellt werden sollten, nahmen einen breiten Raum ein.

Über die Frage, wie wissenschaftlich mit den Fragen der Gefährdung des Elbstints umgegangen werden sollte, hatten wir einen brieflichen Austausch mit der Senatskanzlei, dessen Ergebnis fachlich vielleicht weiterbringt.

Die schriftliche Anfrage nach den Eigentumsverhältnissen an den Sammlungen wurden nach Erinnerungen und Telefonaten nach fünf Monaten durch die Wissenschaftssenatorin beantwortet. Die Stellungnahme der Senatorin legt sich in Bezug auf die Regelung der Eigentumsverhältnisse nicht fest. In einem von dort angebotenen Gespräch werden wir versuchen, unseren Vorstellungen Geltung zu verschaffen. Auch andere in der Museumslandschaft tätige Vereine haben im Zusammenhang mit dem Zusammenschluss Anfragen in Bezug auf die Eigentumsfrage gestellt. Diese sind nach unserer Kenntnis bislang ohne Antwort geblieben.

Es bleibt die Vermutung, dass – wie interne Papiere zeigen – der Zusammenschluss nicht auf Augenhöhe sondern als Übernahme erfolgt. Wenn sich dies bestätigen sollte, wird der Verein über die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die seine Aktivitäten beraten müssen. Schließlich stecken erhebliche Mittel des Vereins in einer Stiftung zusammen mit der Universität, die sich die Neueinrichtung eines Naturkundemuseums zum Ziel gesetzt hat. Dieses Ziel könnte gefährdet sein, wenn sich die Eigentumsverhältnisse an den Sammlungen gravierend ändern.

Die vom Vorstand organisierten Vorträge waren überwiegend gut besucht. Die Vortragsreihe über das Insektensterben fand auch mehrfach in den Tageszeitungen Reaktionen.

Folgende Themen wurden in den Vorträgen näher untersucht:

Donnerstag, 17. Januar 2019, Dr. Gudrun Wolfschmidt, Hamburg:

400 Jahre Astronomie in Hamburg - Von Tycho Brahe bis zur Hamburger Sternwarte

Donnerstag, 28. Februar 2019, Dr. Veit Hennig, Hamburg:

Der Zusammenbruch der Bestände des Elbstints und die Folgen für die Vogelwelt

Donnerstag, 28. März 2019, Dr. Christof Ellger, GeoUnion und Alfred-Wegener-Stiftung Potsdam:

Geotourismus – Reiseerlebnisse im Spannungsfeld zwischen Bildungsauftrag, Geotopschutz und Regionalentwicklung

Donnerstag, 25. April 2019, Dr. Lydia Möcklinghoff, Bonn:

Das brasilianische Pantanal und einer seiner seltsamsten Bewohner, der Große Ameisenbär

Donnerstag, 16. Mai 2019, Prof. Dr. Ulrich Riller, Hamburg: Auswirkungen großer Meteoriteneinschläge

Samstag, 29. Juni 2019, Sommerausflug 2019:

Mölln und die Stecknitzfahrt

Mittwoch, 30. Oktober 2019, Dr. Martin Husemann, Hamburg:

Das große Insektensterben: Fakten und Ursachen

*Fortsetzung Seite 37*



# Sommerausflug 2019

Harald Schliemann

## Sommerausflug unseres Vereins nach Mölln und zu Orten der Stecknitzfahrt am 29. Juni

Der diesjährige Sommersausflug führte uns ins Lauenburgische und zwar zum Elbe-Lübeck-Kanal und nach Mölln.

Ziel des Ausfluges war neben der Altstadt Mölln vor allem zu verstehen, was es mit der sogenannten Stecknitzfahrt auf sich hatte. Im Mittelalter (zwischen 1390 und 1398) wurde auf Betreiben der Hansestadt Lübeck und des



Höhepunkt der wirtschaftlichen Bedeutung des Stecknitzkanals. Ab dem 17. Jahrhundert verlor der Kanal nach und nach an Bedeutung und wurde am Ende des 19. Jahrhunderts durch den modernen Elbe-Lübeck-Kanal ersetzt.

Interessant sind die technischen Einzelheiten des Kanals: Er war 95 km lang und verlief von Lauenburg nach



Elbe-Lübeck-Kanal, Foto: U. Sellenschlo



Elbe-Lübeck-Kanal, Foto: U. Sellenschlo



Schleife der Stecknitzfahrt, Foto: H. Kreuzt



Herr Kreuzt erklärt die Stecknitzfahrt, Foto: P. Stiewe

lauenburgischen Herzogs Erich die Stecknitzfahrt als erste Schiffsverbindung zwischen Lübeck und der Elbe gebaut. Sie überquerte unter Benutzung der Flüsse Delvenau und Stecknitz/Trave sowie eines eiszeitlichen Tunneltals die Wasserscheide zwischen Ost- und Nordsee. Rund 500 Jahre lang wurde der Stecknitzkanal - Stecknitzfahrt ist die alte Bezeichnung für diesen Kanal - vor allem

für den Transport des „Weißen Goldes“, des Salzes aus Lüneburg, genutzt; er löste schon bald nach seiner Fertigstellung die alte Salzstraße ab. Im 15. Jahrhundert wurden 30.000 Tonnen Salz in 3000 Schiffsladungen auf dem Kanal transportiert, es war der

Lübeck. Ursprünglich hatte der Kanal nur eine Wassertiefe von 85 Zentimetern bei einer Breite von 7,5 Metern, erst später wurde er auf 1,44 Meter vertieft und auf 12 Meter verbreitert. Für den Erhalt der Schiffbarkeit mit der erforderlichen Wassertiefe waren insgesamt 17 (!) Schleusen in Betrieb. Das größte Problem war die Wasserhaltung auf der 11 km langen Scheitelstrecke des Kanals.

Das Salz wurde mit den sogenannten Stecknitzprahmen (Tiefgang 40 cm, 12 m Länge und 2,5 m Breite, Kapazität 7,5 t Salz), die nur auf dem Kanal benutzt wurden, transportiert. „Bergaufwärts“ wurden

Stecknitzprahmen (Tiefgang 40 cm, 12 m Länge und 2,5 m Breite, Kapazität 7,5 t Salz), die nur auf dem Kanal benutzt wurden, transportiert. „Bergaufwärts“ wurden





Mölln - Altstadt mit Kirche, Foto: U. Sellenschlo

die Schiffe durch Menschen und Tiere an Leinen gezogen, ein Verfahren, das als Treideln bezeichnet wird. „Bergabwärts“ nutzen die Schiffer den Flutstrom, der durch Öffnung der Schleusentore entstand.

Wir begannen unseren Ausflug um 8.30 Uhr in der Bundesstraße vor dem Parkplatz des Zoologischen Museums, wie immer mit einem Bus des Itzehoer Unternehmens Lampe. Knapp 50 Vereinsmitglieder und Gäste hatten sich zum Ausflug angemeldet - erfreuliche Nachfrage, die die Beliebtheit unserer sommerlichen Ausflüge unterstreicht.

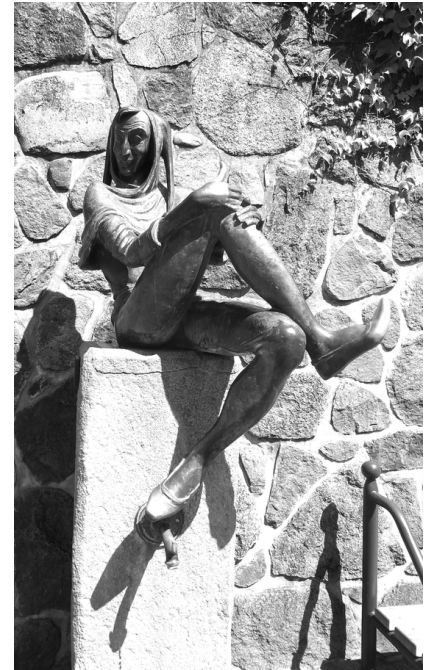
Kurz nach 9 Uhr erreichten wir bei Woltersdorf unseren ersten Halt. Mit einer kleineren Wanderung erreichten wir den Elbe-Lübeck-Kanal an der Stelle, an der die Vegetation noch die Lage der Wasserscheide und des Kanals anzeigte. Um 12 Uhr kamen wir in Mölln an, warfen im Vorbeifahren einen Blick auf den Platz, an dem, wie uns Herr Kreutz erklärte, eine Schleife der Stecknitzfahrt gelegen war. Unsere Fahrt ging weiter in Richtung Altstadt mit dem Ziel des Restaurants „Zum weissen Ross“, in dem wir gemeinsam ein vorher bestelltes Mittagessen zu uns nahmen, eine sehr angenehme Pause, nicht nur der leckeren Gerichte wegen, sondern auch, weil die hohen Temperaturen manchem Mitreisenden ein wenig zu schaffen machten. Nach dem Mittagessen waren aber die meisten bereit, sich einer Führung von Herrn Kreutz durch die Altstadt rund um die Kirche anzuschließen. Da Herr Kreutz im Zentrum von Mölln wohnt,

kamen seine Erläuterungen zur Geschichte und einzelnen Bauwerken aus erster Hand. Wir erfuhren anschaulich, dass diese Altstadt ein geschichtliches und bauliches Kleinod ist!

Unser abschließender, sehr erholsamer Programmpunkt war die etwa einstündige Fahrt mit der MS Till auf den Möllnern Seen, von denen wir immer wieder die reizvolle Kulisse der Möllner Altstadt bewundern konnten. Um ca. 17 Uhr traten wir die Rückfahrt an - mit dem freudigen Gefühl, einen lehr- und erlebnisreichen Tag in der richtigen Gesellschaft verbracht zu haben.

Herrn Kreutz ist extra für vorzügliche Vorbereitung der Fahrt und ihre Organisation ein herzliches Dankschön zu sagen.

„Captain Jack Sparrow“ fuhr uns über den Möllner See, Foto: H. Kreutz



Till Eulenspiegel, Foto: U. Sellenschlo



Möllner Kopfsteinpflaster, Foto: P. Stiewe

Vortrag vom 17. Januar 2019

**Gudrun Wolfschmidt**

### 400 Jahre Astronomie in Hamburg - Von Tycho Brahe bis zur Hamburger Sternwarte

#### Astronomie in Barockzeit und Aufklärung

Hamburg hat eine lange Tradition in Astronomie, sogar im Stadtwappen sind Sterne. Vor 400 Jahren weilte der große Astronom Tycho Brahe (1546-1601) in Wandsbek im Schloß des Grafen Heinrich von Rantzau. Dort publizierte Tycho 1598 sein Hauptwerk über seine Sternwarten Uraniborg 1576 und Stjerneborg 1584 mit den innovativen Instrumenten und mit seinen präzisen Beobachtungen, die Grundlage für die Keplerschen Gesetze wurden.

Es gab verschiedene astronomische Aktivitäten der Kometenbeobachter und Kalenderschreiber in Hamburg im 17. und 18. Jahrhundert. Besondere Beachtung verdient die „Kunst-Rechnungs-liebende Societät“ (1690), heute „Mathematische Gesellschaft“, die den „Den Nutzen der Astronomie bey der Kauffmannschaft“ betonte. Ein erstes Observatorium, „Steernenkerkerhuus“, errichtete Johann Beyer (1673-1751), mechanischer und optischer Instrumentenmacher, am Baumwall (1721). Am Akademischen Gymnasium wurde Astronomie unterrichtet und der erste Leiter, Joachim Jungius (1587-1657), beobachtete Sonnenflecken 1612/13 und den veränderlichen Stern „Mira Ceti“ (der Wunderbare im Sternbild Walfisch) 1647 vom Turm der Nikolaikirche. Die „Patriotische Gesellschaft“ in Hamburg (\*1765) diente ab 1785 kurz als Navigationsschule, gegründet 1749, bis Johann Georg Büsch (1728-1800) das Baumhaus am Binnenhafen auch als Sternwarte und Navigationsschule (1790) nutzte. Johann Elert Bode (1747-1826) und Johann Franz Encke (1791-1865), in Hamburg geboren, wurden berühmt als Direktoren der Berliner Sternwarte. Schließlich gelang es Johann Friedrich Benzenberg (1777-1846), durch Fallversuche an der Michaeliskirche 1802 die Erdrotation nachzuweisen - rund 50 Jahre vor dem Foucault-Pendel.

#### Astronomie im 19. Jahrhundert

Im 19. Jahrhundert spielen die beiden Sternwarten in Altona (1821) und Repsold's Sternwarte am Millerntor (1825) für Vermessung, Zeitbestimmung und Navigation eine wichtige Rolle im Kontext der Entstehung (natur)wissen-

schaftlicher Institutionen vor der Gründung der Universität (1919):

- 1749 Navigationsschule Hamburg
- 1799 Instrumentenfirma Repsold
- 1802 erste Sternwarte Johann Georg Repsold's am Stintfang
- 1810 erster Botanischer Garten
- 1821 zweiter Botanischer Garten
- 1823 Sternwarte Altona
- 1832 Botanisches Staatsinstitut
- 1825 „neue“ Sternwarte mit Navigationsschule am Millerntor
- 1833 Sternwarte am Millerntor wird Staatsinstitut
- 1843 Naturhistorisches Museum
- 1875 Deutsche Seewarte
- 1876 Chronometer-Prüfungsinstitut
- 1878 Chemisches Staatslaboratorium
- 1883 Botanisches Museum am Steintor
- 1885 Physikalisches Staatslaboratorium
- 1885 Laboratorium für Warenkunde
- 1894 Pharmazeutische Lehranstalt
- 1898 Hamburger Erdbebenwarte Hohenfelde
- 1900 Institut für Schiffs- und Tropenkrankheiten
- 1903 Hauptstation für Erdbebenforschung (Jungiusstraße)
- 1907 Hamburgische Wissenschaftliche Stiftung
- 1908 Kolonialinstitut

1906-1912 Bau der Hamburger Sternwarte in Bergedorf

Das Vorlesungsgebäude am Dammtor (1911) wird von einer Armillarsphäre gekrönt, die das Universum symbolisiert.

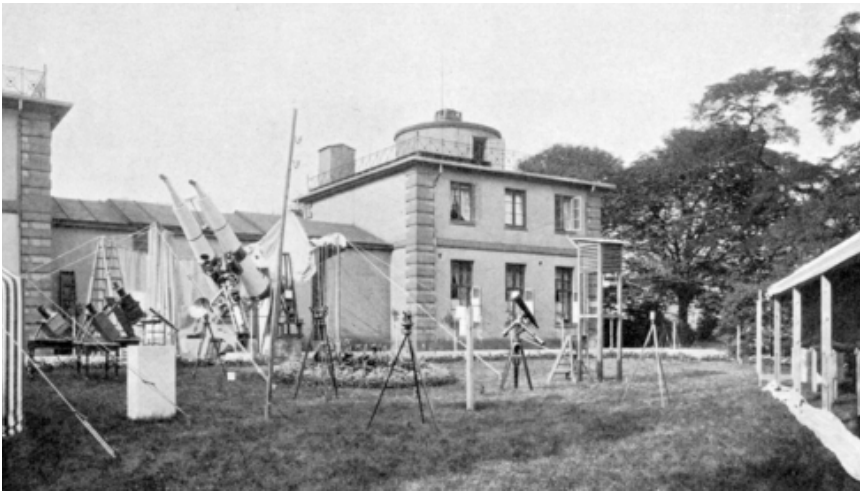
Neben den Sternwarten vom Oberspritzenmeister Johann Georg Repsold (1770-1830), 1802 und 1825, gab es 1823 bis 1873 die „Sternwarte Altona“ an der Palmaille 9, begründet von Heinrich Christian Schumacher (1780-1850), der die Vermessung Dänemarks in Kooperation mit Repsold in Hamburg und Carl Friedrich Gauß (1777-1855) im Königreich Hannover durchführte; die zugehörige Meridianlinie 0h30m25s östlich von Paris ist am S-Bahnhof Königsstrasse markiert (Greenwich als internationaler Nullmeridian wurde erst 1884 festgelegt). Wichtig war zudem die Gründung der „Astronomischen Nachrichten“ (1821), die älteste bis heute existierende astronomische Zeitschrift.

An Repsold und seine Sternwarte erinnert noch heute ein Denkmal hinter dem „Museum für Hamburgische Geschichte“, das 1914 bis 1922 am Gelände der Millerntor-Sternwarte gebaut wurde. Nach dem Tod von Repsold wurde von 1830 bis 1857 Karl Ludwig Christian [Charles] Rümker (1788-1862), der 1820 bis 1830



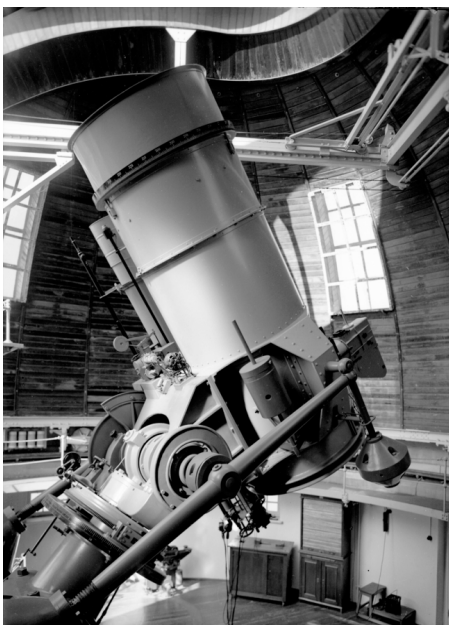
Gebäude des Grossen Refraktors der Hamburger Sternwarte in Bergedorf (1912), saniert 2019 (© Gudrun Wolfschmidt)





Hamburger Sternwarte am Millerntor, erbaut 1825, bei der Vorbereitung zur Sonnenfinsternis 1905 (© Hamburger Sternwarte)

im Paramatta Observatory bei Sydney gewirkt hatte, zum Direktor der Millerntor-Sternwarte ernannt. Seine Frau Mary Hannah Rümker, geb. Crockford (1809-1889) entdeckte übrigens 1847 sogar einen Kometen. Die instrumentelle Ausstattung wurde laufend verbessert, besonders 1867 durch das 26cm Äquatorial (G. & S. Merz, A & G. Repsold). Der Sohn George Rümker (1832-1900) leitete die Sternwarte 1857/67 bis 1900 und kümmerte sich nicht nur um Sternkataloge, sondern besonders um Navigation und Zeitbestimmung. Er errichtete den Zeitball im Hamburger Hafen (1876), der den Schiffen die präzise Zeit lieferte für den Längengrad auf See, gesteuert von der Hamburger Sternwarte. Trotz Einführung der drahtlosen Telegraphie / Funktechnik 1912 wurde der Zeitball noch bis 1934 genutzt. Die Navi-



1m-Spiegelteleskop, Carl Zeiss Jena (1911), restauriert 2011/12 (© Hamburger Sternwarte)

gationsschule wurde 1872 von der Sternwarte getrennt, Albert Erbe (1868-1922) errichtete das neue repräsentative Gebäude am Elbhang 1905 (heute Seewetteramt). Aus Repsolds Werkstatt für astronomische und geodätische Instrumente (1799) ging die berühmte Firma A. & G. Repsold (ab 1830) hervor, umbenannt in A. Repsold & Söhne, 1867 bis 1919, die an Sternwarten in aller Welt lieferte.

#### Blütezeit der Astronomie ab 1900

Ein großer Wandel trat an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert ein. Die Sternwarte am Millerntor, seit 1833 Staatsinstitut, litt ab Ende des 19. Jahrhunderts unter Luft- und Lichtverschmutzung durch die Dampfschiffe am Hafen, die Fabriken am Hamburger Berg, die Gas- oder elektrische Beleuchtung und den Erschütterungen durch die Strassenbahn. Daher plante Richard Schorr (1867-1951), neuer Direktor von 1902 bis 1941, mit erstaunlichem Weitblick einen Neubau der Sternwarte in Hamburg-Bergedorf. Die sehr moderne Gruppen-Anlage als Astronomiepark mit Trennung der Beobachtungskuppeln von den Arbeits- und Wohngebäuden realisierte Albert Erbe 1906 bis 1912 in neobarockem Stil.

Die auf dem Gelände der Sternwarte installierten Teleskope repräsentieren einerseits die „klassische Astronomie“, andererseits die um 1900 neuentstehende Astrophysik. Zur ersten Gruppe mit dem Hauptziel der Positionsbestimmung, der visuellen Beobachtung und der Zeitbestimmung für Navigationszwecke gehören das Äquatorial, der Meridiankreis und der Große Refraktor. Zur modernen astrophysikali-

schen Forschung gehören das 1m-Spiegelteleskop, ferner die Astrographen und der große Schmidt-Spiegel, schließlich das Oskar-Lühning-Teleskop (1975).

Von den 1920er Jahren bis in die 50er Jahre wurden die Fundamentalsterne für die Kataloge der „Astronomischen Gesellschaft“ präzise vermessen. In den 1960er Jahren wurde an der Hamburger Sternwarte das erste computergesteuerte, photoelektrische Meridiankreis-Teleskop entwickelt. 1967 wurde dieser modernisierte Meridiankreis zur Vermessung der Südhalbkugel nach Perth in Australien verschifft, um auch am südlichen Sternhimmel wertvolle astrometrische Arbeiten zu leisten (Perth-Kataloge 1969 bis 1987). Nachdem in Hamburg kein Geld für die Rückführung aus Australien zur Verfügung stand, wurde er 1989 vom Deutschen Museum in München gerettet; damals plante ich gerade die neue (Dauer-)Ausstellung Astronomie. Der Große Refraktor (Steinheil/Repsold, 1911) in der 13m-Kuppel mit einer innovativen Zeiss-Hebebühne ist das eindrucksvollste Instrument der Hamburger Sternwarte und zählt zu den großen Refraktoren der Welt; die umfangreiche Sanierung und Restaurierung wurde gerade abgeschlossen.

Das 1m-Spiegelteleskop, Carl Zeiss, Jena, 1911, wurde für moderne astrophysikalische, besonders spektroskopische Untersuchungen verwendet. Mit diesem Instrument - damals das größte Europas und drittgrößte der Welt - gelang Carl Zeiss Jena der Durchbruch für den europäischen Instrumentenbau. Der berühmte Astronom Walter Baade (1893-1960) machte in den 1920er Jahren bahnbrechende Arbeiten über Veränderliche Sterne in Kugelsternhaufen, die in den 1950er Jahren zum Konzept der Sternpopulationen weiter entwickelt wurden, worauf bis heute unsere Vorstellungen über die Struktur der Galaxien beruhen.

Astrographen sind lichtstarke, kurz-brennweitige Linsenteleskope für photographische Beobachtungen. Mit dem Lippert-Astrographen wurde die „Bergedorfer Spektraldurchmusterung“ (1935 bis 1953), Teil eines umfangreichen, internationalen Programms zur Stellarstatistik, durchgeführt. Die exakten Positionsbestimmungen von Sternen, auch mit dem AG-Astrographen und dem Zonenastrographen (Zeiss, Oberkochen, 1975), haben entscheidend zum internationalen Ruf der Hamburger Sternwarte beigetra-

gen und stellen noch heute die Basis für die Satelliten-Astrometrie dar (Hipparcos-Satellit, 1989/93). Ein besonders Highlight ist das vom estnischen Optiker Bernhard Schmidt (1879-1935) um 1930 in Hamburg erfundene, photographische Teleskop, das sich durch eine verzerrungsfreie optische Abbildung auszeichnet ohne Bildfehler (sphärische Aberration, Koma und Astigmatismus). Der Große 80cm-Schmidt-Spiegel wurde 1954 von Carl Zeiss Jena fertiggestellt. 1976 wurde der Hamburger Schmidtspiegel zum Calar Alto Observatorium nach Spanien verlegt, wo es den Nordhimmel nach Quasaren durchmusterte (Hamburg-Quasar-Survey, 1983 bis 2000).

Als Nachfolger Schorrs wurde Otto Heckmann (1901-1983) ernannt, Direktor von 1942 bis 1962. Er beschäftigte sich mit der aufstrebenden Astrophysik, unter anderem mit Sonnenphysik, photographischer Photometrie, Kosmologie und Allgemeiner Relativitätstheorie. 1953 gehörte Heckmann zu den ersten Astronomen, die eine europäische Südsternwarte gründen wollten. 1962 wurde in Bergedorf, mit starker Beteiligung der Hamburger Sternwarte, die „Europäische Südsternwarte“ (ESO) gegründet und Heckmann wurde ihr erster Generalsekretär (1962 bis 1969). 1968 wurde das Staatsinstitut Hamburger Sternwarte als Institut in den Fachbereich 12 (Physik) der Universität Hamburg aufgenommen und ist seitdem einer der wichtigen Forschungsschwerpunkte der Physik, auch Teil des Exzellenzclusters „Quantum Universe“ (Mathematik, Teilchenphysik, Astrophysik, Kosmologie).

### **Die Hamburger Sternwarte in Bergedorf, ein Kulturdenkmal von internationaler Bedeutung**

Die architektonische, wissenschafts- und technikhistorische Bedeutung der Hamburger Sternwarte ist enorm groß. Das Ensemble der eindrucksvollen Gebäude, der hervorragenden instrumentellen Ausstattung und der technischen Details ist glücklicherweise praktisch vollständig und weitgehend im Originalzustand erhalten. Der „Förderverein Hamburger Sternwarte e.V.“ (\*1998) bemüht sich um Erhaltung des seit 1996 denkmalgeschützten Gebäudeensembles und organisiert zahlreiche Events (u.a. Führungen, Vorträge, Beobachtungsabende und Lange Nacht der Museen). Für sein langjähriges Engagement für die Sanierung der Gebäude durch Einwerbung von Geldern

bei zahlreichen Stiftungen und Institutionen, u.a. bei der Stiftung Denkmalpflege Hamburg, Deutschen Stiftung Denkmalschutz und besonders bei der Reemtsma-Stiftung, wurde der Förderverein Hamburger Sternwarte 2006 mit dem „Deutschen Preis für Denkmalschutz“ ausgezeichnet. Im Frühjahr 2008 wurde der Sternwarte der Status eines „Kulturdenkmals von nationaler Bedeutung“ zuerkannt, eine wichtige Voraussetzung auf dem Weg zum Weltkulturerbe.

Die Hamburger Sternwarte dokumentiert wie kaum eine andere Sternwarte auf der Welt den Wechsel von der klassischen Astronomie zur modernen Astrophysik, was sich sowohl in der repräsentativen Architektur und modernen Anlageform (Astronomiepark), als auch in der innovativen Instrumentierung bemerkbar macht (UNESCO-Kriterium „Outstanding Universal Value“, einzigartiger universeller Wert). Ferner befindet sich das Kulturdenkmal in einem nahezu originalen Zustand („Integrität“), wobei es durch die Präsenz des Forschungsinstituts Hamburger Sternwarte der Universität Hamburg einen überaus hohen Grad an „Authentizität“ besitzt. Daher stellt sie ein wissenschafts-, technik- und architekturgeschichtliches Kulturdenkmal von nationaler und internationaler Bedeutung dar - eine Bewerbung um die Aufnahme in die Unesco-Liste zusammen mit dem Observatorium La Plata, Argentinien, ist in Vorbereitung (vgl. auch Wolfschmidt 2009).

### **Literaturhinweise zur Vertiefung**

Koch, Jürgen W.: Der Hamburger Spritzenmeister und Mechaniker Johann Georg Repsold (1770-1830), ein Beispiel für die Feinmechanik im norddeutschen Raum zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Norderstedt: BoD 2001.

Schramm, Jochen: Sterne über Hamburg. Hamburg: Kultur- und Geschichtskontor 1996, neu bearbeitet und erweitert 2010.

Wolfschmidt, Gudrun (ed.): Cultural Heritage of Astronomical Observatories - From Classical Astronomy to Modern Astrophysics. Berlin: Bäßler-Verlag (ICOMOS - International Council on Monuments and Sites, Monuments and Sites XVIII) 2009.

Wolfschmidt, Gudrun (Hg.): Sonne, Mond und Sterne - Meilensteine der Astronomiegeschichte. Hamburg: tradition (Nuncius Hamburgensis - Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften; Band 29) 2013.

Wolfschmidt, Gudrun (Hg.): Kometen, Sterne, Galaxien - Astronomie in der Hamburger Sternwarte. Zum 100jährigen Jubiläum der Hamburger Sternwarte in Bergedorf. Hamburg: tradition (Nuncius Hamburgensis - Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften; Band 24) 2014.

### **Anschrift der Verfasserin:**

Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt  
Hamburger Sternwarte  
Gojenbergsweg 112  
21029 Hamburg



Parkgelände der Hamburger Sternwarte, Foto: P. Stiewe



Lydia Möcklinghoff, Karl-L. Schuchmann, Marinez Isaak Mendez  
Auf der Spur des Großen Ameisenbären (*Myrmecophaga tridactyla*)  
– Forschung im brasilianischen Feuchtgebiet des Pantanal.

*Direkt vor mir gräbt sich der Große Ameisenbär schnaufend durch den Sand. Gesehen, gehört oder gerochen hat er mich offensichtlich noch nicht. So vollkommen gelöst in seiner Existenz, wie es nur ein Ameisenbär sein kann. Abgesehen von einer großen AMEISE passt gerade nichts in sein kleines Hirn (das ist nur so groß wie eine Walnuss). Die lange, bananenförmige Schnauze stöbert im Gras, während der Wind in der brasilianischen Savanne den buschigen, dunkelbraunen Schwanz zerzauselt. Ich hocke vor dem Tier im kurzen Gras und beobachte, wie der Ameisenbär seine Nahrung, die tatsächlich ausschließlich aus Ameisen und Termiten besteht, mit der langen, wurmförmigen Zunge aufschleckt. Wie die Ameise an seiner Zunge, bin ich als Zoologin mit meiner Forschung vor vielen Jahren an diesem faszinierenden Tier Mittel- und Südamerikas kleben geblieben. Heute arbeite ich im Feuchtgebiet des Pantanal, im Herzen Südamerikas, an einer Langzeitstudie zur dortigen Säugetierfauna mit besonderem Fokus auf Ökologie und Verhalten des Großen Ameisenbären.*

### Das Pantanal

Legt man seinen Finger auf der Landkarte genau in die Mitte des Südamerikanischen Kontinents, zeigt man auf das Süßwasserfeuchtgebiet und Naturparadies des Pantanal. Mit einer Ausdehnung von etwa 150.000 Quadratkilometern, das entspricht ungefähr der halben Fläche Deutschlands, ist dieses Ökosystem eines der größten Binnenfeuchtgebiete unserer Erde. Der größte Teil (90%) erstreckt sich im Westen Brasiliens, kleinere Bereiche (10%) reichen bis nach Paraguay und Bolivien. Einmal jährlich, zur Regenzeit, wird das vielfältige Mosaik aus Galeriewäldern, Grassavannen, Flüssen, Salz- und Süßwasserseen großflächig überschwemmt (Abb.1). Das liegt daran, dass das Pantanal eine Tiefebene ist, die entweder absackte, als sich die Anden erhoben oder durch Konvektion des äußeren Erdmantels entstand. Jetzt hat es grob gesagt die Topographie eines Suppentellers, mit Steilhängen rund herum. Von diesen Hängen läuft das Wasser ins Pantanal, wenn im Oktober oder November die sommerlichen Regenfälle einsetzen.



Abbildung 1: Das reiche Lebensraummosaik des Südlichen Pantanal.

Zusätzlich füllt der Regen den Rio Paraguay, der dann von Norden nach Süden in die unzähligen Seitenkanäle, Sümpfe und Seen drückt. So liegt der Wasserstand zur Regenzeit im Durchschnitt einen Meter, lokal und je nach der Regenmenge sogar bis zu 7 Meter über dem Stand zur Trockenzeit. Die Tier- und Pflanzenwelt ist sehr gut an diese Dynamik angepasst. Aufgrund seiner unzähligen Makro- und Mikrolebensräume zählt das Pantanal zu den Biodiversitätshotspots unseres Planeten und wurde von der UNESCO als Weltnaturerbe ausgewiesen. Weil die Grenzen des Feuchtgebiets nicht ganz klar definiert sind, variieren auch je nach Studie die Artenzahlen. Um die 159 Säugetierarten, über 600 Vogelarten, knapp 100 Reptilienarten, 53 Amphibienarten, 300 Fischarten und 3500 Pflanzenarten sind bis heute registriert. Die Natur des Pantanal ist verschiedenen Bedrohungen ausgesetzt, dazu gehören Staudammprojekte



Abbildung 2: Für die traditionelle Rinderzucht ist für die Cowboys seit Jahrhunderten das Pferd das wichtigste Fortbewegungsmittel

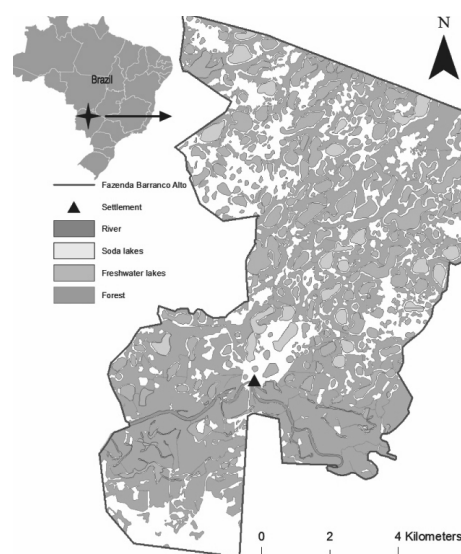


Abbildung 3: Karte von unserem Studiengebiet auf Fazenda Barranco Alto.

te, Straßenbau und vor allem die Intensivierung der Landnutzung. Aktuell wurde der seit zehn Jahren per Dekret verbotene Anbau von Zuckerrohr im Feuchtgebiet wieder freigegeben. Die Folgen sind noch nicht absehbar.

Unser Studiengebiet liegt im Süden des Pantanals, am Rio Negro in der Sub-Region Nhêcolandia. Eine Besonderheit für diese Gegend sind Salzseen, sogenannte Salinas. Diese sind vor allem ornithologisch von Interesse, denn die hohe Dichte an Insektenlarven im brackigen Wasser zieht zahlreiche Watvogelarten wie den Nordamerikanischen Schwarznackten-Stelzenläufer (*Himantopus mexicanus*) und verschiedene Regenpfeiferarten (Charadriidae) an. Die Natur ist hier, fernab der Stadt, gut erhalten. Die Bestände einiger stark bejagter und bedrohter Arten haben sich in diesem Teil des Feuchtgebiets sogar erholt, nachdem 1967 die Jagd auf alle Wildtiere in Brasilien per Gesetz verboten wurde und kurz darauf das Washingtoner Artenschutzabkommen folgte, also das »Übereinkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen« (CITES), das den Handel von einer langen Reihe von Tier- und Pflanzenarten absolut oder eingeschränkt auf internationaler Ebene verbietet. Zu den Arten, die fast verschwunden waren und heute wieder ein häufiger Anblick am Rio Negro sind, gehören die Riesenotter (*Pteronura brasiliensis*), Brillenkaimane (*Caiman yacare*) und Hyazintharas (*Anodorhynchus hyacinthinus*). Das Naturparadies des südlichen Pantanals ist jedoch keine ultimative Wildnis. Im Gegenteil: Über 95% der Landschaft sind in Privatbesitz. Die vorherrschende Nutzungsform ist eine ca. 300 Jahre alte, sehr traditionelle Form der Rinderzucht (Abb.2). Diese Art der extensiven Bewirtschaftung gilt als nachhaltig, da als Viehweiden die natürlichen Schwemmlächen genutzt werden und nicht großflächig abgeholzt wird. Die widerstandsfähigen Nelore-Rinder, die hier gezüchtet werden, kommen mit den nährstoffarmen natürlichen Gräsern und dem Überschwemmungsregime zurecht. Tritt- und Fraßschäden der Rinder verhindern teilweise die Verbuschung der Grassavannen durch dominante Pflanzenarten wie *Brysonima orbignyana*. Diese offenen Bereiche bilden Lebensräume für bedrohte Savannenarten wie den Pampashirsch (*Ozotoceros bezoarticus*). Durch das funktionierende Neben- oder

Miteinander von Natur und Mensch wurde das Pantanal von der UNESCO nicht nur als Weltnaturerbe, sondern gleichzeitig als Biosphärenreservat ausgewiesen.

In den letzten Jahrzehnten geht diese traditionelle Cowboykultur und mit ihr die Natur des südlichen Pantanal jedoch zunehmend verloren. Es findet ein Generationenwechsel bei den Farmbesitzern statt. Für schnelles Geld wird die natürliche Vegetation auf großen Flächen ausgeräumt. Die Hölzer werden von Holzkohleunternehmen aufgekauft und direkt vor Ort verbrannt. Die entstandenen Flächen werden für Viehweiden mit afrikanischen Grassorten bepflanzt, die mehr Nährstoffe als die natürlichen Gräser haben. Nachhaltig ist das Ganze übrigens nicht: Die fremden Gräser können das Wasser nicht gut speichern. Daher versanden die Flächen nach wenigen Jahren und müssen mit teurem Saatgut immer wieder von neuem besät werden. Das macht den anfänglich höheren Gewinn oft wieder zunichte. Dennoch scheint es unaufhaltsam: Jedes Jahr, wenn ich in der kleinen Cessna in mein weit abgelegenes Studiengebiet fliege, sehe ich auf dem Weg neue „Löcher“, die sich in Form von entwaldeten Quadraten in die Landschaft gefressen haben. Laut Conservation International könnte die vielfältige Natur des südlichen Pantanal bis 2050 vollständig Viehweiden zum Opfer gefallen sein.

Was also tun? In so einer uralten Kulturlandschaft, kann die Ausweisung von Schutzgebieten nur ein Teil der Problemlösung sein. Langfristig muss eine Nutzungsform entwickelt werden, die ökonomisch Sinnvolles mit nachhaltigem und wildtierverträglichem Landmanagement verbindet. Für solche Konzepte ist Forschung nötig.

Mit unserem Projekt über die Säugetierfauna dieser Region möchten wir daher einen Beitrag leisten. Wir möchten herausfinden welche Arten es überhaupt gibt, welche Lebensräume sie nutzen und welche Form und vor allem Intensität der Landnutzung verträglich ist oder ein Problem darstellen könnte. Hierfür verwenden wir Kamerafallen, die wir in verschiedenen Lebensräumen, Schutzgebieten und Gegenden unterschiedlicher Landnutzung aufhängen. Kamerafallen sind autonome Fotoapparate, die bei Wärme und Bewegung von selbst auslösen – also bei allen warmblütigen Tieren, die vorbeigelaufen kommen. Gleichzeitig werden zahlreiche Metadaten wie Uhrzeit, Datum, Mondphase und Wetter aufgezeichnet (Abb.4). Es werden also über die reine Inventarisierung hinaus viele schutzrelevante Informationen wie über die Lebensweise von Säugetierarten gesammelt.

#### Kamerafallenstudie im Pantanal

Unsere Studie ist am Zoologischen Forschungsmuseum Koenig unter Betreuung von Prof. Dr. K.-L. Schuchmann verankert und ein Zweig des größeren Projektes „Sounds of the Pantanal - The Pantanal Automated Audiovisual Biodiversity Monitoring Program“ des Brazilian National Wetland Instituts (INAU, SISBIO Lizenz 66056-1). Sie wird in Kooperation mit Forschern des CO.BRA durchgeführt, einem interdisziplinären Forschungsnetzwerk mit Basis an der Staatlichen Universität von Mato Grosso (UFMT) in Brasilien. Die Hauptfinanzierung für unsere Studie leistet der Dortmunder Zoo. Die Feldarbeit führen wir auf Fazenda Barranco Alto (19.576°S, 56.153°W) durch, einer traditionell gemanagten Rinderfarm im Südlichen Pantanal (Abb.3). Hier stehen ca. 2000 Rindern auf



Abbildung 4: Kamerafallenaufnahme eines Jaguars (*Panthera onca*) mit Informationen zu Datum, Zeit, Temperatur und Mondphase im Augenblick der Aufnahme. (C)CO.BRA



110 km<sup>2</sup> und es gibt eine kleine angeschlossene Gästelodge für maximal 14 Touristen. Die Natur ist in weiten Teilen noch gut geschützt, statt abgeholzt wird aufgeforstet. Die Farm liegt an den Ufern des Rio Negro Flusses und deckt ein Maximum der lokalen Lebensräume ab. Darum ist sie nicht nur für den Ökotourismus, sondern auch für die Forschung von besonderem Interesse.

Für unsere Kamerafallenstudie haben wir mit dem Computer ein Gitternetz aus 100 Positionen generiert, die sich im Abstand von 1x1km zueinander befinden. An jeder dieser Positionen installieren wir seit 2010 eine unserer Kamerafallen für mindestens sieben Tage im Jahr. Beim Aufhängen nutzen wir immer die exakt gleichen Orte und Winkel, um langfristige Effekte und Veränderungen beobachten zu können. Durch die standardisierte Verteilung der Positionen stellen wir sicher, dass ein Maximum der vorhandenen Lebensräume abgedeckt ist.

Zwischen 2010 und 2017 hingen die Kamerafallen insgesamt 4492 Tage aktiviert an ihren Positionen. Dabei haben sie 33 Säugetierarten registriert, darunter regionale Erst-sichtungen wie den Waldhund (*Speothos venaticus*) oder die Pampaskatze (*Leopardus colocolo*). Es konnten einige Lebensraumspezialisten identifiziert werden, die nahezu ausschließlich in den Wäldern des Pantanal leben. Dazu gehören zum Beispiel das Neunbinden-Gürteltier (*Dasyurus novemcinctus*) und Azara-Aguti (*Dasyprocta azarae*). Ihre regionalen Bestände sind durch die fortschreitenden Abholzungen ganz besonders bedroht.

Einige Säugetierarten sind uns jedoch buchstäblich durchs (Kamerafallen-)Raster gerutscht: Sie wurden nicht durch die Fallen, sondern von uns Wissenschaftlern im



Abbildung 6: Große Ameisenbären (*Myrmecophaga tridactyla*) gehören zu den ursprünglichen Tieren Südamerikas. (c)Lydia Möcklinghoff\_CO.BRA

Zuge der Feldarbeit registriert und fotografiert. Dazu gehört das seltene Nacktschwanz-Gürteltier (*Cabassous unicinctus*; Abb.5), der Azara-Kapuzineraffe (*Sapajus cay*), der Mähnenwolf (*Chrysocyon brachyurus*) und verschiedene Kleinsäuger. Es empfiehlt sich also eine Kombination aus Direktbeobachtungen und Kamerafallenarbeit für eine vollständige Inventarisierung.

Zusätzliche Informationen wird die laufende Analyse der Metadaten liefern, die die Kamerafallen bei jeder Aufnahme abspeichern. Dabei können Aktivitätsmuster und Lebensraumnutzung in Abhängigkeit zu Datum und Zeit sowie Temperatur und Mondphase analysiert werden. Erste Ergebnisse dieser Analyse zeigten zum Beispiel für den Großen Ameisenbären, dass er bei Temperaturen über 30 °C oder unter 20 °C deutlich inaktiver ist, und sich bei diesen Temperaturen in den Wald zurückzieht. Sollten die Klimaprognosen zutreffen, die für das Pantanal in den nächsten Jahrzehnten eine Erwärmung von bis zu 7°C und 30% mehr Tro-

ckenheit vorhersagen und das bei gleichzeitig voranschreitenden Abholzungen, könnte es also für den Ameisenbären, aber auch für andere Säugetierarten problematisch werden.

#### Forschung am Großen Ameisenbären

Der Große Ameisenbär steht als Charakterart Südamerikas und wichtiger Botschafter für den Schutz der brasilianischen Natur im Zentrum unserer Forschung. Er ist kein Bär im biologischen Sinne, sondern gehört mit Faultieren und Gürteltieren zur Ordnung der „Nebengelenktiere“. Sie alle sind typische Tiere für die Natur Süd- und Mittelamerikas, und heißen so, weil sie über ein Extra-Gelenk in der Wirbelsäule verfügen. Insgesamt gibt es drei Gattungen von Ameisenbären. Zwerg- oder auch Seidenameisenbären sehen ein bisschen aus wie Eichhörnchen und leben ausschließlich in Bäumen, Tamanduas sind etwa so groß wie Katzen und leben teils in Bäumen und teils auf dem Boden, der Große Ameisenbär ist mit der Rumpfgröße



Abbildung 5: Seltene Aufnahme eines Nacktschwanzgürteltiers (*Cabassous unicinctus*). (C)Lydia Möcklinghoff\_CO.BRA



Abbildung 7: Weibliche Ameisenbären tragen jeweils ein, sehr selten zwei Jungtiere bis zu neun Monate auf dem Rücken. (C)CO.BRA\_Lydia Möcklinghoff

eines Schäferhundes der größte der Ameisenbären und lebt ausschließlich terrestrisch (Abb.6). Sein lateinischer Arname lautet *Myrmecophaga tridactyla*, also der dreifingrige Ameisenfresser. Das bezieht sich auf die drei langen Krallen an den Vorderpfoten, mit denen die Tiere im Boden nach Insekten graben.

Bis heute gibt es nur sehr wenige Studien zum Verhalten und zur Life History des Großen Ameisenbären in freier Wildbahn. Es ist bekannt, dass Große Ameisenbären Einzelgänger sind. Ausnahmen sind Mütter, die ihr Baby bis zu 9 Monate auf dem Rücken tragen. Die schwarze Fellzeichnung über der Schulter dient dabei der Tarnung des Jungtieres (Abb.7). Die Tierart ernährt sich ausschließlich von Termiten und Ameisen, von denen sie bis zu 30.000 pro Tag mit ihrer 60 Zentimeter langen, klebrigen Zunge aufleckt. Der Schwanz ist eine tragbare Decke, die das Tier mit dem langsamen Stoffwechsel vor hohen und niedrigen Temperaturen schützt. Der Große Ameisenbär scheint also gut an seine Umwelt angepasst und gilt als Habitatopportunist, der in Wäldern, Savannen und im Sumpf leben kann. Dennoch ist er auf der Roten Liste gefährdeter Arten der IUCN unter „gefährdet“ gelistet (2019). Die Populationen brechen vielerorts zusammen, in Uruguay, Nordargentinien und Teilen Zentralamerikas gelten die Tiere als ausgestorben. Die natürlichen Feinde, also Jaguare und Pumas, sind dabei nicht das Problem. Vielmehr scheinen Straßenverkehr und Lebensraumzerstörung unmittelbare Bedrohungen für die Tierart darzustellen. Aufgrund des mangelnden Wissens ist es aber sehr schwierig, die genauen Mechanismen dabei zu verstehen und effektive Schutzkonzepte zu entwickeln. Ziel unserer Forschung ist es daher, mehr Verständnis zum Leben und Verhalten des Großen Ameisenbären zu schaffen.

Wir erforschen Große Ameisenbären ebenfalls auf Fazenda Barranco Alto im Südlichen Pantanal. Einige Informationen zu Aktivitätsmustern und Lebensraumnutzung liefern dabei, wie bereits erwähnt, die Ergebnisse der Kamerafallenstudie. Für weitere Untersuchungen setzen wir vor allem auf Direktbeobachtungen. In unsere laufende Analyse fließen insgesamt 432 Sichtungen Großer Ameisenbären zwischen 2010 und 2017 ein, die von uns, aber auch durch Touristen und Farmmitarbeiter fotografisch dokumentiert werden konnten und bei denen der Ort der Sichtung bekannt ist. Die Tiere wurden dabei innerhalb des Studiengebiets vor allem mit dem Auto in den späten Nachmittags- und frühen Abendstunden gesucht, da unse-

re Erfahrungen, aber auch die Ergebnisse der Kamerafallenstudie zu dieser Zeit die höchste Aktivität ergaben (genauere Methodik in Möcklinghoff et al. 2018). Durch Analyse der bei den Ameisenbärensichtungen entstandenen Fotos konnten wir zeigen, dass Große Ameisenbären durchaus und entgegen der bisherigen Meinung anhand ihrer Fellzeichnung individuell unterschieden werden können. Dazu braucht man nach Möglichkeit qualitativ gute und unverdeckte Aufnahmen des Tiers von der Seite. Die Zeichnung ist lateral symmetrisch. Vor allem die schwarzen Flecken und Schatten auf dem sonst weißen Vorderbein, die Größe des „Armbands“, sowie Form und Intensität des weißen Streifens über der Schulter, ermöglichen in Kombination die Unterscheidung zwischen einzelnen Tieren. Wir systematisieren diese individuelle Erkennung, in dem wir die optischen Merkmale nach jeder Sichtung in einer Excel-Matrix ablegen. In der Tabelle können wir dann nach Übereinstimmungen mit vorherigen Sichtungen suchen. Individuen, die wir wiederholt sehen, bekommen eine Fotokarte mit Bildern individueller Details, um die Wiedererkennung zu erleichtern. So ist weltweit erstmals eine nicht invasive und mehrjährige Studie zu Lebensdauer, Reproduktion, Streifgebietenutzung und sozialer Organisation von Großen Ameisenbären möglich. Wir haben 21 Individuen mehr als fünfmal gesichtet, maximal sogar 24 Male, mehrere über insgesamt 8 Jahre. Wir arbeiten noch an der Auswertung der Daten und wollen an dieser Stelle nur eine Übersicht unserer Aktivitäten geben. Unsere Beobachtungen zeigen, dass Streifgebiete Großer Ameisenbären über die Jahre stabil sein können und sich mit den Streifgebieten anderer Artgenossen überlappen. Da wir große Variationen in der Streifgebietengröße registrierten, überprüften wir die Ergebnisse unserer nicht-invasiven Direktbeobachtungen im Jahr 2017 durch die Ausstattung von vier Großen Ameisenbären (drei Männchen, ein Weibchen) mit GPS-Sendehalsbändern. Dafür kooperierten wir mit Veterinärmedizinern des „Jaguars of the Rio Negro“ Projekts und vom „Instituto Tamandua“. Die Tiere wurden von den Veterinärmedizinern mit einer Hundeschlinge eingefangen, betäubt, untersucht und die Halsbänder der Firma Nortronic angelegt. Die maximale Funktionszeit der GPS-Einheit der Halsbänder betrug 4 Monate. Nachdem die Halsbänder keine Positionen mehr schickten, wurden sie den Tieren wieder abgenommen. Ein Weibchen, das wir durch unsere Direktbeobachtungen seit 2010 kennen, bewegte sich dabei laut GPS-

Sender durchaus in dem Gebiet, das wir zuvor durch unsere Direktbeobachtungen als stabiles Streifgebiet ausgemacht hatten. Die Größe des Streifgebiets lag allerdings mit 2,9 km<sup>2</sup> (Minimum Convex Polygon MCP) circa 1 km<sup>2</sup> über der nicht-invasiv ermittelten Fläche. Das lag aber vor allem an den Waldgebieten, in denen keine Direktbeobachtungen möglich sind, die GPS-Halsbänder aber Positionen aufzeichneten. Die Männchen hatten wir vorher nur vereinzelt gesichtet und daher keine Informationen zu ihren Streifgebieten anhand unserer Direktbeobachtungen. Was die Streifgebietengrößen betraf, zeigten die Daten der GPS-Halsbänder jedoch die gleiche Variation in der Größe des Streifgebiets (0,9 bis 18 km<sup>2</sup>) wie wir sie bei anderen Individuen anhand unserer Direktbeobachtungen registriert hatten. Ob Faktoren wie Alter oder Hierarchielevel die Größe des Streifgebiets beeinflussen, können wir an dieser Stelle noch nicht beurteilen. Offensichtlich stellen systematisch geführte Direktbeobachtungen aber eine kosteneffiziente, langfristige und nicht-invasive Alternative zu Sendehalsbändern dar, um Life History und Soziale Organisation von Großen Ameisenbären zu beobachten.

Im Zuge der Direktbeobachtungen und unserer Arbeit mit den Kamerafallen konnten wir ausserdem ein bisher unbekanntes Kommunikationssystem der solitären Tiere anhand von Duftmarkierungen an Bäumen beobachten. Dabei klettert der Ameisenbär den Stamm eines Baums ein Stück hoch und reibt die Drüsen auf seiner Brust an der Rinde. Es werden dazu bestimmte Bäume von verschiedenen Ameisenbären regelmäßig schnüffelnd überprüft und markiert. Überraschender Weise markieren aber auch acht andere carnivore Säugetierarten, wie zum Beispiel Puma (*Puma concolor*), Ozelot (*Leopardus pardalis*), Coati (*Nasua nasua*) und Krabbenwaschbär (*Procyon cancrivorus*) die exakt gleichen Bäume. Sie erscheinen wie Litfalsssäulen zum intramöglicherweise aber auch interspezifischen Informationsaustausch. Herauszufinden, welche Informationen dabei genau ausgetauscht werden, wird Teil unserer weiteren Untersuchungen sein. Ebenso wie genauere Analysen zur Reproduktion der Ameisenbären. Wir konnten dabei über die Jahre große Unterschiede feststellen: In einigen Jahren sahen wir viele Weibchen mit Jungtieren auf dem Rücken, in einigen wenige und im Jahr 2017 gar keine. 2017 war ein Jahr mit extremer Dürre, in dem wir sogar vier tote Ameisenbären fanden (in den sechs Jahren zuvor waren es insgesamt nur drei Kadaver). Inwiefern diese klimatischen Bedingungen einen Einfluss auf die Reproduktion haben, wird



Teil unserer weiteren Arbeit sein.

### Fazit

Laut Klimaprognosen stehen dem Pantanal in den nächsten Jahrzehnten deutlich mehr Dürren und größere Hitze ins Haus. Was das für den Schutz und das Überleben des Ameisenbären, aber auch der anderen Säugetierarten bedeutet, versuchen wir in Zusammenarbeit mit anderen Forschern herauszufinden. Sicher ist jedoch, dass die fortschreitende Lebensraumzerstörung die Tier- und Pflanzenwelt des Pantanal unmittelbar bedroht. Ein Teil der Lösung kann nur die Inwertsetzung intakter Natur sein. Während dahingehend im Nord-Pantanal der Jaguartourismus boomt, wird im Süd-Pantanal bislang nur auf wenigen Farmen, dafür aber durchaus erfolgreich, die traditionelle Form der Rinderzucht mit einem sanften und exklusiven Ökotourismus verknüpft. Mit einem geringe-

ren Fokus auf den Jaguar, dafür aber auf die besondere Schönheit und den für die Region typischen Reichtum an Lebensräumen und Tierarten, kann dies zumindest zum Teil ein Zukunftsmodell für das südliche Pantanal sein. Unsere Erfahrungen zeigen, dass die uralte Cowboykultur, aber auch der seltsame und beeindruckende Große Ameisenbär, der im Süden des Feuchtgebiets sehr viel besser zu beobachten ist als im Norden, ein wichtiger Magnet für Ökotouristen aus aller Welt ist. Um möglichst viel der reichen Natur, aber auch der besonderen Kultur des Pantanal nachhaltig zu schützen, ist jedoch die Zusammenarbeit zwischen Politik, der lokalen Bevölkerung und uns Forschern nötig. Das ist zwar sehr kompliziert, aber das Pantanal weiß zum Beispiel mit dem Schutz des Hyazintharas einige Erfolgsgeschichten zu erzählen. Das lässt hoffen, dass der Große Ameisenbär noch

lange die Savannen und zahlreichen Seeufer im Herzen Südamerikas durchstreift und dass das Zusammenspiel von Mensch und Natur wieder zu seinem Jahrhunderte alten Gleichgewicht findet.

### Literatur

Möcklinghoff, L., Schuchmann, K. L., & Marques, M. I. (2018). New non-invasive photo-identification technique for free-ranging giant anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*) facilitates urgently needed field studies. *Journal of natural history*, 52(37-38), 2397-2411.

### Anschrift der Verfasserin

Dipl.-Biol. Lydia Möcklinghoff  
lydiamoeklinghoff@gmail.com

---

*Die folgenden Vorträge können leider nur als Abstracts wiedergegeben werden.  
Ein ausführlicher Text des Vortrages Ellger erscheint im nächsten Heft.*

Vortrag vom 28. Februar 2019  
Dr. Veit Hennig, Hamburg

### Der Zusammenbruch der Bestände des Elbstints und die Folgen für die Vogelwelt

Nach der Wende galt ab dem 1. Juli 1990 auch für die Gewässer der ehemaligen DDR die in der Bundesrepublik geltende Rechtsregelung zum Gewässerschutz. Die über die Saale aus der Region Bitterfeld in die Elbe geleiteten Schadstoffe gingen deutlich zurück. Kläranlagenbau reduzierte die Fracht an Nitraten und Phosphaten stark. Und die Elbe reagierte: Die Fischbestände und die der Fischfresser, seien es Vögel, Schweinswale oder Fische wie der Zander, konnten sich wieder erholen! Der Elbstint konnte erfolgreich vermarktet werden und wurde zum Kultfisch in den Restaurants entlang der Elbe. Nach der achten Elbvertiefung (1998/99) nahmen jedoch Sauerstofflöcher zu, das Tidal Pumping brachte immer größere Mengen feinen Sediments in die Hafengebiete. Das ständige Baggern und Spülen erhöhte die Trübung des Elbwassers beständig, es erreichte 2017 ein Maximum. Seit einem Kipppunkt 2013/14 brechen die Stintbestände, sowohl bei den wenigen verbliebenen Berufsfischern als auch bei wissenschaftlichem Monitoring systematisch auf den tiefsten Punkt 2018 zusammen. Die Zahlen der Fischfresser wie Zwergmöwe, Kormoran, Flusseeisbaube und selbst der Schweinswale folgen diesem eindeutigen Trend. Eine dramatische Situation, kurz vor der neunten Elbvertiefung. Der Vortrag beschreibt diese Veränderungen der Nahrungsnetze in den letzten Jahren.

Vortrag vom 28. März 2019  
Dr. Christof Ellger, Potsdam

### Geotourismus – Reiseerlebnisse im Spannungsfeld zwischen Bildungsauftrag, Geotopschutz und Regionalentwicklung

Tourismus mit einem besonderen Fokus auf geowissenschaftlich bedeutende Ziele ist so neu nicht. Seit Menschen zu Sehenswürdigkeiten reisen, gehören geologische, paläontologische, geomorphologische etc. Phänomene zu den bevorzugt aufgesuchten Attraktionen: Findlinge, Felsformationen, Höhlen, Schluchten, Küsten, Quellen, Gletscher und viele andere Elemente der unbelebten Natur, wie etwa auch die vielfältigen vulkanischen Erscheinungen. Heute verstärken vor allem besonders ausgewiesene (nationale) Geotope, geologische Lehrpfade, geotouristische Straßen und insbesondere die seit Ende der 1990er Jahre weltweit errichteten Geoparks die Bemühungen um den Geotourismus. Mit dem Geotourismus der Gegenwart sind eine Reihe von Merkmalen verknüpft, die diesen zu einer ganz besonderen Art von Freizeitmobilität und Daseinsäußerung machen. Unterschiedliche Akteure und gesellschaftliche Kräfte verbinden ganz unterschiedliche Intentionen mit diesem Bereich: Für die Geowissenschaften ist der Geotourismus ein Instrument, um ihre Themen, Fragestellungen und wissenschaftlichen Leistungen in die Bevölkerung zu tragen, die ansonsten (und schon in der Schule) wenig über Geologie und ihre Nachbardisziplinen erfährt; bei ihren Freizeitbeschäftigungen (bei Bewegung und Besichtigung, beim Staunen über die Schönheit der Landschaft) sollen die Menschen die Geowissenschaften kennen und schätzen lernen. Für die oft ländlich geprägten und peripher gelegenen Regionen mit geotouristischem Potenzial geht es vor allem darum, mit zielgerichteten Einrichtungen und Angeboten regionale Wertschöpfung und Arbeitsplätze zu schaffen. Demgegenüber steht der Anspruch des Geotopschutzes und der ‚Geo-Conservation‘ auf Schutz und Bewahrung des geologischen Erbes. Dieser muss zuweilen gegen die Interessen der Besucher und der Tourismusmanager durchgesetzt werden.

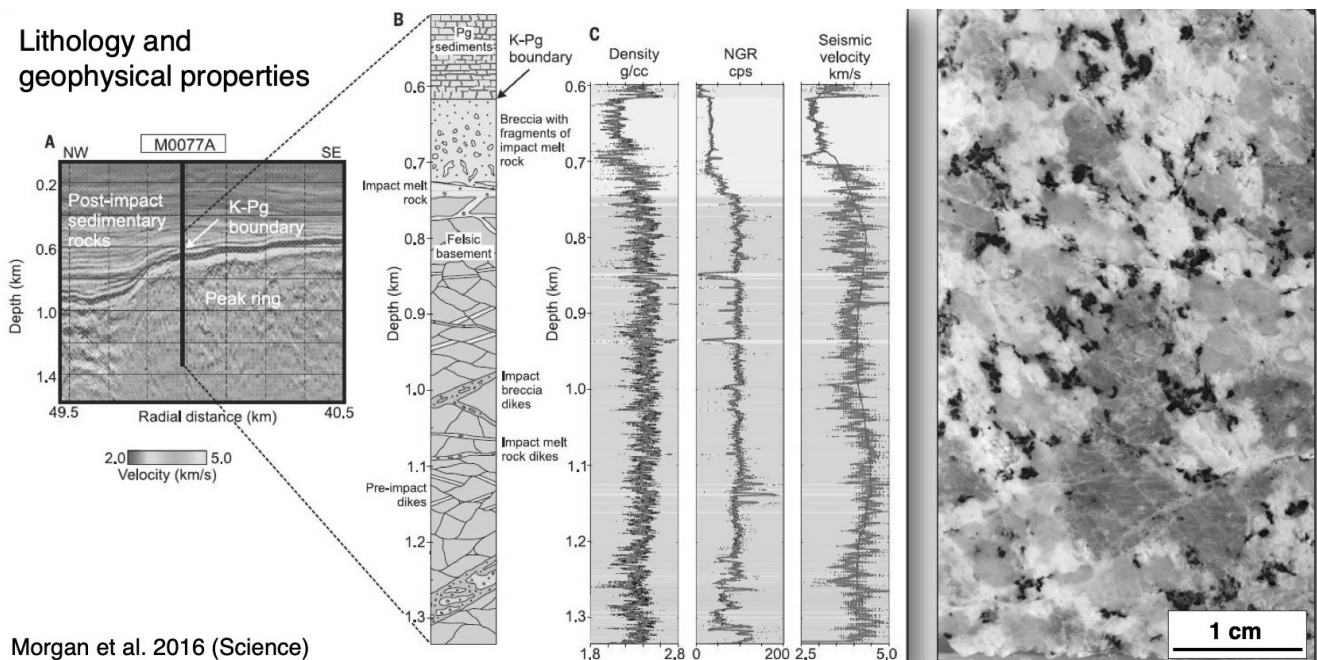
Wenn aber der Kompromiss zwischen Bewahrung einerseits und Entwicklung und Nutzung andererseits gelingt, kann Geotourismus heute und in Zukunft durchaus sowohl den geowissenschaftlichen Bildungsauftrag als auch die Wirtschaftsförderung der Zielregionen voranbringen.

Vortrag vom 16. Mai 2019  
**Ulrich Riller, Hamburg**  
**Auswirkungen großer Meteoriteneinschläge**  
 Zusammenfassung des Vortrages durch Helge Kreutz

Der Vortrag von Prof. Riller stellte Forschungsergebnisse von zwei der drei größten bekannten Meteoritenkrater auf der Erde vor, dem Chicxulub Krater in Mexiko und dem Sudbury Krater in Kanada. Solche Riesenkater mit Durchmessern von über 200 km zeigen gegenüber kleineren Meteoriteneinschlägen eine deutlich andere Oberflächenform, deren Ursache lange Zeit ein Rätsel

blieb. Anstelle eines schüsselförmigen Kraterbodens und einer einfachen zentralen Erhöhung finden sich bei Riesenkatern Ringgebirge, die sich über einem flachen Kraterboden erheben. Deren Entstehung ist eindeutig auf die ersten Minuten nach dem Einschlag zurückzuführen und damit zeitgleich mit dem Aufschmelzen und Zerrüttung von Gesteinsmassen sowie dem Auswurf von

Suevit, einer Masse aus stark zerbrochenen und teilweise geschmolzenem Grundgestein aus großer Tiefe. Aus den tieferen Zonen großer Einschlagkrater ist ebenfalls bekannt, dass der thermische Einfluss auf das Gesteine durch den Einschlag erst über mehrere Jahrtausende langsam abklang. Unklar war daher, warum die Erhaltung der Ringe an der Oberfläche trotz dieses Einflusses und



Morgan et al. 2016 (Science)  
 Abb. 1: Chicxulub-Krater, Bohrung M0077A

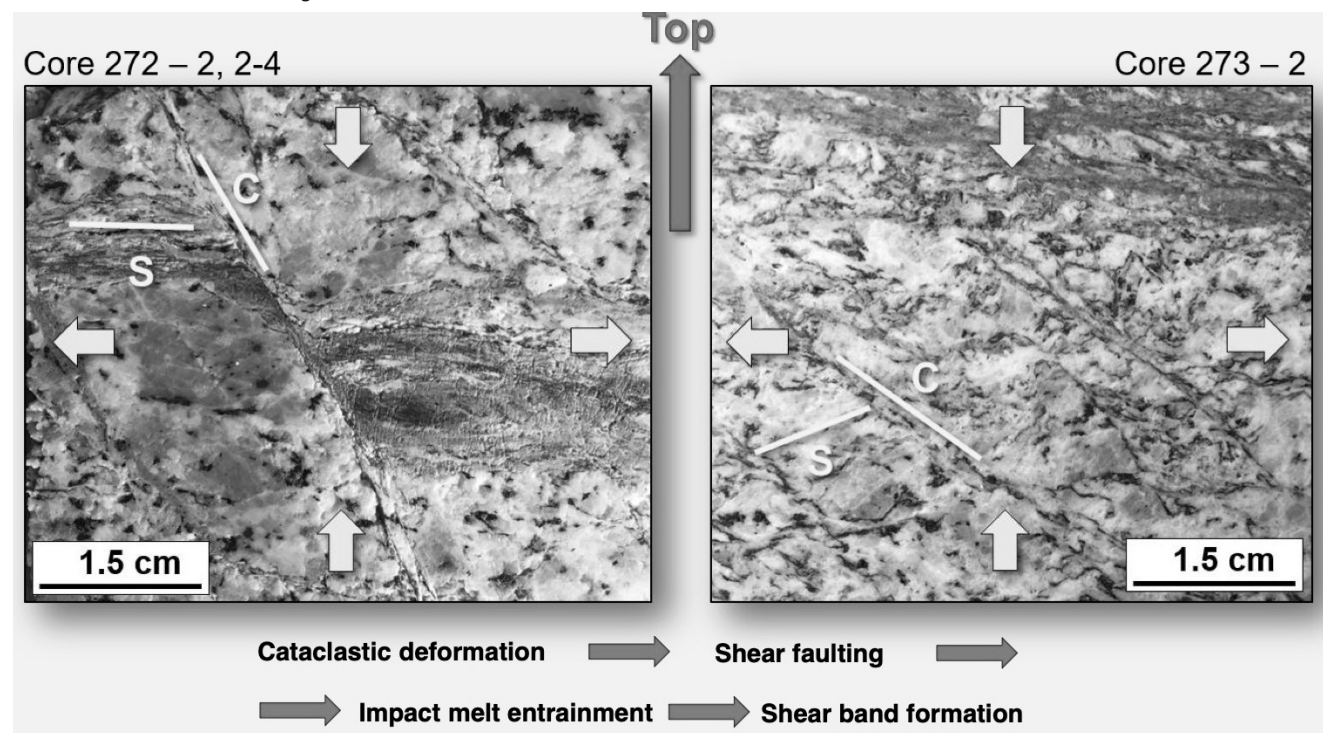


Abb. 2: Chicxulub-Krater, Bohrung M0077A



der angeblichen Fließfähigkeit des Gesteins möglich war. Zur Erklärung ging es im Vortrag sowohl um die Vorgänge in den ersten Minuten während eines Einschlages und den obersten Zonen des Einschlagkraters (Chicxulub Krater), als auch um die folgenden Jahrtausende und den tieferen Kraterbereich (Sudbury Krater).

Der Einschlag eines Meteorits an der Kreide-Paläogen (Tertiär)-Grenze wurde seit den 70er Jahren als Erklärung für eine weltweit verbreitete Iridium-reiche Lage und ein Massensterben herangezogen, der entsprechende Krater, der

de. Ihr oberster Teil besteht, wie erwartet, aus Suevit (Schwabenstein), der aus einer Tiefe von mehr als 10 Kilometern herausgeschleudert wurde. Unter dem Suevit wurden stark zertrümmerte granitoide Gesteine erbohrt, die zwischen 1245 und 1316 Metern Tiefe erneut eine Suevitzone einschließen. Die zertrümmerten Gesteine haben eine ungewöhnlich niedrige Dichte, die durch mikrokristalline Brüche erklärt werden können.

Aus dieser Gesteinsabfolge und aus Modellrechnungen lassen sich die Vorgänge in den ersten Minuten des Ein-

Der Krater des Sudbury Meteoriteneinschlages entstand etwa Milliarden Jahre früher als der Chicxulubeinschlag. Seine obersten Lagen sind bis unter die Endtiefe der Chicxulub-Bohrung erodiert. Durch die nachfolgende Gebirgsbildung und den Bergbau sind tiefere Gesteine dieses Kraters gut aufgeschlossen. Sie zeigen einen weitaus höheren Anteil an aufgeschmolzenen Gesteinen ebenso wie eine langsame Abkühlung und Erstarrung der Schmelze über einige 1000 Jahre. Teilweise aufgeschmolzene Gesteine sind dabei intensiv durchdrungen von später abgekühlten, erzeihen Schmelzen. Dies setzt sowohl eine hohe Temperatur über 1460° C als auch die Anwesenheit von offenen Brüchen voraus, durch welche die Schmelze unter den Kraterboden eindringen konnte (Bild 3). Auch die spätere Verformung der vererzten Klüfte belegt eine lang anhaltende Dehnung des Kraters. Nach der Kompressionsphase durch den Meteoriteneinschlag und dem Zusammenbruch des Kraterandes mit zentraler Erhebung kommt es somit in höheren Lagen unter Einwirkung von Gravitationskräften zu einer langfristigen Expansion des Kraters. Diese wird durch die Hebung der eingedrückten Erdkruste unterhalb des Einschlagkraters verursacht.

Das zeitliche Nebeneinander von Schmelze und erhaltenen Oberflächenformen der großen Meteoritenkrater lässt sich durch Vermischung von Gesteinen aus unterschiedlichen Zonen rings um den Einschlagkrater erklären. Die Schmelze selbst und der Suevit entstehen durch sehr rasche Druckentlastung der vom Meteoriten getroffenen Gesteine, wobei Druckfluktuationen das Gestein vorübergehend fließfähig machen und für flache Kraterböden großer Krater sorgen.

**Literatur:** Riller, U. et al. (2018): Rock fluidization during peak-ring formation of large impact structures, *Nature*, vol. 562, pp. 511-518.

Prof. Dr. Ulrich Riller  
Universität Hamburg  
Institut für Geologie  
Bundesstr. 52  
20146 Hamburg  
ulrich.riller@uni-hamburg.de



Abb. 3: Sudbury-Krater, Vererzung und Nachfedern der Erdkruste nach dem Einschlag

Chicxulub-Krater, jedoch erst 1991 nachgewiesen. Jüngere Kalksteinschichten decken den Krater ab und erschweren seine Entdeckung, sorgten aber auch für die gute Erhaltung seiner ursprünglichen Morphologie und durch den Impakt erzeugte Lithologien. Schweremessungen über dem Krater zeigten eine ringförmige Erhebung um das Kraterzentrum herum, ähnlich der Morphologie großer Mondkrater. 2016 begann daher im Rahmen des International Ocean Discovery Program und des International Scientific Continental Drilling Program die Expedition 364 mit dem Ziel einer Bohrung im Bereich der Ringstruktur des Chicxulub Kraters.

Bohrung M0077A (siehe Bild 1 und Bild 2) durchteufte zunächst die nach dem Einschlag abgelagerten Kalksteinschichten und traf in einer Tiefe von 618 m auf das Ringgebirge, das bis zur Endtiefe von 1334 Metern durchbohrt wur-

deschlages wie folgt rekonstruieren:

0-20 Sekunden: Beim Einschlag dringt der Meteorit kilometertief in die Erdkruste ein und verdampft. Die Schockwelle des Einschlages drückt die Gesteine seitlich und unterhalb des Kraterbodens zusammen. Die Gesteine werden in dieser Phase der Kraterbildung sehr stark komprimiert, bei der anschließenden Entlastung aufgeschmolzen und z.T. als Suevit ausgeworfen.

20-180 Sekunden: Die Krateränder kollabieren und der Kraterboden hebt sich zu einer gewaltigen Gesteinsfontäne mehrere Kilometer über die Planetenoberfläche. Dabei gelangen Gesteine aus großen Tiefen an die Oberfläche.

180-340 Sekunden: Das Zentrum des Kraters bricht zusammen, ein Ringhügel vornehmlich aus zerscherten Gesteinen bleibt stehen. Herausgeschleudertes Suevit fällt in den Krater zurück und deckt diesen ab.



# Die Welt der Mikroben

## - ihr Einfluss auf unsere Umwelt und Gesundheit sowie ihre Bedeutung in der Technik

Vortrag vom 1. November 2018  
**Friedrich Widdel**  
**Mikroben – gefürchtet, benötigt, bewundert**

Auf vielen Gebieten fasziniert das sehr Kleine nicht minder als das sehr Große: Atomare Welt und Universum fordern das Verständnis heraus, miniaturisierte Computer und großdimensionierte Verkehrsmittel die Technik des Machbaren. Mit der belebten Welt ergeht es uns ähnlich: Die im Wassertropfen aus Tümpel oder Kläranlage wimmelnden Kleinstlebewesen können uns ebenso in ihren Bann ziehen wie riesenwüchsige Tiere, ob noch lebend oder ausgestorben. Im folgenden Überblick geht es um einige Stationen auf dem Weg, der zur heutigen Kenntnis der kleinsten Lebewesen geführt hat.

Abbildung 1 zeigt Vertreter sehr unter-

schiedlich großer Lebewesen auf einer Größenskala, auf welcher ein folgender Teilstrich immer ein Zehntel (1/10) vom vorherigen markiert. Mit dem grauschattierten Bereich rechts wird die Sichtbarkeitsgrenze unseres Auges erreicht, so dass zum Erkennen der ab hier folgenden Lebensformen optische Vergrößerungsgeräte wie Mikroskope erforderlich sind. In ihrer Gestalt wirken diese Lebensformen einfach, undifferenziert und irgendwie elementar. Es sind die Mikroorganismen. Zwar gibt es unter den wirbellosen Tieren Winzlinge wie Hausstaubmilben, die sich bereits dem oberflächlichen Blick entziehen; doch würde man sie auf Grund ihrer Differenziertheit und Ähnlichkeit mit größeren Spinnentieren nicht zu den Mikroorganismen zählen.

### Ein kurzer Blick in die Geschichte

Die Erforschung der Mikroorganismen, die vor etwa dreieinhalb Jahrhunderten begann, war auf zweierlei Weise motiviert. Zum einen war es die Neugier auf eine zuvor unbekannte Lebewelt, verbunden mit Erfindungsdrang in der Mikroskopie, zum anderen das Verlangen, Infektionskrankheiten wissenschaftlich zu ver-

stehen, zu behandeln und vielleicht sogar zu besiegen.

Der englische Universalgelehrte Robert Hooke (1635 – 1703) zeichnete 1665 in seiner ‚Micrographia‘ Einzelheiten aus einem Bewuchs von Köpfchenschimmel, die bereits knapp unterhalb der Auflösungs-grenze des Auges liegen. Die eigentliche Mikrobiologie begann, als der niederländische Tuchhändler Antoni van Leeuwenhoek (1632 – 1732), einem seiner vielseitigen Hobbies nachgehend, mit einem selbstgebauten Mikroskop Proben aus dem Mund untersuchte. Er sah bis dahin gänzlich unbekannte Lebewesen, die er 1683 als ‚Tierchen‘ (animalcules) beschreibt. Wie er diese mit seinem einfachen kleinen und einlinsigen Mikroskop erkennen konnte, mag rätselhaft erscheinen. Hat er die wirkliche technische Vorgehensweise vielleicht für sich behalten? Sicher ist, dass er keine Phantasiegebilde beschrieb, denn in seinen Zeichnungen erkennt man auf Anhieb typische Bakterienformen.

Noch ein Rätsel anderer Art tut sich angesichts von Leeuwenhoeks Entdeckung auf: Infektionskrankheiten waren zu jener Zeit die häufigste Todesursache, und Seuchenepidemien hatten die Bevölkerung immer wieder in Angst und Schrecken versetzt. Erklärungen waren kaum schlüssig und Schutzmaßnahmen meist unwirksam. Doch warum lag der Gedanke an einen Kausalzusammenhang zwischen Leeuwenhoeks ‚Tierchen‘ (also Bakterien) und Krankheiten fern? Hatte doch schon lange zuvor der italienische Arzt und vielseitige Gelehrte Girolamo Fracastoro (1477 – 1553) eine Erkrankung durch Kontaktübertragung von Keimen (seminaria) postuliert und damit der Miasmen-Theorie widersprochen; letztere erklärte Krank-

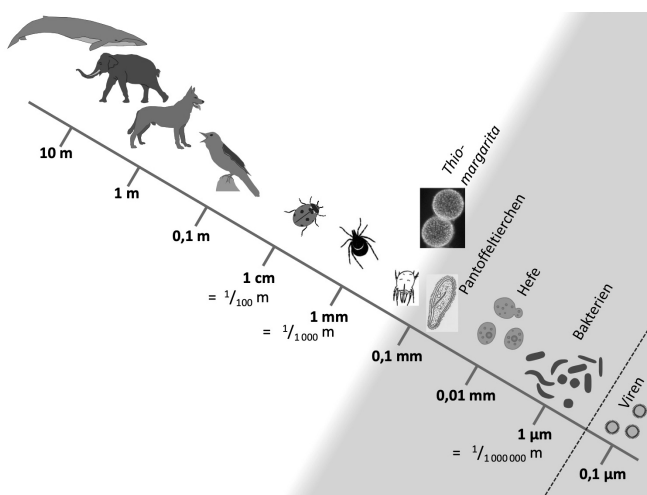


Abbildung 1. Die extremen Größenunterschiede von Lebewesen lassen sich am einfachsten auf einer sogenannten logarithmischen Skala veranschaulichen. Tiere: Blauwal, Elefant, Hund, Singvogel, Marienkäfer, Zecke, Hausstaubmilbe. *Thiomargarita* ist das größte Bakterium. Es lebt auf Meeressedimenten in Gegenwart von Schwefelwasserstoff. Viren sind keine Organismen. Für ihre Vermehrung benötigen sie eine lebende Wirtszelle, die sie so ‚umprogrammieren‘, dass sie neue Viren produziert. Ein weiterer Vorteil einer logarithmischen Größenskala ist, dass sich Relationen in Abständen widerspiegeln. Das Größenverhältnis zwischen Blauwal und Marienkäfer ist etwa dasselbe wie zwischen Marienkäfer und einer Zelle der meisten Bakterientypen (etwa gleich Abstände). Auf der Skala gibt es keinen Nullpunkt. Foto von *Thiomargarita* mit freundlicher Genehmigung von Heide Schulz-Vogt.



heit durch faulige Ausdünstungen in der Luft. Während einer Zeitspanne von mehr als anderthalb Jahrhunderten, in welcher Mathematik, Physik, Astronomie, Technik und Chemie epochale Fortschritte verzeichneten, schien die Erforschung der mikroskopischen Welt und Infektionskrankheiten weitgehend zu stagnieren.

Zwei wichtige Pioniere wurden dann der deutsche Arzt Aloys Pollender (1799 – 1879), der in den 1840er Jahren stäbchenförmige Gebilde im Blut von an Milzbrand erkrankten Rindern entdeckte, und der norwegische Arzt und Zoologe Gerhard Armauer Hansen (1841 – 1912), der um 1870 ebenfalls Stäbchenformen in Proben von Leprakranken beschrieb. Beide vermuteten, dass die Stäbchen die jeweilige Krankheit verursachten. Wenig später, 1876, führte der Mediziner Robert Koch (1843 – 1910) den Beweis, dass die stäbchenförmigen Bakterien im Blut milzbrandkranker Tiere die Übeltäter sind. Ein entscheidendes Novum dabei war, dass die Bakterien außerhalb des Tieres im Labor vermehrt und im Experiment gesunden Tieren verabreicht werden konnten; diese erkrankten dann. Die Befunde, die in den Schritten der strengen Beweisführung erfüllt sein müssen, sind als Kochsche Postulate bekannt (Abbildung 2). In Abständen von wenigen Jahren oder oft sogar innerhalb eines Jahres folgte Entdeckung auf Entdeckung in der Bakteriologie und Medizin, verbunden mit zahlreichen Namen. Der experimentelle Nachweis von Erkrankungen durch Viren geht auf Dimitri Ivanovski (1892), Martinus Beijerinck (1851 – 1931), Friedrich Löffler

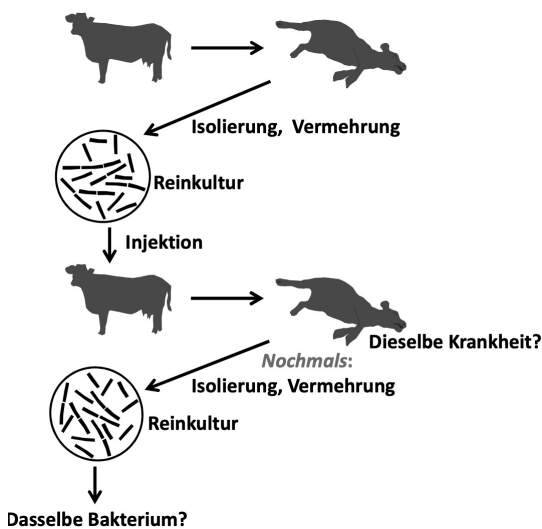


Abbildung 2. Die strenge Beweisführung von Robert Koch. In erkrankten Tieren entdeckte Bakterien sind nicht notwendigerweise die Ursache für die Erkrankung. Sie können sich auch im Nachhinein in geschwächten Tieren ansiedeln. Der endgültige Beweis, dass die Bakterien die Krankheit verursachen, kann nur experimentell erbracht werden.

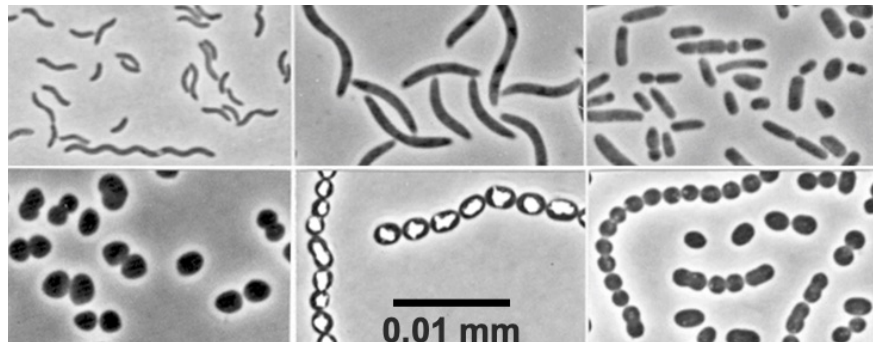


Abbildung 3. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme lebender Bakterien (ungefärbt) aus Wassertsedimenten isoliert. Die hier dargestellten Bakterien vertragen keinen Sauerstoff. Sie verwandeln gelöstes Sulfat in Schwefelwasserstoff. Den Zellformen ist diese Eigenart in keiner Weise anzusehen.

(1852–1915) und Paul Frosch (1860 – 1928) zurück. Die Herausforderung bestand im Umgang mit Erregern, die im Lichtmikroskop nicht erkennbar sind und sich außerdem nur im lebenden Wirtsorganismus vermehren können. In den 1890er Jahren beschäftigten sich erstere mit einem Pflanzenvirus, dem Erreger der Tabakmosaikkrankheit, letztere mit dem Maul- und Klauenseuchevirus.

### Mikroskopie und Kultivierung, Grundpfeiler der Mikrobiologie

Das Mikroskop war und ist teils auch noch heute das zentrale Instrument der Mikrobiologie. Seine Leistung wird durch Zweierlei bestimmt, Vergrößerung und Auflösungs. Optisch lassen sich bereits ohne teuren Aufwand enorme Vergrößerungen erzielen, die dennoch nur schemenhafte Objekte erkennen lassen. Das Auflösungsvermögen bestimmt die Bildqualität. Dem Physiker und Sozialreformer Ernst Abbe (1840 – 1905), einem eng Vertrauten des Unternehmers Carl Zeiß (1816 – 1888), gelang in den 1870er Jahren unter Einbeziehung der Wellentheorie des Lichts eine quantitative Beschreibung und Erklärung des Auflösungsvermögens. Damit verbesserte er die Mikroskope entscheidend. Auf mikrobiologischer Seite wurden Färbefahren für Bakterien entwickelt und verbessert. Bakterien sind nahezu durchsichtig und zeigen auch bei guter Auflösung nur blasse Konturen. Erst nach einer Färbung heben sie sich deutlich vom Hintergrund ab. Man ahnt, wie mühsam zuvor ohne Färbung und in schlecht auflösenden Mikroskopen die Beobachtung

von Mikroorganismen gewesen sein muss. Allerdings sieht man nach einer Färbung und der dafür nötigen Fixierungen auf einer Glasoberfläche (dem Objektträger) nur noch tote Bakterien. Ein Verfahren, das lebende Bakterienzellen sehr deutlich erkennen lässt, ist die Phasenkontrastmikroskopie, entwickelt in den 1930er Jahren von dem niederländischen Physiker Frits Zernike (1888 – 1966) aufgrund raffinierter wellenoptischer Berechnungen. Ihr Vorteil wurde lange unterschätzt, und selbst heute hat sie trotz recht einfacher Handhabung in manchen Laboratorien noch nicht den ihr gebührenden Stellenwert. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel. Mit der Erfindung des Elektronenmikroskops durch Ernst Ruska (1906 – 1988), ebenfalls in den 1930er Jahren, wurden schließlich (bezogen auf das Lichtmikroskop) submikroskopische Strukturen in Bakterien wie in Zellen höherer Organismen zugänglich. Inzwischen sind mikroskopische Verfahren ein High-Tech-Gebiet, insbesondere solche, welche die Objekte durch Rastern ‚abtasten‘, pixelweise analysieren und in kurzer Zeit digital erstellte Bilder mit hohem Informationsgehalt liefern.

Demgegenüber erscheint der andere Grundpfeiler der Mikrobiologie, die Kultivierung (‚Züchtung‘), einfach. Wenn Lebensmittel verderben, kultivieren wir Mikroorganismen ungewollt. Kultivierung von Mikroorganismen gemäß Robert Koch bedeutet allerdings, nur einen einzigen Typ, d.h. Angehörigen einer einzigen Art, allein zu züchten; man spricht von Reinkulturen. Ein Wassertropfen oder eine Bodenkrume kann Hunderte von Arten beherbergen. In Proben von infizierten Personen herrscht zwar meist ein Bakterientyp vor, aber auch diese sind keine Reinkulturen. Gängige Verfahren zur Isolierung, der Gewinnung von Reinkulturen, sind einfach. Die Proben werden so

weit verdünnt, bis in einem kleinen separierten Flüssigkeitsvolumen statistisch gesehen nur noch eine Zelle vorkommt. Auf der Oberfläche eines Nährmediums, das mit Agar verfestigt (geliert) wurde, ist diese Zelle an ihren Ort gebunden und vermehrt sich durch fortlaufende Teilung zu einem Zellhaufen, einer Kolonie. Eine Kolonie von anderthalb Millimetern Durchmesser kann fast eine halbe Milliarde Bakterienzellen enthalten. Hat sie von anderen Kolonien genügend Abstand, kann man sie in neues Medium übertragen (abimpfen, ‚picken‘) und den Bakterientyp weiter kultivieren. Eine wichtige Voraussetzung für die Gewinnung von Reinkulturen ist die Herstellung steriler Medien, meist durch Erhitzen unter Druck im Autoklaven auf 121 °C, und eine sterile (aseptische) Arbeitsweise. Allerdings wachsen längst nicht alle Mikroorganismen auf Agarplatten, z.B. weil sie keinen Sauerstoff vertragen<sup>1</sup>, weil man die benötigten Nährstoffe noch nicht kennt, oder weil sie auf andere Organismen als ‚Partner‘ angewiesen sind, d.h. in Symbiose leben.

### Die Vielfalt ordnen und verstehen

Mit der Isolierung und Kultivierung von Mikroorganismen, nicht nur aus erkrankten Personen, sondern auch aus Wasser- und Bodenproben, wurde eine immer größere Vielfalt von Arten erkannt. Sie unterschieden sich in ihren Wachstumsbedürfnissen, in den Fähigkeiten, diverse Substanzen wie Zucker, Eiweiß, Öle oder gelöste Mineralien im Stoffwechsel umzusetzen, oder den Wirkungen auf Tier oder Pflanze. Langsam setzte sich die von Ferdinand Cohn (1828 – 1898) vehement vertretene Ansicht durch, dass die spezifischen Eigenschaften eines Mikroorganismus, ganz wie auch bei höheren Lebewesen, in der Nachkommenschaft erhalten bleiben (Gesetz von der Konstanz der Arten). Selbst in wissenschaftlich angesehenen Kreisen war die Ansicht verbreitet, dass sich die verschiedenen Typen von Mikroorganismen ineinander verwandeln oder gar aus unbelebter Materie entstehen<sup>2</sup>.

Doch wie bringt man Ordnung in die Vielfalt der Mikroorganismen, ohne nur bei akribisch gesammelten Beobachtungs-

daten stehen zu bleiben? Eine Ordnung müsste natürliche Verwandtschaften erkennen lassen sowie zum kausalen Verständnis von Prinzipien in den Lebensweisen beitragen. Die Formen (Gestalten der Zellen) von Mikroorganismen erlauben keine diesbezüglichen Rückschlüsse, anders als in der Tier- und Pflanzenwelt. Ein nützliches Bodenbakterium und ein Krankheitserreger können dieselbe langgestreckte Zellform haben, und die Formen zweier eng verwandter Wasserbakterien können so unterschiedlich sein wie Spirale (‚Korkenzieher‘, Spirillum) und Kugelgestalt (Coccus). Einem Bakterium in einer Wasserprobe ist nicht anzusehen, ob es Zucker, Öl oder einen synthetischen Schadstoff abbauen kann, oder ob es Luftstickstoff binden kann oder nicht. Die entscheidenden Erkenntnisse, die Ordnung in die Vielfalt gebracht haben, kamen aus der Aufklärung von Zellstruktur, natürlicher (evolutiver) Verwandtschaft und Funktion.

**Zellstruktur.** Viele Lehrbücher der Mikrobiologie beginnen mit dem Aufbau der Mikrobenzelle. Um diese in ihren Einzelheiten zu erkennen, bedurfte es der Elektronenmikroskopie. Ein entscheidender Befund war, dass Bakterien, im Gegensatz zu Algen, Protozoen (‚Urtierchen‘), Pilzen, höheren Pflanzen und Tieren, keinen Zellkern ausbilden. Der Träger der Erbinformation, die DNS, liegt bei Bakterien frei in der Zelle. Sie ist ringförmig geschlossen. Sie wird auch Chromosom genannt, trotz großer Unterschiede zu den Chromosomen der anderen, der ‚höheren‘ Organismen. Ferner enthalten Bakterienzellen keine Organellen, d.h. keine organähnlichen Gebilde innerhalb der Zelle. Zu den Organellen gehören einerseits die Mitochondrien, welche die Zellen höherer Organismen durch Atmung mit Energie versorgen, und andererseits die Chloroplasten, welche Algen und grünen Pflanzen die Photosynthese ermöglichen.<sup>3</sup> In Bakterien, die selbstverständlich ebenso Energie benötigen und zum Teil auch Photosynthese betreiben, sind die dafür benötigten Maschinerien auf einfachere Weise mit der Zellmembran oder mit

Membrangebilden in der Zelle verbunden. Aufgrund dieser Unterschiede wurde das Reich der Lebewesen zweigeteilt, in die einfach aufgebauten Prokaryonten und die komplizierter strukturierten Eukaryonten. Zuvor wurden Bakterien oft den Pilzen zugerechnet, wie die historische Bezeichnung ‚Spaltpilze‘ (Schizomyceten) erkennen lässt.

**Verwandtschaft und Evolution.** Verwandtschaften im Tierreich, insbesondere nahe Verwandtschaften bei Wirbeltieren, erschließen sich oft bereits beim Anblick der Gestalt. Wenn diese infolge spezieller Anpassung kaum Ähnlichkeit mit anderen Tieren zeigt, gibt die Anatomie, bei Wirbeltieren insbesondere die des Skeletts, Auskunft über nähere und fernere Verwandtschaften. Somit basiert auch die Evolutionsforschung ursprünglich auf anatomischen Untersuchungen. Einen ganz anderen Zugang zu Verwandtschaft und Evolution eröffneten Linus Pauling (1901 – 1994) und Emile Zuckerkandl (1922 – 2013), als sie 1965 die Arbeit ‚Molecules as documents of evolutionary history‘ (Moleküle als Dokumente der evolutionären Geschichte) veröffentlichten. Hier wurde die Sequenz, d.h. Abfolge von Aminosäuren, in Proteinen (Eiweißen) als Quelle für Information über Verwandtschaften herangezogen. Der Gedanke war, dass Proteine infolge von Mutationen in den zugrunde liegenden Genen auf der DNS Änderungen in der Abfolge von Aminosäuren erfahren. Vergleicht man in der Grundstruktur und Funktion gleiche (analoge) Proteine miteinander, so müssten zwei Proteine umso weniger miteinander verwandt sein, je mehr sie in der Aminosäuresequenz differieren. Somit müssen sich auch die betreffenden Tiere umso früher in der Evolution auseinander entwickelt (‚getrennt‘) haben, je weniger Sequenzverwandtschaft ihre analogen Proteine aufweisen. Pauling und Zuckerkandl analysierten unter anderem Hämoglobin, den Träger des Sauerstoff transportierenden roten Blutfarbstoffs. Der ‚Proteinstammbaum‘ ausgewählter Säugetiere deckte sich erstaunlich genau mit dem auf anatomischer Basis erstellten Stammbaum.

Paulings und Zuckerkandls Vorgehensweise konnte nicht direkt verwendet werden, um detaillierte evolutionäre Verwandtschaften innerhalb und zwischen Prokaryonten und Eukaryonten zu erkennen. Bakterien besitzen kein Hämoglobin. In der Ausstattung mit Proteinen wie Enzymen gibt es nicht nur große Unterschiede zwischen Prokaryonten und Eukaryon-

<sup>1</sup> Für solche, sogenannte anaerobe Mikroorganismen (im Gegensatz zu den aeroben, die mit Sauerstoff leben) gibt es speziell ausgearbeitete Verfahren, die in Flaschen, Glaspöfen und gasdichten Kammern eine sauerstofffreie Gasatmosphäre (Stickstoff, oft mit Kohlendioxid) verwenden.

<sup>2</sup> Letztere Ansicht, die Urzeugungshypothese, war schon öfters, am eindrucklichsten durch den berühmten französischen Chemiker und Mikrobiologen Louis Pasteur (1822 – 1895), widerlegt worden.

<sup>3</sup> Eine eingehendere Beschreibung der Organellen ist im Rahmen dieser Übersicht nicht möglich. Schul- und Lehrbücher der Biologie enthalten in der Regel gute Darstellungen.



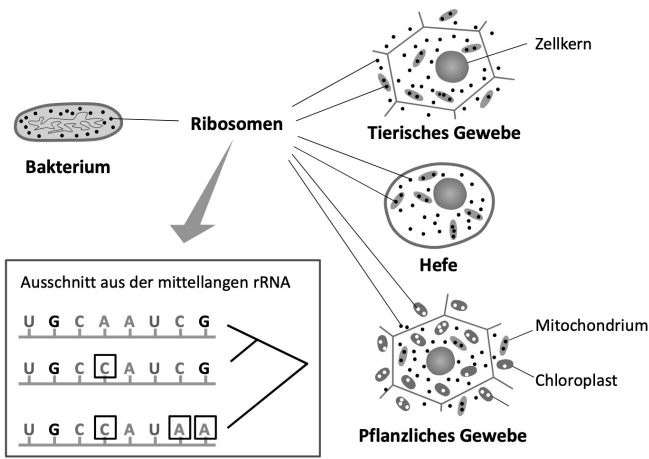


Abbildung 4. Prokaryonten (links) fehlt der Zellkern; die DNS liegt frei in der Zelle. In Eukaryonten (rechts) ist die DNS im Zellkern separiert; nur bei der Teilung (Mitose) verschwindet diese Abgrenzung vorübergehend. Ribosomen, die ‚Eiweißfabriken‘, kommen in allen Lebewesen vor. Eukaryonten (rechts) enthalten freie Mitochondrien in der Zelle und nochmal andere, etwas kleinere in den Chloroplasten und Mitochondrien; die Mitochondrien letzterer sind denen von Bakterien sehr ähnlich. Diese Unterschiede und Ähnlichkeiten sind in der Schemazeichnung nicht dargestellt. Umrahmter Einschub. Veranschaulichung naher und fernerer Verwandtschaft dreier Organismen anhand Basenfolgen (hier fiktiv) in einem kurzen Ausschnitt der mittellangen ribosomalen RNA (rRNA). Eine Darstellung der vollen Länge müsste 1500 Basen umfassen.

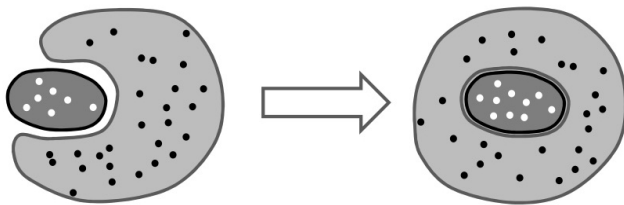


Abbildung 5. Vereinfachte Darstellung der Endosymbiontentheorie, welche hier die Entstehung eines photosynthetischen Eukaryonten erklärt. Eine Ur-Wirtszelle nimmt einen Cyanobakterien-ähnlichen Mikroorganismus auf, der sich darin etabliert.

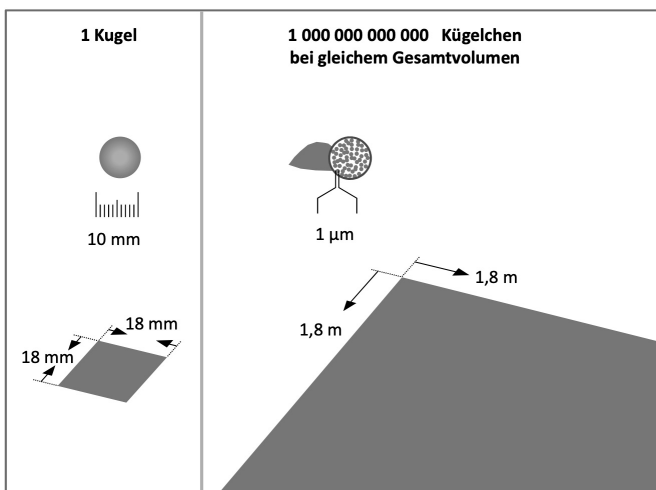


Abbildung 6. Was bedeutet kompakt gegenüber feinverteilt für den Stoffwechsel? Die Oberfläche einer etwa erbsgroßen Kugel von 10 mm Durchmesser entspräche einem Quadrat von knapp 18 mm x 18 mm (0,000314 m<sup>2</sup>). Verteilt man dasselbe Volumen auf bakterien große Kügelchen mit einem Durchmesser von 0,001 mm (1 µm), erhält man ein ‚Staubhäufchen‘ aus einer Billion (10<sup>12</sup>) Mikrokugeln. Die Gesamtoberfläche dieser Mikrokugeln entspräche einem Quadrat von knapp 1,8 m x 1,8 m (3,14 m<sup>2</sup>) hier nur als eine Ecke dargestellt). Die Aufteilung hat somit die Oberfläche 10 000-fach vergrößert. Zum Stoffwechsel gehören die Aufnahme von Nährstoffen aus der Umgebung und die Abgabe von Produkten an die Umgebung. Daher ermöglicht eine große Oberfläche grundsätzlich einen schnellen Stoffwechsel.

ten, sondern auch zwischen Prokaryonten untereinander. Zum Beispiel besitzen Milchsäurebakterien keine Enzyme für die Atmung. Milchsäurebakterien leben ohne Sauerstoff, durch Gärung. Der Biophysiker und Evolutionsbiologe Carl R. Woese (1928 – 2012) wählte darum für die Aufklärung bakterieller Verwandtschaften einen Zellbestandteil, der in allen Organismen vorkommt, die Ribonucleinsäure aus Ribosomen. Ribosomen bewerkstelligen in jedem Lebewesen die Synthese von Proteinen aus Aminosäuren. Sie bestehen selbst aus Proteinen und enthalten zudem fest gebundene RNS, genannt rRNS, und zwar in Form einer kurzen, einer mittellangen und einer langen Kette. Woese entschied sich, die Sequenz der Basen in der mittellangen rRNS zu analysieren; bei Bakterien heißt sie 16s rRNS (Abbildung 4). Die Methode zeitigte schnell Erfolge. Eine besondere Überraschung kam, als Woese's Kollege im selben Institut, Ralph S. Wolfe (1921 – 2019), vorschlug, die von ihm erforschten Methanbakterien einzubeziehen. Diese leben strikt ohne Sauerstoff und beziehen ihre Energie zum Leben aus der Umsetzung von Kohlendioxid und Wasserstoff oder von Essigsäure zu Methan (Biogas). Deren rRNA unterschied sich in der Basenabfolge so sehr von der anderer Bakterien, dass nicht einmal mehr von Bakterien die Rede sein konnte; offensichtlich handelte es sich um ein eigenes Unterreich der Lebewesen. Zu diesem gesellten sich andere ungewöhnliche Mikroorganismen, z.B. solche, die in heißen vulkanischen Quellen oder hochsalzigen Seen leben. Man nannte sie Archaeobakterien, um sie von den eigentlichen Bakterien, nunmehr Eubakterien, und höheren Lebewesen, weiterhin Eukaryonten genannt, abzugrenzen. Heute spricht man von Archaeen (Archaea), Bakterien (Bacteria) und Eukaryonten (Eukarya) und nennt diese die drei Domänen des Reichs der Lebewesen. Dennoch ist es berechtigt, erstere zwei auch weiterhin als Prokaryonten zu bezeichnen.

Man stellt sich vor, dass sich Archaeen, Bakterien und Eukaryonten aus einer gemeinsamen Urform, dem letzten universellen zellulären Vorfahren (last universal cellular ancestor, LUCA), entwickelt haben. Das bedeutet allerdings nicht, dass sich die Nachkommen erdgeschichtlich betrachtet ‚plötzlich‘ in drei streng getrennte Entwicklungslinien aufgespalten haben. Vielmehr fand zwischen diesen ein intensiver Austausch von Genen, also DNS statt, ein sog. horizontaler Gentransfer statt, so dass sich z.B. Archaeen nutzbringende Eigenschaften von Bakterien einverleibten, und umgekehrt. Man könnte diskutieren, was angesichts solcher Austausch- und Kombinationsereignisse Identität eines Mikroorganismus und Zugehörigkeit zu einer Domäne bedeuten. Doch nicht nur Gene wurden untereinander ausgetauscht. Mitochondrien und Chloroplasten in Eukaryonten besitzen eigene Ribosomen, deren rRNS denen von Bakterien gleicht. Auch besitzen sie eigene DNS. Das spricht dafür, dass die heutigen Eukaryonten durch Einverleibung ganzer Bakterienzellen durch eine Ur-Wirtszelle, für die es heute kein Beispiel mehr gibt, entstanden sind. Diese sogenannte Endosymbionten-Theorie wurde erstmals 1883 von Andreas Schimper (1856 – 1901) formuliert, etwas später von Konstantin Mereschkowsky (1855 – 1921) aufgegriffen und später durch Lynn Margulis (1938 – 2011) zu einer allgemein akzeptierten, überzeugenden Hypothese. In Abbildung 5 ist sie schematisch dargestellt.

**Lebensweise und Funktion.** Zellen von Prokaryonten sind mehr oder weniger starr. Sie haben keine Vorrichtungen, die dem Maul von Tieren oder den bläschenförmigen Systemen zur Nahrungsaufnahme bei Protozoen analog sind. Bakterien und Ar-

chaeen können nur gelöste Nahrung aufnehmen, was über komplexe Transportmoleküle in der Zellmembran geschieht. Wenn unlösliche Substanzen wie Zellulose toter Pflanzen oder Eiweißfasern in verwesendem Fleisch als Nahrung dienen, müssen diese zunächst außerhalb der Zelle zu löslichen Bruchstücken verdaut werden; erst diese werden dann aufgenommen. Dennoch kann diese primitiv anmutende Art der Nahrungsaufnahme sehr effektiv sein und schnelle Vermehrung erlauben. Das Darmbakterium *Escherichia coli* vermag sich alle 20 Minuten zu teilen.<sup>4</sup> Ein Faktor, der grundsätzlich ein schnelles Wachstum erlaubt, ist das große Verhältnis von Zelloberfläche zu Zellvolumen, denn die Oberfläche gewährt die Nahrungsaufnahme (s. Abbildung 6).

Auch sonst erstaunt bei den kleinsten Lebewesen deren enorme Diversität in den Ernährungsweisen und Anpassungen an Umweltbedingungen; man findet Fähigkeiten, die es bei höheren Organismen nicht gibt. Während Mensch und Tier auf Kohlenhydrate und Eiweiß als Nahrung angewiesen sind und ihre Energie zum Leben daraus durch Oxidation mit Sauerstoff (Atmung) zu Wasser und Kohlendioxid beziehen, können Prokaryonten nicht nur das.<sup>5</sup> Sie ernähren sich von Erdöl, beziehen ihre Lebensenergie aus der Oxidation von giftigem Schwefelwassertoff oder Ammoniak, oder leben ganz ohne Sauerstoff, indem sie Zucker zu Säuren und Alkoholen vergären oder für die Atmung mineralische Substanzen wie Nitrat oder Sulfat verwenden; aus letzteren entstehen Stickstoffgas bzw. Schwefelwasserstoff. An Hitze angepasste (thermophile) Archaeen wachsen noch oberhalb von 100°C, wenn der äußere Druck dafür sorgt, das Wasser flüssig bleibt. Andere leben bevorzugt in säurehaltigen oder salzgesättigten Wässern. Bakterien können sogar Energie zum Leben aus elektrischem Strom beziehen. Sie wachsen auf der Oberfläche eingetauchter Elektroden, welche Elektronen von den Zellen aufnehmen oder an diese abgeben. Die abgegebenen Elektronen entstammen einem atmungähnlichen Prozess, während die aufgenommenen in einen anderen atmungähnlichen Prozess fließen.

Eine systematische Abhandlung der Ernährungsweisen von Prokaryonten böte Stoff für eine Monographie, welche auch auf die Chemie der Stoffumsetzungen und deren Energetik (biologische Thermodynamik) eingehen müsste. Die Prinzipien, die einer solchen zugrunde liegen, lassen sich dennoch in recht einfachen Fließschemata (Abbildung 7) veranschaulichen. Jeder Organismus vermehrt sich, d.h. muss neue Zellsubstanz aus der aufgenommenen Nahrung bilden (synthetisieren). Dieser Vorgang kostet Energie. Einerseits kann die Energie einem anderen Teil der Nahrung entzogen werden, der dadurch ‚abgewertet‘ und als Abbauprodukt ausgeschieden wird. Organismen mit dieser Lebensweise heißen chemotroph. Sie lassen sich weiter unterteilen (Abbildung 7 A, B). Andererseits kann die Energie aus dem Sonnenlicht stammen. Die Nahrung steht damit gänzlich für die Synthese von Zellsubstanz zur Verfügung. Solche Organismen bezeichnet man als phototroph oder photosynthetisch. Auch diese werden weiter unterteilt (Abbildung 7 C, D).

<sup>4</sup> Andererseits gibt es auch ausgesprochen langsame Bakterien und Archaeen, z.B. solche, die in tiefen nahrungsarmen Meeresedimenten das Biogas Methan abbauen und sich im Bereich von Monaten einmal teilen.

<sup>5</sup> Es handelt sich um Spezialisierungen oft sehr unterschiedlicher Arten, nicht um Fähigkeiten desselben Mikroorganismus. Eine solche ‚Supermikrobe‘ gibt es nicht.

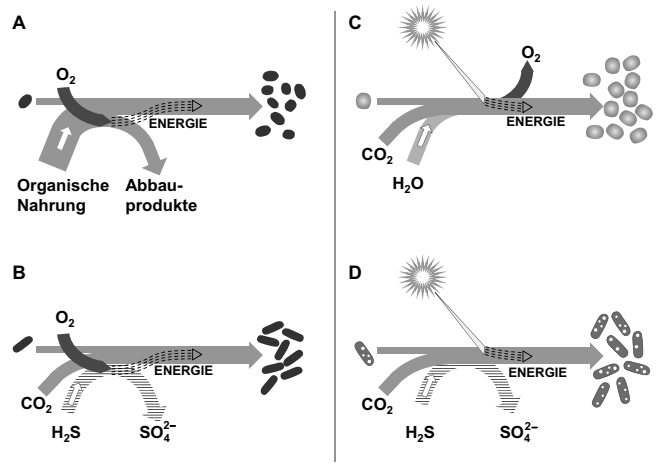


Abbildung 7. Einige der vielseitigen Lebensweisen von Mikroorganismen. **A** Viele Mikroorganismen leben im Prinzip wie Mensch und Tier. Ein Teil der organischen Nahrung wird in eigene Zellsubstanz (‚lebende Substanz‘) verwandelt. Dafür wird Energie benötigt. Diese wird bereitgestellt, indem ein anderer Teil der organischen Nahrung über Atmung mit Sauerstoff ( $O_2$ ) zu ‚wertlosen‘ Produkten (vor allem Wasser,  $H_2O$ , und Kohlendioxid,  $CO_2$ ) abgebaut wird. Diese Lebensweise heißt chemooorganotroph; die Nachsilbe ‚troph‘ bedeutet ‚ernährend, ernährungsbezogen‘. **B** Spezialisierte Mikroorganismen erhalten ihre Energie, indem sie giftigen Schwefelwasserstoff aus Schlamm und Sedimenten, ebenfalls über Sauerstoffatmung, zu Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) umsetzen. Der Kohlenstoff für die Zellsubstanz stammt aus  $CO_2$ . Diese Lebensweise heißt chemolithoautotroph; der Einfachheit halber wird oft etwas ungenau von chemosynthetisch gesprochen. Hoch angepasste Bakterien mit einer solchen Lebensweise leben in Symbiose mit wirbellosen Meerestieren und ermöglichen diesen ein Leben ohne übliche Nahrungsaufnahme. **C** Cyanobakterien, Algen und höhere grüne Pflanzen beziehen ihre Energie aus dem Sonnenlicht. Das ermöglicht, sämtliche Zellbausteine aus Kohlendioxid und Wasser (sowie Mineralien) zu bilden. Dabei wird Sauerstoff freigesetzt. Der Vorgang ist als Photosynthese geläufig; die Lebensweise heißt genau oxygen photoautotroph; ‚oxygen‘ bedeutet ‚mit Sauerstoffbildung verbunden‘. **D** Eine andere, wahrscheinlich urtümlichere Art der Photosynthese findet man bei Purpurbakterien, die manchmal in Tümpeln rote Lagen oder ‚Wolken‘ bilden. Sie bilden ihre Zellsubstanz aus Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff; letzterer wird zu kleinen Schwefelkugeln in den Zellen und schließlich zu Sulfat im freien Wasser umgesetzt. Man nennt diese Lebensweise anoxygen photoautotroph; ‚anoxygen‘ bedeutet ‚ohne Sauerstoffbildung‘. Eine eingehendere Darstellung der Lebensweisen von Mikroorganismen, vor allem der vielen Möglichkeiten ohne Sauerstoff, würde den Rahmen einer kurzen Übersicht sprengen.

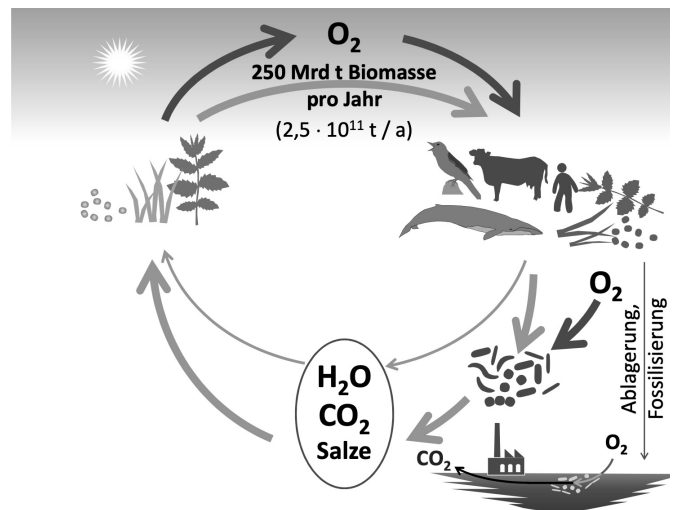


Abbildung 8. Für das Funktionieren des natürlichen Stoffzyklus (des Kreislaufs des Kohlenstoffs) sind Mikroorganismen unentbehrlich. Von der Biomasse aus der Photosynthese setzen Mensch und Tier nur einen kleinen Teil zu Kohlendioxid und Wasser um. Das ‚Recycling‘ des bei weitem größten Teils der Biomasse, auch das der Ausscheidungen von Tier und Mensch, ist Mikroorganismen und Pilzen zu verdanken. Ohne diese würde sich die Erde mit toter Biomasse füllen, und alles  $CO_2$  würde verschwinden. Neue Photosynthese und neues Leben wären nicht mehr möglich. Die  $CO_2$ -Bilanz wäre in umgekehrter Weise gestört, als wir es derzeit erleben. Heute setzen Technisierung und Mikroorganismen in auftauenden Permafrostböden und Rodungsgebieten  $CO_2$  aus ehemals abgelagerter Biomasse (wozu auch Kohle, Öl, Erdgas gehören; rechts unten im Bild stark vereinfacht) mit steigender Geschwindigkeit frei.



## Essen ohne Mund: Symbiosen zwischen darmlosen Meerestieren und Bakterien

Es sind die Ernährungsweisen, welche die Rolle und Bedeutung von Mikroorganismen in der Natur bestimmen. Tier und Mensch bauen ihre Nahrung nur teilweise ab und scheiden einen beträchtlichen Anteil unverdaulicher organischer Substanz aus. Mikroorganismen (wobei hier die Pilze dazugerechnet werden müssen) können dank vielseitiger Stoffwechselfähigkeit auch das verwerten, was Tier und Mensch ausscheiden, ebenso auch totes Pflanzenmaterial. Sie überführen all diese Substanzen in Kohlendioxid und Wasser, d.h. bewerkstelligen ein ‚Recycling‘ des Kohlenstoffs und schließen damit den großen Stoffkreislauf der Natur (Abbildung 8). Mikroorganismen können sogar viele synthetische Substanzen, die freigesetzt als Umweltgifte gelten, abbauen. Darüber hinaus tragen photosynthetische Mikroorganismen, die Cyanobakterien, erheblich zu Produktion von Biomasse und Sauerstoff bei. Im Ozean ist *Prochlorococcus*, ein relativ kleines Cyanobakterium, wahrscheinlich der Hauptproduzent von organischer Substanz und Sauerstoff. Vergewärtigt man sich, dass die Chloroplasten grüner Pflanzen ehemals einverleibte Verwandte von Cyanobakterien sind, so darf man behaupten, dass der Stoffkreislauf im Wesentlichen durch Prokaryonten geprägt wurde.

### Literaturhinweise:

Michael T. Madigan: Brock Mikrobiologie. Verlag Pearson Studium, 2013. Übersetzung der amerikanischen Originalausgabe von 2011, Brock Biology of Microorganisms. (Die Übersetzung der Ausgabe von 2018 erscheint 2020.)

Hans Günter Schlegel: Geschichte der Mikrobiologie. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, 1999.

Gerhard Gottschalk: Welt der Bakterien, Archaeen und Viren. Ein einführendes Lehrbuch der Mikrobiologie. Wiley-Blackwell, 2015.

Gerhard Gottschalk: Welt der Bakterien. Die unsichtbaren Herrscher. Wiley-Blackwell, 2009.

### Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Fritz Widdel  
Max-Planck-Institut für Marine  
Mikrobiologie  
Celsiusstr. 1  
28359 Bremen  
fwiddel@mpi-bremen.de

In der Natur sind alle Lebewesen auf die eine oder andere Art von anderen abhängig, und doch gibt es ganz besondere Formen der Vergesellschaftung - Symbiosen. Unter diesem Begriff verstehen Biologen ein räumlich enges Zusammenleben von Organismen unterschiedlicher Arten, wobei man den größeren Partner immer als Wirt, den kleineren als Symbionten bezeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch beinhaltet der Begriff „Symbiose“ in der Regel, dass die Partner einen gegenseitigen Vorteil aus der Beziehung ziehen. In der Biologie werden aber zusätzlich zu diesen sogenannten mutualistischen Symbiosen auch kommensalische, bei denen nur ein Partner profitiert, und parasitische Symbiosen, bei denen der andere Partner geschädigt wird, mit einbezogen, da oftmals keine klare Trennlinie zwischen diesen Formen gezogen werden kann.

Mikroorganismen, hierzu zählen Bakterien, Archäen und einzellige Eukaryonten, existieren schon viel länger auf der Erde als vielzellige Tiere, und sind in den meisten Lebensräumen allgegenwärtig. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Symbiosen zwischen Tieren und Mikroorganismen sehr häufig sind. Und obwohl wir Bakterien häufig mit Krankheiten assoziieren, wissen wir seit Kurzem, dass die große Mehrzahl der Bakterien, die in unserem Körper oder auf dessen Oberfläche leben, für uns vorteilhaft, wenn nicht sogar lebensnotwendig sind.

Der größte und wahrscheinlich artenreichste, allerdings auch am wenigsten erforschte Lebensraum auf unserem Planeten ist das Meer, und auch hier sind Symbiosen zwischen Tieren und Mikroorganismen allgegenwärtig. Besonders bekannt ist das Beispiel der Korallen: Diese Tiere beherbergen in ihrem Innern einzellige Algen, die Photosynthese betreiben, das heißt sie nutzen die Energie des Lichts um aus  $\text{CO}_2$  Biomasse zu produzieren, welche wiederum dem Korallenpolypen als Nahrung dient. Nur durch die Mithilfe der Symbionten gelingt es daher den Korallen, Bereiche des Meeres zu besiedeln, die eigentlich sehr nährstoffarm sind, und in diesen die riesigen Korallenriffe zu schaffen, die die Basis für eine enorme Artenvielfalt sind.

Auf eine weitere Art von Symbiose stießen Geologen im Jahr 1977, als sie im Rahmen der ‘Galapagos Hydrothermal Expedition’ heiße Tiefseequellen untersuchten. Bei Tauchgängen mit dem Forschungsunterseeboot Alvin fanden sie eine reiche Fauna von Muscheln und Röhrenwürmern. Ein spektakulärer Fund, denn aufgrund des in der Tiefsee herrschenden Mangels an Nahrungs- und Energiequellen würde man hier nur geringe Dichten tierischer Lebewesen erwarten. In die Tiefsee dringt kein Licht, daher kann keine Photosynthese stattfinden und organisches Material, das in den oberen, lichtdurchfluteten Schichten des Meeres gebildet wird, wird beim Absinken in die Tiefe bereits zum Großteil aufgezehrt (~95 %). Hydrothermalquellen aber sind ganz besondere Orte am Meeresgrund. Sie finden sich vor allem an sogenannten Spreizungszonen – die Nahtstellen, an denen Ozeanplatten auseinander driften. Hier kann heißes Magma aus dem Erdmantel aufsteigen und das im Meeresboden befindliche Wasser so stark erhitzen, dass aus gelöstem Sulfat energiereicher Schwefelwasserstoff entsteht. Diesen können Schwefelbakterien aufnehmen und an Stelle von Lichtenergie dazu nutzen,  $\text{CO}_2$  in Biomasse umzuwandeln - ein Prozess, den man als Chemosynthese bezeichnet.

Während man zunächst davon ausging, dass die Tiere an den Hydrothermalquellen freilebende Schwefelbakterien aus dem Wasser filtrieren, zeigten genauere Untersuchungen der Röhrenwürmer, dass diese gar keinen Verdauungstrakt, dafür aber ein ungewöhnlich großes und stark durchblutetes Organ im Hinterleib haben (das sogenannte Trophosom), in welchem Schwefeleinschlüsse zu finden sind. US-amerikanische Wissenschaftler um Colleen Cavanaugh konnten in den darauffolgenden Jahren schrittweise zeigen, dass in den Zellen des Trophosoms Schwefelbakterien leben, die Chemosynthese betreiben und so die Würmer ernähren (Cavanaugh 1983). Die Würmer nehmen den Schwefelwasserstoff mit ihren Kiemen auf und transportieren ihn über den Blutkreislauf ins Trophosom zu den Bakterien. Auch bei an den Hydrothermalquellen vorkommenden Mu-

schnell stellte sich heraus, dass sie Symbionten in ihren Kiemen beherbergen und ihr Verdauungstrakt weitgehend zurückgebildet ist.

Daraufhin kam die Frage auf, ob ähnliche Symbiosen auch bei anderen Tieren und in anderen schwefelreichen Lebensräumen auftreten können. Schwefelwasserstoff findet sich zum Beispiel oft unterhalb der obersten Schichten des Meeresbodens, in die kein Sauerstoff aus dem Meerwasser mehr vordringt. Produziert wird er hier von Bakterien, die organische Überreste abbauen und Sulfat veratmen. In der Tat waren mund- und darmlose Würmer bereits seit Jahrzehnten aus der Sandlückenfauna beschrieben, ohne dass der Frage nach deren Ernährungsgrundlage weiter nachgegangen wurde. Forschungen der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Olav Giere konnten schließlich zeigen, dass Würmer der Gattung *Inanidrilus* symbiotische Schwefelbakterien in ihrer Haut beherbergen und sich von diesen ernähren (Giere 1981).

Darmlose Oligochaeten der Gattungen *Olavius* und *Inanidrilus* bilden eine geschlossene Abstammungsgruppe innerhalb der Anneliden (Ringelwürmer). Weltweit sind mittlerweile über 100 Arten bekannt, die vor allem in tropischen und subtropischen Küstenbereichen in Seegraswiesen, Mangroven und Korallenriffen vorkommen. Ein besonderes Vorkommen dieser Würmer wurde an der italienischen Mittelmeerinsel Elba entdeckt. Vor allem die Art *Olavius algarvensis* (Abb. 1) war hier sehr häufig in der Nähe von Seegraswiesen (Abb. 2) zu finden. Das Erstaunliche an dieser Entdeckung war, dass Schwefelwasserstoff in diesem Habitat nur in geringen Konzentrationen auftritt. Wie schafft es *Olavius algarvensis* trotzdem genug Nahrung durch seine Symbionten zu bekommen?

Wieder einmal lohnte es sich, genauer hinzusehen. In der Haut dieses Wurmes findet sich nicht nur eine Art von Bakterien (Abb. 3). Zusätzlich zu den schwefeloxidierenden Bakterien sind Sulfatreduzierer vorhanden, die, ähnlich wie ihre freilebenden Verwandten, Sulfat zu Schwefelwasserstoff verarbeiten (Dubilier et al. 2001). Dieser Schwefelwasserstoff dient den Schwefelbakterien als Energieträger, welche wiederum Sulfat als Abfallprodukt ausscheiden. Durch die Aufnahme eines weiteren Symbionten in die Lebensgemeinschaft sind die Würmer daher von externen Schwefelwasserstoff-

quellen unabhängig; sie haben ihre Energieproduzenten mit an Bord und können so in neue Lebensräume vordringen. Hier liegt also eine echte Dreierbeziehung vor, bei der auch die Symbionten jeweils voneinander profitieren. Der Wurm leistet seinen Beitrag, indem er sich im Sediment bewegt und dadurch dafür sorgt, dass die Bakterien immer genug Substrate bekommen. Mittlerweile wissen wir, dass sogar regelmäßig fünf verschiedene Symbionten auftreten: zwei Schwefeloxidierer, zwei Sulfatreduzierer, sowie eine Bakterienart aus der Gruppe der Spirochaeten, deren Rolle in der Lebensgemeinschaft aber noch geklärt werden muss.

Aktuelle Forschungen unserer Arbeitsgruppe befassen sich mit der Evolution, Verbreitung und Vielfalt der darmlosen Oligochaeten. Des Weiteren befassen wir uns mit dem genetischen und metabolischen Repertoire der Symbionten, der Reproduktion und Weitergabe der Symbionten sowie der Ökologie der Seegraswiesen. Darmlose Oligochaeten sind noch lange nicht die einzigen chemosynthetischen Symbiosen im Sandlückensystem. Verschiedene Fadenwürmer (Nematoda), Plattwürmer (Plathelminthes), und sogar einzellige Wimperntierchen (Ciliata) sind unabhängig voneinander Verbindungen mit chemosynthetischen Bakterien eingegangen, was einmal mehr die Bedeutung von Symbiosen in diesem Lebensraum zeigt (Dubilier et al. 2008).



Abb. 1 *Olavius algarvensis*, ein darmloser Wurm, der in Symbiose mit Schwefelbakterien lebt. Die weiße Farbe wird durch mikroskopisch kleine Schwefeleinschlüsse in den in der Haut befindlichen Bakterien hervorgerufen.



Abb. 2 Das Habitat von *Olavius algarvensis*: Seegraswiesen im Küstenbereich der Insel Elba (Italien). Photo: Yui Sato, MPI Bremen

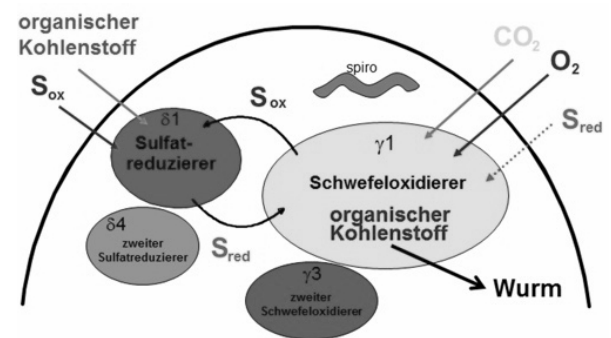


Abb. 3 Stoffwechsel der *Olavius algarvensis* Symbiose: Schwefeloxidierende Bakterien in der Haut des Wurmes nehmen reduzierte Schwefelverbindungen ( $S_{red}$ ) wie Schwefelwasserstoff aus dem Meerwasser auf und gewinnen daraus Energie, um  $CO_2$  zu fixieren. Dabei setzen sie oxidierte Schwefelverbindungen ( $S_{ox}$ ) wie Sulfat frei, die wiederum von Sulfatreduzierern aufgenommen werden, die es wiederum zu reduzierten Schwefelverbindungen umwandeln. Dadurch findet ein symbiotischer Austausch von oxidierten und reduzierten Schwefelverbindungen innerhalb der Wurmes statt.

Symbiosen spielen in der Evolution des Lebens auf der Erde eine fundamentale Rolle. Durch den Zusammenschluss mit



**Michael Blaut**  
**Das intestinale Mikrobiom**  
**– die unsichtbare Kraft im Verdauungstrakt**

anderen können Organismen viel schneller neue Funktionen und Merkmale erwerben als durch langsame, schrittweise genetische Veränderungen. Somit können sie sich schneller an neue Umweltbedingungen anpassen, neue Lebensweisen entwickeln und Lebensräume erschließen – Evolution auf der Überholspur. Alle eukaryotischen Organismen sind schließlich auch aus einer Symbiose hervorgegangen: die Mitochondrien, Zellorganellen die in allen eukaryotischen Zellen für den Energiestoffwechsel zuständig sind, waren einmal freilebende Bakterien. Kooperation ist also oftmals der Schlüssel zum Erfolg.

#### Literatur

Cavanaugh CM (1983) Symbiotic chemoautotrophic bacteria in marine invertebrates from sulphide-rich habitats. *Nature* 302:58–61.

<https://doi.org/10.1038/302058a0>

Dubilier N, Bergin C, Lott C (2008) Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis. *Nature Reviews Microbiology* 6:725–740.

<https://doi.org/10.1038/nrmicro1992>

Dubilier N, Mülders C, Ferdelman T, de Beer D, Pernthaler A, Klein M, Wagner M, Erséus C, Thiermann F, Krieger J, Giere O, Amann R (2001) Endosymbiotic sulphate-reducing and sulphide-oxidizing bacteria in an oligochaete worm. *Nature* 411:298–302.

<https://doi.org/10.1038/35077067>

Giere O (1981) The gutless marine oligochaete *Phalodrilus leukoderma*. Structural studies on an aberrant tubificid associated with bacteria. *Marine Ecology Progress Series* 5:353–357.

<https://doi.org/10.3354/meps005353>

#### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Nicole Dubilier  
Director, Max Planck Institute for Marine Microbiology  
Head of the Symbiosis Department  
Celsiusstr. 1  
28359 Bremen  
ndubilie@mpi-bremen.de

Dr. Alexander Gruhl  
Max Planck Institute for Marine Microbiology  
Celsiusstr. 1  
28359 Bremen  
agruhl@mpi-bremen.de

#### Zusammenfassung

Obwohl Mikroorganismen mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind, haben sie praktisch alle Lebensräume auf unserem Planeten erobert. Man findet sie im Wasser, auf dem Land sowie auf und in Pflanzen und Tieren. Besonders im Darm von Mensch und Tier erreichen Mikroorganismen hohe Besiedlungsdichten. So ist der humane Dickdarm mit  $10^{11}$  Zellen/g Darminhalt einer der am dichtesten besiedelten Standorte überhaupt. Diese mikrobielle Lebensgemeinschaft, auch intestinale Mikrobiota oder Mikrobiom genannt, besteht zu mehr als 99% aus Bakterien. Bei dem übrigen 1% handelt es sich um Archaeen und Pilze. Die Entwicklung der intestinalen Mikrobiota beginnt mit der Geburt, indem Mikroorganismen durch das Neugeborene vom Urogenitaltrakt und von der Haut der Mutter sowie aus der Umgebung oral aufgenommen werden und so in den Darm gelangen. Die Bakterien, die im Darm eine ökologische Nische finden, siedeln sich an, während die anderen wieder ausgeschieden werden. In der Phase der Erstbesiedlung unterliegt die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota ständigen Änderungen und erst im Laufe des ersten Lebensjahres stabilisiert sie sich.

Aufgrund vielfältiger Effekte auf den Wirtsorganismus hat das wissenschaftliche Interesse am intestinalen Mikrobiom stark zugenommen. Grund hierfür sind Hinweise, dass Fehlfunktionen des intestinalen Mikrobioms zur Entstehung von bestimmten Erkrankungen beitragen können. So gibt es Untersuchungen, die eine Rolle von Darmbakterien bei Adipositas, Diabetes, entzündlichen Darmerkrankungen, Dickdarmkrebs und weiteren Krankheiten nahelegen. Über die genauen Mechanismen ist bis auf wenige Ausnahmen wenig bekannt. In allen Fällen geht man davon aus, dass das enge Zusammenspiel zwischen dem Wirt und seiner Mikrobiota in irgendeiner Weise gestört ist. Das kann mit dem Einfluss von Darmbakterien auf das Immunsystem zusammenhängen, aber auch darauf beruhen, dass bestimmte Bakterien in der Bakteriengemeinschaft Metaboliten bilden, die den Stoffwechsel des Wirtes beeinflussen.

Eine der Hauptaufgaben der intestinalen Mikrobiota besteht in der Umsetzung von

nicht verdaulichen Nahrungsbestandteilen, zu denen Ballaststoffe und sekundäre Pflanzenstoffe gehören. Produkte, die von Darmbakterien aus diesen Verbindungen gebildet werden, interagieren mit dem Stoffwechsel des Wirtes. Darüber hinaus spielt die Darmmikrobiota eine wichtige Rolle bei der Reifung und Aufrechterhaltung des Immunsystems. Störungen solcher Prozesse können die Ursache von Erkrankungen sein. Die Art der Ernährung hat wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota, da diese die Hauptenergiequelle für Darmbakterien darstellt. Daraus folgt, dass eine gesunde Ernährung eine Mikrobiota begünstigt, die für den Wirt von Vorteil ist.

#### Einleitung

Mikroorganismen (Bakterien, Archaeen und Pilze) kommen an nahezu allen Standorten auf der Erde vor. Für unseren Planeten sind sie essentiell, weil sie z.B. wichtige Stoffkreisläufe, wie die für Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel aufrechterhalten. Aufgrund ihrer geringen Größe sind Mikroorganismen mit dem bloßen Auge nicht wahrnehmbar. Daher dauerte es bis zur Entwicklung des ersten Mikroskops durch den niederländischen Naturforscher Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), bis diese einzelligen Kleinstlebewesen sichtbar gemacht werden konnten. Die mikrobiologische Forschung bekam einen großen Schub durch die Entdeckung, dass Mikroorganismen Ursache einer Vielzahl von Erkrankungen sein können. Insbesondere die Arbeiten von Robert Koch und Louis Pasteur führten zu dieser Erkenntnis und ermöglichten die Entwicklung von Methoden zur Verhinderung und Behandlung von Infektionskrankheiten. Zählten diese um 1900 zu den wichtigsten Todesursachen, so waren es 100 Jahre später stattdessen Herzerkrankungen, Schlaganfälle und Krebs. Aufgrund dieser Entwicklung ist es vielleicht nicht überraschend, dass Bakterien von den meisten Menschen als Krankheitserreger wahrgenommen werden, obwohl nur eine kleine Minderheit der bekannten Bakterien Infektionen auslösen kann.

Die Entwicklung von Methoden zur Kultivierung, Anreicherung und Isolierung von Bakterien ermöglichte die

Untersuchung einzelner Bakterienisolate und die Charakterisierung ihres Stoffwechsels und ihrer Rolle an ihrem charakteristischen Standort. Anfänglich wurden hauptsächlich fakultativ aerobe bzw. aerotolerante Mikroorganismen isoliert und beschrieben. Das mag ein Grund sein, warum es relativ lange dauerte, bis man einen ersten Überblick über die im Darm von Mensch und Tier vorkommenden Bakterien erhielt. So beschrieb der deutsch-österreichische Kinderarzt und Bakteriologe Theodor Escherich (1857-1911) ein Bakterium aus der Stuhlprobe von Kindern, das er *Bacterium coli commune* nannte. Dieses wurde später ihm zu Ehren *Escherichia coli* genannt. Es ist das wohl am besten untersuchte Bakterium überhaupt.

Erst die Entwicklung von Methoden zur Kultivierung strikt anaerober, extrem sauerstoffempfindlicher Bakterien ermöglichte die Isolierung von Mikroorganismen von anoxischen Standorten wie dem Verdauungstrakt von Mensch und Tier. Robert E. Hungate (1906 – 2004) ist einer der Pioniere, die hierzu einen wichtigen Beitrag lieferte. Er lehrte an der Universität von Kalifornien in Davis, wo er über den Rinderpansen forschte. Sydney M. Finegold (1921 - 2018; Universität von Kalifornien in Los Angeles), der sich schon sehr früh für die Rolle von Darmbakterien auf die Gesundheit interessierte, entwickelte die Anaerobenbox, die die Handhabung von strikten Anaerobiern erheblich vereinfachte. Diese und weitere Forscher, die sich mit strikten Anaerobiern beschäftigten, legten den Grundstein für unser heutiges Wissen auf diesem Gebiet. Einen weiteren Schub erlebten das Feld und die Mikrobiologie insgesamt mit der Entwicklung molekularer Methoden, die die Erfassung und Identifizierung von Bakterien erheblich vorantrieben.

### Zusammensetzung der gastrointestinalen Mikrobiota des Menschen

Der Begriff Mikrobiota wurde eingeführt, weil der Begriff Mikroflora eine Fehlbezeichnung ist, denn Flora bezeichnet die Pflanzenwelt. Da Bakterien nicht zum Pflanzenreich gehören, wurde der o.g. Begriff eingeführt. Die gastrointestinale Mikrobiota umfasst alle Mikroorganismen vom Magen bis zum Dickdarm. Die Besiedlungsdichte nimmt vom Magen (10 - 1000 Zellen/ml) über den Dünndarm (10<sup>2</sup> - 10<sup>9</sup> Zellen/ml) bis zum Dickdarm (10<sup>10</sup> - 10<sup>12</sup> Zellen/ml) stark zu. Neben Bakterien findet man im Verdau-

ungstrakt Archaeen, Pilze und Viren, wobei der Anteil von Archaeen und Pilzen an der Gesamtzellzahl auf 0,8% bzw. 0,1% geschätzt wurde [20]. Die einzelnen Abschnitte des Verdauungstraktes unterscheiden sich in ihren physikochemischen Bedingungen, so dass jeweils unterschiedliche Bakterienspezies dominieren, die an die jeweiligen Bedingungen am besten angepasst sind. So findet man z.B. im dünn besiedelten Magen, welcher einen niedrigen pH-Wert aufweist, vor allem Bakterien, die gut mit einer sauren Umgebung zurechtkommen, während in den anderen Darmabschnitten andere Bakterien dominieren (Abbildung 1).

Es wird geschätzt, dass im Darm eines Erwachsenen etwa 3,8 x 10<sup>13</sup> mikrobielle Zellen vorkommen; diese Zellen wiegen ungefähr 200 g [23]. Die Anzahl der Körperzellen einschließlich der roten Blutzellen ist mit 3,0 x 10<sup>13</sup> nahezu genauso groß. Ältere Schätzungen berichteten von einem Verhältnis von 10:1 zugunsten der Bakterienzellen.

Die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota zeichnet sich durch eine hohe Diversität aus. Auf Grundlage einer umfassenden Analyse von Stuhlproben von 124 Europäern wurde geschätzt, dass jedes Individuum mindestens 160 Bakterienspezies beherbergt, von denen viele unbeschrieben sind [20]. Die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota zeigt große individuelle Unterschiede. So kamen in der zitierten Untersuchung 75 Spezies in mehr als 50% der Individuen vor und 57 Spezies in mehr als 90%. Trotz dieser Unterschiede lassen sich die

vorkommenden Spezies einer relativ begrenzten Anzahl der bekannten Phyla zuordnen. Ein Phylum stellt in der hierarchischen Struktur der Bakterien-Taxonomie die höchste Ebene dar: Phylum, Klasse, Ordnung, Familie, Gattung, Spezies. Von den über 30 bekannten Bakterien-Phyla kommen im humanen Darm nur sechs in nennenswertem Umfang vor: Firmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria, Verrucomicrobia, Proteobacteria und Fusobacteria (Abbildung 1).

Nach eingehender Analyse von humanen Stuhlproben wurde von einigen Wissenschaftlern vorgeschlagen, dass sich die Mikrobiome von Menschen aufgrund der Dominanz bestimmter Schlüsselorganismen drei sogenannten Enterotypen zuordnen lassen, nämlich Bacteroides, Prevotella und Ruminococcus [1]. Allerdings hat dieses Konzept aus verschiedenen Gründen keine allgemeine Akzeptanz gefunden. Insbesondere die Tatsache, dass sich der Enterotyp in einem gegebenen Individuum im Laufe der Zeit ändern kann, spricht dagegen, dass es sich dabei um ein konstantes und nützliches Merkmal handelt [15].

### Physiologie der Darmbakterien

Über 95% der im Darm vorkommenden Mikroorganismen sind strikte Anaerobier, d.h. sie können nicht an der Luft wachsen, weil ihr Stoffwechsel durch Sauerstoff gehemmt wird. Fakultative Anaerobier wie *Escherichia coli* können sowohl aerob als auch anaerob wachsen. Darüber hinaus gibt es aerotolerante Bakterien, die Sauerstoff zwar tolerieren, ihn aber nicht

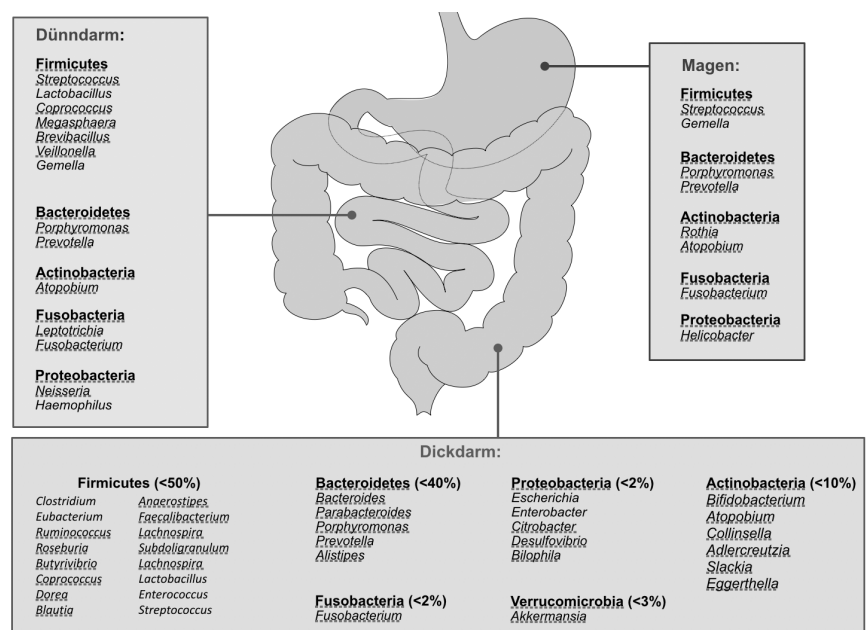


Abbildung 1: Bakterielle Taxa in den verschiedenen Darmabschnitten des Verdauungstraktes



zur Energiegewinnung nutzen können. Zu dieser Gruppe gehören Milchsäurebakterien. Die Verfügbarkeit von Sauerstoff im Darm ist sehr gering. Am Ende des Dünndarms und im Dickdarm findet man nur in der Nähe des Epithels geringe Mengen an Sauerstoff, welche durch fakultative Aerobier effizient genutzt werden. Durch den Sauerstoffverbrauch und den reduktiven Stoffwechsel herrscht insbesondere im Dickdarm ein stark reduktives Milieu mit einem Redoxpotenzial (Eh) von etwa -215 mV.

Nicht nur der pH-Wert und der Sauerstoffpartialdruck unterscheiden sich in den einzelnen Abschnitten des Verdauungstraktes, sondern auch die Verfügbarkeit von Substraten, die Konzentration von Gallensäuren und Verdauungsenzymen sowie die Geschwindigkeit, mit der die Darminhalte den jeweiligen Darmabschnitt passieren. Die höchste Bakterien-dichte findet man im Dickdarm (Kolon). Im proximalen Kolon werden hauptsächlich Kohlenhydrate, die der Verdauung entgangen sind, durch Darmbakterien zu kurzkettigen Fettsäuren fermentiert, während im distalen Kolon, wo die Kohlenhydrate schon weitgehend erschöpft sind, Proteine fermentiert werden. Diese Unterschiede sind dafür verantwortlich, dass der pH-Wert im proximalen Kolon bei 6 liegt, der im distalen Kolon hingegen bei etwa 7. Gallensäuren sind Detergenzien; daher können sie die Zellmembran von Bakterienzellen lysieren und diese damit abtöten. Darmbakterien unterscheiden sich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Gallensäuren. Fettreiche Diäten führen zu erhöhten Konzentrationen von Gallensäuren im Darm. Das kann das Wachstum empfindlicher Bakterien einschränken und das von resistenten Bakterien fördern. Auch eine gewisse Stabilität gegenüber Proteasen in den Verdauungsenzymen ist eine wichtige Voraussetzung für das Überleben von Darmbakterien im Verdauungstrakt.

### Die Erstbesiedlung des Verdauungstraktes

Der Fötus ist steril und das Neugeborene kommt erstmals zum Zeitpunkt der Geburt mit lebenden Bakterien in Berührung. Die ersten Mikroorganismen, die den Säugling besiedeln, stammen vom Urogenital- und Verdauungstrakt sowie der Haut der Mutter. Sie werden oral aufgenommen und gelangen so in den Verdauungstrakt. Obwohl kürzlich in Nabelschnurblut und in der Plazenta bakterielle

DNA gefunden wurde und es gelang, aus Kindspech (Meconium) Bakterien zu isolieren, spricht die sehr geringe Besiedlungsdichte bei gesunden Neugeborenen dafür, dass die Erstbesiedlung innerhalb der ersten zwei Wochen nach der Geburt erfolgt.

Anfänglich findet man vor allem aerobe und fakultativ anaerobe Bakterien. Obwohl abrupte Änderungen auftreten können, besiedeln Bacilli, Clostridia und Gammaproteobacteria den Gastrointestinaltrakt in einer bestimmten Reihenfolge. Die Art der Geburt (vaginal oder sectio), Ernährung (Muttermilch oder Formula) und Antibiotikagabe sind wichtige Einflussfaktoren bei der mikrobiellen Besiedlung Neugeborener. Die intestinale Mikrobiota stabilisiert sich im Laufe des ersten Lebensjahres, und sie weist dann bereits ein individuell charakteristisches Muster auf. Jedes Individuum beherbergt eine spezifische Mikrobiota, deren Zusammensetzung auch durch genetische Faktoren des Wirtes beeinflusst wird. So ist die Mikrobiota-Zusammensetzung von eineiigen Zwillingen deutlich ähnlicher als die von nicht verwandten Personen. Für die Stabilität des Ökosystems sind drei ökologische Gesichtspunkte von Bedeutung:

1. Nur anpassungsfähige Bakterien können sich im Ökosystem etablieren.
2. Für das Ökosystem wichtige Funktionen sind mehrfach vorhanden und tragen zu seiner Stabilisierung bei.
3. Die Beziehungen von Bakterienpopulationen im Darm sind überwiegend kooperativ; sie können aber auch antagonistisch sein.

### Darmbakterien beeinflussen die Physiologie des Wirtsorganismus

Die Bedeutung der Darmbakterien für die Physiologie des Menschen wurde lange unterschätzt. Es stellte sich im Lauf der Zeit heraus, dass die Darmmikrobiota eine Vielzahl von Prozessen im Körper beeinflusst. So spielt die intestinale Mikrobiota eine wichtige Rolle bei der Reifung des Immunsystems und der Aufrechterhaltung seiner

Funktion. Das darmassoziierte lymphatische Gewebe stellt die größte Komponente des Immunsystems dar. Das ist nicht verwunderlich, denn der Darm ermöglicht aufgrund seiner großen Oberfläche viel Raum für Interaktionen mit den Mikroorganismen im Darmlumen. Ein funktionierendes Immunsystem ist wichtig, damit pathogene Bakterien, die in den Verdauungstrakt gelangen, effektiv bekämpft werden können, während kommensale Bakterien toleriert werden. Hierfür ist der Kontakt des Immunsystems mit Bakterien von entscheidender Bedeutung. Störungen können beispielsweise die Ursache von entzündlichen Darmerkrankungen wie Morbus Crohn oder Colitis ulcerosa sein. Darmbakterien schränken auch die Fähigkeit von oral aufgenommenen, enteropathogenen Bakterien ein, sich zu vermehren, indem sie die Verfügbarkeit von Wuchs- und Nährstoffen einschränken.

Die Darmmikrobiota verfügt über eine immense Stoffwechselaktivität, die durchaus mit der der Leber vergleichbar ist. Im Gegensatz zum oxidativen Stoffwechsel des Wirtsorganismus ist der Stoffwechsel der Mikrobiota aufgrund des geringen Sauerstoffpartialdrucks im Darm eher reduktiver Natur. Die Vielfaltigkeit der von der intestinalen Mikrobiota katalysierten Reaktionen spiegelt sich in deren Metagenom (die Gesamtheit aller bakteriellen Gene im Ökosystem, auch als Mikrobiom bezeichnet) wider. Eine der Hauptaufgaben der Mikrobiota liegt in der Fermentation von nicht verdaulichen komplexen Kohlenhydraten, den sogenannten Ballaststoffen. Sie stellen die Hauptenergiequelle für die überwiegende Mehrheit der im Darm vorkommenden Mikroorganismen

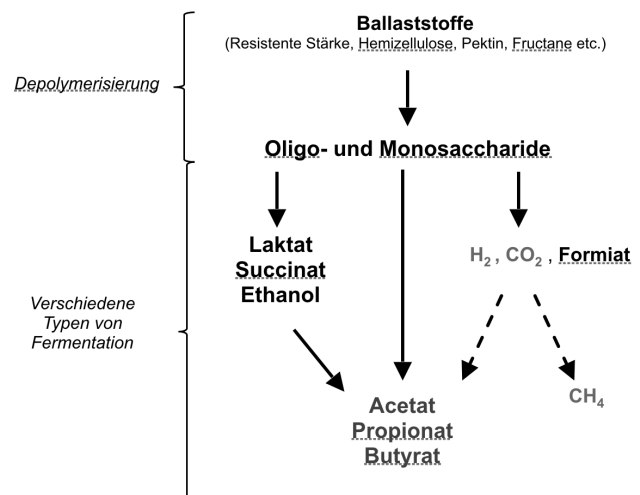


Abbildung 2: Bakterieller Abbau von nicht verdaulichen, komplexen Kohlenhydraten im Dickdarm

men dar. Dazu passt, dass das intestinale Mikrobiom im Vergleich zum humanen Metagenom einen besonders hohen Anteil an Genen enthält, die für den Kohlenhydratabbau benötigt werden.

Somit stellt die Darmmikrobiota Enzyme zur Verfügung, die dem Wirt fehlen und die es ihm ermöglichen, die Produkte des bakteriellen Ballaststoffabbaus zu nutzen. Dieser Abbau beginnt mit der Spaltung komplexer Kohlenhydrate in Mono- und Oligomere, die dann über verschiedene Abbauewege letztlich zu den kurzkettigen Fettsäuren Essigsäure (Acetat), Propionsäure (Propionat) und Buttersäure (Butyrat), sowie Kohlendioxid, Wasserstoff, Ameisensäure und (bei jedem 2. Menschen) zu Methan umgesetzt werden. Als Intermediate treten Milchsäure (Lactat), Bernsteinsäure (Succinat) und Ethanol auf (Abbildung 2). Bei Verzehr einer typisch westlichen Diät werden täglich 20 - 25 g an Ballaststoffen aufgenommen. Bei Diäten, die reich an Vollkornprodukten, Früchten und Gemüse sind, kann die tägliche Ballaststoffaufnahme bis zu 60 g betragen.

Alle Nahrungsinhaltsstoffe, die im Dünndarm durch körpereigene Enzyme nicht oder nur unvollständig abgebaut werden, sind potenzielle Substrate für Darmbakterien. Resistente Stärke, Zellulose, Hemizellulose, Pektin und Inulin gehören zu den wichtigsten komplexen Kohlenhydraten, welche im Kolon durch Darmbakterien abgebaut und verwertet werden. Vollkornprodukte, Hülsenfrüchte, Nüsse, Gemüse und Obst sind wichtige Lieferanten fermentierbarer Ballaststoffe. Strukturell weisen diese Polysaccharide eine ungewöhnliche Vielfalt auf, die darauf beruht, dass sie nicht nur aus einer Vielzahl unterschiedlicher monomerer Bausteine (z.B.: Glukose, Galaktose, Mannose, Arabinose, Xylose, Uronsäuren) zusammengesetzt sein können, sondern dass sie zusätzlich in der Art der Verknüpfung der Monomere und im Polymerisationsgrad variieren. So bestimmt die Struktur eines polymeren Kohlenhydrats maßgeblich dessen Wasserlöslichkeit, Viskosität und Fermentierbarkeit durch Darmbakterien.

Während wasserlösliche Polysaccharide wie Inulin (Ketten von  $\beta$ -2,1-glykosidisch verknüpfter Fruktose mit einer endständigen Glukose), Pektin (Ketten von  $\alpha$ -1,4-verknüpfter D-Galakturonsäure, teilweise mit Methanol verestert) und Guar ( $\beta$ -1,4-glykosidisch verknüpfte Mannoseketten mit  $\alpha$ -6,1-glykosidisch verknüpfter Galak-

tose) durch Darmbakterien gut fermentiert werden, wird Zellulose ( $\beta$ -1,4-glykosidisch verknüpfte Glukoseeinheiten mit einem Polymerisationsgrad von bis zu 10 000) aufgrund ihrer mikrokristallinen Struktur und ihrer geringen Wasserlöslichkeit nicht oder nur teilweise von Darmbakterien umgesetzt. Zur Spaltung von Polysacchariden wie Inulin, Pektin und Guar in oligomere und monomere Kohlenhydrate verfügt die humane Darmmikrobiota über ein breites Spektrum von Enzymen. Im Zuge der bakteriellen Fermentation im humanen Kolon werden bis zu 600 mmol an kurzkettigen Fettsäuren gebildet.

Der bakterielle Abbau von nicht verdaulichen Kohlenhydraten zu kurzkettigen Fettsäuren ermöglicht eine verbesserte Energieextraktion aus der Nahrung. Ohne bakterielle Fermentation im Kolon würden nicht verdauliche Kohlenhydrate unverändert ausgeschieden werden. Die im Kolon durch Fermentation gebildeten kurzkettigen Fettsäuren werden in die Kolonepithelzellen aufgenommen. Dort wird bevorzugt Butyrat oxidiert, welches etwa 70% zum Energiebedarf dieser Zellen beiträgt. Die restlichen kurzkettigen Fettsäuren gelangen über das Blut in andere Körpergewebe. Acetat und Butyrat werden dort hauptsächlich für die Energiegewinnung genutzt, während Propionat auch als Baustein für die Neusynthese von Glukose (Glukoneogenese) genutzt werden kann. In der Leber fließt ein großer Teil des Acetats in die Synthese von langkettigen Fettsäuren und Cholesterol.

Teilweise decken Darmbakterien ihren Energiebedarf auch durch die Fermentation von körpereigenen Substanzen wie Schleim (Mucus), der ständig in den Darm sezerniert wird. Mucus besteht aus einer Mischung aus Glykoproteinen, an deren Protein-Rückgrat Kohlenhydratketten O-glykosidisch über Serin- und Threoninreste gebunden sind. Die einzelnen Glykoproteinmoleküle sind über Disulfidbrücken verknüpft, wodurch sie ein Netzwerk bilden, welches das Epithel als gelartige Schicht bedeckt und schützt. Das reife Glykoprotein besteht zu etwa 20% aus Protein und zu 80% aus Kohlenhydratresten [24]. Darmbakterien nutzen sowohl die Kohlenhydratreste als auch die Proteine des Mucus als Energie-substrat.

Neben Kohlenhydraten und Proteinen setzen einige Darmbakterien auch nicht nutritive, sekundäre Pflanzenstoffe um, die in unterschiedlich großen Mengen in

pflanzlichen Lebensmitteln vorkommen. Isoflavone, eine Untergruppe der Polyphenole, gehören zu dieser Stoffgruppe. Sie sind von Interesse, weil einige dieser Verbindungen gegen bestimmte Krebsformen präventiv wirksam sein sollen. Das in Soja vorkommende Isoflavon Daidzein hat allerdings eine relativ geringe biologische Wirksamkeit. Im Gegensatz dazu weist das durch einige Darmbakterien wie *Slackia isoflavoniconvertens* aus Daidzein gebildete Isoflavon Equol eine höhere biologische Aktivität auf. Allerdings sind nur 30 - 50% der Menschen Equolbildner.

Über die beispielhaft genannten Substanzgruppen hinaus sind Darmbakterien in der Lage, eine Vielzahl von Stoffen, die aus der Nahrung oder vom Wirtsorganismus stammen, umzusetzen. In Abhängigkeit von ihren Eigenschaften können einige dieser bakteriell gebildeten Produkte andere Organe des Körpers erreichen und dort Effekte auslösen. So ist es nicht verwunderlich, dass eine gestörte Darmmikrobiota mit einer Vielzahl von Erkrankungen in Zusammenhang gebracht wird.

### **Die Ernährung beeinflusst intestinale Mikrobiota maßgeblich**

Die Nahrung ist die wichtigste Substratquelle für das bakterielle Wachstum. Dementsprechend beeinflusst sie die Zusammensetzung und Aktivität der intestinalen Mikrobiota maßgeblich. Tatsächlich führen drastische Ernährungsumstellungen innerhalb von einem Tag zu Änderungen im Mikrobiom [7]. Probanden wechselten von ihrer normalen Diät entweder auf eine Diät, die hauptsächlich aus tierischen Produkten (Eier, Käse und Fleisch) bestand, oder auf eine pflanzliche Diät, die reich an Getreide, Obst, Gemüse und Hülsenfrüchten war. Die auf Tierprodukten basierende Diät enthielt im Vergleich zur pflanzenbasierten Diät mehr Fett (70 versus 30 Energieprozent) und mehr Protein (30 versus 16 Energieprozent), aber nahezu keine Ballaststoffe. Bei den Probanden, welche die auf Tierprodukten basierende Diät verzehrten, wurde in der intestinalen Mikrobiota ein Anstieg gallensäureresistenter Bakterien wie *Bilophila*, *Alistipes* und *Bacteroides* beobachtet. Bei den Probanden auf der pflanzenbasierten Diät wurden erhöhte Zellzahlen von Bakterien wie *Ruminococcus*, *Roseburia* und *Eubacterium* gefunden, die am Abbau komplexer Kohlenhydrate beteiligt sind. Im Fall der fett-



und proteinreichen Diät wurden Bakterien unterdrückt, die gegen Gallensäuren empfindlich sind. Hingegen wurden Bakterien, die gegen Gallensäuren resistent sind oder diese sogar als Substrat nutzen können, wie *Bilophila*, gefördert. Die Menge und das Spektrum der gebildeten Gallensäuren wird durch den Fettgehalt der Diät beeinflusst. Fett selbst stellt für Bakterien im anaeroben Milieu des Darms jedoch kein Substrat dar, da für die Oxidation von Fettsäuren Sauerstoff erforderlich ist.

In Untersuchungen an adipösen Menschen und Mäusen wurde eine Zunahme des Anteils an Firmicutes auf Kosten von Bacteroidetes beobachtet [16, 17]. Eine italienische Studie verglich die intestinalen Mikrobiome 2- bis 6-jähriger Kinder in Italien und Burkina Faso, die ihre jeweils landestypische Diät verzehrten. Die untersuchten Gruppen wiesen große Unterschiede in der Mikrobiota-Zusammensetzung auf, was höchstwahrscheinlich auf die großen Ernährungsunterschiede zurückzuführen ist. Die italienischen Kinder nahmen deutlich weniger Ballaststoffe auf als die Kinder in Burkina Faso. Ihr Anteil in der täglichen Diät betrug bei den italienischen Kindern 0,9 % und 3,2 % bei den Kindern aus Burkina Faso, während die Energieaufnahme höher war (925 g versus 445 g) [8]. Diese Untersuchungen unterstreichen die Bedeutung der Ernährung für die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota.

### Rolle des intestinalen Mikrobioms bei der Entstehung verschiedener Erkrankungen

Die Bedeutung der intestinalen Mikrobiota für die Entstehung von Erkrankungen wurde lange Zeit unterschätzt. Im Gegensatz dazu besteht heute eher die Tendenz, bei nahezu jeder Erkrankung eine Beteiligung der intestinalen Mikrobiota zu vermuten (Abbildung 3). Das mag daran liegen, dass die Mikrobiome von Erkrankten und Gesunden häufig unterschiedliche Muster aufweisen. Das gilt u.a. für entzündliche Darmerkrankungen, Darmkrebs, Allergien und Adipositas. Das Problem liegt darin, dass die beobachteten Unterschiede nicht unbedingt ursächlich für die jeweilige Erkrankung sein müssen. Vielmehr können sie Begleiterscheinungen sein. Andererseits gibt es eine Reihe bekannter Interaktionen zwischen der intestinalen Mikrobiota und Organen des Körpers. So verfügt der Darm über Rezeptoren, mit denen Darmbakterien wahrgenommen werden können. Handelt es sich um pathogene Bakterien, so werden diese als solche erkannt und in Folge kann das Immunsystem eine Abwehrreaktion in Gang setzen.

Zudem bilden Darmbakterien eine Vielzahl von Metaboliten. Diese entstehen durch die bakterielle Umsetzung von Stoffen die aus der Nahrung stammen oder vom Wirt in den Darm sezerniert werden. Die bakteriell gebildeten Metaboliten können über das Blut zu anderen Organen transportiert werden. Sie gelangen in erster Linie zur Leber, aber auch zum Gehirn, sofern die gebildeten Metaboliten die Blut-Hirn-Schranke überwinden. Es gibt die Vermutung, dass mik-

robelle Metaboliten über die Darm-Hirn-Achse bei Autismus und Depressionen eine ursächliche Rolle spielen. Beispielhaft soll im folgenden Abschnitt die mögliche Beteiligung der Darmmikrobiota an der Entstehung von Adipositas und metabolischer Erkrankungen vorgestellt werden.

### Darmbakterien und Adipositas

Eine Reihe von Tierexperimenten deutet auf eine mögliche Rolle der intestinalen Mikrobiota bei der Entwicklung von Adipositas und damit einhergehenden metabolischen Erkrankungen wie Typ-2-Diabetes und Nicht-alkoholische Fettleber hin. Transplantierte man die Darmmikrobiota von adipösen bzw. schlanken Donormäusen auf zuvor keimfreie Empfänger-mäuse, so wurde der jeweilige schlanke oder adipöse Phänotyp auf diese übertragen [25, 26]. Auch die Übertragung der Mikrobiota von humanen Donoren auf keimfreie Mäuse wirkte sich auf Körpergewicht und Körperfett aus. Wurden die Mikrobiome von diskordanten, eineiigen Zwillingen (d.h. ein Zwilling war adipös, der andere schlank), auf keimfreie Mäuse übertragen, so kam es auch hier bei den Rezipienten zur Übertragung des adipösen oder schlanken Phänotyps [22].

Welches Wirkprinzip der Übertragbarkeit des adipösen Phänotyps zugrunde liegt, ist nach wie vor unklar. Welche Bakterien diesen Effekt auslösen und wie sie dies bewerkstelligen ist weitgehend unverstanden. Insbesondere ist unbekannt, welche bakteriellen Moleküle, Zellkomponenten und/oder Stoffwechselprodukte die adipogenen und diabetogenen Effekte vermitteln sowie auf welche Zielstrukturen sie im Wirtsorganismus einwirken.

Ein Erklärungsansatz für die Rolle der intestinalen Mikrobiota bei der Adipositasentwicklung ergab sich aus einem Vergleich von keimfreien mit besiedelten Mäusen. Diese unterschieden sich u.a. in der Expression des Angiopoietin-Like Protein 4 (ANGPTL4), welches auch als Fasting-Induced Adipose Factor (FIAF) bezeichnet wird. Besiedelte Mäuse wiesen geringere ANGPTL4-Spiegel im Plasma auf als keimfreie Mäuse [2]. Da ANGPTL4 die Lipoproteinlipase hemmt, ist dieses Enzym in keimfreien Mäusen folglich aktiver. Das hat zur Folge, dass mehr Fettsäuren aus Lipoproteinen abgespalten und als Triglyceride in Adipozyten gespeichert werden.

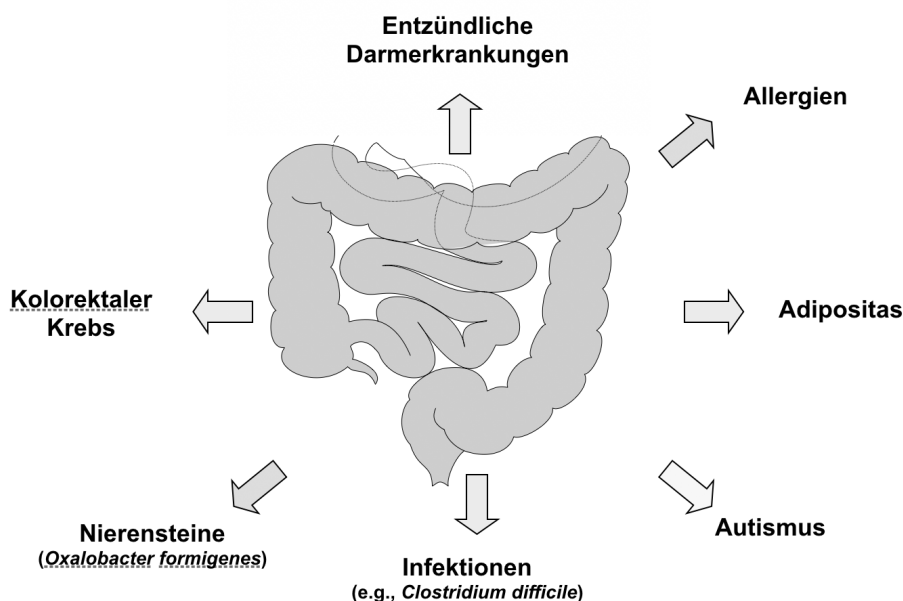


Abbildung 3: Störungen in der intestinalen Mikrobiota werden mit verschiedenen Erkrankungen in Zusammenhang gebracht

Es wurde vorgeschlagen, dass ANGPTL4 im Darmgewebe gebildet wird und dann als zirkulierender Faktor im Blut die Lipoproteinlipase beeinflusst. Tatsächlich stieg das Körperfett keimfreier Mäuse durch deren Besiedlung mit Darmbakterien im Vergleich zu keimfrei gebliebenen Mäusen innerhalb von zwei Wochen um 60 % an. Gleichzeitig waren die Angptl4-mRNA-Spiegel im Darmgewebe erniedrigt und die Lipoproteinlipase-Aktivität in weißem Fettgewebe erhöht [2]. Zwar konnte die erhöhte Expression von Angptl4 im Plasma keimfreier Mäuse auf mRNA-Ebene bestätigt werden, doch auf Proteinebene war die Expression von ANGPTL4 nicht erhöht, sondern sogar leicht erniedrigt [11]. Somit ist die Bedeutung von ANGPTL4 als Vermittler des Einflusses von Darmbakterien auf die Fettspeicherung fraglich [3].

Ein weiterer Erklärungsansatz basiert auf der Rolle von Darmbakterien als Auslöser von Entzündungen. Das angeborene Immunsystem verfügt über Rezeptoren (sogenannte Pattern Recognition Receptors), welche über die schnelle Erkennung von konservierten Komponenten von Bakterien oder Viren, eine Entzündungsantwort zur Bekämpfung von Erregern auslösen. Zu diesen Rezeptoren gehören die Toll-Like Rezeptoren (TLR1 – TLR11) oder die Nucleotide-Binding Oligomerization Domain ähnlichen Rezeptoren (NOD1 und NOD2). Im Plasma von Typ-2-Diabetikern findet man erhöhte Spiegel von Lipopolysacchariden (LPS; Bestandteile der Zellwand Gramnegativer Bakterien) und eine erhöhte Expression von Komponenten der angeborenen Immunantwort, wie TLR2, TLR4, Interleukin (IL)-6 und Nuclear Factor Kappa B (NFκB). Als Ligand von TLR4 aktiviert LPS proinflammatorische Signalwege, die auch bei Überernährung und dadurch ausgelösten metabolischen Stress hochreguliert sind.

So führen fettreiche Diäten beim Menschen und bei Mäusen zu deutlich erhöhten LPS-Spiegeln im Plasma, ein als Endotoxämie bezeichneter Zustand [5]. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde LPS als bakterieller Auslöser für die Entstehung metabolischer Erkrankungen vorgeschlagen. Wurde Mäusen LPS über vier Wochen kontinuierlich subkutan appliziert, so waren proinflammatorische Signale hochreguliert, verbunden mit einem Anstieg von Glukose- und Insulinkonzentrationen im Plasma, von Körpergewicht und Körperfett, sowie Insulinresistenz [4].

Die erhöhten LPS-Konzentrationen infolge einer fettreichen Diät wurden auf eine erhöhte Durchlässigkeit des Darmepithels für LPS zurückgeführt. Allerdings widerspricht eine kürzlich durchgeführte Untersuchung an drei verschiedenen Mausstämmen dieser Interpretation, denn die Fütterung fettreicher Diäten über sechs Wochen führte weder zu einem Verlust der Integrität des Darmepithels noch zu einer Endotoxämie, obwohl Zeichen einer subklinischen Entzündung im Fettgewebe nachweisbar waren [14].

Dass LPS jedoch eine Rolle bei der Entwicklung metabolischer Erkrankungen spielen könnte, lässt sich wiederum aus Experimenten an gnotobiotischen Mäusen ableiten, die mit einem LPS-bildenden *Enterobacter cloacae*-Stamm besiedelt waren. Diese Mäuse entwickelten nach zehnwöchiger Fütterung einer Hochfettdiät Adipositas und Insulinresistenz. Keimfreie oder mit *Bifidobacterium animalis* monassozierte Mäuse wurden nicht adipös und insulinresistent [10]. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass die durch *E. cloacae* hervorgerufenen Effekte nicht durch LPS, sondern durch andere Moleküle vermittelt wurden.

Aufgrund der Fähigkeit, Ballaststoffe in energieliefernde kurzkettige Fettsäuren umzuwandeln, verbessert die intestinale Mikrobiota die Energieextraktion aus der Nahrung. Allerdings lässt sich daraus nicht der Schluss ziehen, dass eine ballaststoffreiche Ernährung Adipositas und metabolische Erkrankungen fördert. Das Gegenteil ist der Fall: Epidemiologischen Studien zeigen, dass eine ballaststoffreiche Ernährung mit einem geringeren Körpergewicht und einer geringeren Diabetesinzidenz assoziiert ist [19]. Das ist insofern nachvollziehbar, dass Ballaststoffe die Energiedichte der Nahrung erniedrigen.

Hiermit in Übereinstimmung wurde kürzlich gezeigt, dass mit Essigsäure und Propionsäure versetztes, fettreiches Futter bei Mäusen die Zunahme von Körperfett und Insulinresistenz im Vergleich zu Mäusen auf der fettreichen Diät ohne Fettsäurezusatz deutlich reduziert. Ähnliche Effekte wurden auch durch Supplementierung der Diät mit dem fermentierbaren Ballaststoff Inulin beobachtet [27] und für Butyrat berichtet [12]. Ein möglicher Erklärungsansatz für diese positiven Wirkungen von kurzkettigen Fettsäuren könnte in der Stimulierung der intestinalen Glukoneogenese liegen. Im Gegensatz zur lange bekannten, hepatischen Glukoneogenese wurde die intestinale Glukoneogenese und

ihre Bedeutung für die Energiehomöostase deutlich später entdeckt [6]. Die im Darmgewebe neu gebildete Glukose wird in der Pfortader im Zuge ihres Transports zur Leber mittels eines Glukosesensors registriert. Dieser übermittelt über periporale Nerven ein Signal an das Gehirn, welches zu einer verminderten Nahrungsaufnahme führt und den Glukosestoffwechsel günstig beeinflusst.

Mausexperimente sprechen dafür, dass Propionat und Butyrat die intestinale Glukoneogenese über zwei komplementäre Mechanismen fördern. So stimuliert Butyrat die intestinale Glukoneogenese durch verstärkte Expression von Glukoneogenese-Genen. Ursache hierfür sind erhöhte cAMP-Konzentrationen, welche wiederum auf einer verstärkten ATP-Synthese infolge der Oxidation von Butyrat beruhen [9]. Die Wirkung von Propionat resultiert einerseits aus seiner Rolle als Substrat der Glukoneogenese und andererseits aus seiner Rolle als Agonist von Free Fatty Acid Receptor 3 (FFAR3). Dessen Aktivierung im afferenten periportalen Nervensystem fördert die Glukoneogenese über einen neuronalen Darm-Gehirn-Schaltkreis und übt günstige Effekte auf den Glukosestoffwechsel sowie eine verringerte Nahrungsaufnahme aus [9]. Inwieweit diese Befunde auf den Menschen übertragbar sind, ist noch nicht klar.

Einigen Darmbakterien wird eine mögliche direkte Rolle bei der Entwicklung von Adipositas und metabolischen Erkrankungen zugeschrieben. Das ist z.B. für das sporenbildende Bakterium *Clostridium ramosum* der Fall, denn dieses trat vermehrt bei Patienten mit Typ-2-Diabetes auf [21]. Auch der relative Anteil von *C. ramosum* in der Mikrobiota korreliert positiv mit dem Body-Mass-Index (BMI) und dem Hüftumfang [13].

Ein kausaler Zusammenhang zwischen diesem Darmbakterium und Übergewicht wurde erstmals an gnotobiotischen Tieren nachgewiesen. Keimfreie Mäuse wurden mit einer vereinfachten humanen Mikrobiota (SIHUMI) besiedelt, welche aus acht Bakterienarten bestand. Ein Mitglied dieser Bakteriengemeinschaft ist *C. ramosum*. Bei Fütterung dieser Mäuse mit einer Hochfettdiät vermehrte sich *C. ramosum* stärker im Darm dieser Tiere als im Darm von Mäusen auf einer Kontrolldiät [28]. Gleichzeitig nahmen die SIHUMI-Mäuse auf der Hochfettdiät an Gewicht und Körperfett zu. Waren die keimfreien Tiere mit der gleichen Bakteriengemeinschaft, aber ohne *C. ramosum*



(SIHUMI-Cra) besiedelt, so nahmen diese SIHUMI-Cra-Mäuse signifikant weniger an Körpergewicht und Fettmasse zu als SIHUMI-Mäuse mit *C. ramosum* im Darm. Die SIHUMI-Cra-Mäuse zeigten auch eine geringere Expression der Fettsäure-Translokase (Cd36) im Darm als SIHUMI-Cra-Mäuse. Die daraus resultierende erhöhte Fettabsorption könnte somit das Übergewicht in den SIHUMI-Cra-Mäusen gefördert haben. Auch Mäuse, die ausschließlich mit *C. ramosum* besiedelt waren, entwickelten auf einer Hochfettdiät mehr Körpergewicht und Körperfett als keimfreie Mäuse.

Die mit *C. ramosum* mono-assoziierten Mäuse zeigten nicht nur eine erhöhte Expression von Lipidtransportern im Darmgewebe, sondern auch erhöhte Spiegel von Serotonin (5-Hydroxytryptamin) im Blut. Serotonin ist ein monoaminerger Neurotransmitter, der nicht nur ein wichtiges Signalmolekül im Gehirn sondern auch im Körper darstellt. Über 90% des Serotonins wird im Darm durch enterochromaffine Zellen synthetisiert. Anders als im Gehirn, wo Serotonin einen gegensätzlichen Effekt ausübt, sind erhöhte Serotoninspiegel in der Peripherie mit Gewichtszunahme und Adipositas assoziiert. Es mehren sich die Hinweise, dass die intestinale Mikrobiota die Serotoninbildung im Darm beeinflusst. Ein Vergleich von keimfreien und mit *C. ramosum* assoziierten Mäusen sowie Experimente an Maus-Organoiden offenbarten, dass Zellkomponenten von *C. ramosum* die Serotoninbildung stimulieren, indem sie die Darm-Stammzellen zur vermehrten Differenzierung hin zu Serotonin bildenden, enterochromaffinen Zellen programmieren. Die dadurch erhöhten Serotoninspiegel verstärken die Expression von Proteinen, die eine Rolle bei der Absorption von Fettsäuren im Darm spielen, so dass die resultierende erhöhte Fettabsorption die Entwicklung von Adipositas fördert [18].

### Schlussfolgerungen

Auch wenn viele Einzelheiten noch nicht geklärt sind, gibt es keinen Zweifel daran, dass die intestinale Mikrobiota den Wirtsorganismus in vielfältiger Weise beeinflusst. Ein abgestimmtes Zusammenspiel zwischen dem Wirtsorganismus und seinen Darmbakterien wirkt der Entstehung von Krankheiten entgegen. Durch einen ungesunden Lebensstil, insbesondere durch falsche Ernährung, kann es zu Veränderungen in der Zusammen-

setzung und der metabolischen Aktivität des intestinalen Mikrobioms kommen, die die Entstehung von verschiedenen Erkrankungen begünstigen können. Ein gesunder Lebensstil hingegen begünstigt eine Darm-Mikrobiota, die zur Gesunderhaltung beiträgt.

### Literatur

1. Arumugam M, Raes J, Pelletier E, Le Paslier D, Yamada T, Mende DR, Fernandes GR, Tap J, Bruls T, Batto JM et al (2011) Enterotypes of the human gut microbiome. *Nature* 473:174-180
2. Backhed F, Ding H, Wang T, Hooper LV, Koh GY, Nagy A, Semenkovich CF, Gordon JI (2004) The gut microbiota as an environmental factor that regulates fat storage. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101:15718-15723
3. Blaut M, Klaus S (2012) Intestinal microbiota and obesity. *Handb Exp Pharmacol*:251-273
4. Cani PD, Amar J, Iglesias MA, Poggi M, Knauf C, Bastelica D, Neyrinck AM, Fava F, Tuohy KM, Chabo C et al (2007) Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. *Diabetes* 56:1761-1772
5. Cani PD, Delzenne NM (2009) The role of the gut microbiota in energy metabolism and metabolic disease. *Curr Pharm Des* 15:1546-1558
6. Croset M, Rajas F, Zitoun C, Hurot JM, Montano S, Mithieux G (2001) Rat small intestine is an insulin-sensitive gluconeogenic organ. *Diabetes* 50:740-746
7. David LA, Maurice CF, Carmody RN, Gootenberg DB, Button JE, Wolfe BE, Ling AV, Devlin AS, Varma Y, Fischbach MA et al (2014) Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature* 505:559-563
8. De Filippo C, Cavalieri D, Di Paola M, Ramazzotti M, Poullet JB, Massart S, Collini S, Pieraccini G, Lionetti P (2010) Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc Natl Acad Sci USA* 107:14691-14696
9. De Vadder F, Kovatcheva-Datchary P, Goncalves D, Vinera J, Zitoun C, Duchamp A, Backhed F, Mithieux G (2014) Microbiota-generated metabolites promote metabolic benefits via gut-brain neural circuits. *Cell* 156:84-96
10. Fei N, Zhao L (2013) An opportunistic pathogen isolated from the gut of an obese human causes obesity in germfree mice. *ISME J* 7:880-884

11. Fleissner CK, Huebel N, Abd El-Bary MM, Loh G, Klaus S, Blaut M (2010) Absence of intestinal microbiota does not protect mice from diet-induced obesity. *Br J Nutr* 104:919-929

12. Gao Z, Yin J, Zhang J, Ward RE, Martin RJ, Lefevre M, Cefalu WT, Ye J (2009) Butyrate improves insulin sensitivity and increases energy expenditure in mice. *Diabetes* 58:1509-1517

13. Karlsson FH, Tremaroli V, Noo-kaew I, Bergstrom G, Behre CJ, Fagerberg B, Nielsen J, Backhed F (2013) Gut metagenome in European women with normal, impaired and diabetic glucose control. *Nature* 498:99-103

14. Kless C, Muller VM, Schuppel VL, Lichtenegger M, Rychlik M, Daniel H, Klingenspor M, Haller D (2015) Diet-induced obesity causes metabolic impairment independent of alterations in gut barrier integrity. *Mol Nutr Food Res* 59:968-978

15. Knights D, Ward TL, McKinlay CE, Miller H, Gonzalez A, McDonald D, Knight R (2014) Rethinking „enterotypes“. *Cell Host Microbe* 16:433-437

16. Ley RE, Backhed F, Turnbaugh P, Lozupone CA, Knight RD, Gordon JI (2005) Obesity alters gut microbial ecology. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102:11070-11075

17. Ley RE, Turnbaugh PJ, Klein S, Gordon JI (2006) Human gut microbes associated with obesity. *Nature* 444:1022-1023

18. Mandic AD, Woting A, Jaenicke T, Sander A, Sabrowski W, Rolle-Kampczyk U, von Bergen M, Blaut M (2019) *Clostridium ramosum* regulates enterochromaffin cell development and serotonin release. *Sci Rep* 9:1177

19. Psaltopoulou T, Ilias I, Alevizaki M (2010) The role of diet and lifestyle in primary, secondary, and tertiary diabetes prevention: a review of meta-analyses. *Rev Diabet Stud* 7:26-35

20. Qin J, Li R, Raes J, Arumugam M, Burgdorf KS, Manichanh C, Nielsen T, Pons N, Levenez F, Yamada T et al (2010) A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature* 464:59-65

21. Qin J, Li Y, Cai Z, Li S, Zhu J, Zhang F, Liang S, Zhang W, Guan Y, Shen D et al (2012) A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes. *Nature* 490:55-60

22. Ridaura VK, Faith JJ, Rey FE, Cheng J, Duncan AE, Kau AL, Griffin

NW, Lombard V, Henrissat B, Bain JR et al (2013) Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice. *Science* 341:1241214

23. Sender R, Fuchs S, Milo R (2016) Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLoS Biol* 14:e1002533

24. Sommer F, Adam N, Johansson ME, Xia L, Hansson GC, Backhed F (2014) Altered mucus glycosylation in core 1 O-glycan-deficient mice affects microbiota composition and intestinal architecture. *PLoS One* 9:e85254

25. Turnbaugh PJ, Ley RE, Mahowald MA, Magrini V, Mardis ER, Gordon JI (2006) An obesity-associated gut

microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature* 444:1027-1031

26. Turnbaugh PJ, Backhed F, Fulton L, Gordon JI (2008) Diet-induced obesity is linked to marked but reversible alterations in the mouse distal gut microbiome. *Cell Host Microbe* 3:213-223

27. Weitkunat K, Stuhlmann C, Postel A, Rumberger S, Fankhanel M, Woting A, Petzke KJ, Gohlke S, Schulz TJ, Blaut M et al. (2017) Short-chain fatty acids and inulin, but not guar gum, prevent diet-induced obesity and insulin resistance through differential mechanisms in mice. *Sci Rep* 7:6109

28. Woting A, Pfeiffer N, Loh G,

Klaus S, Blaut M (2014) *Clostridium ramosum* promotes high-fat diet-induced obesity in gnotobiotic mouse models. *MBio* 5:e01530-01514

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Michael Blaut,  
Deutsches Institut für  
Ernährungsforschung Potsdam  
Arthur-Scheunert-Allee 114-116  
14558 Nuthetal  
blaut@dife.de

---

*Die folgenden beiden Vorträge konnten leider nur als Abstracts wiedergegeben werden.*

Vortrag vom 22.11. 2018  
Prof. Dr. Martin Aepfelbacher:  
**Mikroben und unsere Gesundheit**

Die erfolgreiche Bekämpfung von Infektionskrankheiten im 20. Jahrhundert gehört zu den größten Errungenschaften der Menschheit. Dennoch stellen Infektionserkrankungen und Antibiotikaresistenzen derzeit wieder eine der größten globalen Herausforderungen dar. Während in den Ländern der Dritten Welt HIV-Infektion/AIDS, Tuberkulose, Malaria und tropische Parasitenerkrankungen die sozio-ökonomische Entwicklung behindern, sind auch Industrienationen auf vielfältige Weise von Infektionskrankheiten betroffen. Durch den erdumspannenden Reiseverkehr können z.B. neue Varianten der Influenza (Vogelgrippe, Schweinegrippe) oder Ebola schnell in die Industrienationen gelangen und dort erhebliche Verunsicherung auslösen. Zudem weiß man inzwischen, dass ca. 20 % aller menschlichen Tumore durch Infektionserreger, wie z.B. *Helicobacter pylori*, humane Papillomaviren und Hepatitisviren, verursacht werden. Eine besorgniserregende Entwicklung wird derzeit in den Krankenhäusern v.a. der Maximalversorgung beobachtet. Durch den rasanten medizinischen Fortschritt können immer ältere und kränkere Patienten in den Krankenhäusern versorgt werden. Diese Patienten sind besonders durch Infektionen gefährdet, die durch normalerweise harmlose bakterielle Erreger ausgelöst werden. Bei vielen dieser Erreger kann seit einiger Zeit ein kontinuierlicher Anstieg antibiotikaresistenter Isolate beobachtet werden. In der Tat können schon heute Bakterienisolate gefunden werden, die gegen alle herkömmlichen Antibiotika resistent sind. Die massive Einschränkung der therapeutischen Optionen stellt für die Betroffenen eine existenzielle Bedrohung dar. In meinem Vortrag werde ich deshalb vor allem auf die aktuelle Situation der Antibiotikaresistenzen in den Krankenhäusern unter Zuhilfenahme aktueller Beispiele eingehen.

Vortrag vom 6.12.2018  
Prof. Dr. Kerstin Kuchta:  
**Mikroben in der Technik**

Die biologische Abfallbehandlung basiert auf der gezielten Förderung des mikrobiellen Abbaus von organischen Abfallbestandteilen zu verwertbaren Produkten, wie z.B. Kompost oder Biogas.

Entsprechend werden uralte Kreisläufe der Natur verfahrenstechnisch imitiert, kontrolliert und optimiert. Die Vielfalt der beteiligten Organismen, die Möglichkeiten und prozesstechnischen Grenzen des Einsatzes von Mikroben in der Abfallwirtschaft werden aufgezeigt und Verfahren nach Stand der Technik und zukünftige Optionen präsentiert.



## Das Prinzip Metaorganismus - Mensch, Tier und Pflanze sind komplexe Lebensgemeinschaften, in denen Bakterien eine wichtige Rolle spielen

Das Metaorganismus-Konzept definiert den tierischen oder pflanzlichen Organismus und die mit ihm assoziierten Bakterien als Einheit, die über die Grenzen von Individuen und Arten hinweg Funktion und Entwicklung von Lebewesen bestimmt. Die Störung dieses Zusammenspiels von Lebewesen mit ihren sie besiedelnden Mikroorganismen wird als gemeinsame Ursache für viele moderne Krankheitsbilder gesehen. Das Metaorganismus-Prinzip stellt klassische Sichtweisen in Biologie und Medizin und auch bestehende Disziplingrenzen infrage und steht für eine ganzheitliche Betrachtungsweise komplexer Lebensprozesse.

### 1. Mikroben neu denken!

Bakterien besiedeln in großer Zahl und Vielfalt ungefähr vier Milliarden Jahre länger die Erde als der Mensch (1-3). 37 Prozent der menschlichen Erbsubstanz können auf bakterielle Vorfahren zurückgeführt werden; sie sind uralter Teil unseres Selbstseins (3). Weniger als 200 Bakterienarten gelten dabei gemeinhin als ausschließlich krankheitserregend. Das heißt, die überwältigende Mehrheit, die Abermillionen von verschiedenen Bakterienarten waren lange vor unserer Zeit da und sind überwiegend gutartig. Heute wissen wir (4), dass

- alle unsere Körperoberflächen von Bakterien besiedelt sind; dass es zwischen unseren Organen wie der Haut, der Mundhöhle, dem Darm und auch dem Gehirn eine enge zelluläre und molekulare Verbindung zu den besiedelnden Mikroben gibt;
- die allermeisten der uns besiedelnden Mikroben keine Krankheitserreger sind, sondern dass wir sie für unsere Entwicklung und auch zum Schutz vor möglichen infektiösen Erregern brauchen;
- Organismen immer multiorganismisch sind und es im engeren Sinn keine Individuen gibt, die für sich alleine bestehen können;
- wir nur als Ökosystem existieren in einer evolutionären Partnerschaft mit Mikroben – und

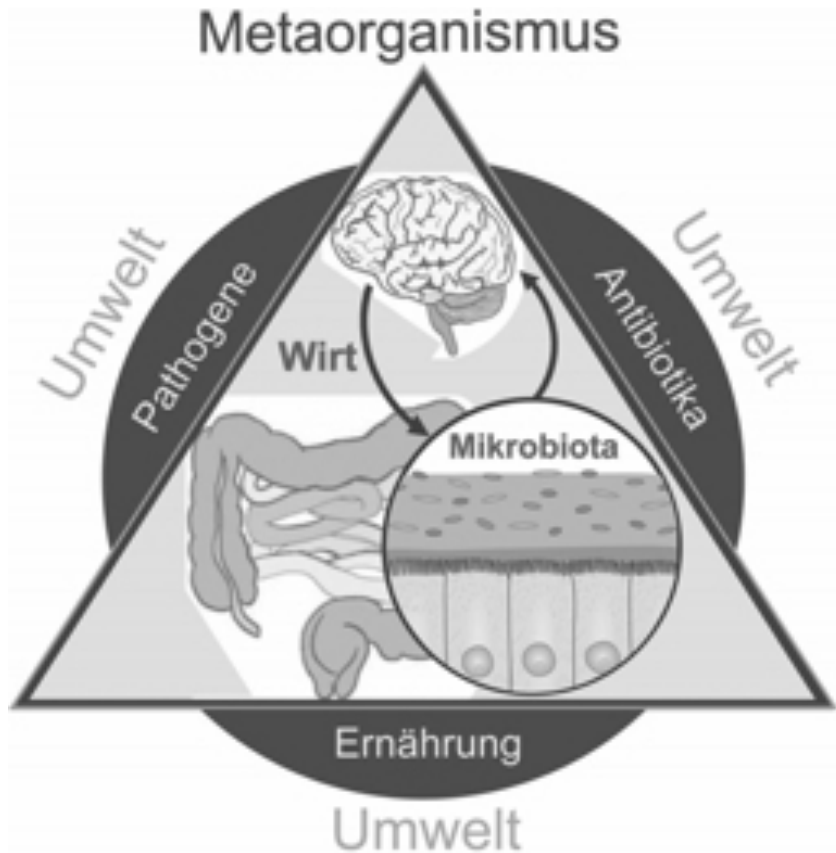


Abbildung 1. Das Individuum als Metaorganismus und damit als eine komplexe Gemeinschaft von vielen Arten, die miteinander eng vernetzt sind. Umwelteinflüsse beeinflussen den Metaorganismus in vielfältiger Weise. Credit: Katja Schröder.

- wir uns daher besser als Metaorganismus oder Holobiont betrachten müssen.

Die durchaus revolutionäre Betrachtung von Lebewesen und Mikroben als funktionelle Einheit (Abbildung 1) wird in Zukunft die Grenzen von Biologie und Medizin verschieben. Dank neuer Technologien und Zugriffe auf Gewebe und Körper ergeben sich Erkenntnisse, die auch zum Nachdenken über unsere althergebrachten Gedankengebäude zur Trennung von Natur- und Geisteswissenschaften anregen können. Und wenn in der medizinischen Therapie diese Erkenntnisse bisher auch noch nicht wirklich angekommen sind, so ist doch klar, dass sie das Potenzial haben, fundamentale Fortschritte in der Behandlung schwerwiegender chronisch entzündlicher Krankheiten zu ermöglichen.

### 2. Eine neue Ära für die Biologie und Medizin: Neue Techniken entdecken den Metaorganismus

Bis vor Kurzem wurde den Bakterien auf unserer Haut, in unserer Mundhöhle und im Darm kaum Beachtung geschenkt. Zoologen und Botaniker studierten die Evolution, Entwicklung und das Funktionieren von Tieren und Pflanzen in großen Einzelheiten auf zellulärer und molekularer Ebene; und Mediziner widmeten sich dem Studium von Geweben und Organen, ohne eine direkte und kausale Verbindung zur mikrobiellen Nachbarschaft zu ziehen. Technologische Fortschritte in der Entschlüsselung der Erbinformation haben in den letzten Jahren eine völlig neue und weitgehend unsichtbare Welt sichtbar gemacht. Neben der Erbinformation in unseren eigenen Körperzellen lassen sich in unseren Geweben und Organen, im Darm und auf der Haut, eine Fülle von genetischen Fußabdrücken

cken entdecken, die unzähligen vielen Mikroorganismen zugeordnet werden können. Es ist dadurch möglich geworden, das „Mikrobiom“ des gesamten menschlichen Körpers in einer Vielzahl von kranken und gesunden Zuständen zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigen, dass Mikroben in Pflanzen und Tieren allgegenwärtig sind. Indem wir sie studieren, erkennen wir Verbindungen zwischen Menschen, Tieren, Pflanzen und der Umwelt, von denen wir nie ahnten, dass sie überhaupt existieren (1- 4).

### **3. Darmbakterien beeinflussen unsere Gesundheit und interagieren mit dem zentralen Nervensystem**

Das mit Abstand am dichtesten besiedelte Habitat des menschlichen Körpers ist der Darm, wobei die Mikroorganismen eine Biomasse von bis zu 1,5 kg ausmachen und mehr als 1.000 Bakterienarten angehören. Die Summe der mikrobiellen Gene übersteigt die des menschlichen Genoms um ein Vielfaches und verleiht den Darmbakterien eine immense metabolische Kapazität, sodass viele Wissenschaftler die intestinale Mikrobiota mittlerweile als eigenständiges Organ betrachten, dessen gesundheitliche Bedeutung weit über den Darm hinausgeht (5). Der Magen-Darm-Bereich von der Speiseröhre bis zum Enddarm ist von einem Netz aus mehr als 100 Millionen Neuronen durchzogen, die das enterische Nervensystem (ENS) oder auch „Bauchhirn“ bilden. Das ENS überwacht und koordiniert verschiedene gastrointestinale Funktionen wie Sekretion, Durchblutung und Darmmotilität und sorgt somit für den gerichteten Transport des Darminhalts. Das „Bauchhirn“ arbeitet dabei weitgehend autonom und das zentrale Nervensystem (Gehirn und Rückenmark, ZNS) übt nur einen modulierenden Einfluss auf die Darmfunktion aus. Das ENS und ZNS sind dabei über den Vagusnerv direkt miteinander verbunden, wobei lange Zeit angenommen wurde, dass dabei das Hirn den Bauch regiert. Heute weiß man (6,7), dass der Informationsfluss bidirektional ist. Zudem stehen der Darm und das Gehirn nicht nur über Nervenbahnen mit einander in Verbindung, sondern können auch über die Blutbahn Informationen austauschen. Während die neuronalen und humoralen Kommunikationswege zwischen ZNS und ENS schon seit Langem unter dem Begriff

„Darm-Hirn-Achse“ bekannt sind, ist die Vorstellung, dass die intestinale Mikrobiota auch mitredet vergleichsweise neu (9,10). Erst als in den vergangenen Jahren Veränderungen in der Mikrobiota auch immer häufiger bei neurologischen und psychischen Erkrankungen wie Multiple Sklerose, Depression, Angststörungen und Autismus beobachtet wurden, begannen Wissenschaftler sich mit der Möglichkeit auseinanderzusetzen, dass die intestinale Mikrobiota auch mit dem Nervensystem interagieren könnte (6, 7). Ziel der derzeitigen Darm-Hirn Forschung ist es, die grundlegenden Mechanismen zu entschlüsseln mittels derer die Mikrobiota mit den Darmepithelzellen, Immunzellen, den Neuronen des ENS und möglicherweise auch dem menschlichen Gehirn kommuniziert.

### **4. Die Perspektive: weg vom Tunnelblick!**

Alle vielzelligen Organismen sind dauerhaft mit spezifischen Gemeinschaften von Mikroorganismen assoziiert und bilden mit ihnen eine funktionelle Einheit, den „Metaorganismus“ oder „Holobiont“. Immer mehr spricht dafür, dass dieser Metaorganismus nicht nur über Gesundheit und Krankheit mitentscheidet, sondern sogar tierisches und menschliches Verhalten beeinflusst und letztendlich nach einer neuen Definition des Begriffes „Individuum“ verlangt. Bei diesem Sichtbarwerden des bisher Verborgenen wird auch klar, dass wir viele althergebrachte und vertraute Zusammenhänge neu denken müssen. Das Bemühen einzelner, separater Disziplinen wie der Zoologie, der Botanik, Mikrobiologie und Biochemie, der Tunnelblick des Spezialisten, genügt nicht mehr für das Studium komplexer Lebensprozesse. Tieferen Einblick verspricht nur eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die Disziplinen-übergreifend angelegt ist und jeden Organismus als eine multiorganismische Einheit sieht, die sich durch die in ihr stattfindenden Wechselwirkungen definiert. Vieles spricht dafür, dass wir gerade eine neue Ära einiger Naturwissenschaften betreten: So wie die kopernikanische Wende das heliozentrische Weltbild ersetzt hat und wie Darwins Evolutionstheorie dem Menschen seinen natürlichen Platz im Reich der Organismen zuge-

wiesen hat, so fundamental scheint auch die Wissenschaft vom Mikrobiom und die neue Theorie vom Metaorganismus unser Verständnis von der Natur des Lebendigen zu ändern. Das Studium der Wechselwirkungen und das Entschlüsseln der Regeln, nach denen Metaorganismen als Einheit funktionieren, ist die große Herausforderung der interdisziplinär aufgestellten Biologie des 21. Jahrhunderts.

### **Literatur**

1. Bosch TCG and Miller D (2016). *The Holobiont Imperative: Perspectives from Early Emerging Animals*. Springer New York

2. Bosch TCG and McFall-Ngai M (2011). *Metaorganisms as the new frontier*. *Zoology* 114, 185–190

3. McFall-Ngai M, Hadfield MG, Bosch TCG et al (2013). *Animals in a bacterial world, a new imperative for the life sciences*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 3229-3236

4. Bosch TCG (2017) *Der Mensch als Holobiont – Mikroben als Schlüssel zu einem neuen Verständnis von Leben und Gesundheit*. Ludwig Verlag Kiel.

5. Kundu P, Blacher E, Elinav E, Pettersson S. (2017). *Our Gut Microbiome: The Evolving Inner Self*. *Cell* 171(7):1481-1493. Review.

6. Cryan JF and TG Dinan (2012) *Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour*. *Nat. Rev. Neurosci.* 13 (10) 701–12

7. Hejtz RD, Wang S, Anuar F et al (2011). *Normal gut microbiota modulates brain development and behaviour*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 108(7) 3047–3052

### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Thomas C.G. Bosch  
Christian-Albrechts-Universität  
Zoologisches Institut  
Am Botanischen Garten 1-9,  
24118 Kiel  
tbosch@zoologie.uni-kiel.de



Wolfgang Linz

### Bericht über die Exkursion nach Südhessen vom 2. Bis 7. September 2019

Die Sommerexkursion führte 22 Teilnehmer unter der Führung von Prof. Thomas Kaiser nach Südhessen, Standort Darmstadt, in den Bereich des nördlichen Oberrheingrabens. In diesem Gebiet finden sich überwiegend Ablagerungen aus dem Tertiär und Quartär. Leitfaden waren somit die Fossilien unserer Vorfahren, wie sie in den Museen in Darmstadt, Frankfurt (Senckenberg), Heidelberg und Korbach ausgestellt werden.

#### Geologie:

Der Oberrheingraben ist ein Element einer Bruchzone, die vom Mittelmeer bis nach Norwegen reicht (Mittelmeer- Mjösen- Zone). In ihr sank im Eozän vor ca. 40 Mio. Jahren auf einer Breite von ca. 6 bis 8 km Breite die Oberfläche bis zu 4 km Tiefe ein. Gleichzeitig hoben sich die Grabenschultern und bildeten die Randgebirge (Schwarz- und Odenwald rechts, Vogesen und Pfälzerwald links). Ursache waren Zugspannungen, die in der Kollision von Europa und Afrika bei der Auffaltung der Alpen auftraten. Die Erosion füllte dann die dort seit der Variskischen Faltung (Devon, Karbon) anstehenden Schichten in den Graben. Dadurch verlandete der ursprünglich von der Nordsee bis zum Mittelmeer reichende Meeresarm. Die heutige Oberfläche wird von jungen (kleiner 1 Mio. Jahre) Ablagerungen des Rheins und seiner Nebenflüsse bestimmt (Kiese und Flusssande). Der die Bildung des Grabens begleitende Vulkanismus erzeugte u.a. das Maar, das heute die Grube Messel ist.

Die auf der Rückfahrt besuchte Korbacher Spalte ist sehr viel älter. Die fossilführenden Schichten in ihr werden auf das obere Perm datiert (Zechstein, ca. 255 Mio. Jahre).

#### Ablauf der Exkursion:

Montag, 02.09.2019: Fahrt der Gruppe nach Darmstadt. Dort eine längere Stadtführung.

Dienstag, 03.09.2019: Besuch im Hessischen Landesmuseum, Darm-



stadt. Herr Dr. Wappler zeigte uns die Aufbewahrungsstätte für nicht ausgestellte Fossilien (Knochenboden). Er holte aus dem Safe den 1820 in einer Kiesgrube bei Eppelsheim (Nähe Worms) gefundenen Oberschenkelknochen von Paidopithecus, einem gibbonähnlichen Primate aus dem oberen Miozän (ca. 10 Mio. Jahre).

Danach fuhren wir weiter zur Grube Messel, einer der wichtigen Fossilfundstätten aus dem Eozän. Hier war vor ca. 48 Mio. Jahren bei Vulkanausbrüchen ein tiefer Maarsee entstanden, in dessen sauerstoffarmen Sedimenten sich die damalige Fauna und Flora so gut erhielt, dass Weichteile und Farben erhalten sind. Zu den Funden gehört auch ein vollständiges Skelett eines Halbaffen (Lemur) Darwinius. Leider wurde es von einem Privatsammler gefunden und verkauft. Es liegt heute im Naturhistorischen Museum der Universität Oslo. Nach einem Rundgang durch die Grube wurde abschließend das Fossilien- und Heimatmuseum in Messel besucht.

Mittwoch, 04.09.2019: Fahrt nach Frankfurt ins Senckenberg Museum. Dort führte uns Dr. Kullmer in die Sammlungsräume und zeigte die Originalfundstücke (Schädeldecken) des Java-Menschen (Alter umstritten zwischen 1,8 und 0,8 Mio. Jahre). Der deutsche Paläontologe von Koenigswald hatte sie in Java gesammelt.





Danach freie Zeit in Frankfurt, anschließend Apfelweinprobe im Lokal Frau Rauscher und Rückfahrt.

Donnerstag, 05.09.2019: Fahrt nach Heidelberg ins Geologische Museum der Universität. Dort holte uns Frau Dr. Ifrim den ca. 600 000 Jahre alten Originalunterkiefer des *Homo heidelbergensis* aus dem Tresor.

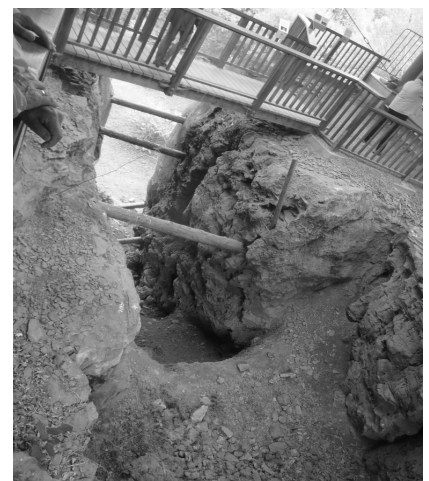
Danach fuhren wir zum Fundort in Mauer und ins Museum Grafenrein, in dem auch die Beifunde ausgestellt sind. Anschließend suchten wir in der Tongrube Frauenweiler nach Fossilien, denn hier wurde schon eine reiche marine Fauna (u.a. Fische) gefunden. Leider hatten wir kein Glück.

Freitag, 06.09.2019: Fahrt nach Wiesbaden in die Dyckerhoff-Steinbrüche. Sie sind heute vom Landesamt für Denkmalpflege in Hessen betreutes paläontologisches Bodendenkmal. In ihm sind Schichten - bezeichnet als Wiesbaden Formation - aus dem Miozän (ca. 21 Mio. Jahre) aufgeschlossen. Sie wurden in einem verlandenden Flachmeer abgelagert. Nach ca. 20 Mio. Jahren Abtragung wurden die Reste vor 760 000 bis 600 000 Jahren mit schräg- und kreuzgeschichteten Flusssedimenten des Ur-Main (Mosbach-Sande) überdeckt. Während die Gruppe im Algenriff der Wiesbaden-

Formation nur Kleinfunde (Muschelschill, Kleinschnecken) machte, wurde in den Mosbach-Sanden Knochen von Großsäugetieren gefunden. Spektakulär holte Prof. Kaiser ein Stoßzahnstück von einem Waldelefanten aus der Wand.

Die Funde wurden unseren Begleitern aus dem Hessischen Landesamt für Denkmalpflege zur weiteren wissenschaftlichen Bearbeitung überlassen. Am Abend fand die Exkursion im Braustübl Darmstadt ihren Abschluss.

Samstag, 07.09.2019: Rückfahrt nach Hamburg mit Umweg über die Korbacher Spalte. Diese Fundstätte gibt einen Einblick in die Fauna des späten Perm (Zechstein) ca. 255 Mio. Jahre vor heute. Leider wurden die fossilen Knochenreste in die Spalte umgelagert und sind nicht mehr im Verband. Dennoch las-



sen sich viele bestimmten Arten zuordnen, die an anderen Fundorten für diese Zeit (z.B. Karoo) ausgegraben wurden. Herausgehoben wird dabei immer der Korbacher Dackel, *Procynosuchus sp.*, ein Cynodont. Aus dieser Reptilien-

gruppe entwickelten sich in Trias und Jura die Säugetiere.

Dr. Wolfgang Linz  
rewolinz@t-online.de



## Wolfgang Linz Jahresbericht 2019 der Geologischen Gruppe

Am 19. 01.2019 verstarb nach langer Krankheit unser langjähriges Mitglied Fritz Zechlin. Der Nachruf ist in diesem Heft gesondert veröffentlicht (siehe unten).

Vorträge:

23. Januar, Dr. Ullrich Kotthoff: Wie groß und wie klein können Lebewesen werden? Evolution des Größenwachstums und Beispiele aus der Erdgeschichte.

20. Februar, Prof. Dr. Heinrich Schliemann: Die Diversität der Säugetiere in der ostafrikanischen Savanne

13. März, Prof. Dr. Thomas Kaiser: Die älteste Besiedlung Europas

10. April, Helge Kreutz und Werner Brüsewitz: Als Freizeitgeologe unterwegs im Lauenburgischen

22. Mai, Dr. Uwe Marheinecke: Entstehung der Plattentektonik und des Lebens

19. Juni, Prof. Dr. Thomas Kaiser: Einführung in die Thematik der Sommerexkursion

16. Oktober, Dr. Hans Joachim Schumacher: Insel Reunion, Vulkanismus, Land und Leute

13. November, Dipl. Geol. Helge Kreutz: Neueste Erkenntnisse aus der Geologie

Geologische Spaziergänge:

12. Oktober, Heinrich Becker, Rundgang zum Tag der Steine, „Steine in der Stadt“

Exkursion:

02. bis 07. September, Sommerexkursion der Geologischen Gruppe nach Südhessen. Prof. Dr. Thomas Kaiser führte 22 Teilnehmer. Der Exkursionsbericht ist in dieser Ausgabe veröffentlicht.

11. Dezember, Traditioneller Jahresabschlussabend im Geologisch-Paläontologischen Museum

## Wolfgang Linz Jahresbericht 2019 der Arbeitsgruppe für Geschiebekunde

Veranstaltungen fanden zusammen mit der Geologischen Arbeitsgruppe statt und sind in deren Bericht aufgeführt. Zusammen mit der Gesellschaft für Geschiebekunde fanden Treffen zum Gedankenaustausch statt und zwar am 21. Januar, 25. März, 27. Mai, 23. September, 25. November.

Ebenfalls zusammen mit der Gesellschaft für Geschiebekunde fand am 04. Januar im Geologisch-Paläontologischen Museum das alljährliche Neujahrstreffen statt.

### Friedrich-Karl Zechlin 15.06.1938 – 19.01.2019

Unser Vereinsmitglied Fritz Zechlin verstarb im Januar diesen Jahres nach langer schwerer Krankheit, die er mit bewundernswerter Kraft ertragen und erlitten hat. Er wurde in Berlin geboren, 1944 zog die Familie nach Bad Oldesloe um. Dort verlebte er seine Schulzeit und studierte nach bestandem Abitur und einer Gartenbaulehre in Hamburg Biologie und Geographie sowie Pädagogik. Nach dem Studium war er an der Lehrerschule in Lübeck tätig.

Seit seinem Studium in den 60er Jahren war er Mitglied in unserem Verein. Mit ihm verliert der Verein und insbesondere die geologische Arbeitsgruppe ein sehr engagiertes Mitglied. Er lieferte für die Vereinsarbeit und die Geo-Gruppe vielfältige Anregungen und Beiträge, u.a. für Referenten und für die Ziele der Sommerexkursionen.



Viele Vereinsmitglieder werden sich an seine treffenden Diskussionsbeiträge im Anschluss an die Vorträge des Vereins erinnern.

Seine naturwissenschaftlichen Interessen waren weit gefächert. So unterhielt er für den Deutschen Wetterdienst eine eigene Wetterstation und berichtete regelmäßig über jahreszeitliche Veränderungen. Seine ganz besondere Vorliebe galt den Bienen und der Imkerei, die er sehr professionell betrieb. Für den Schutz von Wespen und Hornissen engagierte er sich, indem er, mit offizieller Erlaubnis, Völker aus Wohnbereichen in die freie Natur umsiedelte.

Wir werden sein naturwissenschaftliches Wissen, sein großes Interesse an unserem Verein und vor allem seine Warmherzigkeit sehr vermissen.

Wolfgang Linz

# Naturwissenschaftlicher Verein in Hamburg

## Protokoll der Mitgliederversammlung, 28. März 2019

Beginn: 17:30 Uhr

Ende: 18:43 Uhr

Ort: Großer Hörsaal des CeNak und Zoologischen Instituts

anwesend: siehe Anwesenheitsliste in der Vorstandsakte

entschuldigt: Herren Kreutz und Spork- Frischling.

Vorsitz: Matthias Burba

Protokoll: Herbert Jelinek

Herr Schliemann bekam von Herrn H. Kreutz sowie von Herrn P. Spork-Frischling die Stimmrechte übertragen.

**TOP 1:** Begrüßung durch den Ersten Vorsitzenden, Annahme der Tagesordnung, Protokoll 2018 und Bericht.

Festgestellt wird, dass die Einladung der Mitgliederversammlung fristgerecht erfolgte und das notwendige Quorum zur Durchführung der Versammlung erreicht wird.

Das Protokoll der Mitgliederversammlung vom 22.03.2018 wird einstimmig angenommen, die Tagesordnung gebilligt.

Der Vorsitzende weist auf seinen einjährigen Vorsitz hin und berichtet zur aktuellen Situation des NWV:

Der Verein prüfe z.Zt. mit Hilfe seiner historischen Quellen (u. a. Absprachen des NWV mit der Universität in den Jahren 1848 und 1959) die mit der Universität diskutierte kostenfreie Raumnutzung des NWV.

Der NWV verfüge über eine Vielzahl sehr guter Gründe bzw. Argumente, mittelfristig mit der Universität einen neuen Kooperationsvertrag zur Raumnutzung abzuschließen.

Unser Schriftentausch bedarf zukünftig besonderer Pflege: von ehemals nahezu 300 Tauschpartner seien nur rd. 150 aktive Partner übriggeblieben. Durch eine veränderte Gesetzgebung des Europäischen Zollrechts könne ab April 2019 das bisherige, vereinfachte Zollverfahren (Abfertigung von Büchersendungen aus dem Ausland ohne Bemühungen unsererseits) nicht mehr durchgeführt werden. Jede eingehende Publikation müsse künftig durch den Zoll als Einzelfall behandelt werden. Dies könne zu erheblicher Belastung für den Verein und evtl. nicht leistbarer Arbeit führen. Er habe im Vorfeld erhebliche Anstrengungen zur Problemlösung unternommen (vom Widerspruch bis hin zu denkbaren Kooperationsangeboten gegenüber dem Zoll). Die Zollbehörden versprochen bei einem Besuch vor Ort, eingehende Sendungen zu sammeln, damit diese zusammen (aufwandreduziert) eingeführt werden können. Man wolle gemeinsam Erfahrungen sammeln.

Das CeNak befinde sich derzeit in Vorbereitung zur Aufnahme in die Leibniz-Gemeinschaft. Die Aufnahme soll im sog. Huckepack-Verfahren mit dem Zoologischen Forschungsmuseum Alexander König in Bonn (ZFMK) stattfinden. Dazu wären u.a. die Ergebnisse zweier Begehungen (LG und WR) sowie das Votum der Gemeinsamen Bund-Länderkommission (BWK) abzuwarten.

Unsere Website sei momentan noch nicht auf dem geplanten Entwicklungsstand. Ein neuer Webmaster habe die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Website übernommen. Dieser Wechsel sei auf Grund hoher finanzieller Forderungen des alten Vertragspartners erforderlich geworden. Die neue Website könne in ca. 6 Wochen fertig sein. Auch für die Arbeitsgruppen beinhalte sie viele neue Gestaltungsmöglichkeiten.

Der Vortrag von Dr. Veit Henning, Uni Hamburg: „Gesamtökologische Betrachtungen der Elbvertiefung“ am 28.02.2019, habe im Vorstand eine Diskussion darüber angeregt, inwieweit unser Verein sich verpflichtet fühlen sollte, zu dieser Problematik eine wissenschaftlich begründete Stellungnahme abzugeben. Der Vorstand hätte sich für eine Stellungnahme entschieden. Die Vereinsmitglieder könnten ihre Meinung dazu schriftlich an ihn (Herrn Burba) schicken.

Die finanzielle Belastung des Vereins sei durch seine vielseitigen Vorhaben - insbesondere aber durch unsere Publikationsreihen – relativ hoch. Der NWV dürfe nicht fortwährend von seiner Substanz leben und sein Vermögen angreifen.

Man habe die Anzahl der Publikationen daher in diesem Jahr etwas reduzieren müssen. Die finanzielle Situation habe sich jedoch mit Hilfe eingeworbener Spenden entspannt. In naher Zukunft müsse man jedoch über die Einnahme- und Ausgabesituation des Vereins nachdenken und dabei auch erwägen, die seit über 20 Jahren stabil gebliebenen Vereinsbeiträge moderat anzuheben. Der Verein hätte bei stetig steigenden Preisen seine Leistungen laufend verbessert.

Die folgenden Vorträge seien seit Beginn des Jahres durchgeführt worden:

17.1.2019: Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt, Hamburg: „400 Jahre Astronomie in Hamburg - von Tycho Brahe bis zur Hamburger Sternwarte“

28.2.2019: Dr. Veit Henning, Hamburg: „Der Zusammenbruch der Bestände des Elbstints und die Folgen für die Vogelwelt“ Im Anschluss an die Mitgliederversammlung (28.3.2019):

Prof. Dr. Christof Ellger, Potsdam: „Geowissenschaften als Erholung“

Weitere Vorträge bzw. Veranstaltungen werden folgen:

25. 4. 2019: Dr. Lydia Möcklinghoff, Bonn: „Das brasilianische Pantanal und einer seiner seltsamsten Bewohner, der Große Ameisenbär“ (vorläufiger Titel).



Mai 2019: Prof. Dr. Ulrich Riller, Hamburg: „Identifizierung verborgener Meteoritenkrater, Auswirkung großer Meteoriteneinschläge“

Juni 2019: Sommerausflug zum Stecknitztal und nach Mölln (Organisation: Dipl.-Geol. Helge Kreutz)

Oktober 2019: Prof. Dr. Olav Giere, Hamburg : „Green Ships and Greenshipping“.

Anfang 2020: Lothar Frenz et al., Hamburg: „Chinko Projekt – ein afrikanisches Naturschutzprojekt“

Im Herbst des laufenden Jahres werde sich die Vortragsreihe mit dem Thema „Insektensterben“ auseinandersetzen. Augenblicklich würden vielfältige Ansätze und Aspekte dieser Thematik im Vorstand diskutiert.

Das Auditorium hat auf Nachfrage keine weiteren Anregungen zu diesem Themenkreis.

Herr Burba bittet das Auditorium um eine Gedenkminute für die im letzten Jahr verstorbenen folgenden Vereinsmitglieder:

Dr. Hans Ulrich (bereits im Mai 2017, Nachricht an den NWV 2018)

Helga Lohrentz (Februar 2018)

Prof. Dr. K. Lillelund (September 2018)

Das Ehrenmitglied Dr. Hans-Georg Peukert (November 2018)

Dr. Günter Laubinger (Dezember 2018)

Die Anwesenden erheben sich – Herr Burba bedankt sich.

**TOP 2:** Kassenbericht und Haushaltvoranschlag (Schatzmeister Olav Giere)

Der Schatzmeister gibt an Hand von Folien über die Finanzlage des Vereins sowie den Stand der Mitglieder folgenden Bericht:

### **Konten-Übersicht 2018:**

#### **Girokonto**

Bestand	01.01.2018	12.751,84 €
	31.12.2018	8.964,76 €

#### **Sparkonto**

Bestand	01.01.2018	9.605,32 €
	31.12.2018	2.690,72 €

#### **Eingänge/Ausgaben 2018** (größere Beträge)

##### **Eingänge** (gerundet) **33.285**

u.a. Beiträge (2/3 per Lastschrift!)	7.250
Spenden	675
aus Wertpapieren	2.691
Zuschuss BWFG	14.000
aus Sparbuch	8.500
Verkauf Remittenden	171

##### **Ausgaben** (gerundet) **34.100**

u.a. allg. Geschäftskosten	4.880
Zuschüsse an Gruppen	1.714
Veranstaltungen, Exkursionen	1.850
Natur u. Wissen H. 15	1.519
Verhdlg. Nr. 51	6.668
Abhandlg. Nr. 46	16.434

**Saldo (gerundet) - 810**

### **Haushaltsplanung 2019**

#### **Einnahmen**

##### **Lfd. Vereinsarbeit** (aus Beiträgen

Dividenden, kl. Spenden) 10.000

Verfügbar aus Bestand 4.500

Zuschuss Behörde

bewilligt 2019 17.500

Sonderspende 6.000

**Summe Einnahmen 38.000**

#### **Ausgaben**

**Lfd. Vereinsarbeit 8.650**

Geschäftskosten 5.000

Veranstaltungen 1.900

Arbeitsgruppen 1.750

**Publikationen etc. 29.360**

Verhdlg. lfd.Bd. -----

Abhdlg. Quallen-Atlas 26.660

(Evtl. Nachbewilligung BWF 5.000)

Abhdlg. lfd.Bd. -----

Natur u. Wissen H. 16 1.500

Schriftentausch, Redakt. 1.200

**Summe Ausgaben 38.010**

#### **Mitgliederzahlen**

**Gesamtzahl am 1.1.2019 263**

Neueintritte in 2018 11

Verstorben in 2018 5

Gestr. wg. 2 Jahre Nichtzahlens 1

Kündigungen zum Ende 2018 7

zum Vergleich: Mitglieder Ende 2017 265

Es gibt keine Nachfragen aus dem Plenum. Der Vorsitzende dankt dem Schatzmeister.

**TOP 3:** Bericht der Kassenprüfer, anschließend Neuwahl eines Kassenprüfers

Die Kassenprüfer H. Reichenbach und E. Frischmuth erklären, dass sie eine umfassende Kassenprüfung für das Jahr 2018 durchgeführt hätten. Sie hätten keinerlei Beanstandungen, die Buchführung sei sehr sorgfältig erfolgt.

Der Bericht der Kassenprüfer für das Jahr 2018 befindet sich in den Vereinsakten sowie die geprüfte Gewinn- und Verlustrechnung in diesem Protokoll.

Auf Antrag aus der Mitgliedschaft werden der Schatzmeister und der Vorstand einstimmig (bei technischer Enthaltung des Vorstandes) entlastet.

Turnusmäßig scheidet ein Kassenprüfer (Herr Reichenbach) aus. Das Auditorium spricht Herrn Reichenbach seinen Dank für die geleistete Arbeit aus.

Herr Linz wird als nachfolgender Kassenprüfer vorgeschlagen und einstimmig gewählt. Er nimmt die Wahl an.

#### **TOP 4:** Nachwahl eines Zweiten Schriftführers

Auf Grund einer Anmahnung des Rechtsamtes mit Verweis auf die Vereinssatzung muss ein Zweiter Schriftführer nachgewählt werden. Herr Daniel Bein aus dem CeNak ist bereit, in dieser Funktion im Vorstand des NWV mitzuarbeiten. Er stellt sich und seine Arbeit vor und wird einstimmig gewählt. Er nimmt die Wahl an, und die Anwesenden danken ihm für sein Engagement.

#### **TOP 5:** Veröffentlichungen (Schriftleiter A. Schmidt-Rhaesa)

Herr Schmidt-Rhaesa stellt kurz den 2018 erschienenen Abhandlungsband 46 von Frau Susanne Köstering, „Ein Museum für Weltnatur“, vor und berichtet vom Erscheinen des neuen Verhandlungsbandes mit Anfang April. Die Reihe der „Verhandlungsbände“ wäre in „Natur im Fokus“ umbenannt worden, um zukünftig Verwechslungen mit den „Abhandlungen“ zu vermeiden. Der diesjährige Band von „Natur im Fokus“ sei aufgrund weniger Beiträge etwas schmaler ausgefallen als sonst üblich. Der Abhandlungsband „Quallenatlas“ läge noch nicht vor. Die entsprechenden PDFs seien den Schriftleitern und Herausgebern vom Verlag zugestellt worden und würden jetzt durchgesehen.

Er ginge davon aus, dass der Atlas im Herbst des laufenden Jahres erscheinen werde.

Herr Burba dankt Herrn Schmidt-Rhaesa für seine aufwändige redaktionelle Arbeit an unseren Publikationen.

#### **TOP 5:** Bericht aus den Arbeitsgruppen

Herr Burba verweist auf die ausführlichen Berichte aus den Arbeitsgruppen in „Natur und Wissen“ (Heft 15). Die Arbeitsgruppen arbeiteten kontinuierlich und seien in ihrer Mitgliederzahl stabil.

#### **TOP 6:** Schriftentausch

Die Archivarin Frau I. Villwock fehlt entschuldigt.

Der Erste Vorsitzende weist auf seine Aussagen zum Schriftentausch und den aktuellen Problemen unter TOP 1 hin.

#### **Top 7:** Öffentlichkeitsarbeit

Der Zweite Vorsitzende stellt fest, dass unsere Webseite gut besucht ist und wir auf Facebook gut gefragt sind. Er ruft die Mitglieder dazu auf, sich auf dieser Plattform stärker mit Beiträgen, Berichten über unsere Vorträge und Photographien zu beteiligen. Dadurch werde die „Sichtbarkeit“ des Vereins größer und lebendiger.

Das Internet stelle inzwischen einen „Motor“ für den Verein dar, mit Hilfe dessen die Hälfte neuer Mitglieder gewonnen würde. Für jüngere Menschen nähmen soziale Plattformen eine bedeutende Stellung ein. Er dankt Herrn Spork dafür, dass er die Öffentlichkeitsarbeit des Vereins so effizient wahrnimmt.

#### **TOP 8:** Verschiedenes

Der Erste Vorsitzende erbittet vom Auditorium ein Meinungsbild zur denkbaren Erhöhung der Mitgliedsbeiträge. Die nachfolgende Diskussion lässt erkennen, dass sich die Mitglieder des zur Zeit existierenden geringen Beitragssatzes bewusst sind und sich eine jährliche Erhöhung von 5 – 10 € vorstellen können. Es sollte aber lieber der höhere Betrag veranschlagt werden; dies hätte u.a. den Vorteil, wieder für eine längere Zeit die Beiträge unverändert lassen zu können. Ein anderer Denkansatz hat zur Grundlage, den Beitragssatz auf längere Sicht gestaffelt einzuführen.

Das Gremium diskutiert über Auswirkungen einer Erhöhung des Beitragssätze insbesondere für Mitglieder mit geringerem Einkommen sowie über mögliche Austritte.

Es wird darauf hingewiesen, dass zu erwartende Mehreinnahmen keine Auswirkungen auf die Publikationen des Vereins hätten. Für deren Finanzierung seien wir auf die Zuschüsse der Behörde angewiesen.

Die aus dem Auditorium kommenden Vorschläge sollen im Vorstand diskutiert und die Ergebnisse den Mitgliedern vorgelegt werden.

Herr Schliemann spricht abschließend noch einmal die Situation im „Schriftentausch“ an, indem er feststellt, dass bei im Moment nur rd. 150 aktiven Tauschpartnern „ein wichtiges Standbein unseres Vereins ins Wanken gerate“.

Für die Nachfolge von Frau I. Villwock (Archivarin) sucht der Vorstand eine Nachfolgerin bzw. einen Nachfolger.

Für das Protokoll  
gez. Herbert Jelinek

Vorsitzender:  
gez. Matthias Burba







# Höhlengruppe Nord e.V. (HGN)

## DEUTSCHES ARCHIV FÜR SINTERCHRONOLOGIE (DASC)

im Verband der Deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V. München

### Stefan von Boguslawski Tätigkeitsbericht 2018

### Fundpunkte von Fledermäusen und Wirbellosen im Riesenberghöhlen-System am 20. Januar 2018

- Nr.01: Teichfledermaus, Rathjenshalle
- Nr.02: Kl. Bartfledermaus, Rathjenshalle
- Nr.03: Gr. Bartfledermaus, Rathjenshalle
- Nr.04: Gr. Mausohr, Rathjenshalle
- Nr.05: Gr. Bartfledermaus, Neudahm-Ganges
- Nr.06: Gr. Bartfledermaus, Neudahm-Ganges
- Nr.07: Gr. Bartfledermaus, HGN-Gang
- Nr.08: unbestimmte Fledermaus, HGN-Gang
- Nr.09: Gr. Mausohr, Biwak-Halle
- Nr.10: Teichfledermaus, Atlantishalle
- Nr.11: Gr. Bartfledermaus, Eingangshalle
- Nr.12: Gr. Bartfledermaus, Eingangshalle
- Nr.13: Kl. Bartfledermaus, Berggeist-Halle
- Nr.14: Gr. Mausohr, Schlammopalast
- Nr.15: Fransenfledermaus, Lüderwaldt-Gang
- Nr.16: Gr. Bartfledermaus, Geistergang
- Nr.17: Gr. Bartfledermaus, de Terra-Halle

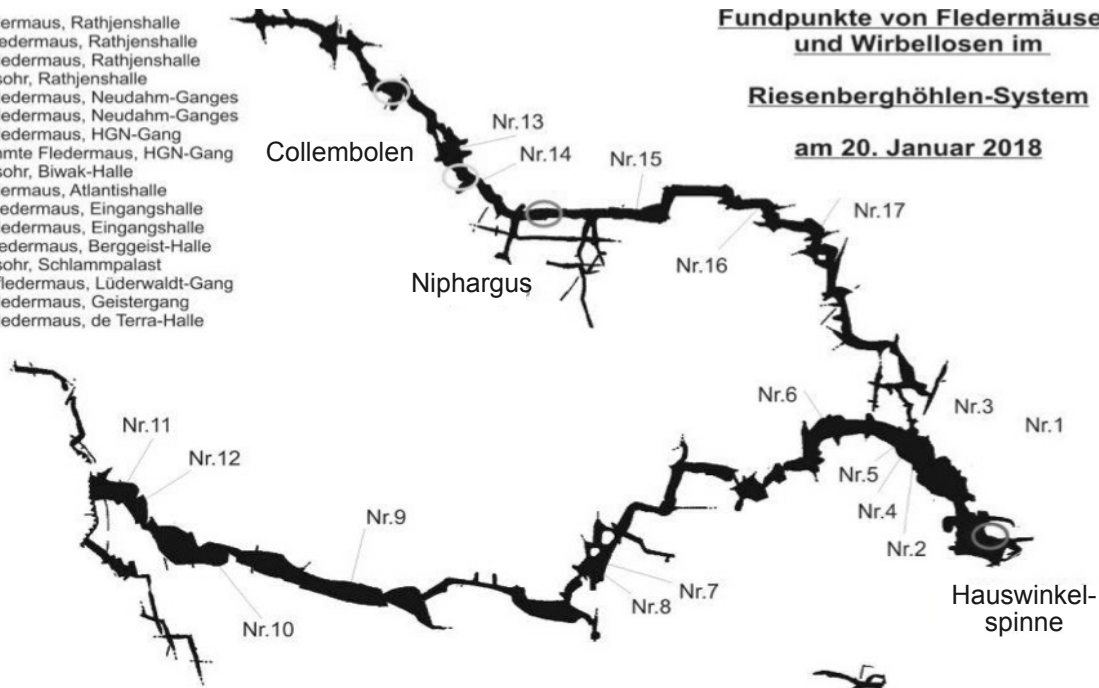


Abb. 1

Die erste große Fledermauszählung im Berichtsjahr fand am 20.01.2018 in der Riesenberghöhle statt. Hierbei ergab sich eine Gesamtzahl von 17 gesichteten Tieren aus 5 verschiedenen Arten, was nominell 4 Tiere und prozentual rund 30 % mehr gegenüber dem Vorjahr 2016 bedeutet - erfreulich. Interessant ist, dass dieses Jahr die Hangplätze nicht identisch waren wie in den Jahren zuvor. Auch die Aktivität der Tiere war größer als sonst. Die Beobachtungen der letzten Jahre zeigen, dass die Fledermäuse innerhalb einer Überwinterungszeit nicht dauerhaft am selben Hangplatz bleiben. Eine Übersicht der Arten und ihrer Hangplätze ist aus dem Höhlenplan, Abb. 1 zu entnehmen.

Weiterhin wurden 18 Höhlenkontrollen und Eingangskontrollen bei kleineren Karstobjekten im Katastergbiet durchgeführt, wobei am 11.2. ein Großes Mausohr in der Alten Höhle sowie am 30.3. in der Kupferkuhle eine Fransenfledermaus angetroffen wurden.

Im Berichtsjahr wurde an mehreren Grabungsterminen versucht, den Eingang zur 100-Jahre-Höhle freizulegen. Am 14.04. wurde ein Felsen freigelegt, ohne einen Zugang zu finden. Eine luftführende Spalte konnte aber am 19.7. entdeckt werden. Hier wurde am 5.11. weiter gegraben – doch bislang ohne einen Zugang zu finden.

Am 28.04. wurde das Sub-Fauna-Projekt in der Riesenberghöhle und der Schillathöhle fortgeführt, indem neue Barberfallen aufgestellt wurden und auch im Eingangsnahen Bereich außerhalb der Höhle Wirbellose gesucht wurden. In der Tiefenregion der Schillathöhle wurden folgende Tiergruppen vorgefunden und aufgesammelt: *Meta menardi* mit Kokoons, Linyphiidae, verschiedene Diptera, Polydesmidae. In der Tiefenregion der Riesenberghöhle wurden die folgenden Tiergruppen vorgefunden und besammelt: *Meta menardi*, *Speolepta leptogaster*, verschiedene Isopoda, weitere Mycetophilidae, Bolitophilidae, Culicidae, verschiedene Collembola, Trichoptera. Die genetischen Artbestimmungen zur Präzisierung der Ergebnisse sind für den Sommer 2019 geplant. Die Ausbeute aus einer Falle vom September 2017 war nicht groß.

Parallel dazu wurde die Tiefengrabung im Geistergang mit Akku-Bohrhammer-Unterstützung heute um 80cm auf eine Gesamttiefe von 3,75m abgeteuft. Der Gang weitet sich in Nordrichtung. Im Lehm fanden sich alle 5-10 cm dünne Sandeinlagerungen und eine auffällige bräunliche Ablagerung, wie ein verwittertes Stück Astholz.

Am 14. Mai fand eine Begehung des aktuellen Abbaus im Steinbruch Segelhorst / Süntel mit der Betriebsleitung statt. Unsere besondere Aufmerksamkeit galt der mergeli-

gen Schicht, die wir heute auf der 2. Sohle lokalisieren konnten. Sie stellt derzeit den Leithorizont für alle bekannten Karsthöhlen im Bruch Segelhorst dar.

Fortführung des Sub-Fauna-Projektes. Die Fallen der Schillathöhle wurden am Vortag gewechselt. Der Fallenbehälter im Außenbereich der Höhle war gut gefüllt. In dem Behälter in der Übergangszone waren 2 Carabidae, 3 Lycosidae und 2 Collembola. Hingegen war der Behälter aus der Tiefenzone augenscheinlich leer, enthielt nach Durchsicht im Labor allerdings 2 Collembola (*Symphyleona*). Die Fallen im Außenbereich und im Vorraum der Riesenberghöhle wurden ebenfalls den Vorrichtungen entnommen. Schon ein erster Blick in die Fallen zeigte ein breites Spektrum an Wirbellosen (Asseln, Spinnen, Ameisen...). In der Barberfalle der Übergangsregion wurden vorgefunden: Rollassel, weitere Isopoda, Formicidae, Araneae inkl. Linyphiidae, Lycosidae; Opiliones, Coleoptera inkl. Staphylinidae, Diptera, mind. drei Arten Collembola, Raubmilben, Oribatida, Pulicidae.

Heute wurde auch weiter am Projekt der Stalagmitenwachstumsmessung gearbeitet. Dabei zeigte sich, dass die Massen der Stalagmitenkappe über die Jahre hinweg kontinuierlich zunehmen, die Längenwerte aber kontinuierlich abnehmen. Wir können derzeit nicht schlüssig erklären, worin diese Dis-

kipanz begründet sein könnte. Die Tropffrequenz hat sich, gegenüber dem 23.07.2016 (6'17"), aktuell um das Vierfache beschleunigt, auf 1'3". Das passt auch zu der oben beschriebenen sehr nassen Höhle.

Am 30.6. und 14.7. fanden bei beiden Höhlen weitere Sub-Fauna-Termine statt, bei dem die Barberfallen mit wirbellosen Tieren geborgen wurden sowie neue aufgestellt wurden. Die verschiedenen Barberfallen enthielten die folgenden Tiergruppen, welche im Sommer 2019 noch genetisch auf bestenfalls Artniveau weiter bestimmt werden.

Riesenberghöhle Barberfalle Übergangsregion: Saffkugler, Isopoda, Formicidae, Discus rotundatus, Phoridae, Collembola, viele Oribatida, Raubmilben, Coleoptera.

Riesenberghöhle Handaufsammlung Übergangsregion: Nymphalidae, Myrmicinae, Formicinae, Opiliones, Glomerida, Isopoda, Limonia nubeculosa, 3 Arten Gastropoda, Pholcidae, verschiedene Nematocera, Araneae inkl. Lycosidae, Neuroptera-Larve, Pseudoscorpiones, Acari.

Riesenberghöhle Barberfalle Tiefenregion: Phoridae

Riesenberghöhle Handaufsammlung Tiefenregion: *Triphosa dubitata*, Trichoptera, Glomeridae, weitere Asseln, *Limonia nubeculosa*, *Meta menardi*, Bolitophilidae, Mycetophilidae, Scolopendromorpha (cf. Cryptops), Heleomyzidae, Araneae, Mikrolepidoptera, Coleoptera, Opiliones, Sphaeroceridae, weitere kleine Diptera.

Schillathöhle Barberfalle Übergangsregion: Federgeistchen, Trichoptera, *Limonia nubeculosa*, Mycetophilidae, *Badister bullatus* (Carabidae), Collembola, Bodenmilbe.

Schillathöhle Barberfalle Tiefenregion: Collembola.

Schillathöhle Handaufsammlung Tiefenregion: Trichoptera, *Limonia nubeculosa*, *Meta menardi*, Ichneumonidae, Heleomyzidae mit paras. Milben, cf. Sphaeroceridae, *Speolepta leptogaster* Puppe, Linyphiidae, weitere Mycetophilidae, Höhlencollembola, Höhlen-Milbe, Höhlen-Myriapoda.

Am 29.09. weitere Befahrung der Riesenberghöhle und Fortführung der Stalagmitenwachstumsmessung. Nach diesem heißen Sommer war die Höhle auffällig trocken, so dass nur sehr selten ein Tropfenfall passierte. Wir stellten insgesamt sieben Wasserbehälter auf, einer davon im Weißen Teil. Alle Positionen wurden dokumentiert. Ziel ist, Wasserproben in weit voneinander entfernten Positionen in der Höhle zu gewinnen. Diese getrennt gesammelten Wasser sollen später wieder eingesammelt und untersucht werden. Die Unterschiede im Kalzium- und Magnesiumgehalt der Wasserproben sind möglicher-

weise mit äußeren Gegebenheiten korrelierbar. Das erste Team fertigte 39 Profile in der Langenfelder Höhle an.

Um das bevorstehende 50-jährige Entdeckungsjubiläum der Riesenberghöhle gebührend zu würdigen, wurde intensiv am ersten Teil einer Veröffentlichung im Söltjer gearbeitet. Die ist die regional erscheinende Zeitschrift des Heimatbundes Bad Münder e. V. Darin wurden erstmals zusammenfassende Informationen aus den gescannten Nachlasschriften von Bodo Schillat herausgegeben. Darüber hinaus wurde in begrenzter Auflage ein Farbkalender für 2019 im Format DIN A3 herausgebracht, mit eindrucksvollen Fotos.

Am 10.10.2018 fand ein Verhandlungstermin mit der Basalt AG in Rinteln-Steinbergen statt. Der Kooperationsvertrag zwischen der NNG und der HGN ist nun endlich von allen Seiten akzeptiert und wurde am 11.11.2018 unterschrieben. Die ersten Anfänge dieses Vertrags gehen bis zum 5.5.2017 zurück. Am 7.9.2017 gab es dann den ersten Vertragsentwurf. In den ersten Verhandlungen ging es darum, wer wann unter welchen Bedingungen zum einen über das Gelände des Steinbruchs in die RBH und gehen darf und zum anderen, wer wann und zu welchen Bedingungen im Steinbruch selbst forschen darf. Im zweiten Verhandlungsschritt ging es darum, das Haftungsrisiko für den Verein und den Vorstand nicht größer werden zu lassen als bisher. Eine solche Vereinbarung ist ein echtes Novum in der Beziehung zwischen einer Steinbruchgesellschaft und einem Höhlenverein, die es bislang noch nirgendwo in Deutschland gab. Die Basalt AG beauftragte dafür sogar ein Rechtsanwaltsbüro für Bergbaurecht. Es wurde eine Vereinbarung getroffen, die die Interessen der NNG und der HGN in akzeptabler Weise regelt. Wir freuen uns darüber, dass wir auf Basis des neuen Vertrages zukünftig in einer konstruktiven Kooperation zukünftige Karstobjekte gemeinsam dokumentieren können. Abends gingen wir noch zur Wilhelmina-Höhle sowie zum Fuchsloch und machten Eingangskontrollen.

Im Lippergang (Schillathöhle) konnte in diesem Jahr nur eine Grabung durchgeführt werden. Bei dem Einsatz am 17.11. wurde auch das Lüftungsrohr um 6m verlängert. Die Ganglänge hat mittlerweile die 50-Meter-Marke überschritten. In diesem Jahr wurde von Mitgliedern des Grabungsteams eine Hängebahn entwickelt, welche den Abtransport von Lehm und Gestein erleichtern soll. Eine Strecke von 12 m ist bereits eingebaut. Das Besondere dabei ist, dass die Lehmeimer unter einer Laufkatze hängen, die an einer

Schiene an der Gangdecke läuft. Das System ist somit relativ störungsarm, da Lehm und Steine kaum die mechanischen Systeme eindringen können. Die Strecke soll im II. Quartal 2019 in Betrieb gehen.

Am 24.11. führten wir, auf Basis des neuen Kooperationsvertrages mit der Basalt AG, eine zweistündige Karstkundliche Begehung des Riesenbergsteinbruchs durch.

Wegen Absturzgefahr von Teilen der Felswand an der Steinmühle bei Polle an der Weser ist seit geraumer Zeit die Bundesstraße am Fuß der Felswand gesperrt. Hier sollen bis 2020 umfangreiche Sicherungsmaßnahmen ausgeführt werden. In der dort gelegenen Hungerbrunnenhöhle wurden am 29.12. Asseln, welche dort in blassrosa Färbung bis farblos vorkommen, gefunden. Es konnte außer den besagten Asseln auch Fledermauskot entdeckt werden, sowie zahlreiche Höhlenspanner und diverse Spinnenarten.

Nach 36 Jahren konnten wir hier die Weißrosa Höhlenassel *Androniscus dentiger* wieder nachweisen.



Über jede Vereinsaktivität wurden die Detail-Infos in über 40 Befahrungsberichten dokumentiert. Sie bilden die Grundlage für diesen zusammenfassenden Tätigkeitsbericht.

Über das Jahr hinweg nahmen Mitglieder der HGN auch an mehreren Befahrungen und Grabungseinsätzen im Teutoburger Wald unter Leitung der AGHKL teil. Zwei Mitglieder waren auch während ihres Urlaubs aktiv. In Norwegen wurde eine der größten Höhlen des Landes, die „Trollkirka“, befahren. Die rund 100m lange Höhle ist für die Region außergewöhnlich, da sie im Marmor angelegt ist, von einem Bach durchflossen wird und zwei große Wasserfälle aufweist. Eine Fotodokumentation wurde durchgeführt.

Hamburg, im Februar 2019  
Stefan von Boguslawski, Vorsitzender



## Bob Lammert Tätigkeitsbericht der Arbeitsgruppe MIKRO für 2019

Die Veranstaltungen fanden wie immer in den Räumen des ZSU statt (Hamburg – Klein Flottbek, Hemmingstedter Weg 142), 15.00 bis 18.00 Uhr.

Die MIKRO-Gruppe blickt wieder auf ein erfolgreiches Jahr mit einer großen Vielfalt an bearbeiteten Themen zurück.

Für 2019 konnten wir es erreichen, dass jeder der Termine von einem anderen Vortragenden bzw. Vortragenden-Team vorbereitet und gestaltet wurde. Dadurch konnte die Themenvielfalt ausgebaut und das hohe Qualitätsniveau gehalten werden.

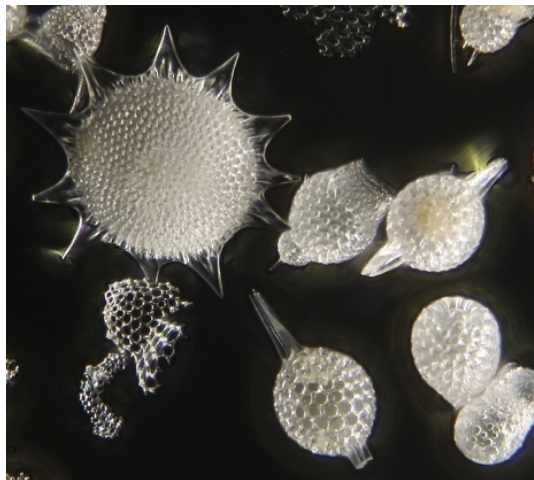
Was bei den Treffen immer wieder auffällt, ist das enorm vielseitige Interesse der Mitglieder und die ausgesprochen engagierte und gutgelaunte Bearbeitung der Themen. Die Teilnehmerzahl ist weiter hoch, es kamen 8-25 Personen pro Veranstaltung, im Schnitt etwa 14.

Die praktische Ausrichtung kommt gut an, vereinzelt kommen Gäste von weiter her, z.B. aus Berlin und Jena, um das Angebot zu nutzen.

Auf die Website der MIKRO (<http://www.mikrohamburg.de>) wird intensiv zugegriffen, und sie stellt eine der umfangreichsten Internetseiten zum Thema Mikroskopie weltweit dar.

Mikroskopikern außerhalb der Gruppe bieten wird jetzt die Möglichkeit, ihre besten Fotos in unserer Rubrik „Gästebeiträge“ in hoher Auflösung zu zeigen: <http://www.mikrohamburg.de/Gastbeitr%E4ge.htm> Werfen Sie ruhig einmal einen Blick auf unsere Internetseite, neben vielen Informationen rund um die Mikroskopie gibt es auch viele gute Fotos aus den Gebieten Naturwissenschaft, Medizin und Technik zu sehen.

Um neue Mitglieder anzusprechen, werden die Treffen auch im Mikroskopie-Forum (<http://www.mikroskopie-forum.de>) beworben. Neue Mitglieder werden in der Regel durch diese zwei Maßnahmen auf uns aufmerksam. Die Ende 2018 angeschaffte neue Präsentationshardware hat sich sehr gut bewährt. Demnächst wird noch der Umbau eines Stereomikroskops hinzukommen, der es ermöglichen wird, auch das



Auflicht-Foto Radiolarienmaterial

Bild dieser Quelle auf den Flachbildschirm zu bringen. Um den Mitgliedern des NWV das eigene aktive Arbeiten zu erleichtern, bieten wir ihnen jetzt sogar die Möglichkeit an, sich ein überholtes und einsatzbereites Zeiss-Mikroskop für die Arbeit zu Hause auszuleihen. Dieses Angebot dürfte weltweit einzigartig sein.

Im November 2018 hat Professor Olav Giere unser Programm mit einem sehr anschaulichen und interessanten Vortrag über die Symbiose von Schwefelbakterien und höheren Lebensformen in der Tiefsee bereichert. Das Praktikum an diesem Termin hatte die Herstellung von Radiolarien-Präparaten mit einem neuen Verfahren zum Thema. Aufgrund des herausragend schönen Radiolarienmaterials und der einfachen Präparationsmethode kam dabei viel Vergnügen auf.

### Was gab es 2019 bei der MIKRO besonderes?

Das Jahr begann mit dem Thema „Pflanzenschnitte“. Auch wenn überlegte Vorbereitung und optimierte Färbungen und Werkzeuge das Thema für den Einsteiger handhabbar machen, stellt es doch Ansprüche an die Geschicklichkeit und die Arbeitsorganisation der Teilnehmer. Zu unserer Überraschung kam ausgerechnet zu diesem Thema eine Rekordzahl von ca. 25 Teilnehmern. Im Mikro-Labor ging es dementsprechend turbulent zu, überall lagen Karottenschnipsel (verwendet zur Einbettung beim Schneiden) und der Austausch war sehr inter-

essiert und intensiv. Dank der engagierten und anpackenden Teilnehmer war das Aufräumen hinterher aber trotzdem schnell erledigt, und die Teilnehmer konnten mit selbst angefertigten Dauerpräparaten den Heimweg antreten.

Im Juni fanden das Thema „Hundertfüßer“ und unser MIKRO-Sommerfest an einem Tag statt.

Wir bekamen dabei einen Einblick in die wissenschaftliche Arbeit im Zoologischen Museum und konnten uns selbst unter dem Mikroskop einen Eindruck von diesen ungewöhnlichen Lebewesen verschaffen.

Das Sommerfest war wieder ein großer Erfolg. Die Organisation haben wir wieder gezielt unkompliziert gehalten, und die mitgebrachten Speisen ergaben ein tolles Buffet. Von dem Überschuss der Sammlung konnte ein Okularpaar für ein Stereomikroskop bezahlt werden, dass damit wieder zur Verfügung steht.

Für den August (eigentlich Sommerpause) hat uns Georg Wawzyniak die Möglichkeit gegeben, das Ottenser Stadteilmuseum zu besuchen. Was nach Schränken voll Papier klingt, ist an erster Stelle eine alte Drahtstifte-Fabrik aus der industriellen Anfangszeit Ottensens, in der sowohl die historischen Maschinen zur Drahtstiftherstellung, als auch die transmissionsgetriebenen Werkzeugmaschinen in der Betriebsschlosserei in voller Funktion vorgeführt wurden. Das bekommt man heute kaum mal irgendwo geboten, und so war der Besuch war sehr beeindruckend.

Im September wurde es blutig – Marlen Kurschat hat mit uns Pappenheimgefärbte Blutpräparate hergestellt und uns im Vortrag über den Lebenssaft Blut, seine Untersuchung und die moderne medizinische Praxis informiert. Das große medizinische Interesse der Teilnehmer führte zu bereitwilliger Blutabgabe, die der Kreislauf der Mehrzahl der Teilnehmer auch ohne Probleme überstanden hat.

### Übersicht der bearbeiteten Themen:

Januar:

Klaus Spiekermann: Pflanzenschnitte: Schneiden, Färben, Einschließen

Februar:

Georg Rosenfeldt: Kristalle unter dem Mikroskop

März:

Georg Rosenfeldt/Bob Lammert: Frühjahrsplankton (Ersatzthema)

April:

Jorrit Köchel: Elektronik unterm Mikroskop: Schnitte durch Bauteile, Farbcode, Bauteil-Identifizierung, Miniaturisierung, Schaltungsentwicklung

Mai:

Georg Wawzyniak: Bekannte Tiere aus unserer Umwelt unter der Stereolupe und dem Mikroskop – Gemeinsamkeiten, Unterschiede und ein Ansatz zur Klassifizierung.

Juni:

Detlef Thofern: Hundertfüßer - Lebensweise dieser Jäger der Dunkelheit und ihre wissenschaftliche Bearbeitung

MIKRO-SOMMERFEST

August:

Georg Wawzyniak: Besichtigung der historischen Produktionsanlagen der Ottenser Drahtstiftfabrik

September:

Maren Kurschat: Blutuntersuchungen - dem Krankheitserreger auf der Spur mit den Methoden der Mikroskopie

Oktober:

Sven Kötter: Koproskopische Diagnostik von Endoparasiten - Einführender Vortrag mit praktischen Übungen

November:

Bob Lammert: Mitose – eine der Grundlagen der Entstehung und des Erhalts des Lebens

Dezember:

Gerhard Martin: Fischnährtiere oder: Was kleine Fische so am liebsten fressen

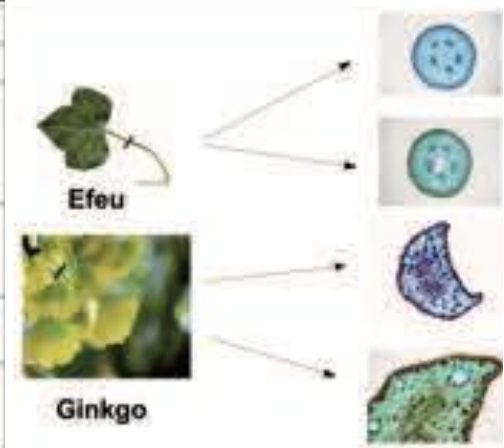
### Einzelthema im Detail:

**Pflanzenschnitte: Schneiden, Färben, Einschließen. Arbeitsnachmittag der Mikrogruppe am 19. Januar 2019, Klaus Spiekermann**

Der Arbeitsnachmittag der Mikrogruppe widmete sich der Herstellung von Pflanzenschnitten und war mit ca. 25 Teilnehmern außergewöhnlich gut frequentiert. Es wurden Stiele von Efeu und Ginkgo mit verschiedenen Hand- und Tischmikrotomen geschnitten und mit Simultanfärbungen (Etzolds Farbgemisch, Wacker W3A) gefärbt. Simultanfärbungen haben den Vorteil, dass verschiedene Färbungen in einem Arbeitsgang durchgeführt werden. Die gefärbten Schnitte wurden anschließend in ein Einbettungsmittel überführt und unter dem Mikroskop studiert. Jeder Teilnehmer konnte seine Präparate nach Hause mitnehmen.

Weshalb färbt man Pflanzen- (und auch andere) Gewebeschnitte? Die gewählten Farbstoffe binden

Etzold's Farbgemisch (FCA)
Verholzte Zellwände in verschiedenen Rotönen: <ul style="list-style-type: none"><li>Schichten einer Zellwand in verschiedenen rot bis orange Tönen.</li></ul>
Cutinisierte Zellwände gelb bis orange (Chrysoidin wird aber nicht leicht aufgenommen)
Unverholzte und nicht-cutinisierte Zellwände blau
Pflasma leicht rot
Zellkerne rot oder blau
Chloroplasten oliv bis braun



Neben der wissenschaftlichen Bedeutung dieser Methoden kam auch die Freude an der Farbenpracht nicht zu kurz wie hier beim Schnitt durch den Stiel des Efeus (Färbung W3A).



sich an unterschiedliche Gewebearten und vereinfachen so die Interpretation der vorliegenden Strukturen. Beispiel Etzold's Farbgemisch bei Pflanzenschnitten:

Betrachtet man den gefärbten Schnitt des Efeus unter dem Mikroskop können die typischen Strukturen wie Epidermis und Cuticula, Rindenparenchym, Xylem, Phloem, Leitbündelscheide und Sekretgänge leicht erkannt werden.

## Der Naturwissenschaftliche Verein in Hamburg

Der Naturwissenschaftliche Verein in Hamburg veranstaltet Vorträge und Vortragsreihen, die im Zoologischen Museum der Universität Hamburg stattfinden. Zum Verein gehören verschiedene Arbeitsgruppen, die ihrerseits Vortragsabende, Arbeitsabende, Praktika und auch Exkursionen durchführen. Alle Veranstaltungen stehen jedermann offen, Gäste sind gern gesehen.

### Ein Blick in die Vergangenheit – Die Geologische Gruppe

Deutschland war nicht immer „Land“ – im Carbon war es von Sümpfen und Sumpfwäldern bedeckt, während des Perm bedeckte ein Flachmeer einen Teil Deutschlands, das dann eintrocknete und gewaltige Salzlagerstätten lieferte. Während des Jura existierte in Süddeutschland ein Meer, in dem sich Ichthyosaurier tummelten, und in der Kreidezeit wiederum gab es im Norden ein Flachmeer, in dem sich gewaltige Kreideablagerungen absetzten. All diese Schichten liegen heute an bestimmten Stellen Deutschlands frei und gestatten einen Blick in die ferne Vergangenheit, in ihre Tier- und Pflanzenwelt. Die Geologische Gruppe freut sich auf Ihren Besuch!

• **Kontakt: Dr. Wolfgang Linz, Tel.: 040-7926043, [rewolinz@t-online.de](mailto:rewolinz@t-online.de)**

### Steine erzählen – Die Arbeitsgruppe für Geschiebekunde

Schon in der Schule haben wir gelernt, dass die Landschaften Norddeutschlands durch die Gletscher der letzten Eiszeiten geprägt wurden. Kein Wunder, dass man in jeder Kiesgrube alle möglichen Steine findet, die von den Gletschern aus Skandinavien nach Norddeutschland transportiert wurden - aber woher stammen diese Steine genau? Mit dieser Frage beschäftigt sich die Gruppe für Geschiebekunde, denn mit kriminalistischem Scharfsinn und mit Hilfe dieser steinernen „Zeugen“ lässt sich die komplizierte Geschichte der letzten Eiszeiten rekonstruieren. Wenn Sie Lust haben, dieses Puzzle zu vervollständigen, seien Sie Gast in unserer Gruppe!

• **Kontakt: Dr. Wolfgang Linz, Tel.: 040-7926043, [rewolinz@t-online.de](mailto:rewolinz@t-online.de)**

### Verborgene Schätze – Die Mikropaläontologische Gruppe

Zu allen Zeiten lebten in den Meeren Myriaden von Klein- und Mikroorganismen, deren Skelette in den entsprechenden Ablagerungen eingeschlossen wurden und sich bis heute erhalten haben. Löst man diese versteinerten Ablagerungen mit geeigneten Chemikalien auf – und das ist nicht sonderlich schwierig – so kann man diese Organismen untersuchen. Sie zeigen nicht nur eine unglaubliche Formenfülle, es ist vielmehr möglich, mit ihrer Hilfe die Lebensbedingungen dieser längst vergangenen Zeiten zu rekonstruieren. Die Mikropaläontologische Gruppe lädt Sie zu einem Blick in die Vergangenheit ein!

• **Kontakt: Michael Hesemann, [michael@foraminifera.eu](mailto:michael@foraminifera.eu)**

### Tiefe Einblicke – Die Mikrobiologische Vereinigung

Unter dem Mikroskop entdeckt man wahre „Kunstformen der Natur“. Ob Zieralgen aus verschiedenen Gewässern oder nur 0,01 mm starke Dünnschnitte von Pflanzen und Tieren. Das Mikroskop macht die kleinsten Strukturen sichtbar, und mit geeigneten Geräten können diese Beobachtungen auch im Bild festgehalten werden. Trotzdem handelt es sich nicht um ein teures Hobby für wenige Spezialisten. Die Mikrobiologische Gruppe verfügt über ein gut ausgerüstetes Labor in dem Ihnen erfahrene Amateure und Profis zur Seite stehen. Schauen Sie einmal herein!

• **Kontakt: Bob Lammert, [bob.lammert@web.de](mailto:bob.lammert@web.de)**

### Lebensraum Elbe – Die Planktongruppe

Jedermann weiß, dass in Flüssen Fische leben, aber Wasser enthält noch zahlreiche andere Organismen! Gelegentlich stören uns „Wasserblüten“, doch haben Sie schon einmal diese Algen unter dem Mikroskop gesehen? Und haben Sie eine Vorstellung von dem, was sich sonst noch im Wasser entdecken lässt? Es handelt sich um eine ganz eigene Lebenswelt, wobei man in jeder Wasserprobe an die einhundert Arten finden kann, eine schöner oder auch absonderlicher als die andere! Wenn Sie sich für diese Formenfülle begeistern wollen, seien Sie Gast bei den Arbeitsabenden der Planktongruppe!

• **Kontakt: Jorrit Köchel, [jorritk@gmx.de](mailto:jorritk@gmx.de)**

### Geheimnisvolle Unterwelt – Die Höhlengruppe Nord

Von Höhlen ging schon immer eine geheimnisvolle Anziehungskraft aus, aber die Erforschung von Höhlen liefert auch wertvolle Einblicke in die Vergangenheit, zumal in den Steinbrüchen der Mittelgebirge immer wieder Höhlen angeschnitten werden, die dann durch den laufenden Steinbruchbetrieb zerstört werden. Der Erforschung dieser Höhlen widmet sich die Arbeitsgruppe für Höhlenforschung, die zugleich auch für die Untersuchung und den Erhalt solcher Höhlen verantwortlich ist, die unter Naturschutz stehen. Waren Sie schon einmal in einer neu entdeckten Höhle? Wenn Sie diese Erfahrung reizt, wenden Sie sich an uns!

• **Kontakt: Dr. Peter Wille, [peter.wille@arcor.de](mailto:peter.wille@arcor.de), Stefan von Boguslawski, [s.boguslawski@hamburg.de](mailto:s.boguslawski@hamburg.de)**