

# Von der Einfalt der Wissenschaft und der Vielfalt der Mikroben



**Heribert Cypionka**

Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM)  
Universität Oldenburg

[www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

**Download** –

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

**bild der  
wissenschaft online**

**NEWSSTICKER  
Anthropologie  
17.09.2002**

**Gletschermann "Ötzi" letzte Mahlzeiten:  
Steinbock und Rotwild**

Italienische Forscher haben "Ötzi" letzte Mahlzeiten herausgefunden: Der Gletschermann hatte vor seinem Tod am Hauslabjoch in Südtirol vor mehr als 5000 Jahren Steinbock, Rotwild und Getreide gegessen, schreiben die Anthropologen in der Fachzeitschrift "Proceedings" der amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften (Artikel #1845).

Die Forscher um Franco Rollo von der Universität Camerino rekonstruieren die letzte Reise des steinzeitlichen Mannes so: Kurz vor seinem Tod wanderte Ötzi durch einen Nadelwald in mittlerer Höhe. Dort aß er eine Mahlzeit aus Getreide, Pflanzen und Steinbockfleisch. Er setzte seine Reise fort und stieg weiter in felsigen Höhen bis auf etwa 3200 Meter, wo er starb – nicht ohne ein weiteres Mahl aus Rotwildfleisch und möglicherweise Getreide zu sich genommen zu haben.

Das Team hatte das Erbgut der Darminhalte des Gletschermannes analysiert und die DNA von Nadelbäumen, Getreide, Steinbock und Rotwild gefunden. Die Überreste von Nadelbäumen stammen wahrscheinlich von Pollen, die Ötzi aufnahm, als er durch den steinzeitlichen Nadelwald wanderte.

## Molekularbiologie als fantastisches Werkzeug

### Theoretisch reicht 1 DNA-Molekül-Bruchstück für den Nachweis eines Organismus.

Allwissen?

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Mehr Keime in der Mundhöhle

FAZ  
23.2.00

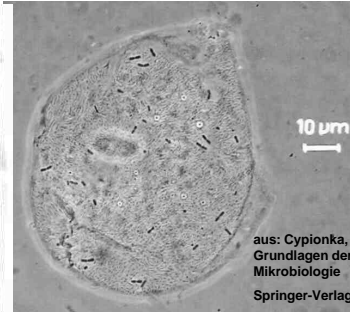
Identifizierung weiterer Erreger mit gentechnischen Verfahren

In der Mundhöhle des Menschen tummeln sich offenbar weit mehr Bakterienarten, als man bislang angenommen hat. Zu diesem Ergebnis kamen Forscher der Stanford University im kalifornischen Palo Alto, die den Belag auf den Zähnen eines gesunden Nichtraucher genau untersuchten. Zwar ist schon lange bekannt, dass die Mundhöhle des Menschen mit besonders vielen unterschiedlichen Mikroorganismen besiedelt ist. Doch zu den fünfhundert bereits identifizierten Bakterien sind offenbar noch einige Dutzend hinzuzuzählen. Manche Bakterien helfen bei der Verwertung von Nahrungsmitteln, andere schützen vor krank machenden Keimen, wieder andere können Karies oder Zahnfleischentzündungen verursachen, als opportunistische Erreger bei einer Schwächung des Organismus innere Krankheiten auslösen oder die Entstehung von Krebs begünstigen.

Einige der neu entdeckten Arten fanden Forscher um David Relman auf klassischem Wege durch das Kultivieren auf besonderen Nährböden. Viele Keime ließen sich aber so nicht vermehren. Ihnen kamen die Forscher mit molekularbiologischen Verfahren auf die Spur. Die Forscher nutzten kurze Nukleinsäurestücke als Sonden, um unbekannte Bakterien aufzuspüren. Sie identifizierten fünf Dutzend Arten, die als

Bewohner der Mundhöhle bislang unbekannt waren. Es handelte sich um Keime, die praktisch alle einer der großen Gruppen der Bakterien angehören.

Die Wissenschaftler geben in ihrem Bericht in den „Proceedings“ der amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften (Bd. 96, S. 14547) jedoch zu bedenken, dass nicht alle diese Mikroorganismen normale Bewohner der menschlichen Mundhöhle sein müssen. Einige könnten dort auch nur vorübergehend anzutreffen sein. Sie vermuten zum Beispiel, dass das Metall oxidierende Bakterium *Thiobacillus cuprinus*, das normalerweise im Sediment von Seen vorkommt, durch Trinkwasser in die Mundhöhle gelangt sein könnte. Auf längere Sicht dürfte es dort vermutlich nicht überleben. Auch von den Mikroorganismen anderer Lebensräume, etwa den im Boden lebenden Bakterien, weiß man seit kurzem, dass es weitaus mehr Arten gibt, als mit klassischen Verfahren identifiziert werden konnten. Dennoch sind die Forscher überrascht, dass ihnen auch in der besonders gut untersuchten Mundhöhle so viele Arten entgangen sind. Um die Biodiversität der Mikroorganismen in diesem Lebensraum vollständig zu erschließen, versuchen sie nun, die neu entdeckten Bakterien genauer zu charakterisieren.



aus: Cypionka, Grundlagen der Mikrobiologie Springer-Verlag

Oberfläche einer Mundschleimhautzelle einer gesunden Oldenburger Studentin

500 auf einen Streich...

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Ongoing Modification of Mediterranean Pleistocene Sapropels Mediated by Prokaryotes

Marco J. L. Coolen,<sup>1,2</sup> Heribert Cypionka,<sup>1</sup> Andrea M. Sass,<sup>1</sup> Henrik Sass,<sup>1</sup> Jörg Overmann<sup>1,3\*</sup>

Late Pleistocene organic-rich sediments (sapropels) from the eastern Mediterranean Sea harbor unknown, metabolically active chemoorganotrophic prokaryotes. As compared to the carbon-lean intermediate layers, sapropels exhibit elevated cell numbers, increased activities of hydrolytic exoenzymes, and increased anaerobic glucose degradation rates, suggesting that microbial carbon substrates originate from sapropel layers up to 217,000 years old. 16S ribosomal RNA gene analyses revealed that as-yet-uncultured green nonsulfur bacteria constitute up to 70% of the total microbial biomass. Crenarchaeota constitute a smaller fraction (on average, 16%). A slow but significant turnover of glucose could be detected. Apparently, sapropels are still altered by the metabolic activity of green nonsulfur bacteria and crenarchaeota.

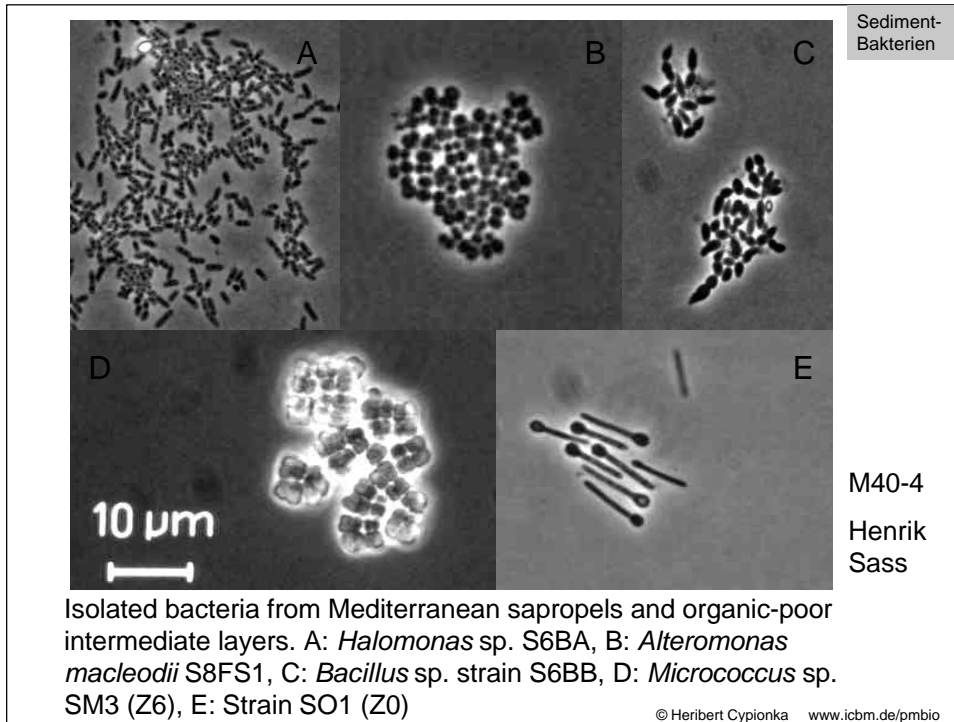
SCIENCE VOL 296 28 JUNE 2002 2407-2410

Da leben noch welche!



Ergebnisse der Meteor-Fahrt M40-4

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio



ODP-Fahrt

ODP  
Leg 201

San Diego

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

Valparaiso

Jan. - Apr. 2002

JOIDES Resolution in Valparaiso (Chile)

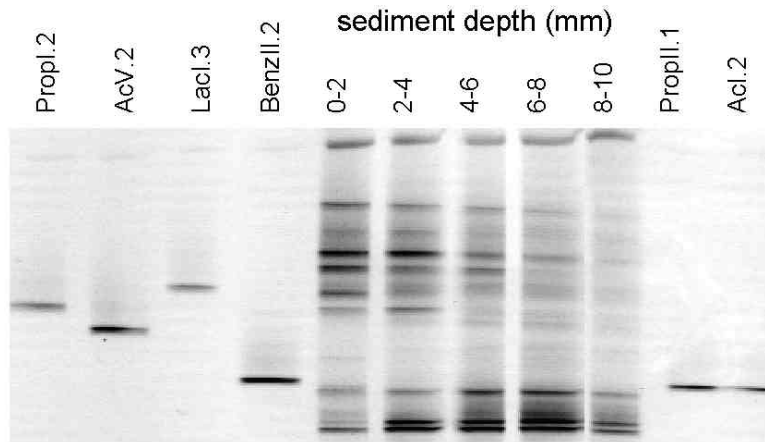
Fahrt 201 des Ocean Drilling Program

**Viele Bilder und Berichte im Netz unter [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)**

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Populationen sulfatreduzierender Bakterien im obersten Zentimeter eines Sediments

Watt



Vergleich von amplifizierten 16 S rRNA-Banden von Reinkulturen und Sediment (0 - 10 mm) aus Schiermonnikoog durch Denaturierende Gradienten-Gel-Elektrophorese (DGGE)

Elze Wieringa

**Es lassen sich verschiedene Bakterien einer eng verwandten Gruppe nachweisen.**

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

**Was kennen und verstehen wir von Artenvielfalt?**

**Naturwissenschaft soll zuverlässiges Wissen über eine reale Welt gewinnen.**

**Ihr Vorgehen folgt methodischen Anforderungen...**

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Wozu hat der der Maikäfer Flügel?



Wozu hat ein Bakterium eine Membran?

Wozu hat der Mensch Hände?



®



"Ein Maikäfer, dem man die Flügel abschneidet, kann nicht mehr hören."

"Maikäfer, flieg!"

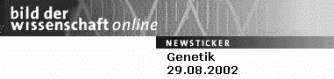
## Weshalb ist der Frosch grün?



**In der Wissenschaft wird die einfachste Erklärung als die beste angenommen. Die Biologie verläuft über Umwege...**

## Funktion von Genen

Genfunktion



### Gen für Vergesslichkeit entdeckt

Wenn Opa oder Oma ein wenig vergesslich werden, könnte das an den Genen liegen. Menschen, die eine besondere Genvariante mit dem Namen "APOE e4" tragen, haben im Alter unter stärkerem Verlust ihrer geistigen Leistungsfähigkeit zu leiden, berichten schottische Forscher in der Fachzeitschrift "Nature" (Bd. 418, S. 932).

Die Wissenschaftler um Ian Deary untersuchten die normalen Veränderungen kognitiver Fähigkeiten, die im Alter auftreten. Dazu baten sie mehr als 450 Achtzigjährige, die 1932 an einer Schottischen Erhebung zu geistigen Fähigkeiten teilgenommen hatten, den Test von damals zu wiederholen.

In jungen Jahren hatten alle Teilnehmer vergleichbare Ergebnisse. Im Alter von 80 jedoch schritten die Probanden mit APOE-e4-Gen deutlich schlechter ab als diejenigen, die eine andere Variante des Gens besaßen, fanden die Forscher. Wie sich das Gen im Gehirn genau auswirkt, wissen die Forscher noch nicht.

APOE e4 wird auch mit einer Anfälligkeit für Alzheimer in Verbindung gebracht. Leichte Symptome wie Vergesslichkeit könnten demnach erste Anzeichen der Krankheit sein. Jedoch war die Anzahl derjenigen, die schlechtere geistige Fähigkeiten zeigten und gleichzeitig das APOE e4-Gen hatten, deutlich höher als das natürliche Vorkommen von Alzheimer. Deshalb schließen die Forscher einen direkten Zusammenhang aus.

Weitere Meldungen zum Thema Demenz finden Sie im Archiv von [wissenschaft.de](http://wissenschaft.de).

ddp/bdw - Cornelia Pfaff

### Lineares Denken ...

### Tragen wir alle Rollstuhlgene?

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)



### Den Menschen trennt mehr vom Affen als gedacht

Die Unterschiede zwischen der DNA von Menschen und Schimpansen sind größer als ursprünglich angenommen, haben amerikanische Forscher herausgefunden. Bisher nahmen Wissenschaftler an, dass der Unterschied bei etwa 1,5 Prozent liegt. Tatsächlich sind es jedoch fünf Prozent, schreiben Roy J. Britten und seine Kollegen in der Fachzeitschrift "Proceedings" (DOI10.1073) der amerikanischen Akademie der Wissenschaften.

Der Wissenschaftler vom California Institute of Technology in Pasadena erklärt die Abweichungen der Ergebnisse damit, dass man bisher nur die Unterschiede des Basenaustausches der DNA bestimmt habe. Und dieser würde sich wirklich nur um 1,4 Prozent unterscheiden.

"Die vorherigen Untersuchungen", berichtet der Wissenschaftler, "haben sich nie damit beschäftigt, ob die Deletions- und Insertionsereignisse der menschlichen und der Schimpansen-DNA übereinstimmen oder nicht."

Doch durch das Herausbrechen (Deletion) oder das Einfügen (Insertion) von Basen, erklärt Britten, entstehe ein charakteristisches Muster für jede Spezies. Verglichen mit dem Austausch einer einzelnen Base sind Deletionen und Insertionen zwar zehnfach seltener als der Austausch einer einzelnen Base. Dafür betreffen diese Vorgänge jedoch mehrere hundert Basen.

Addiert man die Unterschiede des Basenaustausches zu den der Insertions- und Deletionsereignisse, weichen das Erbgut der Schimpansen und das menschliche Genom letztlich doch um fünf Prozent voneinander ab, fasst der Wissenschaftler die Ergebnisse der neuesten Studie zusammen.

Teresa Baethmann

### Was unterscheidet uns vom Affen?

# 5 %?

Mensch und Affe

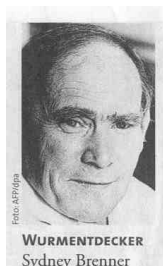
© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Was unterscheidet Sie von Ihrem Nachbarn?

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Genom-Analyse

### Haben wir mit der Genom-Analyse des Menschen nun alles Wesentliche erforscht?



#### Vergesst das Genom!

Das fordert Sydney Brenner, der frisch gekürte Medizinnobelpreisträger, im Interview

DIE ZEIT 42/2002

#### MEDIZIN - NOBELPREIS Leben am Fadenwurm

Von Harro Albrecht

Ein britisch-amerikanisches Forschertrio erkundet den verzweigten Weg vom Ei zum reifen Wesen >>

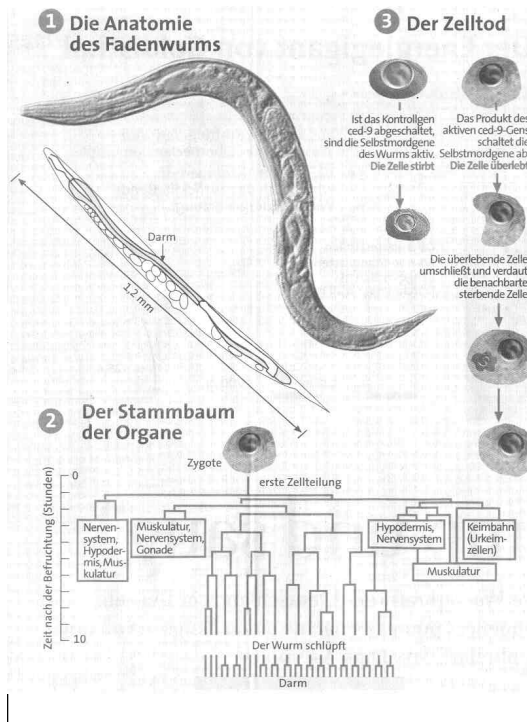
#### Die unsinnige Jagd nach Daten

Von Ralf Neumann (Gesprächsführung)

Viele Molekularbiologen haben das Denken eingestellt und sammeln Gensequenzen, die sie nicht verstehen. Der Medizinnobelpreisträger Sydney Brenner hingegen sucht nach dem Codebuch der Evolution. Er träumt von einer umfassenden Theorie des Lebens >>

Lineares Denken...

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)



Fadenwurm

## 595 Zellen hat die Nobel-Kreatur

Forscher lieben *Caenorhabditis elegans*. Der unscheinbare Fadenwurm ist in jedem Blumentopf zu finden. Er vermehrt sich rasch, ist – für anatomische Studien äußerst praktikabel – durchsichtig (1) und toleriert sogar, wenn man ihn kurzfristig einfriert.

Kaum ein Lebewesen ist besser untersucht. Die Forscher haben einen Stammbaum (2) erstellt, der Herkunft und Schicksal jeder Zelle genau verzeichnet.

Wenn der Wurm schlüpft, besteht er aus 558 Zellen. Bis zum Erwachsenenalter von drei Tagen bringt er es bis auf 1000 Bauteile. Doch bei seiner Reifung bleiben 131 Zellen auf der Strecke. Genau dieses gezielte Zellopfer, ohne das der komplexe Organismus nicht zustande käme, ist für die Forscher interessant. Der so genannte programmierte Zelltod (3) und die an ihm beteiligten Gene enthüllen, wie Lebewesen entstehen, wie sie altern und was auf dem Weg vom Ei bis zum Tod alles schief gehen kann.

Auch der erwachsene Wurm – gestreckt wie eine Zigarre – bietet alles, was man sich von einem Tier wünschen kann: Es frisst, es bewegt sich, und es pflanzt sich fort. In der Regel paart es sich als Hermaphrodit mit sich selbst. 302 Nervenzellen können die Wissenschaftler während der Lebensspanne gleichsam beim Denken beobachten. Und im Alter von 18 Tagen stirbt das Würmchen.

**Regulation ist das Thema der Zukunft.**

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

**NEWTICKER**  
Genetik  
12.04.2002

### Was Schimpanse und Mensch unterscheidet

Warum sind Schimpansen und Menschen trotz weitgehend identischem Erbmateriale körperlich und geistig so verschieden? Eine Antwort könnten Ergebnisse einer internationalen Forschergruppe aus Deutschland, Holland und Amerika geben. Sie fanden überraschende Unterschiede zwischen Schimpanse und Mensch in der Art und Weise wie die Erbinformation aktiviert und in Proteine übersetzt wird: Während im Gehirn die Gen- und Proteinexpression von Mensch und Schimpanse deutlich voneinander abweichen, finden sich in anderem Körpergewebe diese Unterschiede nicht.

Dabei scheint die Quantität wichtiger zu sein als die Qualität. Die Gehirne von Mensch und Schimpanse unterscheiden sich eher im Umfang der Gen- und Proteinexpression als in dem Aufbau der Gene und Proteine selbst. Das berichtet das Forscherteam in der Fachzeitschrift *Science* (Ausg. 296, S. 340). An den Arbeiten waren auch Svante Pääbo und Kollegen vom Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig beteiligt.

Die Forscher untersuchten das Gewebe natürlich verstorbener Schimpansen, Makaken und Menschen unter anderem auf die Mengen an Messenger-RNA. Messenger-RNA vermittelt zwischen dem Ablesen der genetischen Information und der Herstellung der Proteine. Anhand der Mengen von Messenger-RNA bestimmten sie den Grad der Genexpression. Die Forscher fanden heraus: Mensch und Schimpanse ähneln sich in der Genexpression in Leber- und Blutzellen (Leukozyten) stärker als Schimpanse und Makake. Dies war aufgrund der engen evolutionären Verwandtschaft von Mensch und Schimpanse zu erwarten.

Regulation

**Was unterscheidet uns vom Affen?**

**Was unterscheidet Sie von Ihrem Nachbarn?**

**Regulation ist die Antwort.**

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio



## Wie lange überlebt eine Species?

Wie lange wird es noch Menschen auf der Erde geben?

Wissenschaftlich korrekte Antwort (mit 90 % Wahrscheinlichkeit)

**Nach Gott!**

J.R. Gott  
(Nature 1993, S. 315; Spektr. d. Wiss., Sept.'93, S. 30)



## Wie lange hält eine Tube Zahnpasta?

Von 100 Tuben (Flaschen, Rollen Toilettenpapier...) im Badezimmer dürften etwa je 5 % frisch angebrochen oder fast vollständig leer sein. Für 90 % sollte gelten: sie befinden sich in zwischen den ersten und letzten 5 % ihrer Nutzungsdauer.

Den Füllstand brauche ich nicht zu prüfen!



## Hat Gott recht?

**Ja, wenn wir uns dumm stellen.**  
(Alter als einzige verarbeitete Information)

**Seit 50 Jahren kann die Menschheit sich  
an einem Tag auslöschen.**

**Exponentielles Wachstum natürlicher  
Populationen hält nur über sehr wenige  
Generationen and und endet dann  
meistens mit einer Katastrophe....**

## Intelligenztest

Ergänzen Sie die Zahlenreihe 3, 4, 6, 9, ...

$$3 + 1 = 4$$

$$4 + 2 = 6$$

$$6 + 3 = 9$$

$$9 + 4 = 13$$

$$13 + 5 = 18$$

$$4^2 - 3^2 - 1 = 6$$

$$6^2 - 4^2 - 11 = 9$$

$$9^2 - 6^2 - 21 = 24$$

$$24^2 - 9^2 - 31 = 464$$

$$464^2 - 24^2 - 41 = 214\ 679$$

**Newton: Nature is pleased with simplicity.**

**Die einfachere Erklärung gilt als die bessere.**

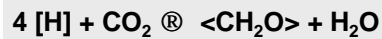
## Photosynthese-Gleichung



Woher kommt der freigesetzte Sauerstoff?

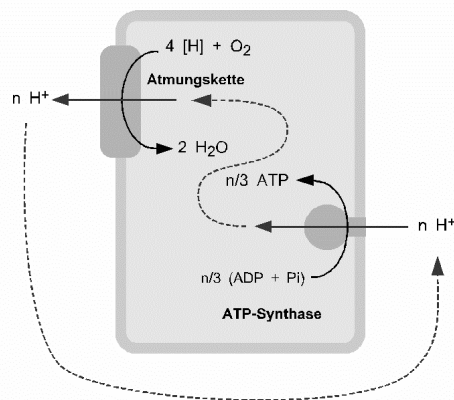
Logisch:  $\text{CO}_2$  gibt  $\text{O}_2$  ab, nimmt  $\text{H}_2\text{O}$  auf.

Test mit  $^{18}\text{O}$ -markiertem Wasser



Der biologische Umweg ist der Normalfall.

## Begriffsbildung



Die Begriffe  
'Elektronentransport-  
Phosphorylierung'  
oder 'oxidative  
Phosphorylierung'  
finden sich noch in  
fast jedem Lehrbuch.

Abb. 13.2. Prinzip der Energiekonservierung durch aerobe Atmung und membrangebundene ATPase

Cypionka, Grundl. d. Mikrobiologie

Begriffe werden meist aufgrund anfänglicher Beobachtungen – oft ohne Verständnis für funktionale Zusammenhänge - gebildet, und bekommen mit der Zeit weitere Phänomene untergeschoben.

## Erdgeschichte, Lebensgeschichte

Tafel 18.1. Erdgeschichte und Lebensgeschichte

	vor etwa Mio. Jahren	"Tageszeit" (0 - 24 h)
Urknall	15 000	0:00
Unsere Milchstraße	10 000	8:00
Sonnensystem, Erde, Mond	4 600	16:40
Sedimentgesteine mit		
Isotopenfraktionierung (Grönland)	3 800	17:40
Stromatolithe, Mikrofossilien (Australien)	3 500	18:25
Gebänderte Eisensteine, Photosynthese	2 900	19:20
Spuren von O <sub>2</sub> , einfache Eukaryoten	1 600	21:25
20 % O <sub>2</sub> in der Atmosphäre,		
Skelettragende Tiere	600	23:00
Dinosaurier ausgestorben	65	23:54
Mensch ( <i>Homo sapiens</i> )	1	23:59:54
Altägyptische Pyramiden	0.005	23:59:59.97

Cypionka: Grundlagen  
der Mikrobiologie,  
Springer-Verlag

**Prokaryoten waren über die längste Zeit der Erdgeschichte unter sich.**

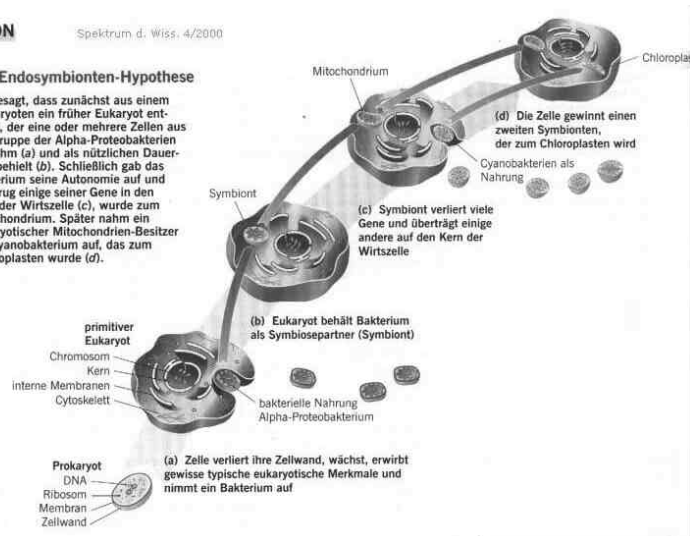
© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

### EVOLUTION

Spektrum d. Wiss. 4/2000

#### Die Endosymbionten-Hypothese

Sie besagt, dass zunächst aus einem Prokaryoten ein früher Eukaryot entstand, der eine oder mehrere Zellen aus der Gruppe der Alpha-Proteobakterien aufnahm (a) und als nützlichen Dauer-gast beihält (b). Schließlich gab das Bakterium seine Autonomie auf und übertrug einige seiner Gene in den Kern der Wirtszelle (c), wurde zum Mitochondrium. Später nahm ein eukaryotischer Mitochondrien-Besitzer ein Cyanobakterium auf, das zum Chloroplasten wurde (d).



**Pflanzen und Tiere entwickelten sich unter wesentlicher Mithilfe von Prokaryoten.**

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Erbmaterial als Geschenk für den Wirt

Reger Gentransfer zwischen Blaualgen und Pflanzenzellen / Erfolgreiche Symbiose

Lebensgemeinschaften zwischen verschiedenen Partnern sind ein Erfolgsrezept der Natur. Das zeigt sich etwa an den hilfreichen Bakterien, die im Rindermagen Zellulose verwerten, oder den Waldpilzen, die Baumwurzeln mit Mineralstoffen versorgen und ihrerseits mit Kohlenhydraten beliefert werden. Auch die Bäume selbst sind, wie alle grünen Pflanzen, das Produkt einer Symbiose. Ihre Chloroplasten – in den Pflanzenzellen für die Photosynthese zuständig – stammen von Cyanobakterien ab. Daß diese meist leuchtend grünen Zellbestandteile aus ehemals frei lebenden Mikroorganismen hervorgegangen sind, hatte der deutsche Botaniker Andreas Franz Wilhelm Schimper schon 1885 vermutet. Diese Hypothese wurde mittlerweile durch genetische Analysen untermauert. Wie sich außerdem zeigte, haben die mitunter auch als Blaualgen bezeichneten Cyanobakterien einen beträchtlichen Teil ihres Erbguts an die Pflanzenzellen abgetreten. Dabei handelt es sich keineswegs nur um Zubehör des Photosyntheseapparats. Vielmehr übernehmen die in den Zellkern ausgelagerten Gene eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen. Das berichtet William Martin von der Universität Düsseldorf gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern aus Deutschland, Japan und Neuseeland in der Online-Ausgabe der „Proceedings“ der amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften.

Gegenstand der Untersuchungen war die Ackerschmalwand, *Arabidopsis thaliana*. Von diesem unscheinbaren Ackerswildkraut, einem beliebten Forschungsobjekt, ist die genetische Ausstattung weitgehend bekannt. Anhand der einschlägigen Datenbanken läßt sich mit dem Genom verschiedenartiger Blaualgen vergleichen. Auf diese Weise wurden 1700 Gene identifiziert, die anscheinend von Cyanobakterien stammen. Der tatsächliche Anteil dürfte noch größer sein, denn vermutlich haben sich etliche Gene nach und nach so stark verändert, daß ihnen ihre Herkunft nicht mehr anzumerken ist. Nach Einschätzung der Forscher haben die symbiontischen Blaualgen insgesamt etwa 4500 Gene zum Inventar der Ackerschmalwand beigetragen, was 18 Prozent des gesamten Genoms entsprechen würde.

Die zu Chloroplasten mutierten Cyanobakterien besitzen nur noch einen bescheidenen Restbestand von 60 bis 200 Genen. Daß sie im Laufe der Evolution immer wieder Teile ihres Erbguts abgestoßen haben, zeigt ein Vergleich zwischen den Chloroplasten verschiedenartiger Gewächse, von diversen Algen bis zu Blütenpflanzen. Manche Gene gingen anscheinend völlig verloren, andere wanderten in den Kern der Pflanzenzelle ab. So lassen sich zum Beispiel zwei Gene, die bei dem Lebermoos *Marchantia* noch in den Chloroplasten zu Hause sind, bei

Reis- und Tabakpflanzen im Zellkern nachweisen.

Den größten Zuwachs bekam der Zellkern als zentrales Archiv für genetische Informationen aber wohl schon in einem frühen Stadium der Symbiose. Während die seßhaft gewordenen Blaualgen allmählich ihre Selbständigkeit verloren, konnte ihr Gastgeber die Baupläne für viele nicht mehr benötigte Proteine übernehmen. Diesem Fundus entstammt ein erstaunlich breites Spektrum von Pflanzenen. Etliche liefern zum Beispiel Enzyme für bestimmte Syntheseprozesse, andere werden für Transportmechanismen innerhalb der Zelle benötigt, wieder andere für den Energiestoffwechsel oder die Zellteilung. Manche beteiligen sich sogar an Aufgaben, die sich einer Pflanze niemals stellen würden, etwa der Abwehr von Pflanzenschädlingen.

Wieviel genetischen Inventar die Chloroplasten im Laufe der Zeit an den Zellkern abgegeben haben, läßt sich nicht genau konstruieren. Denn in einer neuen Umgebung können Gene ihre Funktion verändern und dadurch ihren Einfluß beträchtlich ausdehnen. Die symbiontischen Blaualgen brachten jedenfalls nicht nur die Fähigkeit zur Photosynthese mit, sondern sie haben auch darüber hinaus die Evolution der Pflanzen mit einem außerordentlich reichhaltigen genetischen Vermächtnis vorangetrieben. DIEMUT KLÄRNER

**18 % der Gene  
stammen von  
Cyanobakterien**

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Die erfolgreichsten Organismen

**Mitochondrien, die es schaffen, sogenannte 'höhere Organismen' zum Zwecke ihrer Vermehrung einzusetzen**

**Chloroplasten, denen es gelingt, Bäume zu ihrer Vermehrung in den Himmel wachsen zu lassen**



© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

### Evolutionszeiten

- Erdalter 4 600 000 000 Jahre
- Bakterien 3 800 000 000 Jahre
- *Homo sapiens* 270 000 Jahre

### Generationszeiten

- Mensch 10 000 Tage
- Bakterien 1 Tag (10 min - 1000 Jahre)

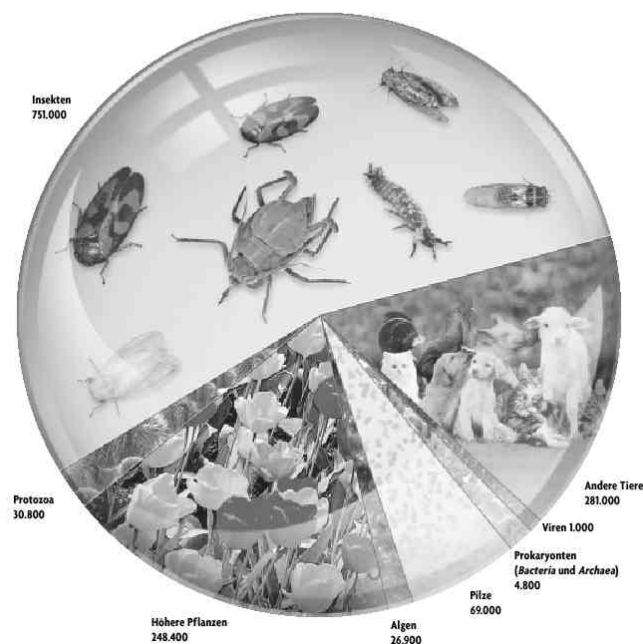
### Abundanzen

- Menschen  $10^{10}$
- Bakterien  $10^{30}$  ( $10^{14}$  in jedem Menschen)

Im Darm jedes Menschen gibt es so viele Bakteriengenerationen wie die Menschheit selbst hatte, mit 10 000-facher Individuenzahl.

Die Prokaryoten sind die am höchsten entwickelten Lebewesen.

### Alle bisher bekannten Organismen-Arten



In jeder Insektenart dürfte ein neues Bakterium zu finden sein....

R. Amann, MPI für marine Mikrobiologie Bremen

## Artbegriff

**Der Artbegriff stammt aus der Beschreibung von Tieren und Pflanzen.**

**Arten: Gruppen sich fortpflanzender Populationen, die von anderen Gruppen reproduktiv isoliert sind. (E. Mayr)**

**Prokaryoten haben den Austausch von Genmaterial erfunden, tauschen jedoch keine vollständigen Genome aus, sondern Stücke, z.B. Plasmide oder freie DNA. Sie sind nicht auf Sexualpartner angewiesen sondern können sich durch Zweiteilung vermehren. Wesentliche 'Fort'schritte in der Evolution wurden durch lateralen oder horizontalen Gentransfer zwischen verschiedenen Arten bewirkt.**

**Der Artbegriff für Pflanzen und Tiere ist für Prokaryoten nicht angemessen.**

## Lohnende Jagd auf Mikroorganismen

FAZ 13.05.02

Artenvielfalt noch kaum erforscht / Bedeutung für die Umwelt oft unterschätzt

Mikroorganismen haben keinen guten Ruf. Gewöhnlich bringt man sie mit Krankheiten in Zusammenhang, spricht von „Killerbakterien“. Leicht wird dabei übersehen, daß Mikroorganismen meistens nützliche und hilfreiche Lebewesen sind, von denen Mensch und Natur profitieren. Daran hat Karl-Heinz Schleifer von der Technischen Universität München bei einem Rundgespräch der Bayerischen Akademie der Wissenschaften erinnert, dessen insgesamt neun Vorträge zusammen mit den Diskussionsbeiträgen jetzt als Buch erschienen sind.

Vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren haben Mikroorganismen begonnen, die Erde zu besiedeln. Sie waren nicht nur die erste Lebensform, sondern über die längste Zeit der Erdgeschichte auch die einzige. Zahlenmäßig übertreffen sie auch heute noch alle anderen Organismen. Schätzungen zufolge existieren auf der Erde etwa  $5 \times 10^{30}$  Prokaryoten, also Bakterien und andere Einzeller ohne Zellkern. Die meisten von ihnen,

scheiden aus. Die etwa 5000 Bakterienarten, die man kennt, stellen möglicherweise nur ein Prozent der tatsächlichen Artenvielfalt dar. Manche Forscher rechnen mit ähnlich vielen Spezies wie bei den Insekten, von denen schon 950 000 Arten beschrieben wurden. Zweifellos stehen die Mikrobiologen noch vor einer riesigen „terra incognita“. Das liegt daran, daß man nur einen kleinen Teil der in der Umwelt vorkommenden Mikroorganismen als Reinkulturen züchten kann. Solche Kulturen sind die Voraussetzung für eine umfassende Charakterisierung und somit für Aussagen über die ökologische Bedeutung.

Immer häufiger gelingt es freilich, neue Bakterien in Umweltproben aufzuspüren, ohne sie im Labor heranzüchten zu müssen. Dies geschieht mit maßgeschneiderten Sonden, molekularen Spürhunden, die sich bestimmten Abschnitten im Erbgut der Mikroorganismen anlagern. Inzwischen kann man mit fluoreszierenden Sonden sogar an Ort und Stelle, etwa in Biofilmen von Kläranlagen, nach nicht kultivierbaren

biosen. Im Darm des Menschen beispielsweise leben zehn- bis hundertmal so viele Bakterien, wie es Zellen im Körper gibt.

Mikroorganismen sind in ökologische Nischen vorgedrungen, die wegen ihrer extremen Lebensbedingungen anderen Organismen verschlossen blieben. Forscher der Universität Regensburg haben zum Beispiel aus Erdöllagerstätten bis in viertausend Metern Tiefe verschiedene Prokaryoten isoliert und gezüchtet, die bei 100 Grad Hitze und einem Druck von 400 bar gedeihen. Den Hitzerekord hält *Pyrolobus fumarii*, der „Feuerlappen“, den man in heißen Quellen aufgespürt hat. Dieser zu den Archaea („Archaeobakterien“) zählende Organismus trägt 113 Grad. Bei 90 Grad fällt er in „Kältestarre“. Erst kürzlich haben die Regensburger Forscher in einer vulkanischen Meeresquelle weitere Exoten entdeckt, „reitende Zwerge“, die in enger Symbiose mit größeren Prokaryoten leben. Mit einem Durchmesser von 0,4 Mikrometern sind sie kleiner als alle bisher bekannten Bakterien und Archaea. Über-



Multikulti im Garten: Erde beherbergt bis zu vier Millionen Bakterienarten

In einem Haufen Gartenerde hausen bis zu vier Millionen verschiedene Bakterienarten und damit doppelt so viele wie in den gesamten Ozeanen der Erde. Das berichten britische Forscher in einer Vorabpublikation der Fachzeitschrift "Proceedings" der amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften.

Das Team um Thomas Curtis von der Universität Newcastle upon Tyne hatte eine neue Methode entwickelt, um die Zahl von Bakterienarten in einem Ökosystem abzuschätzen. Bislang galt die ungeheure Vielfalt unter den Einzellern als nicht bestimmbar. Die britischen Forscher können nun jedoch aus der Gesamtzahl der Mikroben in einer kleinen Probe aus dem Ökosystem und der Anteile der vorherrschenden Arten errechnen, wie viele Bakterienarten insgesamt darin leben.

Als besonders artenarm haben sich Abwässer erwiesen: Nur gerade 70 verschiedene Bakterienarten leben in einem Milliliter Kanalwasser, verglichen mit 160 in Ozeanwasser und bis zu 38.000 in einem Gramm Gartenerde.

ddp/bdw - Marcel Falk

## 4 Millionen Arten - in Ihrem Garten!?

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Anzahl und Biomasse

Abundanz

### Prokaryoten auf der Erde

#### Anzahl Zellen

Offener Ozean	$1.2 \cdot 10^{29}$
Marine Sedimente	$3.5 \cdot 10^{30}$
Erdboden	$2.6 \cdot 10^{29}$
Sub-terrestrisch	$0.5 - 2.5 \cdot 10^{30}$
<b>Summe</b>	<b><math>4 - 6 \cdot 10^{30}</math></b>

**Biomasse** der Prokaryoten:  $350 - 550 \cdot 10^{15}$  g C  
(60 - 100 % der Eukaryoten)

Whitman WB, Coleman DC, Wiebe WJ (1998) Prokaryotes: The unseen majority. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 6578-6583

**Die meisten chemischen Reaktionen auf der Erde werden von Mikroben katalysiert.**

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Artenvielfalt

### Anzahl der Arten in 30 g Waldboden

**3 000** (Reassoziationskinetik von DNA)

Torsvik V, Goksoyr J, Daae FL (1990) High diversity in DNA of soil bacteria. Appl. Env. Microbiol. 56:782-787

**500 000** Dykhuizen DE (1998) Santa Rosalia revisited: Why are there so many species of bacteria? Antonie van Leeuwenhoek 73:25-33

Arten insgesamt	Prokaryoten	Eukaryoten
Beschrieben:	≈ 5000	1.7 Mio
Geschätzt:	1 Milliarde	10 - 100 Mio

Artenzahl berechnet auf Basis einer Übereinstimmung Sequenzübereinstimmung der DNA von nur 70 % innerhalb einer Art.

## Phylogenetischer Stammbaum aller Lebewesen

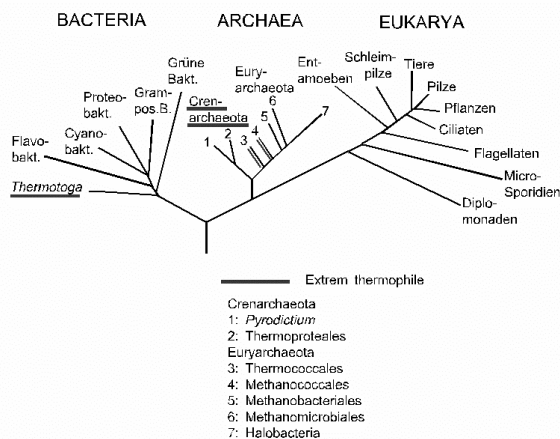


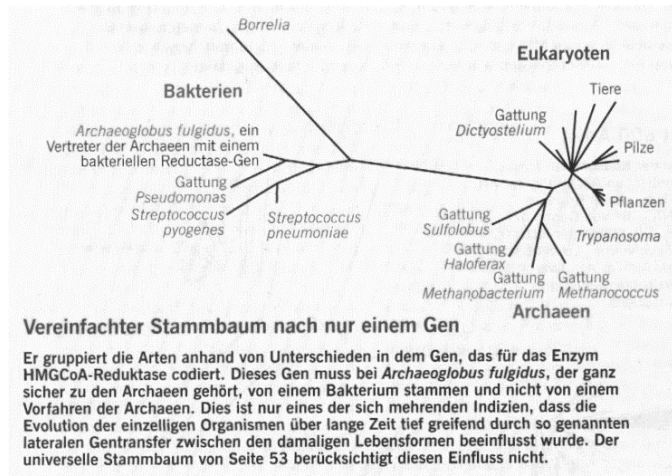
Abb. 7.5. Der phylogenetische Stammbaum aller Lebewesen aus Sequenzvergleichen der ribosomalen 16 (bzw. 18) S-RNA nach Woese et al. Die Strichlängen sind dem phylogenetischen Abstand proportional

Cypionka, Grundl. d. Mikrobiologie

**Die Bandbreite der phylogenetischen Diversität beruht wesentlich auf der Evolution der Mikroben.**

## Horizontaler Gentransfer

Stammbaum nach Enzym-Gen

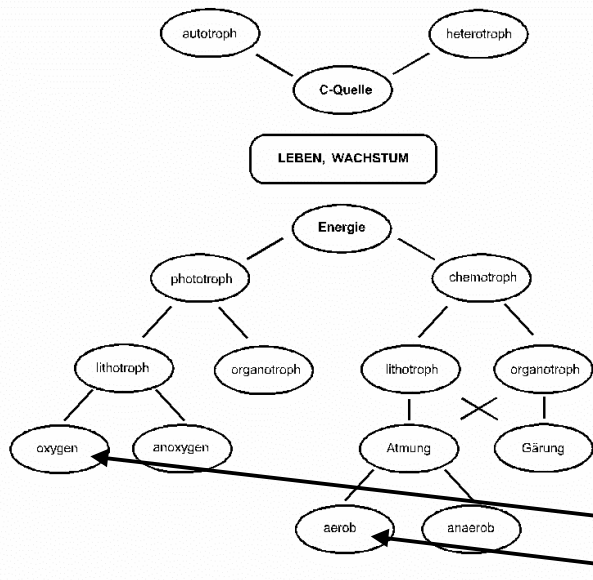


Es gibt mehr als nur einen Stammbaum.

Die Evolution ist schnell und springt auch horizontal (vgl. Multi-Resistenz-Plasmide).

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

Lebensweisen



## Physiologische Vielfalt – Lebensweisen

Die meisten Lebensweisen sind den Prokaryoten vorbehalten

Die so genannten höheren Pflanzen  
Tiere

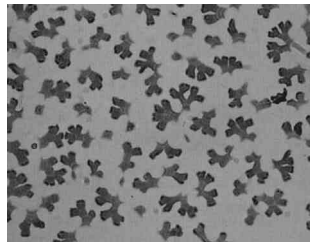
Abb. 18.1. Lebensweisen und Möglichkeiten biologischer Energiekonservierung

Cypionka, Grundlagen der Mikrobiologie

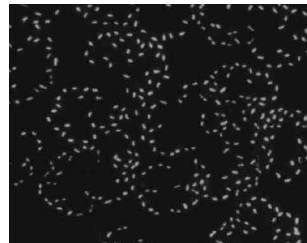
© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)



## Augenscheinliche Schönheit

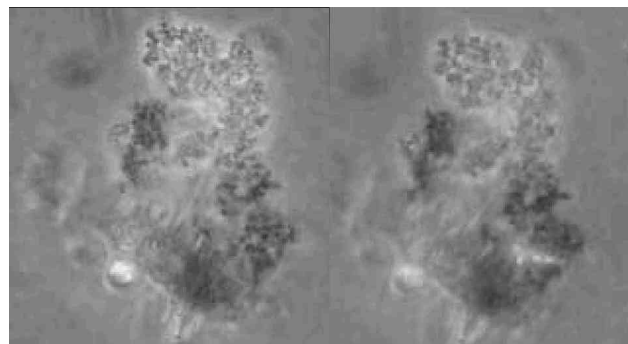


Färbung mit  
Toluidinblau



Färbung mit  
spezifischer  
RNA-Sonde.

## Augenscheinliches Wachstum

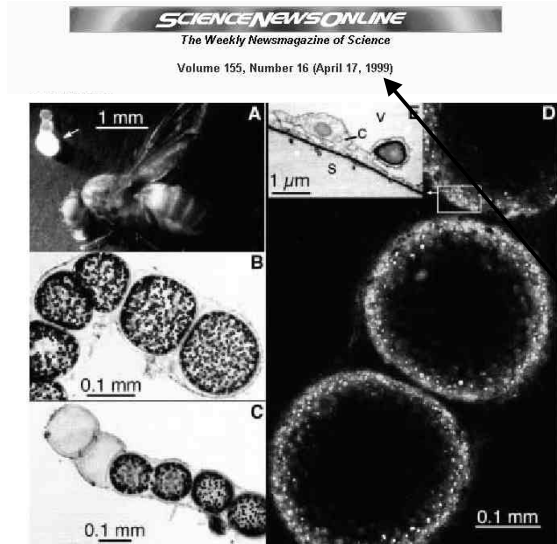


Sedimentprobe  
aus dem Pazifik

Färbung mit  
Acridinorange.

## Augenscheinliche Blindheit

*Thiomargarita namibiensis*



Das größte  
Bakterium kann  
man mit bloßem  
Auge sehen

Entdeckung  
1999

*Thiomargarita namibiensis* Schulz et al. 1999 Science 284:493ff.

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## Augenscheinliche Pfiffigkeit

*Achromatium*

**idw** Informationsdienst  
Wissenschaft

**Homepage**  
Pflanzsystem

### Riesenbakterium im Stechlinsee

Datum der Mitteilung: 04.06.1999

Absender: Joachim Moerke

Einrichtung: Forschungsverbund Berlin e.V.

Kategorie: überregional  
Forschungsergebnisse  
Biologie und Biotechnologie, Ökologie, Land- und Forstwirtschaft

Gewässerökologen aus dem IGB haben das Schwefelbakterium *Achromatium oxaliferum* wiederentdeckt, doch läßt es sich bisher nicht kultivieren

In situ topographic of *Achromatium oxaliferum*. Z-scan images taken with a Zeiss Laser-Scanning Microscope. Colors indicate depth.

© Heribert Cypionka www.icbm.de/pmbio

## **Schlussfolgerungen**

- **Lineares Denken ist besonders irreführend in der Biologie.**
- **Wir suchen lieber den biologischen Umweg.**
- **Statistik und Fachbegriffe können uns dumm halten.**
- **Die Prokaryoten sind die Organismen mit der längsten Evolution und größten Diversität.**
- **Augen auf – es gibt noch viel(e) zu entdecken!**

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

**Es gibt in der Biologie nun einmal keinen allgemein gültigen Weg, wie man etwas verstehen kann.**

**Biologie ist das Gebiet, in dem das Beispiel alles ist. Es ist nicht Beispiel für irgendetwas anderes. Es ist, was es ist. Und zwar, weil es auf die Details ankommt.**

**Sydney Brenner, 2002**

© Heribert Cypionka [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)

## Literatur

Coolen MJL, Cypionka H, Sass A, Sass H, Overmann J (2002) Ongoing modification of Mediterranean Pleistocene sapropels by green nonsulfur bacteria and crenarchaeota. *Science* 296:2407-2410

Cypionka, H (2002) *Grundlagen der Mikrobiologie*, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York

Pöppe, C (1993) Das kopernikanische Prinzip und das Überleben der Menschheit. *Spektr. d. Wiss.* Sept. 1993, S. 30 - 31

Torsvik V, Goksoyr J, Daae FL (1990) High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Env. Microbiol.* 56:782-787

Dykhuizen DE (1998) Santa Rosalia revisited: Why are there so many species of bacteria? *Antonie van Leeuwenhoek* 73:25-33

Sass H, Wieringa E, Cypionka H, Babenzien H-D, Overmann J (1998) Unexpected genetic and physiological diversity of sulfate-reducing bacteria in an oligotrophic lake sediment. *Arch Microbiol* 170:243-251

Schulz HN, Brinkhoff T, Ferdelmann TG, Hernandez M, Teske A, Jørgensen BB (1999) Dense populations of a giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments. *Science* 284:493-495

Stürmeyer H, Overmann, J, Babenzien H-D, Cypionka H (1998) Ecophysiological and phylogenetic studies of *Nevskia ramosa* in pure culture. *Appl Environ Microbiol* 64:1890-1894

Wieringa EBA, Overmann J, Cypionka H (2000) Detection of abundant sulphate-reducing bacteria in marine oxic sediment layers by a combined cultivation and molecular approach. *Environ Microbiol* 2:417-427

Whitman WB, Coleman DC, Wiebe WJ (1998) Prokaryotes: The unseen majority. *Proc Natl Acad Sci USA* 95:6578-6583

[www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio)