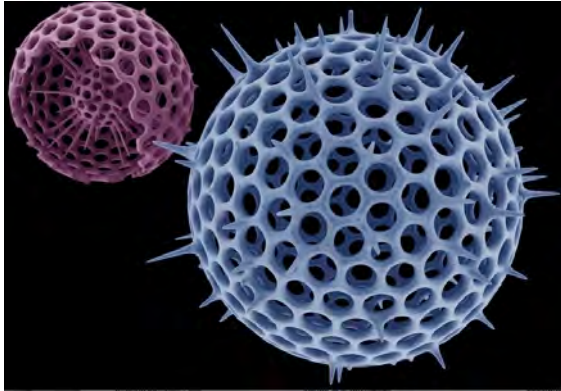


“Producing each of its creations ... nature intermingled the **harmony of beauty and** the harmony of **expediency** and shaped it into the unique form which is perfect from the point of view of an engineer.”

(M. Tupolev)

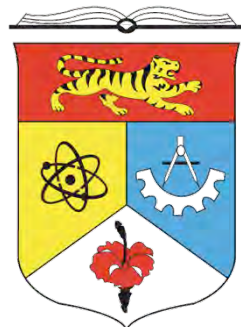


© W. Oschmann

Cooler Einzeller:

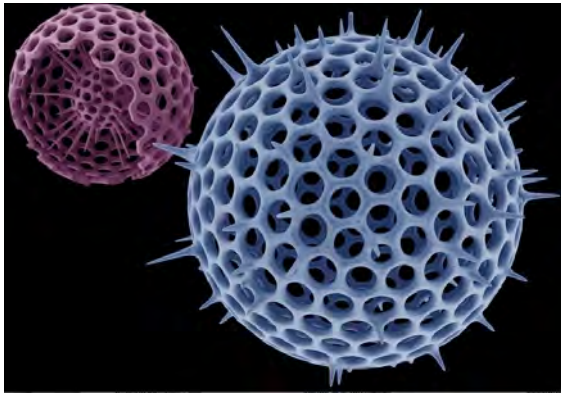
Wie kommt Neues in die Technik?

Innovation und Kreativität aus der Natur



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



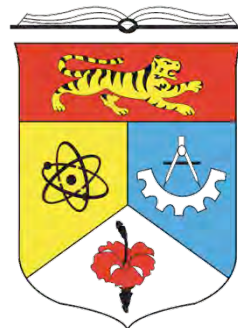
© W. Oschmann

Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ille C. Gebeshuber

¹ Institute for Microengineering and
Nanoelectronics
Universiti Kebangsaan Malaysia

² Vienna University of Technology, Austria

<http://www.ille.com>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



© W. Oschmann

Bei Minusgraden im Wasser Glas herstellen!

Starke Magnete mit atomarer Genauigkeit herstellen,
inspiriert von Bakterien!

Keramik hergestellt von Füchsen!

Ein- und ausschaltbare trockene Klebstoffe vom Gecko!

Die Natur zeigt uns, wie es geht und wenn wir genau
hinschauen, können wir lernen, nachhaltige,
umweltfreundliche, völlig neue funktionelle Materialien
zu produzieren!

Was erwartet uns bei diesem Vortrag?

Biomimetik

Biomimicry Innovationsmethode

Molekulare Klebstoffe, Gecko, Coccolithophoriden, brauner Schleim, Kieselalgen, magnetische Bakterien, Radiolarien, Schwämme, Seesterne, Spermien.

Von Lebewesen erzeugtes Siliziumdioxid

Von Lebewesen erzeugte Klebstoffe

Von Lebewesen erzeugte Nanostrukturen

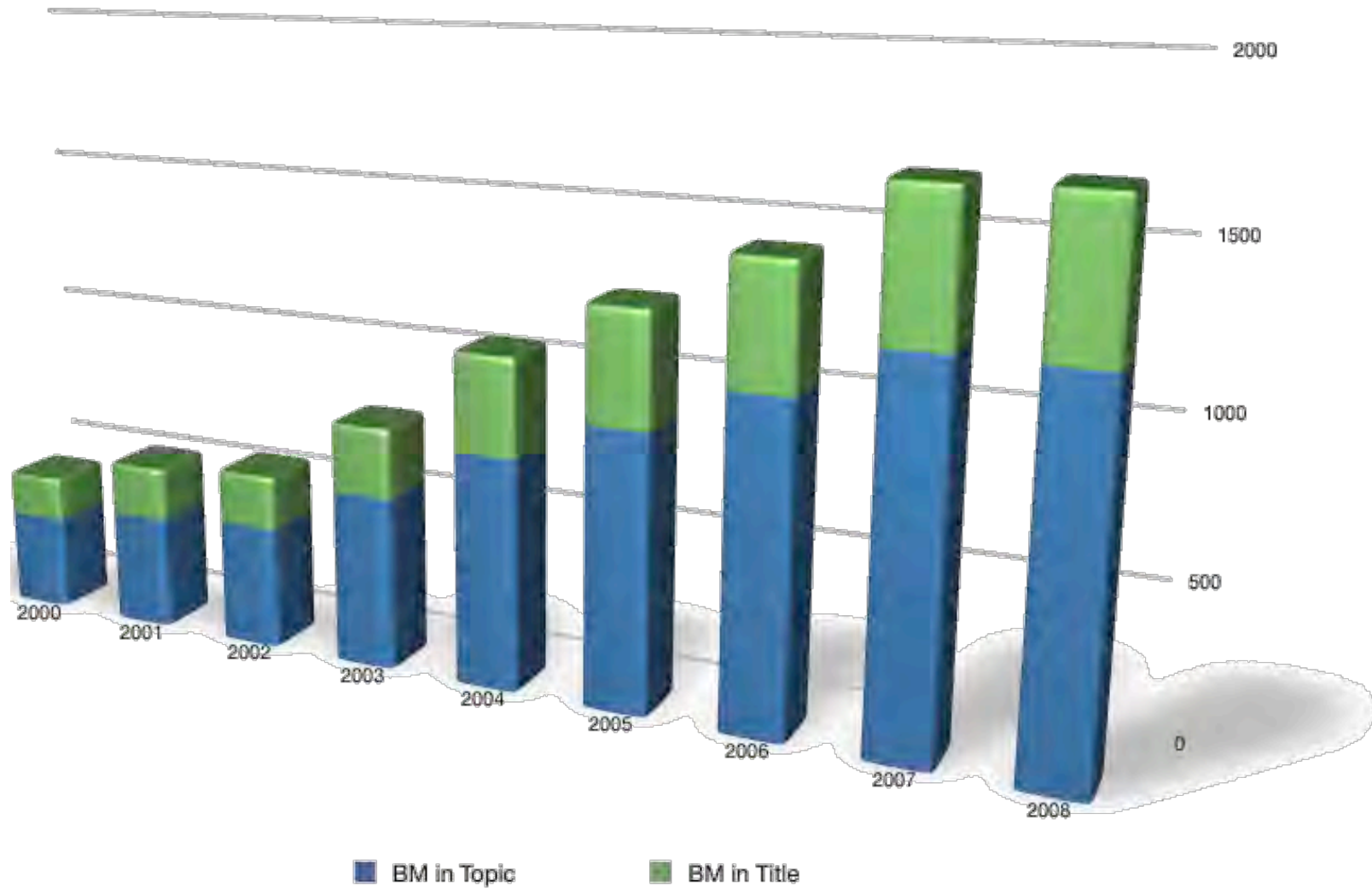
Von Lebewesen erzeugte Magnete

Strontiumanreicherung in Lebewesen

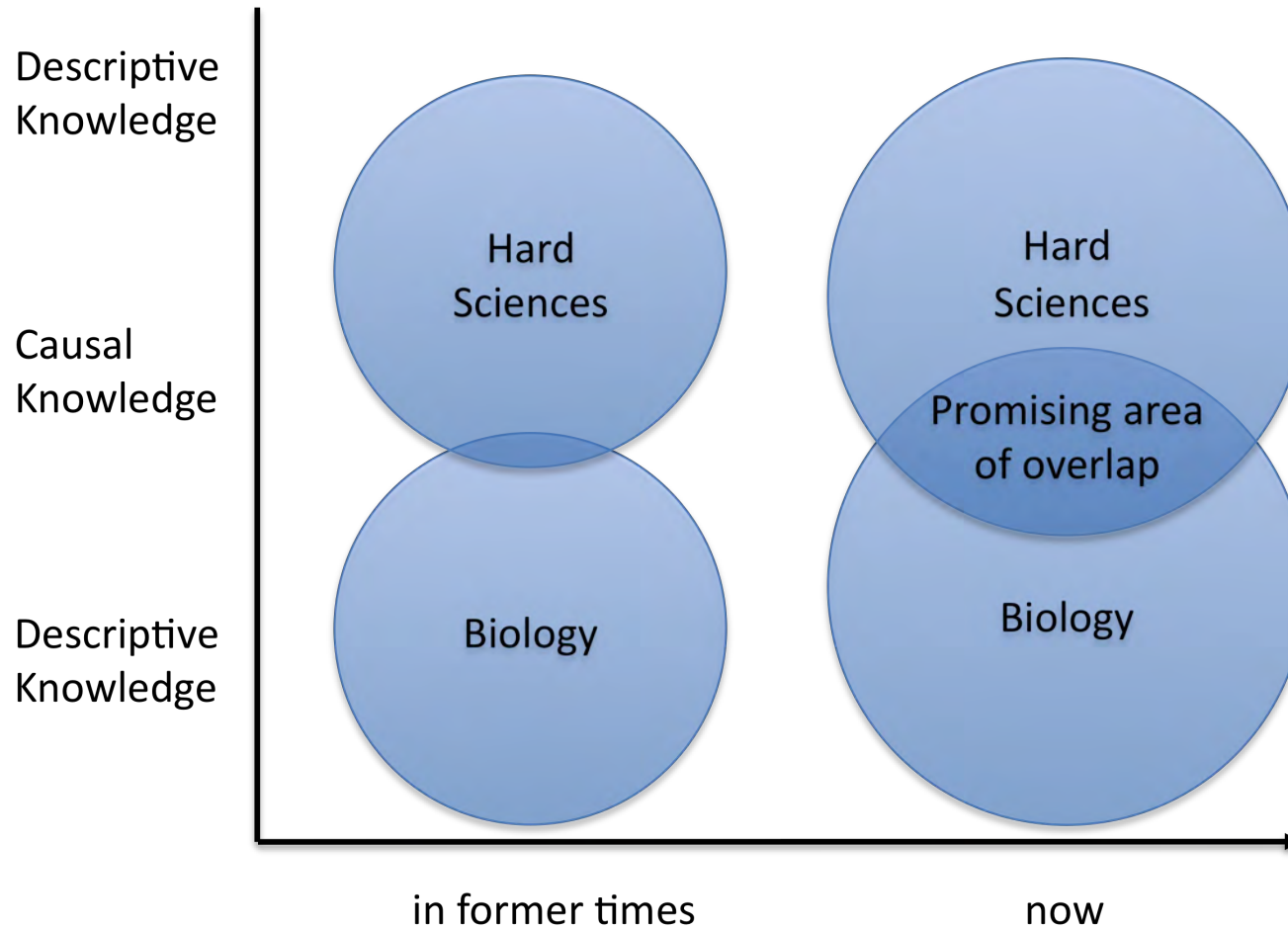
Kalkskelette in Lebewesen

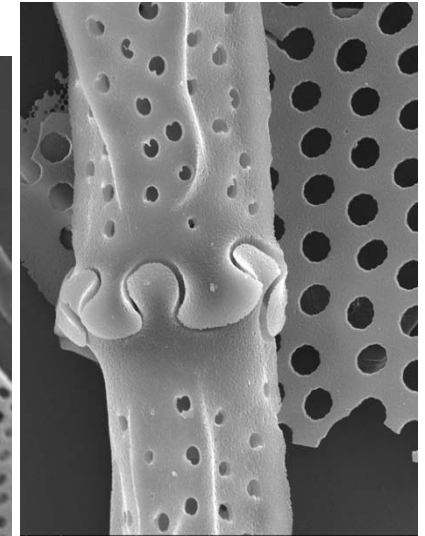
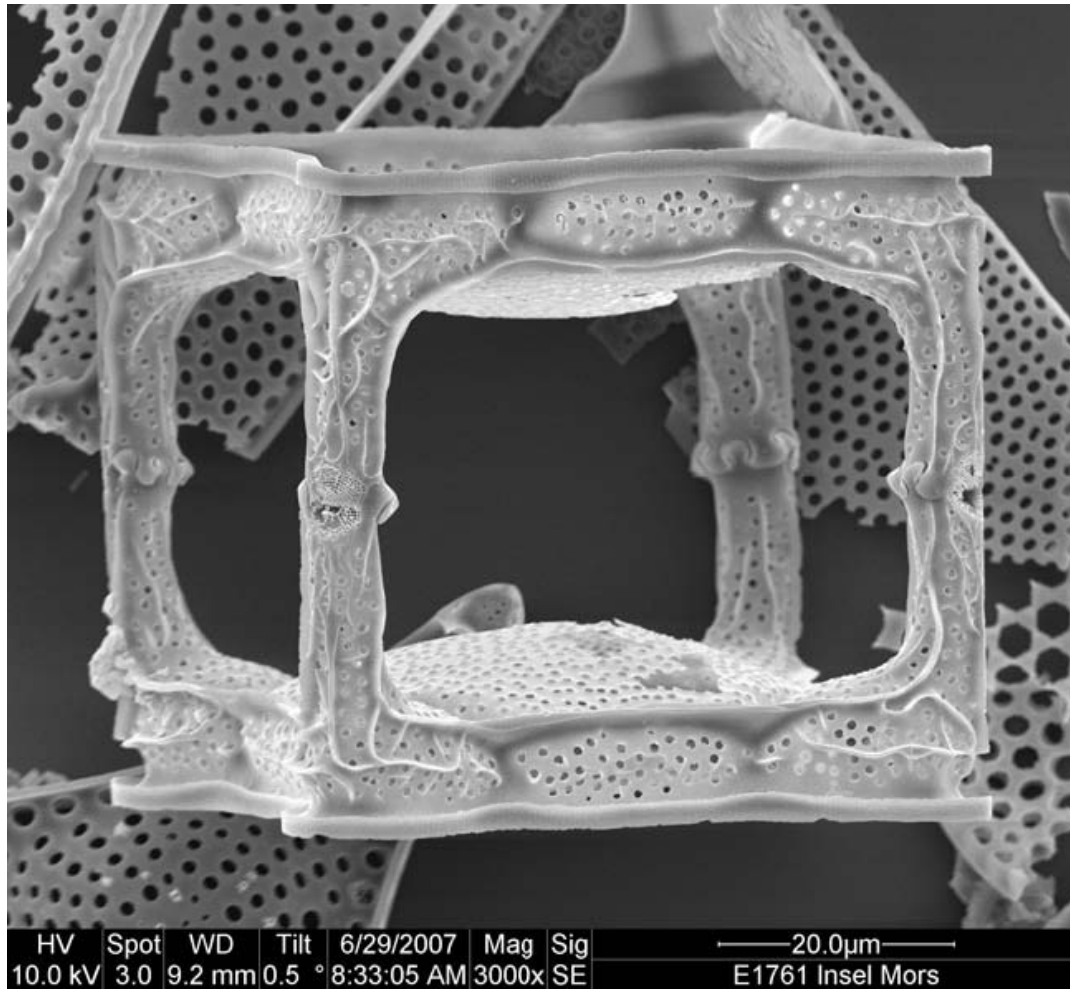
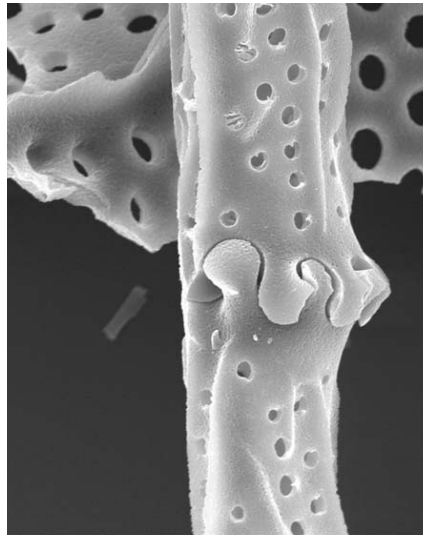
Perfektionierte optische Systeme in Lebewesen

Biomimetik



Die ‚harten Wissenschaften‘ treffen auf die Biologie



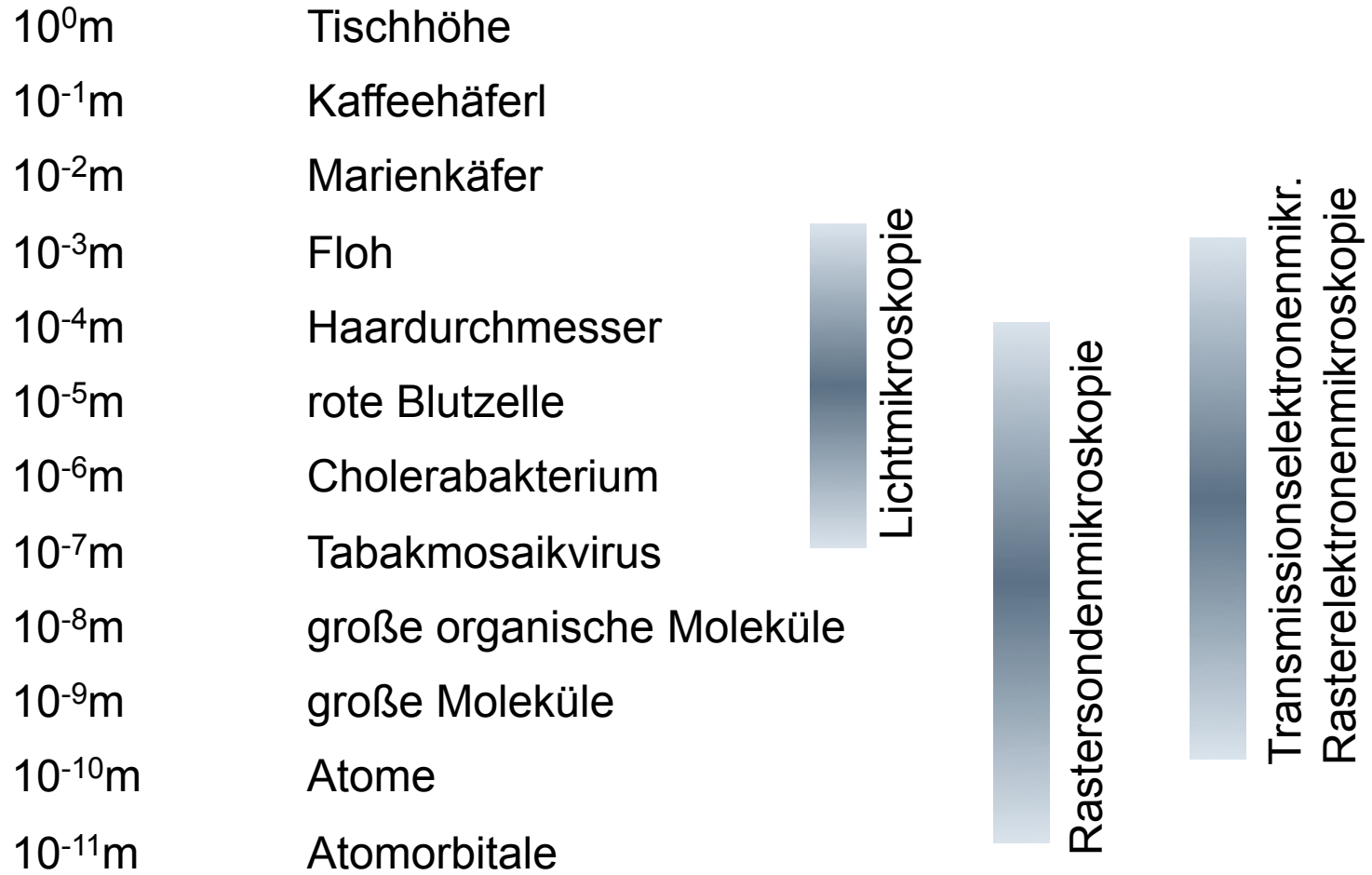


© R.M. Crawford and F. Hinz

Von Mega zu Nano

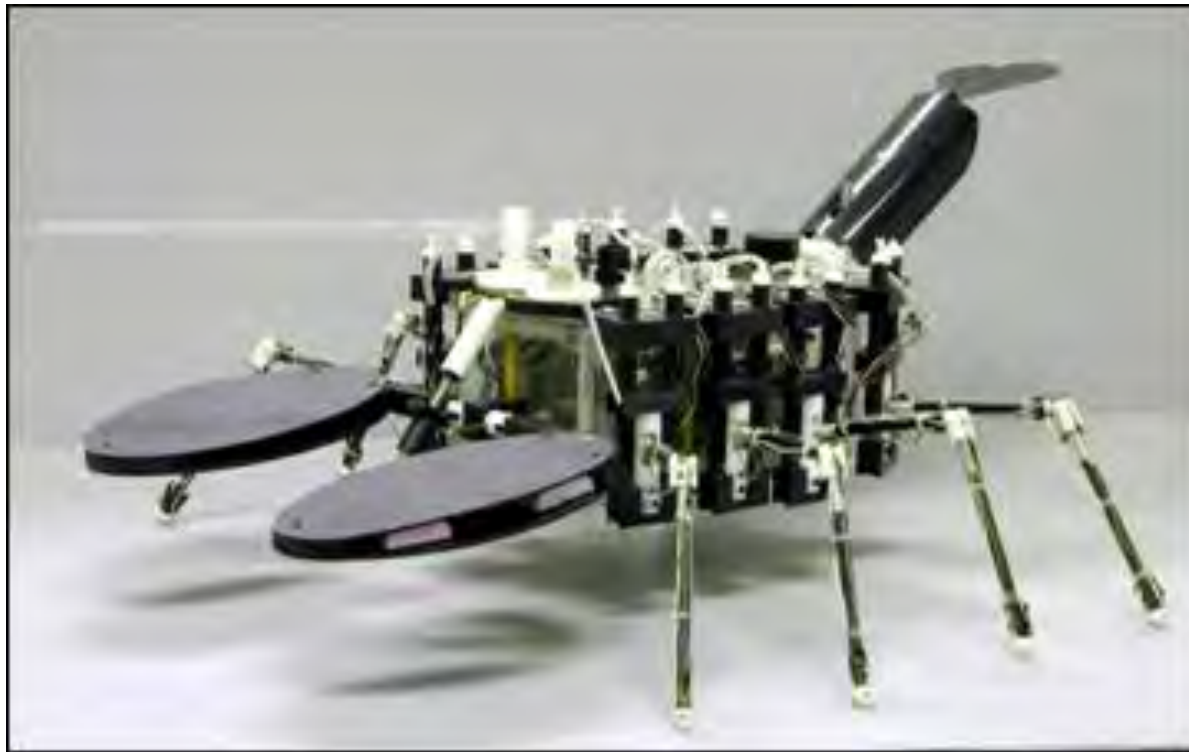
- 1 Megameter = 1000 Kilometer = 10^6 m
- 1 Kilometer = 1000 Meter = 10^3 m
- 1 Meter = 1000 Millimeter = 1 m
- 1 Millimeter = 1000 Mikrometer = 10^{-3} m
- 1 Mikrometer = 1000 Nanometer = 10^{-6} m
- 1 Nanometer = 0,000 000 001 Meter = 10^{-9} m

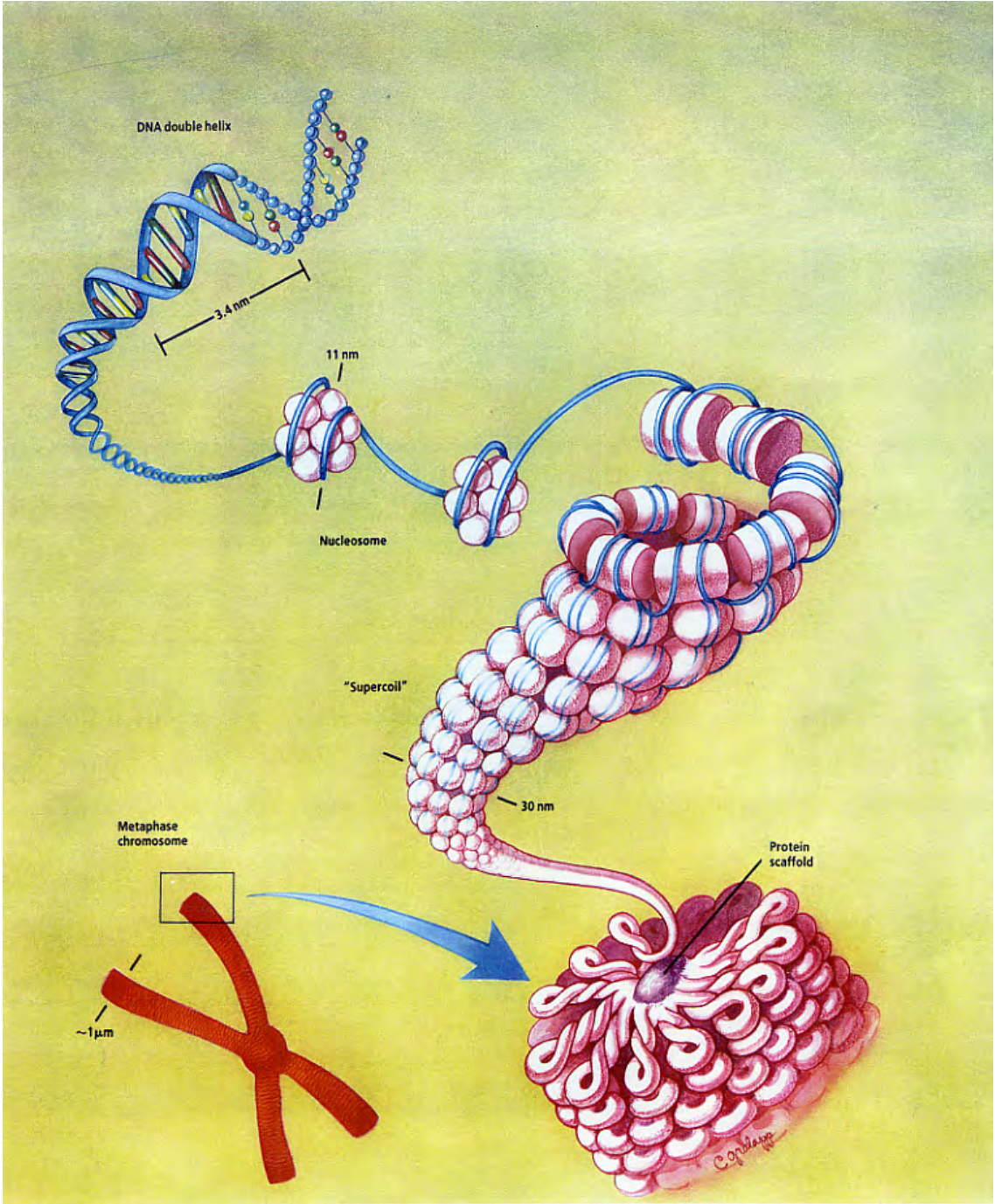
- 1 000 000 000 Nanometer = 1 Meter
- Durchmesser eines Haares = 100 Mikrometer
- Durchmesser eines Haares = 100 000 Nanometer



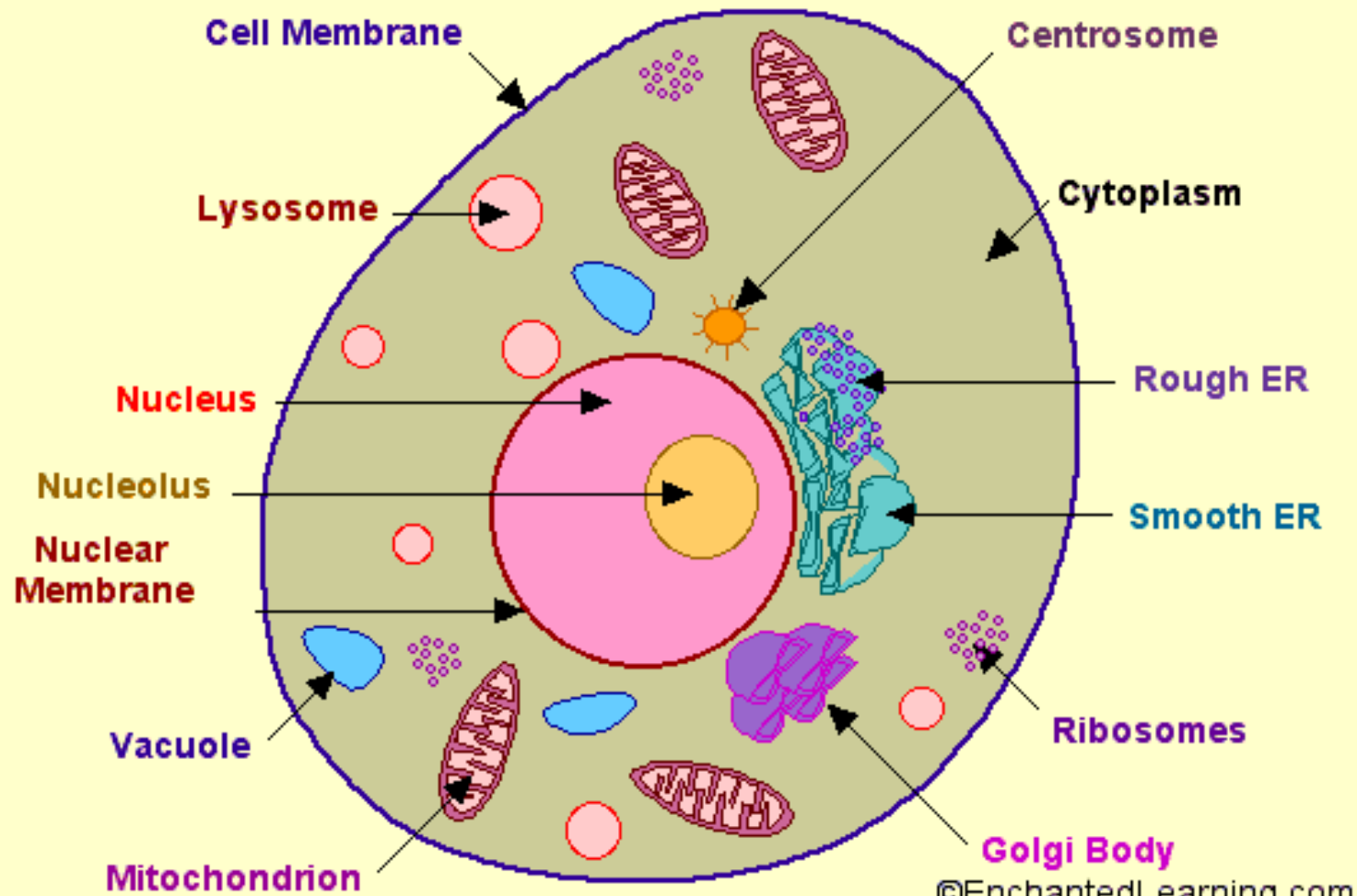
Biomimetik (Bionik)

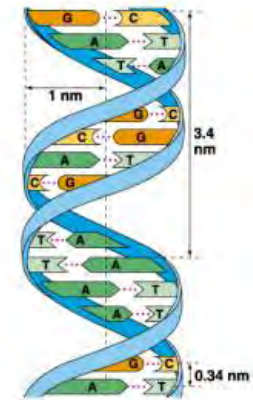
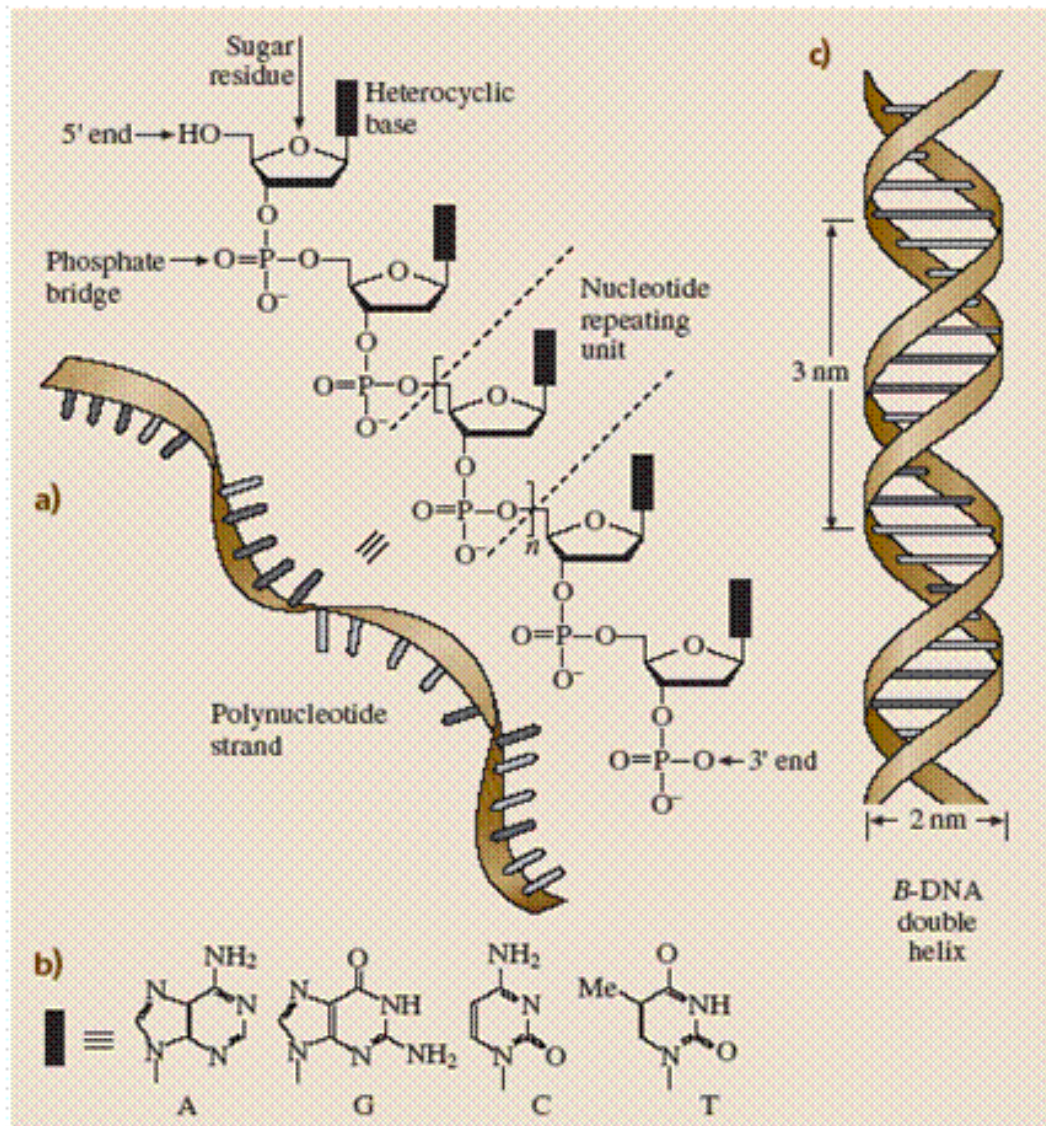
Biomimetik (v. griech.: *bios* = Leben + *mimesis* = Nachahmung).



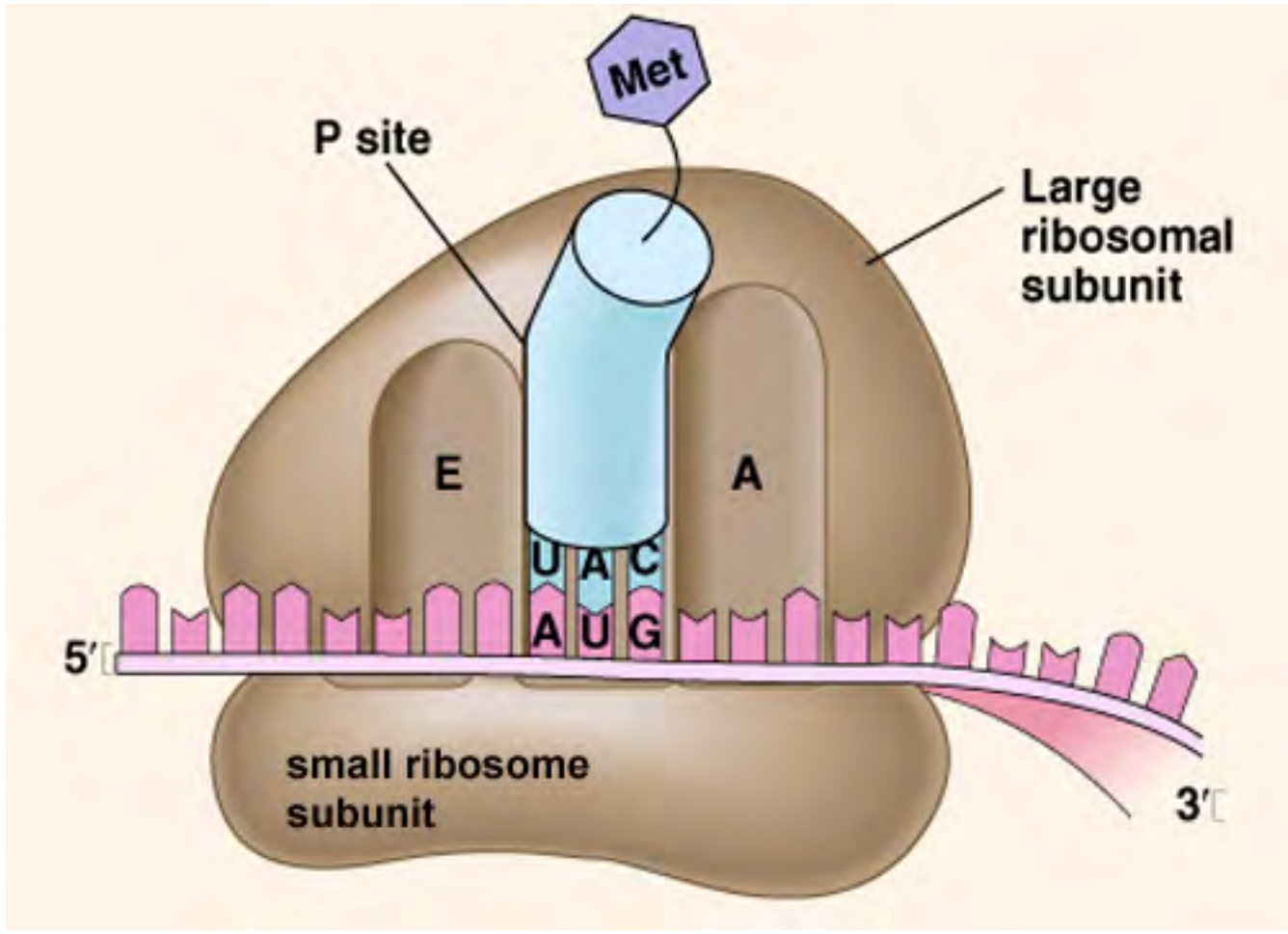


Cross-Section of an Animal Cell





©1993 Addison Wesley Longman, Inc.



“Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme.

Dazu gehören auch Aspekte des Zusammenwirkens belebter und unbelebter Teile und Systeme.”

(Werner Nachtigall und VDI, D)

Biomimetik (Bionik)

Der deutsche Ausdruck **Bionik** setzt sich aus "Biologie" und "Technik" zusammen und bringt damit zum Ausdruck, wie für technische Anwendungen Prinzipien verwendet werden können, die aus der Biologie abgeleitet wurden.



Bionik

In der Bionik werden biologische Strukturen und Organisationformen entweder direkt als Vorlage verwendet (Bionik als **top down-Prozess**, Analogie-Bionik) oder abstrahiert (losgelöst vom biologischen Vorbild, Bionik als **bottom up-Prozess**, Abstraktions-Bionik) und als Ideenvorlage oder Inspiration für technische Problemlösungen zu Nutze gemacht.



Bionik

Die abstrahierten Form-, Struktur- oder Formprinzipien natürlicher Systeme können dann in technische Anwendungen übertragen werden.

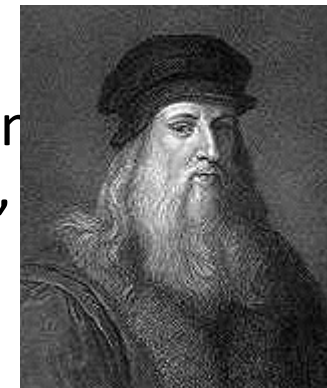
Nachdem diese neuen Prinzipien in der Technik etabliert sind, können die Anwendungen in jedem geeigneten Bereich statt finden.

Diese Herangehensweisen werden u. a. dadurch begründet, dass im Laufe der Evolution viele biologische Lösungen optimiert wurden.

Für Kreationisten sind die oft verblüffenden Erkenntnisse der Bionik dagegen weitere Beweise für das Intelligent Design durch einen Schöpfer in der Natur.

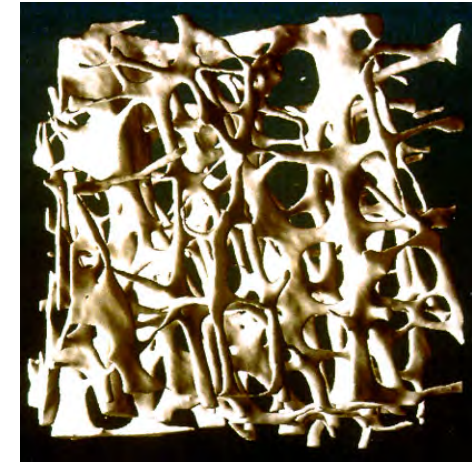
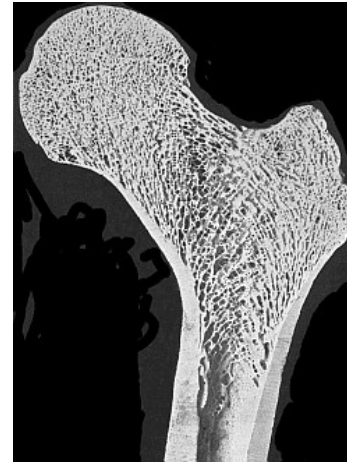
Bionik

- Als historischer Begründer der Bionik wird häufig **Leonardo da Vinci** angeführt, der z. B. den Vogelflug analysierte und versuchte, seine Erkenntnisse auf Flugmaschinen zu übertragen.
- Das erste deutsche Patent im Bereich Bionik wurde 1920 Raoul Heinrich Francé für einen „Neuen Streuer“ nach dem Vorbild einer Mohnkapsel erteilt (Dt. Patentamt, Nr. 723730).
- Allerdings hat sich die Bionik erst in den letzten Jahrzehnten v. a. aufgrund neuer und verbesserter Methoden (Rechnerleistung, Produktionsprozesse) zu einer etablierten Wissenschaftsdisziplin entwickelt.



Bionik

Zu beachten ist, dass bei der Entwicklung technischer Funktionselemente parallele Entwicklungen in der Natur nicht immer bereits bekannt waren. So wurde das **Fachwerk** ohne Kenntnis der Feinstruktur der **Knochenbälkchen** entwickelt. In solchen Fällen kann man nicht von einer Vorbild-Nachahmer-Beziehung sprechen, sondern eher von Entsprechungen zwischen Natur und Technik.



Bionik

- Biomimetik bzw. Bionik als Wissenschaftsdisziplin sucht dagegen gezielt nach Strukturen in der Natur, die technisch als Vorbilder von Bedeutung sein können.
- Diese Vorgehensweise kann häufig als reine Analogien-Suche bezeichnet werden. Sie erlaubt allerdings meist nur kleinere Innovationssprünge, da die technische Anwendung bereits erkennbar sein muss.
- Alternativ können durch biologische Grundlagenforschung bestimmte Struktur- oder Organisationsprinzipien beschrieben werden, die erst danach als geeignet für eine Übertragung in die Technik erkannt werden.

Bionik

- **Bionik als top-down-Prozess**
- Problem definieren
- in der Natur Analogien suchen
- Vorbilder aus der Natur analysieren
- mit Erkenntnissen aus der Natur Ideen für das zu lösende Problem suchen

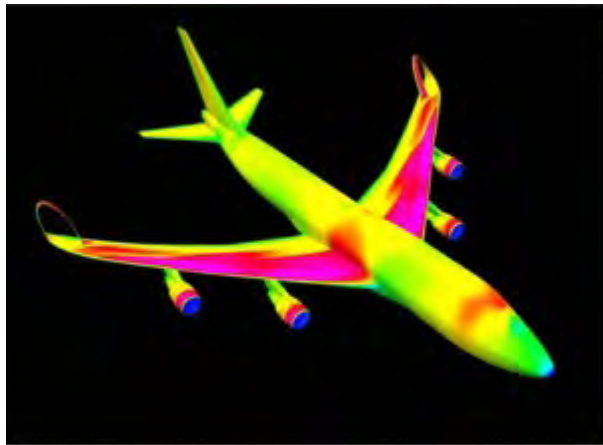
Bionik - Beispiele

Winglets und Spiroid an Flugzeugflügeln.

Hoher Treibstoffverbrauch durch große Wirbel an den Flügelspitzen von Flugzeugen.

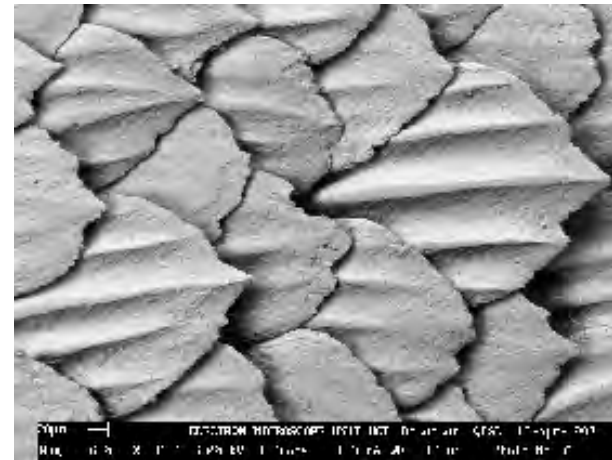
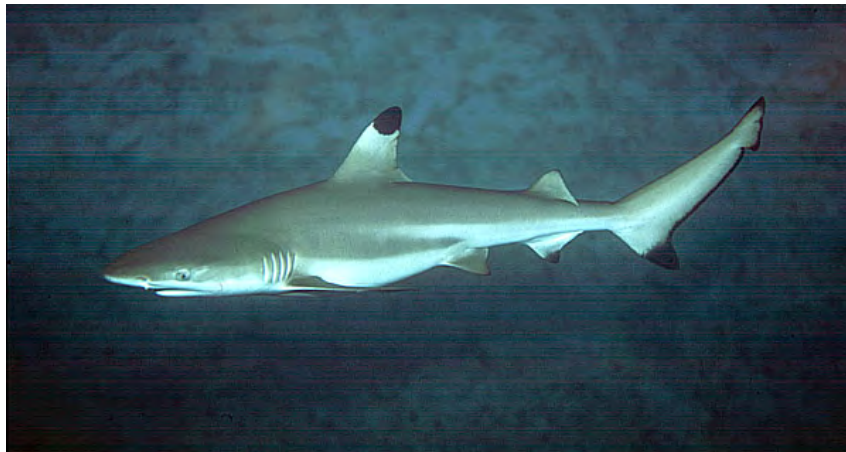
Untersuchung von Flügeln segelnder/gleitender Vögel als Flugzeug-Analogie. Beschreibung der Handschwingen von bestimmten Vogelarten (z. B. Bussard, Kondor und Adler), die statt eines großen Wirbels mehrere kleinere verursachen und damit insgesamt weniger Energie verbrauchen.

Herstellung künstlicher Flügel mit mehreren Wirbelablösestrukturen (Winglets).



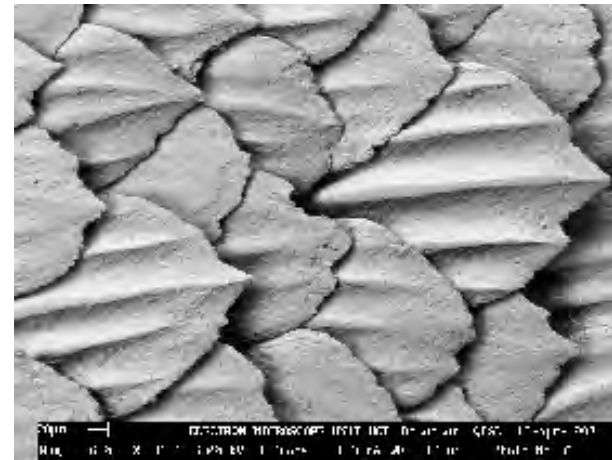
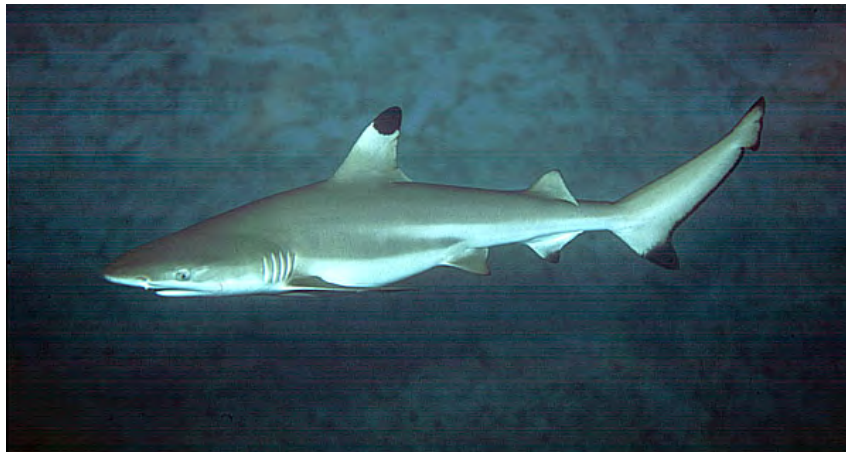
Bionik - Beispiele

Riblet-Folien: bei schnell schwimmenden Haien besteht die Hautoberfläche aus kleinen, dicht aneinander liegenden Schuppen. Auf diesen Schuppen befinden sich scharfkantige feine Rillen, die parallel zur Strömung ausgerichtet sind.



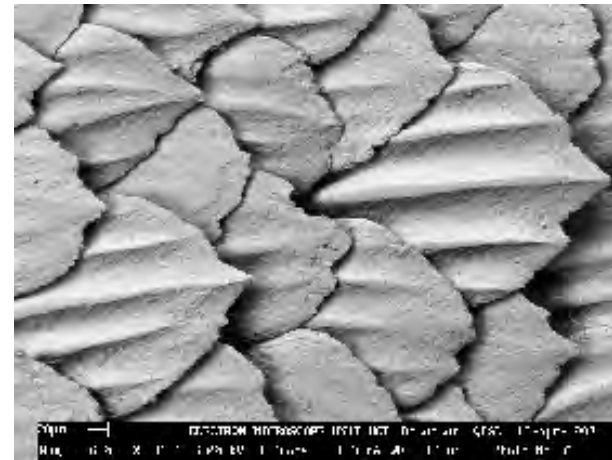
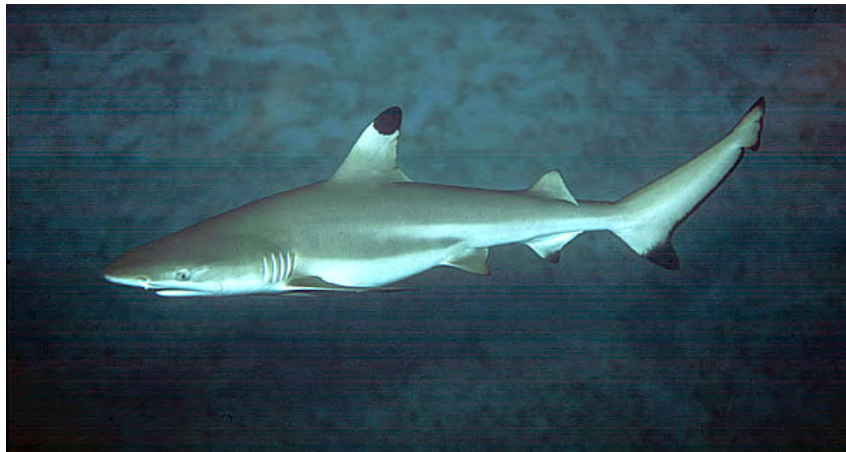
Bionik - Beispiele

Diese mikroskopisch kleinen Rillen bewirken eine Verminderung des Reibungswiderstands. Dieser widerstandsvermindernde Effekt in allen turbulenten Strömungen, also auch in Luft wirksam.



Bionik - Beispiele

Flugzeuge können mit einer speziellen Folie beklebt werden (so genannte Riblet-Folien), die auf ihrer Oberseite über eine sehr ähnliche Struktur verfügt und so den Luftwiderstand des Flugzeugs senkt.



Klettverschluss

Der **Klettverschluss** ist ein textiles, fast beliebig oft zu lösendes Verschlussmittel, das auf dem Prinzip von Klettenfrüchten beruht. Es besteht aus z. B. zwei Nylonstreifen, wovon einer Widerhäkchen, der andere Schlaufen hat. Zusammengepresst ergeben sie einen haltbaren Schnellverschluss.



Klettverschluss

Der schweizerische Ingenieur **George de Mestral** unternahm mit seinen Hunden oft Spaziergänge in der Natur. Immer wieder kamen einige Früchte der Großen Klette (*Arctium lappa*) mit dem Fell der Hunde in Kontakt und blieb in diesem hängen. 1948 legte er die Früchte unter sein Mikroskop und entdeckte, dass die Früchte winzige elastische Häkchen tragen, welche auch bei gewaltsamen Entfernen aus Haaren oder Kleidern nicht abbrechen.



Klettverschluss

Georges de Mestral untersuchte deren Beschaffenheit und sah darin eine Möglichkeit, zwei Materialien auf einfache Art reversibel zu verbinden. Er entwickelte den textilen Klettverschluss und meldete seine Idee 1951 zum Patent an. Vermarktet wurde das Produkt erstmals unter dem Namen **Velcro**. Zusammengesetzt aus den französischen Begriffen **velours** und **crochet**.



Abstraktions-Bionik

- **Bionik als bottom-up-Prozess (Abstraktions-Bionik)**
- biologische Grundlagenforschung: Biomechanik und Funktionsmorphologie von biologischen Systemen
- erkennen und beschreiben eines zu Grunde liegenden Prinzips
- Abstraktion dieses Prinzips (Loslösung vom biologischen Vorbild und Übersetzung in nicht-fachspezifische Sprache)
- mögliche technische Anwendungen suchen
- in Kooperation mit Ingenieuren, Technikern, Designern, etc. eine technische Anwendung entwickeln

Abstraktions-Bionik - Beispiele

Unbenetzbarkeit und Selbstreinigung bestimmter biologischer Oberflächen:

Die Beobachtung und nähere Untersuchung der Tatsache, dass von einem Blatt der Lotuspflanze praktisch alle wasserlöslichen Substanzen abperlen (Lotuseffekt)

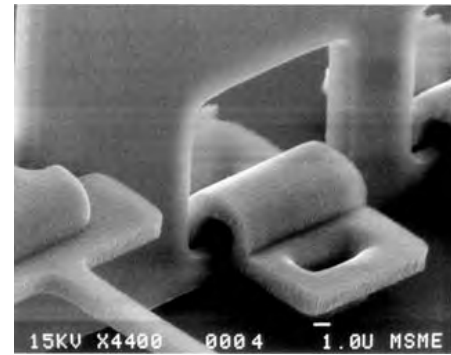
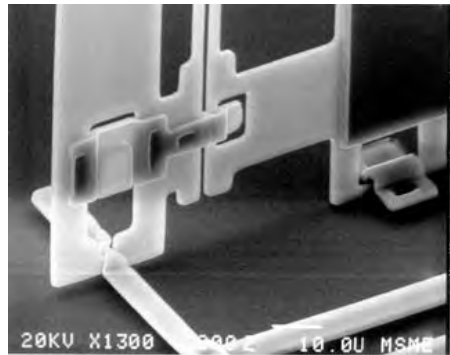
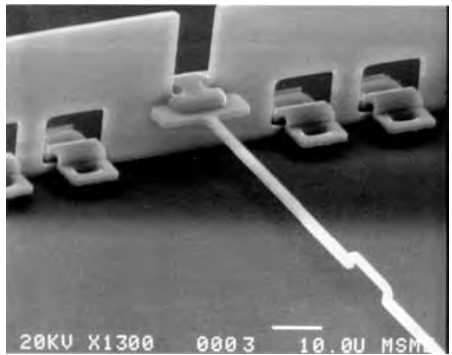
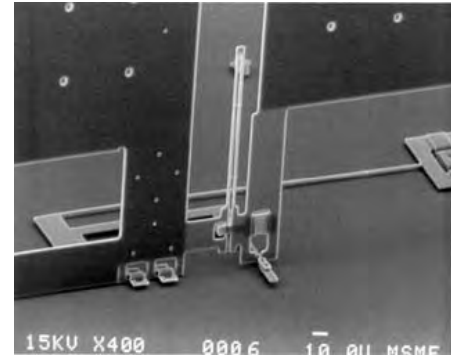
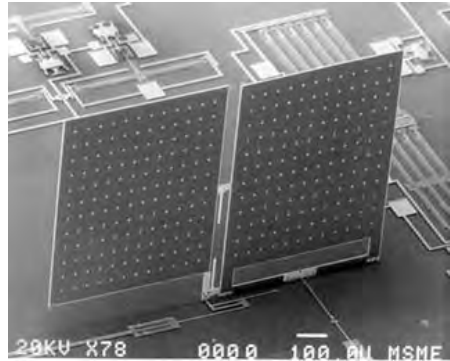
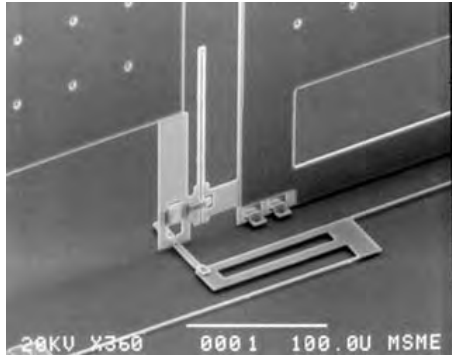


Abstraktions-Bionik - Beispiele

... führte zu Patenten für extrem schlecht benetzbare und selbstreinigende Oberflächenstrukturen, eine neue künstliche Oberfläche: z. B. als (Lotus-Blatt-Struktur) (Lotus-Effekt).



3D MEMS



Biomimikry Innovationsmethode

- Identifiziere die Funktion
- Biologisiere die Frage
- Finde beste Beispiele aus der Natur
- Generiere Produktideen

© 2008 Biomimicry Guild, USA

<http://www.biomimicryguild.com/>

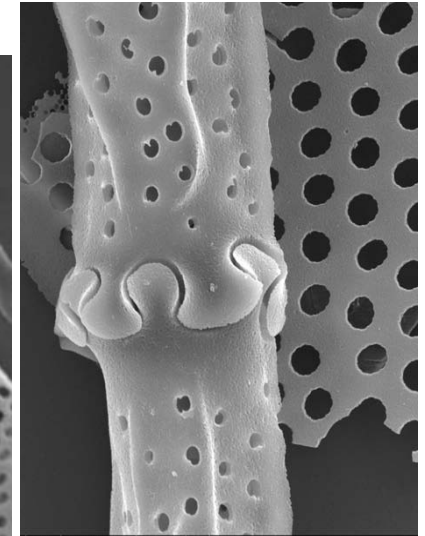
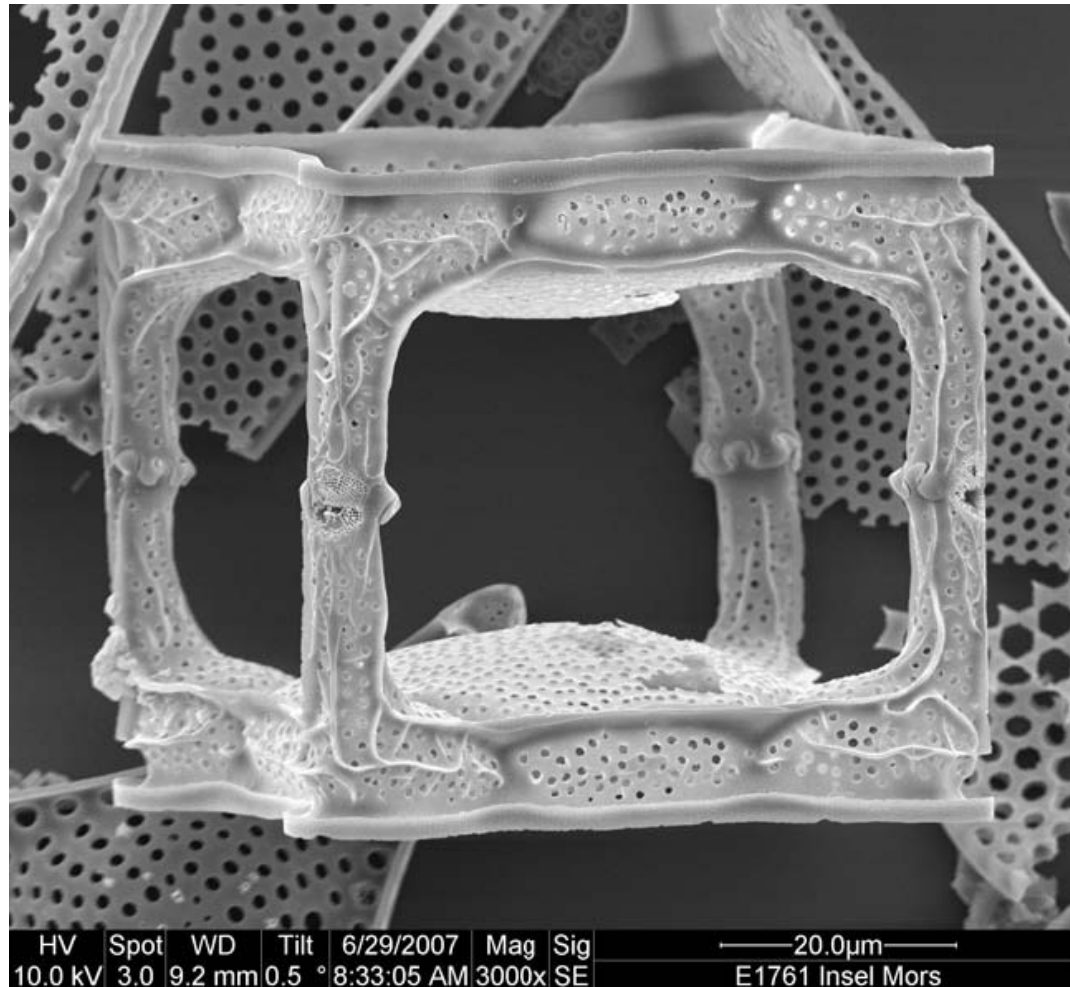
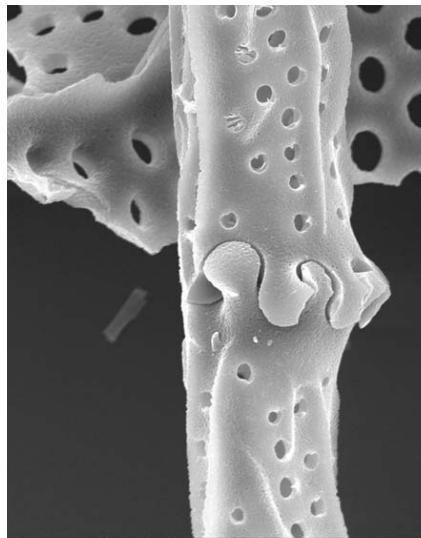
Funktion

Gelenke und Verbindungen in
mikroelektromechanischen Maschinen

Biologisierte Frage

Wie sehen in der Natur mechanische Verbindungen von harten, einzelnen Zellen im Mikrometerbereich aus?

Bestes Beispiel aus der Natur: Kieselalgen



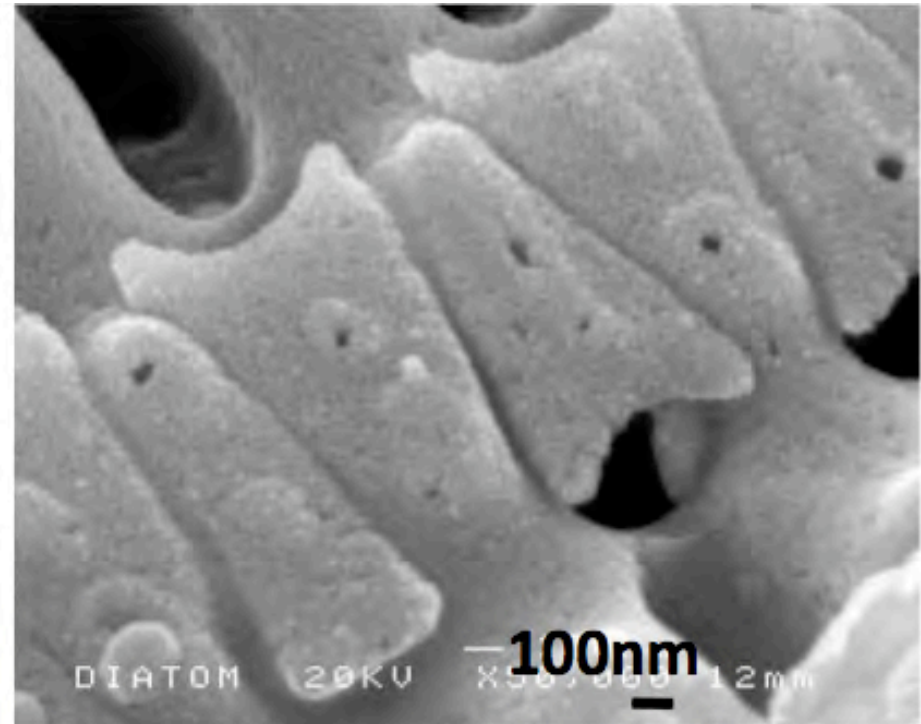
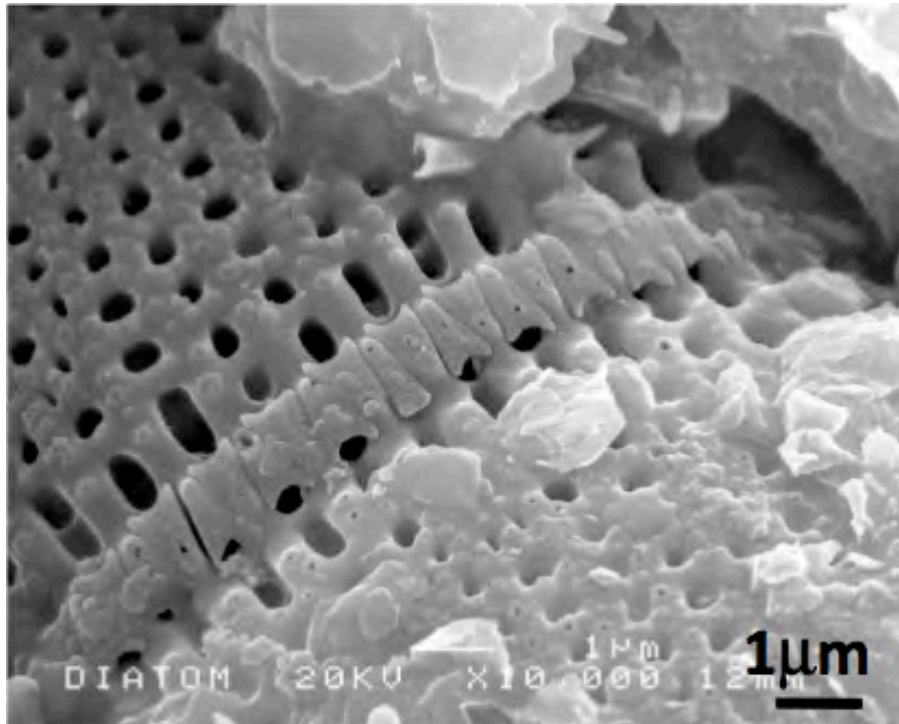
Kieselalgen

- Einzellige Organismen
- Größe: einige Mikrometer
- 10 000e verschiedene Arten
- Vermehren sich durch Zellteilung
- Unter idealen Bedingungen erhält man innerhalb von 10 Tagen von einer einzigen Zellen eine Milliarde Zellen!
(d.h. Fließbandproduktion von Nanostrukturen !)
- Nanostrukturierte Oberflächen aus amorphen Silikaten



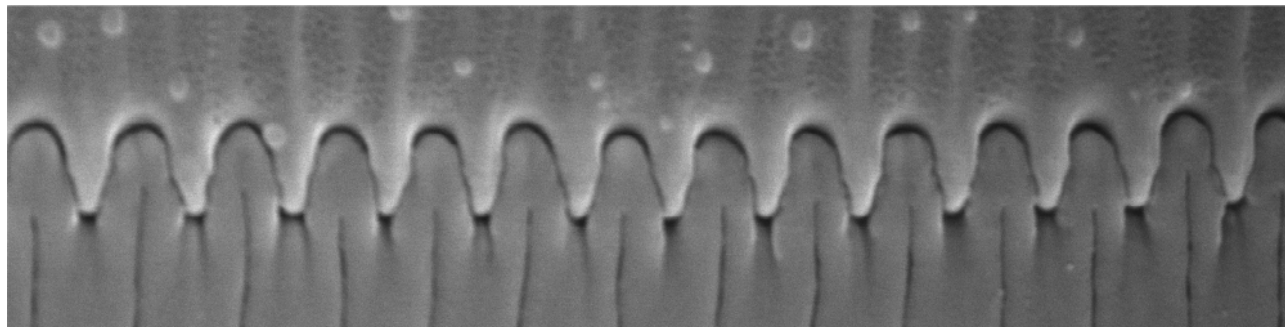
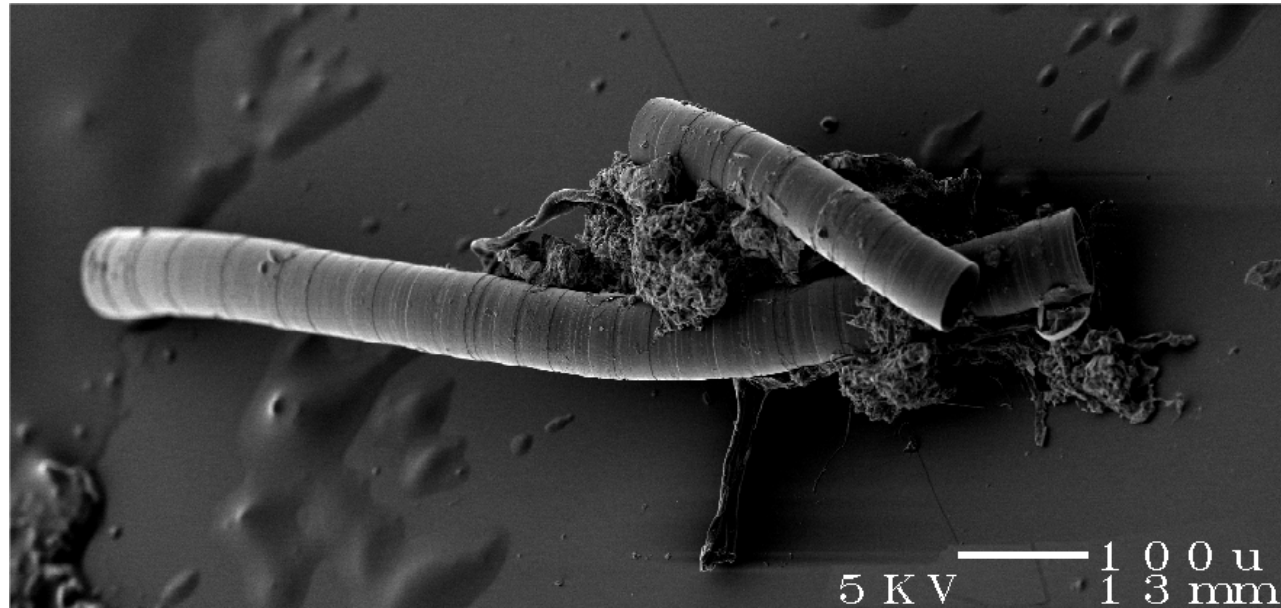
© W. Oschmann

200 nm breite Verbindungen



Gebeshuber I.C., Scherge M. and Drack M.
Tribology in Biology, Tribology 2(4), 2008, 200-212

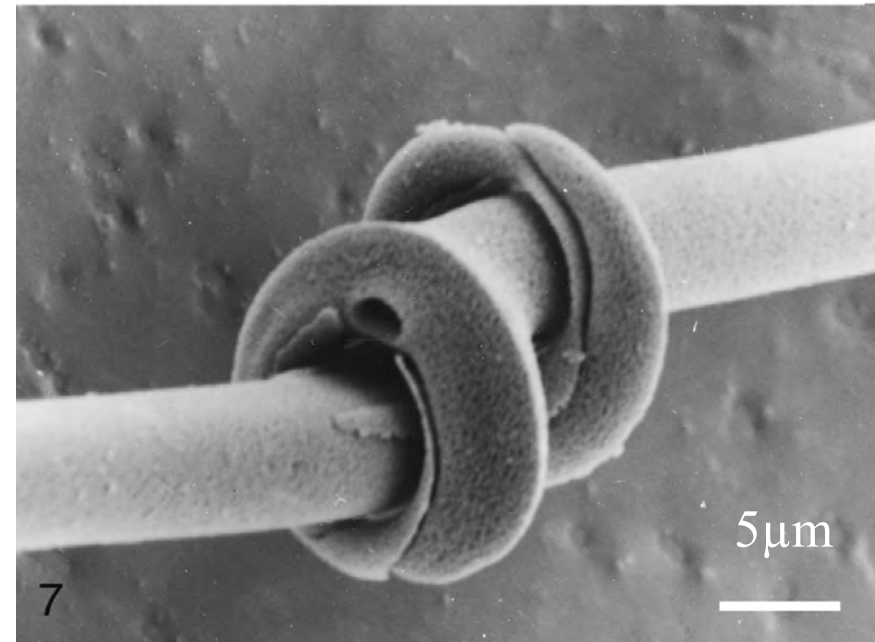
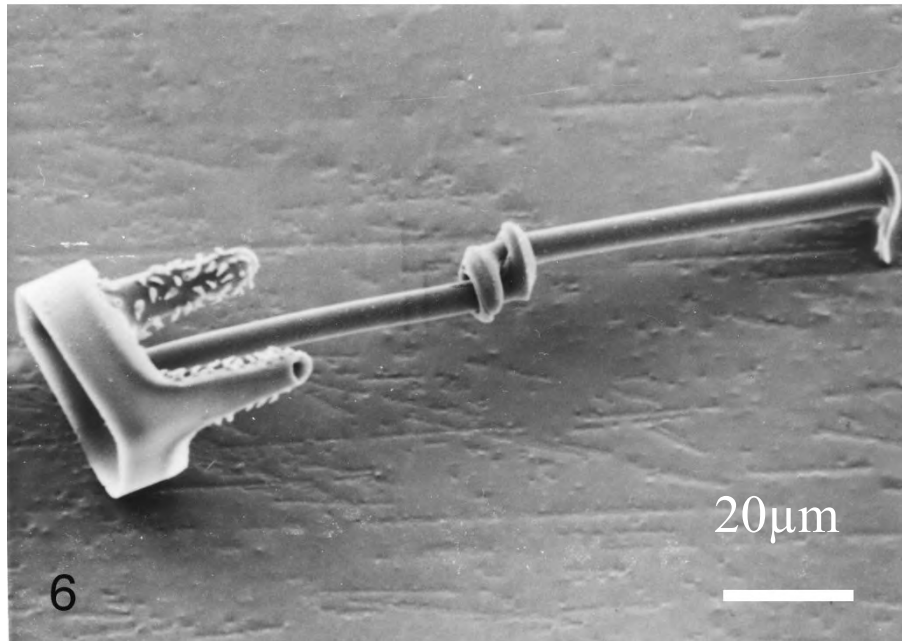
Gummibänder aus Glas



1um —

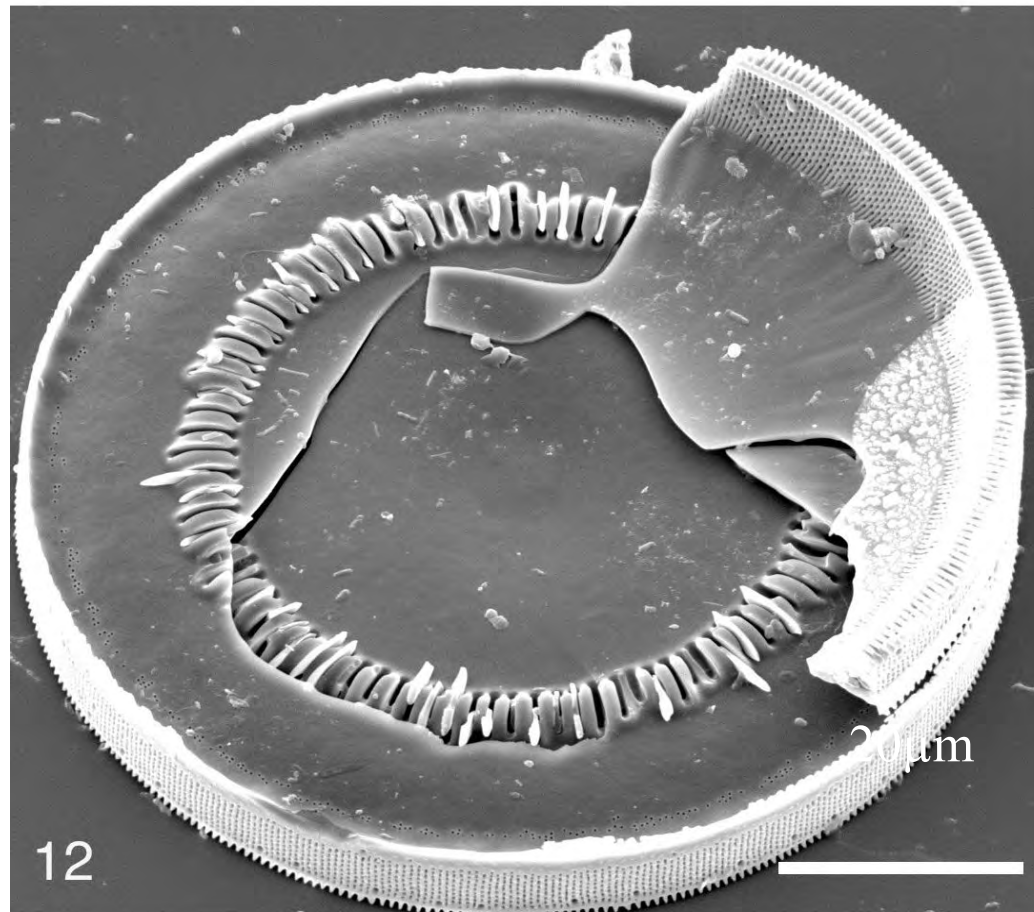
Gebeshuber I.C., Scherge M. and Drack M.
Tribology in Biology, Tribology 2(4), 2008, 200-212

Moveable Connections



Gebeshuber I.C. and Crawford R.M., *Micromechanics in biogenic hydrated silica - hinges and interlocking devices in diatoms*, J. Eng. Trib. 220(J8), 2006, 787-796

Cameo and intaglio linking structures



Gebeshuber I.C. and Crawford R.M., *Micromechanics in biogenic hydrated silica - hinges and interlocking devices in diatoms*, J. Eng. Trib. 220(J8), 2006, 787-796

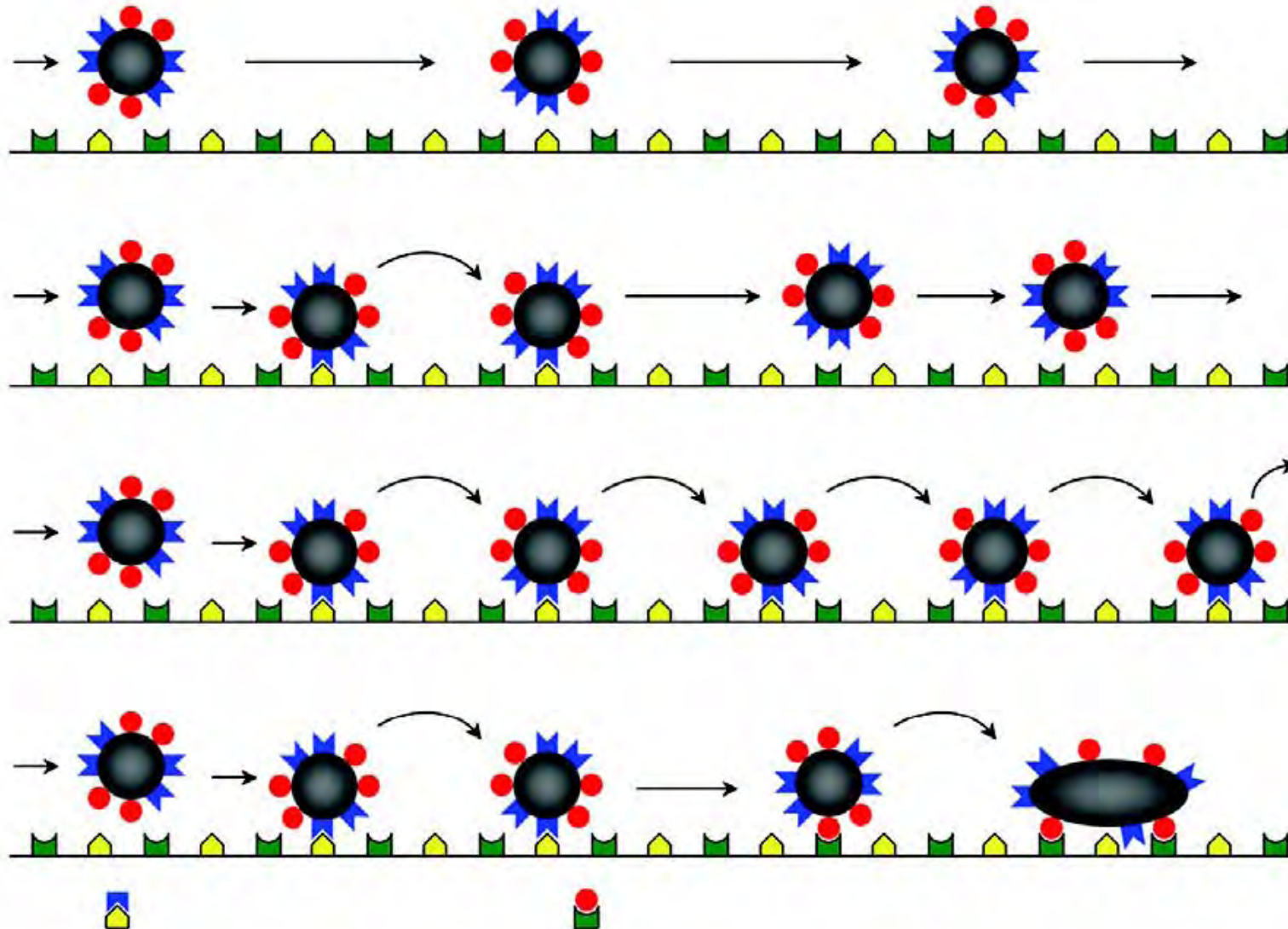


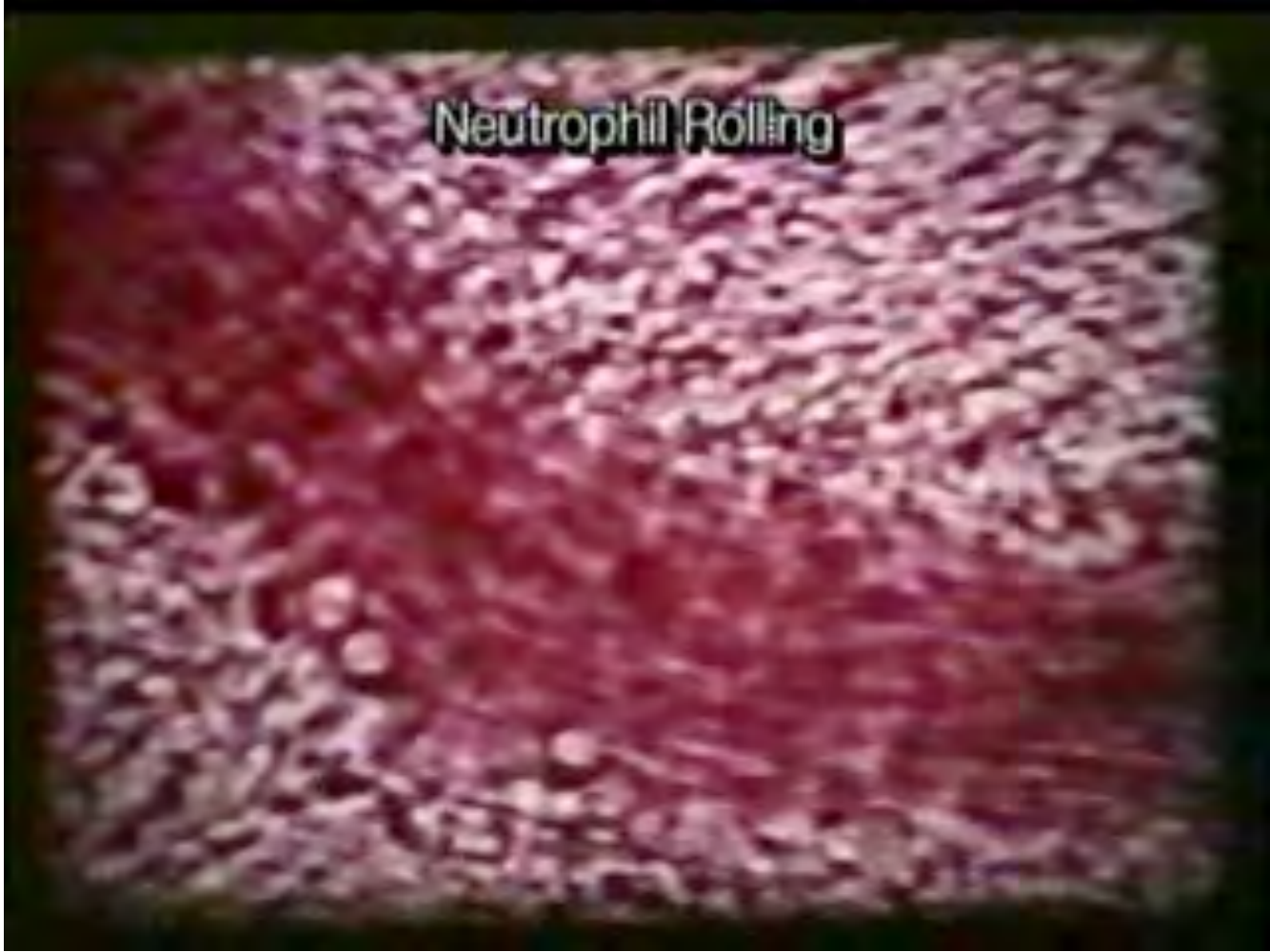
Gebeshuber I.C. and Crawford R.M.
Harmony of beauty and expediency
Science First Hand 5(10), 2006, 30-36

Generierte Produktideen

- Micromechanische Optimierung von 3D-MEMS Strukturen
- Neue Methoden, um 3D Strukturen aus erzeugten 2D Strukturen zu erhalten
- Entwicklung von 3D MEMS mit beweglichen Teilen
- Qualitätssicherung von MEMS
- Neue Methoden, Stiktion zu verhindern

Molekulare Klebstoffe

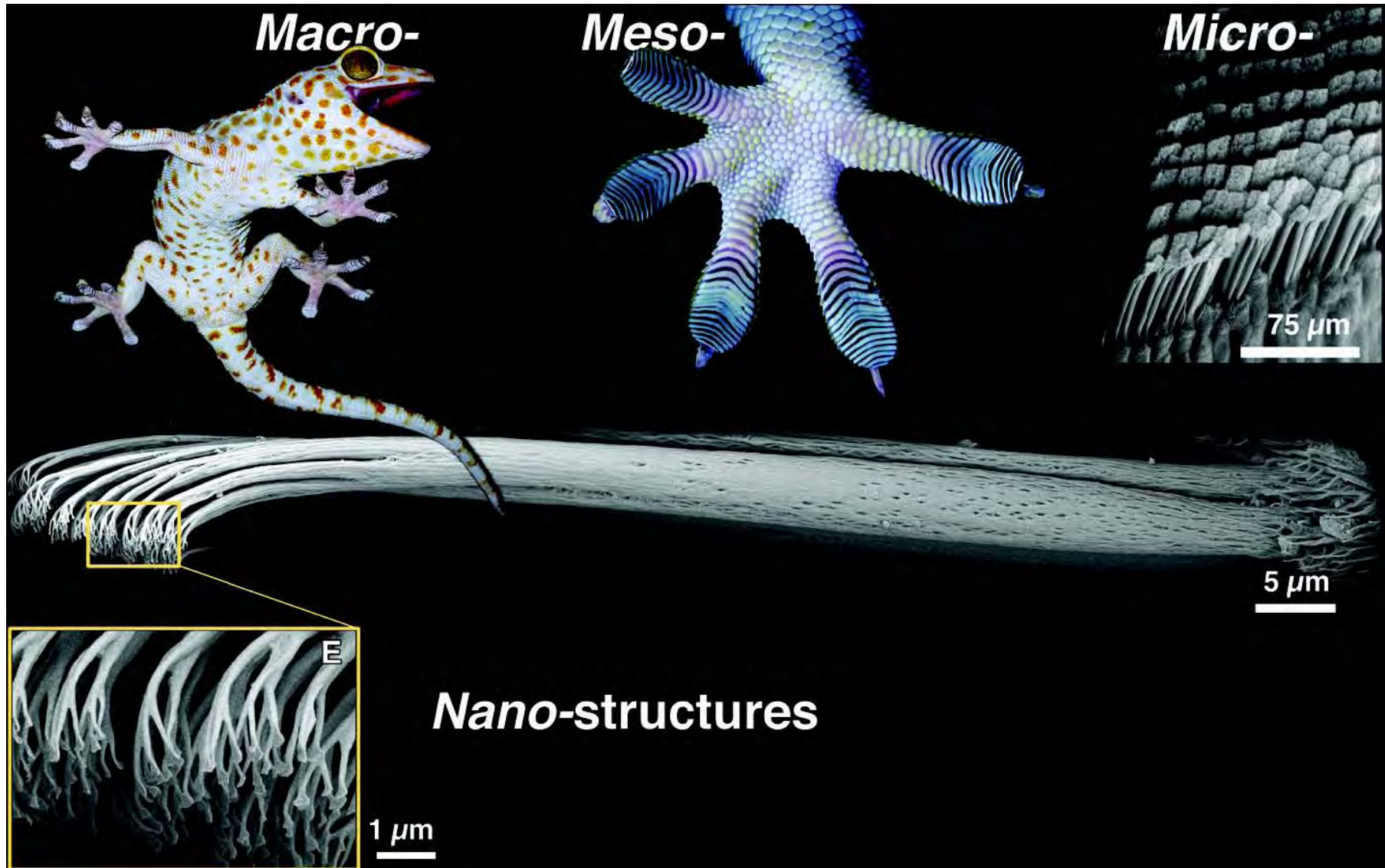




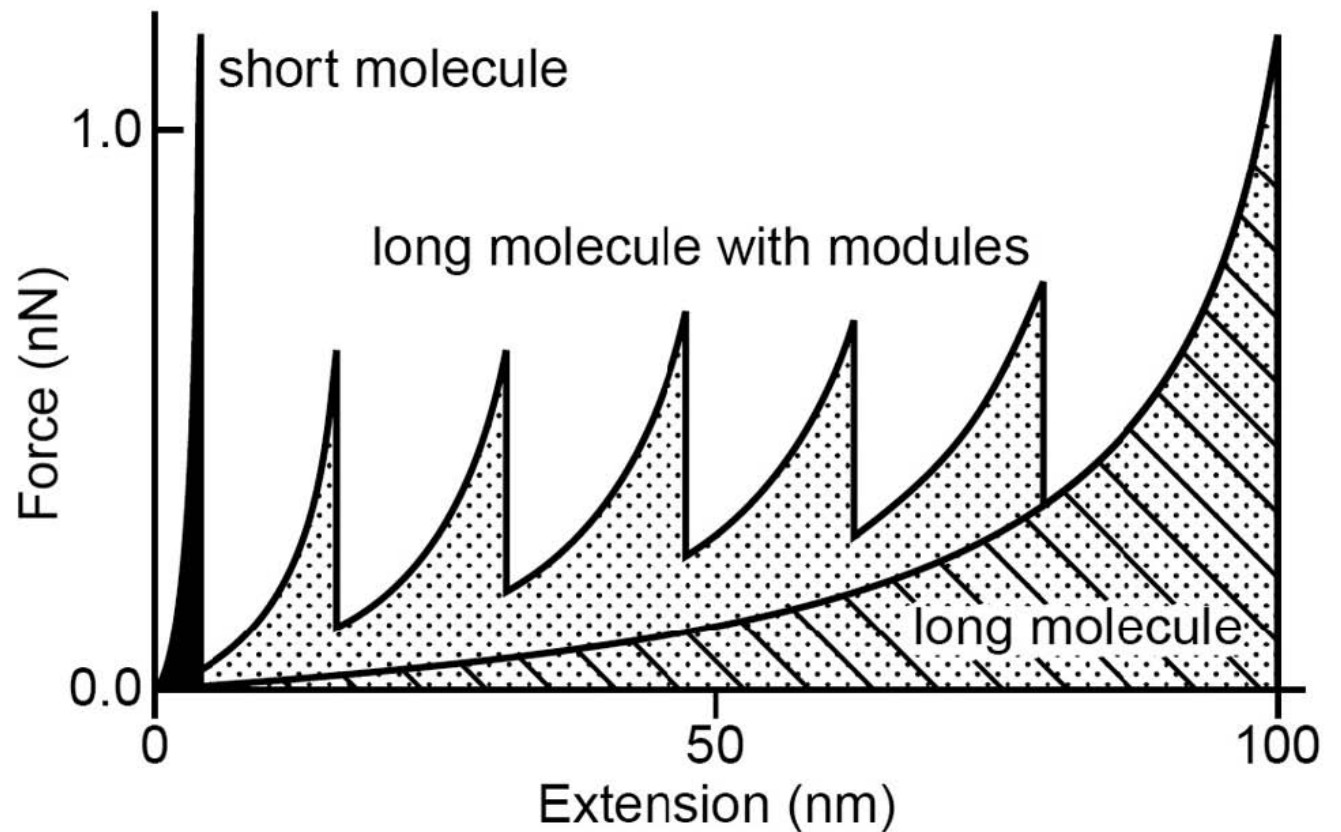
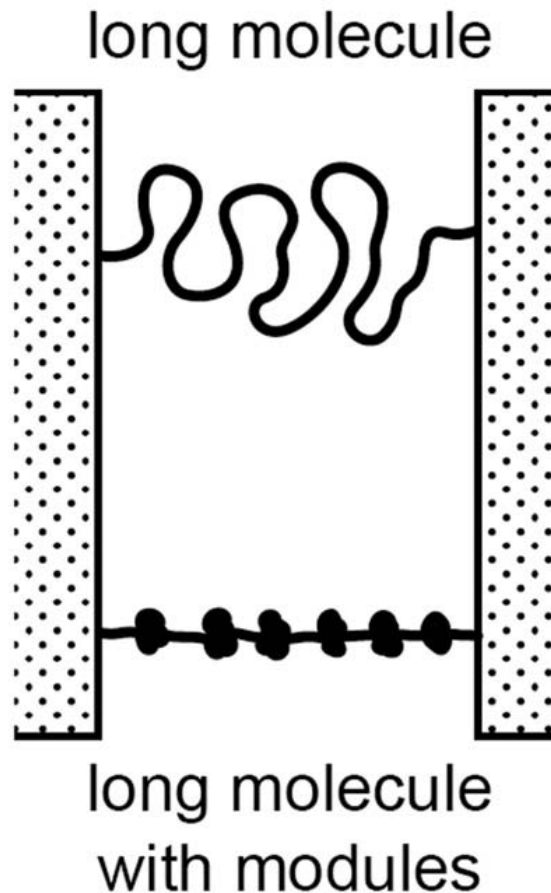
Neutrophil Emigration



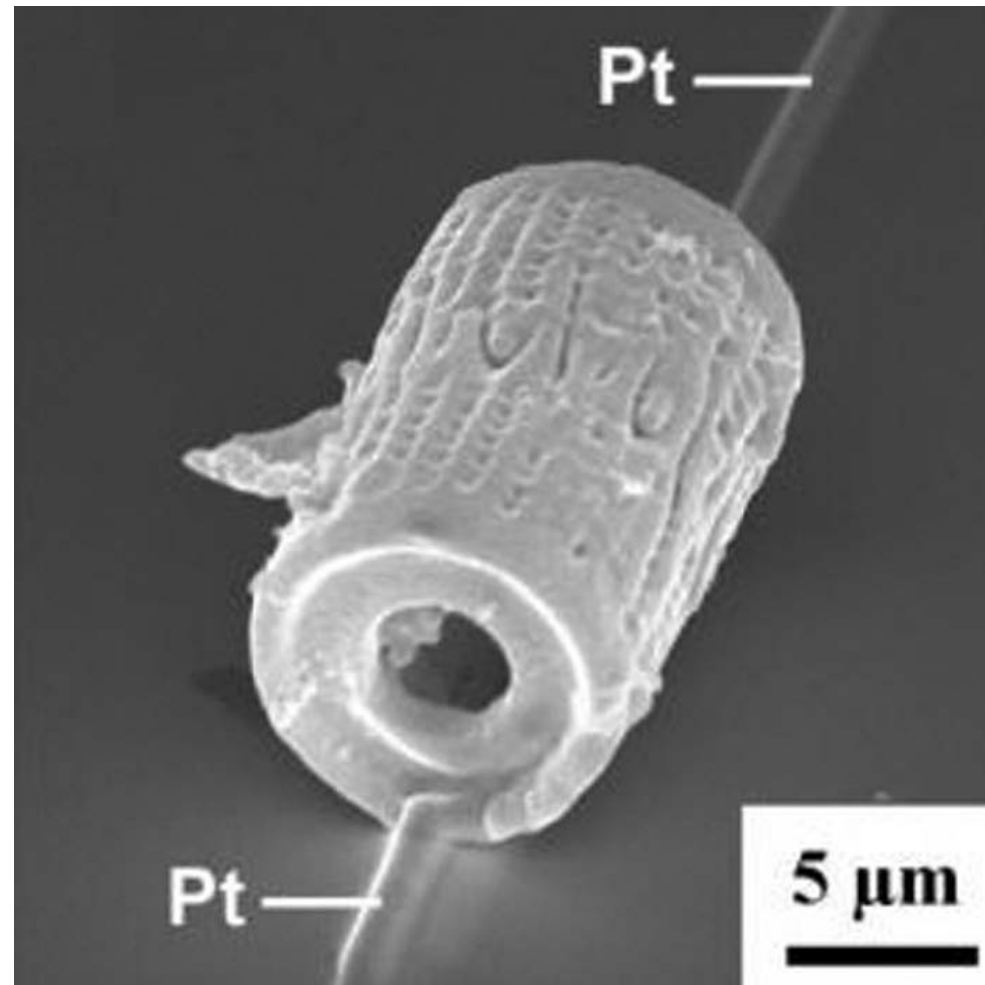
Geckofuß



Selbstheilende Klebstoffe

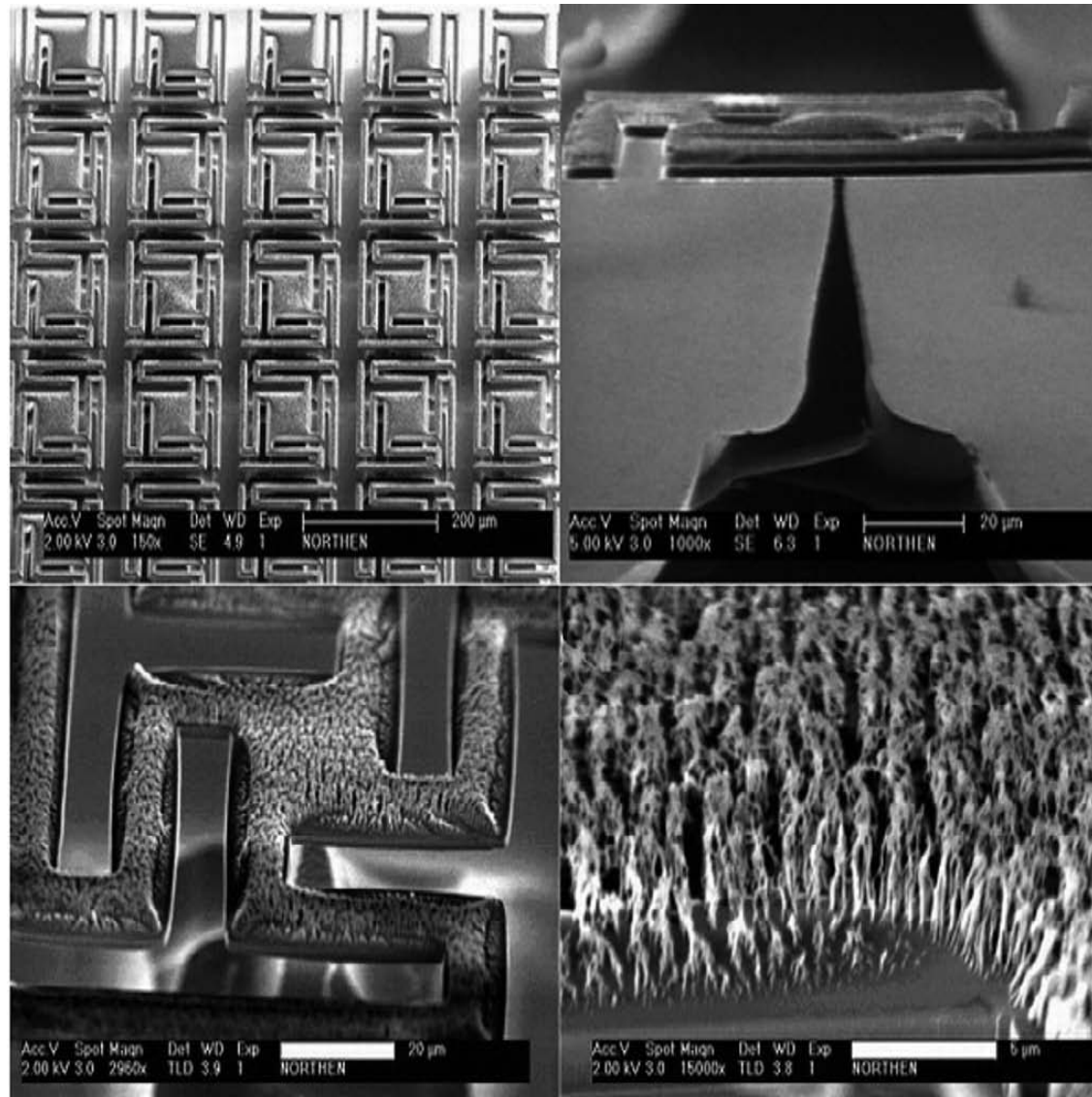


Kieselalgenengassensor



Z Bao *et al*, Nature 446, 172, 2007

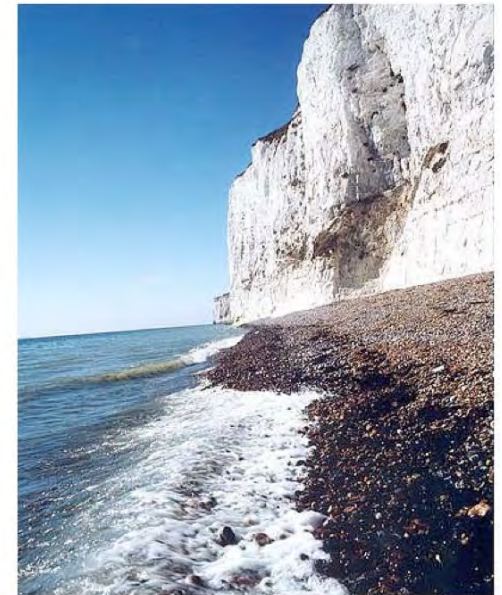
Trockenklebstoff *in silico*



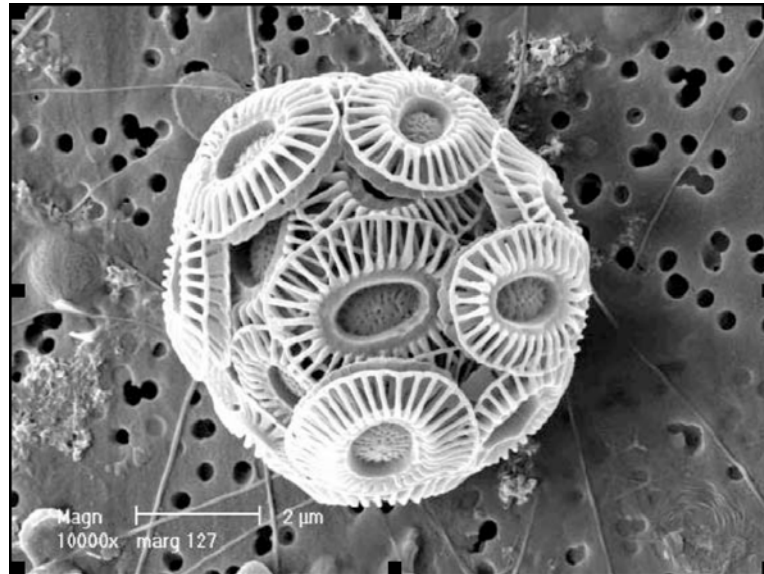
MT Northen & KL Turner, Nanotechnology 16, 1159-66, 2005

Frage:

Was ist die Verbindung zwischen ländergroßen Gebieten aus helltürkischem Meerwasser, der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre und den weißen Kreidefelsen in England?



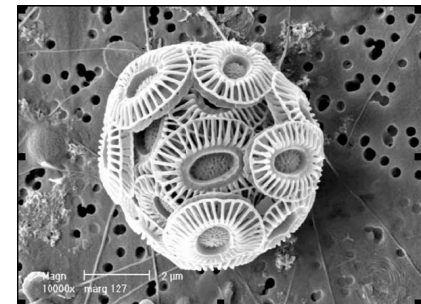
Antwort: Coccolithophoriden



Emiliana huxleyi, © Jeremy R. Young,
Palaeontology Department, The
Natural History Museum, London.

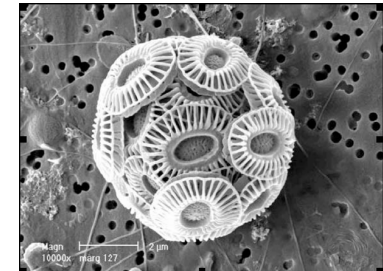
Coccolithophoriden

- Coccolithophoriden sind einzellige Pflanzen.
- Die Größe der Coccolithophoriden beträgt einige wenige Mikrometer (d.h., sie zu klein, um mit dem Lichtmikroskop gesehen zu werden !).
- Coccolithophoriden sind weitverbreitet in den oberen 100 Metern aller nicht zu kalten Meere.
- Coccolithophoriden sind runde Organismen, die mit einem Panzer aus ca. 30 scheibenförmigen Coccolithen bewaffnet sind.



Coccolithophoriden

- Die kalkhaltigen Coccolithen sind zwischen 3 und 15 μm groß. Ein Stecknadelkopf hat 2000 μm Durchmesser.
- Die Masse eines einzelnen Coccoliths ist 1.8 pg. Ein Picogramm (pg) ist 10^{-12} g, das ein Millionstel eines Millionstel Gramms ($10^{-6} * 10^{-6}$ g).
- Im versteinerten Zustand formen die Coccolithen Kreide- und Kalklagerstätten.
- Coccolithophoriden produzieren mehr als 1.5 Millionen Tonnen Kalk pro Jahr, das macht sie zu den führenden Kalkproduzenten im Meer.



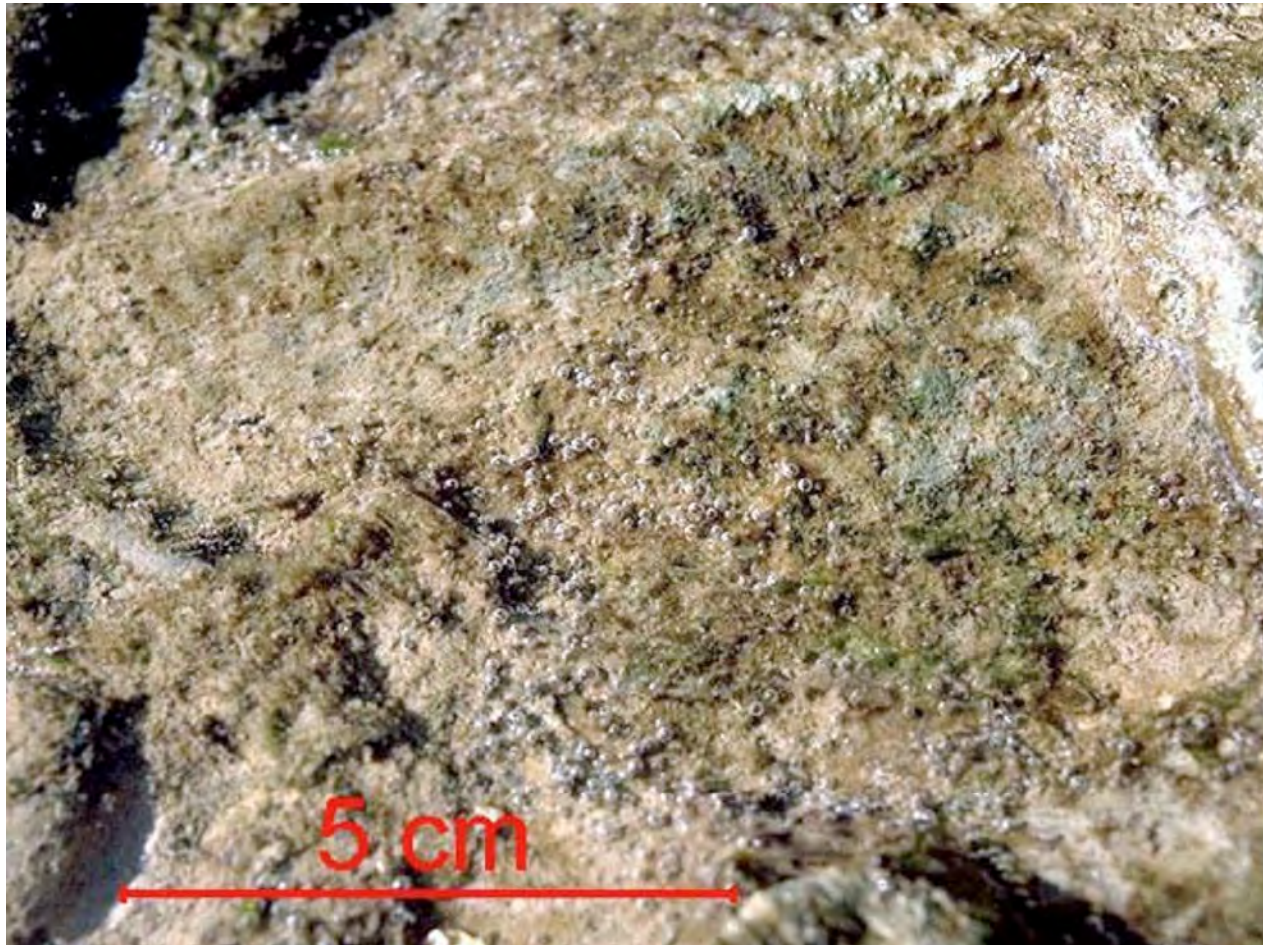
Biom mineralisation

- Lebewesen erzeugen ungefähr 70 verschiedene anorganische Substanzen, wie z.B. Calcit, Magnetit, Glas, Kalziumphosphat und Strontiumsulfat.
- Biom mineralisation bezeichnet die Bildung von anorganischen Materialien in Lebewesen.
- Wir wissen gegenwärtig nur, dass die Biom mineralisation von organischen Molekülen (z.B. Proteinen) gesteuert wird.

Biomineralisation

- Diese hochspezifischen organischen Substanzen bestimmen unter anderem die Form und Orientierung der Kristalle im Organismus.
- Die Gesamtmenge der organischen Moleküle im Biomineral beträgt fast immer ungefähr 0.5%. Bei zuviel „Bioanteil“ wird das Biomineral zu weich, bei zu wenig „Bioanteil“ ist anscheinend nicht mehr genügend Kontrolle über das Wachstum des Biominerals gegeben.

Brauner Schleim



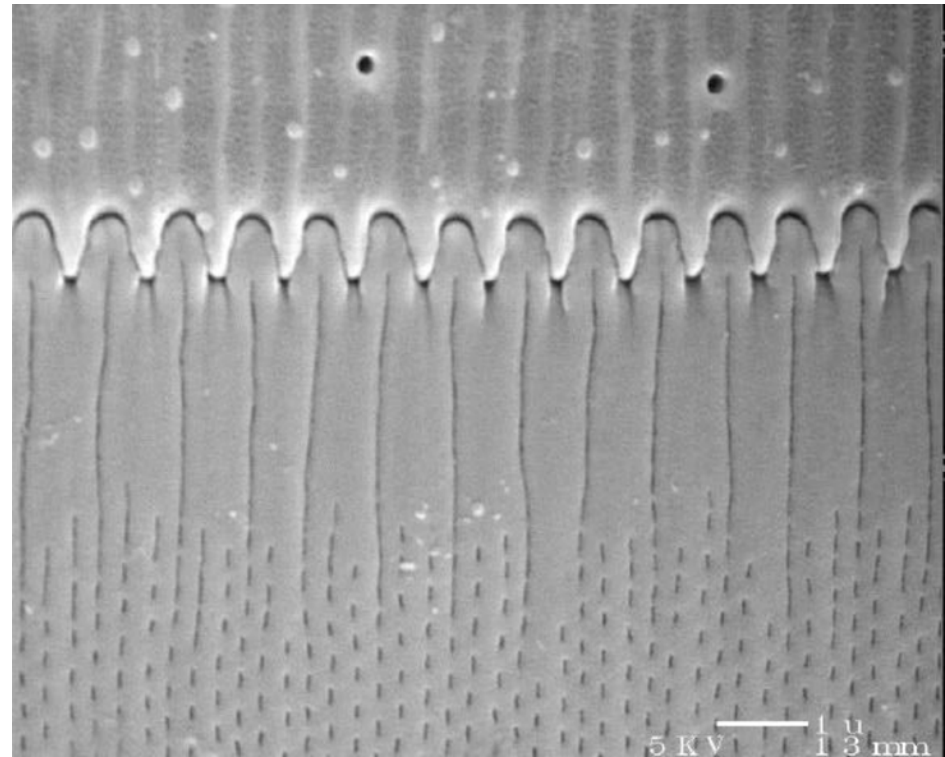
http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/images/buwal/gf/msk/kieselalgenbewuchs_awel.jpg

Brauner Schleim im Lichtmikroskop



http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/images/buwal/gf/msk/kieselalgen_lebend_awel.jpg

Brauner Schleim im Rasterelektronenmikroskop



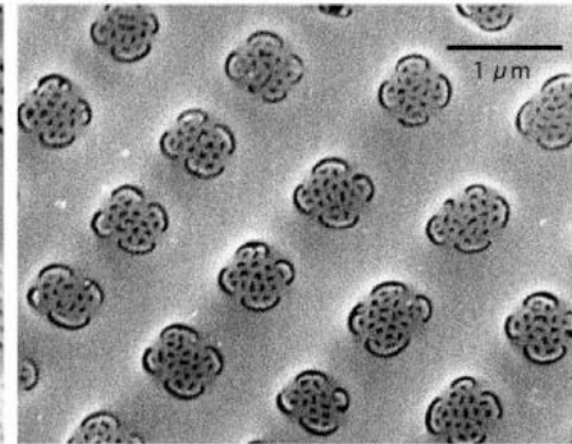
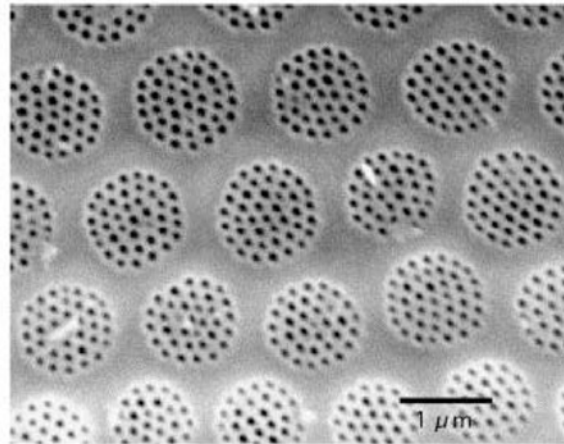
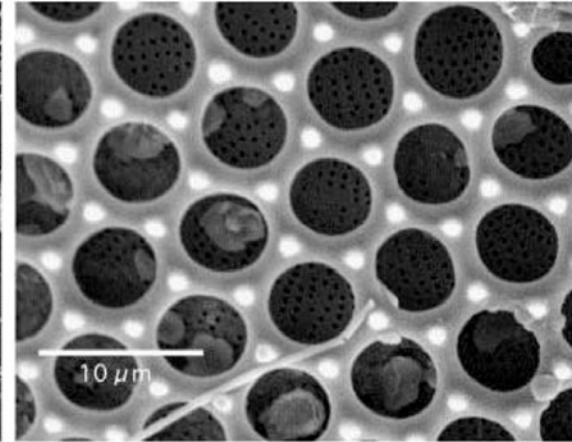
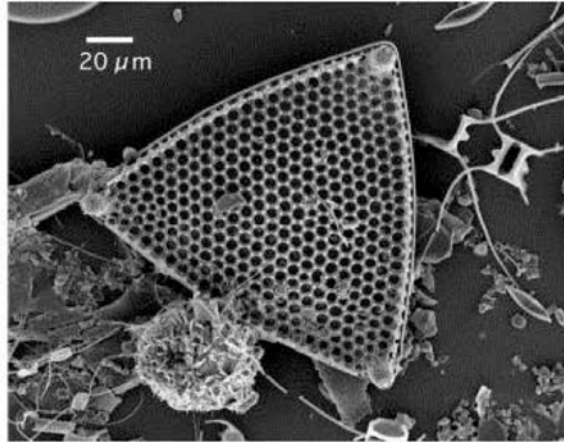
Microman, komplett mit Augen, Zähnen und Bart, © Ille Gebeshuber und James Weaver, University of California @ Santa Barbara

- *Ellerbeckia arenaria*, eine Kieselalge aus einem Salzburger Wasserfall, freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Frau Prof. Schmid, Universität Salzburg. Diese Alge ist mit mir von Wien nach Los Angeles geflogen, ins Death Valley und nach Las Vegas gereist, zur Golden Gate Bridge und nach LA. Das hat sie alles überlebt. Harte kleine Dinger.

Kieselalgen

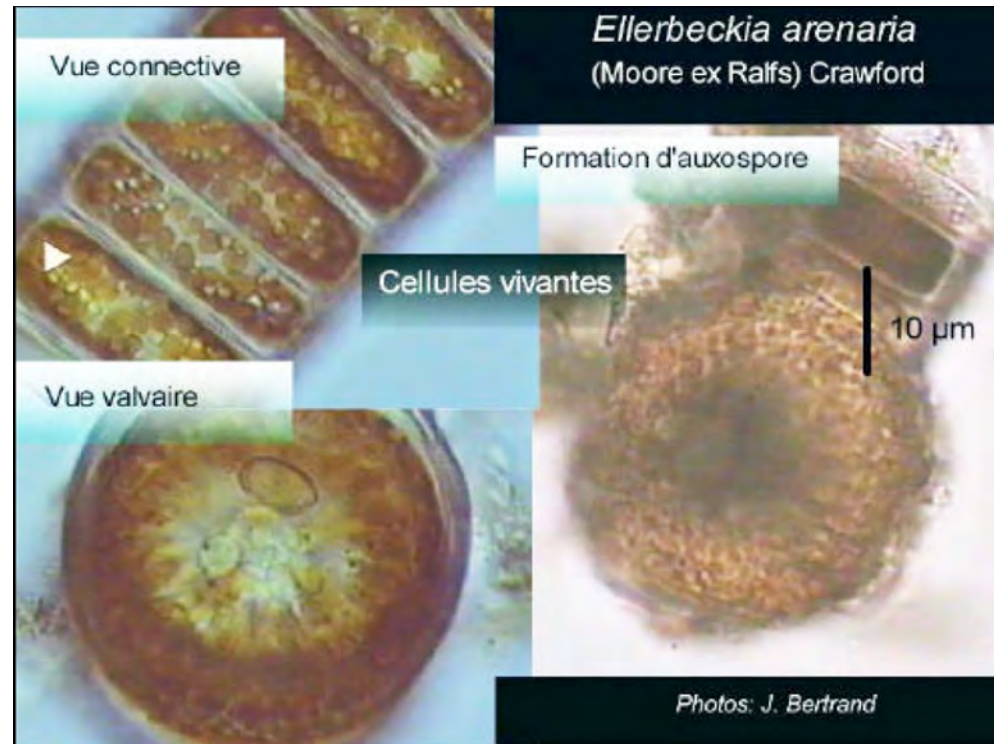
- Diatomeen oder Kieselalgen sind einzellige Pflanzen, die sich durch Zellteilung vermehren.
- Es gibt über 100 000 verschiedenen Arten, die alle unterschiedlich aussehen.
- Kieselalgen produzieren sind die nicht nur die wichtigsten Biomasse-und Sauerstoffproduzenten im Wasser, sondern ihre Strukturen aus Glas (Kieselerde, Siliziumdioxid) zeichnen sich auch durch Vielfältigkeit und Schönheit aus.
- Die Größe der Kieselalgen liegt zwischen einem Mikrometer und einigen Millimetern.
- Kieselalgen können sich auch rasant schnell vermehren. Von einer einzigen Kieselalge können in 10 Tagen über eine Milliarde ähnlich gestaltete Zellwandstrukturen entstehen.



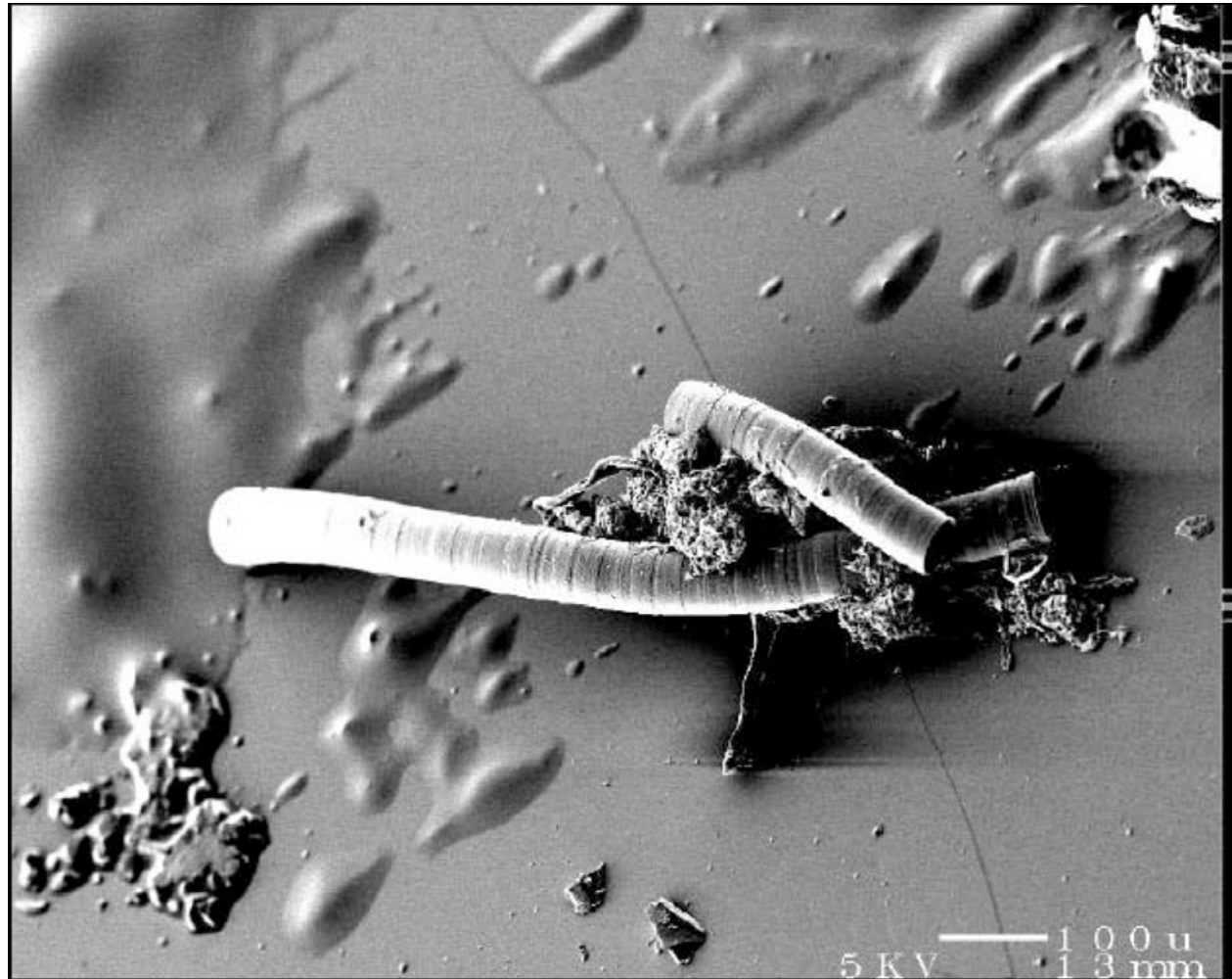


Ellerbeckia arenaria

- *E. arenaria* ist eine Süßwasserkieselalge, die z.B. in Wasserfällen vorkommt.
- Die einzelnen Algen bilden Kolonien, die Millimeter lang werden können.
- Man kann diese Algenverbände ca. auf doppelte ihrer Länge ausdehnen.
- Wenn man wieder loslässt, benimmt sich der Algenverband wie ein Gummiband, das gezogen wurde - er schnellt zurück in die ursprüngliche Lage.

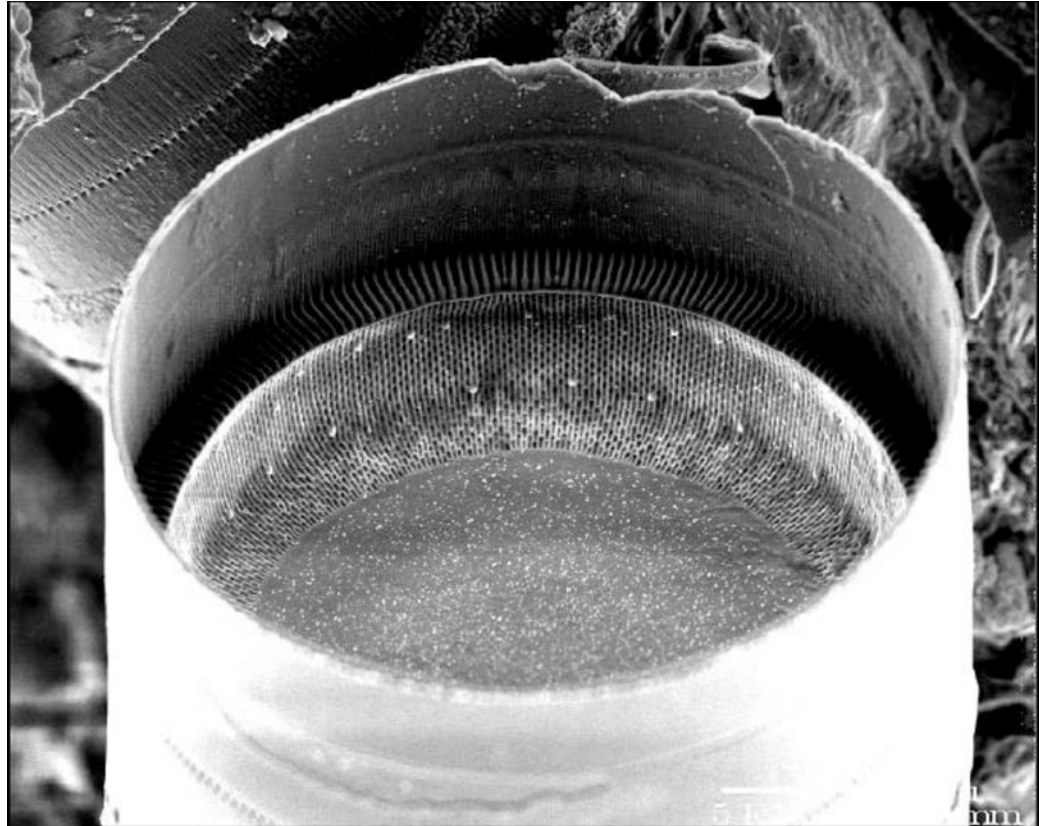


- Die folgenden Bilder zeigen einen Zoom mit dem Rasterelektronenmikroskop in diese Kieselalgen.
- Die Algen wachsen in langen Strängen.
- Die zwei Stränge hier sind mit Gold bedampft, damit man sie im Rasterelektronenmikroskop sieht.
- Sie befinden sich auf elektrisch leitfähigem Carbontape.
- Diese Algen wurden uns freundlicherweise von Frau A.M. Schmid der Universität Salzburg zur Verfügung gestellt.



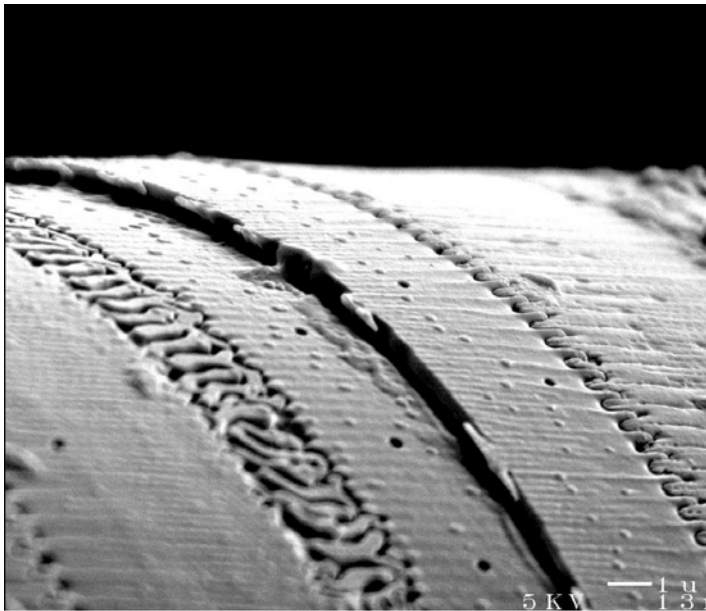
Scalebar (Länge des weissen Balkens): 100 μ m, das sind 0.1 mm, also ein Zehntel eines Millimeters.

Bei noch mehr Vergrößerung sieht man von oben in eine leere Algenschale hinein.

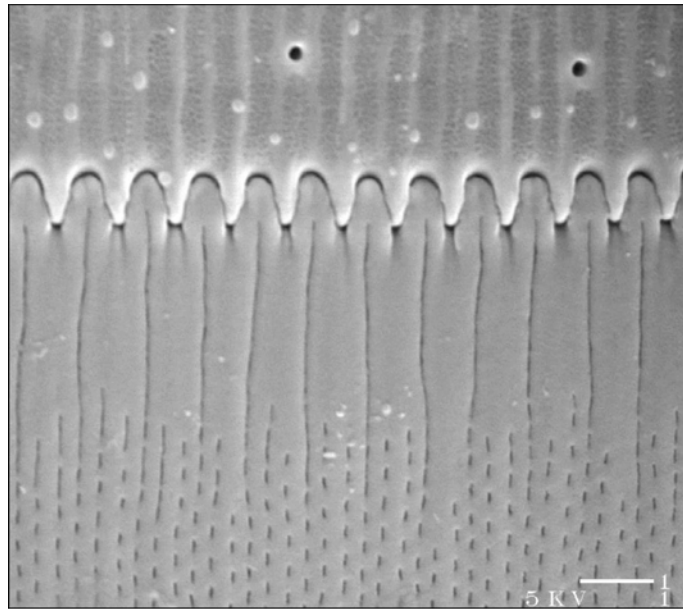


Scalebar (Länge des weissen Balkens): 10 μm , also 0.01 mm, d.i. ein Hundertstel eines Millimeters.

Bei noch mehr Vergrößerung (jetzt entspricht der Scalebar nur mehr einen Mikrometer, also einem Tausendstel Millimeter) sieht man wunderschöne Detailansichten der Glashülle der Kieselalge *E. arenaria*.

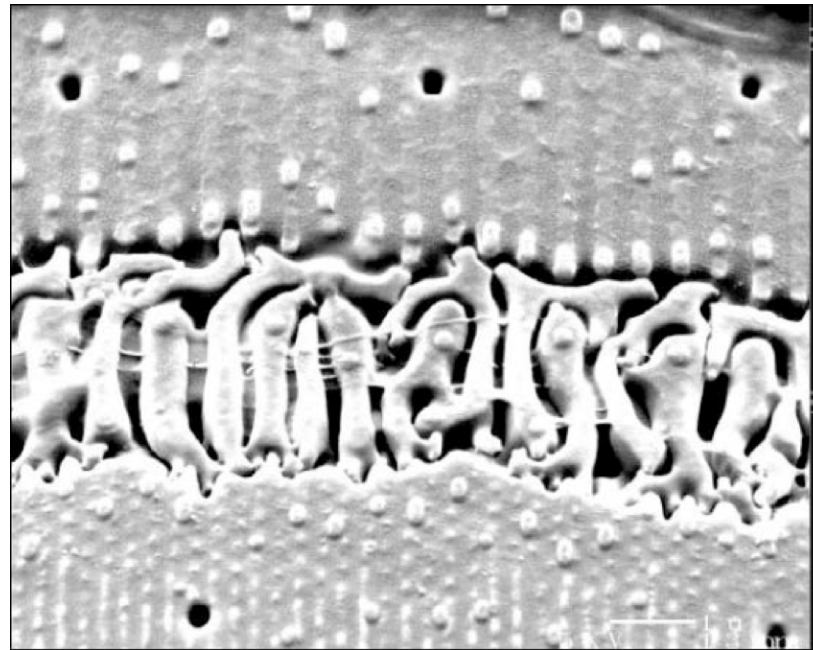


Bei noch mehr Vergrößerung (jetzt entspricht der Scalebar nur mehr einen Mikrometer, also einem Tausendstel Millimeter) sieht man wunderschöne Detailansichten der Glashülle der Kieselalge *E. arenaria*.

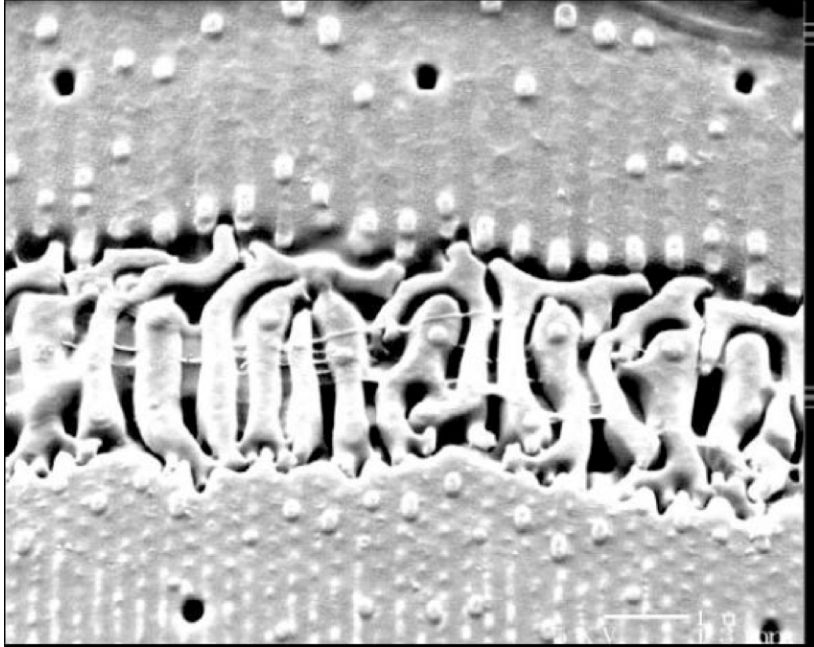


Der Mikromann, komplett mit Augen,
Zähnen und Bart

Bei noch mehr Vergrößerung (jetzt entspricht der Scalebar nur mehr einen Mikrometer, also einem Tausendstel Millimeter) sieht man wunderschöne Detailansichten der Glashülle der Kieselalge *E. arenaria*.



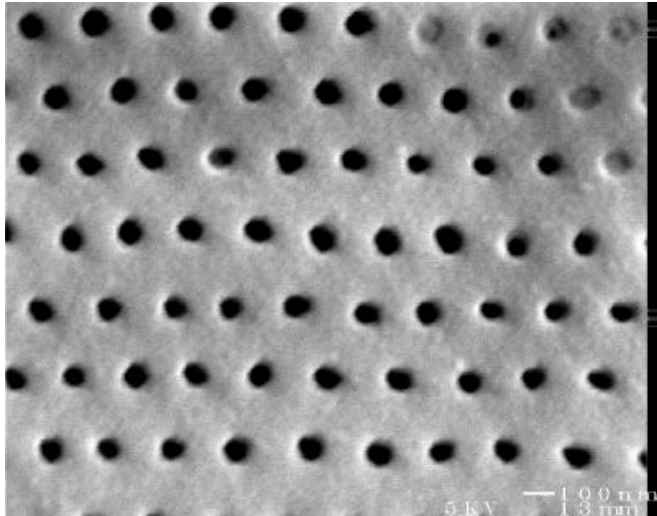
Ein Mantra, von der Natur in Glas geschrieben



ॐ भूर्भुवः स्वः
ॐ तत्सवितुर्वरेण्यं भर्गो देवस्य
धीमहि धियो यो नः प्रचोदयात् ।

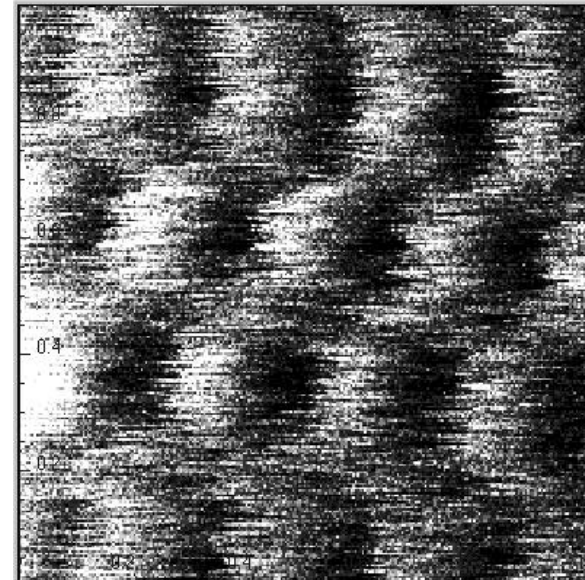
Eines der ältesten Gebete der Welt, das gayatri Mantra, geschrieben in Sanskrit, dem ältesten Alphabet der Welt.

Ein fast perfektes hexagonales Gitter in Glas



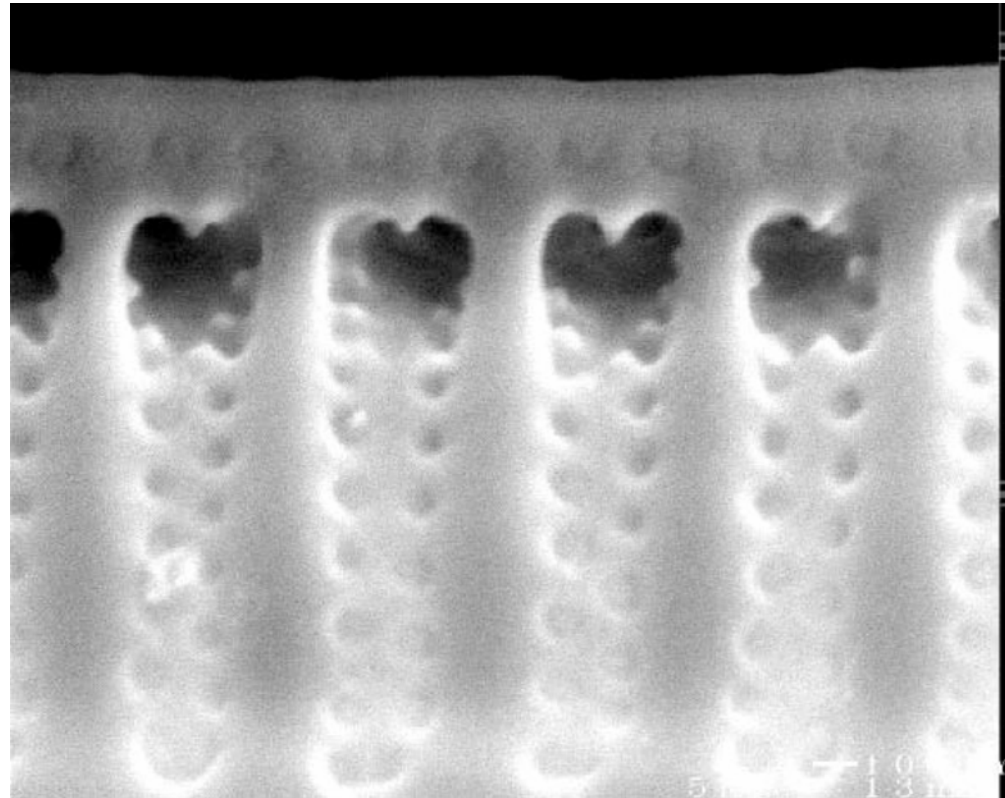
Dieses Bild ist einen
Quadratnanometer klein.
Der Querschnitt
eines Haares beträgt
1 900 000 000
Quadratnanometer.

Zum Vergleich:
Graphitatom, visualisiert
mit meinem
Rasterkraftmikroskop an
der Techn. Univ. Wien



Herzen aus Glas

zerbrechlich & wunderschön



© James Weaver & Ille Gebeshuber,
UCSB, 2000 Algae donation by A. M.
Schmid, University of Salzburg, Austria.

Diese mir unbekannt Kieselalge befand sich in der *E. arenaria* Probe, die mir Frau Schmid aus Salzburg dankenswerterweise zur Verfügung gestellt hat.

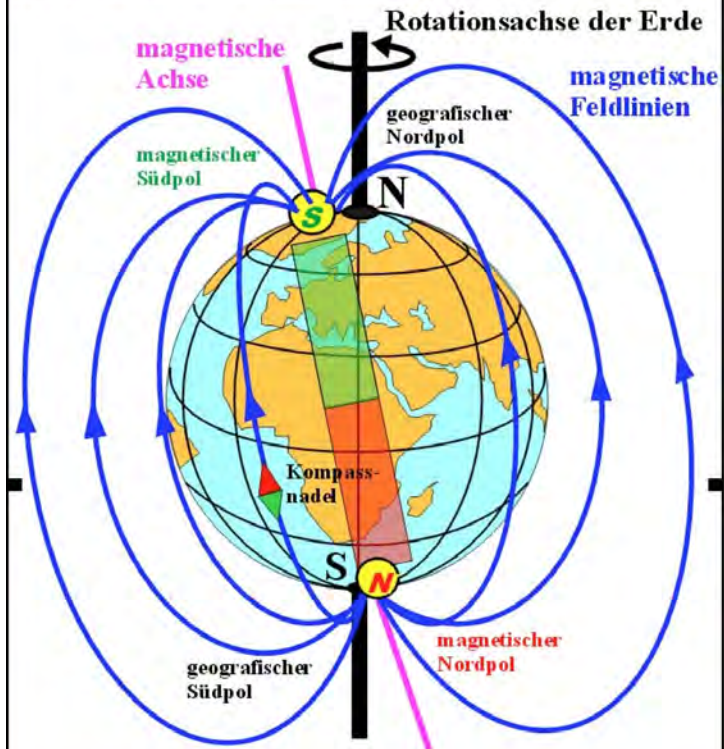
Magnetische Bakterien

- Magnetische Bakterien sind in Seen und Meeren weitverbreitet.
- Magnetische Bakterien lassen sich wie eine Kompassnadel durch ein Magnetfeld ausrichten.
- Man findet magnetische Bakterien leicht in Sedimenten, besonders in den oberen sauerstofffreien Schichten. Interessanterweise wandern sie auf der Südhalbkugel bevorzugt nach Süden, während die auf der Nordhalbkugel vorkommenden sich nach Norden orientieren.

Magnetische Bakterien

- Diese Bakterien produzieren magnetische Kristalle (Magnetosome, bestehend aus Eisenoxid - Fe_3O_4 oder Eisensulfid - Fe_3S_4) mit Hilfe derer sie sich im (Erd-) Magnetfeld orientieren.
- Die Magnetosome sind zwischen 30 und 120 Nanometer (nm) groß. Ein Nanometer (10^{-9} m) ist ein Millionstel Millimeter ! Der Durchmesser eines menschlichen Haares beträgt 100 000 Nanometer.
- Magnetosome sind perfekte Kristalle ohne jede Fehlstelle.
- Die einzelnen Magnetosome sind groß genug um ein permanentes magnetisches Moment zu haben, und gleichzeitig klein genug, um Einzeldomänenmagnete zu sein. Die Kombination dieser zwei Fakten macht Magnetosome zu den stärksten möglichen Magneten ihrer Größe !

Magnetfeld der Erde und die Kompassnadel:



Die Erde hat die magnetische Wirkung eines großen Stabmagneten.

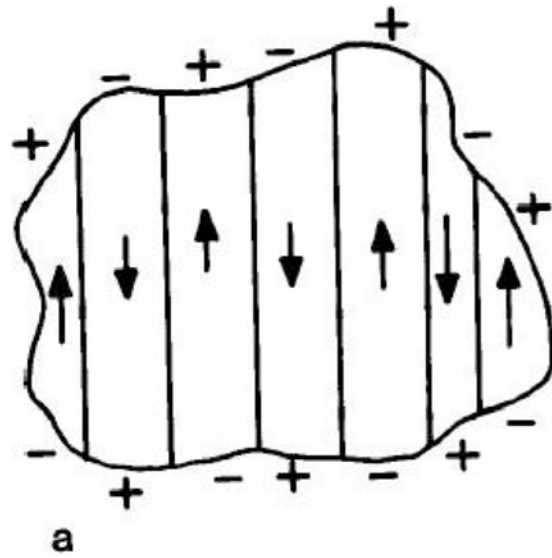
Der **magnetische Nordpol N** befindet sich in der Nähe des geografischen Südpols S, der **magnetische Südpol S** in der Nähe des geografischen Erd-Nordpols N.

Der **Kompassnadel-Nordpol** zeigt immer in **Feldlinienrichtung** (Bogen) zum **magnetischen Südpol**.

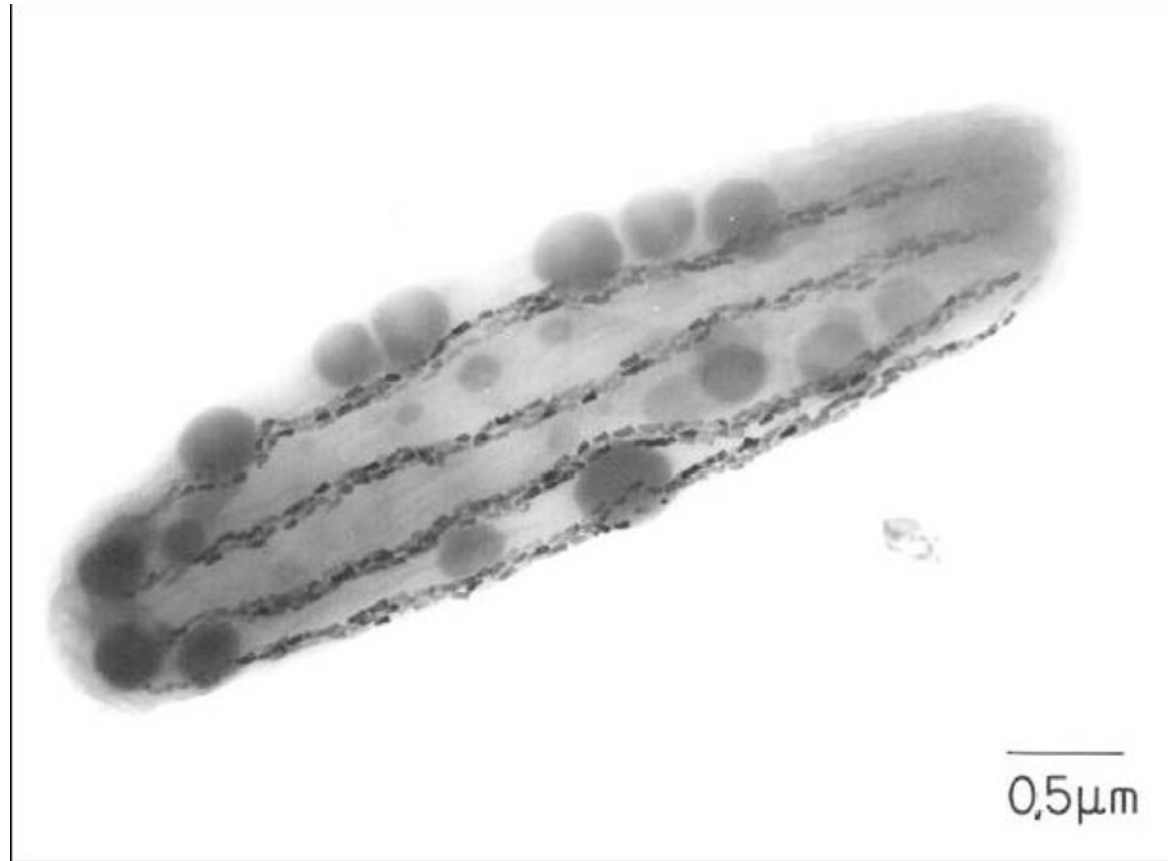
Magnetische Domänen

- Kleine magnetische Kristalle haben nur eine einzige magnetische Domäne (rechtes Bild). D.h., alle magnetischen Momente sind parallel angeordnet. Damit ist dieser Magnet so stark als nur irgendsmöglich. Magnetite in magnetischen Bakterien sind solche Einzeldomänenkristalle
- In größeren Kristallen erscheinen aus Gründen der Energiminimierung mehrfache magnetische Domänen. Diese Mehrfachdomänen reduzieren das gesamte magnetische Moment des Kristalls.
- **Literatur:** Blakemore RP (1975) Magnetotactic bacteria, Science, 190:377-379

Magnetische Domänen

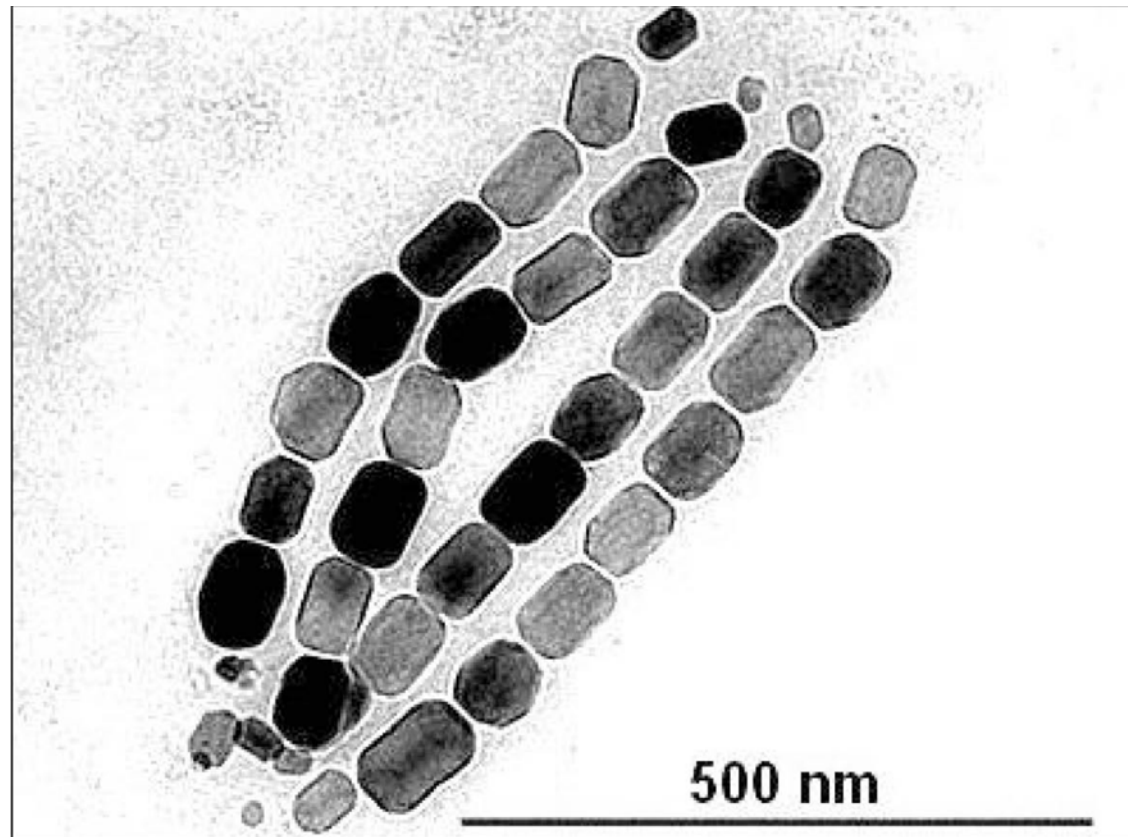


Eine Reise ins Innere eines magnetischen Bakteriums

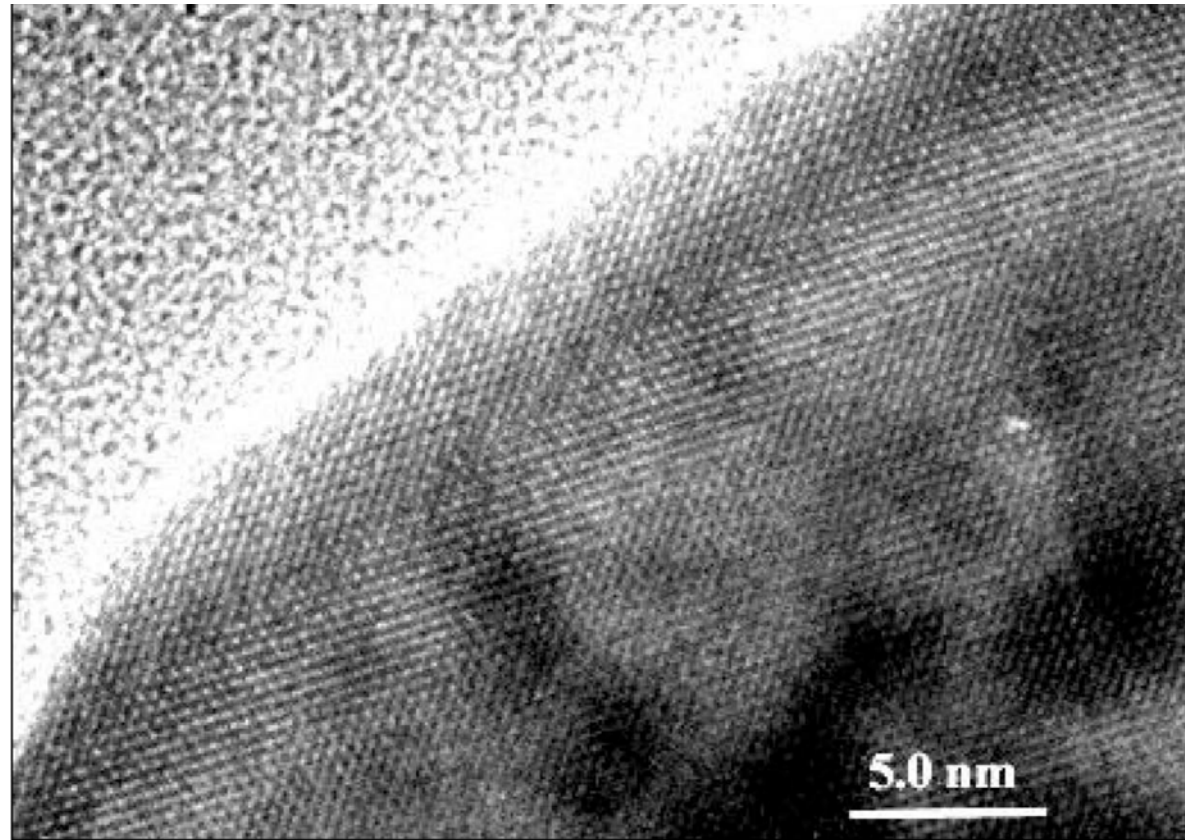


magnetisches Bakterium mit
Magnetosomsträngen

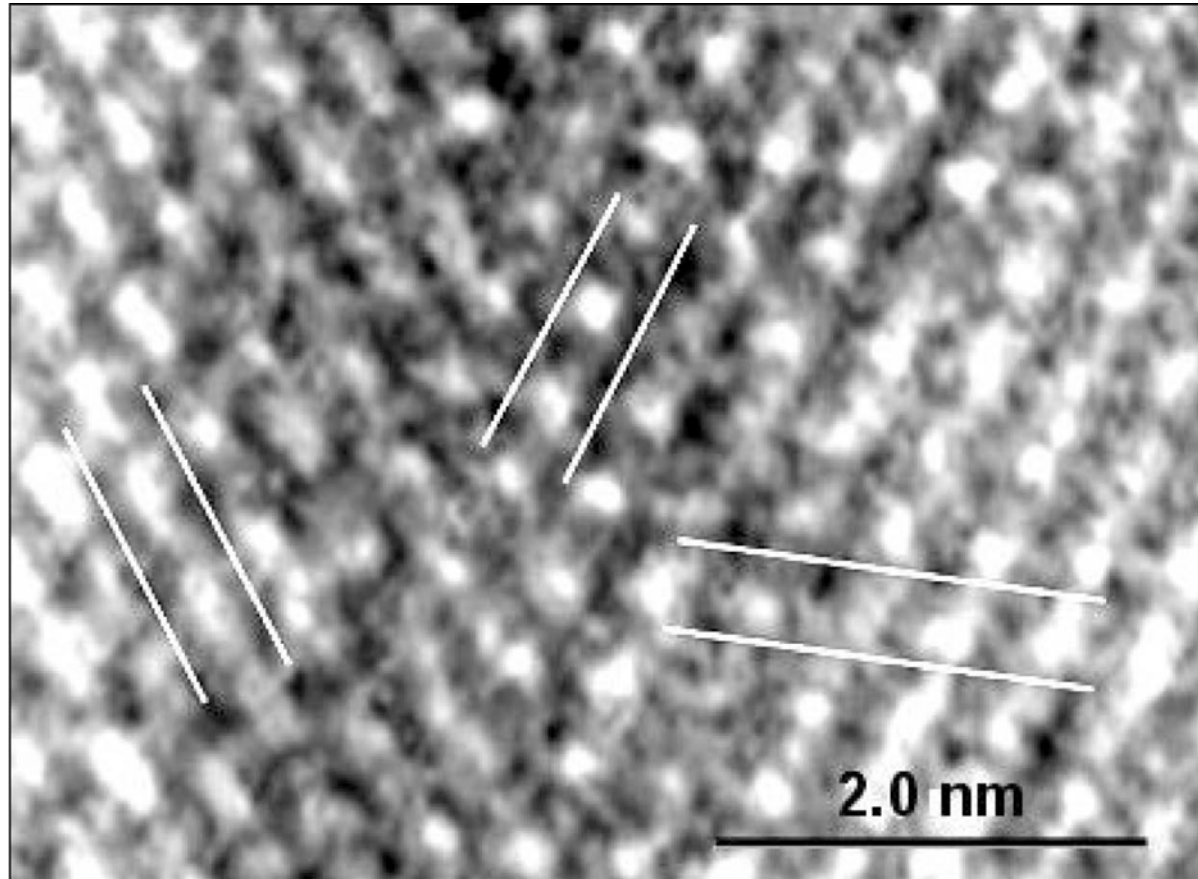
Vergrößerung der Magnetosomstränge



Magnetosom Netzebenen

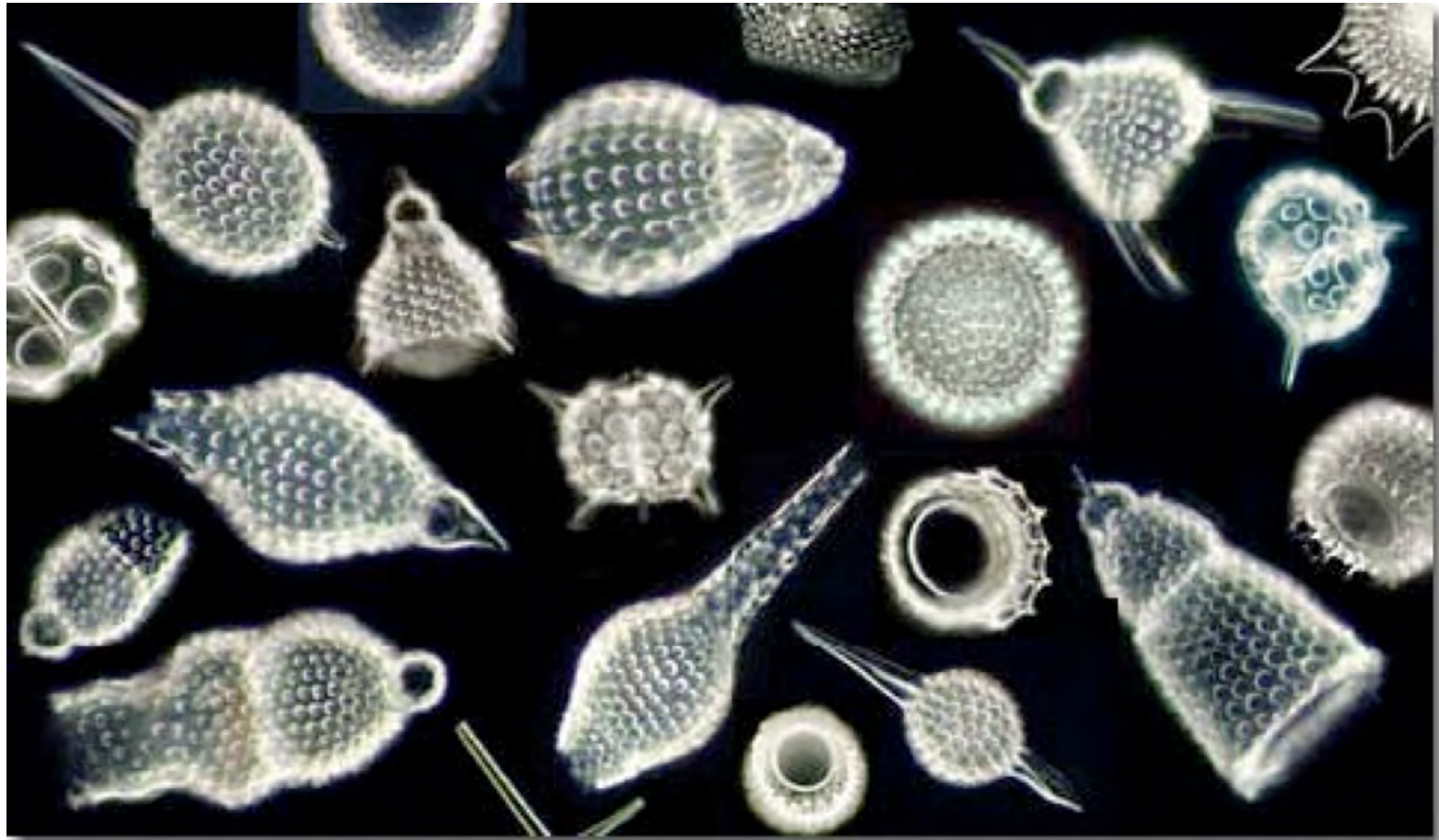


Atomare Reihen aus Magnetit



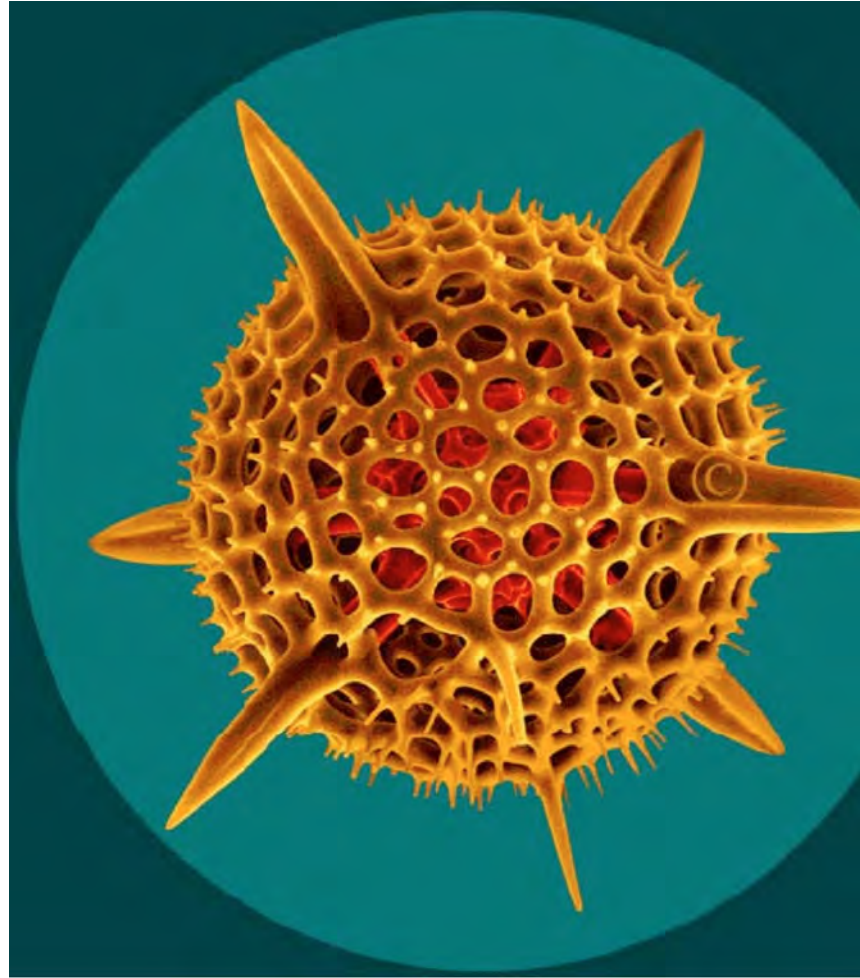
Radiolarien

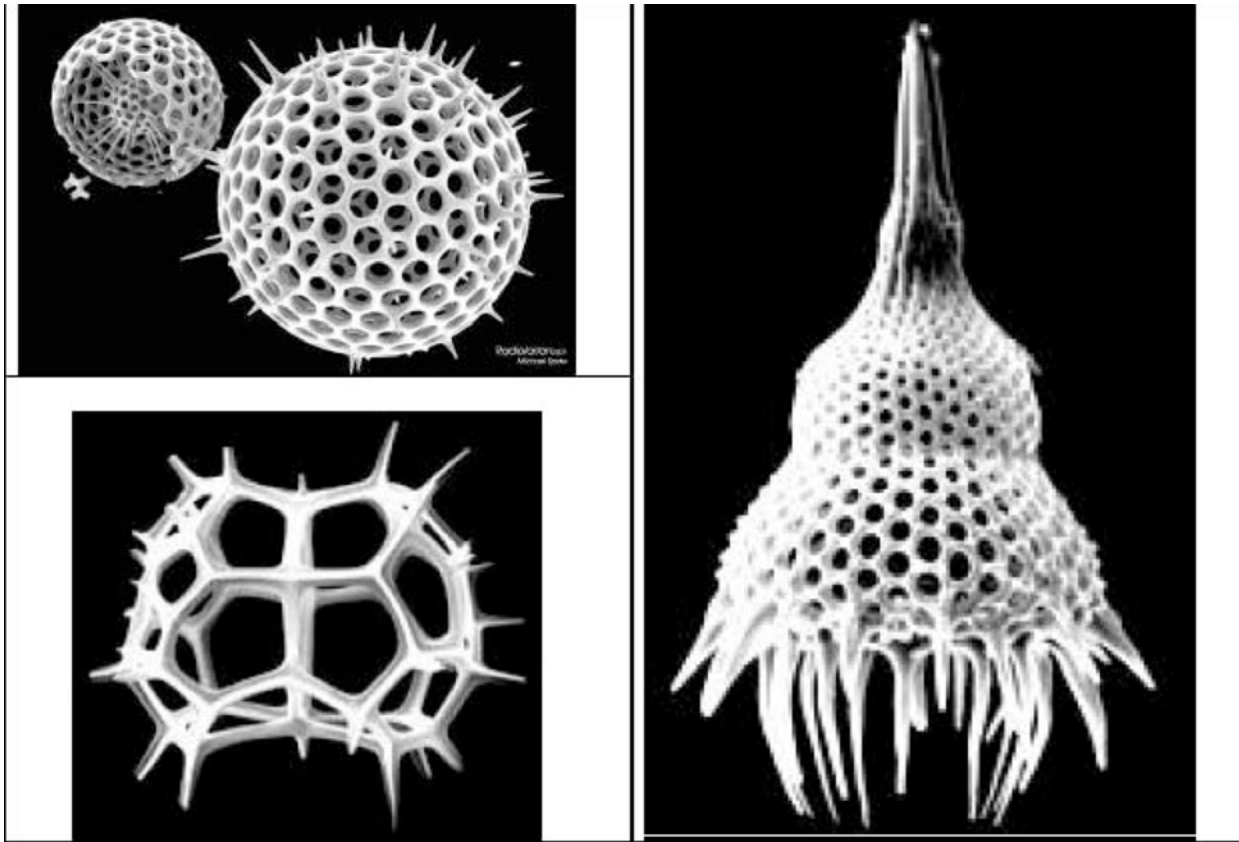
- Radiolarien sind einzellige Tiere mit einem Skelett aus Kieselsäure bzw. Strontiumsulfat.
- Die Größe der Radiolarien liegt zwischen 30 µm und 2 µm.
- Die Innenskelette sind meist aus Gitterkugeln und radiär abstehenden Stacheln bzw. Nadeln aufgebaut. Es gibt aber auch scheiben- und helmförmige, Gerüste und Plattenkonstruktionen.
- **Literatur:** Anderson, O.R., 1983. Radiolaria. Springer-Verlag, New York, 1-355.



© <http://micro.magnet.fsu.edu/micro/gallery/radiolarians/radiolarians.html>

© http://www.ldeo.columbia.edu/micro/images.section/pages/fossil_ant_radilarian



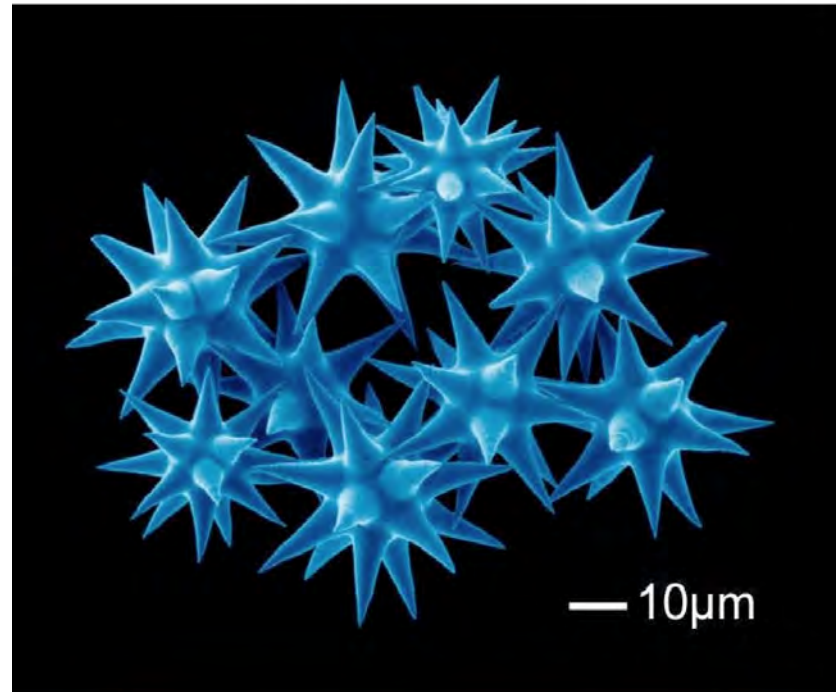


Schwämme

- Schwämme gibt es seit mehr als 600 Millionen Jahren. Sie sind mehrzellige Tiere. Manche Schwämme – aber zum Glück nicht der Badeschwamm – besitzen Skelettnadeln (Spikulen) aus Kalk (Calcit) oder Glas (Siliziumoxid).
- Es gibt 10 000 verschiedene Arten von Schwämmen, in allen möglichen Farben und Formen.
- Die Größe der Schwämme liegt zwischen einem Zentimeter und zwei Metern, einzelne Spikulen sind einige zehn Mikrometer (mm) groß.
- Die Spikulen bilden das stabile Kalk- oder Glasgerüst, das dem Schwamm seine Festigkeit gibt.

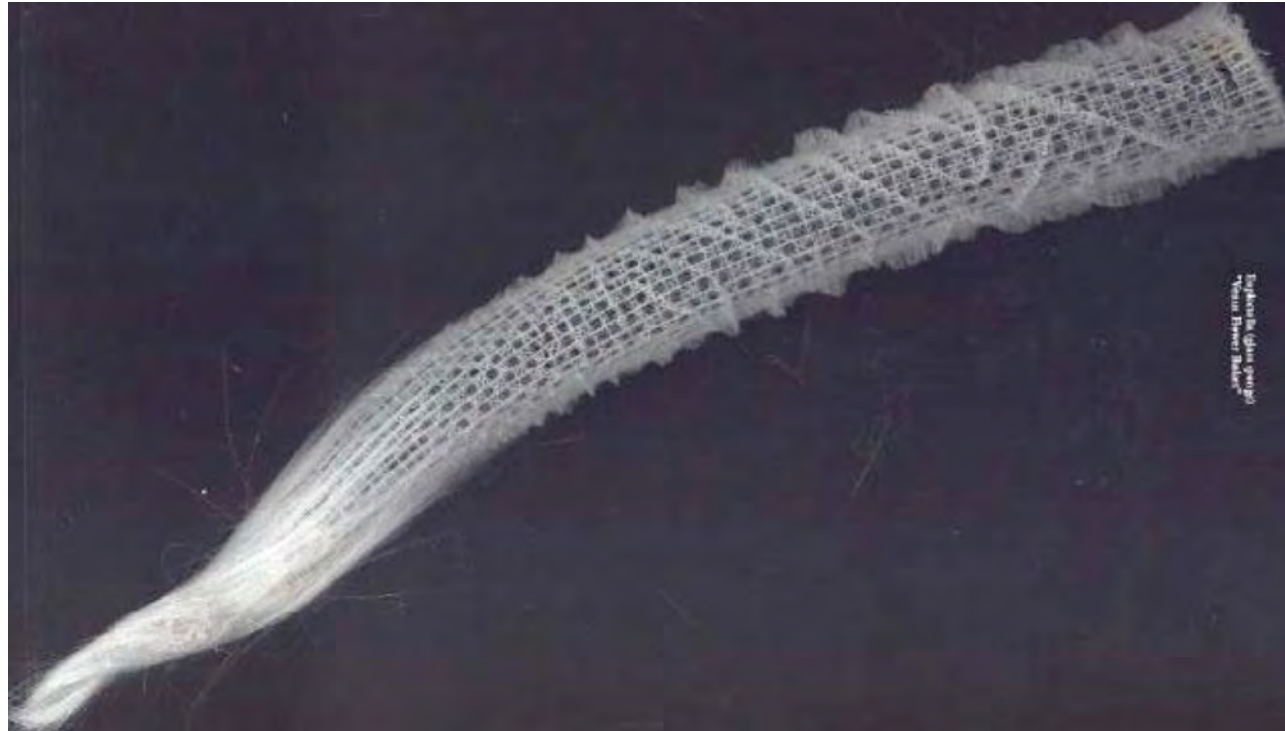


Spikulen des Schwammes Spheraster



(Hauptvorkommen
Santa Barbara, CA,
USA)

- Ein ganz besonderer Schwamm, der in ca. 200 bis 1000 Meter Tiefe lebt, ist der so genannte Venusblumenkorb.
- Zwei kleine, junge Shrimps mit dem wissenschaftlichen Spongicola schwimmen in den Schwamm, wachsen darin auf und können ihn nicht mehr verlassen. Sie müssen den Rest ihres Lebens zusammen im Schwamm verbringen.
- Dieser Schwamm wird in Japan gerne als Hochzeitsgeschenk verschenkt.
- „ ... bis dass der Tod Euch scheidet.“



Empress of the Sea
"The Power of Nature"

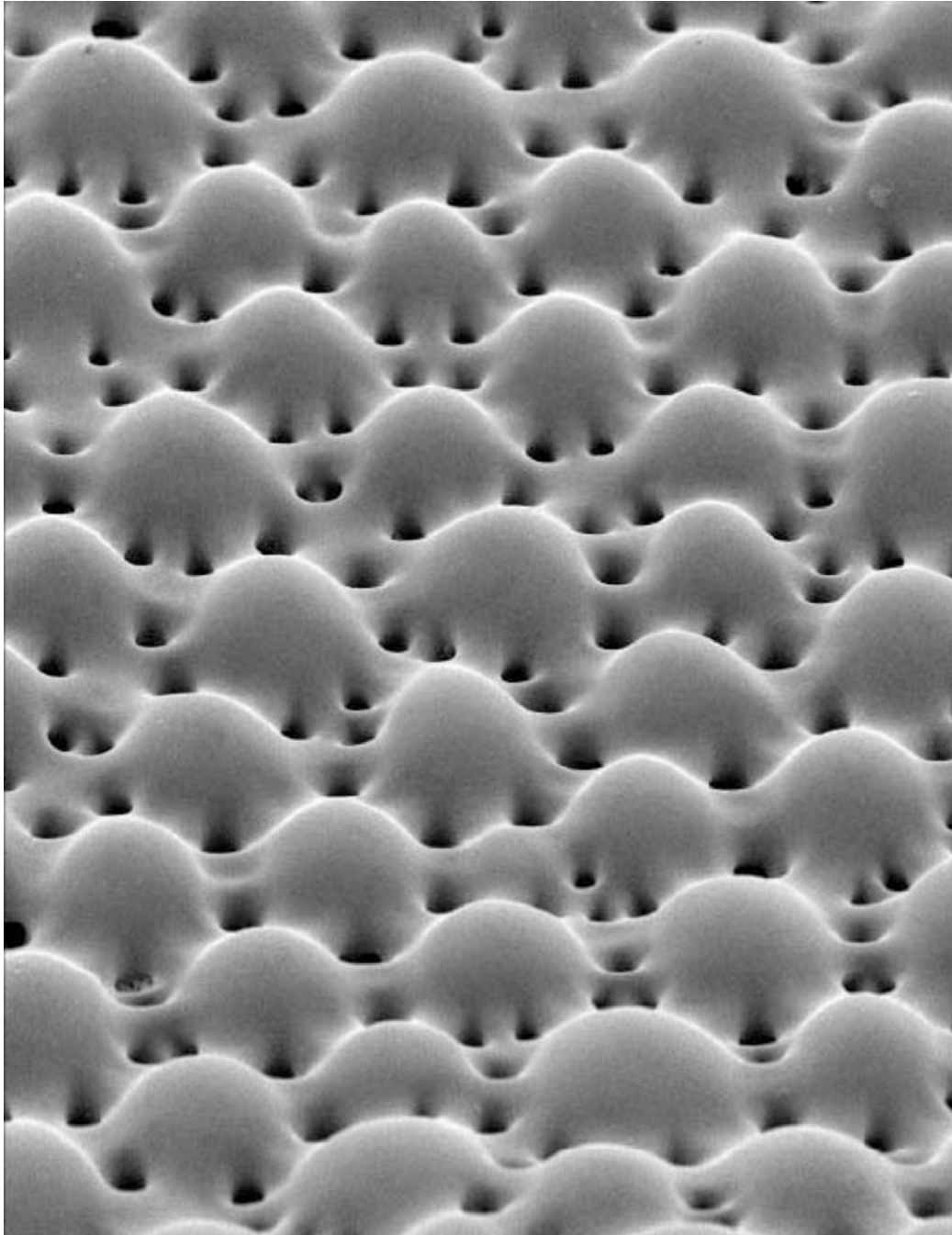
© <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/imgapr02/sponget.jpg>

Seesterne

- Seesterne steuern – wie viele andere Lebewesen auch – überaus raffiniert das Wachsen von Kristallen.
- Aber ein Seestern namens *Ophiocoma wendtii* kann noch ein bisschen mehr: sein Panzer aus kristallinem Kalk weist optisch perfekte Mikrolinsfelder auf, die den Panzer zugleich zum Komplexauge machen !
- Dieser Seestern hat sich als Besitzer einer Optik herausgestellt, um die ihn Carl Zeiss beneidet hätte.



Prof. Joanna Aizenberg von den Bell Laboratories in New Jersey, USA, mit den Tieren, die sie berühmt gemacht haben.



Mikrolinsenfeld auf der
Oberfläche des Seesterns.
Der Durchmesser einer
Einzellinse beträgt 20 bis
40 μm

- Die ganze Oberfläche des Haarsterns ist mit Mikrolinsenfeldern bedeckt, der Durchmesser der Einzellinsen liegt zwischen 20- und 40 tausendstel Millimetern (mm).
- Und weil das Tier vollständig damit bedeckt ist, kann es in alle Richtungen zugleich sehen, jede Linse zeigt in eine andere Richtung. So macht sich der Organismus ein Bild von seiner kompletten Umgebung.
- Und Frau Prof. Aizenberg denkt sogar, diese ganze Ansammlung von Linsen arbeitet zusammen wie ein Komplexauge, wie es eine Fliege hat.

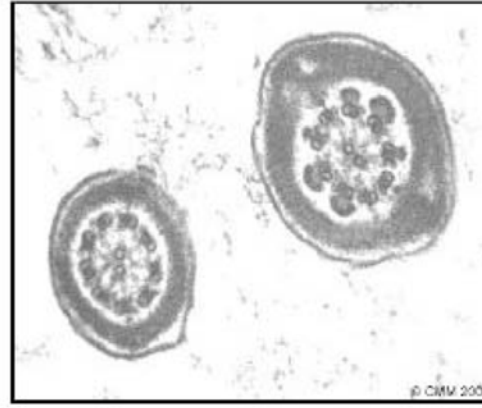
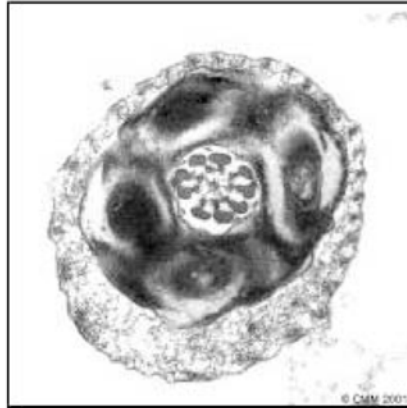
- Wenn man einen Kristall aus Calcit auf eine Zeitung legt, sieht man die Schrift in der Regel doppelt, Ursache ist das Phänomen der Doppelbrechung. Es gibt nur eine Richtung im Kristall, in der ein normales Bild zu sehen ist, entlang der sogenannten c-Achse - der Haarstern schafft es, seine Mikrolinsen genau so zu kristallisieren, dass ein normales Bild entsteht. Mehr noch: Ophioma wendtii stattet seine Linsen mit optischen Raffinessen aus, mit denen Carl Zeiss, Jena, berühmt und groß geworden ist.
- Die Form der Linsen ist genau so, dass die sphärische Aberration korrigiert wird. "Sphärische Aberration", das hat der Industrie schwer zu schaffen gemacht, das erzeugt schwere Abbildungsfehler, es ist, als ob man einen Flaschenboden als Linse benutzen würde, das ganze Bild ist verzerrt. Alle (unkorrigierten) sphärischen Linsen haben diesen Effekt. Aber dieser Organismus lässt seine Linsen aus orientiertem Calcit wachsen, ohne sphärische Aberration.

- Im Ergebnis, versichert Joanna Aizenberg, die die Seestern-Optik mit modernen Methoden vermessen hat, stellen die Mikrolinsen Menschenwerk in den Schatten:
- Die besten Linsen, die wir uns denken können, zehn bis zwanzigmal besser als alles, was bisher an sphärischen Linsen dieser Größenordnung von der Industrie machbar war.
- Die von Gordon Hender am Museum für Naturgeschichte in Los Angeles gefundenen Pigmente schließlich stellten sich als eine Art einstellbare Sonnenbrille heraus:
- Sie haben ein Pigment, das sich am Tag vor die Lichtrezeptoren schiebt, wie eine Sonnenbrille, und nachts wird das Pigment wieder weggenommen, für eine bessere Weitsicht, ein bisschen wie die Iris unserer Augen. Alles zusammen eine erstaunliche optische Leistung.

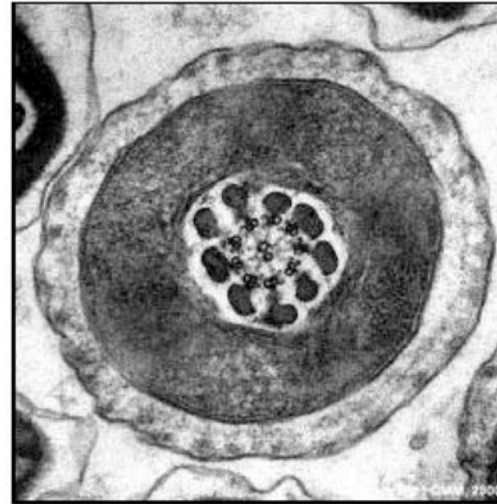
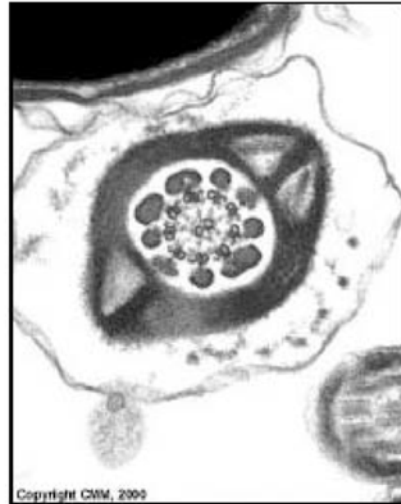
Spermien

- Der Schwanz eines Spermiums heißt Flagellum.
- Die innere Struktur eines Flagellums ist aus elf beweglichen kleinen Röhrchen aufgebaut: Zwei dieser Röhrchen sind im Zentrum, und die anderen neun Röhrchen (die eigentlich jeweils Doppelröhrchen sind), bilden einen Kreis darum herum.
- Flagellen können sich bewegen, da in ihrem Inneren kleine biologische Motoren aktiv werden.

Querschnitt durch ein Känguruh spermium



Querschnitt durch ein menschliches Spermium



"There are more things in heaven and earth, Horatio,
than are dreamt of in your philosophy."

"Es gibt mehr Dinge zwischen Himmel und Erde, als
deine Schulweisheit sich träumen lässt, Horatio."

(Shakespeare, Hamlet, 1601)



Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!

ille.gebeshuber@ukm.my
<http://www.ille.com>