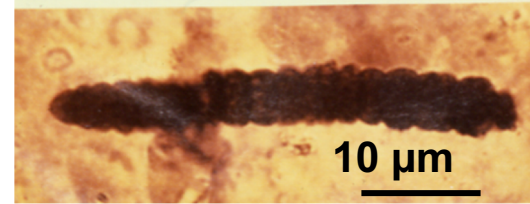
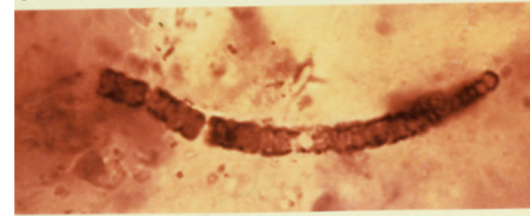


Fossile cyanobakterier, 2 mia år

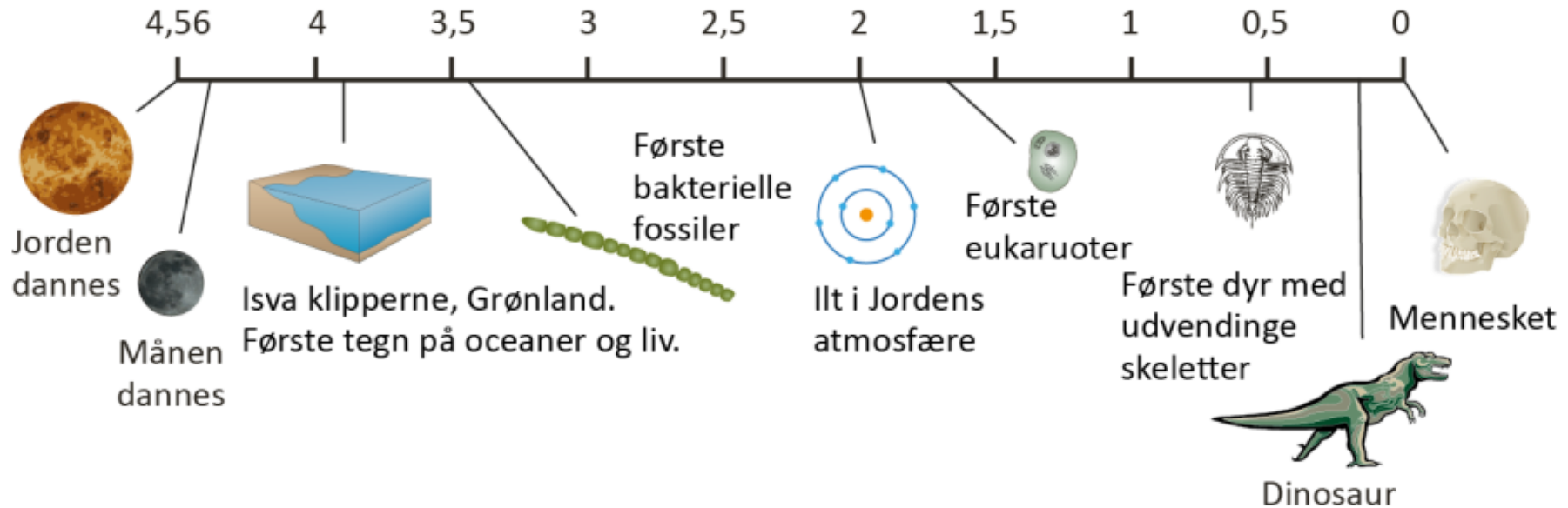
Sulfid-fotosyntese, svovlkredsløb og tidligt liv på Jorden

Bo Barker Jørgensen
Center for Geomikrobiologi
Aarhus Universitet

Levende cyanobakterier fra en saltsø i Sinai



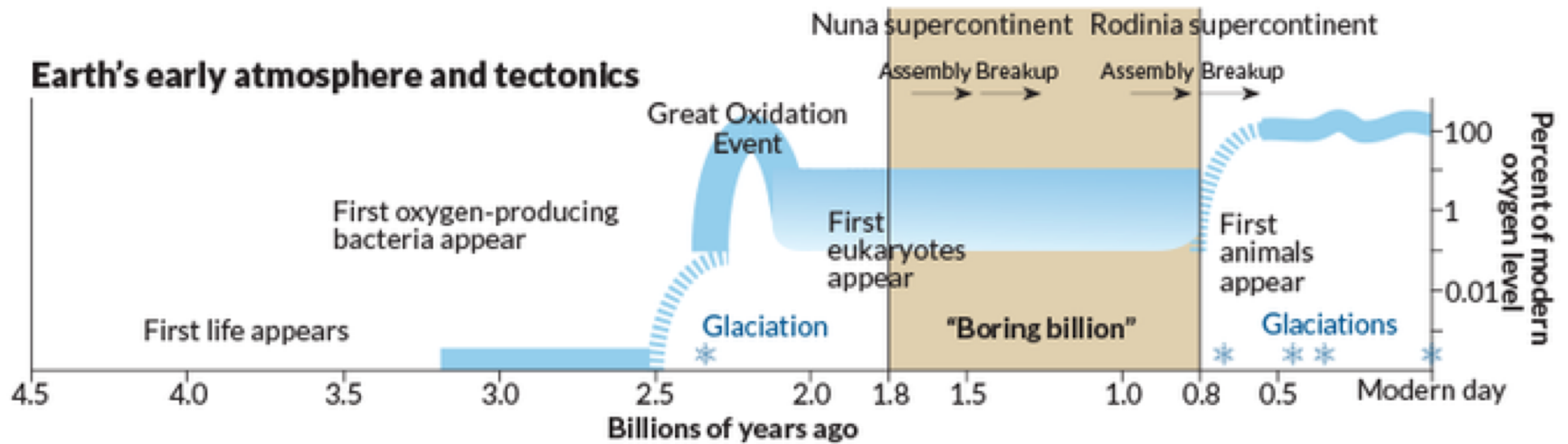
Milliarder år tilbage



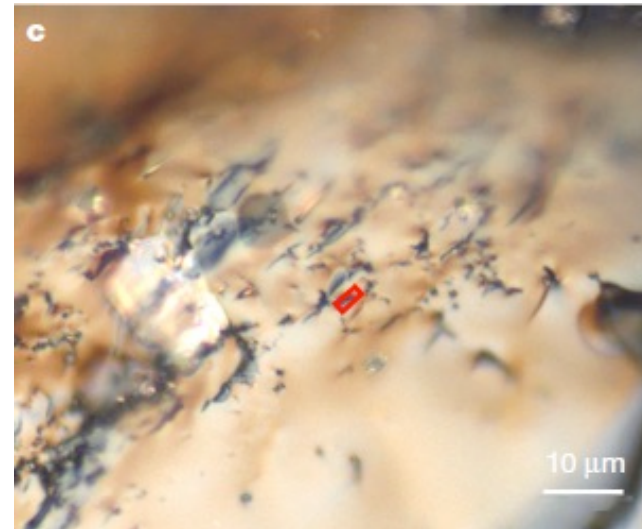
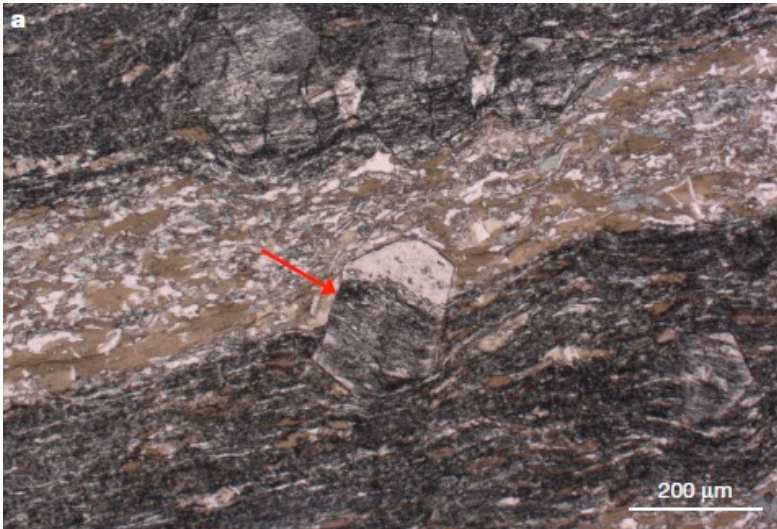
Milepæle i Jordens og livets udvikling:

- Ældste kontinent med tegn på liv, Isua Grønland, 3.7 mia år
- Ældste fossile mikroorganismer, NV Australien, 3.5 mia år
- Udvikling af iltdannende fotosyntese, >3 mia år???
- Iltholdig atmosfære startede for >2.4 mia år siden

Earth's early atmosphere and tectonics



Hadean	Archean	Paleo-	Meso-	Neo-	Phanerozoic
		Proterozoic			

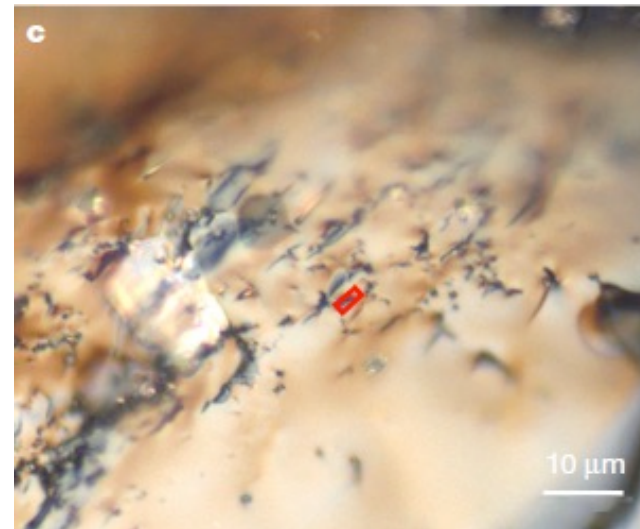
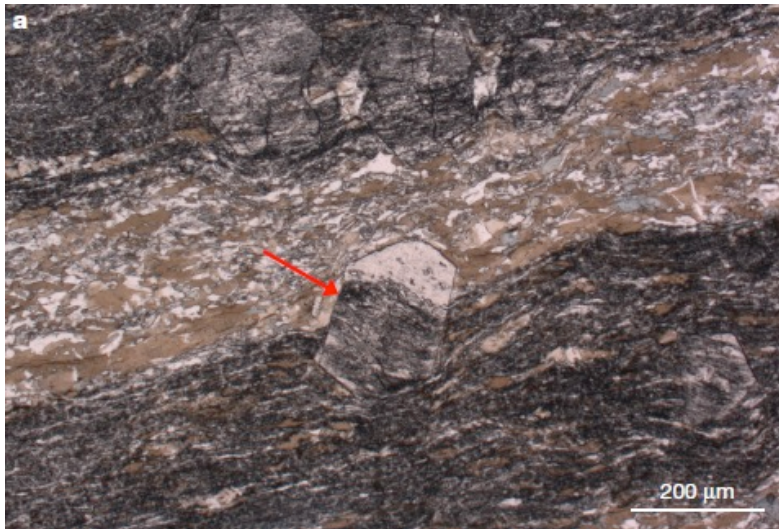


Grafit-lag i 3,7 mia gamle sedimentære bjergarter fra Isua, Grønland
beriget i $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, med C-O og C-N bindinger \Rightarrow organisk oprindelse

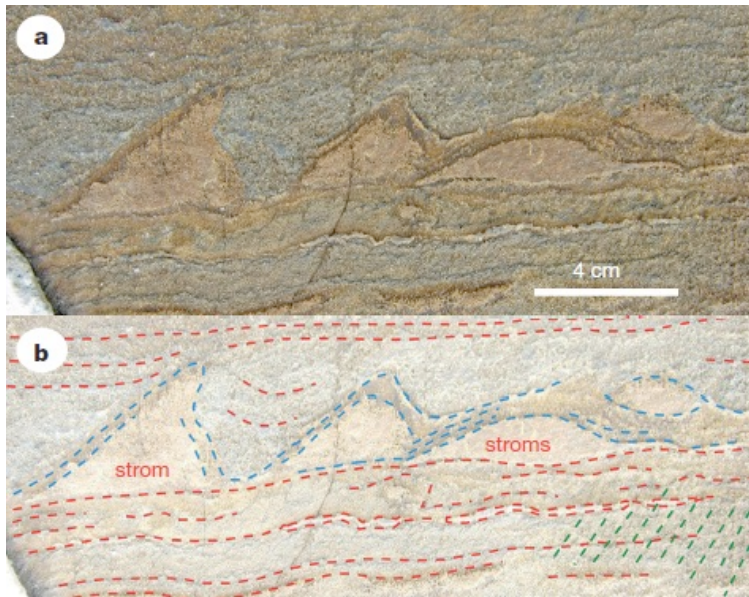
Jordens ældste rester af et kontinent
Første tegn på liv

Rosing, Science 1999
Hassenkam m.fl., Nature 2017

Minik Rosing, "Rejsen til tidernes morgen – Jorden set fra Grønland. Gyldendal, 2019.



Grafit-lag i 3,7 mia gamle sedimentære bjergarter fra Isua, Grønland
beriget i $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, med C-O og C-N bindinger \Rightarrow organisk oprindelse



Jordens ældste rester af et kontinent
Første tegn på liv

Rosing, Science 1999
Hassenkam m.fl., Nature 2017

Strukturer af fossile bakteriemåtter fra Isua?

Nutman m.fl., Nature 2016

Tilbagevist af Allwood m.fl., Nature 2018

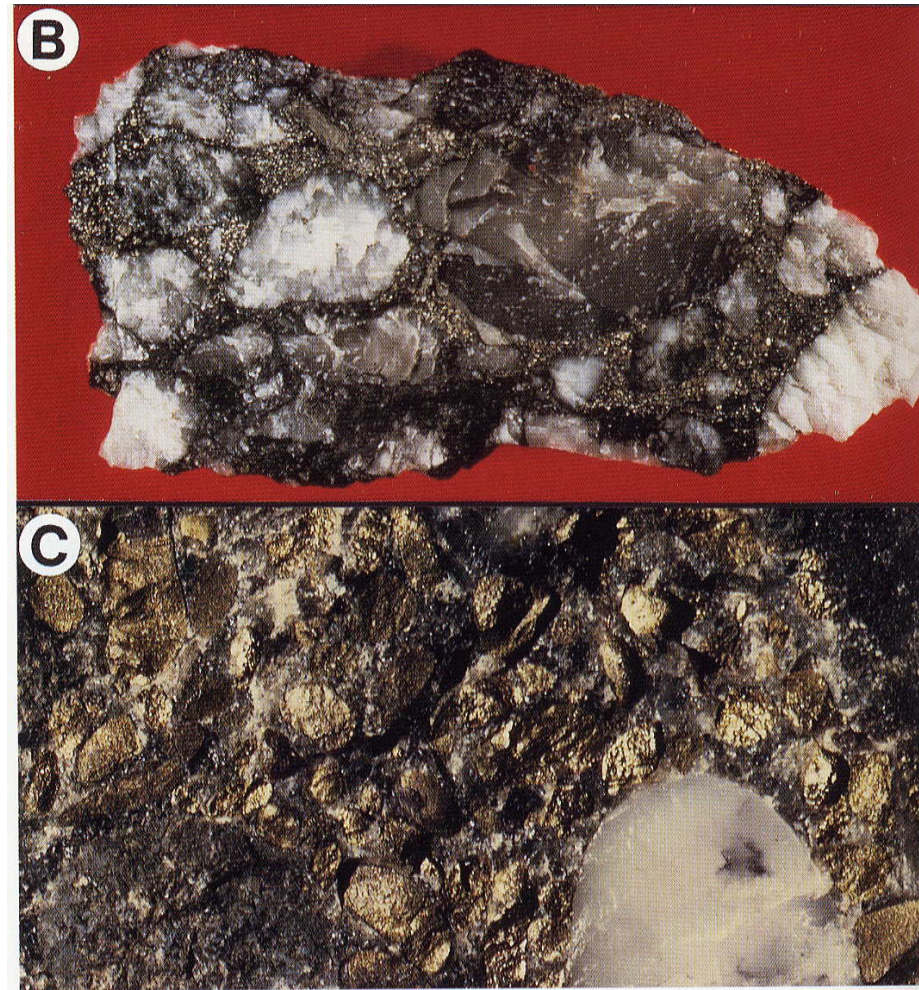
Tegn på vand på den tidlige Jord:

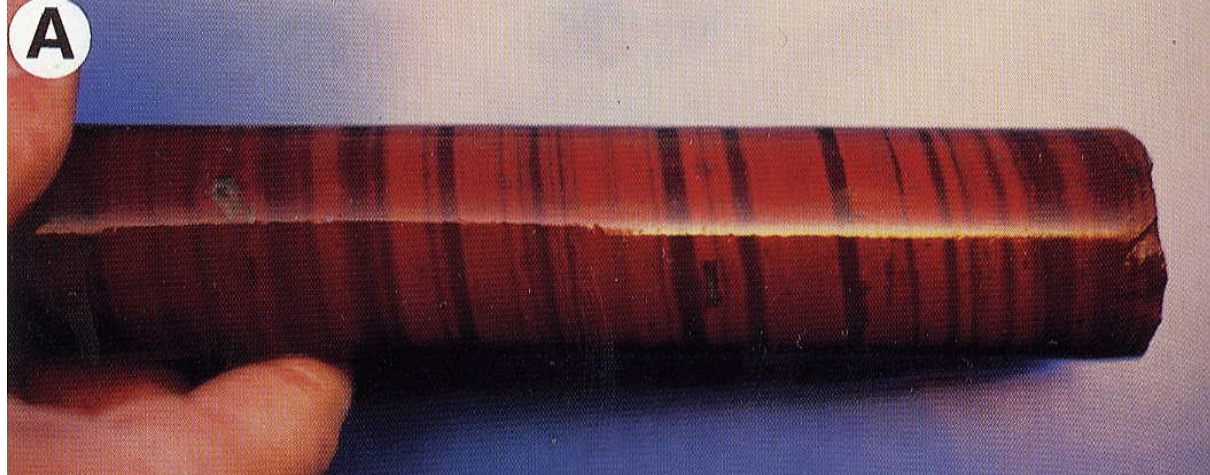
- A) Pude-lava dannet i havet for 3.5 mia år siden, Sydafrika
- B) Bølgeslagsmærker for 3.3 mia år siden, Sydafrika
- C) Skurestriber af gletchere for 750 mio år siden, Norge



Tegn på tidlig iltfri atmosfære:

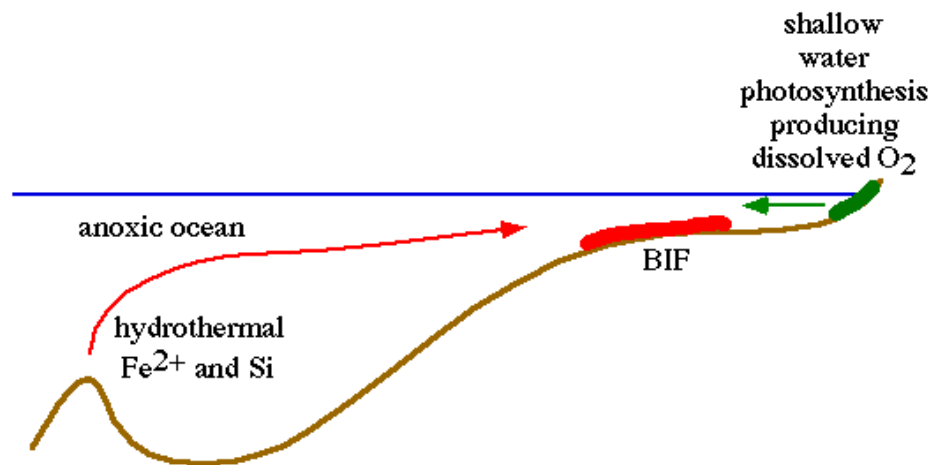
- Konglomerat med vandslebet grus af pyrit
- Pyrit (FeS_2) oksideres og nedbrydes af ilt
- Det tyder på erosion i et flodleje under en iltfri atmosfære
- 2.5 mia år, Sydafrika
- Ringe uran-mobilitet i iltfrit miljø

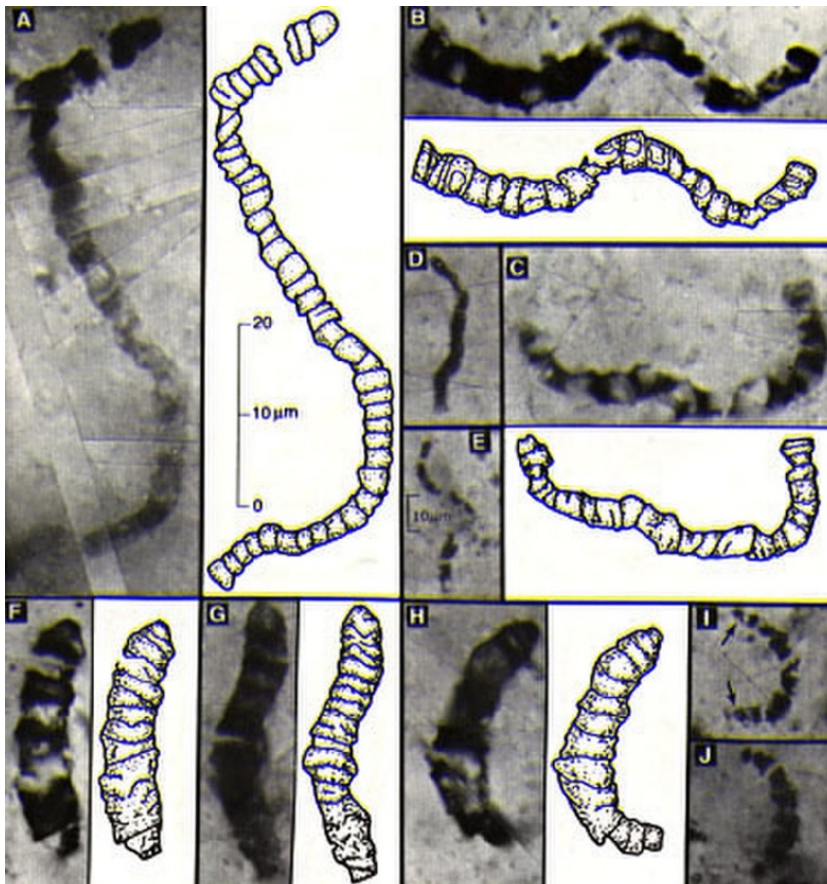




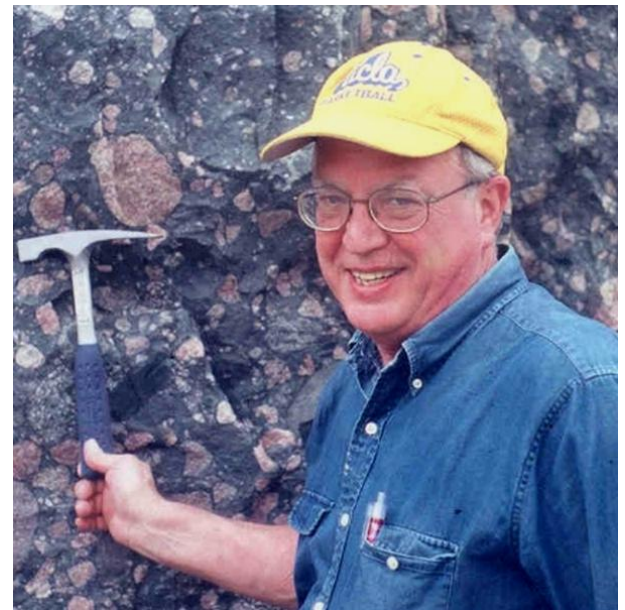
Båndet jernmalm ("banded iron formation" –BIF)

BIF blev hovedsageligt dannet for 2.5-2.0 mia år siden
 BIF skyldes en gradvis iltning af de jernholdige oceaner
 Oceanerne "rustede" - det startede i de øvre vandmasser

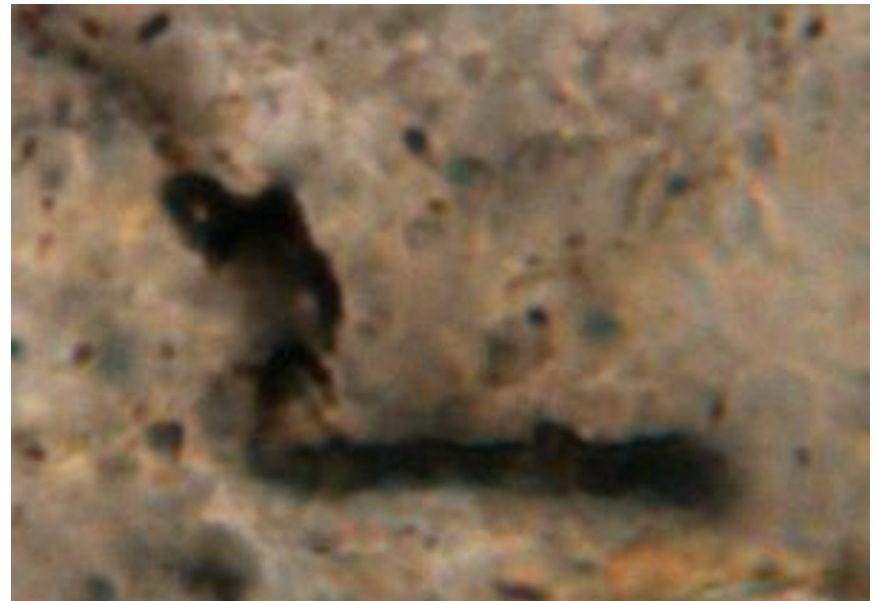




Bill Schopf
UCLA



Fossil bakterie fra Bitter Springs,
Vest Australien, 3.46 mia år
nanoSIMS viste beriget $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$



Mikroorganismer i flint:

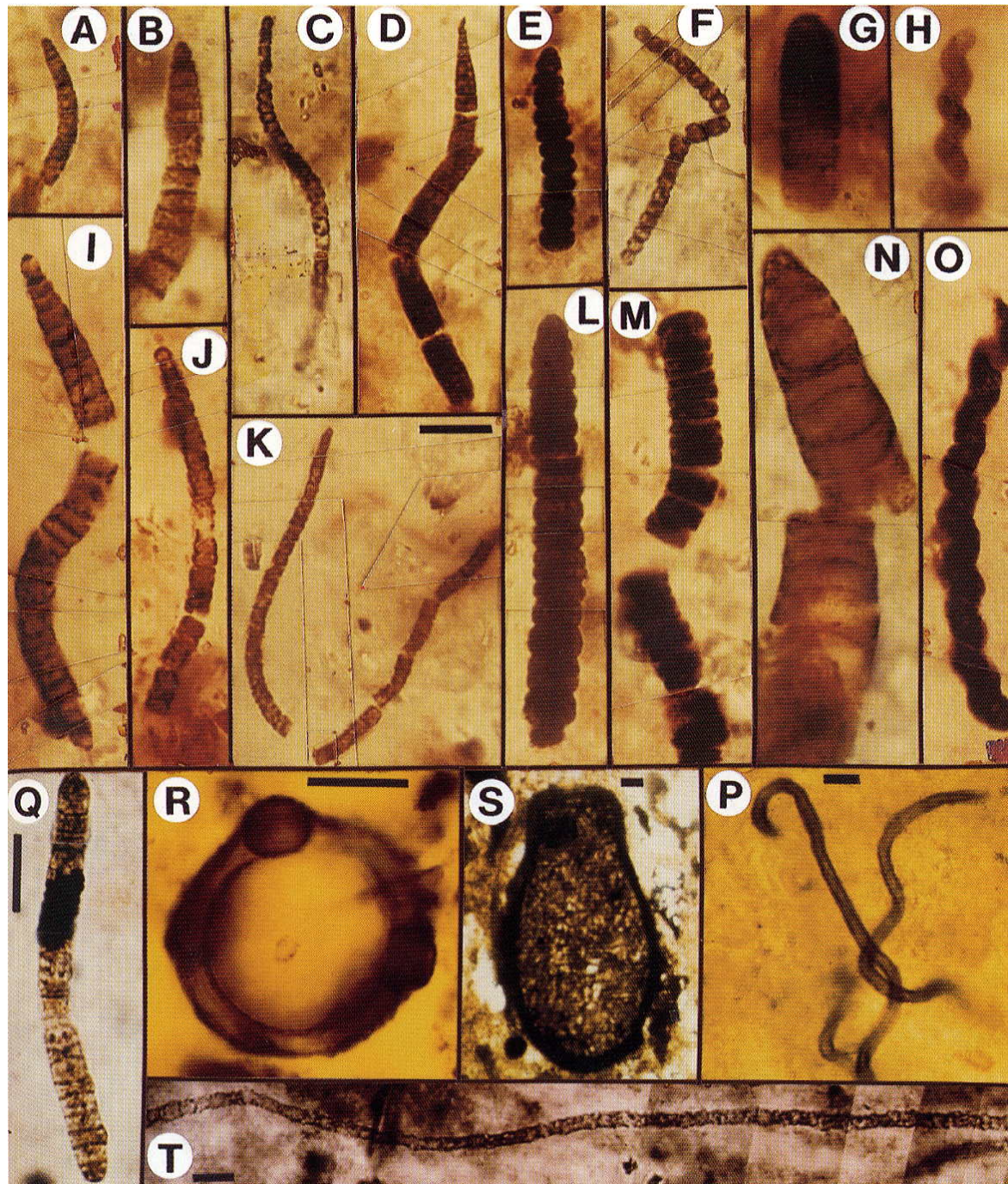
A-P) Bitter Springs Fm., Australia
filamentous cyanos, 850 Ma

Q) Barney creek Fm.,
1500 Ma

R) Gunflint Fm., Canada
double-layered spheroid,
2100 Ma

S) Kwagunt Fm, Arizona,
vase-shaped protozoan
850 Ma

T) Skillogalee Dolomite, Australia
770 Ma



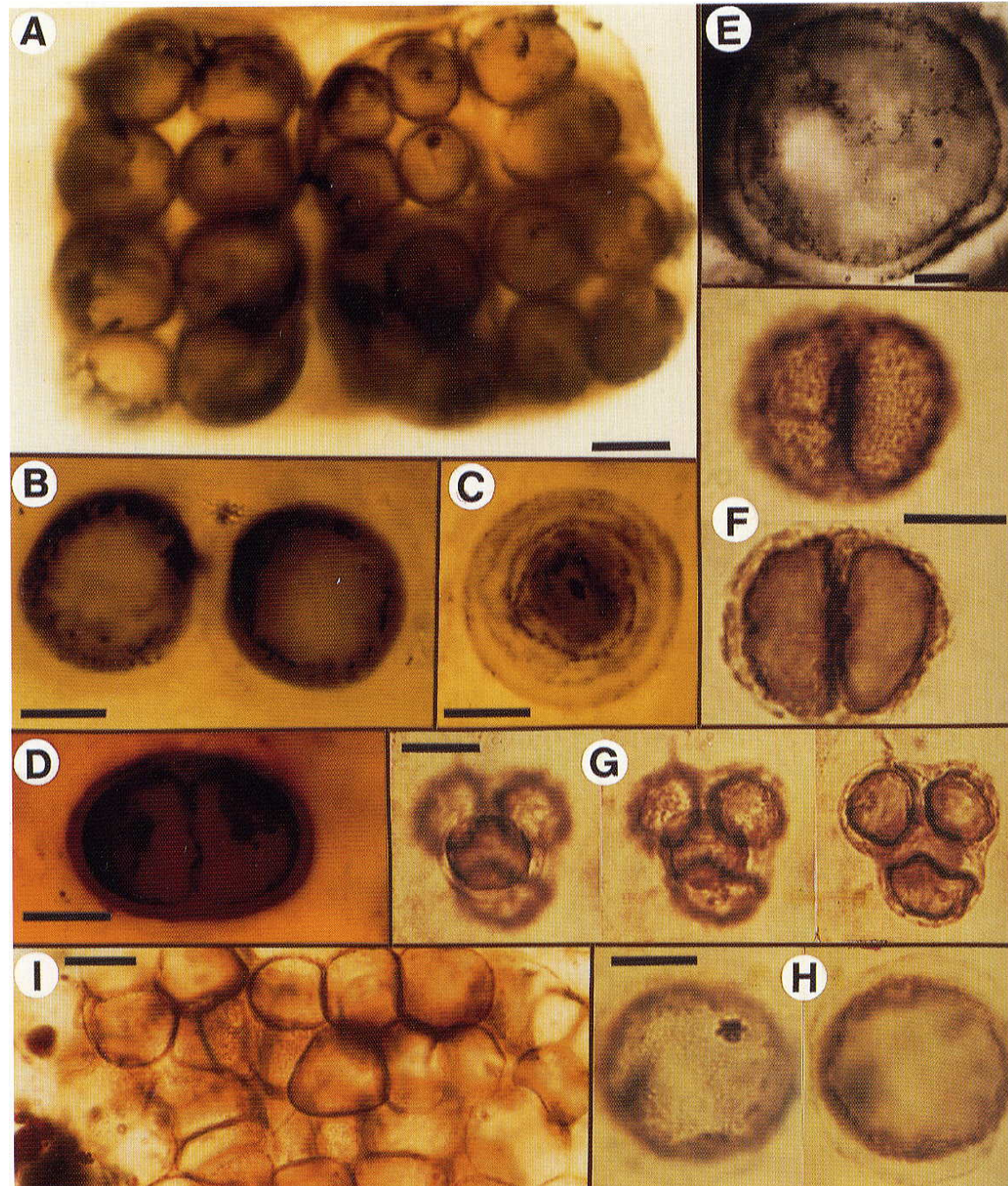
Sfæriske celler i flint:

A-D) Sukhaya Tunguska Fm.,
Siberia, 1000 Ma

F-H) Bitter Springs, Australia, 850
Ma

E) Skillogalee dolomite, Australia,
770 Ma

I) Chichkan Fm., Kazakhstan, 650
Ma



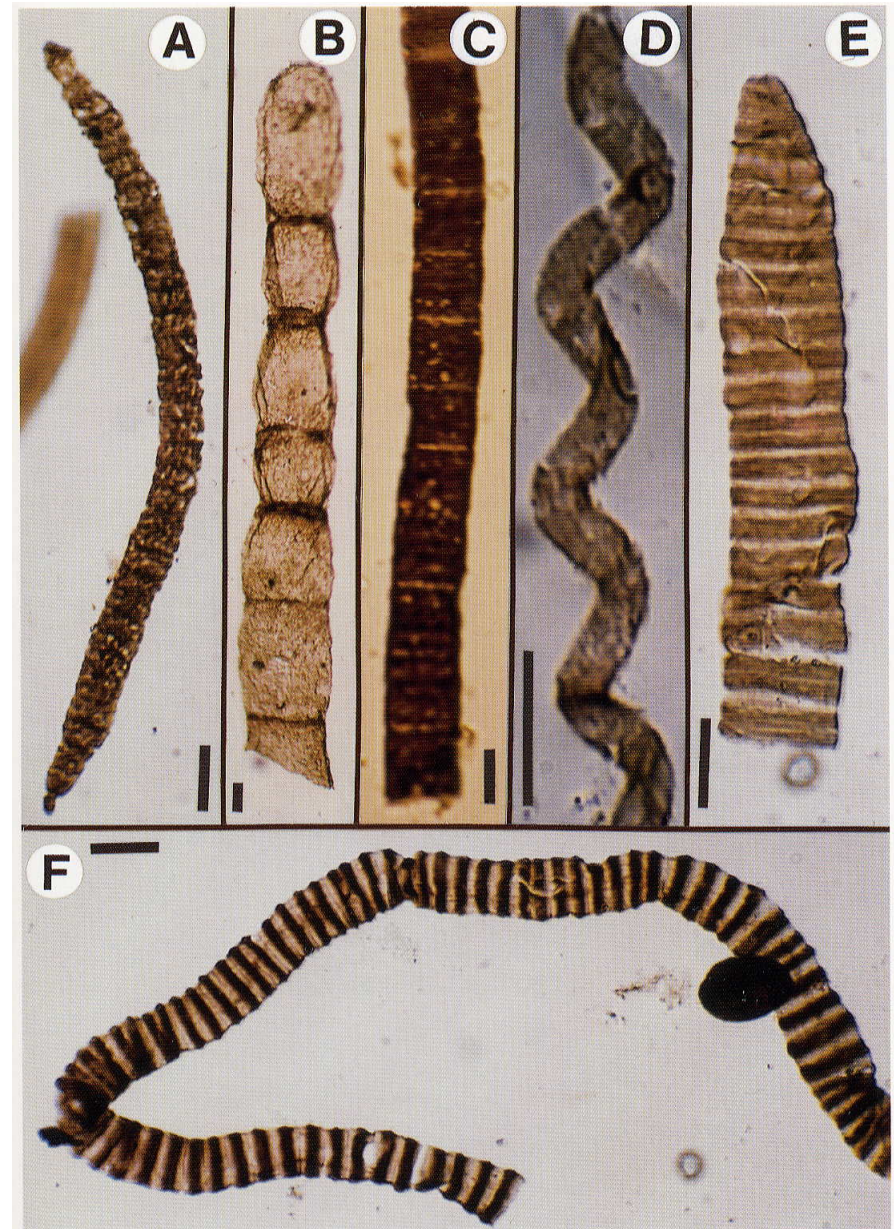
Trådformede bakterier i siltsten
(Siberien):

A+B) Miroedikha Fm., 850 Ma

C) Derevnaya Fm., 950 Ma

D) Bashkiria Fm., 925 Ma

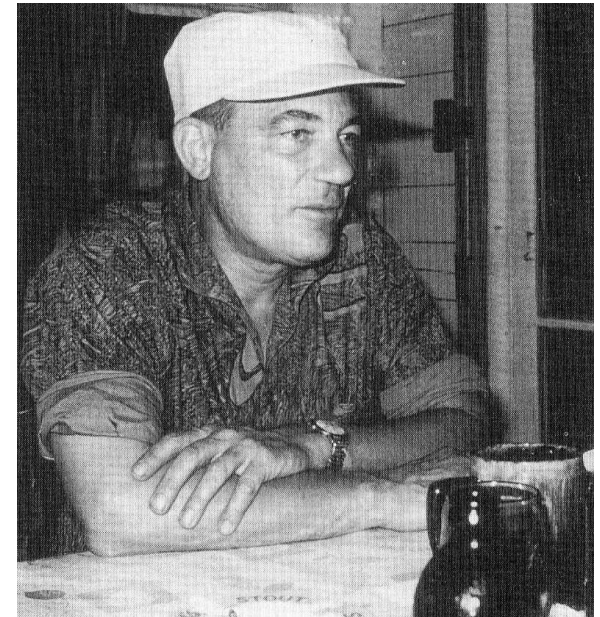
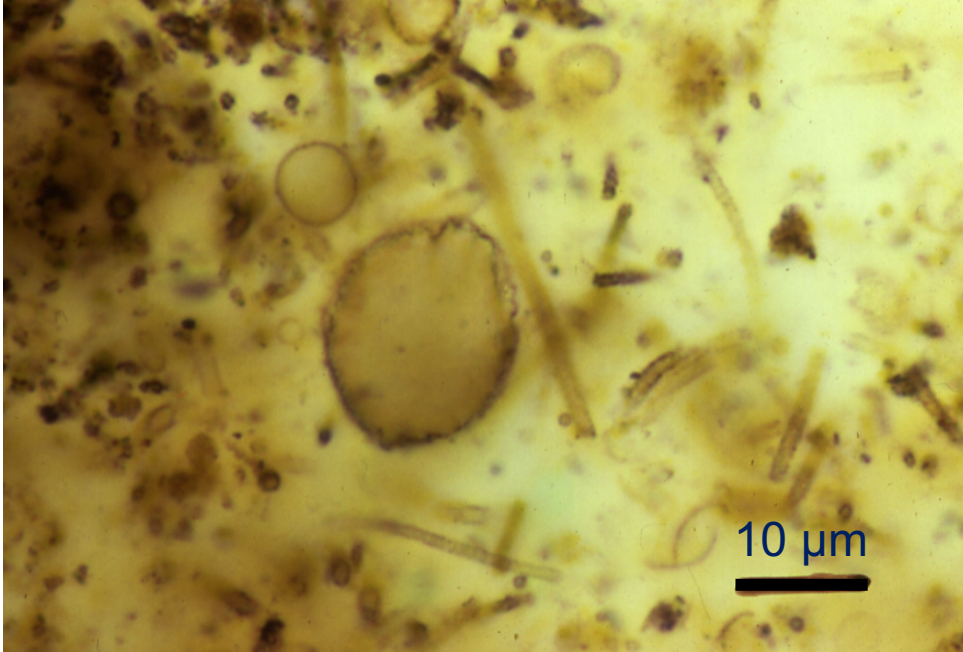
E+F) Shtandin Fm., 925 Ma





Flint fra Lake Superior, Kanada
ca. 2 mia år
(ca. 4x6 cm)

Første opdagelse af fossile bakterier

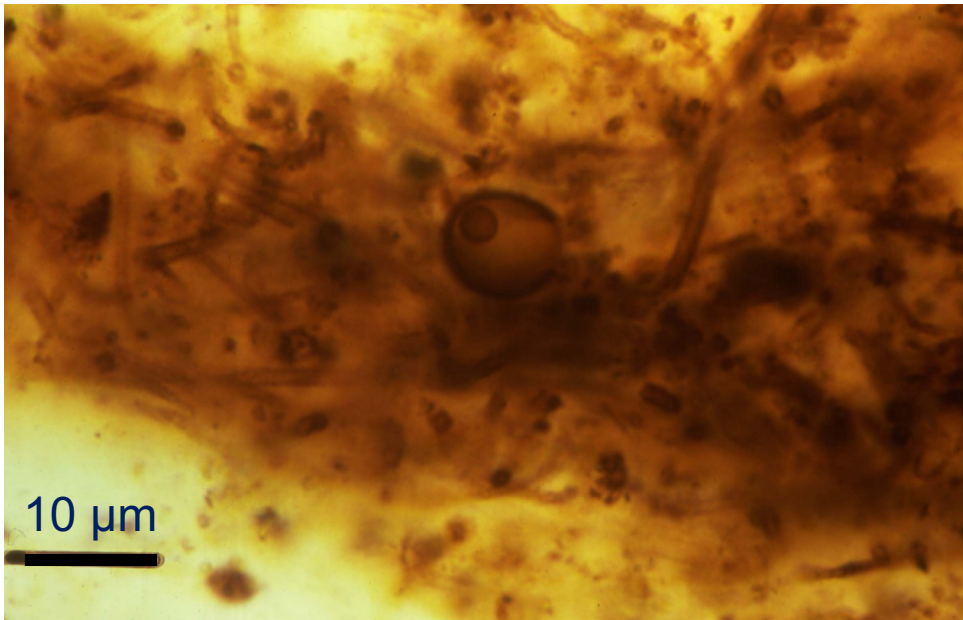


Elso S. Barghoorn, 1964,
amerikansk botaniker



Flint fra Lake Superior, Kanada
ca. 2 mia år
(ca. 4x6 cm)

Første opdagelse af fossile bakterier



Celle inden i større celle:
Start på eukaryot celle
med organel??



Stromatoliter fra Sydafrika, 2.3 mia år



Levende stromatoliter i
Shark Bay, Vest-Australien



Stromatoliter fra Sydafrika, 2.3 mia år



To mikrobielle måtter:
Venstre: Fra Gletcher Nationalpark, 1.3 mia år
Højre: Fra saltsø i Mexico, nulevende

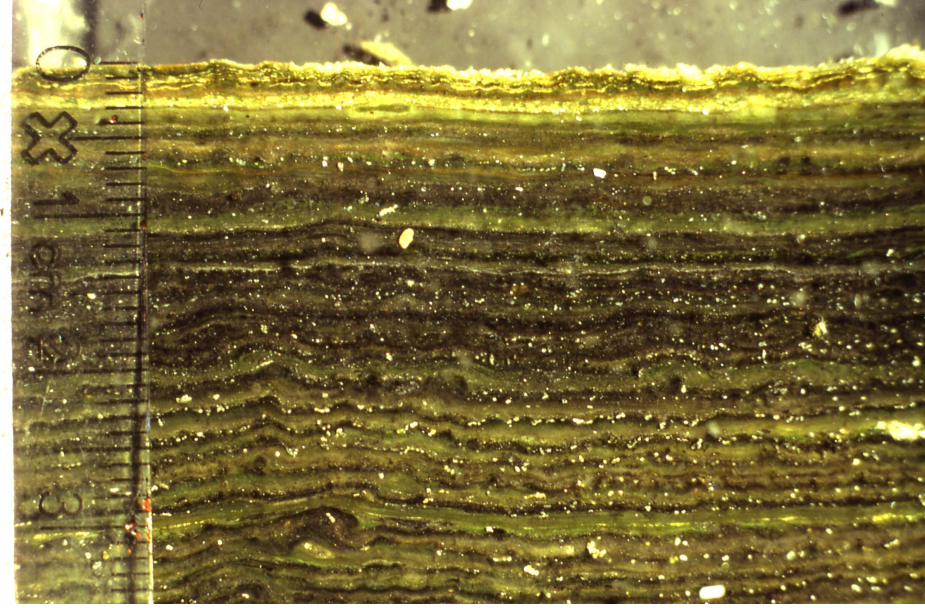
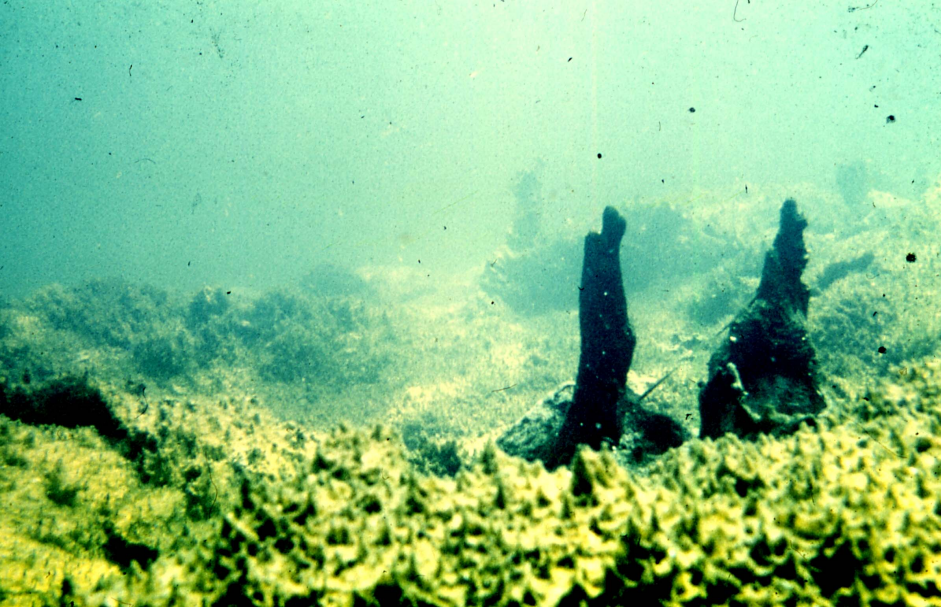


Levende stromatoliter i
Shark Bay, Vest-Australien

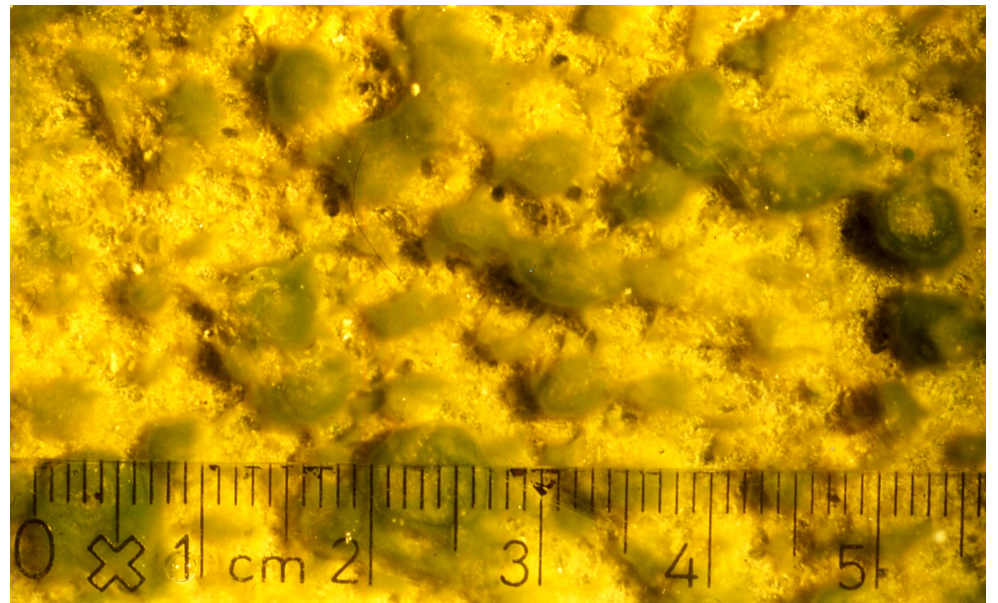
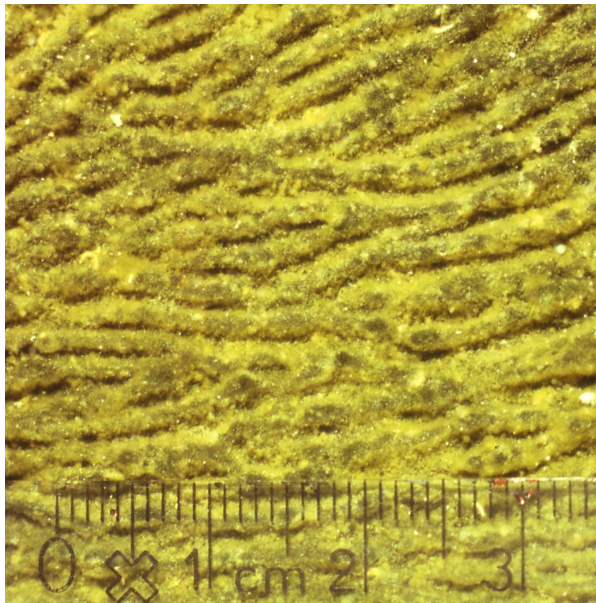


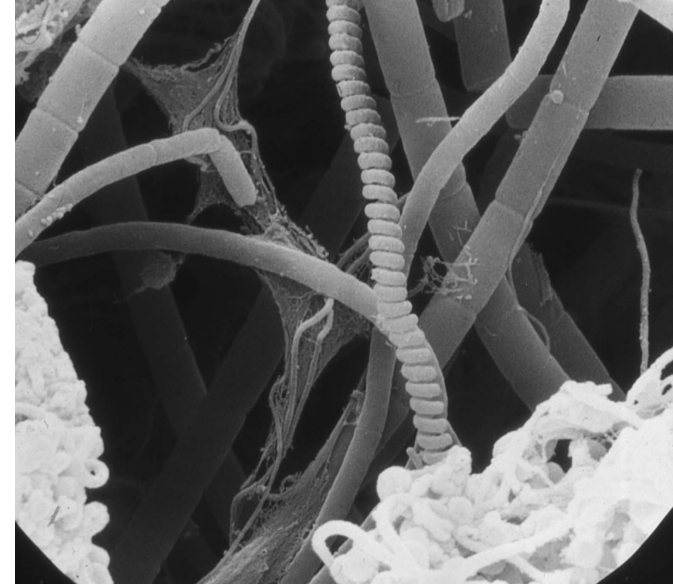
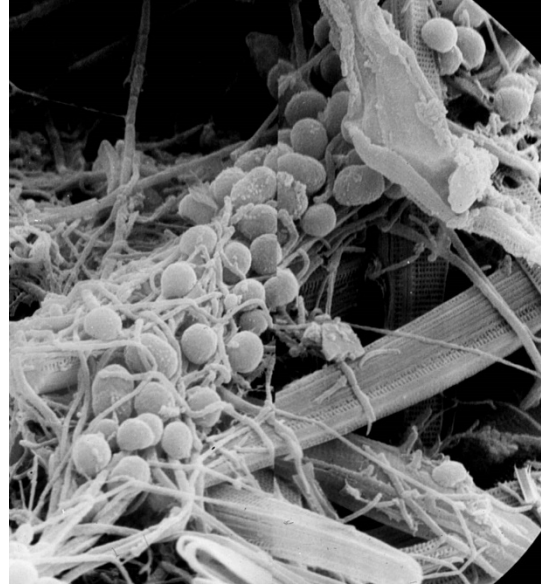
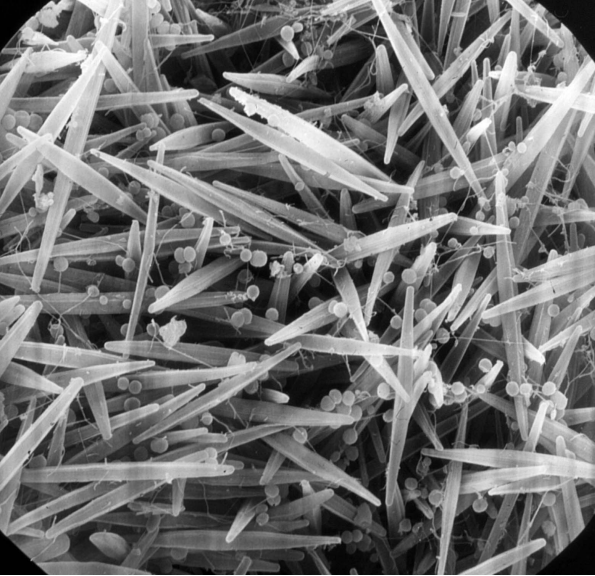
Solar Lake, Sinai: a hypersaline pond on the Red Sea shore



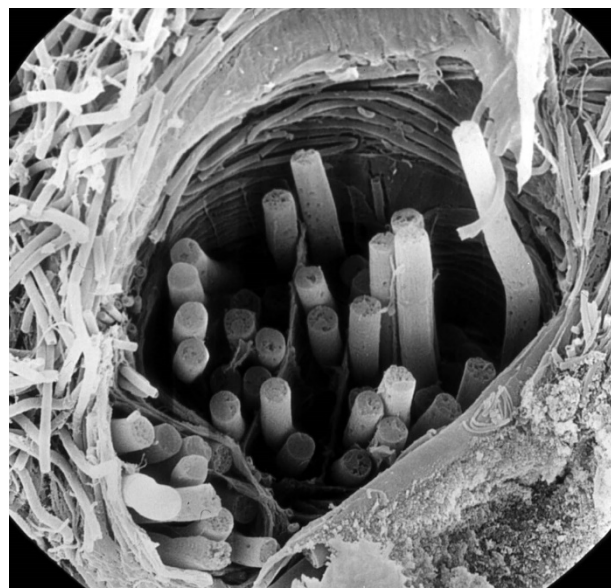


Solar Lake, Sinai: UW photo, mat section, mat surfaces

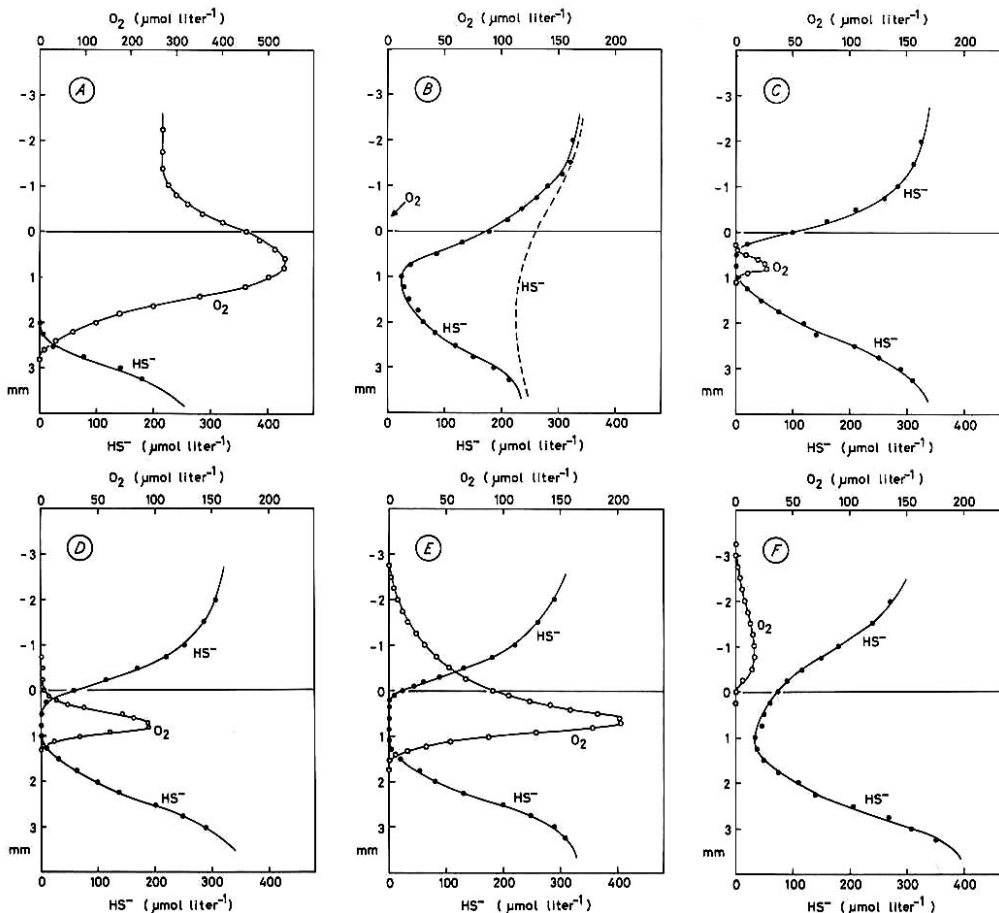




Diatomeer (kiselalger, 10 μm diameter) og cyanobakterier (ca. 3 μm diameter) i mikrobielle måtter fra Solar Lake, Sinai (TEM: Yehuda Cohen)



Cyanobakterie-måtte skifter imellem
(primitiv) anoxygen fotosyntese om morgenen,
(moderne) oxygen fotosyntese om dagen

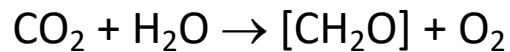


- A) Iltet miljø i dagslys
- B) Nat, sulfid fortrænger ilt,
morgen, anoxygen fotosyntese
- C) Sulfid brugt op
⇒ oxygen fotosyntese starter
- D) Iltzone bygges op
- E) Ilt trænger op i vandet
- F) Efter solnedgang, sulfid igen

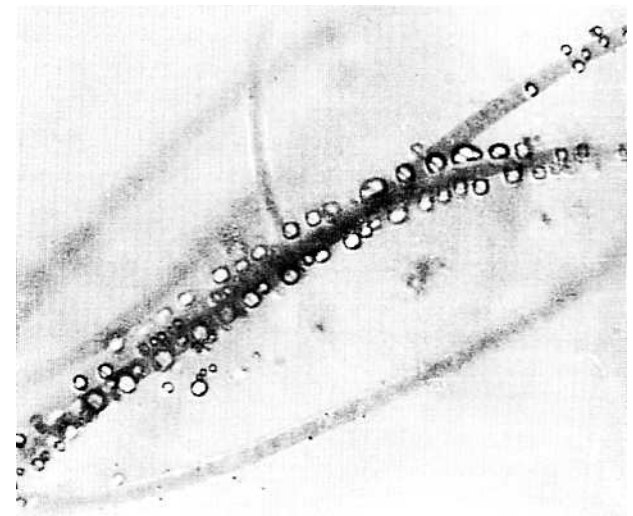
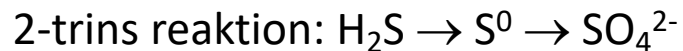
Cyanobakterie-måtte skifter imellem
(primitiv) anoxygen fotosyntese om morgenen,
(moderne) oxygen fotosyntese om dagen



Oxygen fotosyntese:

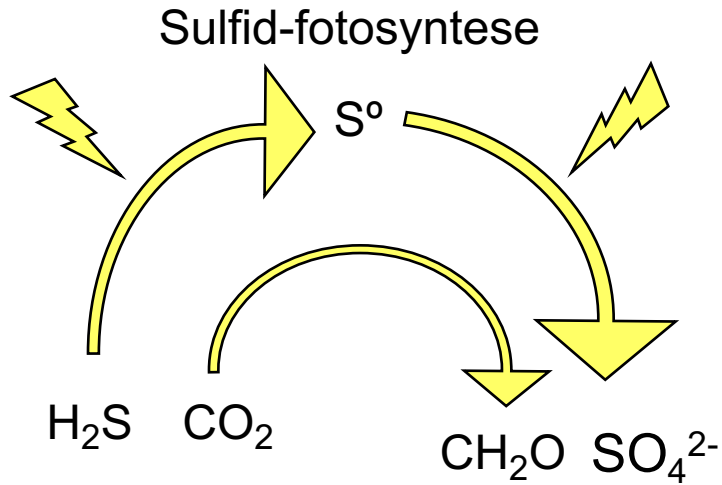


Anoxygen fotosyntese:

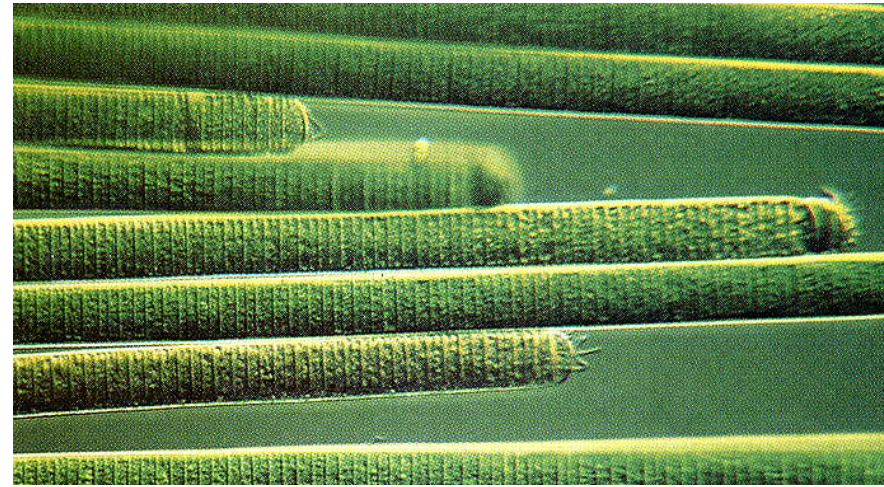


Cyanobakterie danner svovlkorn

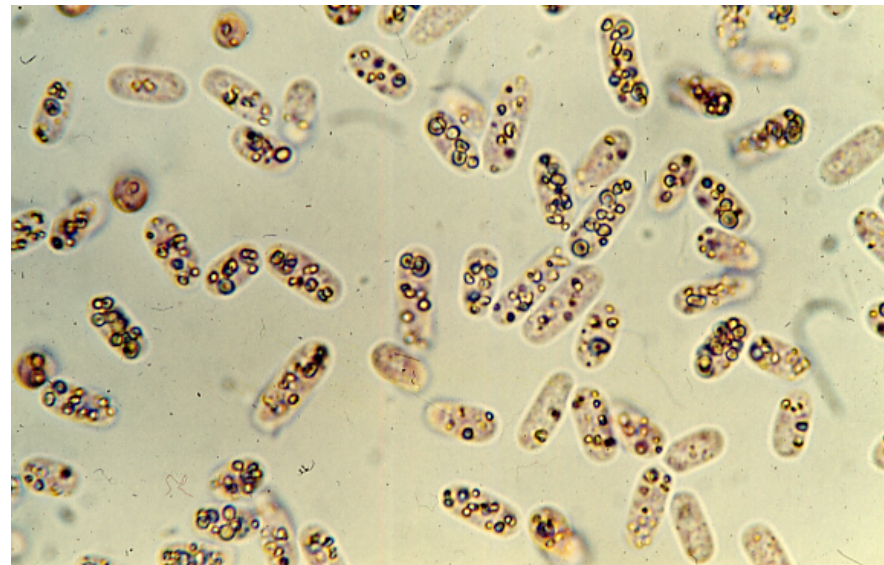
Svovlkredsløb
før ca. 2.5 mia år



H_2S = svovlbrinte
 CO_2 = kuldioxid
 $[\text{CH}_2\text{O}]$ = organisk stof
 SO_4^{2-} = sulfat

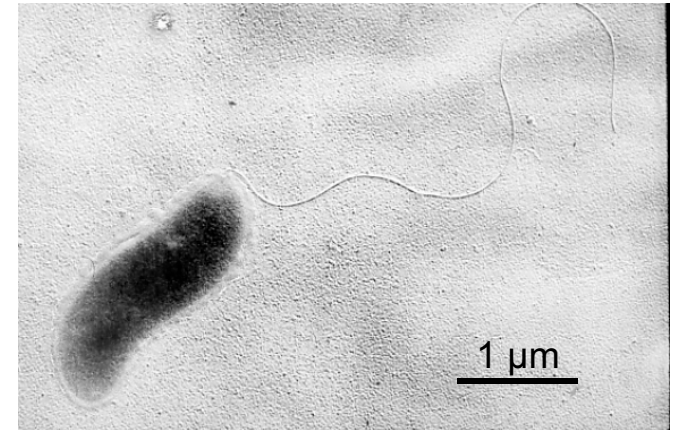
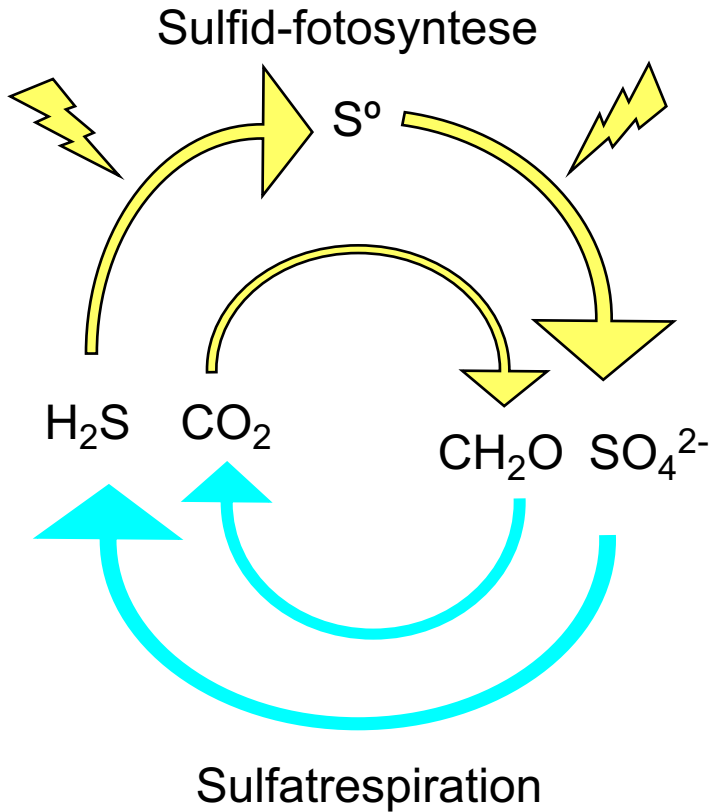


Cyanobakterier



Purpur svovlbakterier

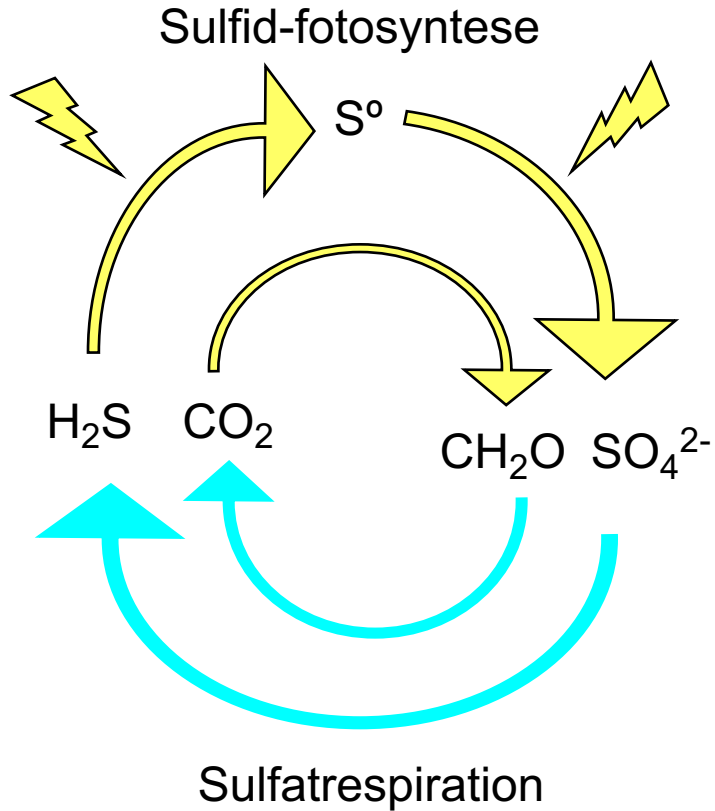
Svovlkredsløb
før ca. 2.5 mia år



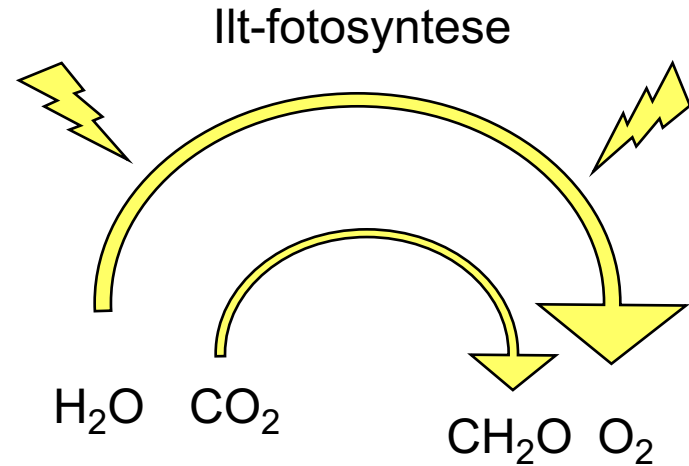
Sulfatrespirerende
bakterier



Svovlkredsløb
før ca. 2.5 mia år

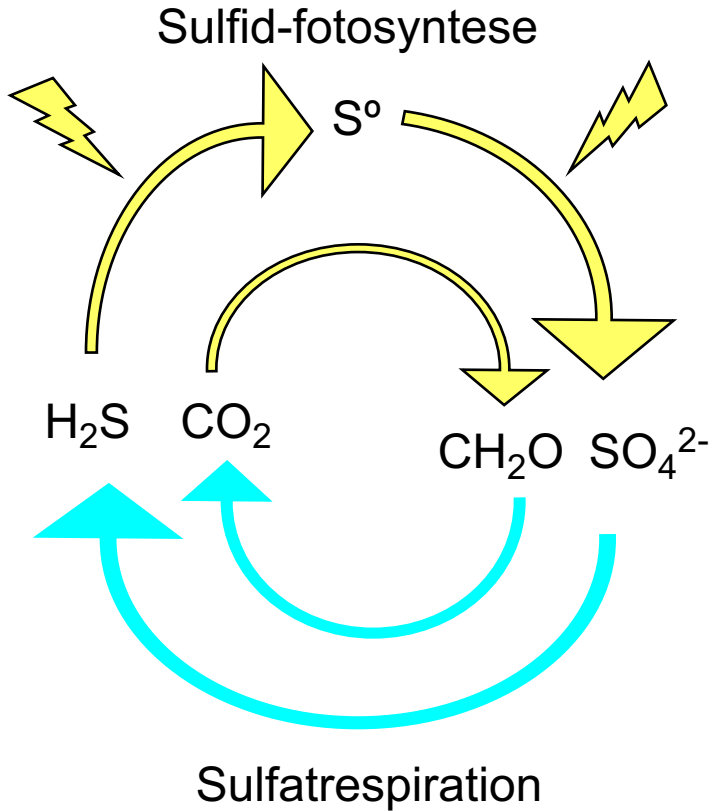


Iltkredsløb
efter ca. 2.5 mia år

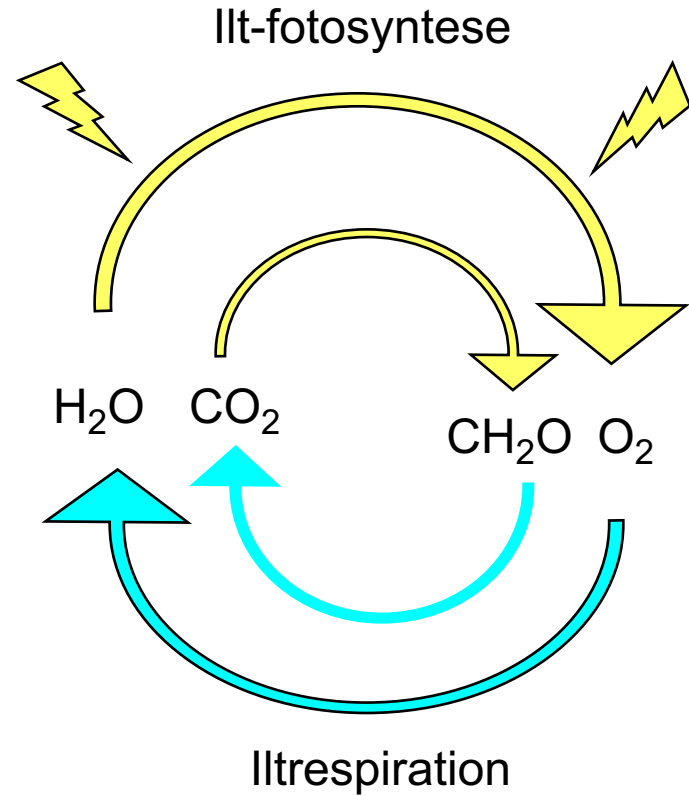


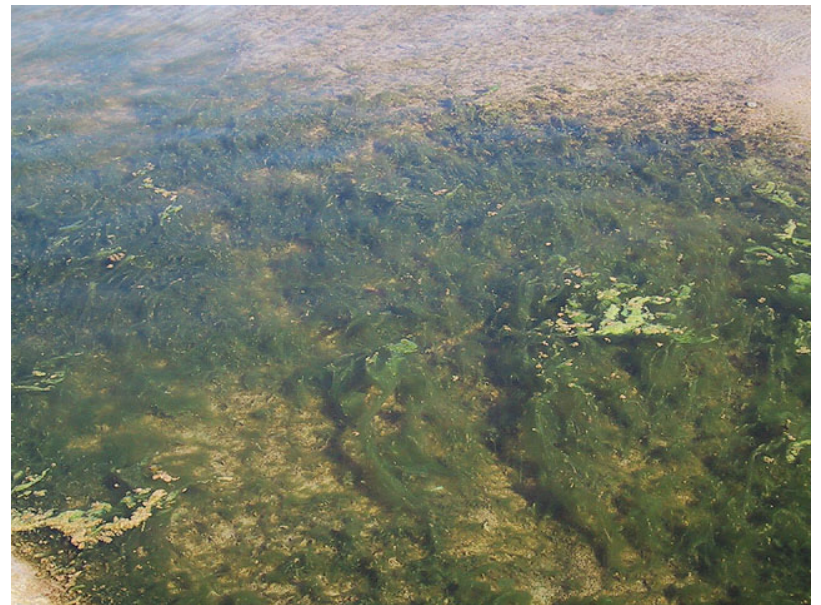
H_2O = vand
 CO_2 = kuldioxid
 $[\text{CH}_2\text{O}]$ = organisk stof
 O_2 = ilt

Svovlkredsløb
før ca. 2.5 mia år

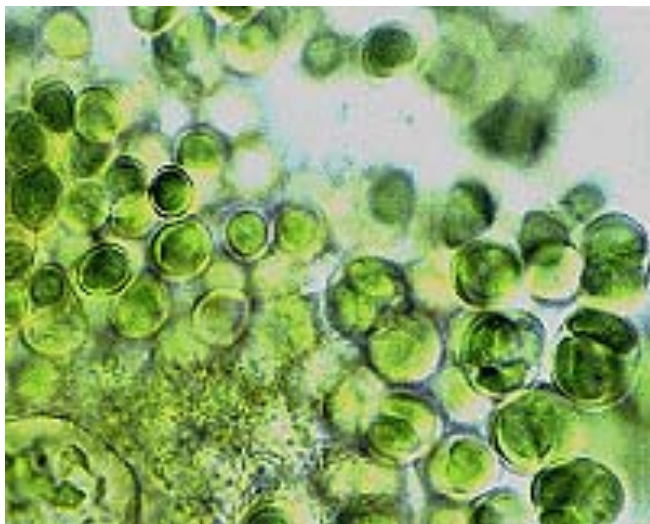


Iltkredsløb
efter ca. 2.5 mia år

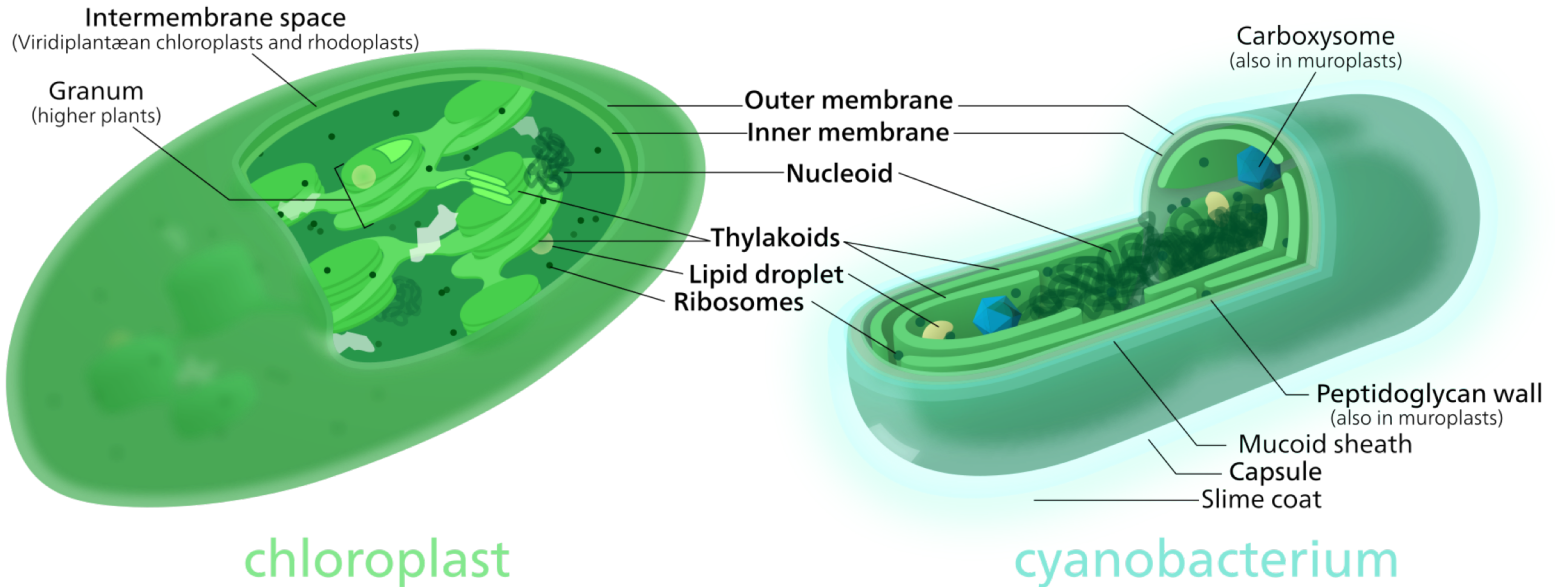




Oxygen fotosyntese:
Grønalger, cyanobakterier



Endosymbiont teori: Fra cyanobakterier til kloroplaster



Grønne planters kloroplaster formerer sig ved tve-delning - de nydannes ikke af plantecellen
Kloroplaster indeholder et 100-200 kb genom beslægtet med cyanobakterie genomer

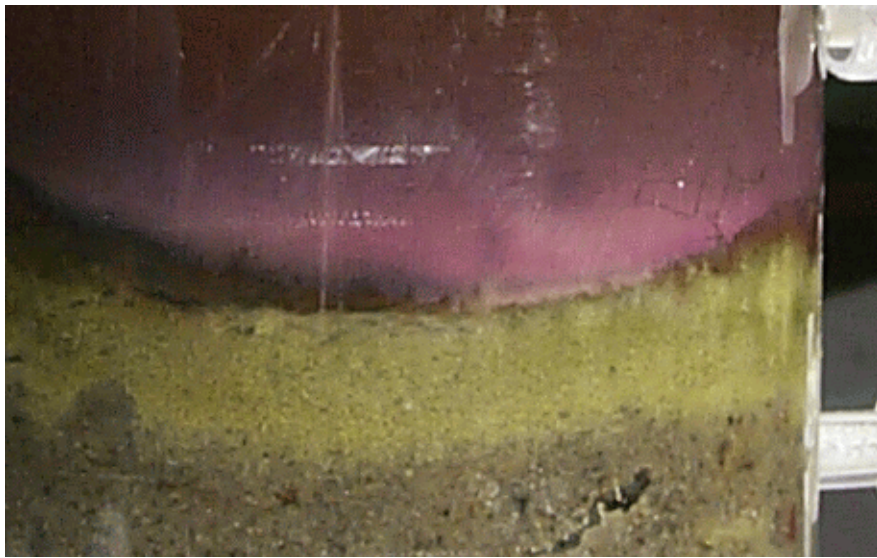


Den danske fjordbund: Fra iltet bundvand til iltsvind

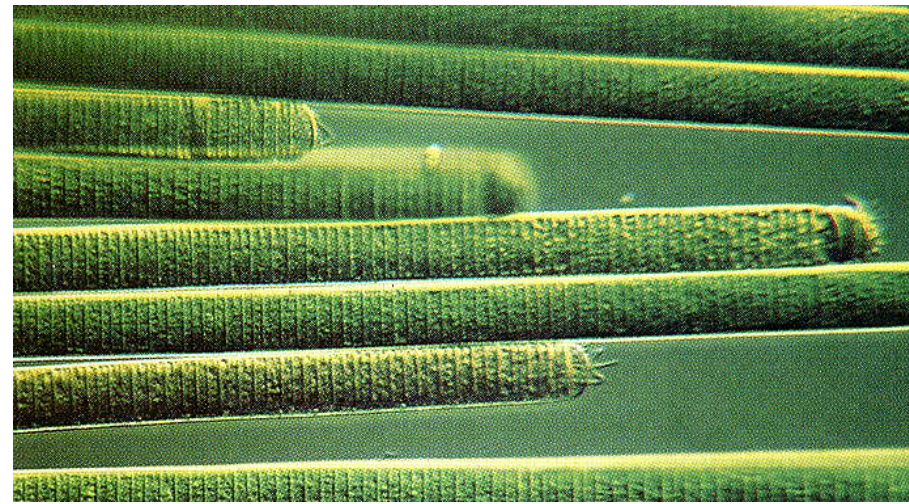
DMU Tema-rapport, 42/2002

Fyns Amt rapport, 2001

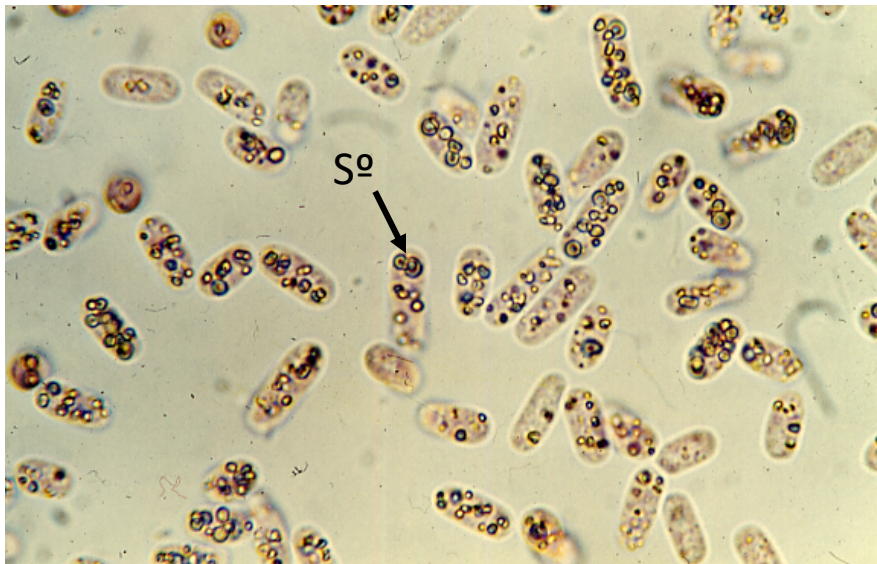




Anoxygen fotosyntese:
Purpur svovlbakterier



Cyanobakterier



Moderne purpur svovlbakterier (*Chromatium*)
med svovlkorn i cellerne

Grønalger og purpur svovlbakterier





Rødkov Havkajak

Gl. Løsten Strandkro

Pilehuset

Sulfuret

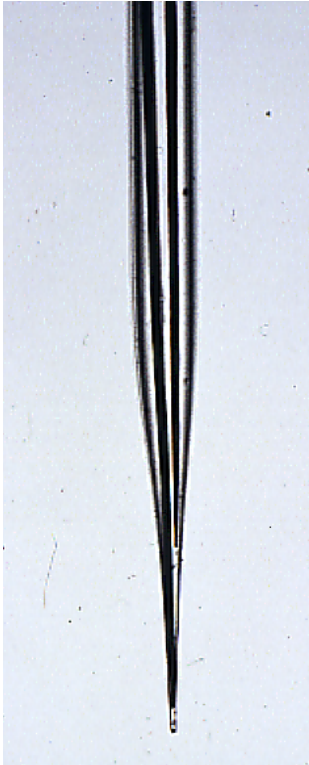
Google

Vosnæs Pynt
Vosnæsvej

Mikrosensorer: Måleparameter og spidsdiameter

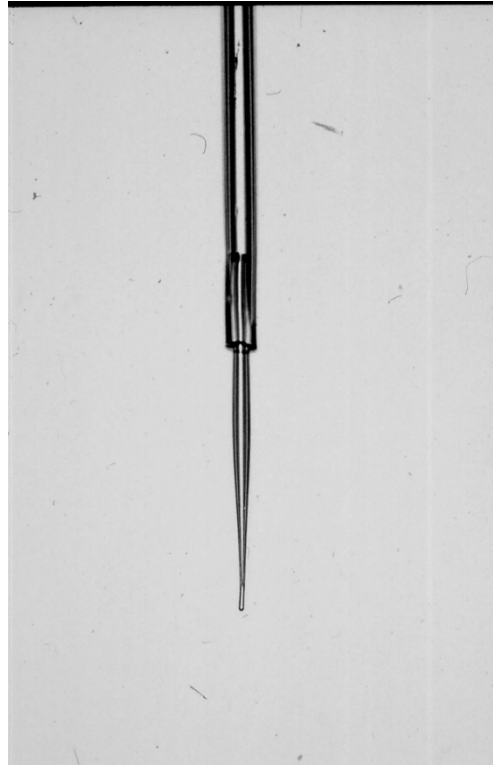
Et menneskehår er 50-100 μm

Ilt



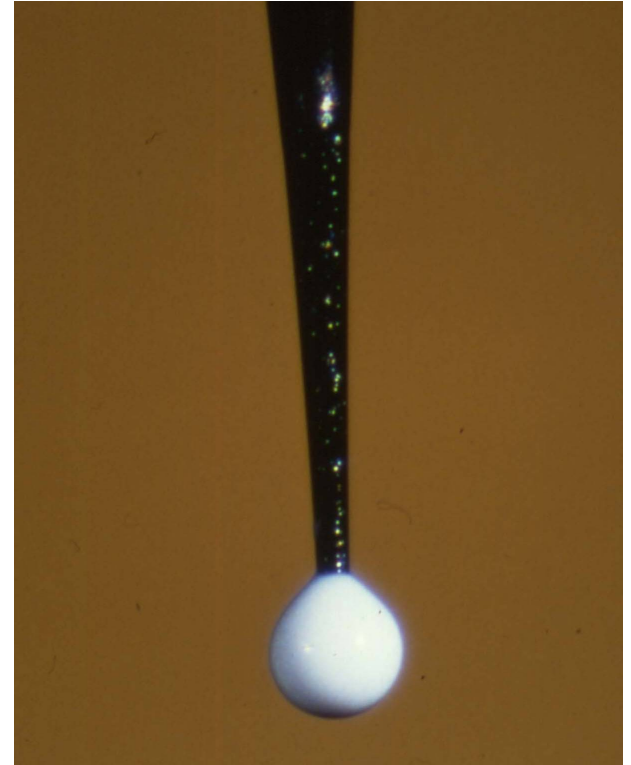
5 μm

pH



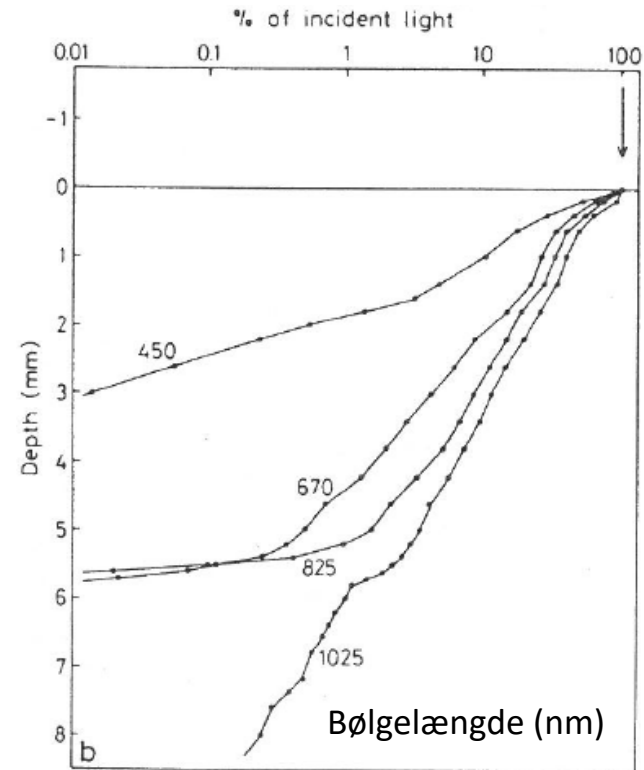
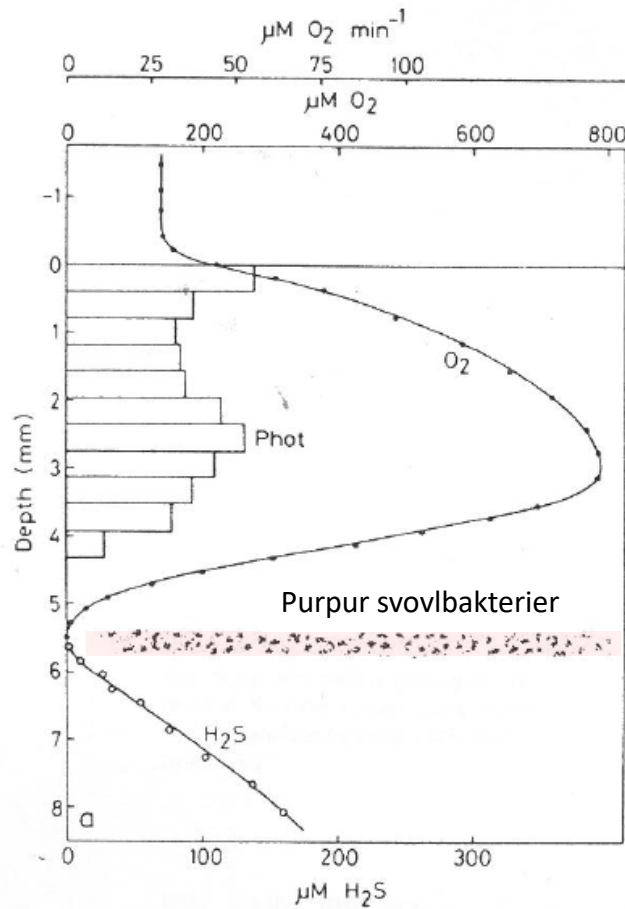
20 μm

Lys

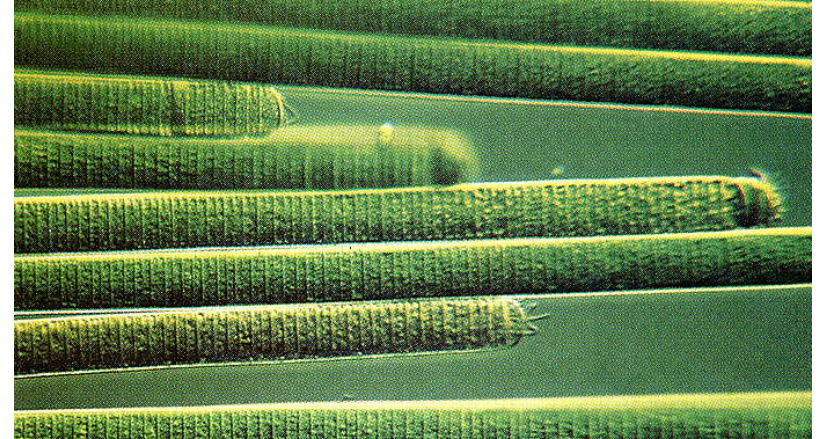
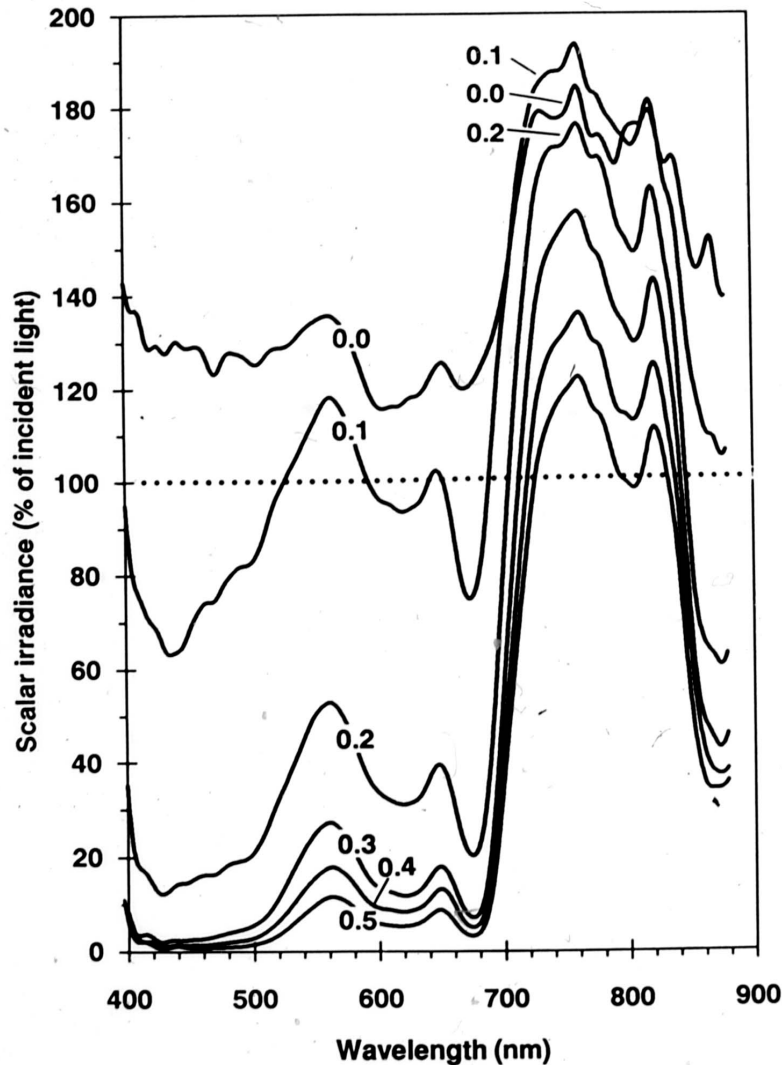


70 μm

Cyanobakterie-måtte fra saltsø, Mexico

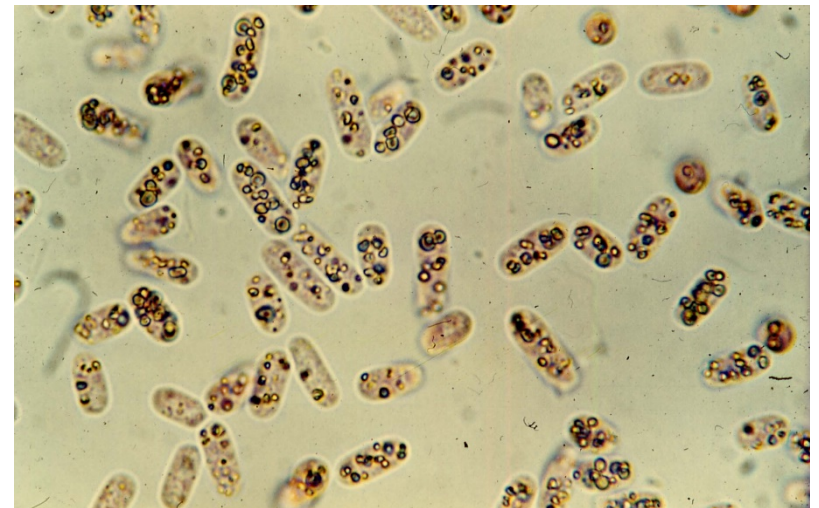


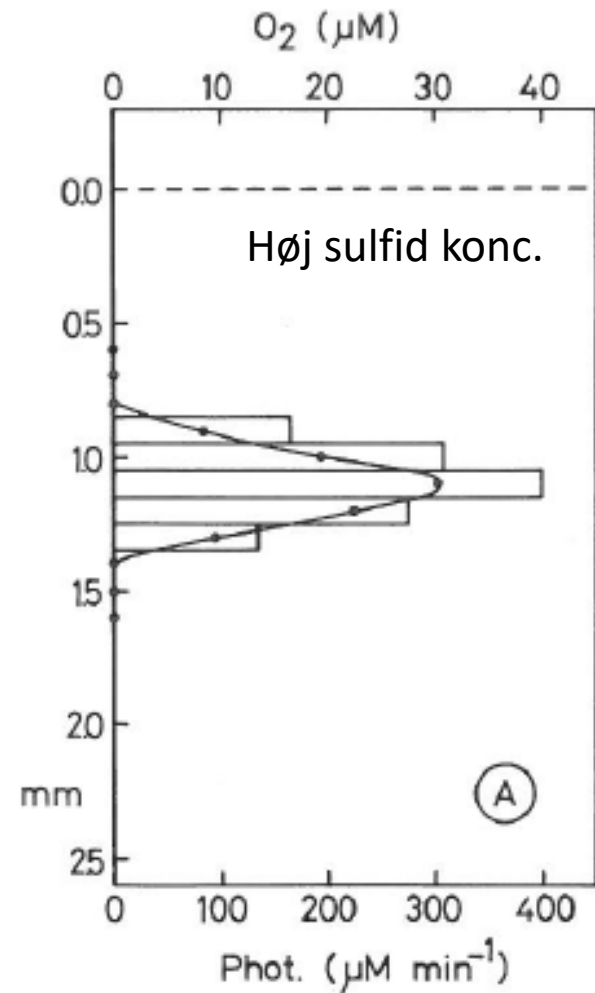
Spectral light distribution in cyanobacterial mat, Baja California, Mexico:
Visible light (400-700 nm) used by cyanobacteria only in top 0.3 mm
Deeper only infrared light (>700 nm) used by purple sulfur bacteria



Cyanobacteria (0.0-0.3 mm)

Purple sulfur bacteria (>0.3 mm)



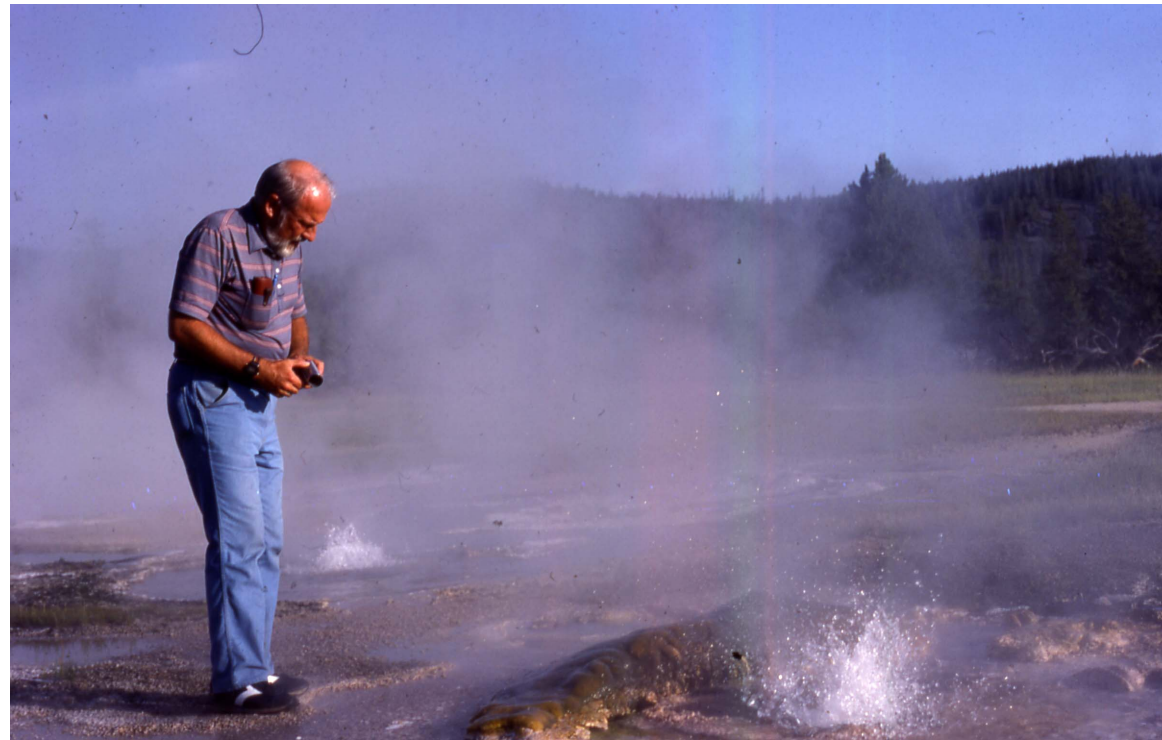


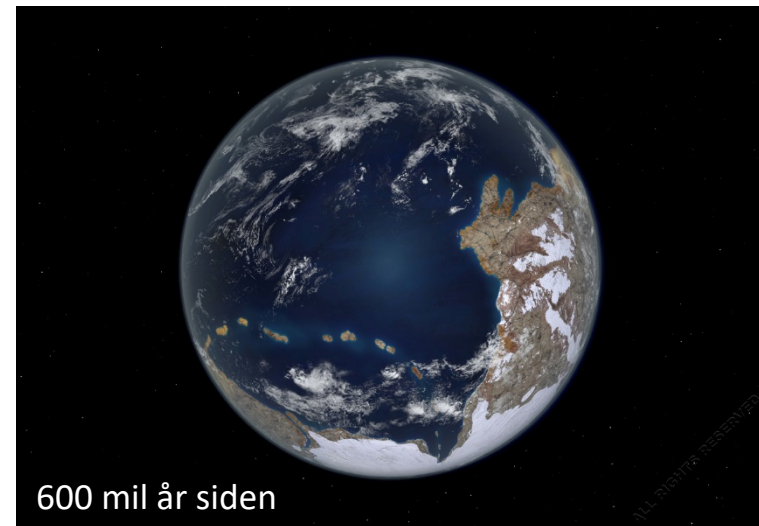
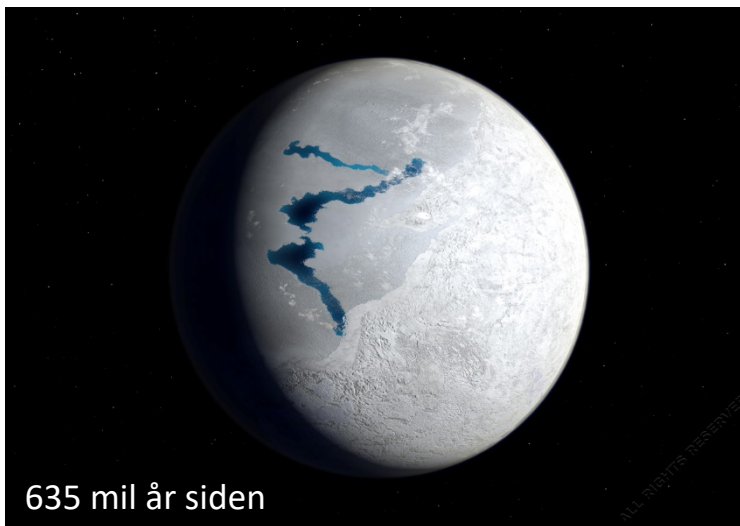
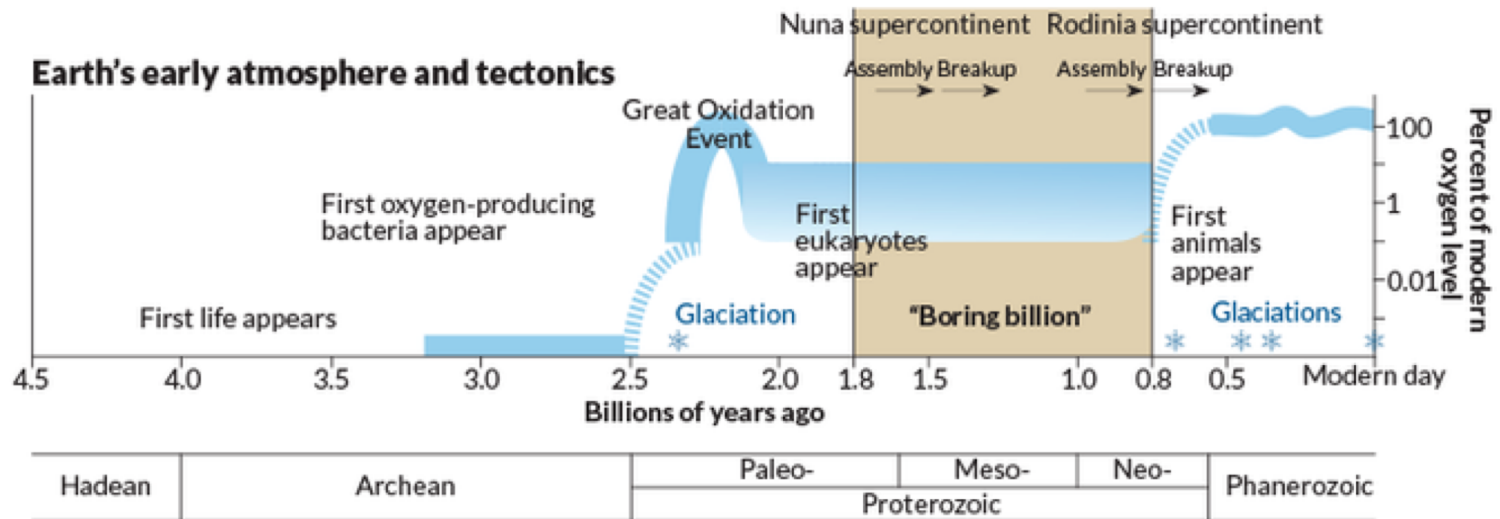
Skjult ilt-fotosyntese i cyanobakterie-måtte
fra varm kilde på Island

- startede iltproduktionen på Jordan sådan?



Cyanobacterial mats:
Yellowstone National Park,
water boils at 93°C due to
high altitude





Snowball Earth



"Snebold-Jorden", ca. 750 mio siden

1. Pladetektonik \Rightarrow mindre kontinenter samledes nær ækvator
2. Øget regn og forvitring af karbonater bandt CO_2 fra atmosfæren
3. Mindre CO_2 som drivhusgas gav global nedkøling
4. Km-tykt islag dannedes på oceanerne og forhindrede optagelse af CO_2
5. Temperaturen nåede et minimum på -50°C
6. Vulkaner udsendte fortsat CO_2 , som nu ikke blev optaget af oceanerne
7. CO_2 indholdet steg langsomt igen i atmosfæren
8. Temperaturen steg og isen smeltede
9. Jordens klima var i stand til at genetableres efter en global nedfrysning