

# Er der liv derude?

Antallet af kendte planeter i fremmede stjernesystemer stiger drastisk i disse år. Udfordringen for forskerne er nu at afgøre, om forudsætningerne for liv er til stede på nogle af disse exoplaneter, og ultimativt at afgøre, om der faktisk er liv.

## Forfatterne



Kai W. Finster,  
ph.d., lektor  
kai.finster@  
biology.au.dk



Tina Santl Temkiv,  
postdoc.  
temkiv@phys.  
au.dk

Begge er tilknyttet Stellar Astrophysics Centre samt Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.



Hans Kjeldsen,  
lektor,  
Stellar Astrophysics Centre,  
Institut for Fysik og Astro-  
nomi, Aarhus Universitet.  
hans@phys.au.dk

Bundfoto: ESO/ Mario Nonino,  
Piero Rosati and the ESO GOODS  
Team

Den 8. november i år kunne man på forsiden af SpaceRef Daily Newsletter læse følgende overskrift: »New Super-Earth in six-planet system may be just right to Life«. Overskriften refererer til, at et internationalt team af astronomer under ledelse af Mikko Tuomi fra Hertfordshires universitet (England) og Guillem Anglada-Escudé fra Göttingens universitet (Tyskland) har opdaget en "super-jord" kredsende om en stjerne med det lidt kedelige navn HD 40307. Planeten har måske et jordlignende klima, og opfylder i princippet kravene for at kunne understøtte liv som vi kender det fra Jorden.

Forskerne har opdaget planeten ved at genanalysere gamle data ved hjælp af en ny teknik, som kunne fjerne støjen fra dens "moderstjerne". Den nye planet befinder sig i den bebolige zone, dvs. i en afstand fra stjernen hvor vand kan være flydende, i modsætning til tre andre planeter, man allerede forinden havde observeret omkring den samme stjerne. Grunden til, at forskerne kalder planeten en "super-jord" er, at den har ca. 7 gange Jordens masse. Planetens afstand fra stjernen svarer til Jordens afstand fra solen og planeten modtager omtrent den samme lysmængde som Jorden modtager fra solen. Derudover mener forskerne, at planeten har en stabil atmosfære, og at der er basis flydende vand.

## Vand er forudsætning nummer 1

Selvom afstanden til den nyopdagede planet "kun" er 42 lysår, udelukker det selvfølgelig enhver tale om at tage derud og undersøge, om der er liv på planeten. Så hvis vi vil have dette opklaret, må vi bruge andre metoder.

Når astronomer annoncerer opdagelsen af en ny planet, er et af de første spørgsmål: Kan der være flydende vand på dens overflade? I vores søgen efter liv i universet er vand blevet synonymt med "beboeligt" eller potentielt livbærende. Derfor kaldes den zone, hvor vand kan være flydende, også den "bebolige zone" eller "Guldløks-zonen", efter den lille pige, som spiser grød hos de tre bjørne og finder skålen med grød, som har lige præcis den rigtige temperatur.

I denne definition ligger den grundlæggende antagelse, at flydende vand er en nødvendig forudsætning for, at levende organismer har kunnet opstå, udvikle sig gennem tiden og stadigvæk kan være til stede på den pågældende planet. Når muligheden for flydende vand er blevet bekræftet, rykker planeten op i ligaen af kandidatplaneter med mulighed for liv.

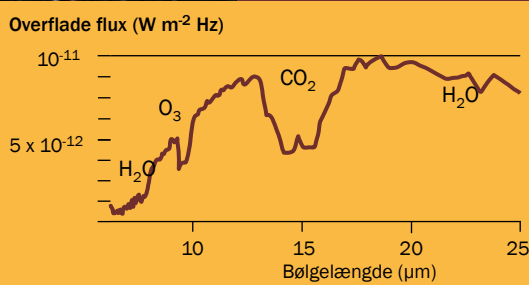
## Spektralanalyse

Spektralanalyse - eller spektroskopi - er en metode, som astronomerne bruger til at bestemme, hvilke stoffer en stjerne, planet eller gaståge består af. Spektralanalysen bygger på det faktum, at elektromagnetisk stråling (lys) indeholder stråling med forskellige energier og disse forskel-

lige energier kan adskilles ved fx at sende lys gennem et prisme eller gennem en spalte. Synligt lys vil så spredes i alle regnbuens farver, hvor det blå lys har mest energi og det røde lys mindst energi. Det er ikke kun synligt lys, der opfø-

rer sig sådan, så astronomerne kan fx også adskille det infrarøde lys i forskellige energier - som et spektrum - ved brug af de spektrografer, som findes monteret på de forskellige astronomiske teleskoper. Det spændende ved denne type analyse er, at lys med forskellige energier optages og udsendes forskelligt, afhængig af hvilke atomer og molekyler, der findes i det objekt, som observeres. Vil vi fx undersøge, om der findes oxygenmolekyler i en planets atmosfære, skal vi undersøge det infrarøde lys ved de energier som oxygenmolekyler optager. Hvis vi fx ser, at der mangler lys netop ved de energier, hvor oxygen absorberer lyset, er det et tegn på tilstedeværelsen af oxygen.

Figuren viser, hvordan Jordens infrarøde spektrum ser ud. Der er tydelige tegn på eksistensen af vand, ozon og kuldioxid i Jordens atmosfære. Tilsvarende undersøgelser kan vi i fremtiden lave på de exoplaneter, vi finder, og derved



## Liv ændrer planeter

For at afgøre, om der faktisk er liv på planeten må man igen benytte sig af den viden, man har om vekselvirkningen mellem levende organismer og deres ikke-biologiske omgivelser fra Jorden. Forskerne er over en kam enige om, at Jorden ville se helt anderledes ud, hvis den ikke havde været beboet af et utal af levende organismer igennem det meste af dens 4,6 milliarder-årige historie. Nogle forsker går så langt som til at argumentere for, at selve kontinenterne, som for det meste består af granit, skyldes levende organismers stofskifte. Følger man denne argumentation vil fundet af granit på planeter i andre solsystemer, og for den sags skyld i vores eget solsystem, være en stærk indikator for liv som vi kender det fra Jorden.

Der er dog andre spor, som levende organismer sætter i deres omgivelser, som umiddelbart er mere oplagte, og derudover er nemmere at observere på lang afstand.

## Biosignaturer

Som de første mennesker har efterladt sig fodspor i askeaflejringer i Kenya, og en uerfaren indbrudstyv afsætter fingeraftryk, efterlader levende organismer aftryk på Jordens overflade og i atmosfæren, som er af globale dimensioner. Disse aftryk kalder man "biosignaturer", og disse biosignaturer kan blive nøglen til at bekræfte tilstedeværelsen af levende organismer på en fjern planet. Biosignaturer skal være af en sådan karakter, at de entydigt kan tilskrives levende organismer – dvs. deres tilstedeværelse må ikke kunne forklares på ikke-biologisk vis.

De mest oplagte biosignaturer er gasarter, som kan tilskrives organismernes stofskifte. Følgende gasarter har været foreslået: ilt, ozon, lattergas, metan samt forskellige flygtige organiske svovlforbindelser. Ilt er den foretrukne kandidat blandt de forskere,

som udvikler metoder til at kunne detektere og kvantificere forskellige gasarter i fjerne planeters atmosfære. Hvis vi igen ser på Jorden som vores modelplanet, kan vi konkludere, at langt størsteparten af atmosfærens ilt stammer fra planternes og algerne fotosyntese. Før planter og alger begyndte at dominere iltproduktionen, var det cyanobakterierne eller blågrønne alger, der frisatte store mængder ilt og grundlæggende ændrede forholdene på jordens overflade og i atmosfæren. Geologiske undersøgelser af gamle bjergarter har vist, at iltkoncentrationen i atmosfæren var meget lav indtil for ca. 2,5 milliarder

## Teknikker til at måle biosignaturer

Astronomiske observationer af biosignaturer på fjerne exoplaneters overflader kan deles i følgende mulige teknikker:

1. Måling af exoplanetens tilbagekastede lys fra skyer og fra overfladen med henblik på at måle dels mængden af lys, som kastes tilbage (den såkaldte albedo), og dels måling af lysets farvespektrum
2. Måling af den infrarøde stråling, som kommer fra overfladen. Det kan ikke blot give oplysninger om exoplanetens overfladetemperatur, men også om, hvilke gasser som befinder sig i atmosfæren på exoplaneten.
3. Måling af exoplanetens atmosfære ved at se på mængden af det stjernelys, som absorberes i atmosfæren i forbindelse med, at planeten står foran den stjerne, den kredser om.
4. Måling af signaler fra exoplaneten, som ikke kan stamme fra naturlige kemiske og fysiske processer, fx signaler fra en intelligent civilisation.

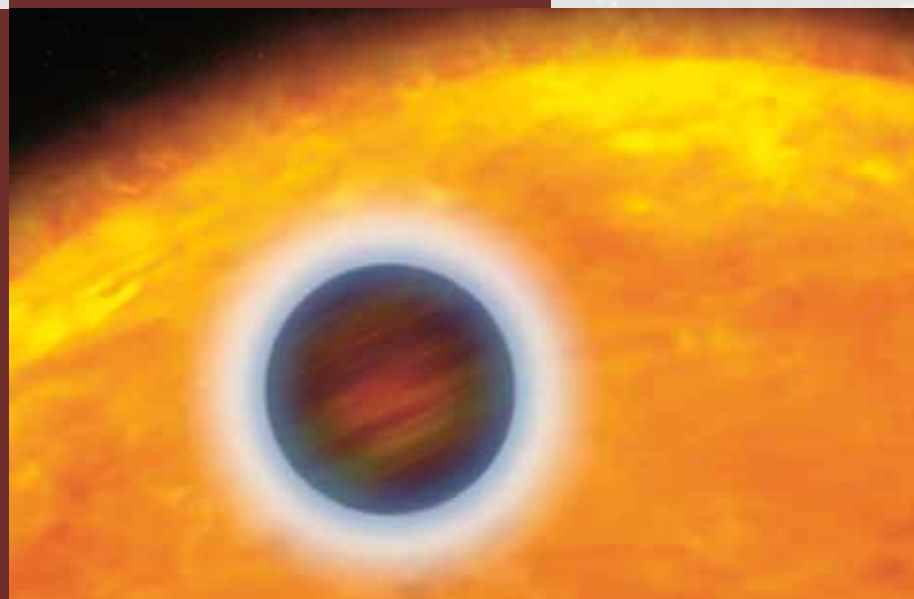
I alle tilfælde kræves der ekstremt præcise målinger for at kunne opfange de svage signaler, og kun de bedste og største astronomiske teleskoper har mulighed for at deltage i jagten på biosignaturer.

afsløre, om de indeholder tilsvarende eller andre stoffer. Det er på den måde, vi allerede har fundet vanddamp og metangas på visse exoplaneter.

## Exoplanet

Hvis en exoplanet i sin bane omkring sin moderstjerne kommer ind foran stjernen, vil der ske en ekstra absorption af lyset på grund af den gas, som findes i exoplanetens atmosfære. Er der fx ilt eller kuldioxid i atmosfæren, vil dette kunne ses ved at ekstra stjernelys opfanges i exoplanetens atmosfære og dette kan både afsløre, hvilke gasarter der findes, og i hvor store mængder de findes. Ved målinger fra Hubble rumteleskopet (HST) er det således lykkedes at finde grundstoffet natrium i atmosfæren for exoplaneten HD 209458b.

Illustration : (NASA/ESA)



år siden. Inden denne periode havde Jorden allerede været befolket af mikroskopisk liv i omkring 1,5 milliarder år. Den ilt, som cyanobakterierne frisatte, blev dels brugt som åndingsmiddel af organismerne selv, eller den reagerede kemisk med opløst jern i oceanerne eller med mineralerne i klipperne.

Først da produktionen af ilt oversteg forbruget, steg iltkoncentrationen i atmosfæren. Dermed var grundlaget også skabt for dannelsen af betydelige mængder af ozon i de øvre lag af atmosfæren. Ozon spiller en væsentlig rolle for, at levende organismer kunne forlade vandet og kolonisere landområderne samt atmosfæren, da det effektivt fjerner den meget skadelige del af solens UV-stråling.

### Ilt og albedo

En anden vigtig egenskab, som gør ilt så velegnet som biosignatur, er dens reaktivitet. Hvis vi laver et lille tankeeksperiment, hvor vi stopper al iltproduktion i verden nu og her, så vil det tage ca. 5.000 år, før ilten er brugt op.

Hvis man således finder høje iltkoncentrationer i en exoplanets atmosfære, vil dette ikke bare indikere, at der har været iltproducerende livsformer til stede på planeten en gang i dens historie, men også, at disse organismer stadigvæk er til stede eller i det mindste har været det for relativt kort tid siden på en geologisk tidsskala. Ilt- og ozonkoncentrationen i atmosfæren er dermed et resultat af et dynamisk sammenspil mellem biologiske og ikke-biologiske faktorer.

Kan man slet ikke forstille sig et scenario, hvor høje iltkoncentrationer kan opbygges i en planets atmosfære, uden at fotosyntetiserende organismer er ophav til ilten? Jo det kan man godt. Hvis planeten er dækket af is, og klipperne og andre reaktive stoffer er afskærmet fra atmosfæren kan den fotokemiske spaltning af vand føre til en ganske betydelig iltkoncentration. Derfor skal man både se på planetens albedo (dvs. hvor meget lys den reflekter) og på iltkoncentrationen. Er planetens albedo høj, hvilket kan skyldes et isdække, er der en vis

### Signaler fra fjerne exoplaneter

Der findes flere eksperimenter, som forsøger at detektere signaler, som evt. kan være udsendt fra intelligente civilisationer på fjerne exoplaneter. Signalerne kan være meget svære at finde blandt alle andre signaler, vi modtager fra rummet. Specielt to typer af signaler har været diskuteret, lys fra kunstige lyskilder (har ikke samme lysspektrum som naturlige lyskilder) og radiosignaler. SETI Institutet i USA har været aktive i eftersøgningen af signaler fra rummet, og astronomerne har bl.a. ved brug af Allen Telescope Array lyttet efter signaler fra planeten Kepler-22b, uden dog at opfange nogen.

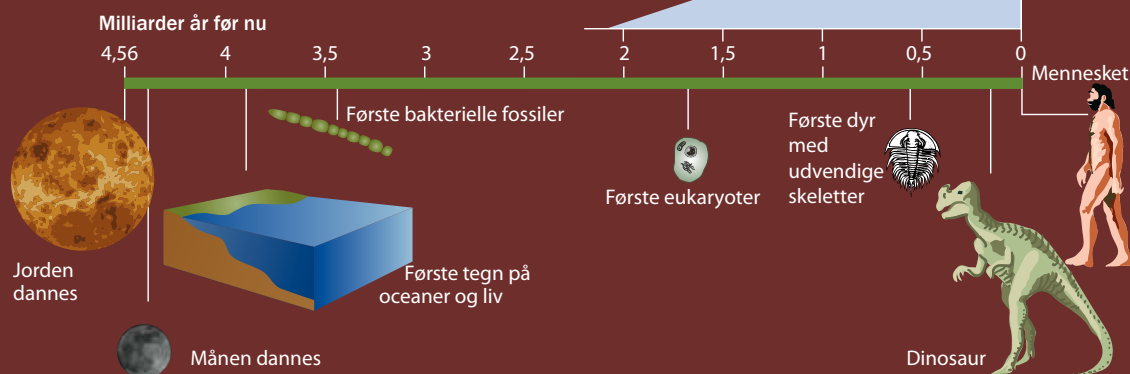
### Tidslinje

Væsentlige hændelser i Jordens udviklingshistorie. De første spor af liv findes i de ældste klipper, man har fundet på Jorden – Isuaklipperne i Grønland. Disse klipper indeholder små kulstofkorn, som ser ud til at stamme fra mikroorganismer, der har været i stand til indbygge kuldioxid ligesom planterne gør det i dag. Desuden peger forholdet mellem forskellige isotoper i klipperne på, at der lokalt har været frit ilt tilstede. Dog

var koncentrationen af ilt ikke høj nok til at kunne producere synlige spor i atmosfæren. De ældste bakteriefossiler er fundet i 3,4 milliarder år gamle klipper, og de ligner moderne cyanobakterier (blå-grønne alger). Disse bakterier er i stand til at frisætte ilt under fotosyntesen. Der går dog mere end 1 milliard år, før iltkoncentrationen i atmosfæren begynder at stige. Tilgængeligheden af ilt har haft en helt ekstraordinær indflydelse på evolutionsprocessen, såsom udviklingen af komplekse flercellede dyr, som startede for godt 1 milliard år siden.

### Ilt og komplekse livsformer

Udover at være en biosignatur med en stor troværdighed er ilt også forudsætningen for udviklingen af komplekse livsformer. En planet uden ilt i atmosfæren kan således godt huse liv, men kun af den mikroskopiske slags. Intelligente aliens vil



sandsynlighed for, at iltproduktionen skyldes foto-kemiske processer. Er albedoen derimod lav og man ligefrem kan se, at spekteret har ligheder med Jordens, er der stor sandsynlighed for, at ilt i atmosfæren skyldes fotosyntese, og at der dermed ikke bare er levende organismer på den pågældende planet, men tilstedeværelsen af ilt åbner mulighed for tilstedeværelsen af komplekse flercellede livs-former.

### Vælg altid den enkle løsning

Ilt og ozon indtager altså førstepladsen blandt bio-signaturer, men de er som nævnt ikke de eneste biosignaturgasser. Lige nu er forskere i gang med at undersøge, om der er metan i atmosfæren af vores naboplanet Mars. Metan er interessant, da det på Jorden for det meste produceres af mikro-organismer. Jordbaserede spektroskopiske under-søgelser har vist, at der lokalt frigives små mængder metan til atmosfæren, og da metans levetid er rela-tivt kort, må denne frigivelse være sket for ganske nyligt. Marsroveren Curiosity, som landede på

Mars' overflade i august 2012, skal nu bl.a. under-søge, om der er metan i Marsatmosfæren ved direkte at måle koncentrationen, og desuden er roveren ud-styret med et massespektrometer, som kan bestemme isotopsammensætningen i det målte metan.

Det afgørende for alle biosignaturer, uanset om det er gasser eller specifikke mineraler, er, at de entydigt kan tilskrives en biologisk oprindelse. Hvis der er den mindste tvivl om deres dannelse, bør man vælge den mest enkle tolkning, og det er altid den kemisk/fysiske, hvis en sådan findes. Et godt og meget lærerigt eksempel er meteoritten AHL84001, som man mente bar fem forskellige kemiske og fysiske spor af Marsliv i sig. Denne konklusion blev i 1996 publice-ret med pomp og pragt i det amerikanske tidsskrift *Science*. Alle efterfølgende tests viste, at det var muligt at forklare de fem indikatorer på en knap så spektakulær måde.

I dag er der kun ganske få tilbage, der anser meteorit AHL84001 som en hilsen fra de grønne mænd. ■

### Videre læsning

Minik Rosing, Livet, solen og landet – jagten på Jordens tidligste liv, 2011, Kvant 6:8-11.

### Ekstramateriale:

Tabel som viser mulige biosignaturer: <http://aktuelnaturvi-denskab.dk/nyeste-numre/6-2012/>

man kun finde på planeter med ilt i atmosfæren. Dette skyl-des, at komplekse fødekæder, som kan resultere i flercellede livsformer med komplicerede hjerner, kun udvikles og opret-holdes i en verden, hvor ilt er åndingsmiddel.

Længden af fødekæden og dermed kompleksiteten af livsfor-merne er bestemt af den energimængde (dvs. biomasse), som kan overføres mellem leddene i kæden. Under iltfrie forhold er overførslen af energi mellem leddene meget begrænset. Organismer, som forgærer deres mad eller ånder med andre åndingsmidler end ilt, udnytter energien dårligt og producerer forholdsvis lidt biomasse (ca. 10 % for hvert led). Allerede efter to led kommer man under det kritiske niveau på 1 % af den energi, der oprindeligt blev tilført systemet. I et sådant system ville amøber eller lignende organismer være de mest komplekse former for liv.

Bruges ilt som åndingsmiddel er situationen en anden. De iltåndende organismer er meget mere effektive til at danne biomasse, og i ste-det for 10 % overføres 40 % af energien mel-lem leddene. Dette åbner op for fødekæder med op til 6 niveauer, som inkluderer de store rovdyr som hvidhajer, løver og os selv.

### Granit som biosignatur

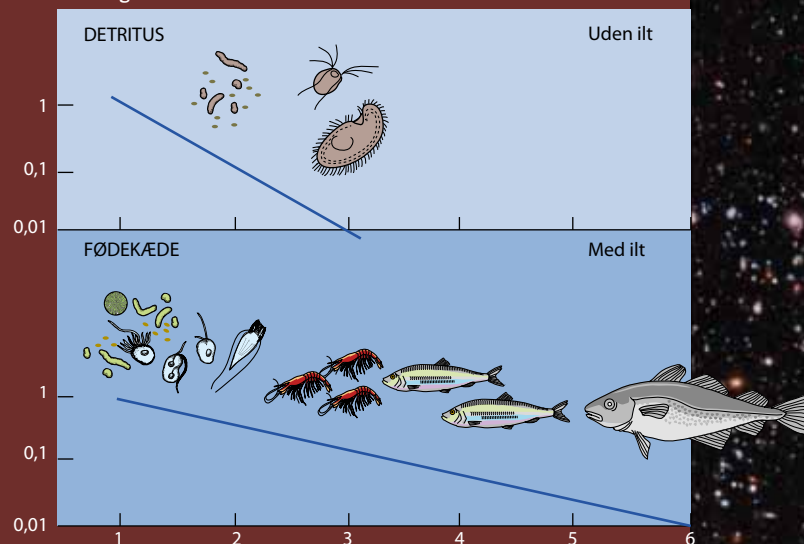
I 2006 fremsatte den danske geolog Minik Rosing, i samarbejde med franske og amerikanske kolleger, den kontroversielle hypotese, at bjergarten granit kan bruges som biosignatur. I deres model spiller fotosyntese den afgørende rolle. På globalt plan høster fotosyntetiserende organismer solenergi, svarende til tre gange den termiske energi, som frisættes af radioaktive henfald og processer drevet af tyngdekraften i

Jordens indre. Den kemiske energi, som de fotosyntetise-rende organismer opsamler, kan indgå i de geokemiske forvittringsprocesser, som fører til ændringer af bjergarterne og sidst til dannelse af granit, som er hovedbestanddelen af kontinenterne. Ifølge Rosing og kolleger ville man ikke finde kontinenter på Jorden, hvis ikke denne energioverførsel havde fundet sted gennem de sidste 3,8 milliarder år. Som støtte for deres hypotese peger forskerne på, at der hverken findes tegn på granit eller kontinenter (for ikke at tale om fotosyntetisk liv) på de andre terrestriske planeter i vores solsystem, inklusive vores måne og asteroiderne. Man finder heller ikke spor efter kontinenter og granit på Jorden i de første 850 millioner år af Jordens historie. De ældste spor efter fotosyntetiserende bakterier finder man i 3,8 milliarder år gamle bjergarter i Grønland.



Foto: colorbox.

Relativt energiflow



Kilde: Fenchel T & Finlay BJ. Ecology and Evolution in Anoxic Worlds, Oxford Series in Ecology and Evolution.