

Hvad kan Jorden lære os om liv i rummet?

Når forskere leder efter liv i rummet, spiller ekstreme miljøer som Atacamaørkenen på Jorden en særlig rolle. Disse miljøer kan nemlig lære os om, hvad vi kan forvente, når vi leder efter liv uden for Jorden og i særdeleshed, hvad vi skal kigge efter.

■ Af Kai Finster



KAI FINSTER

Kai Finster er professor i astrobiologi og mikrobiologi ved Aarhus Universitet. Hans forskning er drevet af en fascination af livets mangfoldighed, udvikling og evne til at tilpasse sig ekstreme miljøer. Han interesserer sig især for mulighederne for liv på Mars, hvordan vi kan genkende spor efter liv på andre planeter, og hvordan luftbårne mikroorganismer påvirker atmosfæren og skydannelsen på Jorden.

kai.finster@bio.au.dk

I august 2025 var de danske medier fulde af begejstrede overskrifter om, at danske forskere havde været med til at finde tegn på liv på Mars. Baggrunden var undersøgelser af en klippeblok på Mars med et leopardpletet mønster, hvor to jernrige mineraler – vivianit, et jern-fosfat, og greigit, et jern-sulfid – optræder tæt koblet til organiske stoffer.

På Jorden ser man netop sådanne kombinationer i miljøer, hvor mikroorganismer har været aktive, og hvor deres stofskifte har påvirket både kemi og mineraldannelse. Derfor tolker forskerne mønstrene som mulige biosignaturer – altså kemiske og mineralske spor, der kan pege på tidligere mikrobiologisk aktivitet i Mars' fjernere fortid, selv om de organismer, som har efterladt sporene for længst er forsvundet.

At man kan nå frem til så vidtgående hypoteser på baggrund af få, indirekte tegn, skyldes en analogislutning: Man overfører velafprøvet viden fra Jordens geologi og mikrobiologi til at fortolke observationer fra en anden planet. Indtil videre er Jorden det eneste sted, vi kender liv og dets aftryk i de geologiske lag, og derfor er næsten al søgen efter liv uden for Jorden forankret i, hvad vi ved om jordisk liv og jordiske analoger.

Da vi kun har relativt få missioner til andre planeter, bruger forskere særlige steder på Jorden som "prøveklude" for fremmede miljøer. Disse steder kaldes terrestriske analoger, og de er kendetegnet ved, at det lokale miljø på vigtige områder svarer til, hvad vi forventer at finde på andre planeter. Det kan for eksempel være ekstrem tørke, lav temperatur eller usædvanlig kemi.

Ved at studere, hvilke organismer der klarer sig her, og hvilke spor de efterlader, kan vi bedre vurdere, hvor liv kan gemme sig på for eksempel Mars eller dybt under overfladen på andre himmellegemer.

I det følgende ser jeg nærmere på tre meget brugte analoger: Atacamaørkenen, den sure spanske flod Río Tinto og den dybe jordiske undergrund.

Atacamaørkenen – en tør forsmag på Mars

Den centrale Atacamaørken i Chile er så tør, at der kan gå årtier mellem egentlige regnskyl, og jorden indeholder yderst lidt organisk materiale. Samtidig er UV-strålingen kraftig, og mange steder domineres overfladen af salte og mineraler, som vi også kender fra Mars.

Målinger af Atacamas jord har vist en organisk kemi, der på nogle punkter ligner de kulstoffattige overfladelag, de tidlige Marslandere målte. Derfor er området blevet et vigtigt testfelt for instrumenter, der skal lede efter svage spor af liv på andre planeter.

På trods af de barske forhold er Atacama ikke "livløs". Mange mikroorganismer lever skjult inde i lysgennemtrængelige sten såsom gips, hvor de får lys til fotosyntese, men er delvist beskyttet mod UV-stråling. De danner tynde biofilm lige under overfladen, og andre bakterier udnytter små lommer af fugt i de saltrige jordlag.

For at overleve kombinationen af tørke og stråling kan de gå i dvale, reparere DNA effektivt og danne pigmenter og slimagtige stoffer, som både skærmer mod UV-strå-



Atacama-ørkenen i Chile. Foto: Shutterstock.

ATACAMAØRKENEN – LIV VED GRÆNSEN FOR VANDAKTIVITET

Atacama-ørkenen er vigtig i astrobiologien, fordi den viser, at det er vandets tilgængelighed, der bestemmer, om mikrober kan være aktive. I de mest tørre områder findes salte som halit (stensalt), nitrat og perklorat, der kan optage vanddamp fra luften og danne ultratynde væskefilm. Den proces kaldes delikvescens og er interessant, fordi lignende salte også er fundet på Mars. Derfor bruges Atacama som model for, hvordan mikrobielt liv måske kan overleve i små, kortvarige mikromiljøer under overfladen.

De vigtigste processer, man studerer her, er knyttet til bakteriernes overlevelse, dvs. deres vedligeholdelsesmetabolisme (det stofskifte, der skal til for at opretholde cellen) og respiration ved meget lav

vandaktivitet. Hvis organismer har adgang til små organiske molekyler som acetat (salt af eddikesyre) eller formiat (salt af myresyre), kan de koble oxidation af disse til reduktion af nitrat, sulfat eller perklorat (et klorholdig salt). Perklorat ophobes i Atacama, fordi ekstrem tørke og stærk fordampning gør, at atmosfærisk dannet perklorat, som falder ned med støv og nedbør, næsten ikke vaskes ud igen og derfor kan koncentreres i jorden over geologisk tid. Samtidig bidrager langvarige atmosfæriske oxidationsprocesser til at omdanne klorid og klorat til perklorat, som så bevares i de nitrat- og saltrige aflejringer i ørkenen. Det er især relevant for Mars, fordi netop disse hygroskopiske (vandtiltrækkende) salte kan skabe kemiske nicher, hvor vand og elektronacceptorer (åndingsmiddel) findes samtidig.

ling og hjælper med at binde vand. Nogle udnytter endda vandtiltrækkende salte til at opsamle mikroskopiske mængder vand ud af den tørre luft en vandindsamlingsstrategi, som i princippet også kunne fungere på Mars.

Langvarige feltstudier fra Atacama har samtidig vist, at kraftig UV-stråling og oxiderende kemi hurtigt kan nedbryde biologisk materiale. Det betyder, at selv om der har været liv, kan sporene være så svage, at de er næsten umulige at skelne fra baggrundsstøj. For Mars-forskningen er det en vigtig påmindelse om, at fravær af klart målbare organiske signaler på overfladen ikke nødvendigvis betyder fravær af liv i planetens historie.

Río Tinto – når mikrober skaber et surt Marsmiljø

Río Tinto i det sydvestlige Spanien ser ved første øjekast meget “u-jordisk” ud: Rødt, jernrigt vand, meget lav pH og jern- og sulfatminerale, som ligner mineraler observeret på Mars. Netop den kobling har gjort floden til et centralt Mars-analogsted.

Det mest bemærkelsesværdige er, at de ekstreme forhold primært skyldes mikrobiel aktivitet. Jern- og svovloxiderende mikroorganismer angriber sulfidminerale i undergrunden og danner svovlsyre, som holder både surhedsgrad og jernniveauer oppe. Man står altså med et helt landskab, hvor geokemi og biologi er viklet tæt sammen.

I vandet og sedimenterne (aflejringer, der er dannet i vand) dominerer mikrober, der får energi ved at oxidere jern og svovl frem for

at udnytte sollys. Deres aktivitet kan danne de samme typer jern- og sulfatminerale, som Mars-rovere har fundet i gamle aflejringer på Mars. Río Tinto giver derfor en konkret model for, hvordan mikrobiel stofomsætning kan afsætte mineralske fingeraftryk, vi potentielt kan genkende på Mars.

Samtidig viser Río Tinto, at et miljø kan se livsfjendtligt ud, men faktisk være stærkt formet – og opretholdt – af liv. Et surt, metalrigt system vil på Jorden ofte være et resultat af fysisk-kemiske processer knyttet til vulkaner. Men Río Tinto viser, at det også kan være drevet af et samspil mellem mikrobiel aktivitet og passende geologiske forhold. For tolkningen af Mars-data betyder det, at nogle "ekstreme" mineralmønstre kan være indirekte spor af en tidligere og forsvunden biosfære.

Den dybe undergrund huser en skjult biosfære

Mens Atacama og Río Tinto ligger ved eller nær overfladen, findes nogle af de mest opsigtsvækkende analoger til andre verdener flere kilometer nede i Jordens skorpe. Her er der konstant mørke, højt tryk og ingen direkte forbindelse til økosystemer baseret på fotosyntese.

Forskere kan få adgang til disse miljøer via dybe miner og borehuller. I flere kilometer dybe miner har forskere fundet mikrobielle samfund i små vandførende sprækker, som kan have været isoleret fra overfladen i millioner af år. I et ekstremt tilfælde domineres et sådant økosystem af én bakterieart.

Energikilden er ikke sollys, men hydrogen, der dannes ved spaltningen af vand i hydrogen og oxygen ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$). Energien til denne spaltning leveres ved radioaktivt henfald af for eksempel det radioaktive stof kalium-40. Radioaktive grundstoffer findes naturligt i bjergarter i undergrunden. Mikroberne kan bruge hydrogen som brændstof til at ånde med sulfat. Dermed kan et helt økosystem opretholdes på basis af vand, sten og radioaktivitet – uden noget bidrag fra overfladens biosfære.

Den dybe biosfære er særlig interessant som analog til Mars' og ismåners indre. Selv hvis overfladen er frossen og hårdt bestrålet, kan flydende vand i dybe sprækker og vandførende lag stadig være beboeligt, hvis der findes geokemiske energikilder såsom radioaktive grundstoffer. Fundene fra Jordens undergrund viser, at dette ikke kun er en teoretisk mulighed, men en faktisk måde, en planet kan bære liv på.

Hvad kan vi bruge analogerne til?

De tre miljøer illustrerer tilsammen, at livets grænser på Jorden ofte bestemmes af flere samtidige stressfaktorer – ikke én ad gangen. I Atacama er det kombinationen af tørke og UV-stråling, i Río Tinto surhedsgrad og metaller, og i den dybe undergrund mørke, højt tryk og meget begrænset adgang til energi.

Analoge systemer giver også konkrete pejlemærker for, hvor vi bør lede efter spor af liv på andre verdener. Atacama peger på beskyttede nicher i eller under sten som gode kandidater for bevaring af spor efter liv (biosignaturer). Río Tinto viser, at selv små mikrobielle samfund kan efterlade tydelige geokemiske og mineralogiske spor. Den dybe undergrund minder os om, at væsentlige biosfærer kan være skjult dybt nede og derfor kræver mere avancerede missioner for at blive undersøgt.

Samtidig har analogforskning sine begrænsninger. Ingen jordisk loka-



Floden Río Tinto i det sydvestlige Spanien. Foto: Shutterstock.

RÍO TINTO – JERN, SVOVL OG ET SURT MILJØ

Río Tinto spiller en vigtig rolle i astrobiologisk forskning, fordi systemet drives af mikroorganismer, der udnytter energi fra jern- og svovlminerale i stedet for sollys. Miljøet er surt, metalrigt og stærkt oxiderende, og det minder derfor om nogle af de jern- og sulfatdominerede miljøer, som kendes fra Mars. Samtidig viser Río Tinto, hvordan biologiske processer kan være med til at danne mineraler som jarosit, goethit og hæmatit, som også spiller en central rolle i tolkningen af Mars' geologiske historie.

Samspillet mellem mikrobiel omsætning af jern- og svovlforbindelser holder systemet kemisk aktivt og er med til at producere både syre, opløst jern og nye mineraler. Det er netop denne kobling mellem stofomsætning og mineraldannelse, der gør Río Tinto til en så stærk Mars-analog.



■ Foto: Via Wikimedia Commons/ CC BY-SA 3.0.

STUDIER AF DEN DYBE BIOSFÆRE

Den dybe biosfære er et af de vigtigste eksempler for muligt liv uden for Jorden, fordi den viser, at mikroorganismer kan leve langt nede i undergrunden uden adgang til sollys. Her er energikilden kemiske reaktioner mellem vand, klipper og opløste stoffer og ikke fotosyntese. Ved disse processer dannes hydrogen og oxygen. Det gør miljøet særligt relevant for Mars' undergrund og for isdækkede oceanverdener som Europa og Enceladus.

I den dybe biosfære studerer man især hydrogendrevne processer, fordi hydrogen kan dannes kemisk, for eksempel når vand reagerer med jernholdige mineraler. Det giver et muligt grundlag for et helt økosystem, selv hvor organisk stof er sparsomt. De mest centrale processer er methanogenese (hvor kuldioxid bruges som åndingsmiddel og omdannes til metan), sulfatreduktion (sulfatånding), acetogenese (kuldioxid bruges som åndingsmiddel og omdannes til eddikesyre) og i nogle miljøer bruges metan som energikilde og oxideres under fravær af oxygen (proces-

sen anaerob methanoxidation).

Den dybe biosfære kræver dybe borer – for eksempel med det japanske borskib Chikyu vist på billedet. I 2024 satte Chikyu med 7906 meter den foreløbige rekord for en boring i oceanbund (på land er rekorden mere end 12 kilometer).

Da prøvetagning ved brug af et bor indebærer en risiko for at forurene materialet med havvand eller materiale fra lag højere oppe i borehullet, er det nødvendigt at sikre, at det materiale, man i sidste ende undersøger, ikke er forurenet. Derfor tilsætter man små fluorescerende perler til boreslammet, som viser, hvor langt forureningen er trængt ind i den del af borekernen, man undersøger for tilstedeværelse af bakterier. Når forskerne har taget borekernen op til overfladen, skraber de forsigtigt materiale af kernens overflade, indtil de ikke længere kan se fluorescerende perler i det afskrabede materiale med et mikroskop. Først derefter kan de være sikre på, at bakterier, de finder i borekernen, ikke stammer fra boreslammet.

litet er en perfekt kopi af Mars, Venus eller en ismåne, og alt kendt liv på Jorden stammer fra én fælles oprindelse. Det betyder, at vi ikke kan udelukke helt andre former for liv, som ikke har direkte paralleller på Jorden. Analogi er et nødvendigt udgangspunkt, men de må suppleres med laboratorieforsøg, modeller og passende grad af forsigtighed, når vi tolker data fra andre planeter.

Fremtiden: fra ørken til ismåner

I de kommende år bliver terrestriske analoger endnu vigtigere. Mars-missioner vil fortsat lede efter organiske molekyler og mulige biosignaturer, og kommende missioner til ismåner skal teste, om havene under isen er beboelige. Erfaringerne fra tørre ørkener, sure jernfloder og dybe undergrundsøkosystemer vil spille direkte ind i både instrumentdesign og valg af undersøgelsessteder.

Samtidig udvides kataloget af analogsteder globalt. Nye studier peger på højtliggende gletsjere, alkaliske søer og meget saltholdige søer som miljøer, der kan lære os mere om livets tilpasninger og de spor, det efterlader. Jo flere og mere forskellige analoger vi undersøger, jo bedre bliver vores forståelse af, hvordan liv kan overleve – og hvordan vi kan genkende det – på andre planeter. ■

VIDERE LÆSNING

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside kan du finde en udvidet version af faktaboksene til denne artikel, hvor der er eksempler på de kemiske processer, der udspiller sig i de forskellige miljøer.

Evt. med QR-kode

■ ■ ■ ■ ■