

2. ÅRGANG
NR. 2 / 2003

KEMI MATEMATIK FYSIK i

PERSPETTIV

VAND, KLOROFYL OG GRANIT - livets betingelser og dets konsekvenser for Jorden

Livet her på Jorden er helt afhængig af tilstedeværelsen af flydende vand. Spørgsmålene om, hvor vandmolekyler stammer fra, hvordan de dannes, og hvilken rolle de spiller for eftersøgningen af liv i Universet, er derfor helt centrale for forståelsen af livets universelle betingelser.

En sammenligning mellem varmestrømmen fra Jordens indre og den kemiske energi, der går til fotosyntetisk produktion af kulhydrat og oxygen, giver grundlag for idéen om, at dannelse af den højst usædvanlige bjergart granit netop er en konsekvens af disse livsprocesser.

Er det grunden til, at granit kun findes i en ganske tynd skorpe i Jordens kontinenter, men ikke kendes hverken fra Jordens indre eller fra noget andet sted i Solsystemet?

Vand er liv - hvor kommer Universets vandmolekyler fra og hvordan dannes de?

Måske skulle man tro, at Jorden har en slags patent på vand. Men det er ikke rigtigt. Det vidner en lang række observationer om. Som is eller - i langt overvejende grad - på dampform er der fundet spor af vandmolekyler rundt omkring i Universet. I vores eget Solsystem gælder det først og fremmest på Månen og på flere af de andre planeter og deres måner.

Vi ved også, at vandmolekyler findes i store mængder uden for Solsystemet. De forekommer i rigt mål i den yderste atmosfære af en lang række stjerner og i de kæmpemæssige skyer af gas og støv, som findes mellem stjernerne - de såkaldte interstellare skyer. Det er her, vi finder nye stjerner med tilhørende planetsystemer under dannelse. Men vand på flydende form kender man kun til her på Jorden.

Flydende vand

Betydningen af vandforekomsterne på Jorden er uhyre stor. Som biologer og biokemikere ofte udtrykker det: "Vand er liv!" Det er netop flydende vands rolle for de kemiske og biologiske fænomener, der er så afgørende, at det er meget vanskeligt at forestille sig livsformer, som ikke er baseret på vand.

Det er især to egenskaber ved vandmolekylerne, der adskiller dem fra andre sammenlignelige, forholdsvis simple molekyler som fx kulilte, ammoniak eller metan.

For det første optræder vand på flydende form ved relativt høje temperaturer for et så lille molekyle. Det gør det på den ene side muligt for andre molekyler at bevæge sig rundt heri langt hurtigere end i den faste form, is. Og på den anden side er der i flydende vand langt større mulighed for at møde andre molekyler - og dermed indgå i nye forbindelser - end i en sky af damp, hvor tætheden af molekylerne er langt mindre.

For det andet er de to hydrogen- og det ene oxygenatom, som vandmolekyler består af, bundet sammen på en sådan måde, at molekylet som et hele forekommer med lidt forskudte ladninger. Det udgør en såkaldt elektrisk dipol. Det betyder, at det meget effektivt er i stand til at nedbryde bindingerne mellem andre atomer og molekyler.

Flydende vand er kort sagt et fremragende opløsningsmiddel, der fungerer perfekt for biologiske reaktioner. Dertil kommer, at det til en vis grad er modstandsdygtigt over for ultraviolet stråling, som ellers har let ved at nedbryde molekyllbindinger. I flydende vand opstår der derfor nemt forbindelser mellem svovl-, oxygen- og tilmed også carbonforbindelser, som udgør grundlaget for aminosyrerne: nøglekomponenterne i alt levende materiale.

Mellem stjernerne

For de fleste mennesker lyder det overraskende, at vandmolekyler faktisk hører til de hyppigst forekommende molekyler i Universet overhovedet. Men i betragtning af, at hydrogen udgør langt det mest udbredte grundstof i Universet (73%), og at oxygen indtager en flot tredjeplads med 1% efter heliums 25%, så kom det ikke som det helt store chok for astrofysikerne, da det for få år siden lykkedes at afsløre usædvanligt store forekomster af vanddamp i en interstellar sky i retning af vinterhimmels mest dominerende stjernebillede, Orion.

Netop her foregår aktiv stjernedannelse. De voldsomme udkastninger af såkaldte jetstrømme, som helt naturligt hører med til stjernefødsler, fører samtidig til en så omfattende sammenpresning og opvarmning af de omgivende gas-skyer, at der herved opstår lige akkurat de rette betingelser for dannelsen af store mængder vandmolekyler. I den omtalte sky i Orion-tågen skønnes det, at der hver dag produceres op mod 60 gange så mange vandmolekyler, som vi i dag finder på Jorden!

I Solsystemets barndom

Her hos os i Solsystemet har der utvivlsomt eksisteret en lignende »kemi-maskine«, som formentlig på helt tilsvarende måde ved en lang kæde af kemiske reaktioner fik produceret store mængder vandmolekyler. I første omgang som vanddamp. Derpå

under den efterfølgende afkøling som bittesmå ispartikler, der sammen med de tiloversblevne gas- og støvpartikler udgjorde den første, såkaldte protoplanetariske tåge omkring Solen.

Lidt efter lidt blev is og støv så kittet sammen til små forstadier til planeter, de såkaldte planetesimaler, som med tiden voksede sig større og større ved mere eller mindre tilfældige sammenstød med lignende smånaboer. Alt i alt med det kendte resultat til følge: ni planter med tilhørende måner, en vrimmel af asteroider og milliardvis af kometer.

Men vandets historie var højst sandsynligt ikke slut med det. Ifølge en teori for Solsystemets dannelse (som dog ikke alle forskere er helt enige i) skabte Solens enorme varme en usynlig barriere mellem planeterne Jupiter og Mars. Uden for den herskede kulden. Her finder vi kæmpeplaneter, ismåner og kometer. Inden for den var der så varmt, at ispartiklerne blev omdannet til damp, og de fire inderste planeter Merkur, Venus, Jorden og Mars blev skabt af støvkorn, bogstavelig talt befriet for vandmolekyler.

Vulkaner og kometer

Fra starten har Jorden altså ifølge denne teori været frarøvet enhver form for vand. Men to forskellige mekanismer har så efterfølgende tilført nye mængder af det livgivende stof.

For det første må man regne med, at den unge Jord i op mod en halv milliard år var udsat for en intens vulkansk aktivitet. Herved blev der frigjort store mængder af kulilte, som senere kunne indgå i en hel kaskade af kemiske reaktioner med hydrogen og silikater, som til slut førte til dannelsen af en omfattende mængde vandmolekyler.

For det andet må den unge Jord uundgåeligt have været udsat for et

sandt bombardement af asteroider og kometer fra de kolde udegne af Sol-systemet. En anelig portion vandmolekyler, der i dag skønnes at udgøre op mod 20% af Jordens totale vandsforekomster, berigede de kolde, små isverdener på den måde Jorden med.

Tilsammen har de to mekanismer ifølge denne teori tilført Jorden en vandmængde, der beløber sig til de nuværende få titusindedele af Jordens totale masse.

Privilegerede nicher

På trods af det temmelig optimistiske billede af forekomsten af vandmolekyler rundt om i Universet, så er det også helt klart, at der kræves ret specielle forhold for deres overlevelse på længere sigt.

Temperaturer over ca. 5.000 grader og intenst ultraviolet lys slår vandmolekylerne helt i stykker.

Privilegerede nicher, som tilstedeværelsen af store mængder interstellart

støv (fx i Orienttågen) og dernæst en atmosfæres filtrerende beskyttelse (som her på Jorden), ser med andre ord ud til at være nødvendige for at vandafhængige livsformer, som dem vi kender her fra Jorden, også kan opstå på andre kloder.

Fotos: HST

Stjernedannelser i midten af Orienttågen

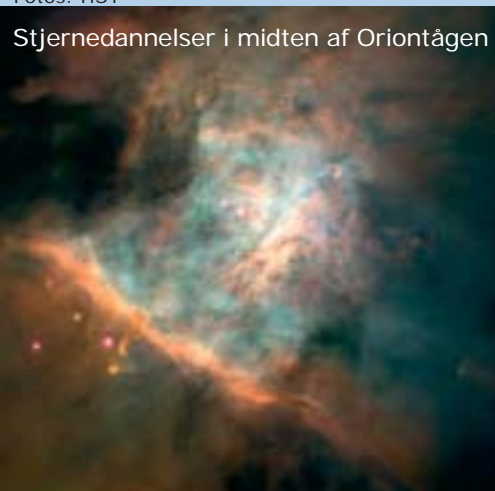


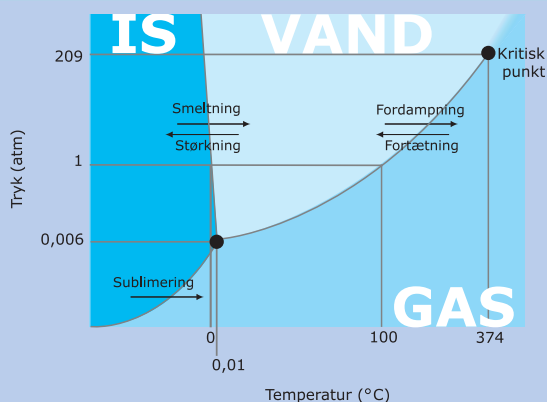
Foto: Erik Frausing

Vandets tre tilstandsformer i Sarek Nationalpark



Refleksionståge fra NGC 1999

Flydende vand forekommer meget sjældent. Faktisk er det eneste sted, vi med sikkerhed ved det findes, her på Jorden. Grunden er den enkle, at vand ved lavt tryk slet ikke kan eksistere i flydende tilstand. Hvis trykket er mindre end ca. seks tusindedele af lufttrykket ved Jordens overflade, så findes vand kun som enten is eller damp. Ved høje tryk kan væskeformen overleve temperaturer helt op til 374 °C. Men bliver temperaturen højere, er der ingen forskel på væskeformen og gasformen - uanset trykket.



Udbredelsen af flydende vand begrænser sig med andre ord til planeter (eller eventuelle måner), hvis afstand til deres moderstjerne hverken er specielt lille eller specielt stor. Alle andre steder i Universet findes vand enten som vanddamp eller is. I al almindelighed er både temperaturen og trykket så lav, at vand sublimerer (omdannes direkte fra is til damp) uden overhovedet et blive til væske. Det gælder fx isen på kometerne, når de kommer tæt på Solen. I stjernernes yderste atmosfære krystalliserer vanddampen derimod direkte som is, hvis den udsættes for en tilstrækkelig stor afkøling.

Endelig må man huske på, at temperaturen i en interstellar sky afhænger meget kritisk af, om skyen tilfældigvis befinder sig nær ved en stjerne eller ej. Alt afhængigt heraf forekommer vandet enten som damp eller is. Også her er trykket generelt så lavt, at flydende vand er en umulighed.

Fotosyntese og granit

- det geokemiske kredsløb

Jorden er ejendommelig på mange områder. Den minder faktisk ikke om noget andet himmellegeme, vi kender. Blandt de mærkelige fænomener på Jorden er kontinenterne, som er opbygget af bjergarten granit. Den forekommer overalt i vores omverden. Og man skulle derfor tro, at det var verdens mest almindelige bjergart. Men det er helt forkert. Den findes kun i en ganske tynd skorpe i Jordens kontinenter. Den kendes hverken fra Jordens indre eller fra noget andet sted i Solsystemet.

Jordens atmosfære indeholder masser af oxygen – ca. 20 %, men kun 0,03 % CO₂ – og Jorden har liv. Kan man mon tænke sig, at der er en sammenhæng mellem disse tre særheder – forekomsten af granit, den ret specielle atmosfære og tilstedeværelsen af liv? Har livet mon selv været med til at forme Jorden?

De ældste bjergarter

Vi ved, at kontinenterne er opbygget gennem milliarder af år. For at forstå de processer, som begyndte at opbygge dem, må vi studere de ældste bjergarter, granitterne. De er dannet ved at magma – smeltet bjergarts masse – er størknet dybt i jordskorpen. De er ca. 3,8 milliarder år gamle, og findes i Vestgrønland.

Blandt de ældste bjergarter findes også lag af sedimenter. På trods af deres ekstreme alder rummer de stadig information om tilstandene på Jordens overflade, dengang de blev til. De viser os, at Jorden allerede dengang var dækket af oceaner. Og de viser, at livet var vidt udbredt i oceanerne. Levende organismer optog CO₂ fra atmosfæren og omdannede det til organiske forbindelser, som blev aflejret på havbunden sammen med ler og sand. På den måde blev carbon trukket ud af atmosfæren og lagret i Jorden.

Fotosyntese, oxygen og forvitring

Når levende organismer producerer organisk stof, er de nødt til at reducere carbon i CO₂. Denne reduktion balanceres enten ved at organismene oxiderer svovl eller metaller, eller ved at de frigiver oxygen. Evnen til at omdanne CO₂ og H₂O til organisk stof og fri oxygen ved hjælp af solenergi under fotosyntese er en meget avanceret biokemisk proces, der foregår i organismer som fx blågrønalger og grønne planter. Både når organismer frigiver oxygen og når organismer, som ikke har denne evne, oxiderer svovl eller metaller, griber de ind i de geokemiske kredsløb under produktionen af biomasse.

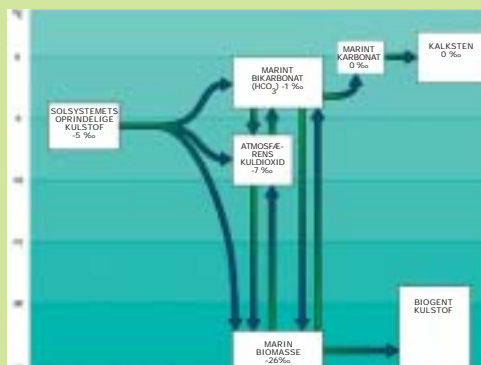
Fotosyntetiserende organismer benytter klorofyl til at fange fotoner og oplagre deres energi. På den måde kan organismen spare energi sammen fra flere fotoner, indtil den har råd til at bryde den kemiske binding mellem hydrogen og oxygen i vandmolekylet. Det frigjorte hydrogen reagerer med CO₂ og danner kulhydrat, samtidig med at der afgives oxygen til atmosfæren. På den måde medvirker klorofyl til, at solenergi kan omsættes til kemisk energi. Denne energi transporteres og omsættes i fødekæderne og er dermed baggrund for næsten alt liv på Jorden.

Specielt har frigivelsen af oxygen til atmosfæren store konsekvenser



Bobler af ilt dannet ved fotosyntese i vandplanter.

Foto: Erik Frausing

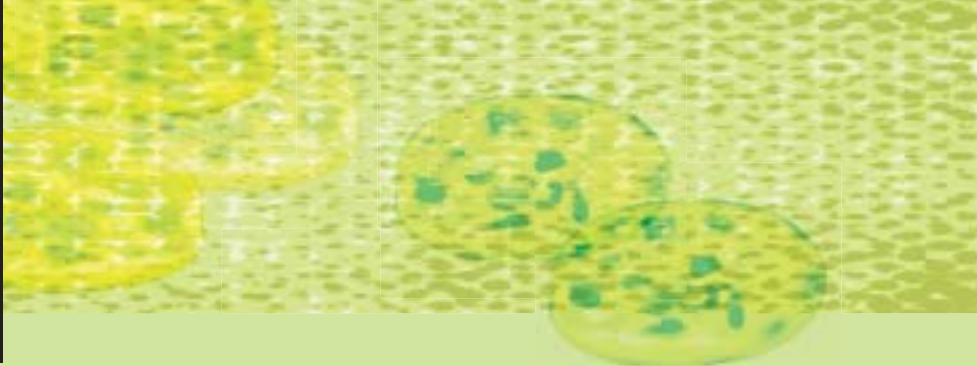


$\delta^{13}\text{C}$ forholdet er et udtryk for indholdet af isotopen ^{13}C set i forhold til det normale indhold i carbon. Når CO₂ diffunderer gennem membraner, som fx i grønkorn, reduceres indholdet af ^{13}C , da de lettere ^{12}C -atomer i gennemsnit bevæger sig hurtigere. Det er netop et $\delta^{13}\text{C}$ forhold på under -20 ‰ i carbon fra det grønlandske urfjeld, der viser tilstedeværelse af biologisk liv for 3,8 mia. år siden.

Lys



Klorofyl



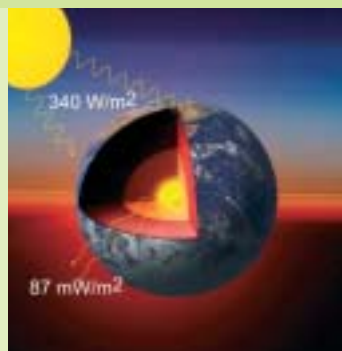
for de geologiske processer på jordoverfladen. Overfladens bjergarter reagerer meget nemt med luftens oxygen under forvitring. Det vil sige, at bjergarterne nedbrydes til ler, sand og opløste salte. Hvis der ikke konstant nydannes oxygen, går forvittringsprocessen i stå, fordi atmosfæren hurtigt vil opnå kemisk ligevægt med overfladens bjergarter. Livet medvirker således til at holde den kemiske forvitring i gang på jorden. Der er meget som tyder på, at netop det, at forvitring indgår i det geologiske kredsløb, er en betingelse for at granit kan dannes.

Delvis smeltning

Dannelse af granit foregår ved delvis opsmeltning af forvitret materiale dybt nede i Jorden. Når forvitret materiale ved plade-tektoniske processer bringes dybere ned i Jorden – eller simpelthen bliver begravet under tykke aflejringer – stiger temperaturen. Ved en temperatur på ca. 600–700 °C begynder materialet at smelte. Det sker ved en proces, som kaldes partiel smeltning. I princippet virker den på samme måde som destillation. De mest flygtige komponenter adskilles fra de mindre

flygtige. Det betyder, at det kun er nogle komponenter af det forvitrede materiale, som smelter, mens andre komponenter forbliver faste. De smeltede dele er lettere end den faste rest. De skiller sig derfor ud ved simpel opdrift, stiger opad til køligere regioner i jordskorpen, og størkner igen som granit.

Vores nuværende viden tyder på, at kontinenterne først for alvor begyndte at dannes for ca. 3,8 milliarder år siden, samtidig med de første tegn på, at livet muligvis havde udviklet evnen til fotosyntese.



Jordens energibudget i nyt lys

– livet har måske formet Jordens landmasser

Vi kan vurdere, hvor stort Jordens indre energi-budget er, ved at måle varmestrømmen fra Jordens indre. Den er på ca. 0,087 W/m². De plade-tektoniske og vulkanske processer på Jorden drives

af denne energi. Til sammenligning modtager Jordens overflade i gennemsnit 340 W/m² som stråling fra Solen.

På en normal livløs planet bliver stort set al energien fra solstrålingen omsat til varme. Overfladen opvarmes, og der indstiller sig en strålingsbalance, hvor der stråles lige så meget energi tilbage til det kolde univers i form af varmestråling, som den mængde, der modtages som sollys.

Men de enkelte fotoner i sollyset indeholder ikke hver for sig energi nok til at bryde de kemiske bindinger i overfladens materialer. Derfor kan sollysets energi ikke direkte omsættes til kemisk energi. Der er altså en energikilde, 4.000 gange større end Jordens eget indre energibudget, som rammer Jorden – men som ikke umiddelbart kan indgå i det geokemiske kredsløb.

Ved at se på den årlige fotosyntetiske produktion af kulhydrat, som er på ca. 10¹⁶ mol carbon for hele Jorden, kan vi vurdere betydningen for Jordens energibudget. Hvert mol carbon i kulhydrat kan frigive 475 kJ ved reaktion med oxygen. Fordeler vi den årlige primærproduktion over hele Jordens overflade, svaret det til, at de fotosyntetiske organismer omsætter 0,3 W solenergi til kemisk energi for hver m² af Jordens overflade - kemisk energi, som har mulighed for at indgå i det geokemiske kredsløb i form af forvitring.

Den enorme energikilde i solstrålingen blev altså tilgængelig for det geokemiske kredsløb, da livet udviklede klorofyl – og dermed evnen til fotosyntese. Det er svært at forestille sig, at ca. en firedobling af Jordens tilgængelige energibudget ikke skulle have haft en kolossal indflydelse på de geologiske processer.

Opsplitningen af den homogene Jord i adskilte og velordnede reservoirer med højst forskellig sammensætning er en konsekvens af denne energiomsætning. På den baggrund kan vi derfor muligvis tillade os at hævde, at kontinenterne fik mulighed for at opstå netop som følge af det forøgede energibudget i forbindelse med fremkomsten af fotosyntesen – at vi (livet) så at sige selv har formet de landmasser, vi bor på i dag.



Solsystemets dannelse

- omfattende sortering af urstoffet

Hele vores Solsystem med planeter, måner, asteroider og kometer blev dannet ved en fælles begivenhed for ca. 4,6 milliarder år siden. I den græske mytologi forestillede man sig, at verden opstod ud af en tåge – en nebula. Den moderne astrofysik har beholdt det malende navn, nebula, om den sky af gasser og støv, som kondenserede og klumpede sig sammen til bestanddelene i Solsystemet.

Jorden er altså født af Solens nebula, og Jorden har to søsterplaneter Venus og Mars. De tre planeter er dannet gennem de samme processer – ud fra det samme grundmateriale og på samme tid. De ligger i nogenlunde samme afstand fra Solen, og man kunne forvente, at de ville

have udviklet sig på samme måde gennem tiden. Men der er store forskelle mellem disse såkaldte "jordlignende" planeter. Til forskel fra Jorden har både Mars og Venus atmosfærer af næsten ren CO_2 . Venus har en temperatur på ca. $450\text{ }^\circ\text{C}$ og et tryk på 90 atmosfære på overfladen. Mars har en tynd, kold atmosfære med et tryk på kun 1/100 atmosfære. Med temperaturer ned til $-120\text{ }^\circ\text{C}$ falder der kulsyresne på polerne.

Homogen start

Planeterne opstod ved at gasserne i Solens nebula fortættedes, hvorefter de faste partikler samledes i stadig større objekter ved deres tilfældige sammenstød i den kaotisk roterende sky. De største partikler havde størst sandsynlighed for at blive ramt af nye partikler,

simpelthen fordi de fyldte mere. Altså voksede de store klumper på de mindres bekostning. De begyndte at danne legemer, der med deres tyngde var store nok til at tiltrække fjernere liggende objekter. Disse "planetesimaler" stødte sammen i gigantiske kollisioner og smeltede med tiden sammen til stadig større legemer.

Omtrent 30 millioner år efter nebulaens fødsel var planeterne dannet. De jordlignende planeter blev således oprindeligt opbygget af ensartet og homogent materiale.

Den verden, vi kender i dag, består af en lang række forskellige materialer og miljøer. Det oprindelige materiale er blevet sorteret ud i landjord, have og atmosfære, hvor landjorden igen kan underinddeles i en lang

række forskellige bjergarter, som er opbygget af en mængde forskellige mineraler. Geologien søger at belyse de processer, som sorterede det oprindelige homogene materiale ud i alle disse forskellige produkter.

Langsom entropiændring

Der er en fysisk-kemisk grundlov i Universet, som vi har erfaret gennem dagligdags gøremål og fået bekræftet gennem eksperimenter. Det er en lov, som vi ikke kan begrunde ud fra nogen anden naturlov. Loven beskriver altså et faktum, som vi er nødt til at tage til efterretning – også selv om vi ikke forstår dens årsag. Det er loven om at processer, som forløber spontant - så at sige af egen fri vilje – altid vil føre til, at entropien i Universet øges.



Entropien afspejler graden af uorden, hvor den totale uorden og dermed højeste entropi vil være, at hele Universet består af homogent materiale med samme temperatur overalt. Med den erkendelse må man jo undre sig over at vores planet har udviklet sig fra en uordnet homogen masse, til et velordnet system af forskellige materialer, som er pænt sorteret ud i passende bunker, så som kontinenter, have og atmosfære.

Den grundlæggende årsag ligger gemt i et andet fænomen, som vi heller ikke forstår årsagen til. Nemlig det, man kunne betegne som Universets vrangvillighed. Lige så gerne Universet vil øge sin entropi, lige så omhyggelig er det med at gøre det på den langsomst mulige måde. Hvis

vi søger at ændre på en del af verden, vil fysikken og kemien søge at modvirke ændringen efter bedste evne – udtrykt som "Le Châteliers princip". Hvis vi fx forsøger at opvarme et stof, vil det reagere med endoterme reaktioner – processer som forbruger varmeenergi – og dermed bremse opvarmningen. Et godt eksempel er, at vand begynder at fordampe, når vi tilfører varme – vi kan have en gryde stående på fuldt blus uden at temperaturen overstiger 100 °C, så længe vandet har mulighed for at fordampe.

Energiomsætning

Trangen til at hæmme produktionen af entropi kommer til udtryk ved, at Jorden – samtidig med at den taber varmeenergi til Universet – søger at skabe

orden i stoffet. Jordens indre er omkring 6.000 K. Universets temperatur er for tiden 3 K. Afkølingen af Jorden bidrager derfor til at øge Universets entropi. Opsplitningen af det homogene materiale i Jorden i forskellige kemiske sammensætning skaber orden og forbruger derfor entropi. Derved mindskes produktionen af entropi for den samlede sum af processer i Universet. Dette overordnede princip kommer naturligvis til udtryk i en næsten uendelig række af komplekse kemiske processer, som vi kun lige er begyndt at forstå i bare nogen detalje.

Rosetta

- skal bore efter vand i en komet

Den yderste planet i Solsystemet er Pluto. Uden for Pluto findes utallige større og mindre isklumper. Når de får baner ind mod Solen, kaldes de kometer.

Kometerne kan måske give os en forklaring på, hvordan Solsystemet er opstået. Isen har nemlig ikke undergået store ændringer de sidste ca. 4,6 milliarder år. Isen indeholder små mængder af andre stoffer, der var til stede ved dannelsen af isklumperne. Ud over vand drejer det sig om molekyler, som vi sammen med vand finder svævende i rummet mellem stjernerne: carbonmonoxid (CO), carbondioxid (CO₂), ammoniak (NH₃) m.fl. Men mange flere er blevet fundet.

Da den 10 km store komet Halley kom forbi Jorden i 1986, passerede rumsonden Giotto gennem komethalen, hvorved vi fik information om, hvilke stoffer kometen indeholder. Men vi kan dog ikke være sikre på, at de alle er oprindelige stoffer fra Solsystemets dannelse. Mange af de stoffer, som sollyset sublimerer fra kometens overflade, ændrer sig nemlig når de bliver belyst. Den eneste sikre mulighed er at udtage en prøve direkte under den faste overflade af en komet. Det er formålet med Rosetta-rumsonden.

Den skulle have været sendt op i januar 2003, men er blevet forsinket. Sonden vil efter 12 år nå ud til Jupiter, hvor den skal gå ned på overfladen af kometen Churyumov-Gerasimenko.

Når Rosetta lander på Churyumov-Gerasimenko, skal den bore en isprøve ud af overfladen. Isen opvarmes i en ovn, til vandet fordamper. Det føres igennem en gaschromatograf, der skiller vand fra andre stoffer. Derefter føres vanddampen gennem et massespektrometer, der vil måle mængden og massen af de forskellige vandmolekyler. Hvis vi for vandmolekylerne på kometen finder samme isotopforhold for hydrogen og oxygen som her på Jorden, er det ret sandsynligt, at vandet på Jorden er kommet fra kometer.



Grønland – et geologisk slaraffenland

Grønland tiltrækker hver sommer forskere fra hele verden. Geologerne spreder sig over landet, og opsøger de områder, som kan belyse netop deres fagområde. For mange geologer er en sommer i felten årets højdepunkt.

Man lever midt i den natur, man studerer, siger Minik Rosing, der er professor ved Geologisk Museum i København. Bjergarternes strukturer og forekomst-måde kan give svar på nogle af de spørgsmål, man har haft med hjemmefra. Og endnu vigtigere: det man ser i naturen, provokerer nye spørgsmål om verdens tilblivelse. Derfor er feltarbejde og direkte observationer i naturen stadig kernen i den naturvidenskabelige forskning.

Hvis man, som jeg, interesserer sig for Jordens tidligste historie, må man tage til området omkring Nuuk i Vestgrønland. Fra Nuuk flyver vi med helikopter de 150 km til randen af Indlandsisen og slår lejr. Her i næsten 1000 m højde er natterne kolde og stormene voldsomme, men først og fremmest er livet præget af naturens uhæmmede skønhed, den klare højfjeldssol og det ukomplicerede campingliv.

Hver morgen forlader vi teltene for at gå omkring i fjeldet og samle stenprøver. Om aftenen mødes vi igen i lejren og laver lukulliske retter på primusen. Mens rødvinen opbløder stemmebåndene og maden lægger en døsigt stemning over selskabet, kommer alle historierne fra tidligere ekspeditioner i nord, syd, øst og vest på bordet.



Foto: Niels Elbrønd Hansen



Minik Rosing

i PERSPEKTIV

Udgivet af Fysikforlaget med støtte fra Undervisningsministeriets tips/lottomidler og af Birch & Krogboe Fonden

Redaktion: Niels Elbrønd Hansen
Layout: Mette Qvistorff

Produktionsgruppe: Erik Frausing, Henning Henriksen, Minik Rosing samt Niels Elbrønd Hansen og Henry Nørgaard (fagredaktører)

Forsidefoto: Erik Frausing

www.perspektiv.gymfag.dk

Tryk: Budolfi Tryk, Aalborg
Oplag: 10.000

ISSN: 1602-5059