

ATMOSFÆRENS OG HYDROSFÆRENS DANNELSE, LIVETS OPSTÅEN OG DET AKTUALISTISKE PRINCIP

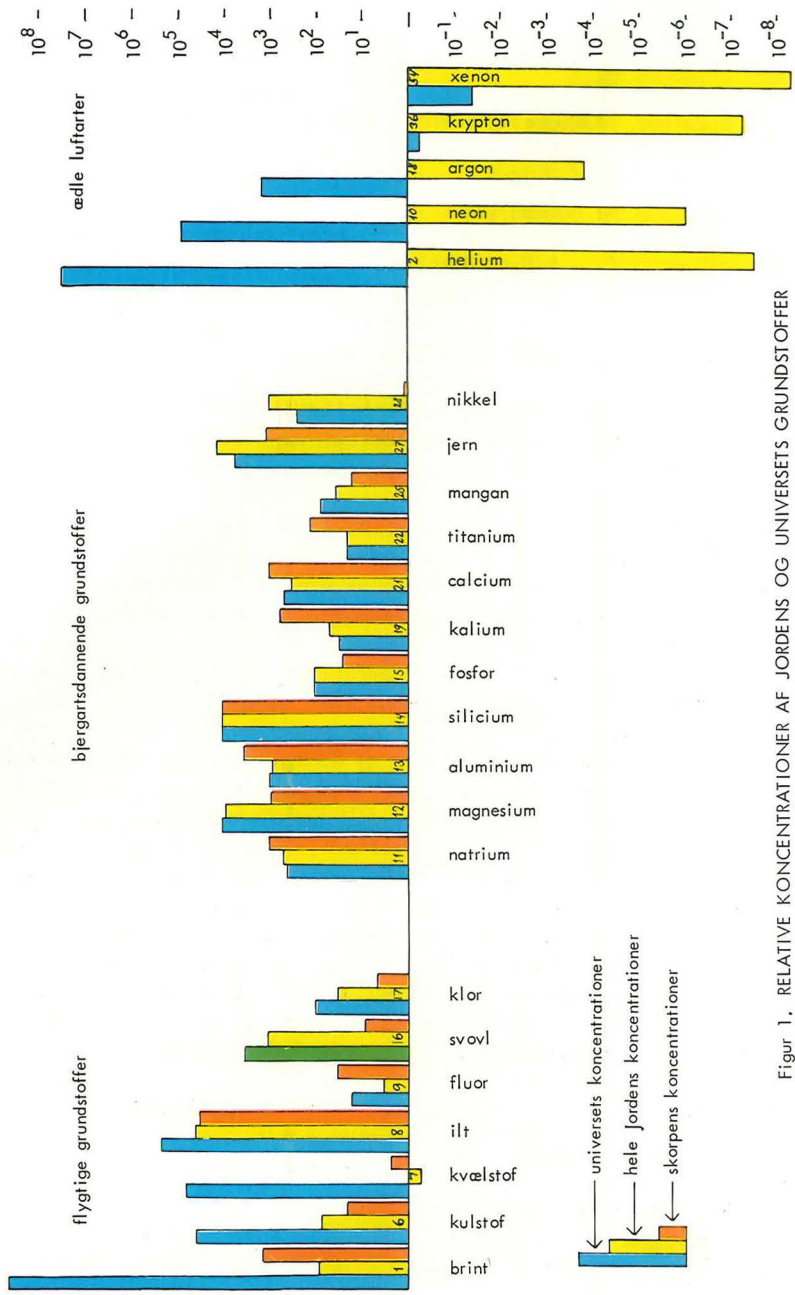
af Jan Allaart

Mere end halvdelen af kontinenternes bjergarter er opstået i den første halvdel af Jordens historie - inden for Prækambrium. I lang tid har de geologer, der arbejdede i prækambriske bjergarter haft den vane at overføre opfattelser og tolkninger fra studier i Alperne og andre unge bjergkæder, på de fænomener som man fandt i de gamle bjergarter. I den senere tid er det dog blevet mere og mere klart, at de eventuelle tidlig-prækambriske bjergdannelseszoner ikke nødvendigvis svarer helt til de alpine og forholdsvis unge foldekæder. Vi har alle en instinktiv følelse af, at udviklingen på Jorden altid har været ensartet. Vi lever for kort til at kunne se vigtige forandringer i naturens forløb. Man kan måske sige, at der i de sidste 500 millioner år virkelig har været en regelmæssig og ensartet vekslen af processer som geosynklinaldannelse, foldning - hævning af bjergkæder som eroderedes bagefter. Men spørgsmålet er, om denne ensartede rytme kan føres helt tilbage til Jordens allerførste barndom, eller om tilstandene i begyndelsen har været helt anderledes. Med andre ord, var Jorden da den opstod helt færdiglavet som den er nu, eller har den gennemgået en udvikling fra noget helt anderledes til den Jord, som vi kender nu. Det problem vil her blive belyst med de resultater som i de sidste årtier er nået ved studiet af udviklingen af atmosfæren, hydrosfæren og af livets opståen.

Spekulativ Baggrundsinformation

Ens stillingstagen til problemet afhænger først og fremmest af ens indstilling til de store teorier som er fremme om Jordklodens opståen. For eksempel, hørte jeg som student at Stillehavet er det gamle ar, hvorfra Månen har udskilt sig fra Jorden. Man troede at Jorden dengang må have været helt flydende og haft en tynd fast skorpe, hvorunder der var et lag af en kiselsyre-rig smelte (sialsmelten). Da Månen fløj ud af Jorden, tog den godt 65% af den kiselsyre-rige smelte med og en del af den dybereliggende kappe. Efter denne katastrofe brækkedes den tilbageblivende del af sialsmelten i flere stykker og sugedes hen mod såret, og derved er kontinenterne opstået. På denne måde er en ensartet udvikling af kontinenterne sikret fra den allerførste begyndelse.

Det er nu en gammel teori - det anses for mere sandsynligt, at Jorden ikke var smeltevarm, da den dannedes ved akkumulation - ansamling af partikler. Den opfattelse er baseret på sammenligninger mellem den kemiske sammensætning af universet og af Jorden. I figur 1 kan det ses, at de bjergartsdannende grundstoffer er en lille smule beriget på Jorden



sammenlignet med koncentrationerne i universet. Derimod viser de lette grundstoffer på Jorden et lille, men tydeligt underskud. Når man sammenligner koncentrationerne af de ædle luftarter med hinanden, ser man en ekstrem opdeling. Koncentrationerne af disse grundstoffer på Jorden er langt mindre (10^7 til 10^{14} gange mindre) end koncentrationerne i "stjernerne". I øjeblikket er Jordens masse så stor at kun de to letteste grundstoffer, brint (H) og helium (He), ikke kan fastholdes af Jordens tyngdefelt. Når man ser på atomvægtene for krypton (Kr) og xenon (Xe) - henholdsvis 83 og 130 - bliver det klart at disse forskelle i koncentration ikke kan forklares som tab fra atmosfæren, efter at Jorden havde fået den masse som den nu har. Hvis Jorden er opstået ved akkumulation af en mængde små stumper (planetesimaler) kan man tænke sig, at de ædle luftarter er forsvundet i det tidlige stadium, fordi de ikke kunne fastholdes af tyngdekræfterne og fordi de ikke havde mulighed for at danne forbindelser med andre grundstoffer. På samme måde kan man tænke sig, at tabet har været størst for de allerletteste grundstoffer som neon (Ne), helium og brint, se figur 1.

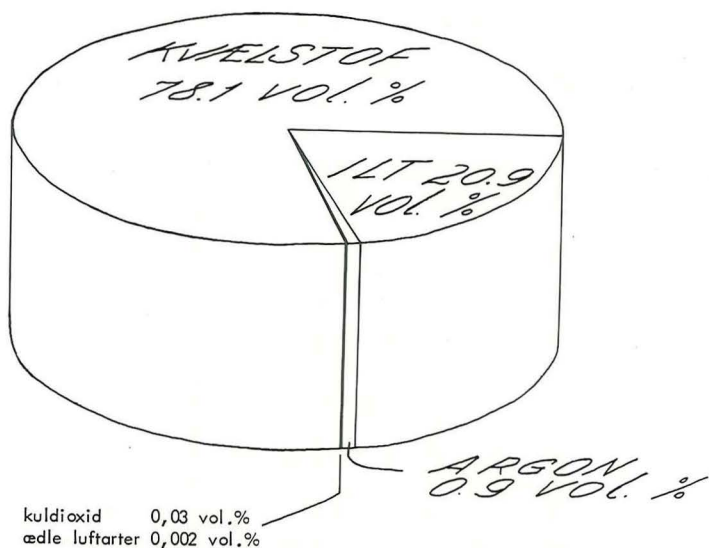
Et andet argument som peger mod en lav temperatur under Jordens opbygning af smådele er, at de ædle luftarter er gået tabt i større mængder end de mere kemisk aktive materialer som vand, kuldioxid og ammoniak. Hvis temperaturen under Jordens opbygningsproces havde været nogle hundrede grader, ville sådanne kemiske forbindelser være forsvundet lige så let som de ædle luftarter. Ved temperaturer omkring 0°C eller lavere ville disse forbindelser i hvert fald delvis være bevaret som is og som elementer i flere mineraler.

Således kunne man tænke sig, at Jorden i sin allerførste barndom har været en mere eller mindre homogen klump af materiale, hovedsagelig bestående af magnesium - jernholdige siliciummineraler (silikater) og frit jern, med massefylden 5.5 og uden atmosfære. I den sidste del af tilvækstprocessen må temperaturen inde i Jorden være steget som følge af frigjort bevægelsesenergi fra det indfaldende materiale og som følge af radioaktivitet. Det er dog ikke nødvendigt at tænke sig, at hele Jorden har været smeltet. Derefter begyndte udskillelsesprocessen som resulterede i opdelingen i kerne, kappe og skorpe. Hvor lang tid det har været ved vi ikke - muligvis den største del af jordhistorien. Men jeg håber det er blevet klart at Jorden i sine ungdomsdage har været anderledes end den er nu.

OPRINDELSEN AF HAVVANDET OG ATMOSFÆREN

Hovedbestanddelene af atmosfæren kan ses i figur 2. Ved siden af disse indeholder atmosfæren også små mængder af brint (H_2), metan (CH_4), kvælstofiler, ozon (O_3) og svovldioxid (SO_2). Sammensætningen af havvand er gengivet i tabel 1.





Figur 2. Atmosfærens hovedbestanddele

Tabel 1. Sammensætning af normalt havvand (saltholdighed 3,5%, 8° C, vægtfylde 1,025, surhedsgrad pH 8,17)

joner af	opløst materiale (g/kg)	millimol per liter	milliækvivalenter per liter	
klor	19,360	560,70	560,70	
sulfat	2,701	28,88	57,76	
brom	0,066	0,85	0,85	
fluor	0,001	0,07	0,07	
kuldioxid	} 0,001	0,01	---	
kulsyre				
hydrogenkarbonat	0,116	1,90		1,90 "karbonat
karbonat	0,012	0,20		0,40 alkalinitet"
borsyre	0,022	0,35	---	
hydrogenborat	0,055	0,08		0,08
			619,38	2,38
natrium	10,770	480,80	480,80	
magnesium	1,298	54,78	109,56	
calcium	0,408	10,46	20,92	
kalium	0,387	10,18	10,18	
strontium	0,014	0,15	0,30	
	35,161		621,76	621,76 - 619,38 = 2,38 = <u>overskud base</u>

Den totale masse af atmosfæren er omkring $5.1 \text{ gange } 10^{21}$ gram og massen af havvandet er $1.41 \text{ gange } 10^{24}$ gram.

Mængden af natrium (Na) opløst i havvandet svarer nogenlunde til den opløste mængde klor, hvad der svarer til, at det vigtigste salt skulle være natriumklorid (NaCl). Det er egentlig overraskende, fordi natrium tilføres af floderne hovedsagelig som bestanddel af karbonat og hydrogenkarbonat. Den lille mængde klor som floderne transporterer ud i oceanerne kommer for det første fra havsalt, som er transporteret af vindene ved forvitring af saltforekomster - som selv er opstået ved fordampning af havvand - og for det andet fra forvitring af vulkanske bjergarter. Mængden af klor er egentlig større end den totale mængde, som kunne produceres ved forvitring af vulkanske bjergarter igennem hele den geologiske jordhistorie. Hvorfra stammer da den oceaniske klor ?

Der er også fundet uoverensstemmelser for andre bestanddele af hydrosfæren og atmosfæren. Mængden af kuldioxid i karbonatsedimenter er flere hundrede gange større end den mængde kuldioxid, som hydrosfæren og atmosfæren nu indeholder. Den synes også at være meget større end mængden af kuldioxid, som kunne frigøres ved forvitring af vulkanske bjergarter. Lignende bemærkninger kan gøres om andre såkaldte flygtige stoffer som bor, brom, kvælstof, svovl og også om vand (H_2O) selv: Tabel 2.

Tabel 2. Regnskab for de flygtige stoffer, som i øjeblikket findes nær Jordens overflade, i enheder af 10^{20} gram. (Efter Rubey)

	vand	alt kulstof som kuldioxid	klor	kvælstof	svovl	brint, brom o.s.v.
I nuværende atmosfære, hydrosfære og biosfære	14 600	1,5	276	39	13	1,7
Begravet i gamle aflejringer	2 100	920	30	4,0	15	15
Total	16 700	921,5	306	43	28	16,7
Stammende fra forvitring af krystalline bjergarter	130	11	5	0,6	6	3,5
"Overskydende" flygtige stoffer som ikke stammer fra forvitring	16 600	910	300	42	22	13

Rubey har med megen omhu undersøgt mulige kilder til overskuddet af flygtige stoffer. Han konkluderer, at der kun er to muligheder. 1) De stammer helt eller delvis fra et oprindeligt ocean og en oprindelig atmosfære. 2) De er kommet ud til overfladen som vulkanske luftarter fra Jordens indre i løbet af Jordens historie. "Uratmofære" - hypotesen er u-sandsynlig på grund af følgende forhold. Hvis alle "overskydende flygtige stoffer" inklusive vand oprindeligt havde været til stede i atmosfæren, ville det oprindelige ocean have været ekstremt surt (pH mindre end 1). I et

sådan miljø ville kuldioxid og klorbrinte reagere med de blottede bjergarter ved jordoverfladen og derved producere enorme mængder af karbonat-sedimenter, salte af forskellig slags samt kiseltsyre. Sådanne dannelser er ikke fundet i de tidligste prækambriske bjergarter. Undersøgelser af forholdet mellem kalksten og andre sedimenttyper peger ikke mod store variationer gennem Jordens historie.

Den anden hypotese, at de "overskydende flygtige stoffer" mere eller mindre kontinuerligt er blevet tilført overfladen fra Jordens indre er meget mere sandsynlig. Således frigøres de pågældende stoffer netop fra nutidens vulkaner.

Læg mærke til at disse luftarter er sure. Mængden af syre er langsomt men sikkert vokset gennem Jordens historie, og hele tiden har syrerne reageret med silicium-mineralerne i jordskorpen og bragt metaljoner og silicium i opløsning. De fleste metaljoner er igen forsvundet fra luft/hav systemet og befinder sig nu andre steder. Det kommer vi tilbage til senere.

Der er endnu et helt andet argument (fremsat af Verhoogen med flere i 1970), som støtter ideen om, at atmosfærens luftarter kommer fra Jordens indre. Som man kan se i figur 2, er koncentrationen af argon meget større end koncentrationen af de andre ædle luftarter, og den består for det meste af isotopen Ar-40. Det tyder klart på, at det meste af luftens argon er dannet ved radioaktiv nedbrydning af kalium-40. Men der er alligevel mere argon i atmosfæren end der kunne dannes i skorpen gennem hele jordhistorien, og derfor er det højst sandsynligt, at også kappen har mistet noget af sin radioaktivt dannede argon til atmosfæren.

ATMOSFÆRENS ILT - OG LIVETS OPRINDELSE

Fri ilt er en vigtig bestanddel af vor atmosfære, men iltten i de vulkanske luftarter er bundet som vand, kuldioxid, kuloxid eller svovldioxid. Hvor er så den frie ilt kommet fra? En smule fremkommer i den øverste atmosfære som følge af lysets spaltning af vanddamp og herved forsvinder samtidig brint ud i verdensrummet.

Det meste ilt synes derimod at være et biprodukt af fotosyntesen - den komplicerede proces hvorved planter bruger atmosfærisk kuldioxid, vand og synlig solstråling til at opbygge de organiske forbindelser som de består af. På en forenklet måde kan vi forestille os reaktionen som

Kuldioxid + vand + solenergi = "plantestof" + fri ilt.

Herved fremkommer altså fri ilt!

Nu er der endnu et aspekt i atmosfære problemet - nemlig livets opståen. Siden 1920 er dette emne mere og mere kommet i forgrunden - og særlig den opfattelse, at livet her på jorden er opstået på naturlig måde af uorganiske materialer. Resultaterne af de biologiske undersøgelser i de sidste 4 årtier skal jeg prøve at resumere så kort som muligt. I den nuværende atmosfære er det umuligt at skabe organiske molekyler kunstigt



eller udenfor livsprocesser i allerede bestående livsformer. Dertil kommer, at hvis nogle atomer ved et usædvanligt forløb af omstændigheder skulle have sluttet sig sammen til et organisk molekyle, så ville det dog straks være gået til grunde som følge af en uorganisk iltning eller ved en organisk forrådnelsesproces. Umuligheden af dannelse af organiske molekyler udenfor de bestående livsprocesser hænger ubrydelig sammen med, at atmosfæren er en ilt-atmosfære. Derimod vil dannelse af organiske molekyler ad naturlig vej være mulig i en atmosfære uden eller med meget lidt ilt.

Den fri ilds indflydelse på livet i vor nuværende atmosfære har to aspekter: 1) Som lige nævnt, iltning af ubeskyttet organisk materiale, 2) Absorption, nederst i atmosfæren og i ozonlaget i 20 - 30 km højde, af den kortbølgede ultraviolette stråling, som er dødelig for alt nuværende liv.

I denne kortbølgede solstrålings egenskaber ligger der tilsyneladende en selvmodsigelse. På den ene side er den ved sit høje energiindhold dødelig for det nuværende liv. På den anden side giver det samme høje energiindhold mulighed for direkte dannelse af molekyler, som består af atomer af kulstof, brint, kvælstof, ilt, svovl og andre ved forbrug af energimængder fra strålingen. Disse molekyler kan kun forme byggesten for de nuværende organiske molekyler. Det er en uorganisk fotosyntese, som er helt forskellig fra den nuværende planteverdens organiske fotosyntese, som bruger lysenergi fra den synlige del af solens spektrum.

Ur-oceanerne, der ligesom nu, hovedsagelig bestod af vand, kunne derfor ved siden af mineralsalte, også indeholde en mængde sådanne byggesten for organiske molekyler. I litteraturen er det billede populariseret under betegnelsen "den tynde suppe".

Af disse molekyl-byggesten skulle der i løbet af lang tid, via mange vedvarende processer have dannet sig komponenter med livslignende egenskaber og senere højere former for liv. Skemaet, figur 3, viser hvordan livets udvikling kunne have gået til.

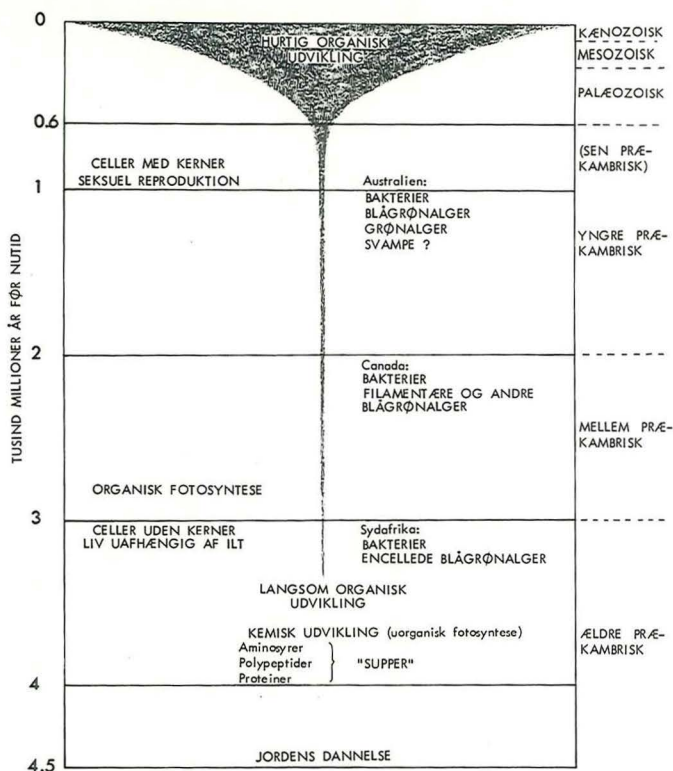
Det har virkelig været muligt at producere sådanne molekyler kunstigt. Den første forsker, som kunne lave ret små molekyler var Miller, men senere har biokemikere i Rusland og i Amerika været i stand til at producere meget større molekyler, som er næsten identiske med æggehvide-stoffer.

Ifølge denne tankegang var stofsiftet i de tidligste livsformer anærobt (ikke ilt krævende). På en eller anden måde er der fra disse opstået organismer med et ilt-producerende stofsifte, som ligger på et tydeligt højere energi-niveau. Det havde som biresultat, at fri ilt langsomt men sikkert dannedes i atmosfæren på bekostning af kuldioxiden i atmosfærehydrosfæresystemet, og det var samtidig forudsætningen for udviklingen af de højere livsformer i den sidste del af Jordens historie.



Figur 3. Den organiske udvikling vist som perioder af biologisk udvikling. Den voksende mængde af arter er udtrykt i det mørke areal.

Efter Barghoorn 1971



HVORDAN HAR ATMOSFÆRENS SAMMENSÆTNING ÆNDRET SIG ?

Figur 4 viser, hvordan professor Rutten tænker sig at atmosfærens sammensætning har ændret sig som følge af livets udvikling.

NNA betyder Nutidigt Niveau i Atmosfæren.

0.001 NNA, Urey niveau, markerer øverste grænse for produktion af ilt ved dissociation af vand som følge af ultraviolet solstråling højt oppe i atmosfæren.

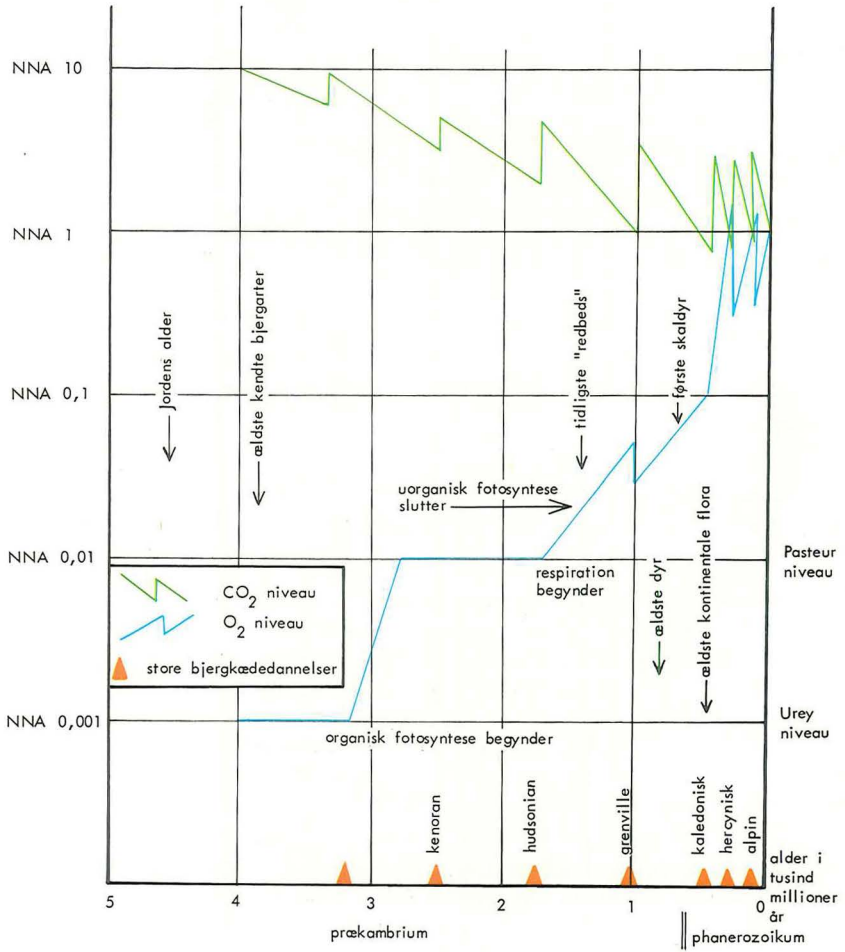
For lidt mere end 3000 millioner år siden begyndte de første blågrønner at producere ilt ved en ny-erhvervet proces, organisk fotosyntese. Derefter begyndte atmosfærens iltindhold at vokse.

0.01 NNA, Pasteur niveau. Pasteur opdagede at mange nuværende mikrober skifter deres stofskefte fra fermentation (gæring) til åndedræt, når 0.01 NNA overskrides og omvendt. Disse kaldes fakultative aerobere, fordi de ånder i den nuværende atmosfære og gærer under anaerobiske omstændigheder. Rutten tror, at sådanne mikrober for 1800-3000 millioner år siden har haft en regulerende indflydelse på iltniveauet. Hvis iltindholdet var under 0.01 NNA gærede de. Hvis iltmængden kom over 0.01 NNA skiftede mikroberne til åndedræt og det bevirkede, at iltniveauet gik ned igen. Til sidst var mængden af fotosyntetiserende mikrober tiltaget så meget, at Pasteur niveauet blev endeligt overskredet.

modificeret efter Ruttén (1967)

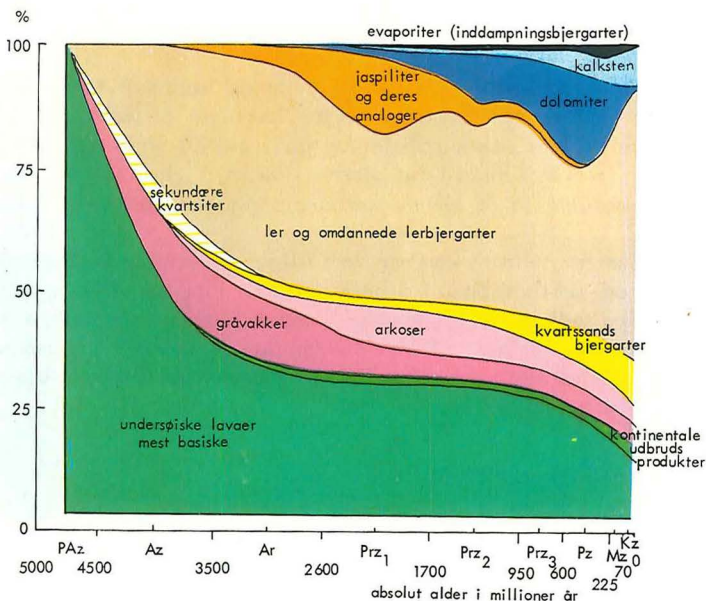
præ-aktuelistisk atmosfære

aktuelistisk atmosfære



præ-aktuelistisk atmosfære

aktuelistisk atmosfære



Figur 5. Skitse af udviklingen i sedimenternes kemiske sammensætning

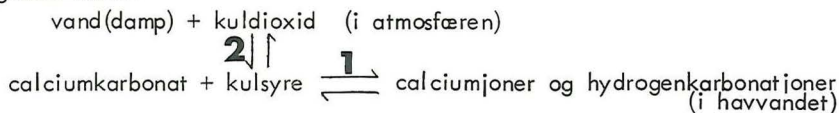
I denne periode dannedes svovlkis-uran-holdige konglomerater og de fleste kvarts-båndede jernmalme verden over.

Perioden efter 1800 millioner år karakteriseres af forekomster af "red beds" - røde jernglans-holdige bjergarter som dannes under iltende omstændigheder. "Red beds" er dog nu også fundet i Labrador geosynklinalen og i Guyana, og disse forekomster er mere end 2000 millioner år gamle.

Diagrammet har mange hypotetiske elementer og nogle fejl, men i det mindste lyder det sandsynligt, at iltmængden i atmosfæren steg, mens mængden af kuldioxid gik ned.

KONSEKVENSERNE I DET KEMISKE LUFT-HAV-SEDIMENT SYSTEM

Et af de vigtigste kemiske stødpudsesystemer, som regulerer surhedsgraden og kuldioxidtrykket i havet kan i simplificeret form angives på følgende måde:



Hvis kuldioxid tages ud af atmosfæren forskydes ligevægt 2 opad, og det har som følge, at ligevægt 1 forskydes mod venstre og CaCO_3 udfældes - eller, at havvandet bliver overmættet med CaCO_3 . Under disse

omstændigheder er skaldyrene i stand til at bruge karbonat til skaller eller skeletter. Er der en sammenhæng mellem forbruget af kuldioxid til fotosyntese i jordhistoriens sidste halvdel og den relativt store mængde karbonatsedimenter, som er dannet i det samme tidsrum? Har det meste af calcium og magnesium fra de senere karbonatbjergarter oprindeligt været opløst i havet?

Ovennævnte tendens kommer frem i figur 5, som er baseret på geologiske kort og publikationer fra hele verden. Figuren viser hyppigheden af de forskellige sedimenttyper gennem Jordens historie. Endvidere ses den tendens i figuren, at den anden hovedgruppe af kemiske sedimenter, de kvartsbåndede jernmalme, dannedes i store mængder før karbonatbjergarterne kom til fuld udvikling.

KVARTSBÅNDET JERNMALM

Der er to hovedgrupper af sedimentære jernmalme: 1) Kvartsbåndede jernmalme, som er mest hyppige fra Prækambrium, dannet mellem 3200 og 1700 millioner år før nu. De forekommer i store mængder på alle kontinenter. 2) Minette-typen af malme med oolitisk struktur, som er mest hyppige efter Prækambrium. Oprindelsen af hver af grupperne er en stor gåde. Forvitringen omdanner alt kemisk divalent jern til det mere stabile trivalente jern, men dette er så godt som uopløseligt i det meste overfladevand. Den eneste måde at transportere jern i opløsning i hydrosfæren på, er som divalent jern - det er umuligt i den nuværende iltrige atmosfære - eller man er nødt til på en eller anden måde at forandre sammensætningen af det normalt neutrale eller svagt basiske overfladevand til mere surt vand, hvori trivalent jern er opløseligt.

De kvarts-båndede jernmalme kan i de forskellige områder følges over mange hundrede og sommetider tusinder kilometre, og de er tilsyneladende dannet i lavvandede have. Sedimenterne er aflejret i tynde bånd, som ofte er mindre end en millimeter tykke. De danner en monoton vekslen mellem jernrige og siliciumrige lag. De sidste er nu en flintlignende bjergart - ekstremt finkornet kvarts, som er opstået ved rekrystallisation af kolloidal silicium. Inden i finder man fossiler af mikroskopiske planter som tilsyneladende trivedes i havene på denne tid. Disse organismer er de ældste kendte former for liv. Det er typisk at i disse sedimenter træder nedbrydningsmateriale i baggrunden. På kortet i figur 6 kan man se, at de kvartsbåndede jernmalme har været meget almindelige på Jorden. Kortet viser kun de vigtigste forekomster, der er mange flere mindre vigtige. Efter 1700 millioner år før nu har omstændighederne forandret sig således, at de ikke mere kunne dannes med så stor udbredelse.

Alle forsøg på at forklare oprindelsen af kvartsbåndede jernmalme går ud fra, at oprindelsesområdet for de kemisk udfældede stoffer ikke ligger langt væk. Der har været to hovedgrupper af forklaringer: 1) Man

antager, at der har været lange perioder med erosion og dyb forvitring af nærliggende landmasser samt stor havdækning med lavt vand. Efter langvarig erosion var der kun lidt nedbrudt materiale tilbage og derfor fik de langsomt akkumulerende kemiske udfældnings-produkter, som stammede fra det dybt forvitrede kontinent, lejlighed til at bundfælde sig i de lavvandede havbassiner. Modstanderne af denne teori peger altid på, at det lejlighedsvis optrædende nedbrydningsmateriale altid indeholder visse friske, uforvitrede mineraler og også på, at rester af de stærkt forvitrede tilførsels-områder aldrig er fundet. 2) I nogle tilfælde er der en tydelig sammenhæng mellem vulkanisme og udfældning af jern og silicium, og det synes klart at elementerne i disse tilfælde er af vulkansk oprindelse. I de fleste tilfælde er sammenhængen dog ikke så udpræget, og det lader ikke til, at den vulkanske forklaring kan have almindelig gyldighed som hovedforklaring.

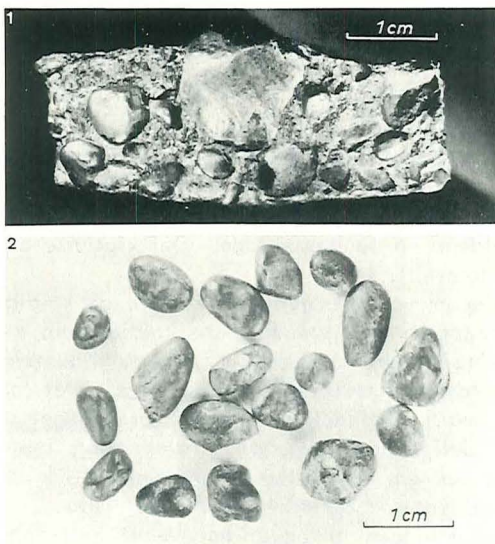
Kort sagt, den første forklaring er uden videre dårlig, mens den anden er bedre - og det er sandsynligt, at vulkanisme i de fleste tilfælde har ydet sit bidrag. Men som hovedforklaring er den vulkanske teori dog ikke tilfredsstillende.

Der er en meget bedre forklaring. Når man tager i betragtning, at disse kvartsbandede jernmalme er så almindelige verden over, kan lokale årsager aldrig give løsningen på problemet. Flere europæiske geokemikere har peget på, at da havet dannedes skulle det have haft en meget stor surhedsgrad, fordi de vulkanske luftarter i hydrosfæren var så sure. Da forvitringen af jordskorpen kom i gang frigjordes metaljoner af calcium, magnesium, natrium, men også jern. Netop fordi der ikke var ilt i atmosfæren må betingelserne for opløsning af divalent jern have været meget gunstige. Sandsynligvis har jernet igennem de første 1000 millioner år været en vigtig komponent blandt de opløste grundstoffer i havet.

Indtil nu har forsvarerne for den iltfattige-atmosfære-teori understreget, at mangel på ilt var betingelsen for at kvartsbandede jernmalme kunne dannes, men de fik altid vanskeligheder fordi bjergarterne for en stor del består af jernoxider. Nogle russere har efter min mening givet den rigtige forklaring. De foreslår, at den primære årsag til de kvartsbandede jernmalms dannelse var det voksende iltindhold i atmosfæren. Det bevirkede, at det divalente jern oxideredes og udfældedes. Hvor skete denne proces først? Langs de gamle kontinenter, hvor organismernes i lavvandede bassiner producerede det meste ilt. Her ser man igen hvor stor livets indflydelse kan have været på processerne i det kemiske atmosfære/hav/sediment system - sådan kan det i princippet være gået til. Der er desværre ikke plads til at give flere detaljer. Det eneste jeg ikke kan lide er den store mængde svovl i havet og sedimenterne. Dette grundstof må oprindeligt have været i opløsning som svovlbrinte. Ifølge Wedepohl har ovenstående hypotese kun gyldighed, hvis der var et betydeligt overskud af jern i forhold til svovlbrinte i det daværende hav, fordi svovlkis er så godt som uopløseligt.

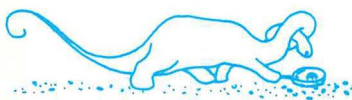
SVOVLKIS-URANINIT-GULD_KONGLOMERATERNE OG RED BEDS

I Witwatersrand området i Sydafrika, Jakobine området i Brasilien og i to områder i Canada, figur 6, findes nogle konglomerater, hvis rullesten kun består af en bjergartstype. Konglomerater, som indeholder guld, uraninit og svovlkis er meget udbredte. Disse danner lag i meget tykke sediment-serier, som alle har omtrent den samme alder - 2800 - 2000 millioner år. I øjeblikket er de geologer, som arbejder i disse områder, i almindelighed enige om, at guldet, uraniniten og i hvert fald en del af svovlkisen er af sedimentær oprindelse. Til illustration af sedimentær svovlkis kan man se figur 7.



Figur 7. Sedimentær svovlkis, Sydafrika: 1. Små rullesten i kvartsitisk mellemmasse. 2. Tilsvarende isolerede småsten, der lokalt kaldes dyrehagl.

De sedimentologiske undersøgelser i det sidste tiår tyder på, at konglomeraterne er flodgrus, som er aflejret i fri luft på kystflader eller skrånende flodsletter. Mange steder har der været megen omlejring, så sandkorn, de tunge mineraler og rullesten må have været i kontakt med atmosfæren i længere tid. Under disse omstændigheder kunne hverken de sedimentære svovlkiskorn eller uraniniten være blevet bevaret i en stærk iltende atmosfære, og det lyder derfor sandsynligt, at atmosfæren dengang havde et meget lavere iltindhold end nu. Det vigtige er, at disse dannelser ikke forekommer et enkelt obskurt sted, men mange forskellige steder verden over.



Red beds bestående af lyserødt jernglansførende sand og røde jernglansførende lersten er indtil nu altid brugt til at markere tidspunktet, hvor atmosfæren rigtig begyndte at være udpræget oxiderende. Som allerede nævnt ved beskrivelsen af Ruttens diagram, figur 4, er der to forekomster af red beds, som har den samme alder som svovlkiis-uraninit konglomeraterne. Jeg tror ikke at disse bjergartstyper principielt udelukker hinanden. Når iltindholdet i atmosfæren er lavt så bliver den ved med at være oxiderende, men reaktionshastigheden for oxidationsprocessen går ned. Svovlkiisforekomsterne kan derfor forklares på den måde, at de ikke har været tilstrækkelig lang tid i kontakt med den svagt oxiderende atmosfære. Derimod må man antage, at de omtalte red beds under dannelsen har været i kontakt med den svagt oxiderende atmosfære i så lang tid, at der kunne produceres jernglans.

SLUTBEMÆRKNINGER

1) Angående vort hovedproblem kan vi konkludere, at det er højst sandsynligt, at Jorden i begyndelsen har set helt anderledes ud end i øjeblikket. Det synes klart, at livets udvikling har spillet en stor rolle ved at forandre forholdene på dens overflade. Det vigtigste aspekt er produktionen af atmosfærens ilt.

2) Atmosfæren var i begyndelsen rigere på kuldioxid. Derfor må det have været meget varmere som følge af kuldioxidens evne til at opsuge infrarød stråling - drivhus-virkning. Da kontinenterne dengang var meget mindre kan temperatursvingninger også have været forholdsvis svage. Overfladevandet må i almindelighed have været meget surere og forvittringsforholdene tydeligt anderledes end i øjeblikket, også fordi mængden af bakterier, som har en meget stor fremmede indflydelse på forvittringsprocesser, på kontinenterne oprindelig har været lille.

3) Sammensætningen af havet har været helt anderledes end nu. Så vidt jeg kan se, har havet i fortiden været en meget mere koncentreret opløsning end nu. Det har indeholdt store mængder kalcium, magnesium, jern og også relativt meget silicium. Peger det mod en oprindelig jordskorppe af basaltisk sammensætning?

4) De kvarts-båndede jernmalme er ikke opstået, fordi der var så lidt ilt i atmosfæren, men fordi den begyndende iltproduktion ikke tillod divalent jern at forblive i opløsning i oceanerne.

Udviklingen af atmosfæren og hydrosfæren kan ikke skilles fra kontinenternes udvikling. Dette aspekt er imidlertid så omfattende, at det i sig selv kunne kræve en lang række artikler. Det skal her blot påpeges, at der er gode muligheder for at udforske geokemiske udviklingsmønstre i aflejringer fra lange tidsrum. For eksempel viser undersøgelser af sedimenterne på russiske og amerikanske kontinentale platforme et kalium-natrium forhold, der stiger med aftagende alder. Dette mønster peger sandsynligvis mod en forandring af kontinenternes sammensætning i løbet af Jordens historie.

