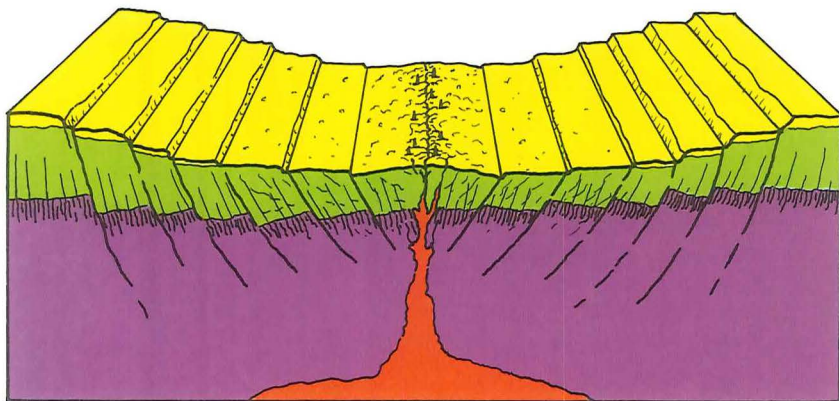


BLACK SMOKERS OG MANGANKNOLDE PÅ DYBHAVETS BUND

af Helmar Kunzendorf og John Rose-Hansen

Da forskerne Corliss og Edmond i 1977 startede neddykningen til Stillehavets bund nordøst for Galapagos, havde de sikkert ikke ventet, at deres tur i det lille undervandsfartøj 'Alvin' ville blive indledningen til ikke mindre end en epokegørende ændring af forståelsen af dannelsesbetingelserne for mange malmforekomster, mulighederne for at foretage minedrift på dybhavets bund samt give væsentlige bidrag til forståelsen af livets udvikling og mulige opståen. Opdagelserne har sidenhen vist, at dybhavs bunden er et væsentligt område for stofferne globale afsætning og cirkulation,

På dybhavets bund så forskerne varme kilder strømme op fra skorstens-lignende rør, og omkring dem så de et rigt dyreliv. Revner i havbundens pudelava var tæt pakket med op til 30 cm store hvide muslinger, brune hestemuslinger, bueformede snegle, gennemskinnelige søanemoner, krabber og hummere samt kolonier af op til 5 meter lange rørboende orme med røde hoveder. Store brune blinde fisk svømmede rundt. Der er mørkt i dybhavet, så dyrene har ikke behov for at kunne se.



Figur 1. Havbundens opbygning omkring en midtoceanryg. Langs spredningsaksen ses en række (forstørrede!) skorstene. Opstigende magma er rødt, gabbro (med gange i den øvre del) er violet, pudelava er grønt, og sedimentdække er gult.

Dybhavet er havområderne uden for kontinentalsocklen med vanddybder, der overstiger 1000 meter. Oceanbunden består af store sletter i 3000 til 7000 meters havdybde med et relativt svagt havbundsrelief – de såkaldte abyssale flader, hvorover der rager flere tusinde meter høje, enkeltstående bjerge, 'seamounts'. Sletterne gennemskæres af et ca. 60.000 km langt sprækkesystem, midtoceanrygge, der er hævet noget i forhold til sletterne. Det var på dette sprækkesystem, de to forskere iagttog det nævnte dyreliv, og det var her, de fotograferede op til 30 meter høje rør – skorstene eller 'black smokers', hvorfra der periodisk strømmer 'røg' ud.

Ud fra røgens farve kan man skelne mellem sorte og hvide skorstene. Røgen fra de sorte skorstene skyldes opslemmede bittesmå oxid/hydroxid- og sulfidmineraller som ferromangan-oxider og -oxyhydroxider samt svovlkis (FeS_2), kobberkis (CuFeS_2), blyglans (PbS) og zinkblende (ZnS). 'Black smokers' indeholder overvejende følgende metaller: jern, bly, zink, og kobber, men andre metaller som kobolt og nikkell er også blevet påvist.

Hvid røg fra skorstenene indeholder fortrinsvis sulfater. Her mangler de opslemmede sulfidmineraller, for de er allerede afsat i revner og sprækker under havoverfladen.



Figur 2. Black smoker i aktivitet.

Hvorledes dannes black smokers?

Dybhavsbunden består af sedimenter og pudelava, der er gennemsat af sprækker. Ved midtocean-ryggene, som er de altdominerende vulkanske centre på havbunden (dannelse af ny havbund og pladebevægelse), siver koldt havvand ned i disse sprækker. Vandet opvarmes på vejen ned af varme fra de underliggende magmaer og når herved temperaturer på over 400°C . Havvand, som indeholder NaCl, når ved disse temperaturer op over vandets kritiske punkt og kaldes derfor i det følgende for *fluid*. Fluiderne er meget aggressive og opløser

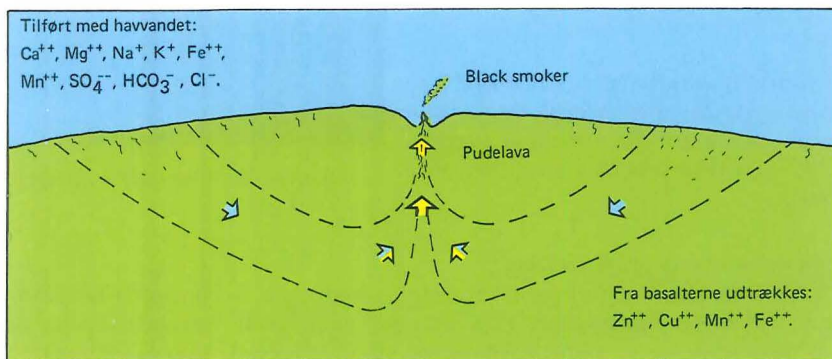
blandt andet metaller som jern, bly, zink, mangan, kobolt, nikkel og kobber fra pudelavaen, mens de afgiver natrium og magnesium til basaltspærkernes sider.

	Fe	Zn	Cu	Pb
Guayamas bassin	5.9	1.0	0.2	0.4
Stillehavet 21°N	19.2	32.2	0.8	0.3
Stillehavet 13°N	28.8	9.3	7.7	
Atlantis II Rødehavet		02.1	00.5	

Tabel 1. Metaller i udvalgte black smoker forekomster. Alle værdier er i vægt-%.

I nærheden af midtoceanryggenes centrale sprækkesystem, der oftest er udformet som en flere kilometer bred dal i 2 til 3 tusinde meters vanddybde, strømmer fluiderne atter op mod havbunden. Her bliver de pludseligt afkølet fra de over 400°C til ca. 2°C (normal bundvandstemperatur), hvorved først og fremmest jern, zink, kobber og bly forener sig med svovl (fra svovlbrinter) og danner mineralerne svovlkis, kobberkis, blyglans og zinkblende (metalsulfider).

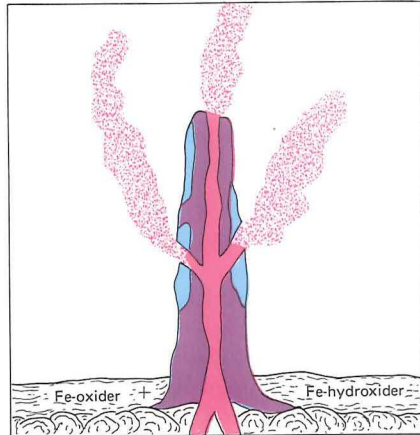
Periodisk tilførsel af fluider fører til dannelse af black smokers, som består af en tilførselskanal og vægge dannet af sulfid- og sulfatmineraler. Sulfiderne kan også afsættes nær skorstenene som overtræk på basalt, idet bittesmå korn opslømmes i de varme fluider og blæses ud med stor kraft, men de kan også bundfældes på omgivende sedimenter, der så benævnes metalholdige sedimenter (metalliferous sediments).



Figur 3. Processer ved midtoceanrygge. Vand fra havbunden trænger ned i revner og sprækker og varmes op af det underliggende magma, hvorefter det stiger gennem havbunden omkring spredningsryggen.

Skorstenenes og havbundens grålige, gule og brunlige farver skyldes forvitring af sulfidmineraleerne ved hjælp af iltrigt havvand. Black smoker forekomster er derfor dømt til nedbrydning i løbet af årtier, når den vulkanske aktivitet ebber ud, for sulfidmineraleerne er ikke stabile i iltrigt havvand. Kun hvis mineraleerne afsættes i selve sedimentdækket, eller hvis black smoker mineraler bliver dækket af sedimenter, kan de 'overleve'.

Andre steder på havbunden, f. eks. i Rødehavet, har man observeret udstrømmende væsker med lavere temperatur, som varmer det omkringliggende havvand op fra 2 til 20°C. Også her er der udfældet sulfider og oxider.



Figur 4. Opbygningen af en black smoker. Varme fluider er rosa, sulfider er violette og sulfater blå.



Figur 5. Havbund dækket med pudelava.

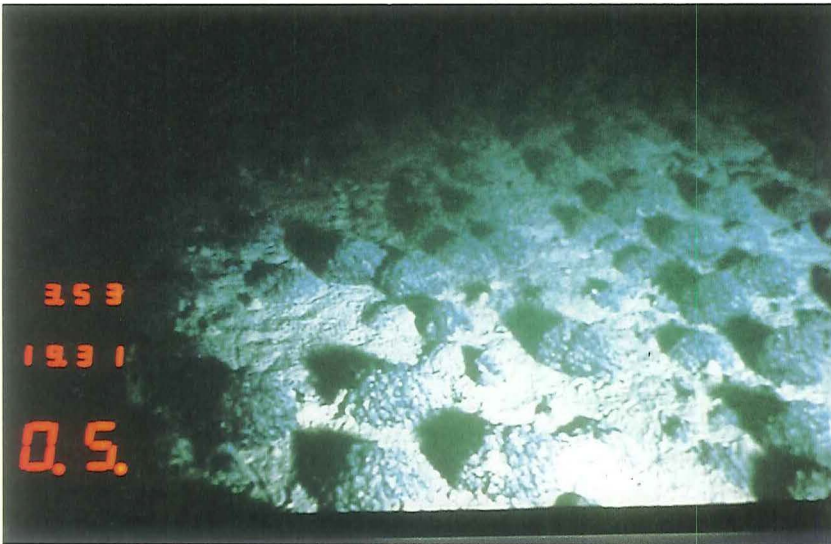
Nogle forskere mener, at der findes black smoker aktivitet på en trediedel af havbundens areal. Det er umådelige mængder af vand, der strømmer ud fra disse varme kilder, og der er således tegn på, at alle oceanernes vandmasser (i størrelsesordenen en milliard kubikkilometer) i løbet af få millioner år strømmer gennem disse cirkulationssystemer. Hvis denne antagelse er rigtig, giver black smokers et langt større tilskud af forskellige grundstoffer som f. eks. jern til havet, end samtlige floder gør.

Nyere undersøgelser har vist, at mange af de vigtige malmforekomster, der udnyttes eller har været udnyttet, er dannet på havbunden i forbindelse med black smoker aktivitet. Havbunden er så senere blevet hævet således, at malmforekomsterne i dag findes på land. Et eksempel herpå er kobbermineraliseringerne på Cypern.

Forekomster af manganknolde – fremtidens minedrift på havbunden?

Medens opløst jern, kobber, bly og zink udfældes som sulfider i og nær selve black smokers, forbliver andre af de opløste grundstoffer, f. eks. mangan, i opløsning og transporteres langt væk fra udbrudsstedet. De kan måske bidrage til dannelsen af de såkaldte manganknolde på dybhavssletterne i ca. 5000 meters vanddybde, selv om man hidtil ikke har kunnet bevise nogen indflydelse fra black smokers i forekomsten af manganknolde.

Manganknoldene har form som kugler, ellipsoide legemer, eller de er mere uregelmæssige (fig. 6). Saver man manganknoldene igennem, viser det sig, at de er koncentrisk opbygget, og at der i midten ofte findes en lille sten eller f. eks.



Figur 6. Et område i Stillehavets bund, der er tæt pakket med manganknolde.



Figur 7. Manganknolde med forskellig størrelse og form.

en hajtand. Mangan, jern og andre metaller, der var opløst i havvandet, er langsomt udfældet omkring de små partikler. Hvor hurtigt ved man ikke med sikkerhed, men undersøgelser tyder på, at det tager ca. 1 million år at få dannet blot få millimeter. Afsætningen af sedimentpartikler på havbunden (sedimentationshastigheden) er ca. 1000 gange større. Knoldene må derfor have været bevæget i perioder under deres vækst, da de ellers ville være blevet dækket af sedimenter.

Gåden, hvorfor manganknolde bliver liggende på dybhavets havbund, er ikke blevet løst til trods for talrige undersøgelser. Man mener, den nødvendige bevægelse for at holde manganknoldene på havbundsoverfladen er sket via kraftige havbundsstrømme, eller ved at f. eks. dyr har skubbet til knoldene i deres søgen efter føde, men der kunne jo også være noget galt med de hidtil benyttede metoder til aldersbestemmelse af knoldene.

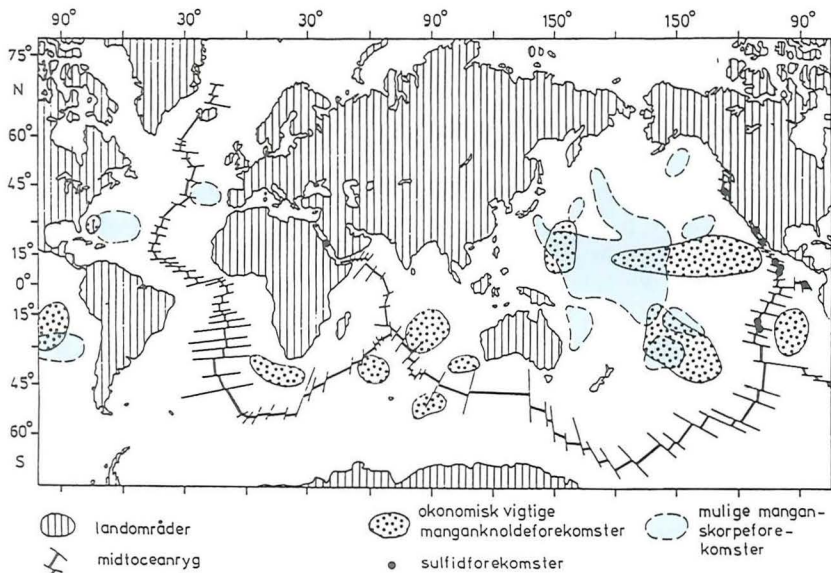
Hvor findes manganknoldene?

Manganknolde er ulige fordelt på Jorden. Store arealer med tætte forekomster af manganknolde findes i Stillehavet (fig. 8), hvor havbunden kan være næsten dækket af manganknolde liggende i rad og række på sedimentoverfladen. Der findes således milliarder og atter milliarder af tons af manganknolde. Selvom mangan er det grundstof, der findes i størst koncentration i knoldene (se tabel 2), er det på grund af knoldenes indhold af grundstoffer som nikkel, kobber og

	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	V	P
Manganknolde i Stillehavet	21.6	10.4	0.4	0.9	0.7	0.1	0.1	0.5	0.1
Den økonomiske zone	25.4	6.9	0.2	1.3	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1
Manganskorper									
Hawaii	22.4	18.5	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6
Palmyra	28.6	15.5	1.3	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6

Tabel 2. Gennemsnitsværdier for metaller i manganknolde og manganskorper i vægtprocent.

kobolt, at specielt USA, Tyskland, Japan og Frankrig har anvendt store summer på at kortlægge deres udbredelse. I Danmark har vi deltaget i disse undersøgelser gennem deltagelse i forskningstogter, bearbejdelse af prøvemateriale og offentliggørelse af fortrinsvis geokemiske data. Knoldene inddeles i forekomster med over og under 2% (kobber plus nikkel plus kobolt). Knolde med værdier større end 2% anses for at være 'økonomisk interessante'.



Figur 8. Fordelingen af manganknolde og manganskorper på havbunden.

Selvom manganknolde-forekomsterne som nævnt er uhyre store med milliarder af tons af de økonomisk vigtige metaller, vil de efter al sandsynlighed ikke blive udnyttet foreløbig på grund af følgende forhold: 1. Deres brydning vil blive me-

get kostbar. 2. Uheldig indvirkning på det globale råstofmarked. Anvendelse af manganen fra havbunden vil slå al landbaseret mangan-minedrift i stykker. 3. Miljøproblemerne, knoldene indeholder som de fleste andre malmforekomster en del miljømæssige uheldige grundstoffer (se tabel 3). Man kunne tænke sig, at minedrift først bliver tilladt, når industrien har fundet anvendelse for en væsentlig højere andel af de metaller, knoldene indeholder. 4. Ejerforholdet, der endnu ikke er afklaret, da størstedelen af knoldene ligger uden for de enkelte landes territorialområder. Der foreligger et udkast til en traktat fra sidste FN-havretskonference om, at FN administrerer udnyttelsen af dybhavets forekomster, men hverken USA eller flere af de vestlige industrilande har underskrevet traktaten. Dette hænger først og fremmest sammen med, at industrilandene ikke vil overføre dyrt opnået know-how på manganknolde-området til u-landene.



Figur 9. Manganskorpe udfældet på pudelava. Stykket er ca. 12 cm i diameter.

Udover manganknolde findes der på dybhavets bund såkaldte manganskorper, hvor mangan og jern er afsat direkte på dybhavs-basalt, specielt hvor denne danner bjerge (seamounts). Manganskorperne er af økonomisk interesse, fordi der er målt et relativt højt indhold af platinmetaller, nemlig i samme størrelsesorden som i de forekomster, der udnyttes på jordoverfladen. Dertil kommer, at de indeholder betydelige mængder af metallet kobolt (op til 1%). Disse forekomster er af interesse, fordi de findes på betydelig lavere vanddybder, 'kun' en til to tusinde meter.

Om disse problemstillinger og meget mere kan man læse i geologen *Henning Sørensen's* bog: **Råstoffer**. Forekomst, forarbejdning, forbrug, forsyning i fremtiden:

Bogen er opdelt i en grundtekst og i 22 'bokse', hvori udvalgte emner omtales mere detaljeret. Således behandles mange aspekter af råstofproblematikken på en let læselig måde. Der gives en fyldig omtale af, hvor længe råstofferne rækker og om de miljøproblemer, der er knyttet til deres udnyttelse.

Bogen kan være med til at åbne vore øjne for, at man på længere sigt ikke bør godkende, at man af visse forekomster – f. eks. kobber – kun udnytter et enkelt grundstof, der udgør under 1% af forekomsten, medens de resterende 99%, der hældes tilbage efter brydning, er lette at angribe for vejrliget, ofte med store miljømæssige konsekvenser som resultat. Dette vil naturligvis kræve en ændret teknologi, så vi bedre kan udnytte de grundstoffer, der brydes. Det er bedre at forebygge (udnytte mere fra den enkelte forekomst) end at helbrede (fjerne miljøproblemerne, der opstår, når vejrliget udvasker farlige grundstoffer fra restdepoterne).

Bogens pædagogiske opbygning gør den meget anvendelig, ikke alene i gymnasieskolen og HF, som den er skrevet for, men for et stort antal mennesker, der anvender geologi i deres arbejde eller fritid. Ikke mindst for dem, der interesserer sig for vort miljø, vil et kendskab til de emner, bogen behandler, være af stor betydning. Hertil kommer, at bogen har et nydeligt lay-out med instruktive skitser og mange flotte fotos i sort/hvid og i farve.

Henning Sørensen: RÅSTOFFER. Forekomst, forarbejdning, forbrug, forsyning i fremtiden. Geografforlaget, Brenderup. 1989. 134 sider, pris: 148 kr.

John Rose–Hansen