

Geologiske ressourcer

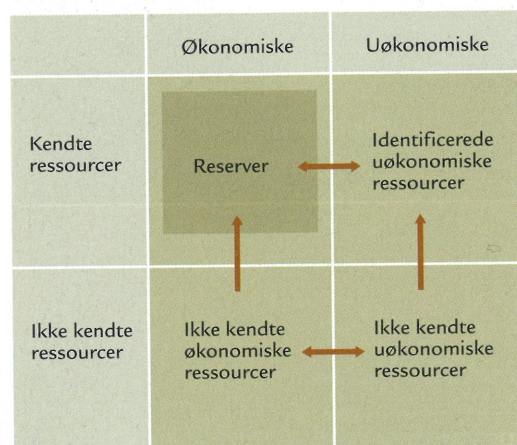
I den daglige strøm af nyheder og tilhørende debat er fokus ofte vendt mod de politiske verdensbilleder og religiøse modsætninger, der ofte bruges som forklaringsmodel i forhold til konflikterne i verden. Der er dog både historisk og aktuelt en meget lang række konflikter, der har udspring i kampen om adgang til forskellige geologiske ressourcer.

Columbus' opdagelse af Amerika var drevet af ønsket om at finde en hurtig rute til Indien, men den efterfølgende kolonisering var i høj grad drevet af ønsket om at skaffe guld og sølv. Det lykkedes også, og opbygningen af det spanske imperium blev i høj grad finansieret af indtægterne fra minedrift i kolonierne i Sydamerika.

Potosi i Bolivia ligger ved et bjerg, som var rigt på sølv, og byen var omkring år 1600 en af verdens rigeste og største. Bjergene er i dag næsten tømte, og lokalbefolkningen sidder tilbage med massive miljøproblemer fra tungmetaller, bl.a. kviksølv, et biprodukt af minedriften. Det kunne blot være historie, men minearbejderne har i 2005 været på barrikaderne, fordi de mener, at Bolivia igen er ved at blive snydt for udbyttet af sine naturrigdomme – denne gang naturgas.

Jagten på mineralrigdomme var et af de drivende motiver i kolonialismens epoke, og Danmark havde overskud fra brydningen af kryolit i sin koloni Grønland.

Var Rommels og Montgomerys felttog i Nordafrika i 2. Verdenskrig et ønske om at erhverve et stykke ørken, eller var det besiddelse af vejen til Mellemøstens olieressourcer, der var drivkraften?



8.1 Ressourcer og reserver

De fysiske ressourcer er forekomster, der allerede udnyttes, eller som i fremtiden kan gøres tilgængelige. Reserveerne er kendte forekomster, som er mulige at udnytte.

I 1960'ernes Nigeria havde iboerne i landsdelen Biafra et ønske om at sætte sig på de rige olie-felter i Niger-flodens delta. Det ønskede magthaverne i hovedstaden Lagos ikke, og resultatet heraf blev Biafra-krigen, kendt som den første krig der bragte billeder af død og elendighed og udsultede børn direkte ind i vore stuer gennem det nye medie, TV. Også i dag er de områder, som indeholder verdens største kendte olieforekomster, i politisk fokus.

De fleste fremstillingsprocesser og produkter i vores samfund er baseret på geologiske ressourcer. Viden om dannelse og fordeling af disse ressourcer er derfor væsentlig. Dertil kommer, at de geologiske ressourcer er begrænsede i den forstand, at de normalt forbruges langt hurtigere, end de fornyes.

Jordens *geologiske ressourcer* omfatter samtlige forekomster af *mineralske råstoffer*, dvs. bjergarter, der indeholder værdifulde grundstoffer og mineraler i så høje koncentrationer, at det er økonomisk rentabelt at udvinde dem. Den del af de geologiske ressourcer, hvis eksistens i dag er kendt og ejerskabet juridisk afklaret, og som forventes at kunne udnyttes med økonomisk fordel, kaldes *reserver*.

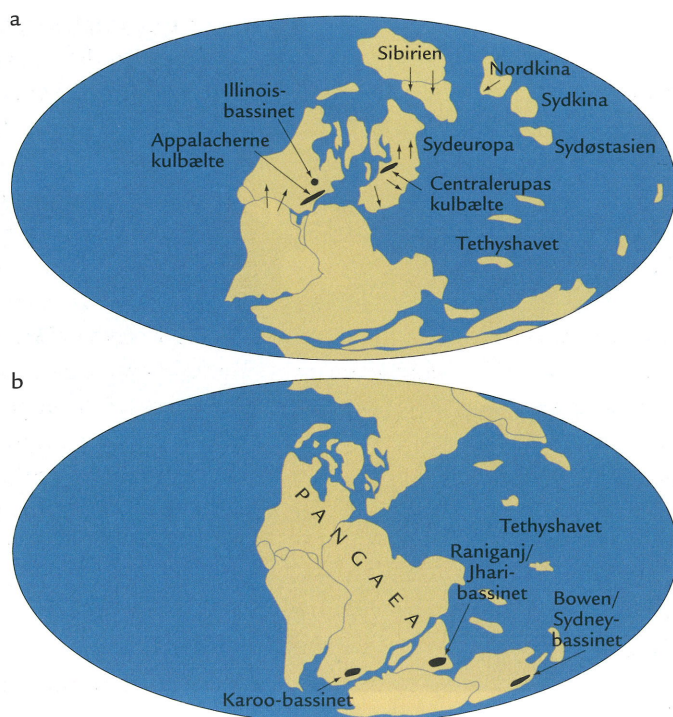
De mineralske råstoffer er her inddelt i energiråstoffer, metalliske råstoffer og industrimineraler og byggeråstoffer.

Olie og naturgas

Olie og naturgas hører sammen med kul til de såkaldte *fossile energiråstoffer*. De er alle dannet ved omdannelse af organisk materiale, hovedsagelig plantemateriale, gennem mange millioner år. Kulbrinter er en samlebetegnelse for olie og gas.

Olie og naturgas fik gennem det sidste århundrede stigende betydning for verdensøkonomien specielt i de industrialiserede samfund i forbindelse med energiproduktion og industriel produktion.

I Danmark øgedes anvendelsen af olie voldsomt efter 2. Verdenskrig. Oliefyrt erstattede fyr baseret på fast brændsel, og transportsektoren og industriproduktionen voksede stærkt især fra slutningen af 1950'erne. Danmark var i disse år og helt hen til midten af 1990'erne helt afhængig af importeret energi, hvilket var stærkt belastende for handelsbalancen.



8.20 De store kul-dannende områder i Karbon og Perm
Rekonstruktion af kontinenternes placering i Karbon (a) og Perm (b), da kontinenterne dannede superkontinentet Pangaea. De store kul-dannende områder i Karbon og Perm er vist på figurerne.

Kilde: S. Walker, IEA Coal Research.

stenkul i bl.a. det østlige USA og i Nordeuropa. I Perm fandtes der på den sydlige halvkugle et stort kontinent kaldet Gondwana, som bestod af Sydamerika, Afrika, Indien, Australien og Antarktis. Gondwana lå omkring Sydpolen, og klimaet var koldt. Der blev i dette klima afsat store tørvelag, som har ført til dannelsen af mægtige forekomster af Perm-kul i de nævnte områder.

Kul fra Jura og Kridt forekommer fortrinsvis i det vestlige Canada og USA samt i Kina og Rusland. Jura-kul findes desuden på Bornholm, i Skåne, Øresundsområdet og Nordsøen. I den sene del af Kridt og i Tertiær (for ca. 65 mio. år siden) udvikledes blomsterplanterne (kaldet angiosperme planter), hvilket førte til en større forskellighed og specialisering af planterne. Vegetationen mindede til en vis grad om nutidens. Store tertiære *brunkulsforekomster* kendes fra blandt andet USA, Colombia, Venezuela, Tyskland, Indonesien og New Zealand. I Tyskland findes tykkelser på 90-100 m. I Danmark kendes tertiære brunkul fra Søby-Fasterholtområdet i Jylland, hvor der fra en række overflademiner (åbne brud) blev brudt kul indtil 1970.

Kul er også energimæssigt interessant på en anden måde, idet kul og kulholdige sedimentter kan danne *kulbrinter*, som olie og gas. I Holland, Tyskland og den sydlige del af Nordsøen udvindes eksempelvis store mængder gas, som af dan-

net af kul fra Karbon. I de senere år er man også blevet klar over, at visse kul er i stand til at danne olie. Det er især kul fra den seneste del af Kridt- og Tertiærtiden, som kan have denne egenskab. Det er specielt i Sydøstasien, fx omkring Borneo, at olie dannet fra kul forekommer, men også i havet ud for New Zealand og Nigeria produceres der olie dannet af kul og kulholdige sedimentter. I den danske del af Nordsøen produceres der olie fra et enkelt oliefelt, Lulitafeltet, som er dannet af kul og kulholdige sedimentter fra Jura. Det er dog en undtagelse, idet stort set al olie i Nordsøen er dannet af marine skifre.

Uran

Kernekraft eller atomkraft er et alternativ til anvendelse af fossile brændsler (kul, olie og gas) specielt til produktion af elektricitet. Udviklingen af kernekraftværker begyndte i 1950'erne og tog fart i 1970'erne, hvor de stigende oliepriser gav incitament til udvikling af alternative energikilder.

Indførelse af kernekraft blev også diskuteret længe og hedt i Danmark. Fortalerne for atomkraft argumenterede for denne energitype som et alternativ til olie og kul, som med deres begrænsede mængder burde reserveres til formål (transport og industriproduktion), hvor der ikke syntes at være alternativer. Modstanderne mod atomkraft argumenterede primært ud fra problemer med at opbevare de radioaktive affaldsprodukter samt risiko for ulykker med radioaktivt udslip fra reaktorerne på kraftværkerne.

Det danske Folketing sagde i 1985 endeligt nej til at indføre kernekraft i Danmark, men forud for denne beslutning havde elværkerne udført betydelige undersøgelser af muligheden for opbevaring af det radioaktive affald i salthorste i Nordjylland, og den danske stat havde over en periode på ca. 20 år efterforsket uranforekomster i Grønland. Der var fundet *uranmalm* på Kvanefjeld ved Narssaq i Sydgrønland, og statens Forsøgsanlæg Risø arbejdede i en årrække med udvinding af uranet fra malmen, bjergarten lujavrit.

Priserne på råolie er i løbet af 2004-2006 steget voldsomt, og diskussionen om øget anvendelse af kernekraft er igen kommet på dagsordenen i mange vestlige lande.

Dannelse

Uran findes i naturen i ringe mængde i næsten alle bjergarter. De største koncentrationer finder man i granit, hvor gennemsnitsindholdet er ca. 5 g uran pr. ton bjergart. Med koncentrationer i så ringe mængder taler man om sporelementer og udtrykker ofte koncentrationen som ppm (parts per million) – i granitten altså 5 ppm uran.

Under specielle omstændigheder vil uran ved fysiske og kemiske processer kunne opkoncentreres i de oprindelige eller i nye værtsbjergarter. Hvis koncentrationen stiger til mere end ca. 500 ppm (0,05%), kan man begynde at tale om en uranmalm. Ved denne opkoncentrering vil uranet være indeholdt i egentlige uranmineraler fx oxiderne uraninit (UO_2) eller uranbegrænsende (U_3O_8). Uranoxider er forholdsvis let opløselige i vand med sur reaktion, og når uranet koncentrerer i vandige opløsninger fx i forbindelse med størkningen af magmatiske granitter, kan uranet til slut udfældes i malmgange og sprækkesystemer, såkaldte hydrotermale forekomster (se nedenfor). Uranmineralerne i lujavrit fra Kvanefjeld er silikatet steenstrupin ($\text{Na}_2\text{Ce}(\text{Mn,Fe})\text{H}_2(\text{Si,P})\text{O}_4)_3$). Steenstrupin er i mod-

sætning til uranoxiderne tungt opløseligt. Det er et meget sjældent forekommende mineral, og det udnyttes ikke i dag til industriel uranproduktion. Reserverne i Kvanefjeld er ca. 30.000 tons uran.

Der foregår specielt i USA og Australien uranproduktion fra uranholdige sandsten. Uran er opkoncentreret gennem forvitring, transport i opløst form og genudfældning i sandsten, som er en sedimentær bjergart. Uranet opløses gennem forvitring af fx granitkomplekser, hvorefter det føres med grundvand ud i omgivende sediment (sandsten), der også er dannet ved nedbrydning af granitten. Uranet vil kunne genudfældes i sandstenen specielt, hvor denne indeholder organisk kulstof, dvs. i et kemisk reducerende miljø, hvor opløseligheden af uran falder.

Radioaktivitet og radon i huse

Uran er et radioaktivt og derfor et ustabil grundstof. Det omdannes spontant til et nyt og lettere grundstof, der igen omdannes til et nyt og lettere grundstof, indtil hele denne henfaldsserie ender med en ikke-radioaktiv stabil blyisotop. Halveringstiden er det tidsrum, der forløber indtil halvdelen af et af henfaldsrækkens grundstoffer er omdannet til det næstfølgende. Ved omdannelsen frigøres der energi i form af radioaktiv stråling. Der kan være tale om gennemtrængende gammastråling eller mindre gennemtrængende beta- eller alfastråling. Radon, der er en radioaktiv luftart, er et led i henfaldskæden. Det udsender alfastråling og omdannes med en halveringstid på 3,8 dage til polonium. Hvis radon siver ud af den bjergart, hvor de radioaktive mineraler forekommer, vil radongassen via revner og sprækker kunne finde vej ind i de huse, der er bygget på bjergarten. Husets beboere vil således indånde små mængder radon, hvoraf en del vil henfalde til radioaktivt polonium i lungerne, som derved bestråles.

Der har i en række lande været fokus på radons sundhedsskadelige virkninger, og der har været iværksat aktiviteter vedrørende husbygning med diffusionstætte fundamenter, anbefalinger til udluftning mm.

I Danmark er de målte radonkoncentrationer højest i huse, der er bygget på glacialt morænemateriale, fordi det indeholder en forholdsvis høj koncentration af svagt radioaktive granitblokke fra det svenske og det norske grundfjeld.

8.21 Uranforekomsten på Kvanefjeld ved Narssaq i Sydgrønland

Kerneboringer er flere gange benyttet for at finde uranforekomstens afgrænsning.

Foto: Bjarne Leth Nielsen.



Eftersøgning

Ved eftersøgning af uran udnytter man fx den gammastråling, der udsendes af isotopen bismuth (Bi-214) i henfaldsrækken. Bi-214 udsender gammastråling, og strålingen kan måles og registreres med et gammaspektrometer. Udbredelsen af Bi-214 afspejler således også udbredelsen af uran, hvis der er ligevægt i henfaldsrækken. Gammastrålingen er så gennemtrængende, at den vil kunne registreres fra gammaspektrometre installeret i lavtgående fly. Det er derfor almindeligt i første fase af et uraneftersøgningsprogram at måle den regionale udbredelse af uran ved luftbåren gammaspektrometri.

Efter flyopmålingen kan efterforskningen koncentrerer til lovende områder på landjorden ved hjælp af håndholdt gammaspektrometri, geigertællere, geokemiske metoder og geologisk kortlægning. I tilfælde af fund vil der skulle udføres borer og reserveberegninger, inden en produktion vil kunne igangsættes.

Metalliske råstoffer

Adgangen til de mineralske råstoffer har til alle tider været afgørende for den velstand, der er blevet skabt, ligesom kontrol over og handel med råstoffer har været en drivende kraft i historiens gang.

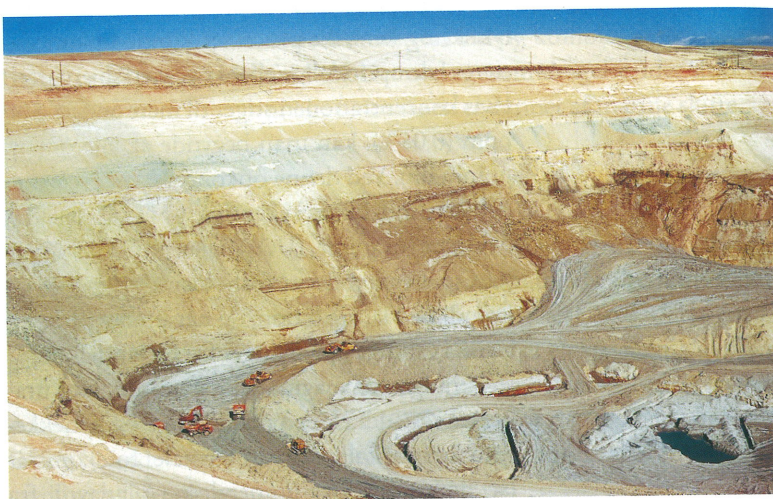
Stenredskaber og pottemagerkunst var de første eksempler på udnyttelse af de mineralske råstoffer, og der er fx i Skåne og nær Aalborg fundet minegange, hvor stenalderfolk har udvundet flint. Der er tegn på, at man har handlet med flinten også fra danske flintminer. Senere har handel med varer som salt, metaller og rav været dominerende i Danmarks samhandel med omverdenen i en lang periode i forhistorisk tid.

De første metaller, som allerede for ca. 6.000 år siden blev anvendt til redskaber og smykker, var guld, sølv og kobber. Udvinning af kobber tog dog først for alvor fart for ca. 4.800 år siden med sumerernes opdagelse af, at man kunne blande kobber og tin til en legering, bronze, som var anvendelig til fremstilling af våben. Omkring tusinde år før vor tidsregnings begyndelse blev man i stand til at udsmelte jern.

Mange af de krige, der blev udkæmpet i oldtiden, gjaldt kontrol over minerne. Det er en drivkraft for konflikter, der har holdt sig op gennem historien. Stater har søgt at udstrække

Land	Produktion (tons uran)			
	2001	2002	2003	2004
Canada	12.520	11.604	10.457	11.597
Australien	7.756	6.854	7.572	8.982
Kazakhstan	2.050	2.800	3.300	3.719
Niger	2.920	3.075	3.143	3.282
Rusland	2.500	2.900	3.150	3.200

Kilde: Uranium Information Centre, Australien 2006.



8.22 Destørste uranproducerende lande og Lucky McUranium Mines, Utah

Foto: Bjarne Leth Nielsen.

deres magt til råstofrige egne, og en meget stor del af udforskningen af det indre af kontinenterne har været drevet af drømmen om mineralrigdomme.

I takt med at de mineralske råstoffer er blevet billigere og lettere tilgængelige, er de trådt i baggrunden i vores bevidsthed. Alligevel er stort set alle de produkter, vi benytter i dag, fremstillet ved forarbejdning af Jordens mineralske råstoffer. Landene i den vestlige verden er afhængige af import af alle væsentlige råstoffer, der ofte udvindes i den tredje verden.

Der er gennem de seneste 100 år sket en meget kraftig stigning i forbruget af råstoffer, og der er i samme periode sket et fald i prisen på råstofferne som konsekvens af stadig mere rationelle indvindingsmetoder. Der ses dog svingninger i priserne betinget af efterspørgslen, således har fx væksten i den kinesiske og indiske økonomi i de seneste år resulteret i markante prisstigninger.

Dannelse

Bjergarter, hvorfra det var økonomisk og teknisk muligt at udvinde et eller flere metaller, blev oprindeligt kaldt *malme*. I dag anvendes ordet malm dog også om *industrimineraler*, dvs.

økonomisk værdifulde bjergarter og mineraler som fx asbest, gips og kvarts. Gennem Jordens historie er metalliske grundstoffer opkoncentreret i særlige geologiske miljøer gennem malm-dannende processer. *Højtemperaturdannelse* er betegnelsen for malme dannet ved magmatiske processer fx ved størkning af magma og ved udfældning fra varme, vandige opløsninger, hydrotermale opløsninger. Malme kan også være dannet ved bjergkædefoldning under forhøjet temperatur og tryk, metamorfose. *Lavtemperaturdannelse* er fremkommet ved aflejring og ved kemisk udfældning, mekanisk og kemisk sedimentation, og ved nedbrydning og genudfældning i forvittringszonen, residuale dannelser eller forvittringsdannelser.

Højtemperaturdannelse

Smeltede bjergarter fra Jordens indre, magma, søger mod overfladen i forbindelse med vulkanisme. Når magmaet størkner, krystalliserer mineralerne. De mineraler, der først bliver dannet, er kvarts, feldspat, pyroxen og olivin, som er opbygget af de mest almindelige grundstoffer silicium, oxygen, aluminium, magnesium, jern, calcium, natrium og kalium. De stoffer, der ikke passer ind i disse mineralers krystalstrukturer, bliver efterladt i smelten. Det drejer sig om flygtige stoffer som vand, fluor, kuldioxid, klor og svovl samt en række sjældnere grundstoffer, restgrundstoffer. Efterhånden som størkningen

fortsætter, opkoncentreres de flygtige stoffer og restgrundstofferne. Det bevirker, at koncentrationen af fx svovl på et tidspunkt kan blive så høj, at der dannes svovlminerale, sulfider, som er tunge og søger mod bunden. Svovlminerale tiltrækker restgrundstoffer som fx jern, kobber, nikkel, krom, kobolt, guld og platin, og de danner basis for malmforekomster. Ved opsmeltning af en fast bjergart sker det modsatte, idet den først dannede smelte så bliver rig på flygtige stoffer og restgrundstoffer. Eksempler på sådanne malmforekomster er Sudbury i Canada (nikkel, jern og kobber) og Bushveld-komplekset i Sydafrika (krom og platin).

Diamanter består af rent kulstof, som er krystalliseret i Jordens kappe i ca. 150-300 km's dybde, hvor både tryk og temperaturer er meget høje. Diamanter kan både være dannet af uorganisk kulstof fra Jordens oprindelse og af organisk kulstof, som er bragt dybt ned i Jorden ved pladetektoniske bevægelser. De er i sjældne tilfælde bragt op i Jordens øvre skorpe med vulkanske udbrud, og de forekommer oftest i vulkanens kraterrør som korn og indeslutninger i en bjergart, som kaldes kimberlit. Diamantførende bjergarter findes næsten udelukkende i meget gamle grundfjeldsområder, som fx ved Kimberley i Sydafrikanske Republik, i Sibirien, Australien og Grønland.

Intrusion, indtrængning, af magma kan også give mulighed for malmdannelse ved udfældning fra varme, vandige opløsninger, kaldet *hydrotermale dannelser*. Disse varme, vandige opløsninger kan indeholde restgrundstoffer i meget store mængder og koncentrationer, som let kan transporteres ud i revner og sprækker, hvor malmminerale udfældes ved afkølingen.

Vand, som findes i magmaets omgivelser, bliver også varmet op. Derved øges dets evne til at indeholde metaller, som opløses fra bjergarterne omkring magmaet. Når temperaturen falder tæt ved jordoverfladen, genudfældes metallerne, og de kan herved blive opkoncentreret til malmforekomster. Hvis den hydrotermale malmdannelse sker i sprækker fås malmårer, fx guldårer som "the mother lode" i Californien. Ud over guld er store forekomster af kobber og molybdæn (kaldet porfyr-forekomster) dannet i dette miljø. Store kobberminer langs Rocky Mountains i USA og Andesbjergene i Chile samt molybdænminerne i Colorado er eksempler på disse forekomster. Malmbjerget ved Mesters Vig

8.23 Råstofproduktion i Europa

Kilde: British Geological Survey, 2006.

Metal	EU-andel af verdensproduktionen	Dominerende lande i Europa
Hg - kviksølv	38,5	Spanien 38,3%
Ag - sølv	10,5	Polen 6,9%
Zn - zink	9,6	Irland 4,6%
Ti - titan	8,3	Norge 8,2%
Pb - bly	7,3	Polen 3,7%
Cu - kobber	6,1	Polen 3,7%
Cr - krom	4,7	Finland 3,3%
W - wolfram	4,6	Østrig 3,0%
Fe - jern	2,3	Sverige 1,7%
Al - aluminium	2,3	Grækenland 1,6%
Ni - nikkel	1,8	Grækenland 1,6%
Au - guld	1	

i Grønland er en stor molybdænforekomst, som endnu ikke er i produktion.

Et særligt eksempel på hydrotermale malm-dannelser blev opdaget, da man på havbunden omkring de midtoceaniske rygge fandt nogle skorstenslignende dannelser, hvorfra varmt, sort vand strømmede ud. Man kaldte fænomenet *black smokers*, sorte rygere. Skorstenene har et højt indhold af svovl og metaller, ligesom det sorte vand er rigt på metalsulfider. Black smokers dannes, fordi havvand trænger ind i revner og sprækker i havbunden og bliver varmet op af magma, som ligger under de midtoceaniske rygge. Det nedsivende, varme havvand opløser grundstoffer som zink, kobber, jern og mangan i de omgivende bjergarter og blandes med opløsninger rige på de samme grundstoffer fra den underliggende magma. Black smokers opstår, hvor de varme opløsninger atter stiger op til havbundens overflade, og hvor de fleste metaller bliver udfældet under afkølingen. Mangan forbliver opløst og spredes ud på havbunden, hvor det indgår i mangannoduler, manganknolde, som dækker store dele af den dybe oceanbund.

Fundet af black smokers har forklaret dannelsen af massive malmforekomster, som oprindeligt stammer fra en havbund, som senere er blevet hævet og i dag findes på land. De store kobberforekomster på Cypren er eksempler på denne dannelsesmåde.

Ved bjergkædefoldning ændres bjergarterne under forhøjede temperaturer og tryk, metamorfose, og stoffer som danner malme kan derved opkoncentreres. Der kan dannes både metaller som kobber, jern, guld, bly, zink og

ikke-metaller som asbest, talk og grafit. Zinkbly forekomsten Sorte Engel ved Maarmorilik i Grønland er dannet på denne måde.

Lavtemperaturdannelser

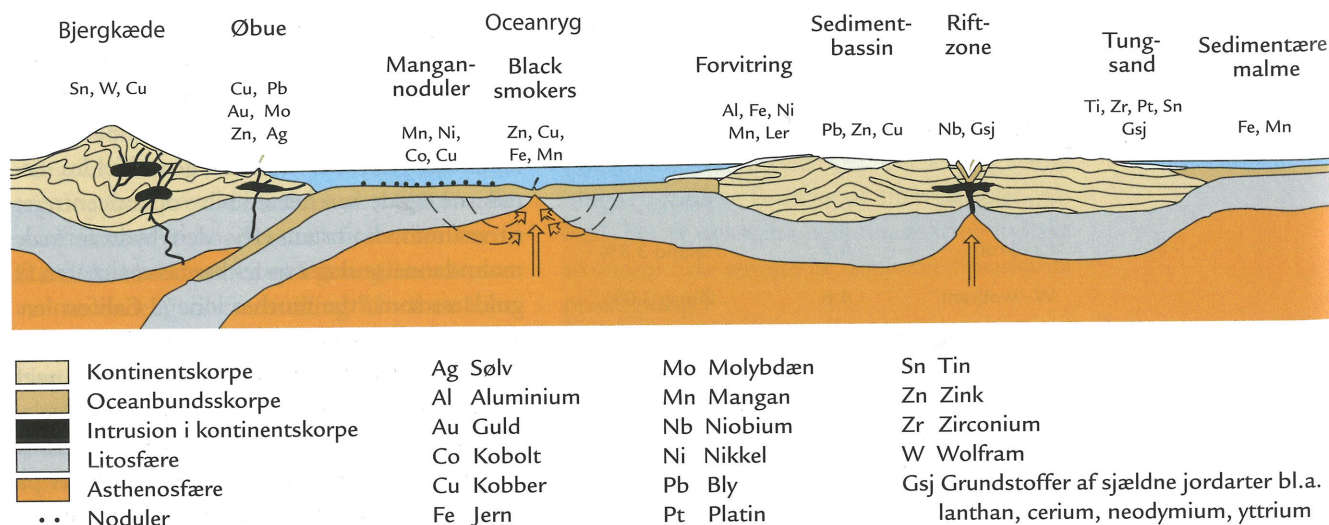
Når en bjergart forvitrer, bliver mineralerne ofte transporteret bort fx af rindende vand. De mest hårde, tunge og kemisk modstandsdygtige mineraler vil blive sorteret og aflejret som en *mekanisk sedimentær dannelse* i floder og langs kyster. Det kalder man aflejring på *sekundært leje*, medens de mineraler, som er indeholdt i den oprindelige bjergart, moderbjergarten, ligger på *primært leje*.

Blandt de mest berømte fund på sekundært leje er guld i flodernes grus, hvor guldet pga. sin tyngde er koncentreret i tungsandsforekomster. Dette guld kan vaskes ud med vaskepander, som det bl.a. skete under det store "Gold Rush" i Californien. Disse guldforekomster har ikke den store betydning i dag, men verdens største guldkilde er de fossile tungsandsforekomster (3.000-2.100 mio. år) ved Witwatersrand i Sydafrikanske Republik. Tin og diamanter bliver også udvundet fra tungsand, ligesom størstedelen af verdens titan og zirconium. Mørke striber af tungsand med korn af jernmalm, zirconium og granat findes også på de danske strande – og har tidligere været genstand for mineselskabers interesse.

Når strømmende vand bliver udsat for ændrede fysiske og kemiske forhold, ændres dets evne til at opløse metaller. Det betyder, at der også kan opløses og udfældes mineraler ved lave temperaturer, så der dannes *kemisk sedimentære*

8.24 Mineralforekomster i forskellige geologiske stormiljøer

Et tværsnit af Jorden der viser de vigtigste, geologiske strukturer og stormiljøer samt de mineraliseringer som er knyttet dertil.



8.25 Black smoker

Black smokers findes ved oceanryggene bl.a. på bunden af Atlanterhavet og Stillehavet. De opstår i forbindelse med undersøisk, vulkansk aktivitet og giver næring til et frodigt liv i områder, som ellers er blottet for liv.

Foto: Offentligt billede.



aflejringer. I et kemisk reducerende miljø, som findes i slam på havbunden, kan der fx udfældes kobber- og blyulfider, som det kendes i sorte skifre i Polen. Hvor vand i fx kalk møder et ændret miljø, kan der udfældes zink-, bly-, nikkel- og kobolt-forbindelser, som i Mississippi Valley i USA. Det samme ses i et beskedent omfang i kalk på Sjælland, hvor nikkel-kobolt-sulfider giver forhøjede nikkelværdier i drikkevandet.

Kvartsbåndet jernmalm (BIF = Banded Iron Formation) er en kemisk sedimentær dannelse, som består af vekslende lag af hæmatit (Fe_2O_3) og finkornet kvarts (SiO_2), og den er mere end 1.800 mio. år gammel. Malmen er dannet i udstrakte havområder på et tidspunkt, hvor man antager, at atmosfærens indhold af ilt (oxygen) steg pga. grønne planters fotosyntese. Denne ilt oxiderede store mængder jern, som var opløst i havvandet, hvorved det blev udskilt og bundfældet lagvis med oxideret silicium, som også fandtes i havvandet. Det formodes, at processen ophørte, da der ikke var mere jern og silicium at oxidere.

De meget store jernmalmler i Vestaustrien, ved Lake Superior i USA, Minas Gerais i Brasilien og Krivoj Rog i Ukraine er kvartsbåndet jernmalm. Malmen findes også ved Isua på Grønland.

Mangan forekommer også som sedimentære båndede malme, dannet på samme måde som kvartsbåndet jernmalm. Vigtigst er dog dybhavets forekomster af *mangannoduler*, som længe har været udforsket med henblik på udnyttelse. Mangannoduler er kugler, som er opbygget af koncentriske lag af især mangan- og jernoxider omkring en kerne, fx et mineral Korn. De dannes ved kemiske udfældninger på havbunden, og de dækker store dele af oceanbunden, især på dybder på 4-5 km. Nodulernes indhold af mangan samt kobber, kobolt og nikkel er interessant, fordi disse metaller har strategisk betydning.

Bauxit og *laterit* (plintit) er *forvittringsprodukter*, også kaldet residuale forekomster, som er opstået i tropiske og subtropiske områder. Jo varmere og fugtigere klimaet er, jo hurtigere bliver mineralerne forvitret og fjernet af nedsivende vand. Kun aluminium og jern bliver tilbage, da de danner uopløselige oxider og hydroxider. Bauxit dannes, hvis det er aluminiumminerale, der dominerer i forvittringszonen. Bauxit er Jordens vigtigste råstof til fremstilling af aluminium. Det udvindes i store, åbne brud i bl.a. Australien, Guinea, Jamaica og Brasilien.

Hvis det er jernminerale, der dominerer, dannes laterit. Den røde murstensjord, laterit, dækker store områder i troperne, og hvor forekomsten er særlig stor, kan den brydes som jernmalm. Laterit kan også indeholde nikkel og kan derfor også benyttes til nikkeludvinding, som det sker i Ny Kaledonien.

Efterforskning af malme

Malmforekomster udgør som regel kun en meget lille del af de bjergarter, hvori de forekommer, og de er ofte skjult under andre bjergarter, dækbjergarter. Det er derfor nødvendigt at have viden om de forskellige malmes geologiske forekomstmåde, inden en efterforskning sættes i gang. Langt de fleste malme findes ved en kombination af geologisk kortlægning og geofysiske og geokemiske metoder. Under den geologiske kortlægning indsamles sædvanligvis prøver både fra overfladen og fra borer.

Hvis målet er at påvise malme med specielle fysiske egenskaber som fx jernmalm, der er magnetisk, kan man fra luften måle variationen i magnetfeltet – og finde jern, hvor feltstyrken er større end normalt. Massive metalsulfidmalme er elektrisk ledende, og de kan spores vha. elektriske eller elektromagnetiske målemetoder.

Nogle malme afslører sig ved specielle farver, og de kan findes ved at studere flyfotos eller satellitbilleder. Endelig kan malmens høje indhold af de metaller, man søger, afsløres kemisk ved at indsamle aflejringer i de vandløb, som dræner det område, de findes i.

Danske industrimineraler og byggeråstoffer

I de moderne samfund er det ikke de metalliske råstoffer, der har den største betydning, hverken økonomisk eller mængdemæssigt. Norge er et eksempel på et land med en høj produktion af industrimineraler og andre råstoffer, og værdien heraf overgår langt værdien af de metalliske råstoffer.

Industrimineraler er betegnelsen for mineraler, der brydes for at indgå direkte i en industriel proces. Som tidligere nævnt indgår de i dag i gruppen af malme.

Danmark har en væsentlig produktion af mineralske råstoffer ud over produktionen af energiråstoffer; og vi er selvforsynende med 99% af den mængde, som vi forbruger. Det er fortrinsvis råstoffer som ler, sand, grus, sten og kalk, der anvendes til byggeri og anlægsarbejder. Men der er også en væsentlig fremstilling af forædlede eller bearbejdede produkter med udgangspunkt i danske råstoffer.

De danske *industrimineraler* og råstoffer til byggeri og anlægsarbejder, *byggeråstoffer*, kan

inddeles i *kvartære materialer*, som omfatter sand, grus, sten og ler, og *prækvartære materialer*, hvor bl.a. kvartssand, plastisk ler, moler, kalk og salt hører hjemme.

Sand, grus og sten

I Danmark findes kvartære forekomster af sand, grus og sten ved jordoverfladen i områder, hvor smeltevand fra floder foran og under istidens iskapper aflejrede de mest grovkornede sedimenter. Efterforskning af sand, grus og sten sker ved en kombination af geologisk kortlægning, geofysiske målinger og borer. De geofysiske metoder, der anvendes, er elektriske og elektromagnetiske målinger, hvor man måler sedimenternes modstand (grus har høj modstand sammenlignet med mere lerholdige aflejringer), og georadar, hvor man med elektromagnetiske signaler kan danne billeder, der ligner seismiske profiler, dog med en nedtrængning til maksimalt ca. 20 m.

Hovedparten af produktionen af sand, grus og sten sker fra grusgrave, som er fordelt ud over landet. Produktionen sker lokalt, da der er tale om produkter med en forholdsvis lav pris, og som derfor ikke kan bære en lang transport. Produktionen er for en stor del kendetegnet ved anvendelse af traditionelle metoder: gravning med gummiged, sortering efter kornstørrelse ved sigteanlæg og pakning. Der er ikke nogen væsentlig vækst i produktionen, men der er dog i de senere år blevet færre producenter, nemlig de som har været i stand til at rationalisere pro-

8.26 Produktionen af danske råstoffer

Råstofproduktionen følger et cyklisk mønster, idet efterspørgslen er meget afhængig af den økonomiske udvikling.

Kilde: Danmarks Statistik.

