

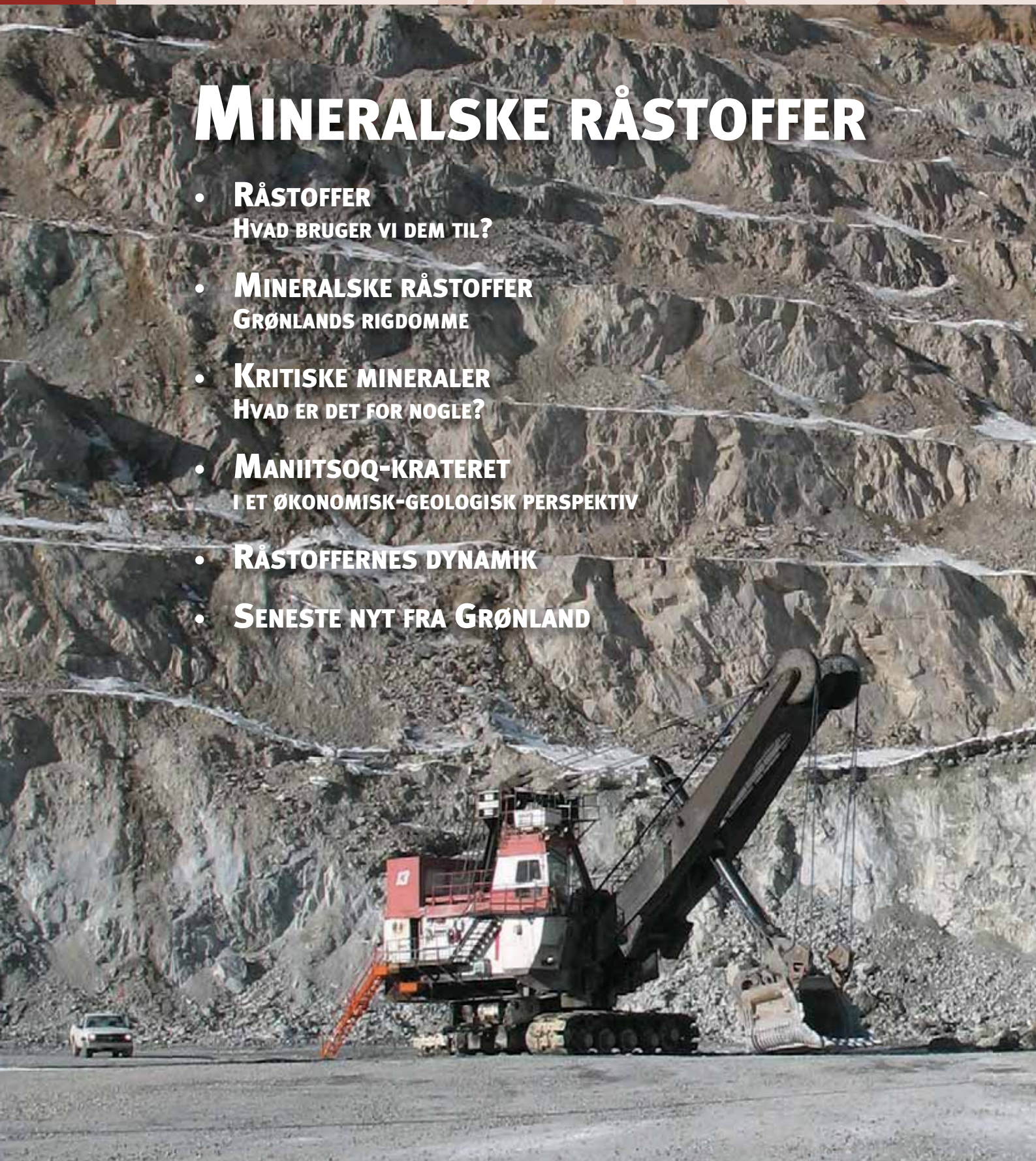
2012

# geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 4

## MINERALSKE RÅSTOFFER

- **RÅSTOFFER**  
HVAD BRUGER VI DEM TIL?
- **MINERALSKE RÅSTOFFER**  
GRØNLANDS RIGDOMME
- **KRITISKE MINERALER**  
HVAD ER DET FOR NOGLE?
- **MANIITSOQ-KRATERET**  
I ET ØKONOMISK-GEOLOGISK PERSPEKTIV
- **RÅSTOFFERNES DYNAMIK**
- **SENESTE NYT FRA GRØNLAND**



# RÅSTOFFER HVAD BRUGER VI DEM TIL?

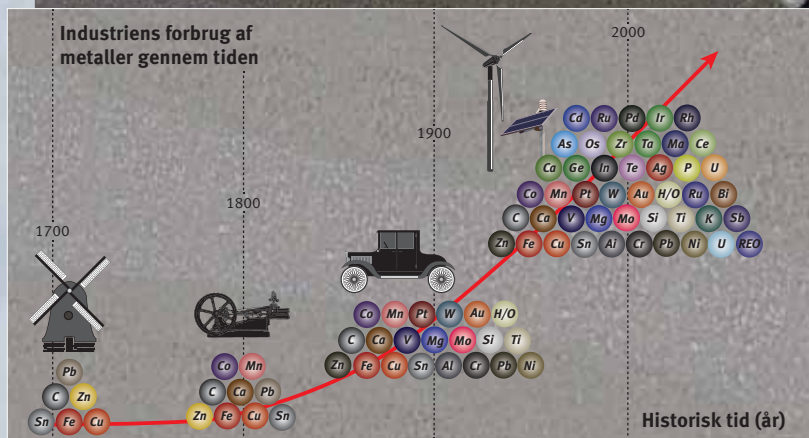
**U**dviklingen i et samfund har til alle tider været betinget af adgangen til mineralske råstoffer. Råstofforbruget afspejler den teknologiske udvikling, og tendensen er klar: jo mere højteknologisk samfundet bliver, des flere forskellige grundstoffer anvender vi – og de kommer alle fra mineraler.

Biler, huse, skibe, mobiltelefoner og fjernsyn vokser ikke på træerne! Alle de råstoffer der ikke kan dyrkes, bliver vi altså nødt til at grave op af jorden. Derfor er der brug for at finde, bryde, og forarbejde mineralske råstoffer – sådan har det været til alle tider gennem menneskets historie.

I denne sammenhæng omfatter de mineralske råstoffer de metalliske mineraler, industri-mineraler, tilslagsmaterialer (sand, grus osv.) samt facade- og smykkesten. Alle er de karakteriseret ved at de danner grundlag for produktion af næsten alt hvad vi omgiver os med. Men behovene for mineralske råstoffer ændres gennem tiderne, fra stenaldermandens brug af flint til redskaber til vore dages forbrug af en lang række af råstoffer til infrastruktur og teknologi. Og vi bruger stadigt stigende mængder af mineralske råstoffer, se figuren til højre.

Når man anvender et mineralsk råstof til et givet formål, tages der udgangspunkt i materialernes fysiske og kemiske egenskaber. Flintestenen kunne med simple midler formes til skarpe økser og pilespidser. Tilsvarende søges der efter specifikke materialeegenskaber når der skal vælges mineralske råstoffer til moderne produktion. I visse tilfælde kan flere mineraler i princippet bruges til samme formål, og valget afgøres i sådanne tilfælde af pris og tilgængelighed. Stenalderen endte således ikke fordi man løb tør for flint, og tilsvarende var det heller ikke mangel på råstoffer som endte jernalderen og bronzealderen.

I nogle tilfælde kan det være hele bjergarten der kan bruges, som det er tilfældet for skærver til beton til bygge- og anlægsgødder; den globale produktion af skærver forventes i 2013 at blive omkring 29 mia. tons og udgør dermed bå-



Kilde: Van Schaik & Reuter, 2012.

de i omsætning og tonnage en af de allerstørste råstofgrupper. Det er i særdeleshed materialer til opbygning af infrastruktur i Asien og Sydamerika der påvirker dette forbrug.

I andre tilfælde kan det være et mineralske egenskaber der gør det særligt anvendeligt. Det gælder for eksempel kvarts som bl.a. bruges til fremstilling af glas; calcit der bruges som fyldstof i papir og plastic, og feldspat som bruges til fremstilling af porcelæn. I disse tilfælde vil det ofte være nødvendigt at separere det ønskede mineral fra de øvrige mineraler i bjergarten.

Mange forhold er med til at bestemme et metals anvendelsesmuligheder; det kan være metallets smeltepunkt, densitet, hårdhed, syre-resistens, dets specielle kemiske sammensætning og dets evne til at lede elektricitet eller varme.

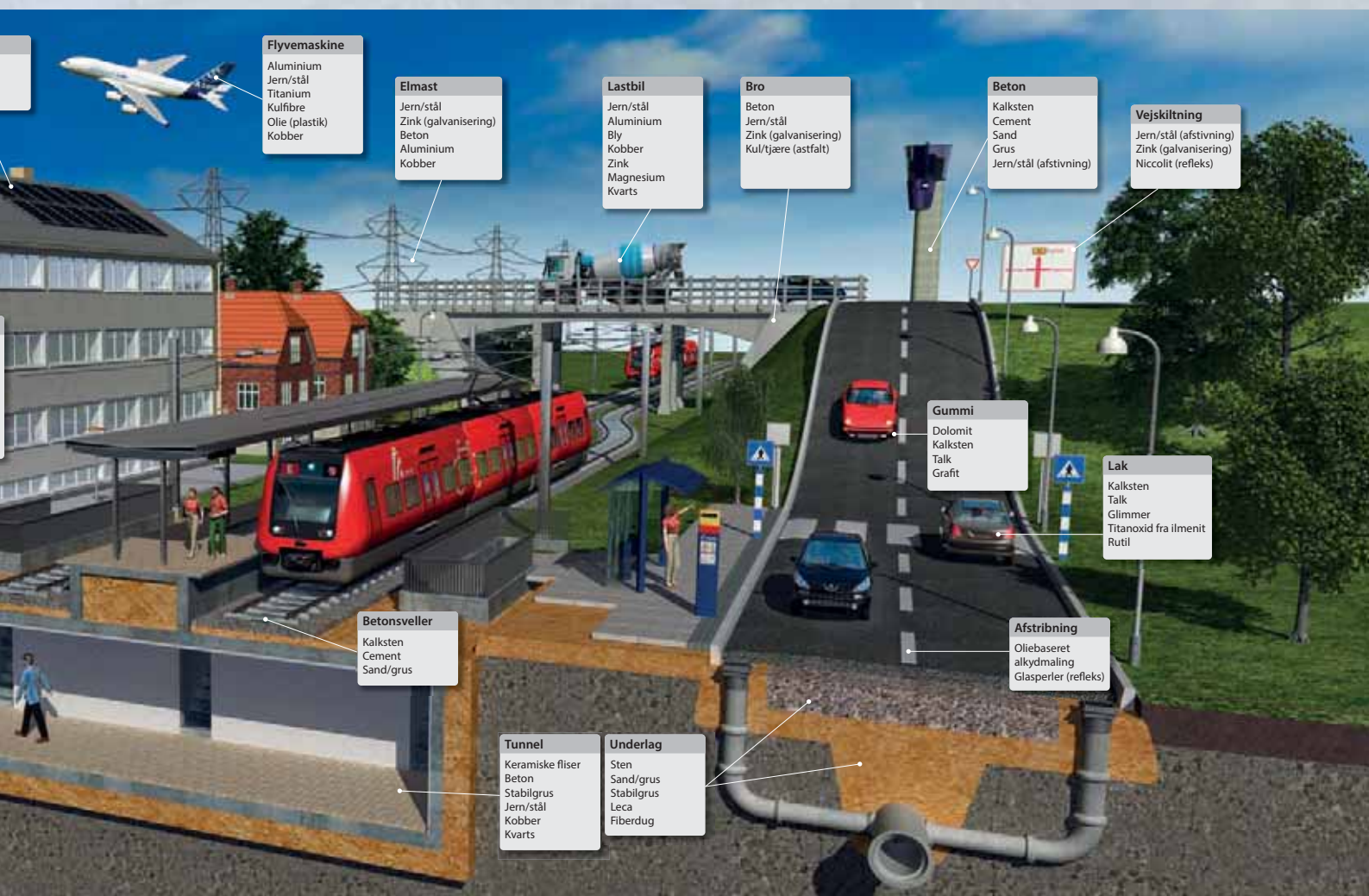
Ofte har industrivirksomheder brug for selve grundstofferne, som for eksempel jern, kobber, bly, nikkel og mange flere, til fremstilling af de produkter og materialer vi anvender og omgiver os med i dagligdagen. Det forudsætter at der kan findes egnede mineraler der indeholder et

## PER KALVIG

Seniorrådgiver, GEUS.  
pka@geus.dk

## KAREN HANGHØJ

Statsgeolog, GEUS.  
kha@geus.dk



Ethvert samfunds udvikling, herunder opbygning af infrastruktur, boliger, transportnet og energisystemer, forudsætter at der er mineralråstoffer til rådighed. Eksempler på nogle af de mest anvendte råstoffer er vist i denne figur. Illustration: Carsten E. Thuesen, GEUS efter P. R. Neeb, 2006.

eller flere af de ønskede grundstoffer, og at de findes i tilstrækkelig mængde og lødighed til at det kan betale sig at etablere en mine.

Hvert grundstof findes typisk i flere forskellige mineraler, hvoraf kun nogle anvendes kommercielt. Eksempelvis findes jern hyppigt i jernsulfid, i jern-oxid eller jern-silikat; metallisk jern fremstilles dog næsten udelukkende fra jernoxider (hæmatit og magnetit som er de hyppigst forekommende), mens udvinding af jern fra de to andre mineralgrupper er væsentligt dyrere og kan indebære betydelige miljørisici.

Råstofforbruget er overordnet styret af den globale befolkningstilvækst, en voksende middelklasse og økonomiske forhold. De senere

årtiers stærke økonomiske vækst i Brasilien, Rusland, Indien og Kina (de såkaldte BRIC-lande) giver efterspørgsel på traditionelle råstoffer som jern, kobber, bly osv. Nye teknologier inden for især mobiltelefoni, computer, energilagring og grøn energi har øget efterspørgslen på en lang række grundstoffer som ikke tidligere har haft stor kommerciel interesse, som fx de sjældne jordarters metaller, niobium, tantal, gallium, germanium m.fl.

Ændringer i produktionen af velkendte varer kan også føre til efterspørgsel på nye råstoffer. For eksempel er der blevet produceret biler i mere end 100 år, men konceptet for bilerne har ændret sig. De første biler skulle være så

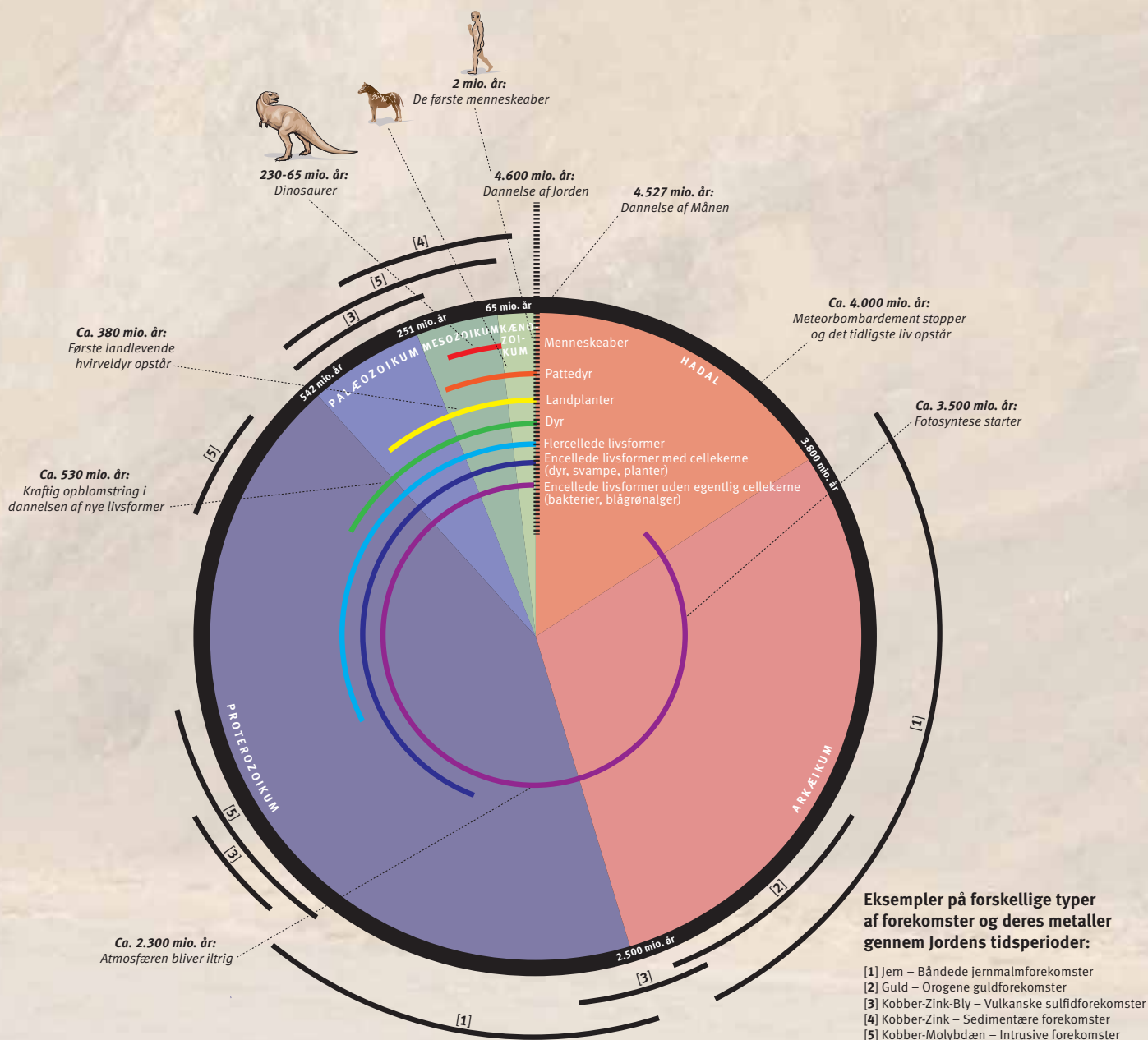
flotte og så holdbare som muligt, og der blev brugt råstoffer som jern, krom, træ og læder. Moderne biler skal opfylde nogle andre krav: de skal bruge minimal energi – evt. grøn energi – og de skal være lette, sikre, rustfrie og billige. Derfor er råstofforbruget til nutidens biler domineret af lette metaller (aluminium og magnesium), rustfrit stål, zink og en lang række specialmetaller til udstødningssystemer (titan, platin og palladium) og til de elektriske komponenter (sjældne jordarters metaller), vinduesglas, samt forskellige typer af plastic og gummi, hvori der også bruges mineraler som fyldstoffer.

# MINERALSKE RÅSTOFFER GRØNLANDS RIGDOMME

**M**ineralske råstoffer dannes kun når bestemte geologiske forhold er til stede. Sådanne forhold er særligt knyttet til Jordens tek-

toniske udvikling gennem tiderne. Visse typer forekomster dannes flere steder i verden på samme tid, andre typer dannes flere steder på forskellige tidspunkter.

Grønland har bjergarter der repræsenterer næsten hele Jordens geologiske historie, og landet er derfor rigt på mange slags mineraler.



Tidscirkel for Jordens overordnede tidsperioder, begivenheder og udvikling af forskellige livsformer fra dannelsen af Jorden for ca. 4.600 mio. år siden til i dag. Tidsperioden Hadaal er tiden inden de ældste bjergarters dannelse for ca. 4.000 mio. år siden. Inden da havde Jorden en meget kraftigere indre varmeudvikling end i dag og blev udsat for et kraftigt meteorbombardement som gjorde at Jorden var mere eller mindre smeltet og havde en voldsom vulkansk aktivitet. De ældste spor af antydninger af liv – i form af sedimentære bjergarter med indhold af organisk stof – er 3.800 mio. år gamle og stammer fra Isua i Vestgrønland. De forskellige farvede linjer uden for cirklen angiver forskellige tidsintervaller for bestemte typer af mineralforekomster og metaller. Enheden mio. betyder millioner år; dannelsen af Jorden sker således for 4.600.000.000 = 4.600 mio. år siden. Menneskeaber, som senere udviklede sig til det moderne menneske, opstod for 4,4 mio. år siden og udgør et for lille tidsinterval til at være synlig på cirklen i denne skala. Omsættes tidscirklen til et døgn med 24 timer vil ét sekund svare til 53.240 år. Således vil menneskeaber have eksisteret i 1 minut og 12 sekunder ud af de 24 timer, mens det moderne menneskes (Homo sapiens) eksistens på ca. 200.000 år kun vil svare til 4 sekunder!

## BO MØLLER STENSGAARD

Seniorforsker, GEUS.  
bmst@geus.dk

## PER KALVIG

Seniorrådgiver, GEUS.  
pka@geus.dk



Et nærbillede af et stykke guldmalm på ca. 4 x 4 cm.  
Foto: Svend Monrad Jensen, GEUS.



Blotlagt kvartsåre

### PRINCIPPER FOR DANNELSE AF EN MINERALFOREKOMST

En mineralforekomst kan dannes, hvis de rette forudsætninger er til stede:

1. Der skal være en kilde der kan levere de grundstoffer der udgør råstoffet (fx kan kobber være udludt fra lavaer),
2. Der skal være en transportmekanisme og et medium (fx vand eller magma) der kan bære og transportere grundstofferne, og
3. Der skal være en kemisk fælde som opkoncentrerer og aflejrer grundstofferne.

Bemærk ordliste på side 9.

Mange af disse processer sker dybt nede i Jorden. Men for at en forekomst skal kunne udnyttes kommercielt, skal den geologiske udvikling have bragt den tæt på Jordens overflade, så den kan findes og brydes.

Forskellige geologiske mekanismer er typisk knyttet til bestemte geologiske miljøer og kan give anledning til forskellige råstofforekomster. For at finde mineralske råstoffer er det derfor vigtigt at kende til de geologiske miljøer. De geologiske miljøer i Grønland er blevet udforsket i mere end 100 år, blandt andet med det formål at finde mineralske råstoffer. I det følgende er nogle af de mekanismer og betingelser, som skal være til stede ved dannelsen af råstofferne, beskrevet med udgangspunkt i kendte forekomster i Grønland.

Jordens blev dannet for omkring 4,6 milliarder år siden. Grønlands geologiske historie

Guld-mineraliseret kvartsåre fra Nalunaq-guldminen i Sydgrønland. Kvartsen her har et ekstremt højt indhold af guld. Malm fra minen indeholder 15–25 gram guld/ton malm, hvilket er relativt højt sammenlignet med mange andre guldforekomster. Kvartsen og gullet er transporteret som en varm vandig opløsning der er afsat i en forkastningszone. Tykkelsen på kvartsåren er fra 5 cm til 2 m.  
Kilde: Geology and Ore 11, 2008.

### Arkæikum 3.800–2.500 mio. år



spænder over cirka 3.800.000.000 år (3,8 milliarder år). Dette lange tidsrum omfatter geologiske miljøer fra alle tidsperioder af Jordens historie, bortset fra de allerførste 800 mio. år, som ikke har efterladt sig spor i Grønland.

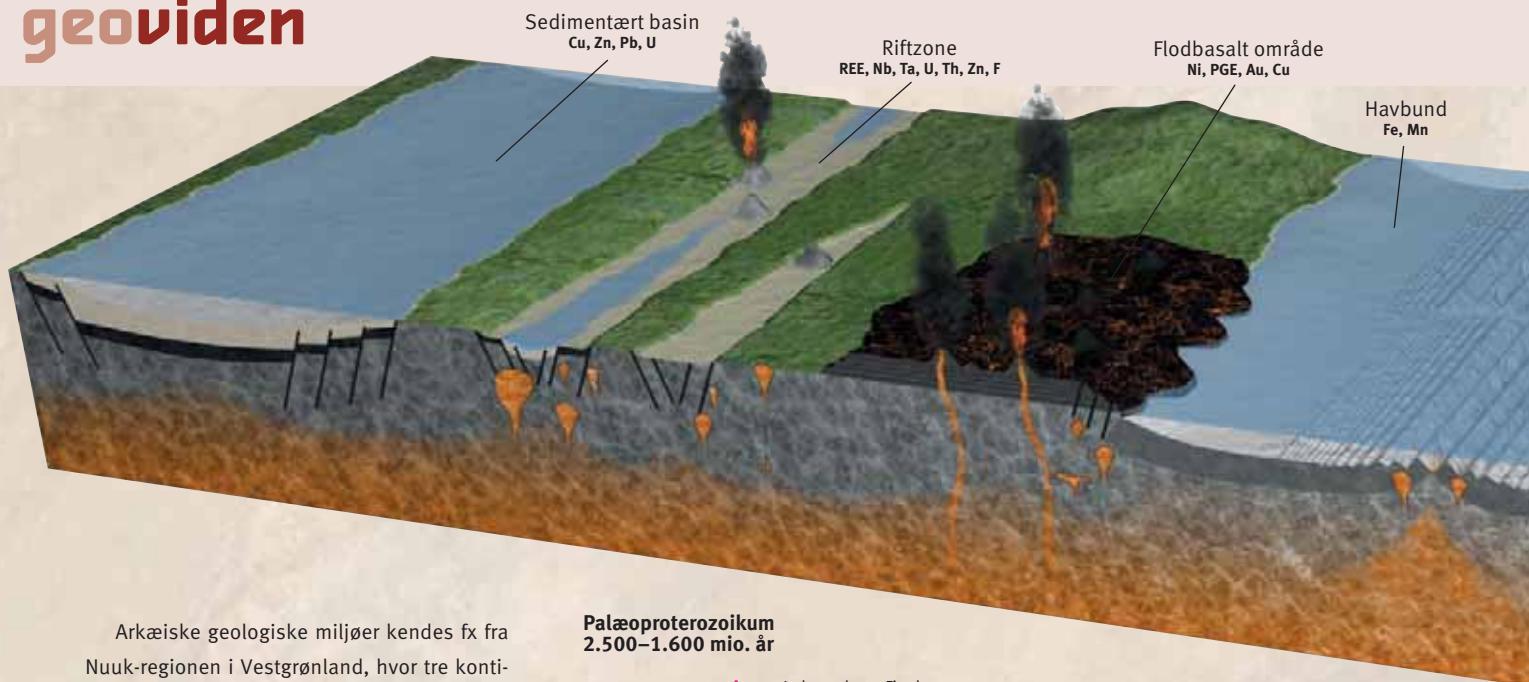
### ÆLDSTE BJERGKÆDEDANNELSE OG GRUNDFJELD – ARKÆIKUM

Selv i den meget tidlige fase af Jordens tidsperioder, fra 3,8 til 2,5 milliarder år siden (Arkæi-

Båndet jernmalm fra Isua i Vestgrønland. Højde ca. 25 cm.  
Foto: Peter Appel, GEUS



kum), blev der dannet havbundssedimenter (sand og ler) og lavaer i Grønland. Sedimenterne viser, at der allerede på dette tidlige tidspunkt fandtes både oceaner og kontinenter, og at grundfjeldet derfor kunne eroderes og efterfølgende transporteres og aflejres i oceanerne. Kontinenterne var formentlig relativt små, og ved pladetektoniske bevægelser kolliderede de med hinanden og blev derved større. Når havene mellem kontinenterne lukkedes ved disse bevægelser, udvikledes aktive vulkanske øbuer, dvs. rækker af øer bestående af vulkaner i havene mellem kontinenterne (se figuren øverst på side 6–7). Under den fortsatte kollision sammensvejsedes kontinenterne og der blev dannet bjergkæder. Japan og flere andre steder i Stillehavet er nutidige eksempler på øbue-miljøer.



Arkæiske geologiske miljøer kendes fx fra Nuuk-regionen i Vestgrønland, hvor tre kontinentblokke kolliderede og hvor der er vidnesbyrd om nogle af Jordens ældste bjergkæder, øbuer og oceaner. I dette område findes også resterne af store, dybe vulkanske bjergarts-komplekser. De tidligste oceaniske miljøer havde fysiske og kemiske forhold som gav gode betingelser for dannelse af forekomster af fx båndede jernmalme, se side 5.

De båndede jernmalme dannes ved at jern opløst i havvand ved reaktion med ilt udfældes på havbunden sammen med siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Da jern kun kan opløses i vand under anoxiske (iltfattige) betingelser, repræsenterer disse forekomster den gradvise overgang fra et reducerende til et oxiderende (iltrigt) miljø. Oprindeligt var der meget lidt ilt til stede i både de tidligste oceaner og i atmosfæren. Efterhånden som de tidligste fotosyntetiske grøn-alger begyndte at danne ilt, reagerede ilten med det opløste jern og dannede jernoxid, der blev udfældet på havbunden. Denne proces fortsatte indtil stort set alt jernet i oceanerne var udfældet, og først derefter kunne iltmængden stige frit i oceanerne og siden i atmosfæren. Denne type aflejringer af jernoxider er i dag den vigtigste forekomsttype af jern.

Ved Isua øst for Nuuk i Vestgrønland findes den ældste kendte forekomst af båndede jernmalm i verden; forekomsten er estimeret til at indeholde mindst 350 mio. tons jern og vil muligvis komme i produktion inden for en kort årrække.

## YNGRE BJERGKÆDEDANNELSE – PALÆO-PROTEROZOIKUM

I perioden for mellem 2,05 og 1,75 milliarder år siden blev store dele af det arkæiske grundfjeld inddraget i nye pladetektoniske processer med bjergkædedannelser og tilførelse af granitisk materiale til jordskorpen. De gamle

## Palæoproterozoikum 2.500–1.600 mio. år



arkæiske blokke blev brudt op ved kontinentalspredning og oceanbundsdannelse, for efter en periode igen at blive skubbet sammen og sammensvejet i nye bjergkæder. I Grønland førte disse bevægelser til dannelsen af Ketiliderne, Nagssugtoqiderne og Ingle Field Land. Både oceanbund og kontinenter blev skubbet ind under hinanden og deformeret. Under disse forhold blev magmatiske (dybe vulkanske) bjergarter dannet og intruderede bjergkæderne.

Miljøet der opstår i forbindelse med sådan bjergkædedannelse, er bl.a. favorabelt for dannelsen af guld i kvartsårer. Under kollisionen af kontinenterne deformerer bjergarterne under høje tryk og temperaturer hvorved der opstår nye mineraler af de gamle; der sker en såkaldt metamorfose af bjergarterne. I den proces afgives varme og vandige opløsninger, hydrotermale opløsninger, som kan transportere nogle af de metaller som frigives under bjergartsdeformationen. De metalholdige opløsninger stiger op igennem bjergarterne og trænger ind i svagheds- og forkastningszoner i Jordens skorpe. På væskernes vej op gennem svaghedszonerne ændres de fysiske og kemiske forhold på grund af faldende temperatur, andre pH-værdier og trykaflastning. Sådanne ændrede forhold kan føre til at nogle grund-

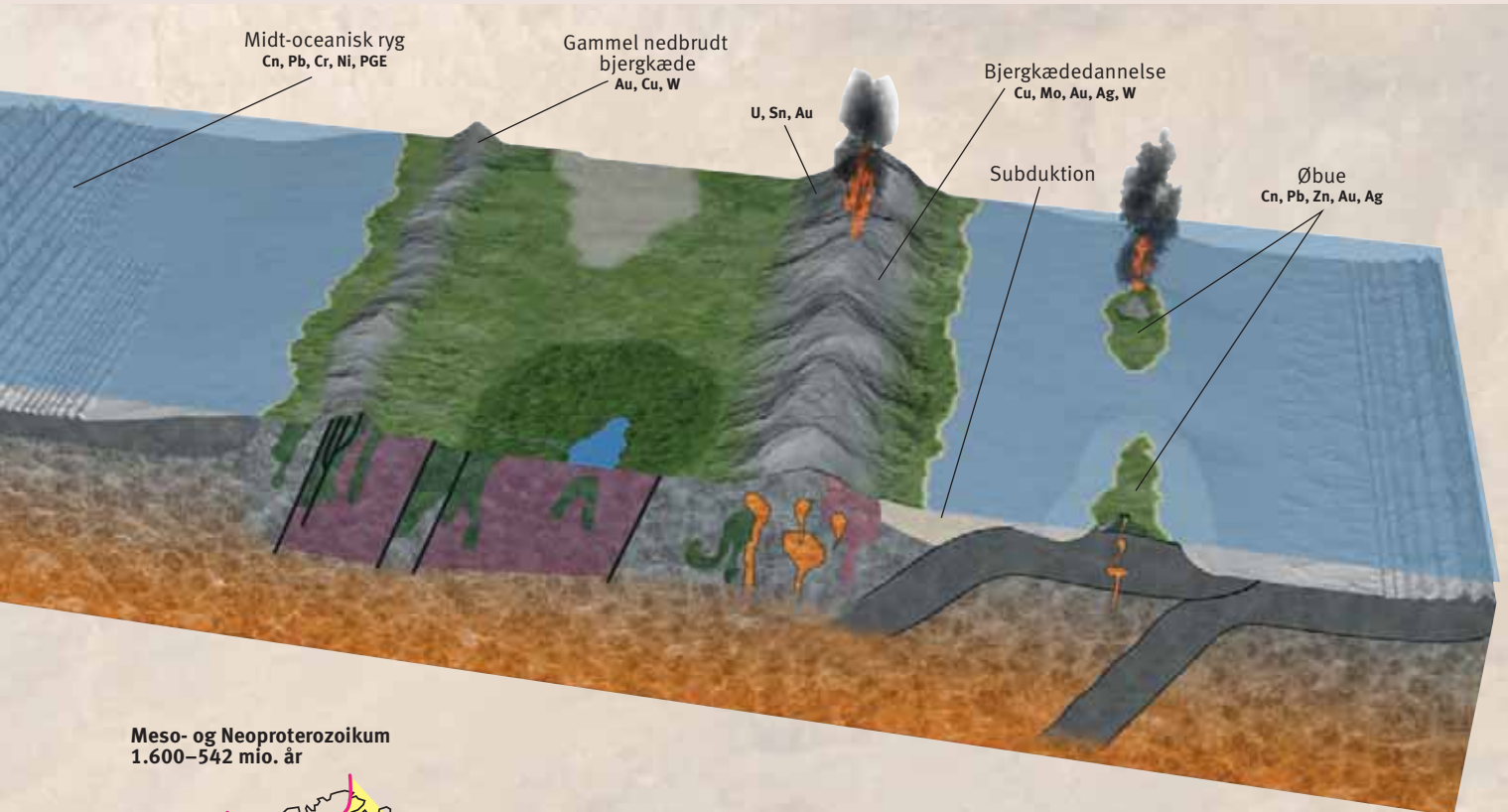
stoffer i den hydrotermale opløsning udfældes og afsættes – hvorved fx kvartsårer dannes. Hvis væskerne indeholder guld, kan dette også udfældes i kvartsåren. En sådan kvartsåreguld-forekomst kendes fra guldminen ved Nalunaq i Sydgrønland, hvor der indtil videre er udvundet godt 10 ton guld, svarende til en kasse på ca.  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup>, se fotos på side 5.

## RIFTDANNELSE, ÆLDRE SEDIMENTBASSINER OG FOLDEDE OMRÅDER – MESOPROTEROZOIKUM TIL PALÆOZOIKUM

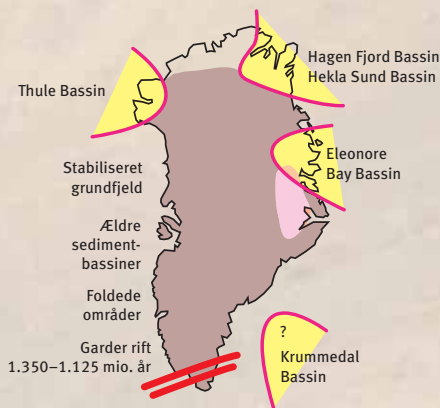
I Sydgrønland opstod en markant riftdannelse i perioden for mellem 1.350 og 1.125 millioner år siden – den såkaldte Gardar Rift. En rift er et kontinent der begynder at dele sig i en langstrakt, gigantisk sprække- og svaghedszone. Området er præget af vulkanisme fordi varme bjergarter fra Jordens kappe begynder at bevæge sig op i riften. I dag kendes det samme fænomen og geologiske miljø fra fx den østafrikanske rift.

I Gardar-riften dannedes der kontinentale sedimentbassiner, vulkaner og lavaer på overfladen. Desuden begyndte Jordens kappe at bevæge sig opad mod rift-zonen, og store mængder smelte blev dannet i 70–90 kilometers dybde. Disse smelter (magmaer) bevægede sig opad og blev samlet ved grænsen mellem kappen og skorpen i cirka 30 km's dybde, hvor de blev afkølet og begyndte at størkne.

Da næsten al smelten var størknet, var der lidt overskudsmelte tilbage som var ekstremt rig på nogle af de grundstoffer som kemisk kun passer ind i en række specielle mineraler (fx



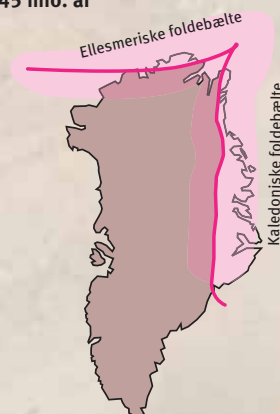
## Meso- og Neoproterozoikum 1.600–542 mio. år



sjældne jordarters metaller (REE, se ordliste på side 9) uran, beryllium, litium, niobium, tantal og zirkonium). Denne restsmelte bevægede sig videre opad, størknede og dannede nogle store intrusive bjergartskomplekser i den øverste del af Jordens skorpe. Nogle af disse intrusive komplekser er meget rige på disse relativt sjældne grundstoffer og udgør egentlige malmforekomster. I Grønland findes de største kendte af sådanne forekomster ved Kvanefjeld (REE, uran, fluor, beryllium, litium og zink), Kringlerne (REE, tantal og zirkonium) og ved Motzfeldt Sø (tantal, niobium og REE).

På dette tidspunkt var de forskellige dele af det grønlandske grundfjeld for længst samlet i en større sammenhængende kontinentblok, og den efterfølgende geologiske udvikling er fortrinsvis sket langs randen af kontinentet. Der blev fx i perioden for 480–345 mio. år siden dannet foldebælter – de Ellesmeriske og Kaledoniske foldebælter – hvor skorpen blev presset sammen og foldet op ved lukninger af

## 480–345 mio. år

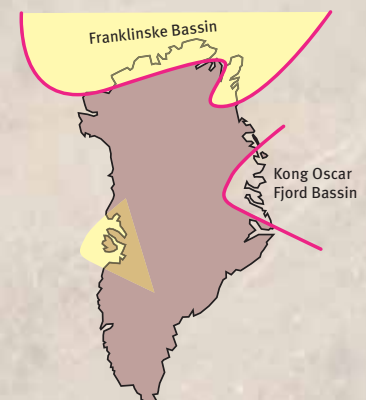


havområder. Der blev også dannet flere større sedimentbassiner. De første større sedimentbassiner, som var fyldt med erosionsmaterialer fra den stabile del af kontinentet, blev dannet i Nord- og Nordøstgrønland hvor der akkumuleredes op til 14 km tykke sedimentpakker. I flere af disse bassiner er der kobberforekomster som er dannet ved at vandige opløsninger bevægede sig langs gennemtrængelige lag og strukturer i sedimentpakken: en iltrig opløsning med kobber fra omkringliggende sedimenter og en iltfattig og svovlrig opløsning. Når de to væsketyper mødes i sedimenterne, reagerer de, og der bliver dannet kobbersulfider som udfældes. Der efterforskes i dag aktivt i flere af de grønlandske sedimentbassiner efter denne type kobberforekomst.

Simpel model med forskellige geologiske miljøer og deres typiske bjergarter og mineraliseringer. Se teksten for yderligere forklaringer.

Illustration: Stefan Sølberg efter idé af Bo M. Stensgaard, GEUS.

## Palæozoikum 542–251 mio. år



Delvist samtidig med dannelsen af foldebælterne blev der i tidsperioden for 540–410 mio. år siden udviklet et mere end 2.000 km langt øst-vest-gående aflejringsbassin i Nordgrønland og arktisk Canada, kaldet det Franklinske Bassin. Den sydligste del af dette bassin bestod af et stort lavvandet havområde med op til 4 km tykke kalkstensaflejringer (fossile koralrev), og nord herfor opstod et dybvandsområde med sandede og lerede sedimenter, der er mere end 8 km tykke. I dybvandsaflejringerne findes bl.a. Citronen Fjord zink-bly-forekomsten der er blandt verdens største. Kilden til metallerne er i dette tilfælde sedimenterne selv: under stadig pålejring af



Fjeldside fra Navarana Fjord i Nordgrønland. De lyse bjergarter (til højre) er kalkstensaflejringer der blev afsat i lavvandsområder. De grålig-mørke bjergarter (til venstre) er skifre, der blev afsat i dybvandsområder. Bjergarterne tilhører et sedimentært aflejringsbassin dannet i perioden for 540–410 mio. år siden. Overgangen mellem de to bjergarter er markeret som en markant struktur, der kan følges over mere end 500 km og som har fungeret som transportzone for metalholdige opløsninger, der har givet anledning til zink-bly-mineraliseringer. Fjeldsiden er 1300 m høj.

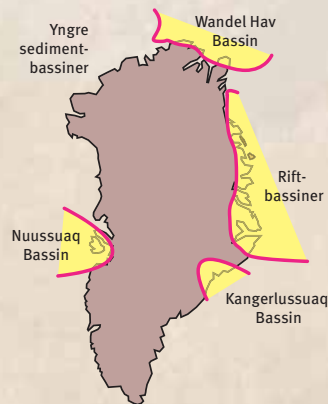
Foto: Niels Henriksen, GEUS.



Plateau-lavaer fra Østgrønland som opstod i forbindelse med åbningen af Nordatlanten. De enkelte lavastrømme der er flydt ud på hinanden er markeret af nyfalden sne, ovenfor den stiplede linje. Lavastrømmene menes at være hele 10 km tykke. I forgrunden, nedenfor den stiplede linje, ses en mere grålig bjergart. Dette er Borgtinderne Intrusionen; der er intruderet ind i plateau-lavaerne.

Foto: Dansk Lithosfærecenter (DLC).

## Mesozoikum og Paleocæn 251–55,8 mio. år



nye sedimenter ovenpå de eksisterende bliver metallerne begravet dybere og dybere nede, hvor både tryk og temperatur stiger. Dette fører til at vandige, metalholdige opløsninger presses ud af sedimentpakken, og disse opløsninger transporteres mod forkastningszoner og trænger op til overfladen langs disse hvor de løber ud på havbunden. Når de blandes med køligere havvand, udfældes metallerne (fx zink og bly) som metalsulfider på havbunden.

### YNGRE SEDIMENTBASSINER – MESOZOIKUM OG PALEOCÆN

For omkring 300 til 200 mio. år siden var alle kontinenterne på Jorden samlet i superkontinentet Pangæa. Under opsplitningen af dette superkontinent opstod der en rift i Jordens skorpe i området mellem Grønland og Skandinavien, hvorved der blev dannet tykke sedimentserier i lavvandede marine og kontinentale riftbassiner, de såkaldte Østgrønlandske Riftbassiner. Foruden de store regionale basindannelser opstod der i både Vest- og Øst-

grønland en række mere lokale sedimentbassiner pga. indsynkninger i Jordens skorpe, og i flere af disse bassiner finder vi i dag kulforkomster. Det gælder fx i Nuussuaq Bassinet i Vestgrønland. Dengang var det varmt i Grønland, og store skovområder i lavtliggende vådområder dominerede denne tidsperiode. I forbindelse med vandstandsstigninger blev plante materiale begravet under sedimenterne. Hvor der var store sedimenttykkelser, steg temperaturen og trykket, og det organiske materiale blev under disse forhold omdannet til kul. Sådanne aflejringer kan også være olieførende, og der er i disse år stor interesse for netop disse sedimentbassiner i farvandede omkring Grønland.

### VULKANISME OG DANNELSE AF OCEANERNE OMKRING GRØNLAND – PALÆOGEN

I forbindelse med åbningen af de nuværende oceaner omkring Grønland for 60 til 54 mio. år siden dannedes meget store mængder af lavaer der flød ud på overfladen som næsten 10 km tykke plateau-lavaer. Under denne opsprækning, som førte til dannelsen af Atlanterhavet, og den voldsomme vulkanske aktivitet der var knyttet hertil, dannedes mere end 100 mindre intrusioner især i Østgrønland, og nogle af disse er mineraliseret med platin, palladium og guld, som er dannet ved at disse grundstoffer blev opkoncentreret i restsmelten, da magma-

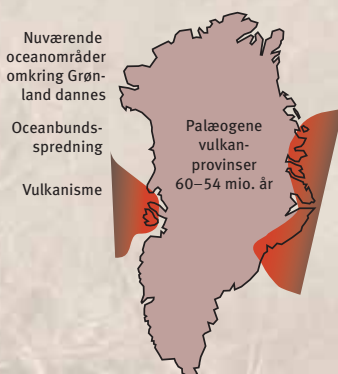




De lyse bjergarter (til venstre) er sandsten fra Devon (400–350 mio. år siden) som bliver afløst af mørkere/violette lavaer, ligeledes fra Devon. Billedet er fra Randbøldal i Nordøstgrønland. Lavaerne er aflejret ovenpå sandsten. De rødlige bjergarter i midten er omdannede lavaer. Omdannelsen er sket ved at varme opløsninger har gennemstrømmet lavaerne. Disse opløsninger har bl.a. båret uran med sig som er blevet afsat og har givet anledning til uran mineraliseringer. Bredden på de mørk-violette lavaer er ca. 200 m.

Foto: Karsten Secher, GEUS.

## Palæogen 65,5–23 mio. år



Kilde: Små grønlandke kort efter Niels Henriksen, GEUS.

et begyndte at størkne. Selve udfældningen af platin-palladium-guld sker når magmaet bliver mættet med svovl, som sammen med jern og kobber danner ædelmetalbærende sulfidminerale. I den bedst undersøgte af disse intrusioner, Skærgårdsintrusionen, findes en meget stor forekomst af guld og palladium. 🌐

## ORDLISTE

**Bjergart:** sammenvoksede og krystalliserede mineraler. **Erosion:** fællesbetegnelse for fysiske og kemiske processer, der nedbryder overfladen/bjergarterne. **Grundstof:** element/kemisk stof, der udelukkende består af atomer med samme atomnummer, fx jern, der består af jernatomer Fe, eller ilt, der i ren form kun består af molekyler med formlen O<sub>2</sub>. **HREE: Heavy Rare-Earth Elements:** gruppen af tunge sjældne jordarter (se REE). **Intrusion:** se magma. **Kappen:** den del af Jordens indre, som ligger mellem skorpen og kernen. Kappens øvre grænse ligger i 5-70 kilometers dybde; den nedre i ca. 2900 kilometers dybde. **Kemisk fældning:** dannelse af et uopløseligt stof ved sammenblanding af to eller flere opløste stoffer. I geologisk sammenhæng fører processen til at et eller flere metaller/mineraler udfældes og opkoncentreres. **Kernen:** den inderste del af Jorden, fra ca. 2900 kilometers dybde til centrum i ca. 6380 kilometers dybde. Kernen består overvejende af jern og nikkel. **LREE: Light Rare-Earth Elements:** gruppen af lette sjældne jordarter (se REE). **Magma:** smeltet stenmasse der ved afkøling og størkning danner magmatiske bjergarter. Magma der bevæger sig op igennem allerede eksisterende bjergarter i Jordens skorpe og størkner i dybet, kaldes for en intrusion, og processen kaldes at intrudere. Magma som strømmer ud på overfladen og størkner, kaldes lava. **Malm:** bjergart hvorfra et eller flere værdifulde grundstoffer eller mineraler kan udvindes. **Metamorfose:** proces hvorved mineraler omdannes til andre mineraler på grund af ændrede temperatur- og trykforhold, som fx når en bjergart skubbes ned i Jorden ved bevægelser i skorpen. Fx krystalliserer kulstof tæt ved Jordens overflade som grafit

(der fx bruges til blyanter) mens det dybt nede i Jorden krystalliserer som diaman, verdens hårdeste mineral. **Mineral:** fast stof med en veldefineret kemisk sammensætning og krystalstruktur. Består af et eller flere grundstoffer. **Mineralsk råstof:** samling af mineraler/bjergarter som kan bruges til fremstilling af metaller, smykkesten, fødemidler, byggematerialer, maskiner, kemikalier, brændsel osv. Råstoffer opdeles ofte i metaller, industrimineraler, energiråstoffer, facadesten og smykkesten. **Oxid:** kemisk forbindelse mellem ilt og andre grundstoffer. Fx er mineralet magnetit en forbindelse mellem jern og ilt (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). **PGM: Platinum-Group Metals:** platinmetaller, samlet betegnelse for grundstofferne ruthenium, rhodium og palladium (de lette platinmetaller) og osmium, iridium og platin (de tunge platinmetaller). **REE: Rare-Earth Elements,** kendes på dansk som sjældne jordarters metaller, der er en gruppe af 17 grundstoffer bestående af 'lanthaniderne' (grundstofferne fra nr. 57, lanthan, til nr. 71, lutetium, i det periodiske system) samt scandium og yttrium. REE bruges især i elektronik og den højteknologiske industri, til fx batterier, magneter til vindmøller og hybridbiler, olieraffineringskatalysatorer, mm. **Sediment:** aflejring af løse mineraler/bjergartsfragmenter som typisk er et produkt af erosion, eksempelvis sten, grus, sand og ler. Skorpen: Jordens yderste, stive skal, der er 5–10 km tyk i oceanerne og 70 km tyk i kontinenterne. **Sulfider:** Sulfider er salte af svovlbrinte, også kaldet hydrogensulfid, H<sub>2</sub>S. En række tunge metaller findes i naturen som sulfider, fx jernsulfid FeS<sub>2</sub>, zinksulfid ZnS, bly-sulfid PbS, og molybdændsulfid MoS<sub>2</sub>.

# KRITISKE MINERALER HVAD ER DET FOR NOGLE?

**D**e mineraler som industrien har problemer med at skaffe, og som er uundværlige for produktionen kaldes kritiske. Listen over kritiske mineraler ændres i takt med den industrielle teknologiske udvikling, den globale efterspørgsel og markedets tilpasningsevne. Opstår der mangel på de kritiske mineralske råstoffer får det alvorlig indflydelse på den globale samfundsudvikling. Og det er denne mekanisme der er gået op for politikere og beslutningstagere.

I begyndelsen af 2000-tallet konstaterede de vestlige landes politikere og toneangivende industrier pludselig at det blev vanskeligt at få tilstrækkeligt af nogle hidtil upåagtede mineralske råstoffer. Råstoffer som er helt essentielle for fremstillingen af eksempelvis CO<sub>2</sub>-neutral energi, computere, mobiltelefoner, batterier, biler og mange andre ting, som er med til at definere vores højteknologiske samfund, og som vi er blevet afhængige af.

Mineralske råstoffer betragtes som kritiske når de både er vigtige og når det er usikkert om industrien kan få tilstrækkelige forsyninger. Lige nu er der særligt fokus på de sjældne jordarters metaller (også kendt som REE, se tabellen nedenfor), så som niobium, tantal, platinmetallerne og litium, og begrebet 'kritiske mineraler' trækker store overskrifter i mediernes, fordi det lugter af fare for opbrugte ressourcer og dommedag. Disse mangelsituationer er især knyttet til politiske og økonomiske forhold, og i langt mindre grad til geologisk tilgængelighed.

Den kritiske situation bliver eksemplificeret og tydeliggjort ved at nogle lande, særligt Kina, har opnået monopollignende status og vælger at reservere råstofferne til brug for egne industrier. Kinas produktion af råstoffer er i disse år i stærk stigning, blandt andet som følge af udflytning af den vestlige verdens industrier hertil, men også fordi Kinas egen forbedrede økonomi, voksende middelklasse og kraftige vækst giver øget behov for råstoffer til udbyg-

ning af lokal infrastruktur og forbrugsgoder.

Når visse råstoffer ikke findes i tilstrækkelige mængder, skyldes det også at en del af mineralefterforskningselskaberne og investorerne ikke har haft tilstrækkelig forståelse for hvilke råstoffer industrien ville komme til at bruge flere af eller helt mangle nogle år frem i tiden. Det gælder specielt nogle af de mindre råstofgrupper, som har vist sig at få stor industriel betydning.

## FORSYNINGSSIKKERHED

På denne baggrund har mange lande, og dermed også EU og organisationer som FN gennemført analyser for at finde ud af hvilke mineralske råstoffer der er kritiske. EU analyserede vigtighed og forsyningssikkerhed for 41 metaller. Ved vurderingen af forsyningssikkerheden blev der lagt særlig vægt på producentlandets politiske og økonomiske situation, graden af monopolstatus og mulighederne for genbrug og substitution. EU identificerede således 14 råstoffer der alle har stor



Krystaller af molybdenit fra Qeqertarsuaatsiaat i Vestgrønland.  
Foto: Ole Johnsen

### Risikoliste 2011

Risikoliste 2011	Symbol	RFI*	førende producent	Nye teknologier (udvalgte)
Antimon	Sb	8,5	Kina	Halvledere, mikro-kondensatorer
Platin gruppe elementer	PGM	8,5	Sydafrika	Katalysatorer, smykker, elektronik, afsaltning af havvand
Sjældne jordarter	REE	8,0	Kina	Magneter, batterier, fosforiserende stoffer, teknisk glas
Niobium	Nb	8,0	Brasilien	Mikro-kondensatorer (til mobiltelefoner, playstations osv.), jernlegeringer
Kulstof (grafit)	C	7,0	Kina	Stål, batterier, støbeforme, elektronik, smøremidler
Indium	In	6,5	Kina	Skærme, solceller
Germanium	Ge	6,5	Kina	Fiberoptiske kabler, IR optisk teknologi
Molybdæn	Mo	6,0	Kina	Stål, legeringer, smøremiddel, elektronik, glas
Tantal	Ta	6,0	Rwanda	Mikro-kondensatorer (til mobiltelefoner, playstations osv.), medicinske teknologier
Cobalt	Co	5,5	Congo	Lithium-ion-batterier, syntetiske brændstoffer
Lithium	Li	5,5	Australien	Batterier, keramik, kemikalier, glas
Fosfor	P	5,0	Kina	Gødning, vaskepulver, kemikalier (syre)
Gallium	Ga	4,5	Kina	Solceller
Kobber	Cu	4,5	Kina	Elektriske komponenter, ledninger, kabler, legeringer
Zink	Zn	4,0	Kina	Antikorrosion, legeringer, messing, galvanisering, stål, medicin, dyrefodder, batterier
Jern	Fe	3,5	Kina	Stål
Aluminium	Al	3,5	Australien	Letmetal, biler, flyvemaskiner, konstruktioner, dåser, alufolie

RFI\* = Relativt forsyningsrisiko indeks

Aktuelt forsyningsrisiko-indeks for grundstoffer (eller grupper deraf) som har økonomisk betydning. Indekset går fra 1: meget lav risiko, til 10: meget høj risiko. Udarbejdet af British Geological Survey 2011.

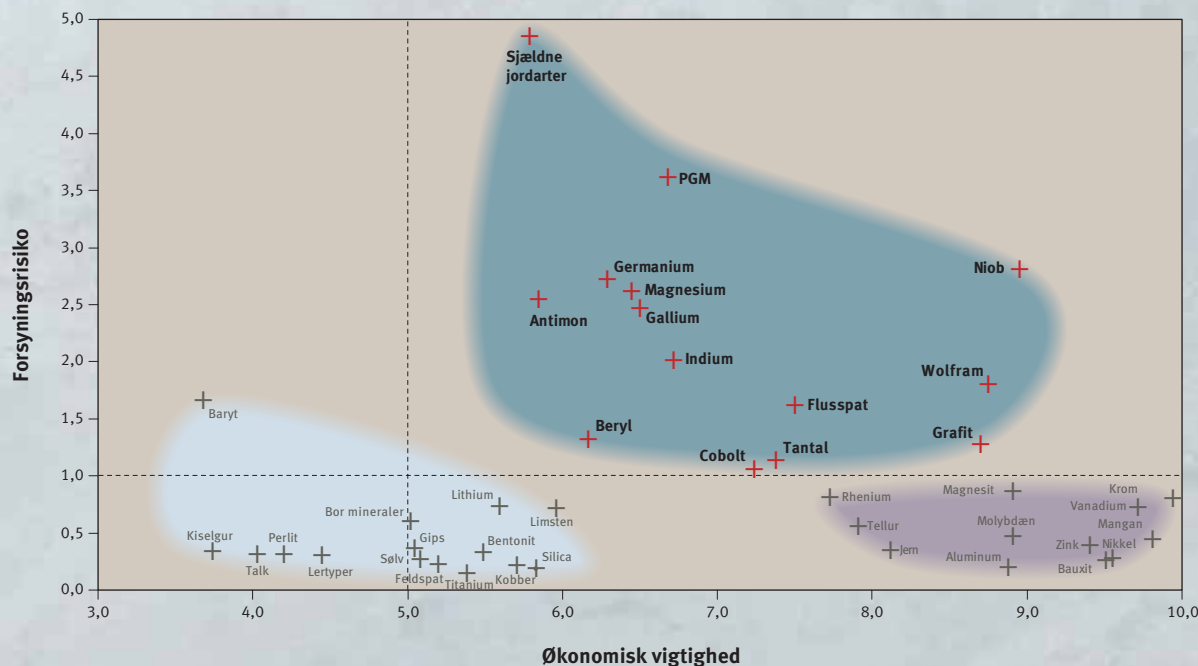
Efter: NERC 2011.

## PER KALVIG

Seniorrådgiver, GEUS.  
pka@geus.dk

## KAREN HANGHØJ

Statsgeolog, GEUS.  
kha@geus.dk



Nogle mineralers økonomiske vigtighed vist mod deres forsyningsrisiko. Af 34 udvalgte mineraler har en ekspertgruppe under EU-kommisjonen vurderet at de 14 er kritiske.

Kilde: 'Critical raw Materials for the EU'- Rapport. Europa Kommissionen 2010.

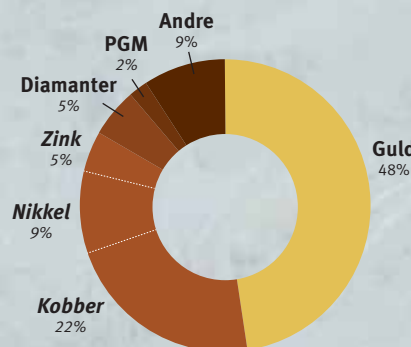
økonomisk betydning, og for hvilke der er stor forsyningsusikkerhed og som kun i ringe omfang kan genbruges eller erstattes (substitueres) af andre råstoffer, se figuren ovenfor.

Resultaterne af de vurderinger der er foretaget af råstoffernes forsyningsikkerhed i forskellige regioner og lande, falder lidt forskelligt ud, idet industristrukturen og behovene er forskellige i forskellige lande. Eksempelvis er Japan storproducent af elektroniske komponenter, og landet efterspørger derfor en betydelig del af de tunge sjældne jordarter (HREE), som man importerer fra Kina, hvorimod eksempelvis USA's efterspørgsel i højere grad er rettet mod de lette sjældne jordarter (LREE), der anvendes i store mængder til olieraffineri og til katalysatorer i biler. Tilsvarende er stålindustrien i Europa reduceret i størrelse, men under opbygning i Asien, Rusland og Latinamerika, hvilket giver et ændret efterspørgselsmønster. Alle analyser peger dog ret entydigt på at platinminerale (PGM), de sjældne jordarters metaller (REE), indium og delvis også tantal og niobium er kritiske råstoffer i hele den industrialiserede verden, inklusive Rusland, Brasilien og Indien. Analyseme kan dog hurtigt ændre sig hvis priser og/eller teknologi

ændres. 'Kritiske mineraler' er derfor et meget dynamisk fænomen, og om 10 år er det sandsynligvis helt andre mineraler der er kritiske.

Forsyningsusikkerheden som følge af monopollignende status er især aktuell for REE, antimon, germanium og wolfram, hvor Kina er den helt dominerende producent, men også forsyningen af niobium og platin, som Brasilien og Sydafrika er de største producenter af, er sårbar. Hertil kommer at mineindustrien kun langsomt kan omlægge til nye produktioner, da sådanne ændringer kræver store investeringer og langsigtet planlægning. Opstart af nye, store miner kan sagtens tage 10–20 år fra de første fund er gjort til en mine bliver etableret. Det er derfor vanskeligt for mineindustrien at respondere på industriens hurtige skift i råstoffefterspørgsel, og også i fremtiden vil der således være kritiske mineraler og opstå midlertidige råstofkriser. Læs mere herom i artiklen side 14 til 17.

Alle tilpasninger og ny efterforskning på råstofområdet er baseret på udbud og efterspørgsel, så de efterforskningselskaber, der har specialiseret sig i at finde nye forekomster, fokuserer typisk på de råstoffer som forventes at give den største fortjeneste. En følge heraf



De globale omkostninger til mineralefterforskning fordelt på mineraler.

Kilde: Metals Economics Group 2009.

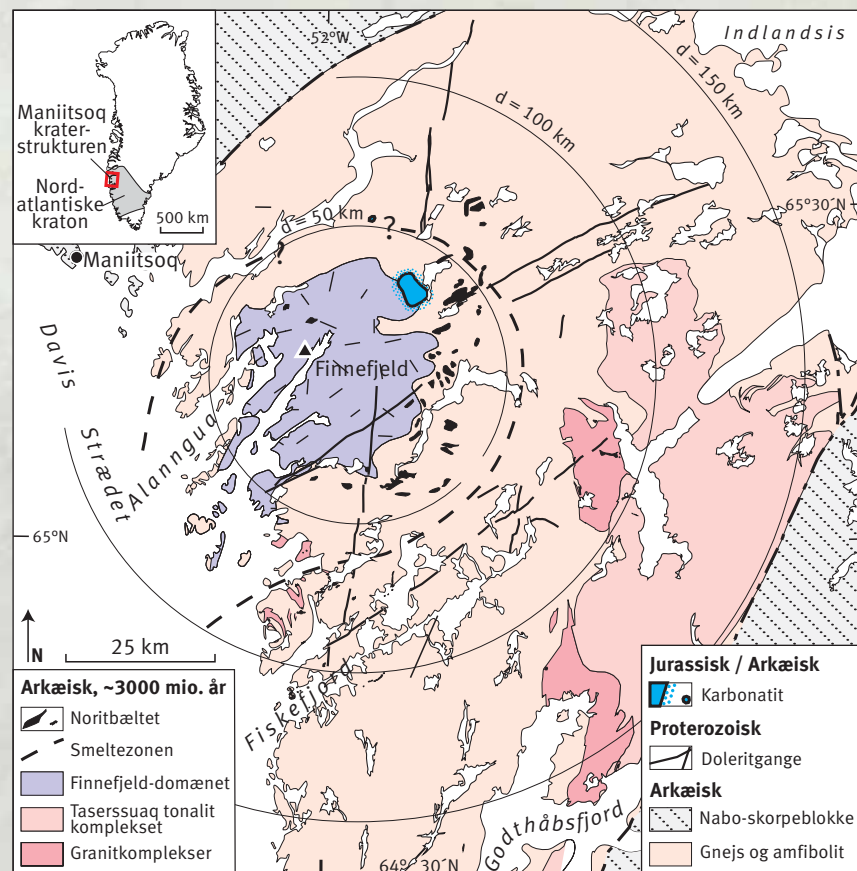
er, at knap halvdelen af de samlede årlige investeringer i mineralefterforskning anvendes til at finde nye guldforekomster, selvom guld ikke har nogen industriel anvendelse af betydning, se figuren ovenfor. Den øgede viden om og opmærksomhed på kritiske mineraler har dog sat gang i mineralefterforskning i mange lande uden for Kina, og mange nye forekomster er ved at blive undersøgt nærmere. Også Grønland nyder godt af denne udvikling, og seks selskaber undersøger netop nu mulighederne for at udvinde kritiske mineraler i Grønland, jf. artiklen bagest i bladet.

# MANIITSOQ-KRATERET I ET ØKONOMISK-GEOLOGISK PERSPEKTIV

**M**aniitsoq-kraterstrukturen i Vestgrønland er verdens ældste kendte meteorit-kraterstruktur og formentlig også den største. Den er dog dybt nederoderet, og dens bevarede rester, som oprindeligt lå dybt under selve krateret, er 'kun' omkring 100 km i diameter. Store meteoritkraterer kan indeholde værdifulde råstoffer. Inden for Maniitsoq-kraterstrukturen findes flere nikkelmineraliseringer, som senest er blevet efterforsket i 2011 og 2012, samt en langt yngre intrusion af karbonatit og adskillige diamantførende kimberlitgange.

Kraterstrukturen sydøst for Maniitsoq i Vestgrønland blev opdaget i 2009. Strukturen er opstået ved et gigantisk meteoritnedslag for 3 milliarder år siden i et tektonisk aktivt miljø, som har lignet den nuværende japanske øbue, præget af litosfæreplader, der nærmer sig hinanden. Geologisk set befinder kraterstrukturen sig i Fiskefjord-blokken i det Nordatlantiske kraton (den stabile del af kontinentet), som udgør størsteparten af det sydlige Grønland. Selve området ved Maniitsoq består af granitiske og vulkanske bjergarter, som er omdannet under høje tryk og temperaturer omkring 25 km under jordoverfladen. Kraterstrukturen repræsenterer en helt speciel værstype for mulige mineraliseringsprocesser i den dybe jordskorpe, som p.t. ikke kendes fra noget andet sted i verden.

Med sin kolossale dybde er Maniitsoq-kraterstrukturen helt unik. Det oprindelige meteoritkrater på jordens overflade er for længst eroderet væk. De bevarede rester har 'kun' en diameter på et sted mellem 100 og 150 km, men det oprindelige krater var formentlig Jordens største. De nuværende rester af strukturen består groft sagt af tre koncentriske zoner. Inderst ligger en kerne på 35 x 50 km, Finnefjeld-domænet, som består af totalt knuste og sammenrystede bjergartsmasser, der derefter



Forenklet kort over Maniitsoq kraterstrukturen. Finnefjeld-domænet i midten består af totalt nedknust og mekanisk homogeniseret materiale.

Illustration: Adam A. Garde, GEUS.

er svejset sammen og delvist smeltet op. Rundt om Finnefjeld-domænet findes en 'krave' af varierende bredde på 15–25 km. Her er knusningen langt mere lokal, men mange steder findes tegn på øjeblikkelig smeltning af almindelige mineraler, fx feldspat, i forbindelse med selve nedslaget. Endnu længere væk fra centrum ser man fortsat mange forskellige tegn på nedslaget, blandt andet forskellige former for opsprækning, knusning og granitdannelse. Hele strukturen ser ud til at være vipet, så de dybeste dele er blottet langs vestkysten af Grønland.

De tre yngre meteoritkraterer, som indtil fundet af Maniitsoq-kraterstrukturen, blev anset for at være Jordens største, indeholder alle værdi-

fulde økonomiske ressourcer. Vrededort i Sydafrika på 2,02 milliarder år indeholder store guldforekomster, idet tykke guldholdige sedimentformationer rutsjede ned i det nydannede krater og på denne måde blev bevaret for eftertiden. Muligvis er guldet blevet yderligere opkoncentreret i forbindelse med gennemstrømning af varmt vand, såkaldte hydrotermale processer. Sudbury i Canada på 1,85 milliarder år indeholder verdens største nikkelforekomster. Disse nikkelforekomster blev dannet ved smeltning af den øverste del af jordskorpen og udskillelse af tunge sulfidmelter, som sank til bunds i smeltelaget, og i dag brydes nikkelen i flere miner. I det unge Chicxulub-krater i Mexico (blot 65 mio. år gammelt) er knuste bjergarter med god po-

## ADAM A. GARDE

Seniorforsker, GEUS.  
aag@geus.dk



Harmonikafolder mellem kraterstrukturens nedknuste centrum og kraven, som skyldes sideværts sammenpresning under meteoritnedslaget.

Foto: Adam A. Garde.



Intrusion af mørk smeltebjergart i noritbæltet, som sandsynligvis stammer fra Jordens kappe.

Foto: Adam A. Garde.

røsitet og gennemtrængelighed vært for en kommerciel olieforekomst.

Maniitsoq-kraterstrukturen er på grund af sin oprindelige størrelse og skorpedybde meget anderledes end både Vrededøt, Sudbury og Chicxulub. Maniitsoq omfatter to helt specielle geologiske fænomener af regional udbredelse, som hver for sig kan tænkes at have medført mineralisering.


Det første fænomen er noritbæltet, en 70 km lang, bananformet zone med adskillige basiske intrusioner. Disse intrusioner kan stamme fra kappesmelter, der er opstået i forbindelse med meteoritnedslaget. Kryolitselskabet Øresund fandt allerede i 1960'erne små, men høj-lødlige nikkel-kobbermineraliseringer i noritbæltet, og efter påvisningen af kraterstrukturen er der iværksat fornyet efterforskning. Man forestiller sig en mulig analogi med de nikkelrige

malmlegemer i Sudbury, men de nærmere detaljer omkring mineraliseringsprocessen er indtil videre helt ukendte.

Det andet fænomen er en gennemgribende omdannelse som er enestående i omfang, dybde og intensitet. Omdannelsen kan muligvis stamme fra indtrængende havvand i den nydannede kraterstruktur. Disse såkaldt hydrotermale processer har givetvis medført en omfordeling i jordskorpen af mange forskellige grundstoffer, og det kan udmærket tænkes, at guld og andre metaller er blevet ført opad og udad fra metamorfoserede vulkanske formationer under kernen af kraterstrukturen. Desværre kan sådanne mineralforekomster let være forsvundet igen senere på grund af den dybe erosion.

Tæt ved midten af kraterstrukturen findes også nogle langt yngre intrusioner fra Jordens

kappe, som er økonomisk interessante. Deres placering kan muligvis være betinget af permanente ændringer i den øvre kappe i forbindelse med meteoritnedslaget. Det drejer sig om Qaqarsuk-karbonatitten med sit indhold af sjældne metaller samt en sværm af diamantførende kimberlitter. Begge forekomster har været genstand for kommerciel efterforskning.

Maniitsoq-kraterstrukturen er en ny opdagelse, og de processer som meteoritnedslaget medførte i jordskorpen og kappen under det oprindelige krater, er til dato knapt nok forstået – endsi-ge beskrevet i større detalje. Desuden har store dele af det område som strukturen dækker, aldrig været systematisk kortlagt. Området kan derfor fortsat gemme på mange overraskelser. 

# RÅSTOFFERNES DYNAMIK

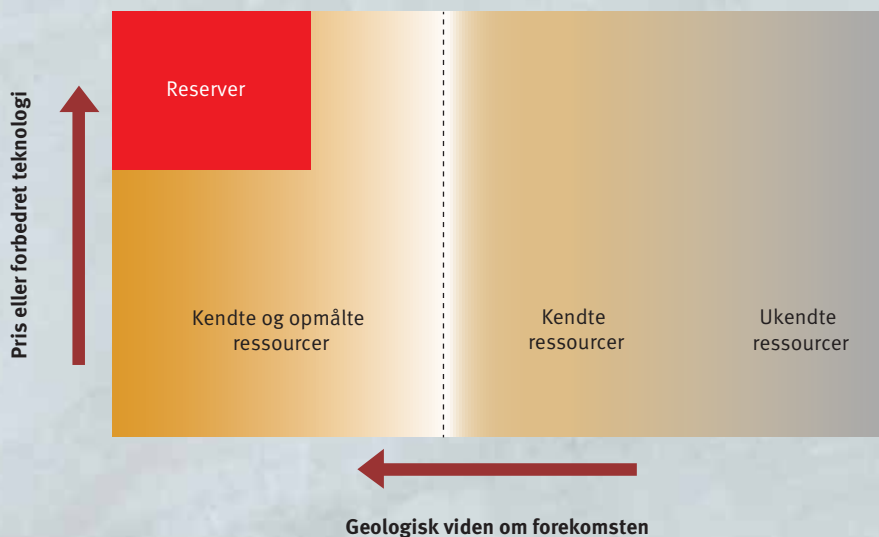
**A**llerede i 1798 var man klar over at Jordens ressourcer ikke var en udtømmelig kilde og at adgangen til råstoffer hang tæt sammen med befolkningsudviklingen. I 1973 oplevede verden med oliekrisen virkningerne af en midlertidig råstofkrise, og Brundtland-rapporten fra 1987 satte efterfølgende fokus på Jordens begrænsede ressourcer og påpegede behovet for bæredygtighed. Trods sådanne tegn på krise har verden aldrig stået over for en absolut råstofkrise – og forvirring omkring begreberne ressourcer og reserver fører ofte til unødigt undergangstæning.

Siden Malthus i 1798 lavede de første prognoser om sammenhængen mellem befolkningsudviklingen og forbruget af mineralske råstoffer, har diskussionen om hvorvidt der er tilstrækkelige råstoffer til fremtidige generationer bølget frem og tilbage. Brundtlandrapporten fra 1987 henstillede til at man tog hensyn til fremtidige generationers behov for råstoffer, og siden verdenstopmødet i Rio i 1998 har dette hensyn været et bærende princip i internationale aftaler på råstofområdet. Dette skal ses i lyset af at FN estimerer, at verdens befolkning i 2050 vil være knapt 9 milliarder - en stigning på ca. 30 % i forhold til i dag og en ændring, der vil øge forbruget af mineralske råstoffer. Det er en vanskelig opgave at løse denne udfordring.

Der er både i EU og FN-regi sat initiativer i værk som skal overvåge sammenhængen mellem udbud og efterspørgsel på mineraler, og som i særlig grad skal prøve at forudse udviklingen med fokus på råstofefterspørgsel og produktion. Dette skyldes ikke at råstofferne er ved at være brugt op. Formålet er at sikre tilstrækkelige forsyninger og at tage de nødvendige hensyn til bæredygtighed.

## HVAD ER RESERVER OG HVAD ER RESSOURCER – BEGREBER SOM OFTE FORVEKLES

Diskussioner og pressedækning om hvorvidt verdens samlede reserver af mineraler er ved



Alle de mineraler der brydes i dag, har på et tidspunkt tilhørt kategorien af ukendte ressourcer. Først når geologiske undersøgelser påviser at en forekomst er tilstrækkeligt stor og lødig til produktion, klassificeres den som en 'reserve'. Hvis mineteknologien forbedres eller metalpriserne stiger, kan noget der tidligere ikke kunne betale sig at bryde, blive økonomisk og ændres fra ressource til reserve. Men! Det kan også gå den anden vej: hvis prisen falder, og det ikke længere er rentabelt at udvinde et givent råstof, går det fra at være reserve til ressource. Størrelsen af den røde kasse er derfor meget dynamisk, men den er altid en meget lille delmængde af den samlede ressource. På grund af denne dynamik kan summen af de globale reserver ikke anvendes til prognoser for hvornår et givet mineral råstof er 'geologisk' brugt op.

Kilde: BGR.

at være brugt op, er ofte baseret på forkerte opfattelser af begreberne mineralreserver og ressourcer. Sammenblandingen af begreberne fører til den antagelse at man på basis af viden om forbruget af et metal og størrelsen af reserven, kan beregne hvor mange års forbrug der er tilbage. Det er dog ikke tilfældet, og der er ikke umiddelbart belæg for pressens dommedagsoverskrifter.

**Ressource:** Omfatter alle mineralforekomster. Nogle er kendte og andre er endnu ikke opdagede. Nogle ressourcer er relativt velbeskrevne, men måske ikke rentable, eksempelvis fordi lødigheden er for lille. Andre har måske høj lødighed, men kan ikke udnyttes med eksisterende teknologi. Ressourcer omfatter også den del der kaldes reserven.

**Reserve:** Den del af ressourcen som her og nu kan brydes med fortjeneste. Det vil sige at størrelsen (tonnagen) og lødigheden kendes med stor sikkerhed, og at det er rentabelt at bryde den med eksisterende teknologi og ved gældende priser og lovgivning. Falder prisen

for eksempel, kan det betyde at en reserve skal omklassificeres til ressource. Omvendt kan stigende priser eller indførelse af forbedret teknologi medføre at en kendt ressource kan opklassificeres til reserve. Reserven er således dynamisk og bliver løbende justeret af mineselskaberne.

Reserven er altid betydeligt mindre end ressourcen. Det er derfor vigtigt at skelne mellem de to begreber, når der bliver foretaget analyser over fremtidens råstoflagre.

## RÅSTOFKRISER SKYLDES – ENDNU – IKKE GEOLOGISKE FORHOLD

Der tales fra tid til anden om råstofkriser – at der er mangel på et givent råstof. I begyndelsen af 1970'erne oplevede Vesten den første oliekrise, og aktuelt er der hyppige avisoverskrifter om mangel på de sjældne jordarters metaller (REE). Overordnet kan råstofkriser inddeles i tre grupper:

**a. Midlertidige råstofkriser,** som kan skyldes at produktionen af et givent råstof i en periode ikke modsvarer efterspørgslen. Det kan ek-

## PER KALVIG

Seniorrådgiver, GEUS.  
pka@geus.dk

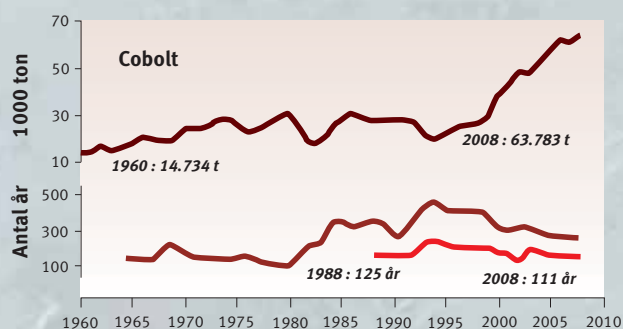
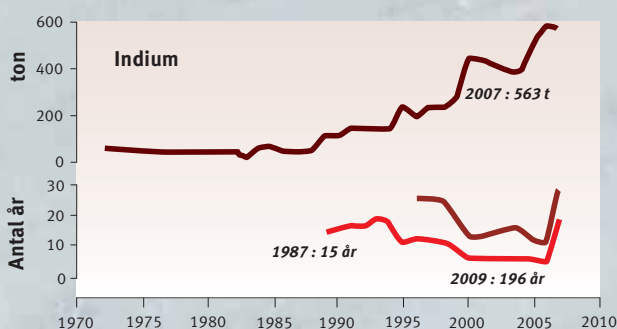
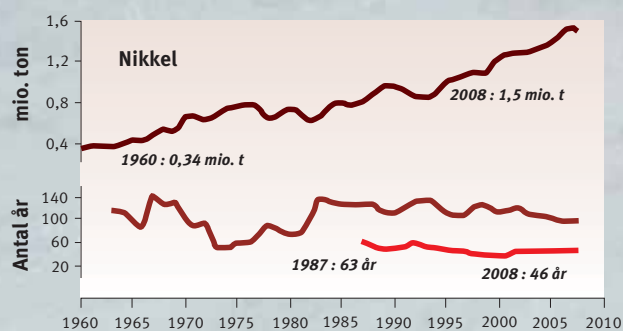
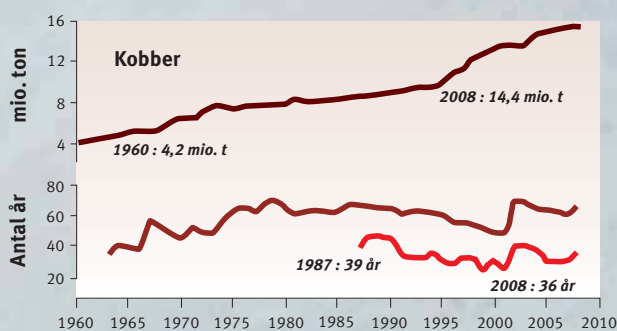
## KAREN HANGHØJ

Statsgeolog, GEUS.  
kha@geus.dk

### RÅSTOFFERNE/MINERALERNE PRODUCERES SOM:

1. **Ene-produkt** – der brydes kun eet produkt (kul, aluminium, diamanter osv.)
2. **Bi-produkt** – hovedmineral samt et produkt som giver bedre indtjening, men ikke er vitalt (jern-indium, zink-cadmium, zink-gallium osv.)
3. **Co-produkt** – to eller flere sammen – alle har vital betydning for økonomien (blyzink, kobber-guld, REE, krom-nikkel, niobi-tantal osv.)

Hvis produktionen af hovedmineralet stopper, så stopper produktionen af de andre mineraler også – nogle af dem er måske kritiske!



■ Mineproduktion (for indium raffineret produktion)  
— Statisk livstid for ressourcen  
— Statisk livstid for reserve

Produktion af udvalgte metaller i perioden 1960–2010 sammenstillet med reserven og ressourcen. Det fremgår, at der til trods for øget produktion ikke er et væsentligt fald i ressourcen/reserven. Dette skyldes mineralefterforskning og nye fund.

Kilde: 'Critical raw materials for the EU'- rapport udarbejdet til EU-Kommissionen 2010.

sempelvis skyldes nye teknologier som giver forøget efterspørgsel efter eksisterende eller nye råstoffer. Dette er tilfældet med de sjældne jordarter, som er vigtige grundstoffer i en række nye teknologier (mobiltelefoner, Tv-skærme, vindmøller, el-biler, batterier).

**b. Strukturelle råstofkriser**, som skyldes at der opstår efterspørgsel på metaller som normalt kun udvindes som bi-produkter, og hvor produktionen derfor er styret af hvor meget der

produceres af hovedproduktet. Dette er for eksempel tilfældet for grundstofferne gallium (Ga), germanium (Ge) og indium (In) der produceres som biprodukter til henholdsvis aluminium-, kobber- og zinkproduktioner.

**c. Absolutte råstofkriser**, som betyder at alle ressourcer af et givet mineralråstof er brugt op. Denne type råstofkrise forveksles ofte med de to øvrige typer råstofkriser, men endnu er der ikke eksempler på en absolut råstofkrise.

At midlertidige og strukturelle råstofkriser forveksles med absolutte råstofkriser hænger blandt andet sammen med to forhold: 1) en hastigt voksende teknologisk udvikling i mineindustrien som gør det muligt at udnytte ressourcer som ikke tidligere ville være en del af reserverne; 2) øget efterspørgsel betyder stigende priser, og hermed omdannes nogle af ressourcerne til reserver. Denne udvikling forventes at fortsætte mange år endnu. Se udviklingen for udvalgte mineraler i diagrammerne ovenfor.

## FRA MINERALEFTERFORSKNING TIL FÆRDIGT PRODUKT – VÆRDIKÆDEN

Når der er fundet en mineralressource, kan der først etableres en mine, hvis følgende forudsætninger er opfyldt: 1) Malmreserven skal være tilstrækkelig stor til at der kan forventes et netto-overskud. 2) Det skal være teknologisk muligt at bryde og opkoncentrere det ønskede mineral. 3) Der skal være opnået minelicens, miljøgodkendelser mv., udstedt af offentlige myndigheder. 4) Der skal være investorer til stede, og 5) endelig skal der være afsætningsmuligheder for produktet.

### Minedrift. Brydnings- og udvindingsteknologi

Forskellige forhold er afgørende for, hvilken type minedrift, der vælges til at bryde en given malm. Det er malmens fysiske og kemiske egenskaber; tonnage og lødighed; malmens form/geometri og dybden fra overfladen, der er bestemmende for valget.

De to mest almindelige metoder er brydning fra overfladen, i en stor åben mine, og underjordisk minedrift – eller en kombination af disse. Størrelsen af minen er bestemt af hvor rig og stor malmen er.

*Overflademiner* bruges særligt til lav-lødige, overfladenære forekomster. For overflademiner, hvor der brydes faste bjergarter er følgende trin normalt involveret: fjernelse af overjord, og udgravning/sprængning af malm, og udlastning af malmen med enten trucks eller transportbånd. Overflademiner er normalt ikke dybere end 100 m. Investerings- og driftsomkostninger er betydeligt mindre for overflademiner end for underjordiske miner.

*Underjordiske miner* bruges når overflademiner ikke er en reel mulighed, fx hvis malmen ligger for dybt. Underjordisk minedrift kræver betydelig investering i etablering af mineskakte, geoteknisk støtte og afvands-, ventilations- og transportsystemer til at få malmen bragt op. Afhængigt af malmens orientering anvendes forskellige brydningsmetoder, som skal tilgodese både sikkerhed og at mest muligt af malmen kan brydes. Brydningsprocesserne omfatter normalt boring, sprængning og udlastning, samt transport af malmen til et oparbejdningsanlæg, som typisk ligger på overfladen, med truck, togvogne, lift-systemer eller transportbånd.

*Fremstilling af mineralkoncentrat.* Malm som består af hårde bjergarter, skal først knuses, så de økonomisk vigtige mineraler frigøres fra de øvrige mineraler. Derefter separeres de vigtige mineraler fra resten. Til denne opkoncentrering anvendes mange forskellige teknikker, hvoraf de mest anvendte er baseret på tyngdekraft, flydeegenskaber, magnetiske eller elektrostatiske egenskaber, samt udfældning. Hvilke metoder der skal anvendes er bestemt af malmens mineralogiske sammensætning. Det produkt der fremstilles er et koncentrat.

*Raffinering af mineralkoncentrat:* Mineralkoncentratet som produceres af mineselskabet er et såkaldt halvfabrikata som sendes videre og forarbejdes af virksomheder der er specialiseret i fremstilling af eksempelvis metaller eller andre kommercielle produkter til den forbrugende industri.



Også i Danmark har vi store åbne miner, som fx Knudsker Granitbrud ved Rønne.

Foto: Bo M. Stensgaard.

### RÅSTOFPRISER


Prisen på mineralske råstoffer bestemmes af tre forhold: 1) råstoffets tilgængelighed, 2) omkostninger forbundet med at udvinde og forarbejde mineralet og 3) transportomkostninger. Eksempelvis findes sand, grus og sten næsten alle steder, og det er billigt at udvinde. Og da disse råstoffer produceres og sælges i nærområderne, er transportomkostningerne som regel lave, hvilket giver relativt lave priser. For metaller som kobber, zink, bly og nikkel m.fl. er det dyrt at bryde og oparbejde mineralerne til koncentrat, og de skal ofte transporteres over store afstande. Samtidig er processerne der skal til for at få metallerne ud af mineralerne dyre. Derfor bliver priserne på

sådanne produkter relativt høje. For de sjældne råstoffer som guld, platin og diamanter, som kun findes i meget små mængder, er priserne typisk høje, hvilket først og fremmest skyldes disse mineralers sjældenhed.

De forholdsvis almindelige og tilgængelige råstoffer som aluminium, magnesium og titan kræver et meget stort energiforbrug at udvinde og bearbejde til kommercielle produkter. Det øger priserne, selvom der er tale om almindelige grundstoffer i Jordens skorpe. I mange tilfælde vil stigende råstofpriser føre til at forbrugerne vælger billigere alternative råstoffer (substitution), når det er muligt. Substitution finder sted i alle industrier. Eksempelvis til sættes de billigste legeringsmetaller til stål,

hvis det kun har marginal indflydelse på slutproduktet; og til papirfremstilling anvendes mineraler som fyldstoffer i stedet for fibre baseret på træ.

### KLIMAÆNDRINGERNES BETYDNING FOR FREMTIDENS RÅSTOFFER

Transportomkostningerne ved at fragte mineralkoncentrat fra en mine til et smelteværk er betydelige, og selskaberne forsøger derfor at nedbringe disse omkostninger ved at sørge for kortest mulig transport. Hvis klimaændringerne en dag muliggør sejlads med malmskibe i Nordøstpassagen, vil meget store områder i Arktis – herunder Nordgrønland – blive særdeles interessante for mineindustrien. 





Magnetitkrystaller fra Gardiner i Østgrønland.  
Foto: Ole Johnsen.

Nye ruter. Hvis – eller når – det en dag bliver muligt at sejle via Nordøstpassagen og Nordvestpassagen, vil sejlruiter mellem fx Europa og Asien blive meget kortere. Transportomkostningerne ved eventuel råstoftransport fra Grønland til Asien vil dermed ligeledes blive væsentligt reduceret.

Kilde: NASA.



RÅSTOFFER	PRIS (KR./TON)	FORBRUG (TONS/ÅR) I ENGLAND 2011
Platin	100.000.000	Ca. 10
Guld	60.000.000	Ca. 10
Sølv	1.050.000	1.000
Nikkel	25.000	56.000
Kobber	11.800	311.000
Aluminium	9.600	430.000
Bly	3.750	298.000
Fluor	900	83.000
Kul	33	64.500.000
Jern malm	16	15.350.000
Sand og grus	7	92.000.000

Pris og forbrug for udvalgte mineraler. Udarbejdet på grundlag af data fra British Geological Survey.


# SENESTE NYT FRA GRØNLAND

**G**eoiden udkom første gang i 2005, og det allerførste nummer handlede om mineralske råstoffer i Grønland. Siden dengang er den globale fokus på råstoffer øget. For Grønland har situationen også ændret sig, her er indført selvstyre, og råstofområdet reguleres nu af grønlandsk lovgivning. En global økonomisk krise har ikke mindsket aktivitetsniveauet for mineralefterforskning i Grønland hos private selskaber – tværtimod – og perspektiverne for fremtidig minedrift er mange og spændende.

Internationalt er der en øget interesse for råstoffer og forsyningsikkerheden. Dette skyldes blandt andet en udvikling med høj økono-

misk vækst og en hastigt voksende middelklasse i dele af verden, som betyder, at behovet for råstoffer er øget. Det gælder traditionelle råstoffer til udbygning og nybyggeri af den grundlæggende infrastruktur i samfundet, såsom bygninger, veje, jernbaner, skibe og energiforsyning. Derudover er der en stærkt stigende efterspørgsel på råstoffer som er nødvendige til forbrugsvarer og teknologisk udvikling, herunder råstoffer til 'grønne' og energibesparende teknologier. Denne udvikling har også præget situationen i Grønland. I 2009 overtog Grønland råstofområdet i forbindelse med Selvstyreaftalen. Inden da var grønlandske råstoffer et politisk anliggende mellem Danmark og Grønland. I 2005 var antallet af licenser til efterforskning af mineraler (rettigheden til at ef-

terforske i et specifikt område) i Grønland 33, mens der i oktober 2012 var 84 licenser. I 2005 blev der brugt 191 mio. kroner på efterforskningsaktiviteter og i 2011 blev der brugt ca. 650 mio. kroner. Trods finansiell uro og lavkonjunktur har antallet af licenser i Grønland således været stigende.

Efterforskningsselskaberne kommer fra hele verden: Australien, Canada, England, Danmark, Norge, Tyskland, Schweiz, Tjekkiet, Island, Polen og Grønland selv. Den internationale interesse for råstoffer kan mærkes i Grønland, der har haft besøg af adskillige højtstående, udenlandske politiske ledere, der har haft tilgangen til råstoffer i Grønland på dagsordenen. 

## Nye mineprojekter og større efterforskningsprojekter i Grønland

**Nalunaq guld-minen** i Sydgrønland blev overtaget af nye ejere i 2010, som ændrede produktionen og nu selv forarbejder malmen og ekstraherer guld; minen forventes at være i produktion frem til begyndelsen af 2014.

**Seqi olivin-minen** åbnede i Grønland i 2008, men stoppede produktionen igen i 2010, som følge af en strategisk satsning på norsk olivin i stedet. Olivin er et industrimineral der bl.a. bruges som procesfremmer, når jernmalm skal omdannes til jern.

Molybdæn-forekomsten **Malmbjerg**, i det centrale Østgrønland er blevet myndighedsgodkendt og har fået tilladelse til produktion; på grund af lave priser på molybdæn er dette projekt dog for tiden i mølposen.

Zink-bly-sølv-forekomsten, **Sorte Engel**, i Vestgrønland er ligeledes blevet myndighedsgodkendt og har fået tilladelse til produktion; selskabet er i gang med at etablere infrastruktur og forventer at starte produktionen i 2013.

Desuden har en række efterforskningsprojekter opnået positive resultater og er langt fremme i overvejelserne om en eventuel minedrift. De kan derfor forventes at indsende ansøgning om udnyttelsestilladelse i løbet af det næste års tid. Det gælder eksempelvis jernforekomsten **Isua** ved Nuuk; de to forekomster af sjældne jordarters metaller i Sydgrønland, **Kvanefjeld** og **Kringlerne**, **Citronen Fjord** zink-forekomsten i Nordgrønland, samt **Appaluttoq**-rubin forekomsten i Vestgrønland.

De øvrige efterforskningsprojekter som pågår, er særligt fokuseret på sjældne jordarters metaller, guld, jern, zink, kobber og nikkel.



Kobberminerale fra Josvaminen i Sydgrønland.  
Foto: Karsten Secher, GEUS.

**BO MØLLER STENSGAARD**

Seniorforsker, GEUS.  
bmst@geus.dk

**LARS LUND SØRENSEN**

Seniorgeolog, GEUS.  
lls@geus.dk

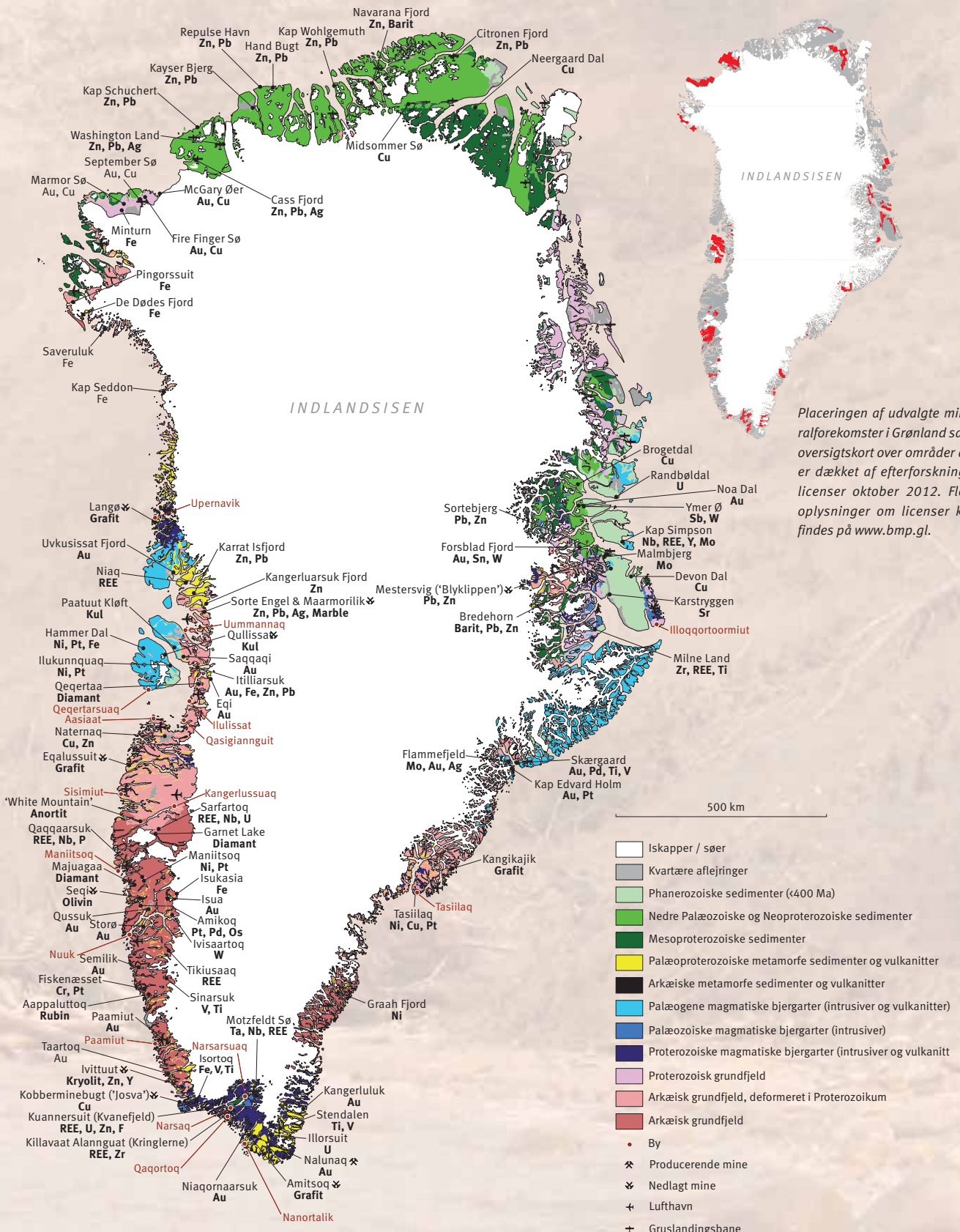
**KAREN HANGHØJ**

Statsgeolog, GEUS.  
kha@geus.dk

**PER KALVIG**

Seniorrådgiver, GEUS.  
pka@geus.dk

## GEOLOGISK KORT OVER GRØNLAND MED UDVALGTE MINERALFOREKOMSTER





Boring ved Kvanefjeld multi-element forekomst i 2011.

Foto: Greenland Minerals and Energy.

# GEOCENTER DANMARK

## GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geologisk Institut ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

## UDGIVER

Geocenter Danmark.

## REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på [www.geocenter.dk](http://www.geocenter.dk), hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)



Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidefoto: Highland Valley Kobber-Molybdæn minen i Britisk Columbia, Canada.

Foto: Bo Møller Stensgaard, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfatter og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

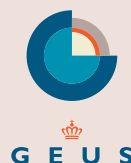
## DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)



## INSTITUT FOR GEOGRAFI OG GEOLOGI

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: [geo@geo.ku.dk](mailto:geo@geo.ku.dk)

## GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: [rcp@snm.ku.dk](mailto:rcp@snm.ku.dk)



## INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: [geologi@au.dk](mailto:geologi@au.dk)



DANMARK

PP

Magasinpost UMM  
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup