NR. 01
MAJ
·2021·

geo viden

HER HENTES DEN GRØNNE OMSTILLING

TEMA

Sjældne jordartsmetaller

I DYBDEN MED GRØNLANDS STORE FOREKOMSTER | DEN LANGE VEJ FRA MINE TIL ÉN FÆRDIG ELBIL

DEN GRØNNE FLASKEHALS I KINA

Vi vil gerne lave grøn omstilling i samfundet, men det kræver en hel masse sjældne jordartsmetaller, som skal separeres og oprenses. Det er desværre ikke 'bare lige'.

Om ti år skal der gerne være langt flere vindmøller og solceller til at producere vores strøm. Samtidig skal en større del af samfundet gerne være drevet af denne strøm i stedet for af olie, kul og gas. For eksempel med flere elbiler. Det betyder imidlertid et stigende forbrug af mineralske råstoffer, for jo mere teknologisk udviklet et samfund bliver, des flere forskellige grundstoffer bruger det også. Vi startede med sten- og metalredskaber, så vind- og vandmøller, så var det dampmaskinen og siden fossile brændsler. Jo mere komplicerede teknologier, des flere grundstoffer blev hevet ned fra hylderne i det periodiske system. Det gælder også den grønne omstilling. Derfor er temaet i det dette Geoviden en gruppe af disse grundstoffer, nemlig de sjældne jordarter. Eller sjældne jordartsmetaller, som de korrekt hedder. For det er nemlig ikke ét grundstof, men hele 17 forskellige, som alle er metaller. De har egenskaber, der minder om hinanden, og derfor regnes de som en gruppe. De bliver brugt mange steder i samfundet, men en af de vigtigste anvendelser i denne sammenhæng er i magneter. Både vindmøller og elbiler indeholder stærke magneter, som er nødvendige for at omdanne bevægelse til strøm og omvendt. Flere af de sjældne jordartsmetaller er uhyre gode til at lave meget stærke magneter, og derfor spiller de en vigtig rolle i den grønne omstilling, som vi så gerne vil have til at lykkes. Flere vindmøller og flere elbiler kræver altså flere sjældne jordartsmetaller.

Lad os dog allerede nu slå fast, at der ikke er en mangelsituation i verden, når det gælder sjældne jordartsmetaller. Der er faktisk virkelig store mængder spredt ud over hele verden. De er på ingen måde sjældne (det troede man bare engang). Der er dog alligevel et nagende problem. Det opstår, når man skal bevæge sig fra det rene mineral, som jordartsmetallerne sidder i, og videre til de færdige magneter. Da metallerne minder meget om hinanden kemisk, er de nemlig usædvanligt svære at skille fra hinanden. Faktisk så svære, at det kun er meget få virksomheder, der kan gøre det. Det betyder, at hele verdens forbrug af metallerne skal igennem en flaskehals i form af meget få anlæg. Som desuden næsten alle sammen ligger i Kina eller er under Kinas indflydelse. Så hvis vi i Europa gerne vil have flere vindmøller og elbiler, afhænger det af en tilpas stor leverance af forarbejdede sjældne jordartsmetaller fra Kina. Nu skal det ikke blive alt for storpolitisk, men det er de færreste af Vestens ledere, der er tilfredse med at være 100 procent afhængige af Kina på så vigtigt et område. Det arbejdes der derfor på at løse – for eksempel udlover den amerikanske regering lige nu mange millioner i støtte til projekter, der kan flytte både minedriften og forarbejdningen tilbage på deres egen jord. EU har også søsat en plan for at få skabt vores egen produktion. Desuden forskes der i alternative former for stærke magneter, som ikke kræver sjældne jordartsmetaller, og dem kan du læse mere om sidst i bladet. Der er også initiativer til at genanvende en større andel af de sjældne jordartsmetaller, vi allerede har.

I Geoviden er geologien nu engang det vigtigste, så du kan selvfølgelig også læse om dannelsen af forekomsterne, for eksempel to meget (!) store af slagsen i Grønland.

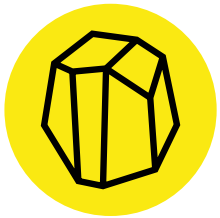
Vores hjemmeside, **geoviden.dk**, er blevet frisket gevaldigt op, så nu kan du gå endnu mere på opdagelse i temaerne med quizzer, videoer, interaktive figurer og andet spændende. Klik endelig forbi.

God læselyst og god sommer!

JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF

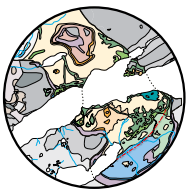
REDAKTØR OG SKRIBENT

HVEM HVAD HVOR? SJÆLDNE JORDARTSMETALLER **4**

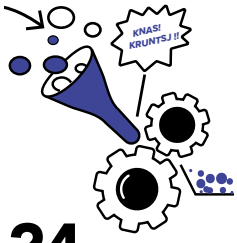


10 **METALLERNE, DER IKKE RIGTIG PASSEDE IND**

16



TO GRØNLANDSKE FJELDE HAR SJÆLDNE JORDARTSMETALLER TIL 100+ ÅR



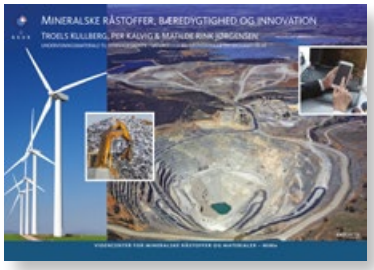
24 **FRA MINE TIL MAGNET ... OG TILBAGE IGEN**

28 **"NEODYMIUMMAGNETER ER BARE ET BEDRE MATERIALE"**

FRA FORSIDEN

Forsiden vser et udsnit af den store mine **Bayan Obo** i det nordlige Kina. Det er her, omkring halvdelen af alle verdens sjældne jordartsmetaller producers. Højst sandsynligt ejer du en elektronisk dims, der indeholder sjældne jordartsmetaller herfra. Det største af minens udgravningshuller (pits) er ca. 4,5 km langt og 1,2 km bredt. Det er det længst mod vest. Rundt om pits'ne ligger store bunker af resterne fra den behandlede malm sammen med søer af restvand ('tailings') fra behandlingen af malmen. Minen har omkring 6.000 ansatte, og mange bor i den by, der er skudt op lige syd for minen. (Fotoet er sat sammen af flere flyfotos, derfor er der lidt farveforskel)

LÆS MEGET MERE



... om de sjældne jordartsmetaller og andre vigtige råstoffer fra jorden i denne gratis e-bog skrevet til gymnasieundervisning af Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa):

'MINERALSKE RÅSTOFFER, BÆREDYGTIGHED OG INNOVATION'

Find hele bogen her: *mima.geus.dk/geo-gym*

EMNER, VI IKKE KUNNE FÅ PLADS TIL,

MEN SOM ER MINDST LIGE SÅ RELEVANTE

MILJØ- OG KLIMAPÅVIRKNING
Minedriften på sjældne jordartsmetaller er ikke i sig selv enormt grøn. Den udleder drivhusgasser og kan ofte have en række negative miljøpåvirkninger. De er nødvendige i den grønne omstilling, men går regnestykket op?

GEOPOLITISKE SPÆNDINGER
De sjældne jordartsmetaller er i høj grad et politisk emne. F.eks. er USA afhængig af Kina for at producere de militære våben, de vil beskytte sig mod f.eks. Kina med. Hvordan skete det lige ...? Og hvordan kan geologien hjælpe?

MINER PÅ HAVETS BUND
Der findes projekter, der udforsker muligheden for at drive minedrift på bl.a. sjældne jordartsmetaller på havets bund. Det har endda været foreslået at 'høste' dem fra kometer. Er det virkelig nødvendigt?

HVEM, HVAD OG HVOR?

Sjældne jordartsmetaller

De er supervigtige for grøn omstilling og alt muligt andet, men hvad er sjældne jordartsmetaller egentlig? Og hvorfor hedder de sådan, når de faktisk ikke er sjældne?

HVOR FINDES DE?

De sjældne jordartsmetaller kan sådan set findes overalt i jordskorpen, men typisk i bittesmå koncentrationer. I særlige geologiske miljøer kan der dog dannes højere koncentrationer. Her kan nemlig dannes tilsvarende særlige, og sjældne, mineraler, som kan have ret høj koncentration af sjældne jordartsmetaller. Det er også derfor, at jordartsmetallerne oprindeligt fik det tilnavn, fordi 'moderminera-lerne' blev opfattet som sjældne.

HVAD ER SJÆLDNE JORDARTSMETALLER?

Sjældne jordartsmetaller er en gruppe af grundstoffer, der minder usædvanligt meget om hinanden i blandt andet magnetiske egenskaber. Ofte omtales de bare sjældne jordarter, men de er rent faktisk metaller. Der er 17 af dem, og de har vældig eksotiske navne som dysprosium, promethium og praseodymium. Du finder dem på plads nummer 57 til 71 i det periodiske system plus grundstofferne nummer 21 og 39, hhv. scandium og yttrium.

1 H																	
3 Li	4 Be													5 B			
11 Na	12 Mg													13 Al			
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In					
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl					
11 Fr	12 Ra																
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy					
			89 Ac	90 Tb	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf					

SCANDIUM

YTTRIUM

LANTHAN CERIUM PRASEODYMIUM NEODYMIUM PROMETHIUM SAMARIUM EUROPIUM GADOLINIUM TERBIUM DYSPROSIUM

Illustration: GEUS

HUSK!
I geologien snakker man meget om mineraler og bjergarter, og det gør vi også i dette Geoviden. Hold styr på det ved at huske, at ...

GRUNDSTOFFER kan sætte sig sammen til

MINERALER, som kan sætte sig sammen til

BJERGARTER

... Omvendt kan bjergarter nedbrydes til enkelte mineraler, som igen kan nedbrydes til enkelte grundstoffer (f.eks. ved minedrift af de sjældne jordartsmetaller).

Illustration: Lykke Sandal, Geoviden

SNYDT, DE ER SLET IKKE SJÆLDNE!

Selvom jordartsmetallernes kaldenavn mere end antyder, at de er sjældne, er de det altså slet ikke. Faktisk findes der cirka lige så meget af det 'sjældne' metal cerium (Ce) på Jorden, som der findes kobber (Cu). Guld er langt sjældnere end cerium, og det støder man trods alt på fra tid til anden. De sjældne jordartsmetaller er bare spredt mere jævnt ud i Jordens skorpe, og det gør dem svære og dyre at udvinde i store mængder fra enkelte miner.
Det mest sjældne af de 'sjældne' jordartsmetaller er prometium (Pm). Det er rent faktisk sjældent, for det er radioaktivt og henfalder hurtigt, og det findes kun i minimale mængder på Jorden. Derfor regnes det ofte ikke med i forekomster af sjældne jordartsmetaller.

Løjtnant Axel Arrhenius, de sjældne jordartsmetallers lykkeligt uvidende 'far'.
Illustration: Wikimedia Commons

OPDAGET AF SVENSKER

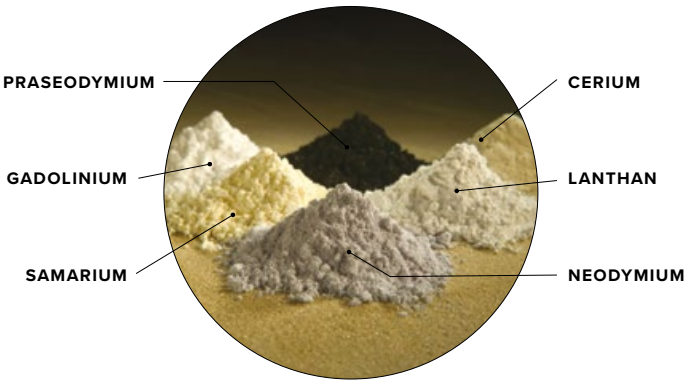
De sjældne jordartsmetaller blev opdaget af den svenske løjtnant (og hobby-geolog) Axel Arrhenius i 1787 i Ytterby lidt uden for Stockholm. Derfor findes der sjældne metaller med navne som ytterbium, yttrium, erbium og terbium, som er forskellige mere eller mindre kreative henvisninger til bynavnet.
Egentlig vidste Arrhenius ikke rigtig, hvad det var, han havde opdaget. Han troede blot, det var et nyt, sort mineral, som han kaldte ytterbit (senere omdøbt til gadolinit). Mineralet blev undersøgt af forskellige videnskabsmænd, som fandt ud af, at der i mineralet var et nyt grundstof, de kaldte yttrium. Nogle år senere opdagede man så, at der også var cerium, og i takt med, at de kemiske separationsmetoder blev bedre, fandt man flere og flere. Det, der først havde virket som ét grundstof, viste sig altså at være 17 forskellige, som bare lignede hinanden utrolig meget.
De sjældne jordartsmetaller begyndte især at blive brugt i stor stil, da man i forbindelse med fremstillingen af verdens første atombombe (Manhattanprojektet) i 1940'erne opfandt metoder til effektivt at oprense de enkelte sjældne jordartsmetaller. Dog blev de allerede fra slut-1800-tallet brugt i glødepærer, navnlig yttrium og lanthan.

Illustration: Lykke Sandal, Geoviden

Opkaldt efter Ytterby:

- Ytterbium
- Yttrium
- Terbium
- Erbium

				2 He
6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
82 Pb	83 Bi	84 Pb	85 At	86 Rn
HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTERBIUM	LUTETIUM
67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

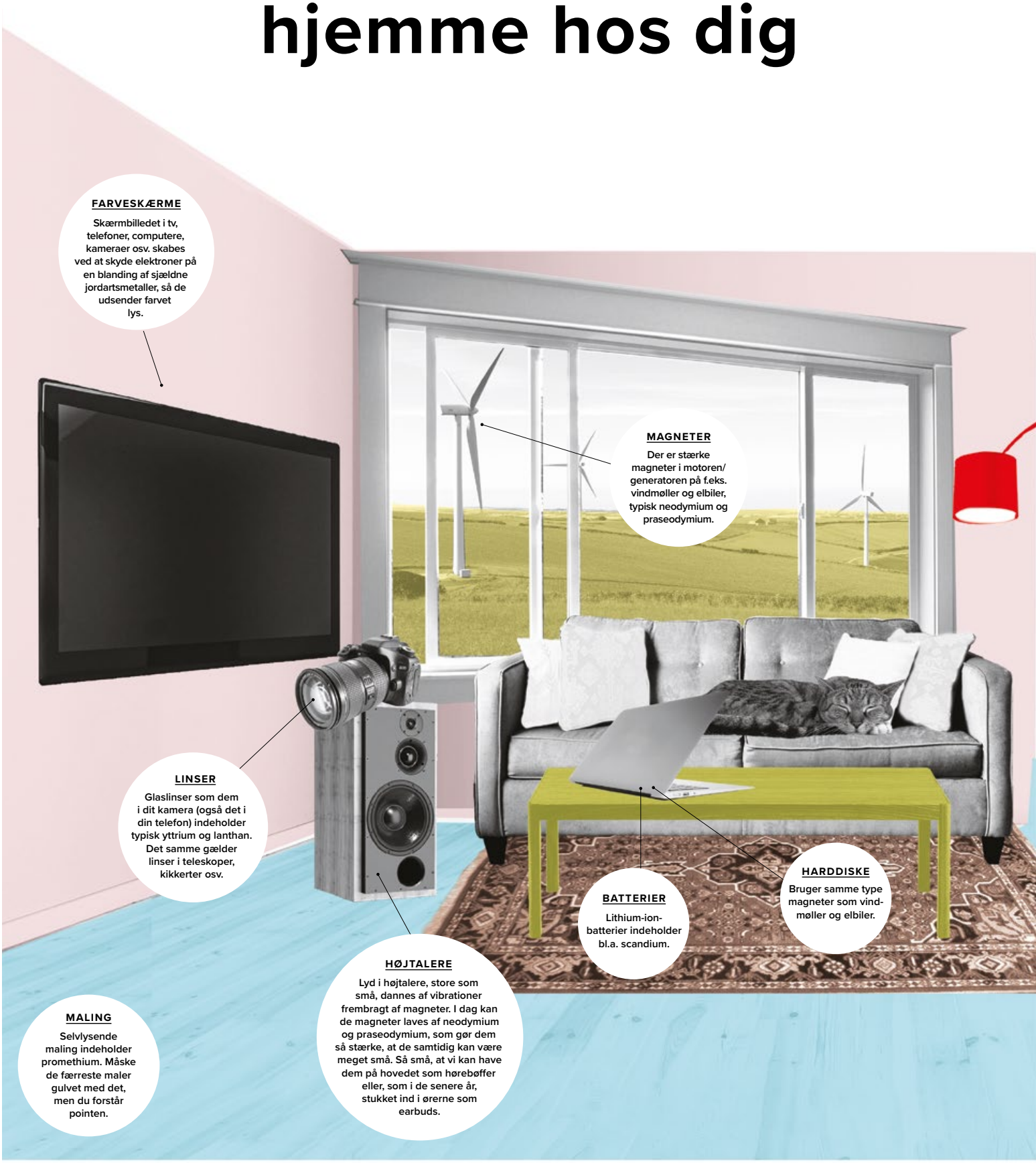


HVORDAN SER DE SÅ UD?

Metallerne findes i forbindelse med andre grundstoffer, men kan oprenses til at være på fast, ren form. Når man udvinder dem fra diverse mineraler i miner, skal de først forarbejdes, før de kan sælges videre som fast metal, væske eller diverse blandingsprodukter. Det afhænger bl.a. af, hvad de skal bruges til. Billedet viser seks af metallerne som oxidpulver, som er en kemisk binding med iltatomer.

Foto: Peggy Greb, US Department of Agriculture, Wikimedia Commons

De sjældne jordartsmetaller hjemme hos dig



I de danske hjem spiller sjældne jordartsmetaller en afgørende rolle, selvom det typisk foregår i det skjulte. Se her, hvor de gemmer sig.

Vi er efterhånden enige om her i verden, at vi gerne vil skifte vores energikilder fra olie, kul og gas til de mere grønne alternativer som vind- og vandkraft, solceller, geotermi osv., som er vedvarende og udleder langt mindre CO_2 til atmosfæren. Derfor satses der især på vind- og solkraft til at tage over for fossil energi (se figur 1). Den elektriske energi derfra skal drive en voksende del af samfundets energibehov, for eksempel transporten, der udgør en stor del af CO_2-aftrykket i dag. For at gøre det skal al den grønne strøm omdannes til bevægelse. Den forvandling kan laves ved hjælp af elektromagnetisme. Som ordet antyder, kræver det magneter, og jo stærkere, des bedre. Her er de sjældne jordartsmetaller interessante, fordi de netop kan give bedre, stærkere magneter. Og dermed forvandle strøm til bevægelse eller tilbage igen på en meget effektiv måde. For eksempel fra en vindmølle til en elbil. (Solceller kræver ikke sjældne jordartsmetaller, så dem parkerer vi for denne gang.)

De sjældne jordartsmetaller har særlige kvantemekaniske egenskaber, der betyder, at når man laver en magnet af eksempelvis jern og blander en eller flere sjældne jordartsmetaller i, bliver magneten meget stærkere. Den stærke >

BELYSNING

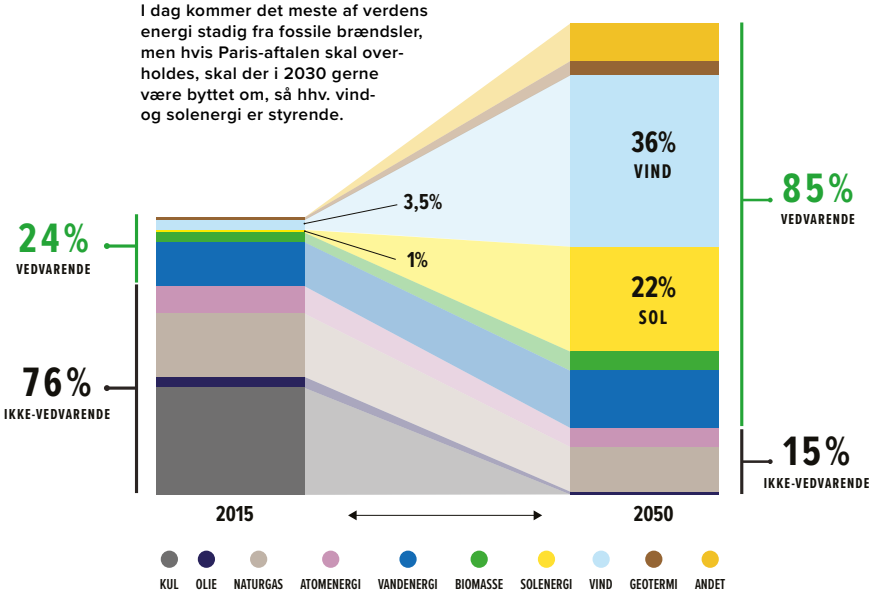
Sparepærer og LED-lys fungerer lidt som i farveskærmene: ved at beskyde sjældne jordartsmetaller, så de udsender lys.

Illustration: Lykke Sandal, Geoviden

FIGUR 1

ØNSKET UDVIKLING, ENERGI

I dag kommer det meste af verdens energi stadig fra fossile brændsler, men hvis Paris-aftalen skal overholdes, skal der i 2030 gerne være byttet om, så hhv. vind- og solenergi er styrende.



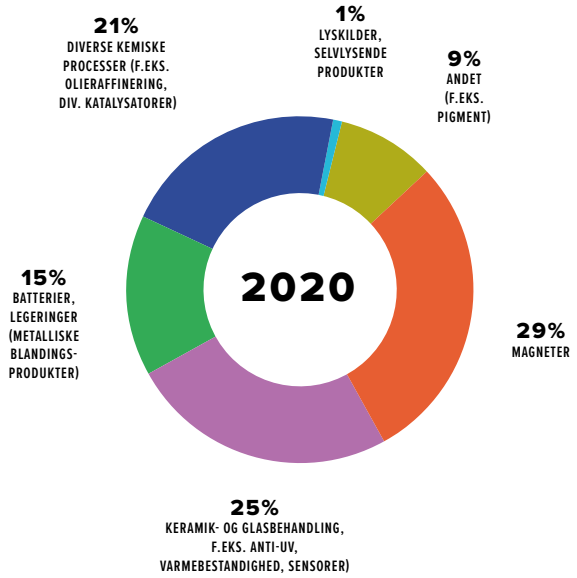
Kilde: IRENA (2018), Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency

FIGUR 2

FORBRUGSFORDELING

I 2020 blev der på verdensplan produceret 240.000 ton sjældne jordartsmetaller, som nu er på vej ud i samfundet eller allerede er her. Lidt over en fjerdedel af den mængde bruges i magneter i moderne teknologi. Derudover bruges de i alskens processer i industrien, som du kan se til højre. Når der skal bruges flere sjældne jordartsmetaller til grøn omstilling, skal der altså stadig være nok til resten af samfundets funktioner.

Diagram: Kalvig (2021) in preparation, baseret på Roskill: Rare Earths Market Outlook Report 2021



VIDSTE DU?

De forskellige små, men meget stærke magneter, der bl.a. kan købes som 'fidget'-legetøj, er lavet af neodymium blandet med jern og bor (NdFeB). Det er samme type magnet, der også bruges i vindmøller og elbiler, bare en del større og nok uden pangfarverne.

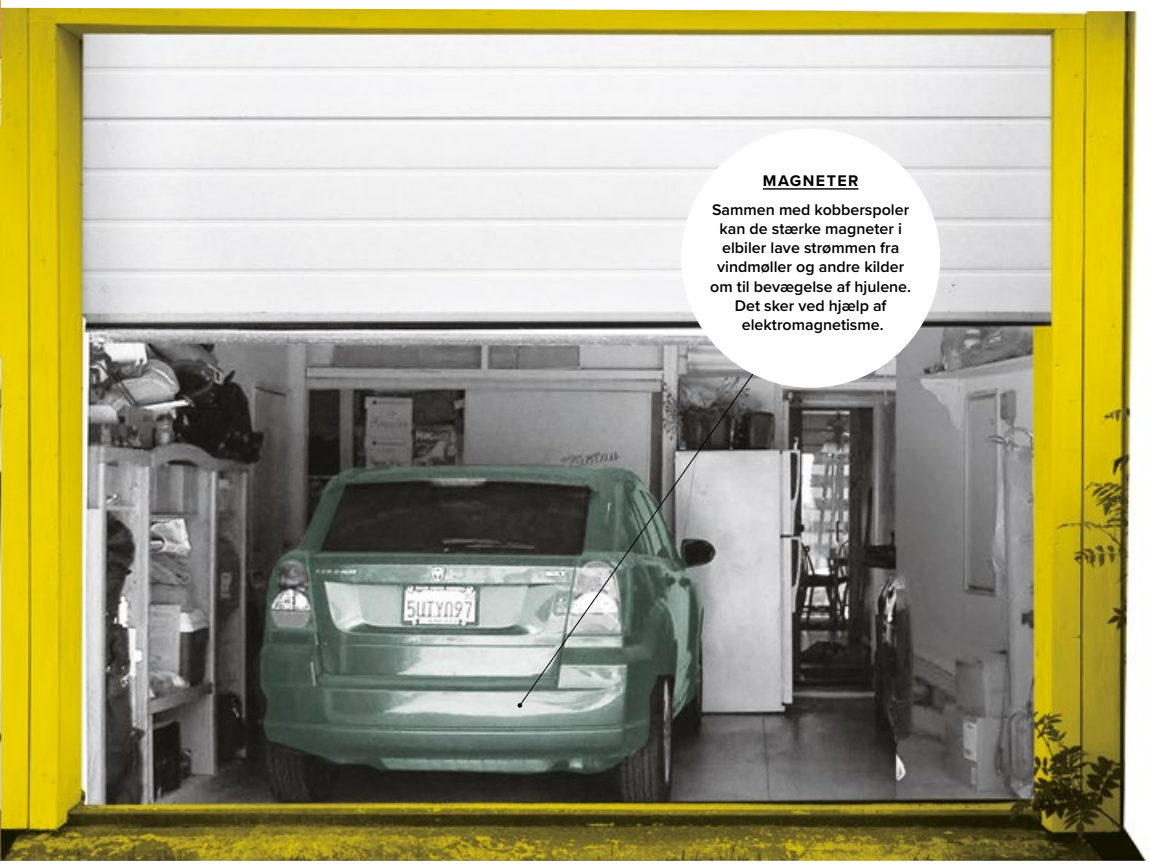
Billede: RosenfeldKlaus, Wikimedia Commons

HER FINDER DU DEM OGSÅ:

- anti-missil-flares i kamphelikoptere
- atomubåde
- satellitter
- kontrolstave i atomkraftanlæg
- lasere
- transportable røntgenmaskiner
- sporstoffer til medicinske målinger
- seismisk måleudstyr
- spektrofotometere
- sonarer
- superledere
- og meget mere

ydeevne betyder, at man kan nøjes med en mindre magnet til at gøre det samme arbejde, som før krævede en stor magnet. Samtidig kan man også få magneten til at bevare sin styrke over tid, hvilket kaldes permanente magneter. En lille størrelse med høj ydeevne kombineret med mulighed for lang levetid er noget, man kan lide at høre i industrien. Derfor bruges magneter med sjældne jordartsmetaller så enormt mange steder. Man kan sådan set godt lave vindmøller og elbiler uden sjældne jordartsmetaller, men de vil blive temmelig meget større, og derfor også meget tungere, for at være lige så effektive som med de permanente magneter med sjældne jordartsmetaller. Det gør det svært at lave moderne vindmøller, som netop kan være meget store og effektive på grund af de stærke, relativt små magneter. Elbilerne ville heller ikke kunne køre nær så langt på en opladning, da deres tunge magneter ville kræve mere energi at flytte.

De sjældne jordartsmetaller er altså en hjørnesten i den grønne omstilling, og det er vigtigt, at de er tilgængelige i tilstrækkelige mængder. For selvom de ikke er sjældne, skal de stadig graves op og forarbejdes, før de kan bruges. Samtidig skal de også bruges i mange andre henseender, som vist på figur 2. •



MAGNETER

Sammen med kobberspoler kan de stærke magneter i elbiler lave strømmen fra vindmøller og andre kilder om til bevægelse af hjulene. Det sker ved hjælp af elektromagnetisme.

Billede: Wikimedia Commons

VIDSTE DU?

Elektromagnetismen blev opdaget af danske H.C. Ørsted. Han har dermed muliggjort udviklingen af nærmest alle de elektriske devices, vi omgiver os med i dag. Sammen med muligheden for at gøre samfundet mindre fossil-afhængigt. I 2020 var det i øvrigt 200 år siden, den store opdagelse blev gjort. Tak for det, H.C.!

VIDSTE DU?

Ved at tilsætte dysprosium til de permanente magneter kan de virke selv ved høje temperaturer, som normalt nedsætter effekten. Det kan både være vigtigt i vindmøller og elbiler, hvor der skabes meget varme i motoren.

LÆS OM
FORSKNING I ALTERNATIVE PERMANENTE MAGNETER PÅ S.28 →

METALLERNE, DER IKKE RIGTIG PASSEDE IND

Når et kontinent deler sig, kan der sommetider dannes sjældne mineraler, som indeholder flere sjældne jordartsmetaller end normalt. Historien om disse forekomsters dannelse er dog ikke sjælden, men nærmere en klassiker.

De sjældne jordartsmetaller blev altid valgt sidst til fodbold, da der skulle dannes mineraler i jordskorpen. De er nemlig ikke helt 'normale', passer dårligt ind i de mineralske sammenhænge og vil egentlig helst bare være sammen med sig selv eller andre tilsvarende mærkelige grundstoffer. Men som det både sker i amerikanske film OG ofte i virkeligheden, ender de sjældne jordartsmetaller senere i livet med at være eftertragtede, så vi mennesker ligefrem leder efter de steder, hvor de samlede sig med deres ligemænd uden for 'det gode selskab'.

Fotos: Shutterstock, Wikimedia Commons

De sjældne jordartsmetaller er alle ret store atomer (atomnummer 57 til 71 plus scandium, nr. 21, og yttrium, nr. 39, der også tælles med), har høj ladning (typisk 3+), og flere af dem er magnetiske. Mineraldannelse sker altid ved opbygning af fine, geometriske krystalgitre, og den proces tilgodeser altid mindre, lettere og generelt mere 'almindelige' atomer. Naturen er nemlig ofte doven og vil helst udføre opgaven på den nemmeste måde, for eksempel ved at bygge mineraler af de byggeklodser, der passer bedst sammen.

SPRUKNE KONTINENTER

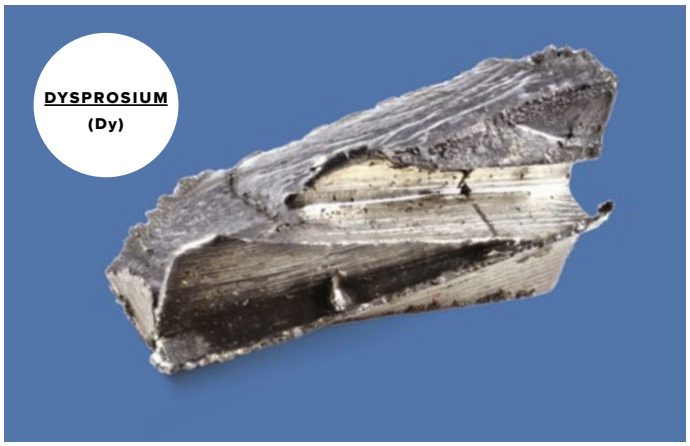
På et tidspunkt, og under særlige geologiske forhold, begynder naturen at løbe tør for de almindelige byggeklodser, og så må man jo gribe ud efter dem, der er tilovers. Som for eksempel vores sjældne jordartsmetaller. Det er netop det, der er sket de steder rundt om i verden, hvor der er dannet mineraler med usædvanligt høje koncentrationer af jordartsmetaller – også kaldet forekomster (af sjældne jordartsmetaller). En yderst kompliceret proces, som heldigvis kan forklares af chefkonsulent Jakob Kløve Keiding fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Han er leder af GEUS' Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa), som blandt andet arbejder med forekomster af sjældne jordartsmetaller.

JAKOB KLØVE KEIDING

CHEFKONSULENT, GEUS

"Man kan sige, at der helt overordnet findes to grupper af forekomster"

"Man kan sige, at der helt overordnet findes to grupper af forekomster: den magmatiske og den sedimentære," begynder han og tilføjer, at den vigtigste er den magmatiske, da langt størstedelen af verdens sjældne jordartsmetaller produceres fra disse forekomster. (Læs mere om sedimentære forekomster på figuren s. 15.)



"De magmatiske forekomster af sjældne jordartsmetaller dannes for eksempel i geologiske miljøer med riftzoner, altså områder, hvor et kontinent begyndte at dele sig," forklarer han.

Når kontinenter deler sig, vil det medføre, at skorpen i det aktive område bliver mere skrøbelig, så smeltet stenmasse (kaldet smelte) fra Jordens indre kan stige op i de øvre dele af skorpen (se figur 3). I de svagere dele af skorpen kan massen trænge helt op til overfladen, og så er der skabt en vulkan. Nogle steder kan dele af smelten dog støde på et lag i undergrunden, som den ikke kan trænge igennem, og så bliver den hængende der.

"Den opadgående strøm af smelte, der stadig kommer nedefra, kan i nogle tilfælde skubbe til den omkringliggende sten i skorpen og gøre plads til større områder, hvor store lommer af den smeltede stenmasse samler sig. De kan være flere kilometer i diameter, og de vil langsomt krystallisere til bjergarter i jordskorpen," fortæller Jakob Kløve Keiding.

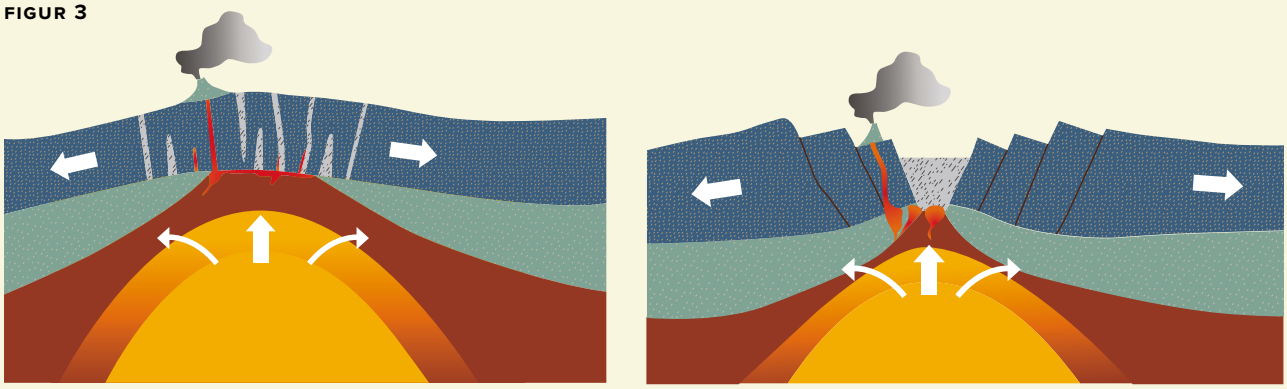
FØRSTEVÆLGERNE I MINERALDANNELSE

Det er inden i maven på de fangne lommer, at der kan ske en langsom udskilning og koncentration af de sjældne jordartsmetaller (se figur s. 14-15). Stenmassen i kammeret køler langsomt, så der opstår krystaller, og så kaldes massen for magma. Derfor omtales lommerne som magmakamre.

"Den øvre del af jordskorpen, hvor magmakammeret nu befinder sig, er koldere end magmaen selv, og derfor begynder magmaen langsomt at køle af. Det medfører, at mineraler begynder at krystallisere," forklarer Jakob Kløve Keiding.

Man skal jo huske, at magma er smeltet sten/mineral, så når den størkner, må den i sagens natur blive til sten igen, en proces, der hedder krystallisering eller mineralisering. >

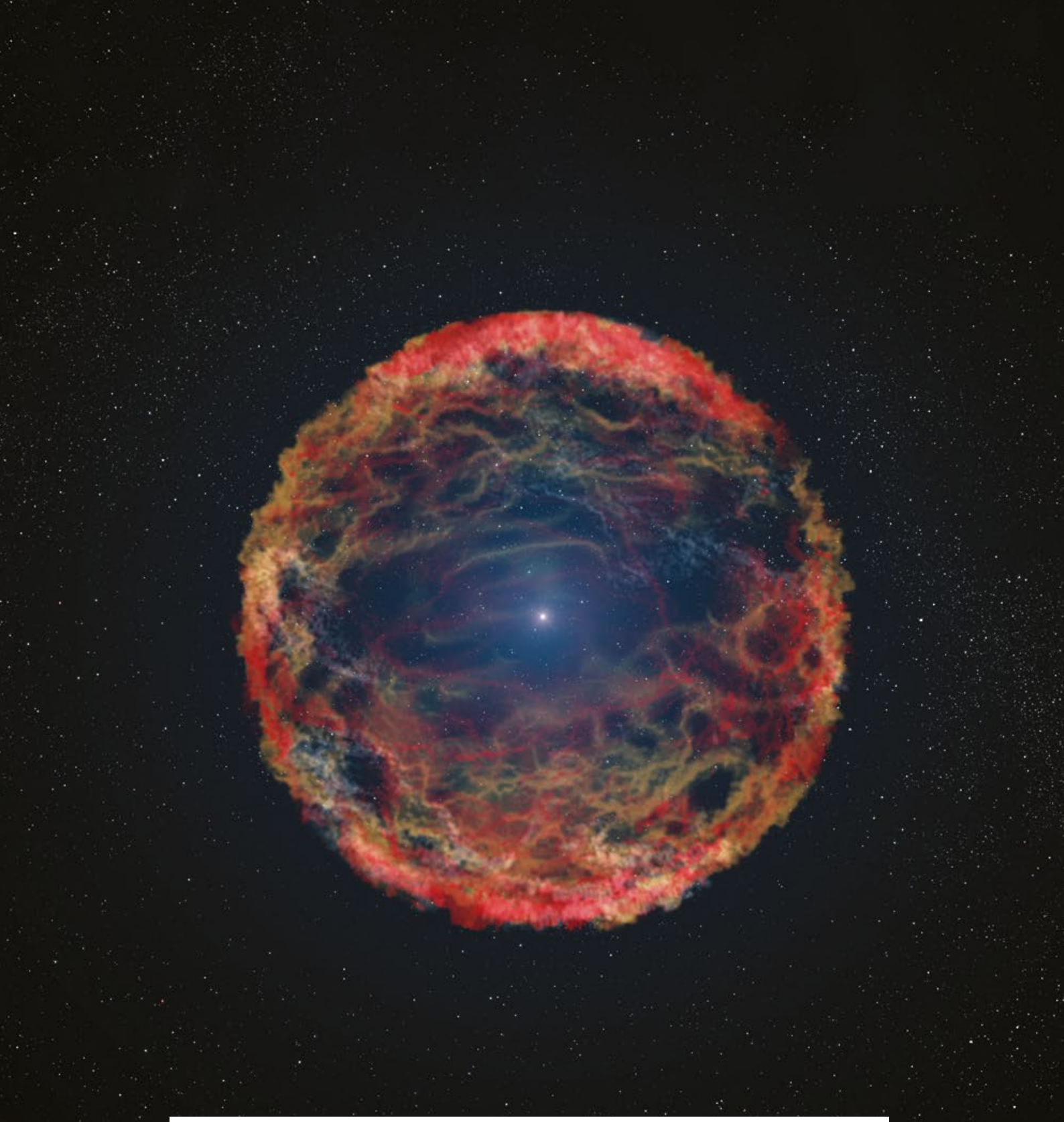
FIGUR 3



KONTINENTER, DER SLÅR REVNER

Riftdannelse er en vigtig pladetektonisk proces, hvor der sker en udstrækning af jordskorpen, som dermed bliver tyndere. Dermed bliver trykket i undergrunden også lavere, hvilket gør det muligt for varmt materiale fra kappen at stige opad. Det svækker jordskorpen, og der dannes sprækker, hvor delvist smeltet stenmasse (magma) fra kappen stiger op og danner magmakamre i forskellige dybder af skorpen. Noget magma kan trænge sig helt op til overfladen, så der skabes vulkaner. Hvis processen fortsætter længe nok, vil de to gamle kontinentdele blive skubbet længere og længere fra hinanden. Magmaen fra skorpen størkner og danner langsomt en voksende, ny overflade, der er lavtliggende og typisk vil fyldes med vand, ligesom vi ser i nutidens Røde Hav. Fortsætter processen meget længe, dannes oceaner som Atlanterhavet. Sommetider stopper processen forholdsvis hurtigt igen (på geologisk tidsskala, altså), og så står man tilbage med en mere eller mindre udbredt revne i kontinentet.

Illustration: Fra 'Mineralske råstoffer, bæredygtighed og innovation', 2019, Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa), redigeret af Lykke Sandal, Geoviden



VIDSTE DU?

De sjældne jordartsmetaller kommer oprindeligt fra supernovaer. Stjerner virker ved at sætte atomer sammen og få energi ud af det (fusion), men aluminium er de tungeste atomer, stjerner kan smelte sammen og stadig få energi ud af det. Når en stjerne har brændt igennem alle de lette grundstoffer og også har brugt sit aluminium, bliver den derfor ustabil og kan eksplodere (en supernova). I eksplosionen udsættes stjernens masse for så ekstrem energi, at atomerne moses sammen til nye, tungere grundstoffer, f.eks. de sjældne jordartsmetaller. Siden er de sammen med de lettere grundstoffer blevet samlet som snebolde til at danne planeter, herunder Jorden.

Illustration: Wikimedia Commons

ALKALINE FOREKOMSTER

I kontinental riftdannelse vil de mineraler og bjergarter, der dannes af den størknede magma, typisk være alkaline. Det betyder bl.a., at de er usædvanligt rige på natrium og kalium samt på de grundstoffer, der normalt er meget lave koncentrationer af. For eksempel sjældne jordartsmetaller samt uran, zirkonium og thorium.

"Processen med krystallisering i magmaen foregår altid i en særlig rækkefølge, så de grundstoffer, der er mange af, og som passer godt sammen i et krystalgitter, dannes først."

Derfor er det typisk grundstoffer som silicium (Si), kalcium (Ca), jern (Fe) og så videre, der finder sammen først og begynder at danne grupper. Nu er vi altså fremme ved den akavede udvælgelse til fodboldholdet.

"De grundstoffer, der er færre af, og som geokemisk er lidt anderledes og ikke passer ret godt ind i de gængse krystalgitre, der er ved at blive dannet, bliver tilbage i den del af magmaen, der stadig er flydende (smeltefasen)," siger han.

Derfor bliver der langsomt en højere og højere koncentration af 'mærkelige grundstoffer', som for eksempel de sjældne jordartsmetaller, i den tilbageværende del af magmakammeret, som ikke er størknet til forskellige mineraler endnu. Her er der altså ved at blive dannet et afgrænset område i skorpen med højere koncentration af sjældne jordartsmetaller end i omgivelserne.

LAGINDDELINGEN STARTER

Processen stopper dog ikke der, forklarer Jakob Kløve Keiding, for inde i det langsomt afkølende og derfor krystalliserende magmakammer sker der yderligere gruppedannelser. Øverst i kammeret er magmaen tættest på jordoverfladen, så her er der køligere. Derfor er det heroppe, at afkølingen for alvor begynder, og dermed også her, massen først begynder at danne mineraler. De nydannede mineraler i magmaen, der er forholdsvis lette, vil meget langsomt stige til vejrs i kammeret.

"I toppen af kammeret vil de relativt lette mineraler samle sig, og her passer de sjældne jordartsmetaller ikke ind i krystalgitrene, så her vil være en lav koncentration," siger Jakob Kløve Keiding.

Som årtusinderne går, bliver laget af nydannede mineraler tykkere og tykkere fra toppen og nedefter (det hele sker meget, meget langsomt). Det modsatte sker i kammerets bund – her vil mange af de tungere mineraler med tiden synke ned. Derfor dannes der også tiltagende tykke lag af mineraler fra bunden og opad. De sjældne jordartsmetaller passer lidt bedre ind de mineraler, som krystalliserer i bunden, så de bygges derfor ind i mineralerne i lidt højere grad end i toppen.

Der er dog stadig mange andre grundstoffer i 'stensuppen', der passer bedre ind i krystalgitrene end de sjældne jordartsmetaller, og som derfor vælges først. I takt med at mere og mere magma krystalliserer og størkner i top og bund, får den tilbageværende masse i midten altså en højere koncentration af sjældne jordartsmetaller. Smelten her er derfor stærkt beriget med de grundstoffer, som ikke passede ind andre steder, og det er her, man får den højeste koncentration af sjældne jordartsmetaller i kammeret.

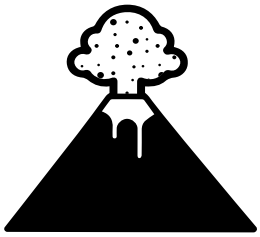
TRE LAG, TO MED FOREKOMSTER

Jakob Kløve Keiding fortæller, at når en dag den sidste dråbe magma i kammeret endelig har krystalliseret sig til et mineral, vil der være skabt tre forskellige minerallag, hvor de to nederste indeholder hver deres sammensætning af sjældne jordartsmetaller:

- **ØVERST:** Lav koncentration af sjældne jordartsmetaller.
- **MELLEM:** Høj koncentration af sjældne jordartsmetaller.
- **NEDERST:** Let forhøjet koncentration af sjældne jordartsmetaller.

"Alle 17 jordartsmetaller er altså til stede i begge lag, for i de krystalgitre, de passer ind i, vil alle 17 passe ind. Der er så bare forskel på, hvilke sjældne jordarter der er flest af, og hvilke andre grundstoffer de sidder sammen med."

Heldigvis for vores moderne samfund og glæde ved smartphones og tv-skærme har geologien mange steder sørget for at bringe lagene med sjældne jordartsmetaller op til overfladen, så de nemmere kan udvindes. •



VARIATIONER AF SMELTET STEN

SMELTE: Smeltet stenmasse i undergrunden.
MAGMA: Når smelte kommer højere op og afkøles lidt, krystalliserer noget af den, så massen kaldes magma. Magma er altså en blanding af smeltet og krystalliseret stenmasse.
LAVA: Når magma kommer op på overfladen via vulkaner, kaldes massen for lava.

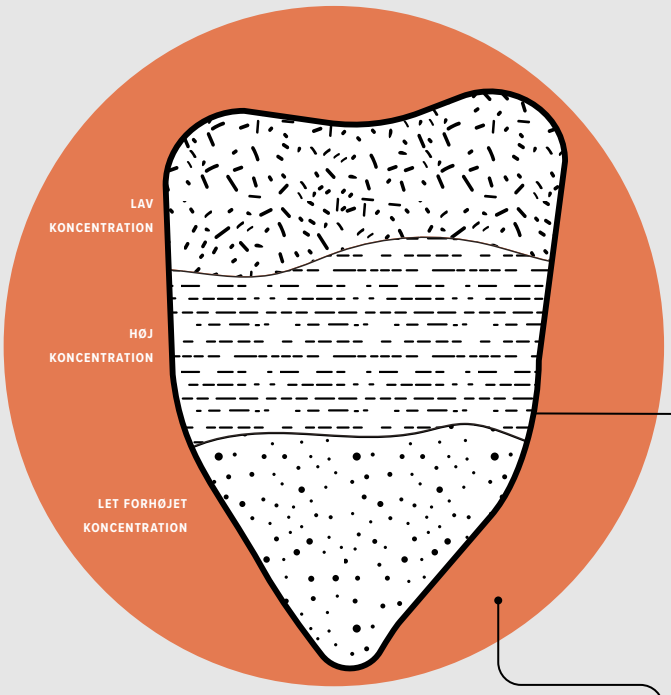
FIGUR 4

DANNELSE AF FOREKOMSTER AF SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

Der er flere forskellige slags forekomster af sjældne jordartsmetaller, altså geologiske miljøer, hvor koncentrationen er højere end normalt. Forstå to af dem her plus en ekstra.

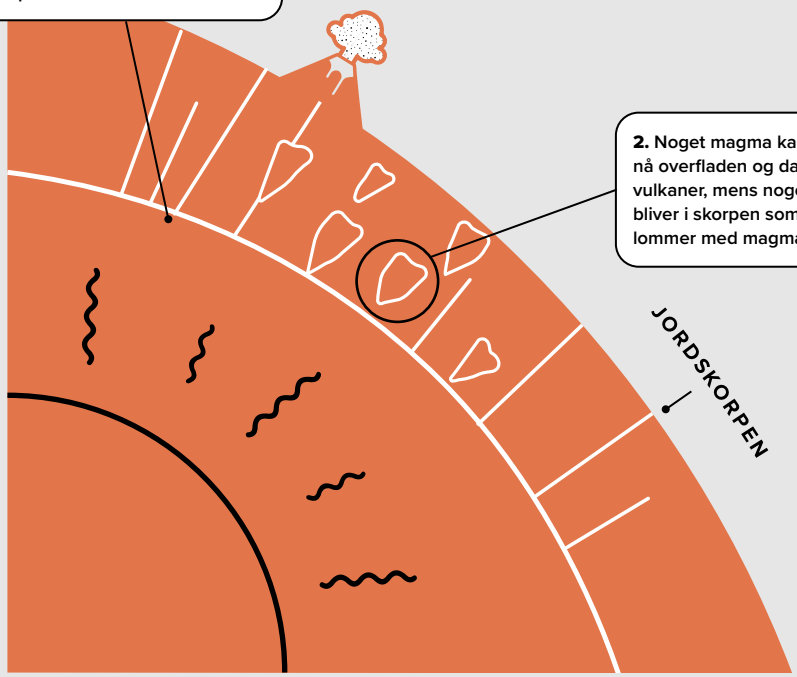
MAGMATISK FOREKOMST

Den type forekomst, der udnyttes mest til minedrift på sjældne jordartsmetaller. De dannes typisk på steder, hvor et kontinent begynder at dele sig, hvilket kan medføre vulkansk aktivitet. Det kan skabe et miljø, hvor der samler sig særlige lag af mineraler med usædvanligt høj koncentration af sjældne jordartsmetaller.

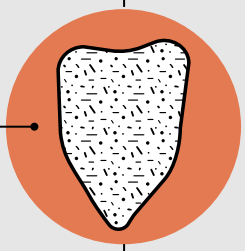


4. Ganske, ganske langsomt begynder massen at køle af. Afkølingen er vigtig, da det er her, at der for eksempel dannes koncentrerede forekomster. Massen størkner sidst i midten, og det danner tre forskellige lag af mineraler med forskellig sammensætning af grundstoffer. Der er flest sjældne jordartsmetaller i midten, men også en del i bunden. Øverst i magmakammeret er koncentrationen lav.

1. Her begynder et kontinent at dele sig. Aktiviteten betyder, at varm stenmasse fra Jordens indre kan bevæge sig opad, og så dannes der smelte og magma. Det bevæger sig videre opad via de opståede svagheder og sprækker i skorpen.

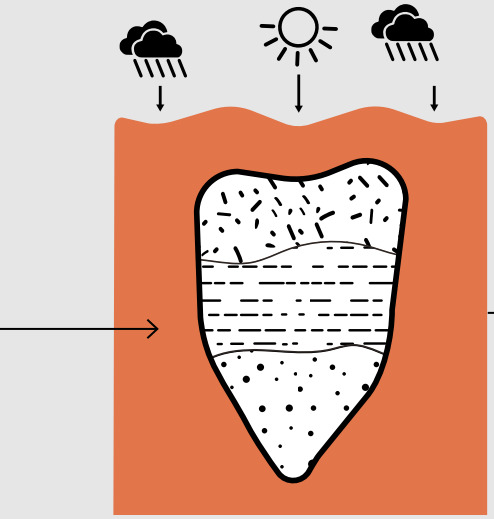


2. Noget magma kan nå overfladen og danne vulkaner, mens noget blot bliver i skorpen som store lommer med magma.

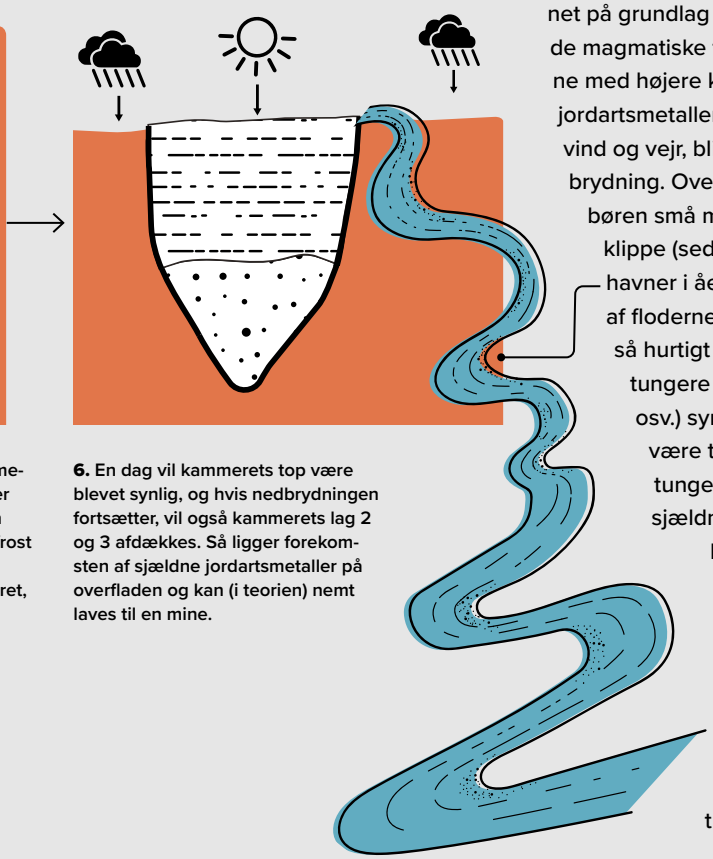


3. Magmaen i kammeret er i begyndelsen en rimelig homogen og delvist flydende, sej masse, altså med nogenlunde den samme fordeling af grundstoffer og små mineralgitre over det hele.

Illustration: Lykke Sandal og Johanne Kusnitzoff, Geoviden



5. Magmakammeret kan ligge mange kilometer nede i jordskorpen, men i mange miljøer udsættes jordoverfladen for konstant (men langsom) nedbrydning fra sol, vind, vand, frost m.m. Derfor høvles der over millioner af år mere og mere af lagene oven over kammeret, som dermed nærmer sig overfladen.



6. En dag vil kammerets top være blevet synlig, og hvis nedbrydningen fortsætter, vil også kammerets lag 2 og 3 afdækkes. Så ligger forekomsten af sjældne jordartsmetaller på overfladen og kan (i teorien) nemt laves til en mine.

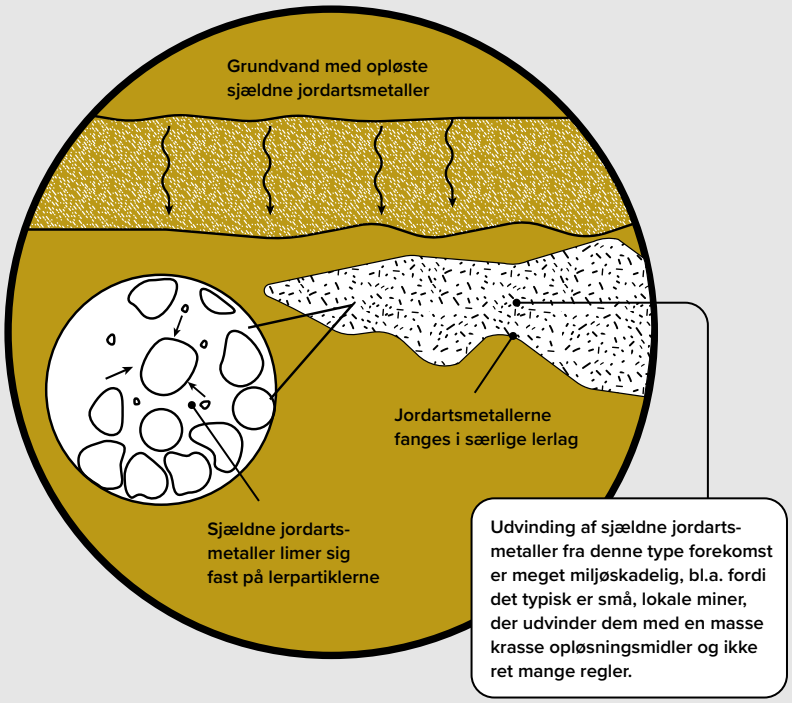
SEDIMENT-FOREKOMST

Denne type forekomst er typisk dannet på grundlag af den første slags, altså de magmatiske forekomster. For når lagene med højere koncentration af sjældne jordartsmetaller er blevet eksponeret for vind og vejr, bliver de også offer for nedbrydning. Over millioner af år fører nedbøren små mængder af den nedbrudte klippe (sediment) med sig, som havner i åer og floder. I nogle dele af floderne bevæger vandet sig ikke så hurtigt som andre, og her vil de tungere sedimentkorn (sand, grus osv.) synke til bunds. Ofte vil de være tunge, fordi de indeholder tunge grundstoffer, som f.eks. de sjældne jordartsmetaller. Over lang tid opbygges derfor en stor bunke sediment, hvor bl.a. mineralerne, som de sjældne jordartsmetaller sidder i, er opkoncentreret. Derfor kaldes de sedimentære forekomster eller tungsandsforekomster.

JOKEREN: ION-ADSORPTION I LERFORMATIONER-FOREKOMST

Ja, lidt af en ædruelighedstest at sige. De to forekomsttyper her på siden er de mest udbredte, men der findes flere slags. For eksempel forekomster i særlige lerlag.

Selvom denne ikke er meget fremherskende, bliver der alligevel drevet en del minedrift på denne type, især i Kina. Her sidder de sjældne jordartsmetaller nemlig direkte 'limet' fast på lerpartikler i jorden, og derfor er de nemme at vaske fri med diverse kemikalier. Så har man dem på ren form frem for at skulle knuse en masse sten. De findes der, hvor grundvandets lave indhold af sjældne jordartsmetaller over mange tusinde år er blevet opkoncentreret i lerlag med særlige pH-forhold.



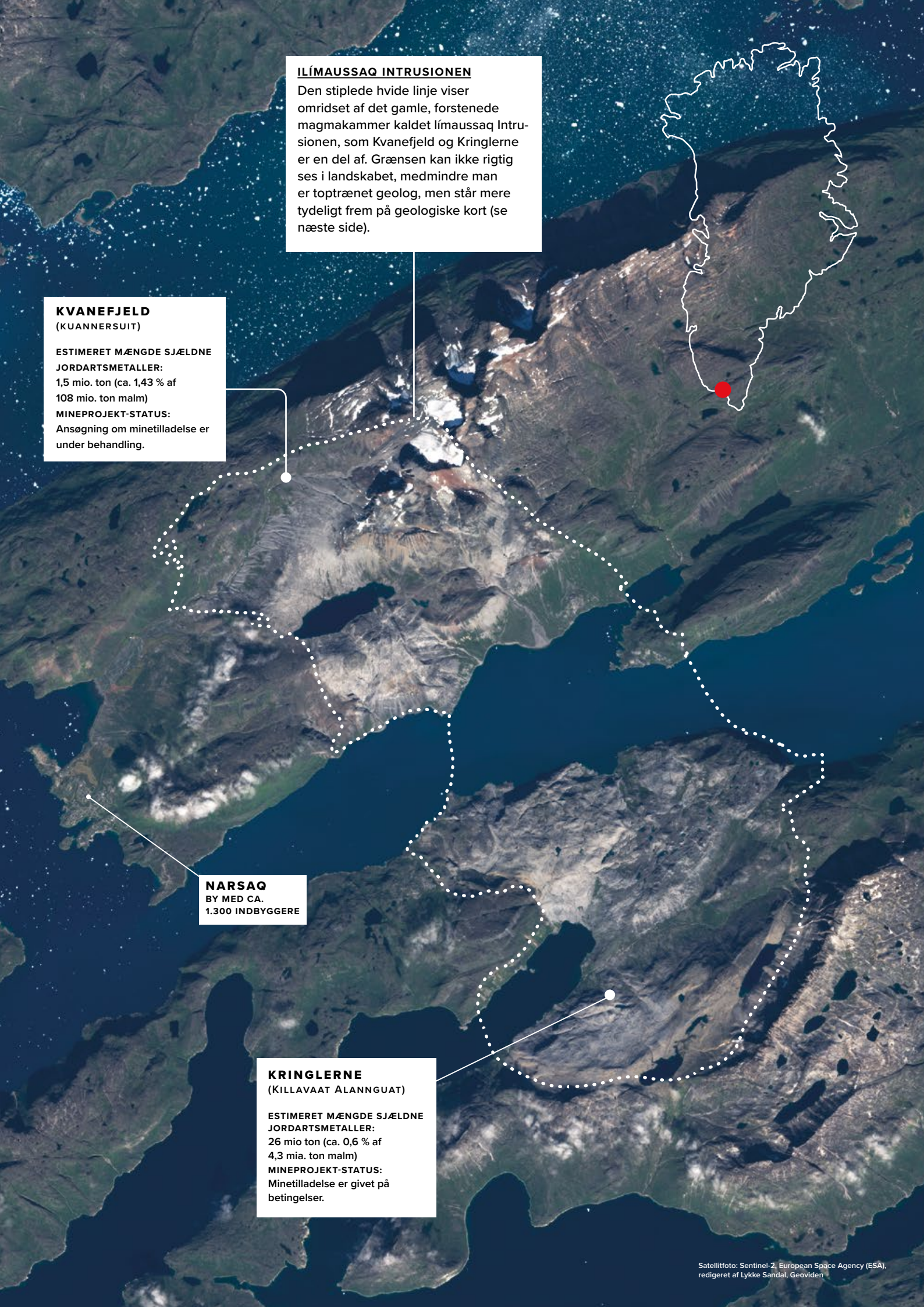
TO GRØNLANDSKE FJELDE HAR SJÆLDNE JORDARTS-METALLER TIL 100+ ÅR

Kvanefjeld og Kringlerne indeholder sjældne jordartsmetaller nok til at kunne forsyne verdenssamfundet i mange, mange år. Problemet er bare at få dem hevet ud af jorden, for det er ikke så ligetil, som man skulle tro.

Langt størstedelen af verdens sjældne jordartsmetaller kommer fra Kina, men kunne i teorien lige så godt komme fra Grønland. Nærmere bestemt et fjeldområde tæt ved landets sydspids, som blev dannet i forbindelse med en kontinentsprække (rift) for 1,2 milliarder år siden. Området kaldes Ilímaussaq Intrusionen (stiplet omrids), og i starten af sin dannelse lå området faktisk 3–4 kilometer nede i jordskorpen. Siden har tidens tand gnavet alle de øvre lag af, så intrusionen i dag ligger til frit skue. Dog med undtagelse af midten og lidt i den sydlige del, som ligger under hver sin fjord. I den nordlige ende ligger Kuannersuit (Kvanefjeld), og mod syd ligger fjeldet Killavaat Alannguat (Kringlerne, som hedder sådan, fordi de geologiske lag set fra luften kan lede tankerne hen på svungne kringler).

Det er estimeret, at de to fjelde indeholder nok sjældne jordartsmetaller til at opfylde verdens samlede behov i over 100 år med det nuværende forbrug. Eller cirka 50 år, hvis forbruget fordobles. Kvanefjeld indeholder formentlig omkring 1,5 millioner ton sjældne jordartsmetaller, og Kringlerne knap 26 millioner ton. I 2020 blev der i hele verden produceret omkring 240.000 ton, altså 107 (!) gange mindre end den formodede mængde i Kringlerne.

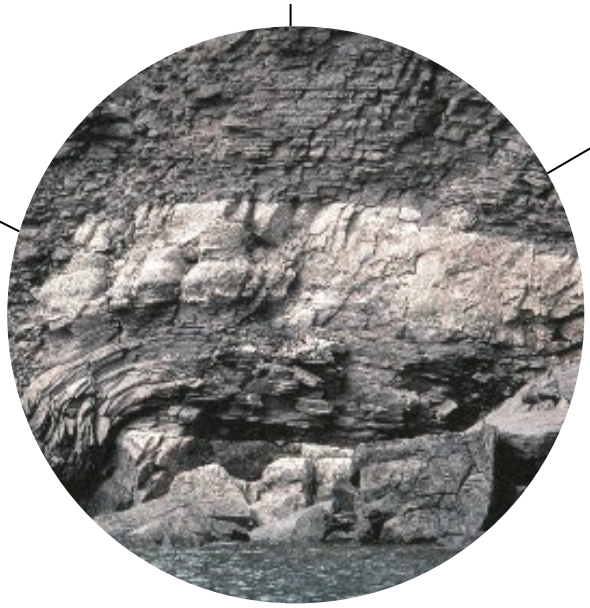
Ordet 'intrusion' betyder egentlig bare en smeltet stenmasse, der har bevæget sig ind i en fast bjergart. For Ilímaussaqs vedkommende skete det ved, at en strøm af magma i forbindelse med riftdannelsen var på vej op mod overfladen, men størknede undervejs og blev hængende der som en forstenet boble – også kaldet et magmakammer. Magmaen størknede på en måde, der dannede forskellige minerallag, hvoraf de >



Satellitfoto: Sentinel-2, European Space Agency (ESA), redigeret af Lykke Sandal, Geoviden

MINERALET STEENSTRUPIN

BJERGARTEN LUJAVRIT



to nederste lag indeholder en usædvanligt høj koncentration af de sjældne jordartsmetaller (læs mere om lagdannelsen på side 10-15).

MILJØ SOM I ØSTAFRIKA

En af dem, der har været med til at studere områdets rigdom af sjældne jordartsmetaller, er Per Kalvig, som er chefkonsulent hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Han har i de seneste ti år arbejdet med særligt fokus på potentialet for udnyttelsen af sjældne jordartsmetaller i Kvanefjeld og Kringlerne. Vil man vide noget om forekomsten af sjældnejordartsmetaller i Ilímaussaq, er det ham, man skal gå til.

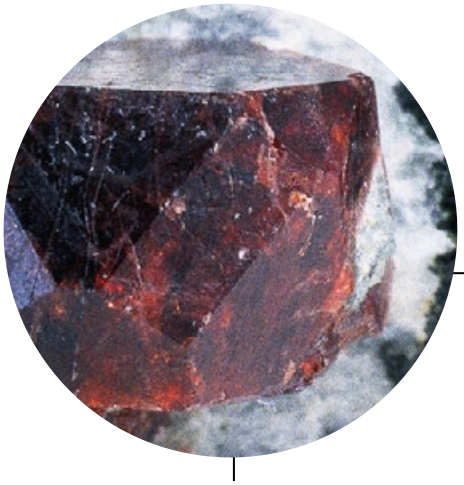
"Ilímaussaq Intrusionen er en del af et større riftmiljø i Sydgrønland, som blev dannet for omkring 1,2 millarder år siden, og som kaldes Gardar Provinsen. Området kan sammenlignes med nutidens Østafrika, hvor den Afrikanske Kontinentalplade er i gang med at splitte sig op, hvilket blandt andet har skabt rækken af store søer, hvor Nilen udspringer," begynder Per Kalvig.

Kort fortalt sker dannelse af riftmiljøer, når bevægelser i Jordens indre får kontinentalplader til at bryde op. Det danner en lang svaghedszone i skorpen (rift eller sprækkezone), hvor smeltet stenmasse (smelte/magma) fra den dybe del af skorpen kan bevæge sig op. En af de magmastrømme blev altså til Ilímaussaq Intrusionen.

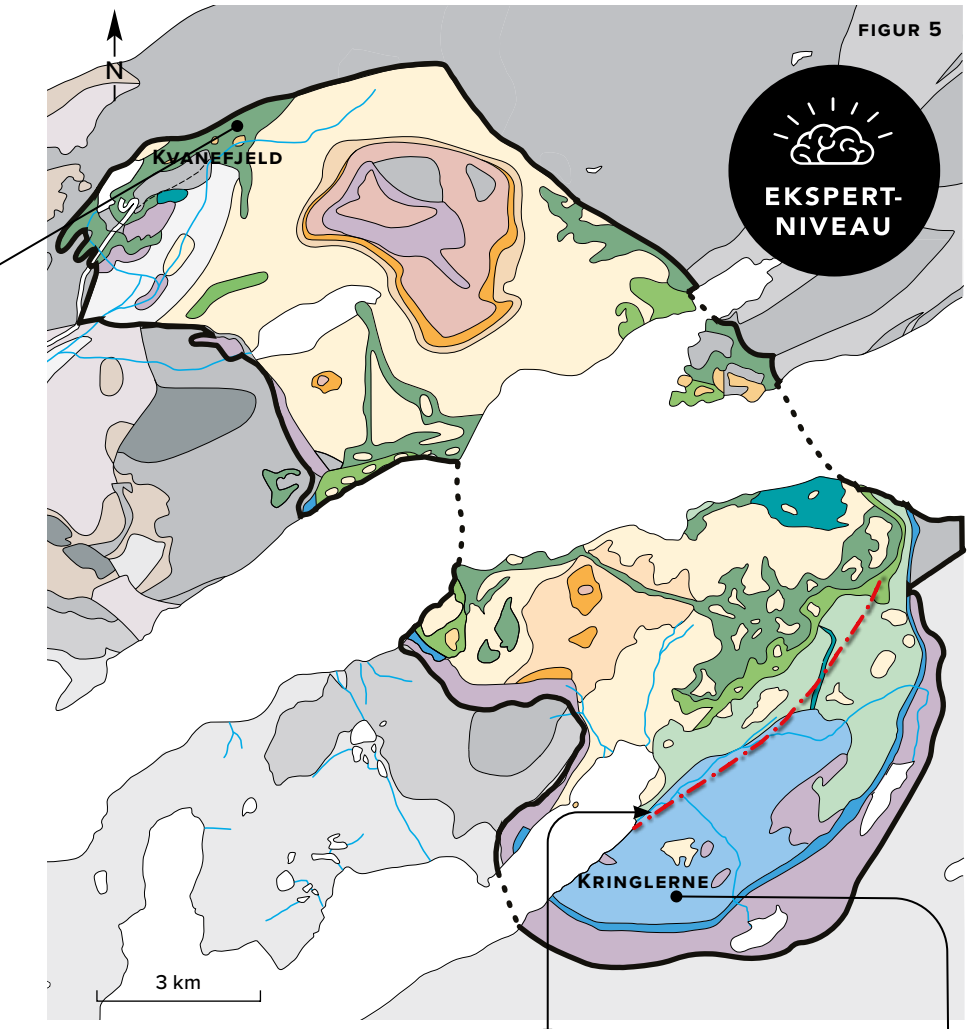
TO STYKKER MINERALLAGKAGE

Kvanefjeld og Kringlerne består af to forskellige bjergarter (blandinger af mineraler), som begge indeholder sjældne jordartsmetaller. Kvanefjeld er dannet af lujavrit (se fig. 5, grønne områder), og Kringlerne af bjergarten karkotokit (se fig. 5, blåt område). I lujavritten findes mineralet steenstrupin som en sort krystal, og det er heri, de sjældne jordartsmetaller er koncentreret. I karkortokitten sidder de i mineralet eudialyt som er en flot, rød krystal.

"Begge mineraler er dannet i intrusionen, men i henholdsvis det midterste og nederste lag, og derfor er der forskel på dem, da mineraliseringsprocessen for de to niveauer er forskellig," forklarer Per Kalvig. Grunden til, at de to forekomster er forskellige, selvom de er to stykker af den samme minerallagkage, er, at det ene lagkagestykke mangler toppen. På et tidspunkt efter dannelsen opstod der nemlig en forkastning i jordskorpen, der løb tværs igennem Ilímaussaq og hævede den sydligste fjerdedel af intrusionen opad (se fig. 6). Over tid blev alle minerallag i den del hævet så meget op, at det nederste lag fra det oprindelige magmakammer (det med eudialytten) nu lå overfor det lag, der blev dannet i midten (det med steenstrupin). Når et stykke undergrund løftes opad på den måde, udsættes en større del af det for omgivelsernes slid (forvitring/erosion), og derfor slides de øverste lag ofte hurtigere af. I Kringlerne lå lujavrit/steenstrupin-laget 'pludselig' en tand højere oppe, så det er sammen med de overliggende lag blevet høvlet af og har nu blotlagt karkortokit/eudialyt-laget, der altså udgør overfladen af Kringlerne. Så langt er forvitringshøvlen ikke kommet med Kvanefjeld-delen, >



MINERALET EUDIALYT



FIGUR 5

EKSPERT-NIVEAU

ILÍMAUSSAQ INTRUSIONEN I DAG

Her til venstre er et geologisk kort af de forskellige bjergarter, som i dag udgør overfladen i Ilímaussaq Intrusionen. Altså jordoverfladen. Man skal forestille sig, at intrusionen fortsætter et godt stykke ned i jorden, så det her er blot det allerøverste, horisontale snit. Se tværsnittet på fig. 6 nedenfor.

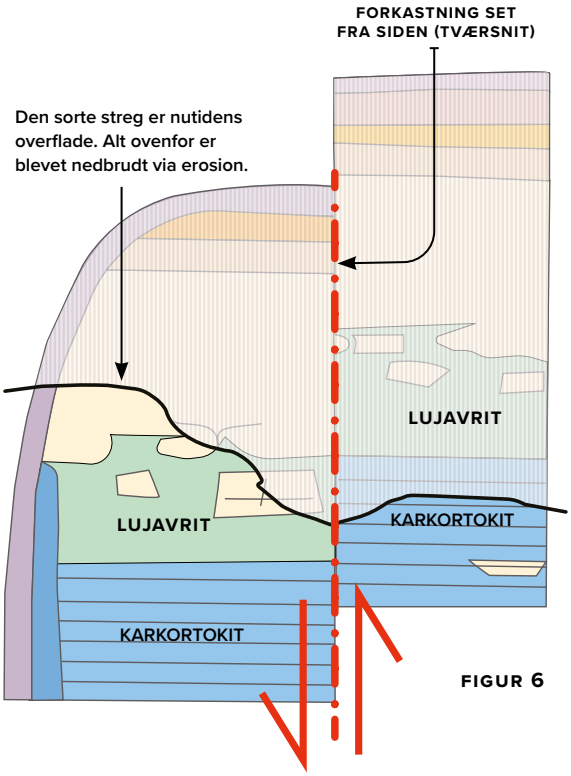
OBS! Vær ikke bekymret, hvis det er svært at se for sig. Det ER svært! Det er faktisk ekspertniveau at kunne tænke geologien i 3D på den måde. Til gengæld giver det hele virkelig god mening, hvis man knækker den.

Farverne på både fig. 5 og 6 viser de forskellige bjergarter i intrusionen, og de grønne og blå er dem, som er dannet i hhv. midten og i den nederste del af intrusionen. Det er dem, der indeholder sjældne jordartsmetaller. Bjergarterne fra intrusionens top og sider er gullige og lilla, og de indeholder kun lave koncentrationer af sjældne jordartsmetaller. Dem er vi ikke så interesserede i. Nogle steder er de lag eroderet væk, så man kan se de grønne og blå lag nedenunder. Andre steder ligger de gule og lilla lag stadig øverst og dækker for de blå og grønne lag. Ligesom da de blev dannet.

FARVEFORKLARING

Istidsaflejringer · Vej · Forkastning · Elv · Sø/hav

TOP (OG SIDER) Bl.a. syenitter, pegmatitter	
MIDTE Forskellige lujavritter	
BUND Kakortokit	



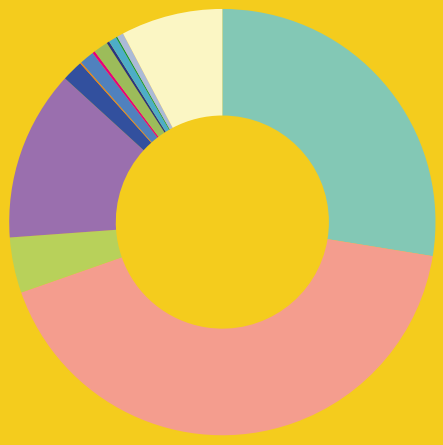
FIGUR 6

Kringlernes del af intrusionen er blevet hævet op af en forkastning, og derfor er lagene ovenfor den sorte streg (nutidens overflade) blevet nedbrudt. Her ligger de blå lag (kakortokit) derfor i overfladen. Hvis der ikke havde været en forkastning, som havde hævet Kringlerne, ville hele området formentlig have haft samme overflade som ved Kvanefjeld, bestående af lujavrit.

BJERGARTEN KAKORTOKIT

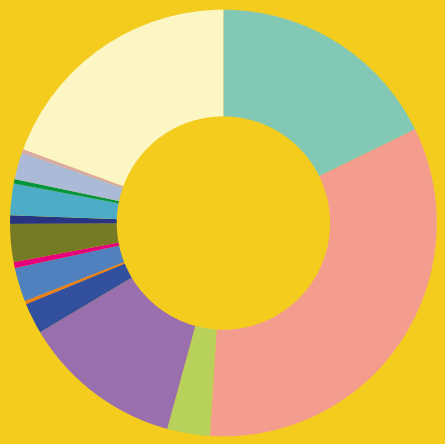
Fotos: Anouk Borst og Wikipedia Commons. Kort: Rediger et efter (Anouk) Borst et al. (2016), baseret på Ferguson (1964), Andersen et al. (1988) og Upton (2013). Tværsnit baseret på Upton, Brian G.J.: 'Tectono-magmatic evolution of the younger Gardar southern rift, South Greenland'. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 29, 2013.

KRINGLERNE
EUDIALYT



- Lanthan
- Europium
- Erbium
- Cerrium
- Gadolinium
- Thulium
- Praseodymium
- Terbium
- Ytterbium
- Neodymium
- Dysprosium
- Yttrium
- Samarium
- Holmium

KVANEFJELD
STEENSTRUPIN



- Lanthan
- Europium
- Erbium
- Cerium
- Gadolinium
- Thulium
- Praseodymium
- Terbium
- Ytterbium
- Neodymium
- Dysprosium
- Lutetium
- Samarium
- Holmium
- Yttrium

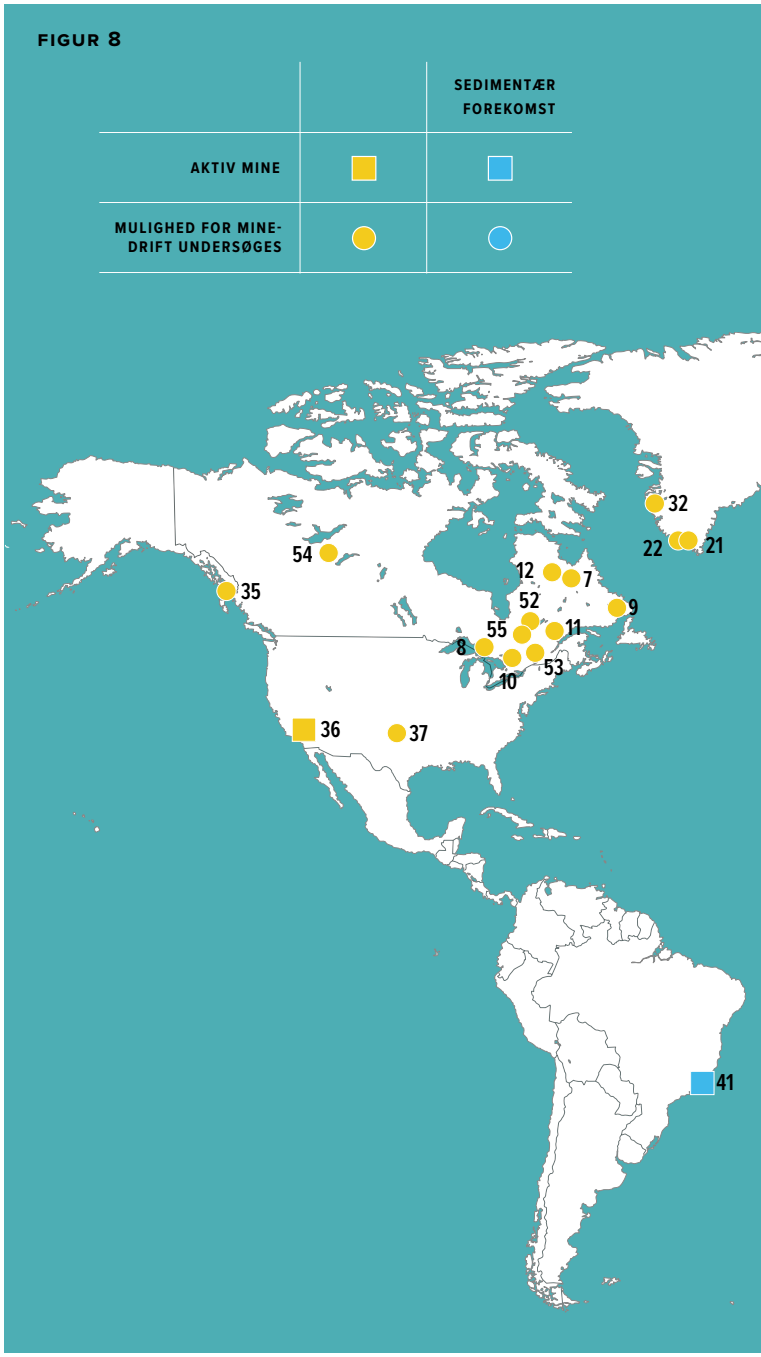
FIGUR 7

FORDELING AF SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

Sjældne jordartsmetaller følges altid ad på grund af deres næsten ens kemiske egenskaber, men der kan være stor forskel på fordelingen af dem i forskellige forekomster. Forekomsten i Kvanefjeld har en større andel af yttrium, end Kringlerne har, mens Kringlernes andel af cerium er større end i Kvanefjeld. (Lutetium er der for lidt af til at kunne måles i Kringlernes eudialyt, og scandium brydes typisk som biprodukt i andre miner, så den er ikke taget med)

Diagrammer efter: Machacek & Kalvig (2017): EURARE (Development of a Sustainable Exploitation Scheme for Europe's Rare Earth Ore Deposits)

FIGUR 8



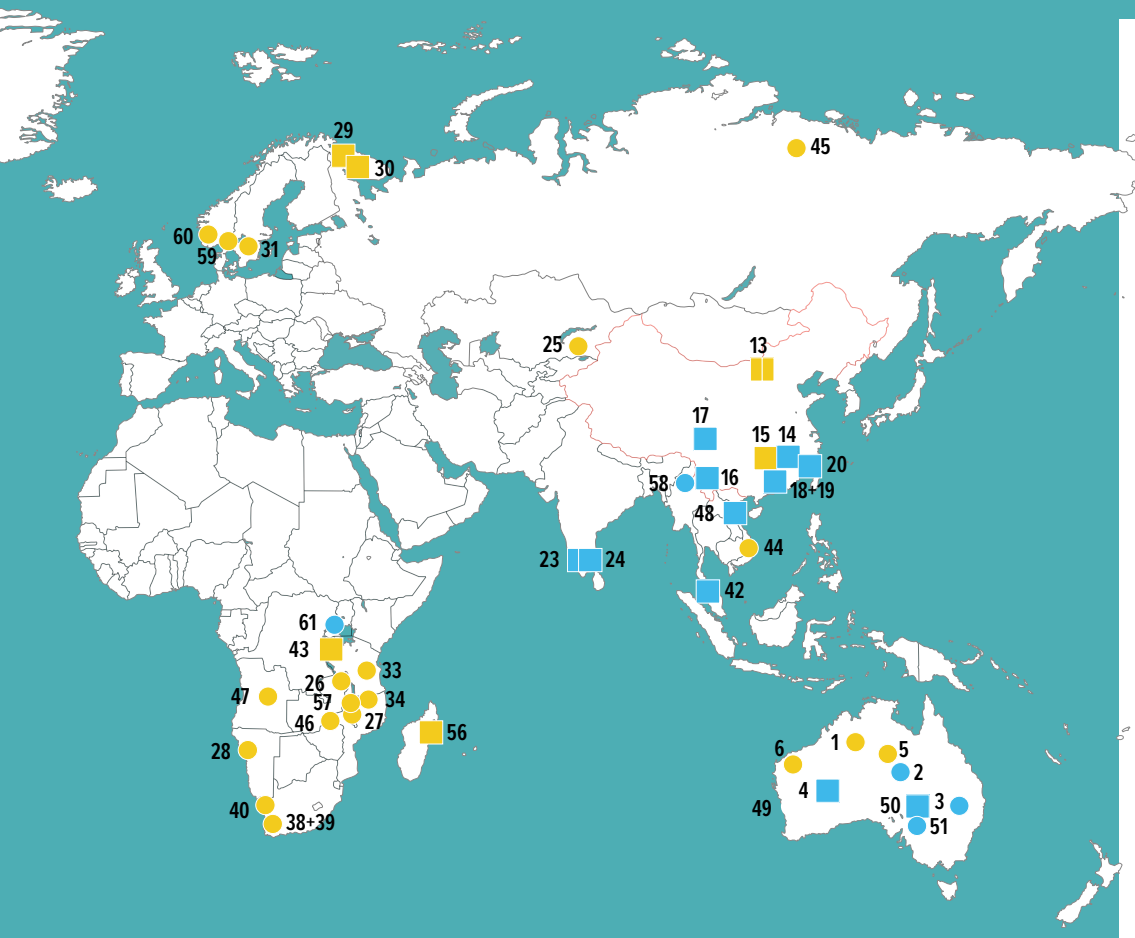
PER KALVIG

CHEFKONSULENT, GEUS

"Både Kvanefjeld og Kringlerne har faktisk ret god fordeling i forhold til det økonomisk vigtigste marked"

MAGMATISK FOREKOMST

1 BROWNS RANGE
2 CHARLEY CREEK
3 DUBBO ZIRCONIA
4 MOUNT WELD
5 NOLANS
6 YANGIBANA
7 ASHRAM MAIN
8 ECO RIDGE
9 FOXTROT
10 KIPAWA/ZEUS
11 MONTVIEL
12 STRANGE LAKE
13 BAYAN OBO
14 CHINA MINMETALS
15 CHINA MINMETALS
16 CHINA MINMETALS
17 CHINALCO
18 GANZHOW MINING GROUP
19 GUANGDONG RISING NF
20 XIAMEN TUNGSTEN
21 KRINGLERNE
22 KVANEFJELD
23 CHAVARA
24 MANAVALAKURICHI
25 KUTESSAY II
26 NGUALLA
27 SONGWE HILL
28 LOFDAL
29 KHIBINY
30 LOVOZERSKY
31 NORRA KÄRR
32 SARFARTOQ
33 WIGU HILL
34 NGUALLA, TANZ.
35 BOKAN MOUNTAIN
36 MOUNTAIN PASS
37 ROUND TOP
38 GLENOVER (RSA)
39 STEENKAMPSKRAAL
40 ZANDKOPSDRIFT
41 BUENA NORTE
42 LAHAT PERAK
43 GAKARA
44 DONG PAO
45 TOMTORSKOYE
46 NKOMBWA HILLT
47 LONGONJO
48 YEN PHU
49 CUMMINGSG RANGE
50 ENEABBA
51 WIMMERA
52 CLAY-HOWELLS
53 LAVERGNE-SPRINGER
54 NECHALACHO
55 NIOBEC
56 QIT MADAGASCAR
57 KANGANKUNDE
58 KACHIN STATE
59 FEN
60 POSGRUNN
61 MAKUUTU



UDVINDING PÅ VERDENSPLAN

I 2020 er der globalt 19 aktive miner, der udvinder sjældne jordartsmetaller.

Der er dog mindst lige så mange steder, hvor mineselskaber er ved at undersøge mulighederne for at åbne nye miner. Blandt andet hos vores naboer Sverige og Norge. For eksempel har nr. 31 på kortet, Norra Kärr, vist sig at have en fordelagtig sammensætning af sjældne jordartsmetaller. De sjældne jordartsmetaller sidder koncentreret i mineralet eudialyt ligesom ved Kringlerne i Grønland. Som man kan se, er der også et projekt i Grønland udover Kvanefjeld og Kringlerne, kaldet Sarfartoq.

Det er de magmatiske forekomster, der er mest fremherskende, altså dem, der er dannet ved forskellige magmatiske processer i familie med dem, der har dannet Ilímaussaq Intrusionen.

Kort: Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa), GEUS, 2021

som blev i det oprindelige niveau. Her er det stadig kun visse steder, hvor terrænet formentlig har været højest og dermed mest udsat, at det er gået ekstra hurtigt. Derfor ses de steenstrupin-bærende lag blandt andet som grønne bånd på fig. 5 over Ilímaussaq-området. Med tiden vil forvitringen skrælle de ovenliggende lag fra intrusionen af og afdække en mere eller mindre ensartet flade af lujavrit i stil med den ensartede flade ved Kringlerne (se fig. 5).

"Desuden sker der jo meget i jordskorpen i en periode på en milliard år, og derfor er lagene i Ilímaussaq-området gentagne gange blevet forstyrret og gennembrudt af en række andre bjergarter, der er dannet senere, eller som også er blevet rykket rundt ved forkastninger," siger Per Kalvig. Geologi er bare aldrig simpelt.

ALTAFGØRENDE PROCENTER

Selvom de to fjeld indeholder sjældne jordartsmetaller i hver sin slags mineral, findes alle 17 metaller stadig hvert sted, minder Per Kalvig om.

"De indeholder begge to alle de sjældne jordartsmetaller, men i forskellige forhold. Dette forhold har stor betydning for mineselskaber, der helst vil have en stor andel af de metaller, der er dyrest, og som der er det største marked for," siger han.

Der er nemlig stor forskel på priserne for de forskellige sjældne jordartsmetaller. Et kilo ren neodymium koster i skrivende stund knap 750 kroner, hvorimod et kilo ren lanthan kan købes for omkring de 30 kroner.

>

"Både Kvanefjeld og Kringlerne har faktisk en ret god fordeling i forhold til det økonomisk vigtigste marked for sjældne jordartsmetaller, nemlig produktion af permanente magneter til vindmøller, elbiler, elcykler, elektronik m.m., hvor der især bruges neodymium, praseodymium og dysprosium. Det er typisk for både steenstrupin og eudialyt, at der er langt mest cerium og lanthan i dem, men også et relativt højt indhold af neodymium og praseodymium i forhold til andre mineraler."

Han tilføjer, at det dog ikke kun kommer an på fordelingen af de sjældne jordartsmetaller. Lige så vigtigt er det at undersøge, hvor stor en del af området der rent faktisk indeholder de pågældende mineraler. For hvis de kun sidder i et lille hjørne, giver det ikke mening at sætte et kæmpestort og meget dyrt mineprojekt i gang.

"Både kvalitet og kvantitet skal være tilstrækkeligt høj, før mineprojektet kan blive økonomisk rentabelt. Her kan man sige om Kvanefjeld og Kringlerne, at indholdet af de sjældne jordartsmetaller i mineralerne er forholdsvis lavt (hhv. 1,4 og 0,6 pct.), men de har en eftertragtet sammensætning og findes i store mængder. Derfor er de interessante," forklarer han.

DEN PROBLEMATISKE BLINDE PASSAGER

Kvanefjeld og Kringlerne er altså begge geologisk set velegnede til minedrift, og det er ikke gået upåagtet hen. Kvanefjeld har siden 2007 været underkastet en lang række undersøgelser, analyser og flere undersøgelser af det australske mineselskab Greenland Minerals, som har fået rettighederne til at undersøge mulighederne for minedrift på fjeldet. Det samme gælder for Kringlerne, som siden 2007 har været genstand for samme indsats fra mineselskabet Tanbreez, der også er australsk. Tanbreez fik i 2019 lov til at starte en mine ved Kringlerne, men selve opstarten afventer angiveligt yderligere tekniske og økonomiske vurderinger, som har trukket ud. Ifølge selskabet selv på grund af Covid-19-pandemien.

Anderledes er det gået ved Kvanefjeld. Her udløste projektets fremskridt mod en tilladelse stor opstandelse i Grønland samt blandt en række internationale miljøorganisationer. Faktisk så meget, at det var med til at udløse det valg, der i april 2021 gav Grønland en ny regering. Partiet, der fik flest stemmer, IA (Inuit Ataqatigiit), meldte som det første ud, at de ikke vil give tilladelse til mineprojektet på Kvanefjeld. Alt det udsprang af de mineralogiske forskelle på de to fjeld, nærmere betegnet det politisk kildne grundstof, der findes i Kvanefjeld, men ikke i Kringlerne. Ud over sjældne jordartsmetaller indeholder Kvanefjeld nemlig uran. Omkring 350 gram pr. ton malm. Det ville uvægerligt komme med ud, hvis man bryder malmen og forarbejder steenstrupin-mineralet. Et faktum, der gav anledning til stor nervøsitet hos dele af befolkningen i Grønland, herunder i byen Narsaq, der har fjeldet som nabo, og hvor flere frygtede negative miljøkonsekvenser.

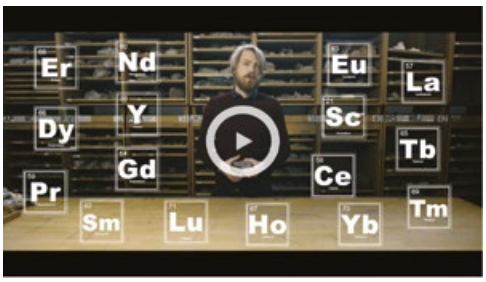
Hvorom alting er, har projektet i Kvanefjeld på nuværende tidspunkt ikke fået sin endelige godkendelse til at drive minedrift – til forskel fra Kringlerne, som er heldigere med sammensætningen af grundstoffer i sine mineraler.

"Malmen i Kringlerne har ikke uran som biprodukt, men derimod grundstoffer som tantal og zirkonium, som er efterspurgte råstoffer på verdensmarkedet," siger Per Kalvig. •

> "Både kvalitet og kvantitet skal være tilstrækkelig høj, før mineprojektet kan blive økonomisk rentabelt."
>
> PER KALVIG
>
> CHEFKONSULENT, GEUS

VIDEO: SKAL VI ÅBNE EN MINE?

To unge geologer undersøger, om deres karkortokit fra Grønland indeholder nok sjældne jordartsmetaller til, at det kan betale sig at starte en mine. For at de kan finde ud af det, skal den først knuses og undersøges på mange ledder og kanter.
Find den på *mima.geus.dk/videoer*



UNDERGROUND CHANNEL

Psst!
Hør også, hvor meget karkortokit der skal knuses for at have nok sjældne jordartsmetaller til én computer.

Skal vi starte en mine?

Der er tre grundlæggende geologiske forhold, der skal være på plads, før man kan overveje, om det kan betale sig at starte en mine, der udvinder sjældne jordartsmetaller:

1. FOREKOMST
Hvor stor er forekomsten? Det vil sige, hvor mange ton bjergart i det givne område indeholder en forhøjet koncentration af sjældne jordartsmetaller?

2. KONCENTRATION
Hvor mange procent af bjergarterne i forekomsten indeholder sjældne jordarts-metaller?

3. SAMMENSÆTNING
Hvordan er den indbyrdes fordeling af de sjældne jordartsmetaller i forekomsten? Lige nu vil man helst have højt indhold af f.eks. neodymium og praseodymium, som er meget efterspurgte til permanente magneter, men det kan ændre sig med den teknologiske udvikling.

Derudover indgår mange andre forhold i overvejelsen, for eksempel:

PLACERING
Er der infrastruktur i området, så man kan transportere sine varer derfra og få mand-skab osv. ind? Eller kan det etableres?

En dårlig forekomst tæt på havne og vej-net kan være bedre end en god forekomst på havets bund.

MILJØ
Er der særlige miljøhensyn i området? Er der fredninger? Særligt følsom natur?

POLITISK KLIMA
Kan man være sikker på, at kommende regeringer i landet fortsat vil støtte ens projekt, eller vil nogen pludselig forbyde det, selvom man var klar til at bygge sin mine?

En 'open pit' bauxitmine i Kachkanar i Rusland. Bauxit brydes primært for at udvinde aluminium fra det, men der kan ofte være sjældne jordartsmetaller i mineralet også. Derfor ser man mange steder på at udvinde dem som biprodukt. .

(Foto: Shutterstock)

geo viden

FIGUR 9

FRA MINE → TIL MAGNET

Hvis det lykkes at finde et sted, hvor alle forhold er i orden, og en sjælden jordartsmetal-mine kommer op at køre, så er der stadig temmelig lang vej til magneterne i din telefon eller elbil.

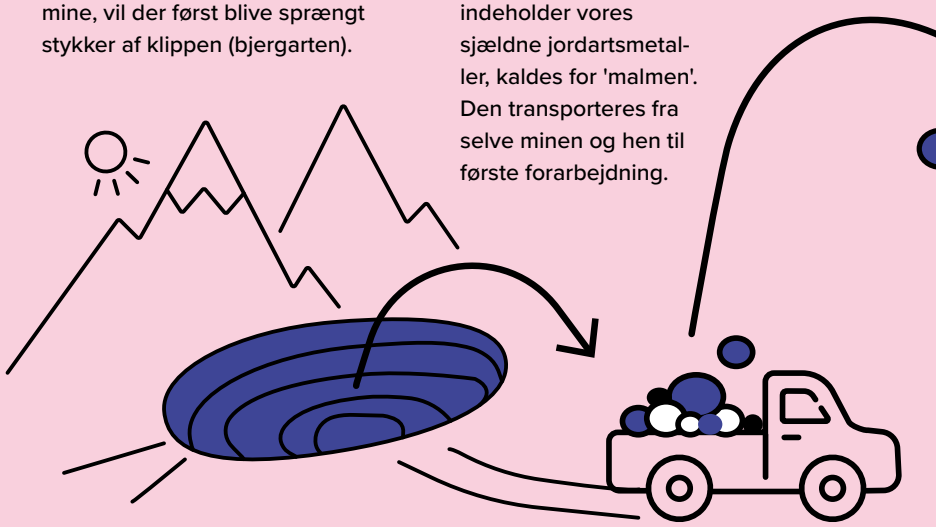
Illustration: Lykke Sandal og Johanne Kusnitzoff, Geoviden, baseret på 'Mineralske råstoffer, bæredygtighed og innovation', Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa), GEUS, 2019

1. BRYDNING

Hvis vi antager, at vi har en åben mine, vil der først blive sprængt stykker af klippen (bjergarten).

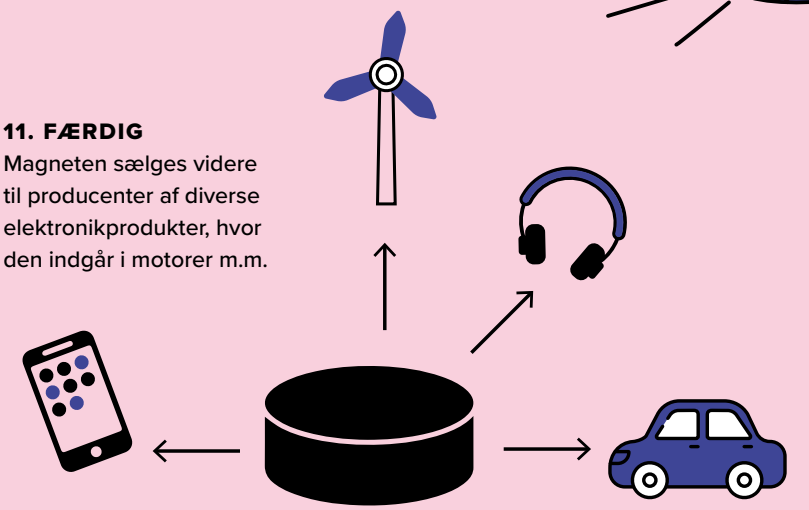
2. UDVINDING

Klippestykkerne, der indeholder vores sjældne jordartsmetaller, kaldes for 'malmen'. Den transporteres fra selve minen og hen til første forarbejdning.



8. ENKELTE METALLER SÆLGES

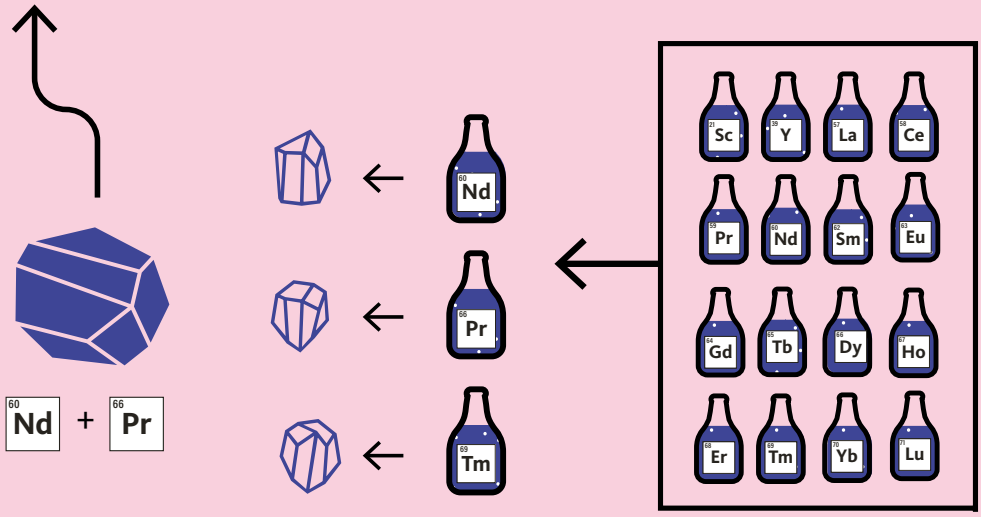
Når de enkelte sjældne jordartsmetaller er blevet delt ud i 16 rene produkter, sælges de videre til forskellige industrier på forskellig form. Magnetproducenter vil ofte gerne have det rene metal, mens andre brancher skal bruge dem på andre former eller i forskellige blandinger. Vi interesserer os mest for magneter, så vi følger den proces.



FÆRDIG MAGNET

11. FÆRDIG

Magneten sælges videre til producenter af diverse elektronikprodukter, hvor den indgår i motorer m.m.



10. FÆRDIG (NÆSTEN)

Legeringen kan forarbejdes videre til en fast magnet. Størrelse, styrke og form afhænger af, hvad den skal bruges til.

$^{60}Nd + {}^{66}Pr$

9. LEGERINGER

Afhængig af magnettypen, der skal laves, blandes flere af metallerne nu sammen igen (en legering), typisk med andre metaller som f.eks. jern.

HVOR FOREGÅR PROCESSERNE?

- BRYDNING OG 'GROVSORTERING' (TRIN 1-4)
  60% KINA
  40% ANDRE LANDE
- PROCESSERING (TRIN 5-6)
  86% KINA
  14% ANDRE LANDE
- RAFFINERING (TRIN 7-8)
  100% KINA
- LEGERING (TRIN 9)
  75-80% KINA
  20-25% JAPAN
- FREMSTILLING AF MAGNETER (TRIN 10)
  75-80% KINA
  17-25% JAPAN
  3-5% EU

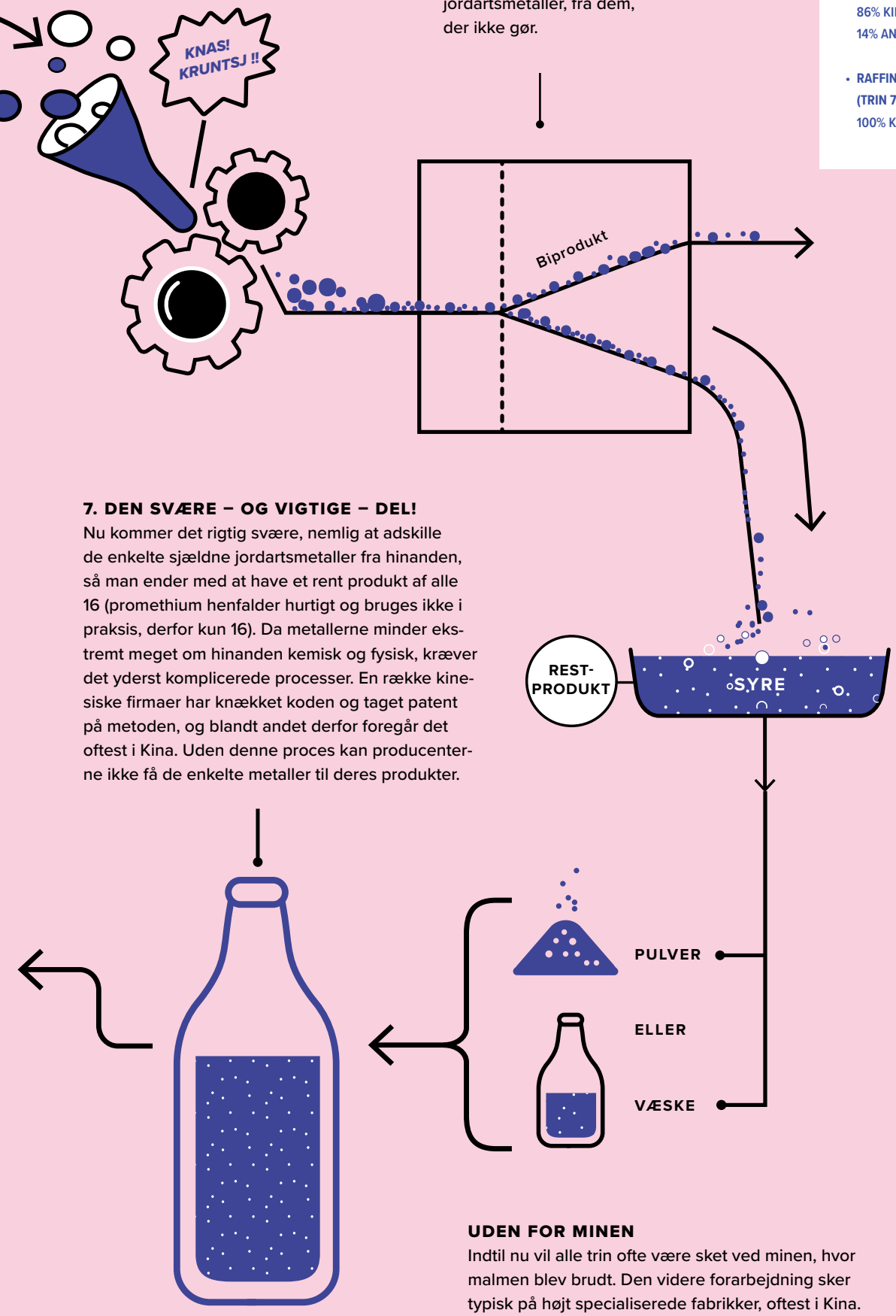
Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MIMa), GEUS, 2020

3. KNUSNING

Første trin går ud på at knuse de store klippeblokke til mindre klippeblokke. Det sker rimeligt lavpraktisk og med rå maskinkraft.

4. SORTERING

Nu begynder det mere tekniske arbejde. Malmen er blevet et lidt finere pulver, og en maskine adskiller de mineraler, der indeholder sjældne jordartsmetaller, fra dem, der ikke gør.



BIPRODUKTER MED VÆRDI

Malmen i minen vil nogle gange indeholde en række andre grundstoffer, der også kan være et marked for. Jo flere af dem du kan sælge, des bedre står mineprojektet økonomisk. Det, der ikke kan sælges, deponeres i store bunker og/eller i store bassiner (kaldet 'tailings').

7. DEN SVÆRE – OG VIGTIGE – DEL!

Nu kommer det rigtig svære, nemlig at adskille de enkelte sjældne jordartsmetaller fra hinanden, så man ender med at have et rent produkt af alle 16 (promethium henfalder hurtigt og bruges ikke i praksis, derfor kun 16). Da metallerne minder ekstremt meget om hinanden kemisk og fysisk, kræver det yderst komplicerede processer. En række kinesiske firmaer har knækket koden og taget patent på metoden, og blandt andet derfor foregår det oftest i Kina. Uden denne proces kan producenterne ikke få de enkelte metaller til deres produkter.

5. CRACKING

Stenpulveret med sjældne jordartsmetaller hældes nu i et syrebad. Det opløser mineralet, så de sjældne jordartsmetaller 'slippes løs' fra mineralets krystalgitter.

6. DELPRODUKT

Efter adskillelsen får man en opløsning med alle de sjældne jordartsmetaller. Sommetider laves det til pulver, før det sendes til videre forarbejdning.

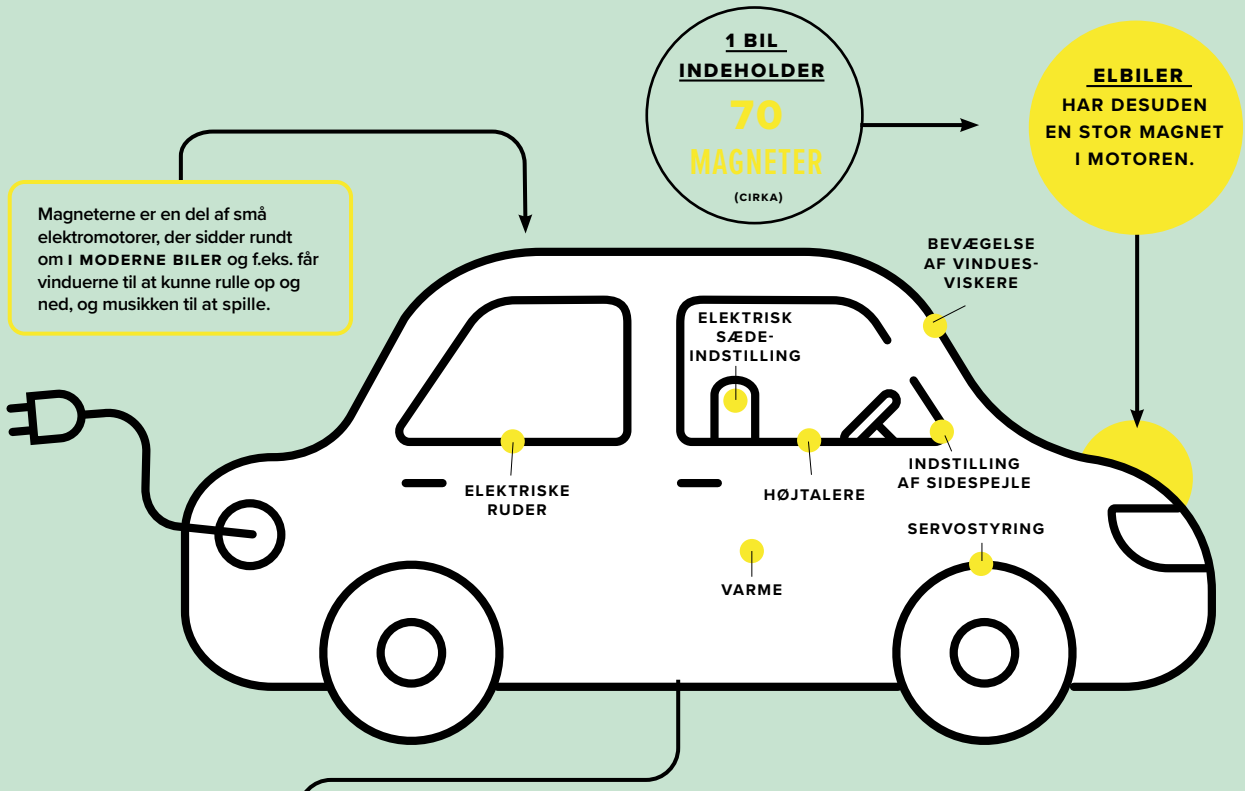
UDEN FOR MINEN

Indtil nu vil alle trin ofte være sket ved minen, hvor malmen blev brudt. Den videre forarbejdning sker typisk på højt specialiserede fabrikker, oftest i Kina.

... OG TILBAGE IGEN

FIGUR 10

Hvis man regner den anden vej fra magneterne i en elbil til minen, så kan man se, cirka hvor stor en mængde malm der skal bearbejdes for at have nok sjældne jordartsmetaller til fremtidens elbiler.



MAGNETER TIL 1 ELBIL KRÆVER
5 KG
SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

BENZIN- OG DIESELBILER har kun de mange små magneter, og derfor skal de kun bruge ca. **0,5 KG** sjældne jordartsmetaller.

Magneterne i elbilen består hovedsageligt af neodymium. Hvis man antager, at neodymium gennemsnitligt udgør 20% af de sjældne jordartsmetaller i forekomsten, bliver det ca. 2 kg pr. ton malm.

ALLE VIL HAVE NEODYMIUM

Over en fjerdedel af den globale produktion af sjældne jordartsmetaller bruges til at lave stærke magneter til elbiler, vindmøller, telefoner og så videre. Men det er faktisk typisk kun 2 af de 17 sjældne jordartsmetaller, der bruges, nemlig neodymium og en smule praseodymium. Derfor er jagten på flere sjældne jordartsmetaller endnu mere indsnævret end bare at finde områder med høj koncentration af metallerne som helhed – der skal også allerhelst være en høj andel af neodymium. Og det er meget forskelligt fra forekomst til forekomst, hvor meget der er.

Hvis man antager, at der er 245 mio. elbiler på vejene i 2030, vil det med et groft overslag kræve 1,2 millioner ton ren neodymium. Fordeler vi den (forventede) nødvendige mængde neodymium ud på de næste ti år, er det ca. 120.000 ton om året af ren neodymium til elbiler alene.

I 2020 blev der på **verdensplan produceret ca. 240.000 ton** af ALLE de 17 sjældne jordarter til sammen, herunder i omegnen af 40.000-50.000 ton neodymium.

FOR AT HAVE NOK TIL 1 ELBIL KRÆVER DET DERFOR, AT DER BRYDES CA.

2,5 TON MALM

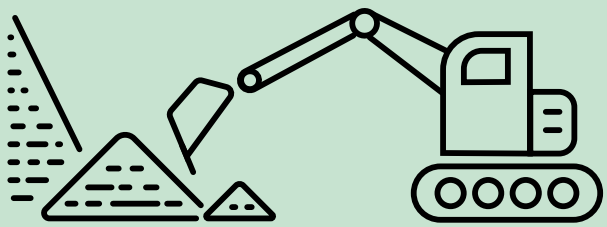


Illustration: Lykke Sandal og Johanne Kusnitzoff, Geoviden, baseret på tal fra Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa), GEUS, herunder bogen 'Mineralske råstoffer, bæredygtighed og innovation', 2019

NOK TIL ALLE, MEN...

MAN VED, AT DER PÅ VERDENSPLAN I HVERT FALD ER CA. 120 MIO. TON RENE SJÆLDNE JORDARTER I DE FOREKOMSTER, MAN ALLEREDE KENDER TIL. PLUS MERE I DE FOREKOMSTER, DER IKKE ER UNDERSØGT ENDNU. SÅ METALLERNE ER DER, DE SKAL "BARE" GRAVES UD OG IKKE MINDST FORARBEJDES AF "NOGEN".

I 2030 ANSLÅS DET, AT DER VIL VÆRE CA. 245 MIO. ELBILER PÅ VEJENE GLOBALT

Hvis Paris-aftalen skal kunne nås, vel at mærke ... Det er ca. 30 gange flere end i 2020. Med de nuværende globale politiske målsætninger (2020) for elbil-vækst kan der nås 140 mio. elbiler i 2030.

Kilde: 'Global EV Outlook 2020', The International Energy Agency (IEA)

FOR AT FÅ NEODYMIUM NOK TIL DET SKAL DER SOM MINIMUM BRYDES OG FORARBEJDES CA.:

600.000.000 TON MALM

FRA 2020 TIL 2030 SKAL DER ALTSÅ BRYDES:

(AFRUNDEDE TAL)

60.000.000 TON/ÅR
5.000.000 TON/MÅNED
165.000 TON/DAG
7.000 TON/TIME
115 TON/MINUT ELLER ...

2 TON/SEKUND

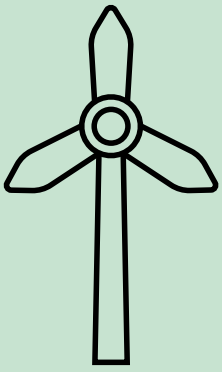
HVILKET FAKTISK NÆSTEN SVARER TIL DEN SAMLEDE VÆGT AF

1 ELBIL/SEKUND

(OG SÅ KOMMER ALLE DE ANDRE MATERIALER OVENI)

SKÆVE FORHOLD

Det anslås, at omkring 15-20% af verdens kendte reserver af sjældne jordartsmetaller er neodymium. Det giver op til 24 mio. ton ren neodymium, hvilket altså er rigeligt til de forventede elbiler. Det hjælper dog ikke meget, hvis der ikke er nok anlæg, der kan forarbejde de store mængder malm. Som du kan se på s. 24-25, kræver forarbejdningen stor teknisk ekspertise, som det lige nu kun er Kina, der har. Hvilket ikke er et stort problem, så længe de deler med os andre, men usikkerheden i det forhold er et potentielt problem.



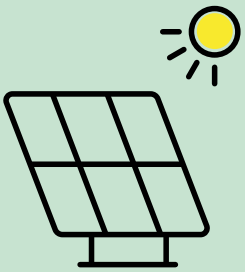
GLEM IKKE VINDMØLLERNE

Ud over elbiler kræver den grønne omstilling også mange (!!) nye vindmøller, som lige nu bruger mellem

14 og 239 KILO

sjældne jordartsmetaller pr. styk, hovedsageligt neodymium og praseodymium plus en smule dysprosium og terbium.

Kilde: Carrara S., Alves Dias P., Plazzotta B. og Pavel C.: 'Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system', 2020, Publication Office of the European Union



KOBBER OG ALT DET ANDET

Solcellenetværkene skal også udbygges for at skaffe strøm nok til samfundet, og selvom de ikke skal bruge sjældne jordartsmetaller, er de afhængige af andre råstoffer, såsom germanium og bor, som også er nogle af de grundstoffer, der er voksende konkurrence om. For slet ikke at tale om en frygtelig masse kobber til ledningerne, som skal fordele strømmen i samfundet.

Mogens udvikler alternative magneter, men ...

"NEODYMIUM-MAGNETERNE ER BARE ET BEDRE MATERIALE"

Verden er afhængig af sjældne jordartsmetaller som neodymium, men man fandt for ti år siden ud af, at den afhængighed var gået hen og blevet meget uheldig. Danske forskere er med i kapløbet om at udvikle nye alternativer, men det er svært, når man kæmper mod et materiale, der bare er bedre.

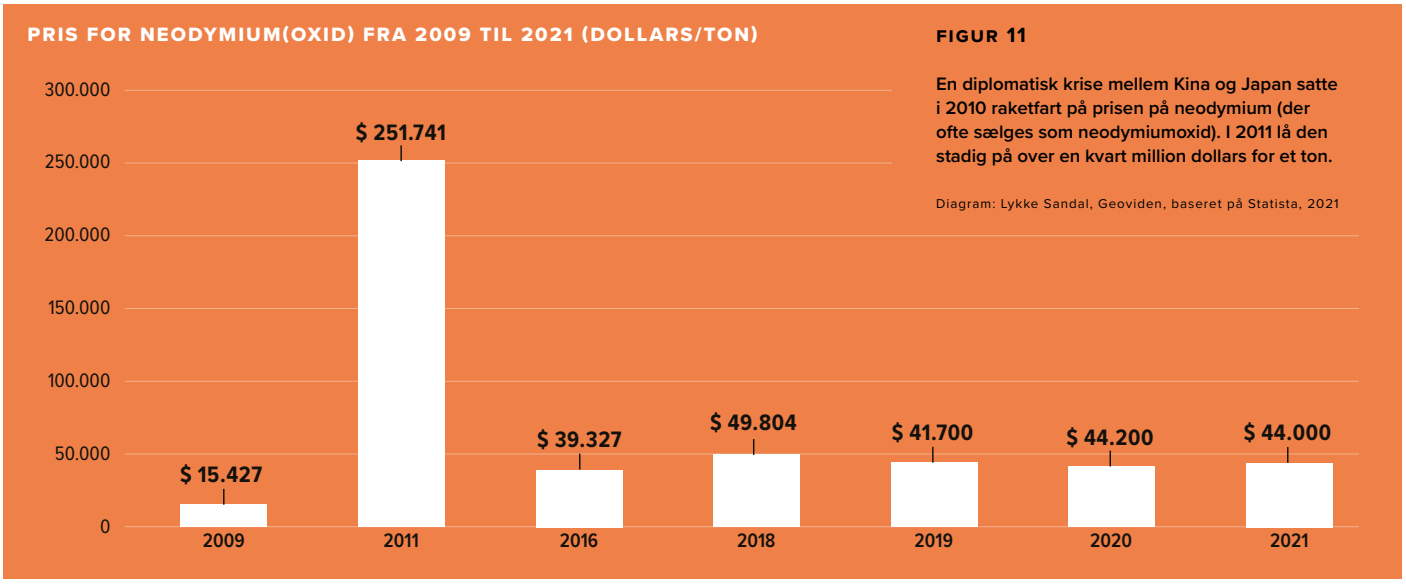
Da en kinesisk fisker blev arresteret af japanske myndigheder i 2010 for at besejle et område, som både Japan og Kina mener er deres, hævnede Kina sig ved at lukke for eksport af sjældne jordartsmetaller til Japan. Det satte gang i en verdensomspændende dominoeffekt, der på ganske kort tid fik prisen på sjældne jordartsmetaller til at stige voldsomt. Neodymium, der bruges i alverdens apparater, motorer i elbiler, harddiske i computere og alt muligt andet, gik fra at koste ca. 15.000 dollars pr. ton til over 250.000 dollars. Altså over halvanden million kroner.

Hændelsen kendes i teknologi- og industrikredse som REE-krisen (Rare Earth Elements-krisen), og selvom det nok ikke var noget, den gennemsnitlige dansker opdagede, så ændrede det selvforståelsen hos en stor del af verdens magtfulde stater og industrigiganter. Alle var uden undtagelse, og uden sådan rigtig at være klar over det, gået hen og blevet fuldstændig afhængige af leverancen af sjældne jordartsmetaller fra Kina, som havde satset stort på industrien i flere årtier. Op mod 95 procent af hele verdens forbrug af sjældne jordartsmetaller blev udvundet i Kina, forarbejdet i Kina eller begge dele.

EN VERDEN I CHOK

"Det var virkelig en krise. Firmaer verden over kunne ikke få de her vigtige metaller, og flere af de store virksomheder besluttede derfor at stoppe brugen af de sjældne jordartsmetaller i flere produkter. For ikke at være afhængige af Kina og deres forgodtbefindende."

Sådan fortæller Mogens Christensen, der er lektor i kemi og nanoscience ved Aarhus Universitets Institut for Kemi. >



FIGUR 11

En diplomatisk krise mellem Kina og Japan satte i 2010 raketfart på prisen på neodymium (der ofte sælges som neodymiumoxid). I 2011 lå den stadig på over en kvart million dollars for et ton.

Diagram: Lykke Sandal, Geoviden, baseret på Statista, 2021

“Det skal jo kunne betale sig, før der kan startes en rigtig produktion op, og det er nogle gange der, videnskaben og ‘virkeligheden’ taler forbi hinanden”

MOGENS CHRISTENSEN

LEKTOR I NANOSCIENCE OG KEMI
VED AARHUS UNIVERSITET

Mogens Christensen er sammen med en kollega i gang med forsøg, der skal teste de alternative strontium-hexaferrit-magneter. (Foto: Jesper Rais, Aarhus Universitet)

21 KG

Han arbejder blandt andet med at udvikle alternativer til neodymiummagneter – et forskningsfelt, der pludselig kom fuldt drøn på efter 2011, da alle skulle bruge nye magneter nu og her.

"Vi arbejder med såkaldte keramiske magneter, som vi håber kan være med til at erstatte neodymiummagneterne på nogle områder," siger han og fremhæver, at det er med tryk på 'nogle områder'.

"Vi kan ikke lave noget, der er lige så godt som neodymiummagneterne. Slet ikke. Neodymiummagneter kan gøres meget mindre end andre materialer og stadig have en stærk ydeevne, hvor f.eks. ferritmagneter (de keramiske, som han arbejder på, red.) skal være væsentligt større for at yde det samme. Specielt i biler, mobiltelefoner osv. vil man helst have magneterne så små og lette som muligt, og her kan man bare ikke hamle op med neodymium."

13 KG

VASKEMASKINER OG ELRUDER

Der er dog en lang række af vores tekniske produkter, hvor man godt kan skifte neodymium ud med de lidt tungere og større alternativer, uden at det går ud over funktionen.

"Det er ikke lige så vigtigt, om en magnet i en vaskemaskine eller et køleskab er nogle hundrede gram tungere og større end ellers, da de jo ikke behøver at blive båret rundt hele tiden," forklarer Mogens Christensen.

"Du kan også tage elruder i biler. De er måske i alt aktive i et kvarter af hele bilens levetid, så her er det

MOGENS CHRISTENSEN

LEKTOR I NANOSCIENCE OG KEMI VED AARHUS UNIVERSITET

“Det er ikke lige så vigtigt, om en magnet i en vaskemaskine eller et køleskab er nogle hundrede gram tungere og større end ellers, da de jo ikke behøver at blive båret rundt hele tiden.”

13 KILO

AF MOGENS CHRISTENSENS KERAMISKE MAGNET (STRONTIUM-HEXAFERRIT)

1 NEODYMIUMMAGNET PÅ 1 KILO

SVARER I STYRKE TIL

1 KG

21 KILO

ALMINDELIG STÅLMAGNET

!

TIL GENGÆLD ER FORSYNINGEN MED STÅL OG STRONTIUM-HEXAFERRIT MINDRE USIKKER END F.EKS. NEODYMIUM.

STÅLMAGNET

STRONTIUM-HEXAFERRIT-MAGNET

måske okay, hvis magneten ikke har markedets allerbedste ydeevne."
Han og kollegerne prøver derfor at lave alternative magneter, som ingeniørerne rundt omkring kan have i værktøjskassen til der, hvor det giver mening.

ENSRETTEDE NANOKRYSTALLER

De keramiske magneter, som Mogens Christensen og hans kolleger arbejder på, kaldes nærmere bestemt for strontium-hexaferrit-nanomagneter ($SrFe_{12}O_{19}$). De er altså en blanding af strontium-, jern- og ilt-atomer, som forskerne prøver at sammensætte, så deres fælles magnetiske felt bliver stærkere. Holdet har lige udviklet en patenteret metode, hvor fremstillingen af magneterne bliver nemmere. Normalt er man nødt til at varme massen op gentagne gange under magnetiseringen af materialet, men holdet har fundet ud af at omgå de gentagne opvarmninger.

"Det betyder kort fortalt, at det er nemmere at ensrette nanokrystallerne i materialet og dermed få en bedre magnetisme ud af det," forklarer han.

KINA SPØGER STADIG

Holdet har fået metoden til at virke, men nu gælder det om at teste, om den også virker, hvis man skal lave et ton magnetisk strontium-hexaferrit i stedet for ti gram. Og så er der det evige spørgsmål om, hvad det kommer til at koste.

"Det skal jo kunne betale sig, før der kan startes en rigtig produktion op, og det er nogle gange der, videnskaben og 'virkeligheden' taler forbi hinanden," siger Mogens Christensen. Selvom det virker, er det altså ikke sikkert, at det kommer til at blive brugt, hvis noget andet – for eksempel neodymium – fortsat er bedre og billigere. Hvilket det er i dag. Men måske ikke i fremtiden, tilføjer han:

THIERRY BRETON

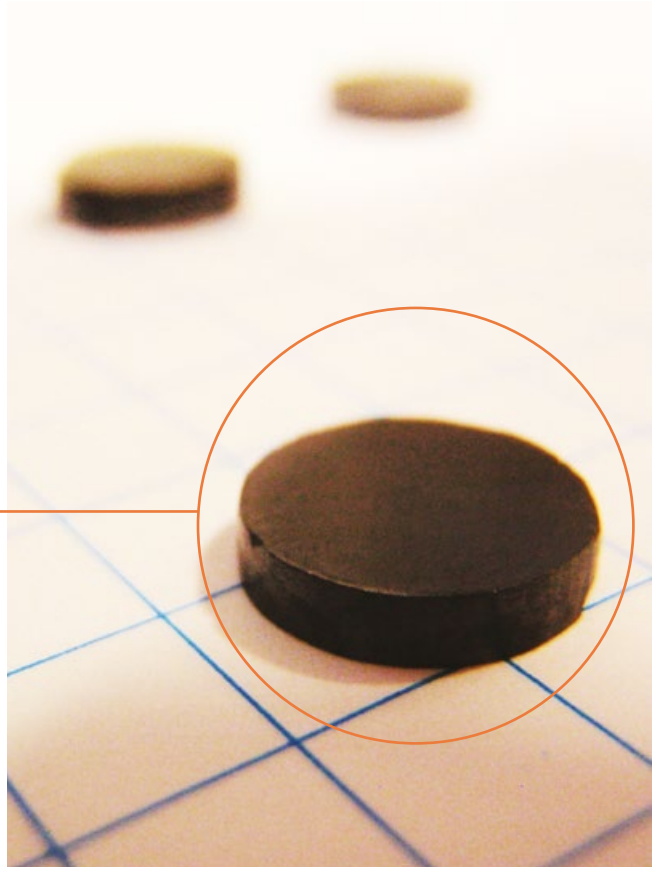
EU'S KOMMISSÆR FOR DET INDRE MARKED

> "Vi er nødt til at tænke mere strategisk og forvente mulige uregelmæssigheder [i forsyningen] i fremtiden."

"Neodymiummagneterne er bare et bedre materiale, det må man erkende. Men kineserne er stadig dominerende på markedet for sjældne jordartsmetaller, og de kommer selv til at skulle bruge meget, meget mere i de kommende år i forbindelse med en kæmpe skift fra benzin- til elbiler. Så spørgsmålet er, hvor meget de vil sende ud til os andre om bare et par år."

EU MELDER SIG IND I KAMPEN

Netop den problemstilling er da også noget, man er smerteligt opmærksom på i EU-Kommissionen. Hele 98 procent af EU's sjældne jordartsmetaller kommer lige nu fra Kina, og da metallerne indtil videre er nødvendige for at lave elbiler og vindmøller, er den europæiske omstilling altså mere eller >



Små magneter af strontium-hexaferrit. Modsat neodymiummagneter behøver de ikke blive coatet med andre metaller. Neodymium ruster forholdsvis nemt, så her har de alternative magneter en fordel.

(Foto: Mogens Christensen)

mindre afhængig af en forudsigelig og konstant leverance fra Kina. Noget, EU-Kommissionen ikke er videre pjattede med. Som om det ikke var nok, gjorde coronapandemien det også sværere at skaffe de nødvendige sjældne jordartsmetaller.

"Vi er nødt til at tænke mere strategisk og forvente mulige uregelmæssigheder (i forsyningen, red.) i fremtiden," sagde EU's kommissær for det indre marked, Thierry Breton, i september 2020 ved lanceringen af European Raw Materials Alliance. Et tiltag, som EU-Kommissionen søsatte netop for at styrke det europæiske samarbejde mod at få en mere alsidig, stabil forsyning af blandt andet sjældne jordartsmetaller.

Alliancen er første trin i en omfattende aktionsplan for råstof-uafhængighed, som EU-Kommissionen udgav kort forinden ved navn 'Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability'. I forbindelse med rapportens udgivelse understregede Thierry Breton, at EU også selv må på banen med miner og forarbejdningsindustri.

"Vi har ikke råd til at være fuldt afhængige af andre lande – for nogle sjældne jordartsmetaller endda af et enkelt land (Kina, red.). Ved at sprede forsyningen ud på flere lande og udvikle EU's egen kapacitet for udvinding, forarbejdning, genanvendelse, raffinering og separation af sjældne jordartsmetaller kan vi blive mere modstandsdygtige og bæredygtige."

NYE SÆLGERE, FLERE ALTERNATIVER

Dog er det ifølge EU-Kommissionen ikke sandsynligt, at der bliver åbnet nye europæiske miner eller forarbejdningsstationer før starten af 2030, så indtil da skal vi altså satse på flere heste i sjældne jordartsmetaller-løbet. Blandt andre Australien og USA er gode bud på alternativer, kan man læse i rapporten, da de er ved at opskalere deres produktion.

Hvis EU, og resten af verden for den sags skyld, vil have den bedste chance for at få en grøn omstilling med flere elbiler og vindmøller og stadig have smartphones og earbuds, så skal der også ifølge Mogens Christensen til at rykkes på alle fronter. Ellers frygter han, at vi styrer mod en ny, og værre, 2011-krise.

"Der kommer problemer, hvis man ikke gør noget. Situationen, som den er i dag, kan ikke fortsætte. Enten skal der hurtigt startes nye miner og forarbejdningsanlæg i den vestlige verden, eller også skal der udvikles flere nye alternativer. Formentlig begge dele." •

'Kritisk råstof' bruges i EU om en ressource, der er nødvendig for europæisk økonomi og dagligdag, samtidig med at leverancen af den af forskellige grunde kan være usikker.

FIGUR 12

GENANVENDELSE AF KRITISKE RÅSTOFFER I EU

Hvad med bare at genanvende magneterne?

Svaret er, selvfølgelig, at det er kompliceret. Det skal kunne betale sig for firmaerne at bruge genbrugte råstoffer, og tit vil arbejdet med at udvinde og oprense det fra de udtjente varer og apparater gøre dem meget dyre sammenlignet med bare at købe en ny ladning neodymium. Det er også derfor, at der bliver genbrugt så lille en andel af de sjældne jordartsmetaller, som det er tilfældet.

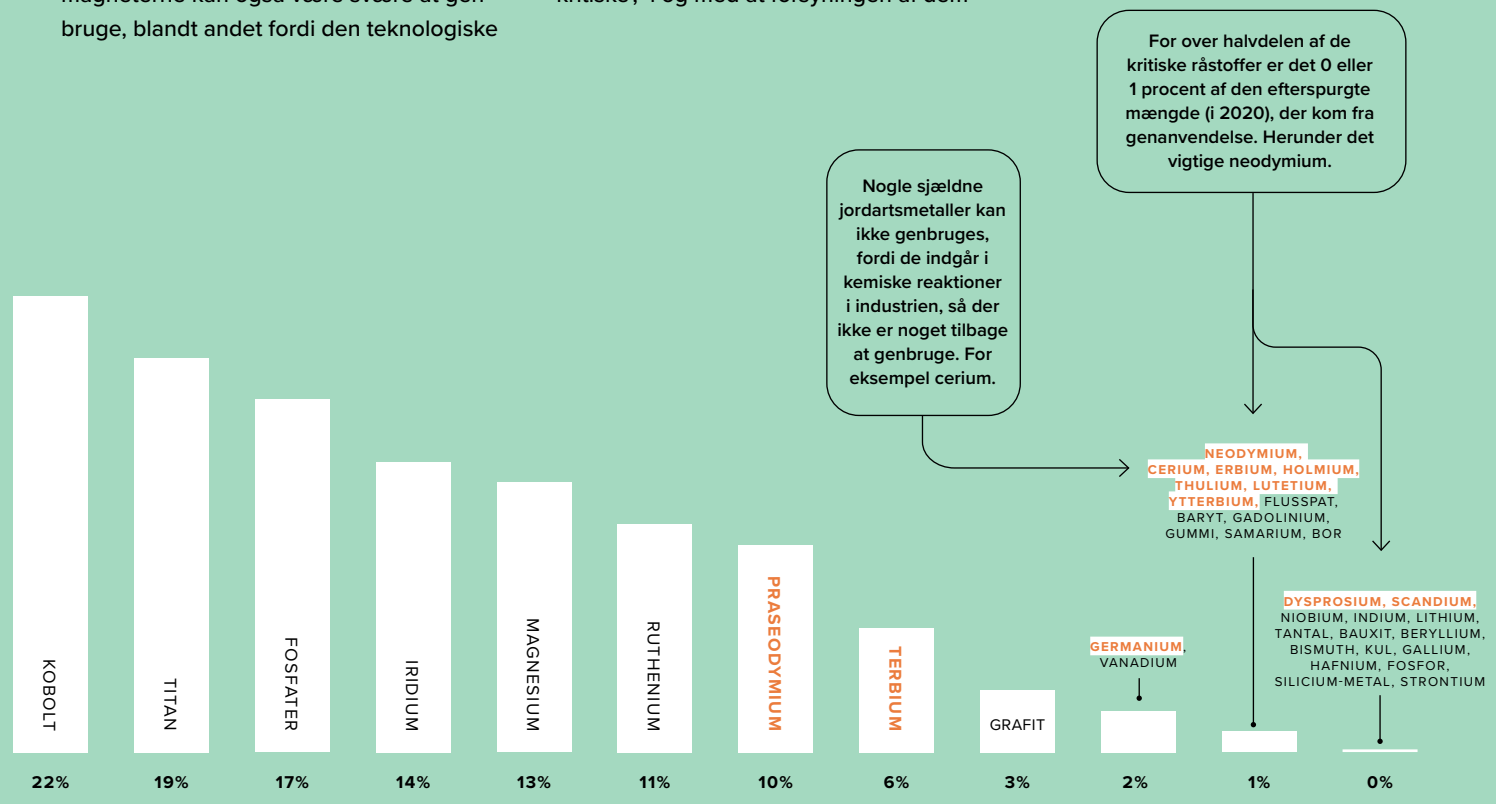
Herunder kan du se, hvor mange procent af de såkaldt kritiske råstoffer, herunder sjældne jordartsmetaller (orange), der bliver genanvendt i EU. Af neodymium og dysprosium, som er de to vigtigste sjældne jordartsmetaller til teknologi og grøn omstilling, genbruges hhv. 1 og 0 procent. Det skyldes især, at de magneter, de bruges i, er et blandingsprodukt af flere metaller, og det er besværligt at skille dem ad og genbruge de enkelte metaller. Selve magneterne kan også være svære at genbruge, blandt andet fordi den teknologiske udvikling går så hurtigt, at en magnet fra en 10 år gammel vindmølle eller elbil ikke kan bruges i en ny.

I andre tilfælde er delene, som de sjældne jordartsmetaller indgår i, så små, at det er vanskeligt at indsamle og genbruge dem effektivt. For eksempel i telefoner og hovedtelefoner. Yttrium og europium, hvoraf vi genbruger henholdsvis 31 og 38 procent i EU, er nemmere at have med at gøre, da de ofte bruges i lyskilder som et såkaldt oxid, og her er de forholdsvis nemme at 'tage ud' og bruge et andet sted.

Målet er mere genanvendelse

EU-Kommissionen har i efteråret 2020 formuleret otte såkaldte 'actions', som skal gøre unionen mindre afhængig af andre lande i forbindelse med at skaffe tilstrækkeligt af de kritiske råstoffer. Altså skal flere råstoffer sådan set gøres 'ikke kritiske', i og med at forsyningen af dem skal være mere sikker fremover. Flere af dem handler netop om genbrug af de materialer, vi allerede har. For eksempel skal der allerede i 2021 igangsættes forskningsprojekter, der afdækker muligheder og udfordringer i genbrugskæden. I 2022 skal der være identificeret steder i kæden, hvor man bedst kan genbruge råstofferne, og konkrete projekter skal sættes i gang. Derudover skal der kortlægges, hvor der eventuelt kan være sjældne jordartsmetal-miner i EU, hvordan de bliver en realitet, og – meget vigtigt – hvordan malmen forarbejdes videre til egentlige produkter.

Kilde: 'Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability', EU-Kommissionen, 2020

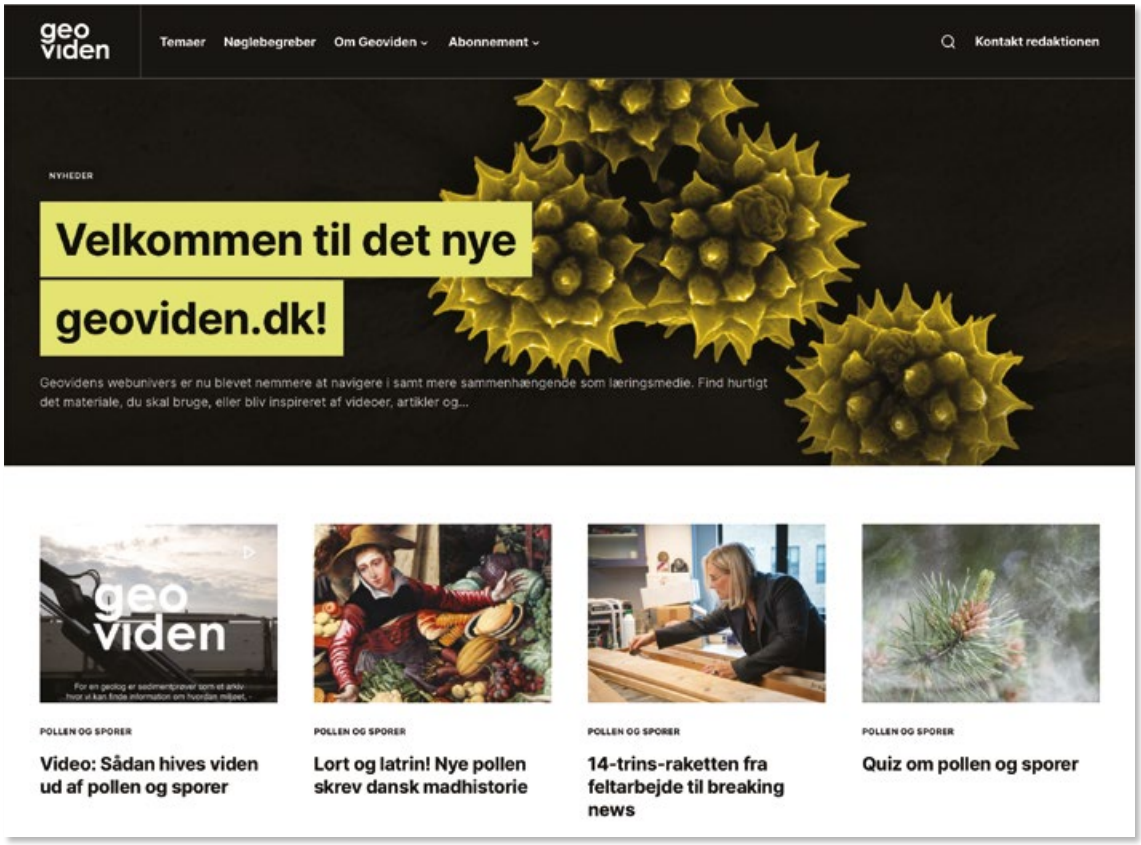


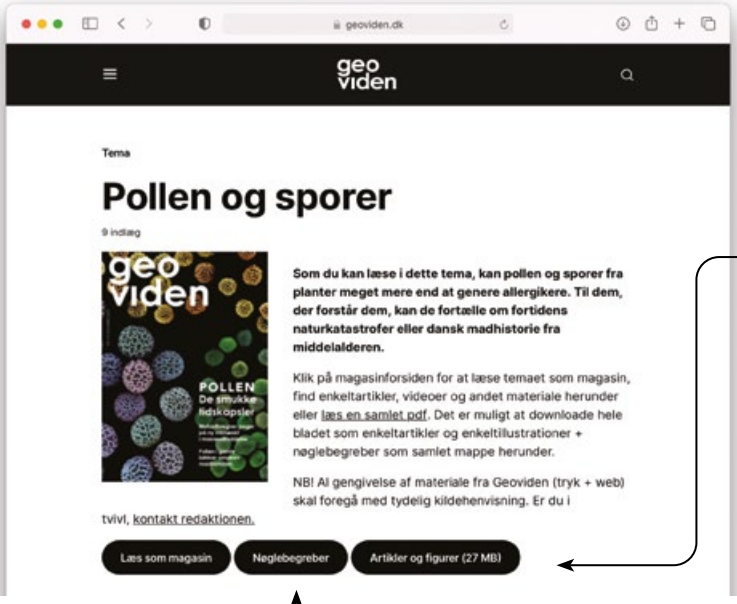
ÉN GANG KRITISK, IKKE ALTID KRITISK

Hvilke råstoffer der er vigtige for samfundet kan variere. Derfor opdateres EU's liste over såkaldt 'kritiske råstoffer' også indimellem, eksempelvis i 2020, da der kom fire nye på listen (bauxit, lithium, titanium og strontium). Dermed er der 30 stoffer, som er nødvendige for samfundet i EU, men hvis leverance er usikker. De sjældne jordartsmetaller er også på (vist med orange), men som delt i to grupper: de lette og de tunge. Du kan se alle råstofferne herover, samt hvor stor en procentdel af den mængde, EU bruger, der lige nu kommer fra genanvendelse. Dog er det kun de markedsmæssigt vigtigste af de sjældne jordartsmetaller, der er taget med i opgørelsen, så derfor er der kun 13, ikke 17.

Tjek det nye geoviden.dk

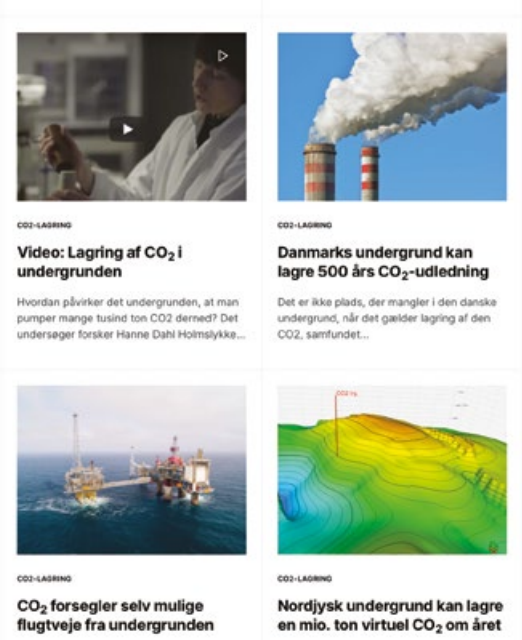
Vores hjemmeside har fået nemmere navigation, flere interaktive figurer og meget mere, så den er endnu nemmere at bruge i undervisningen.



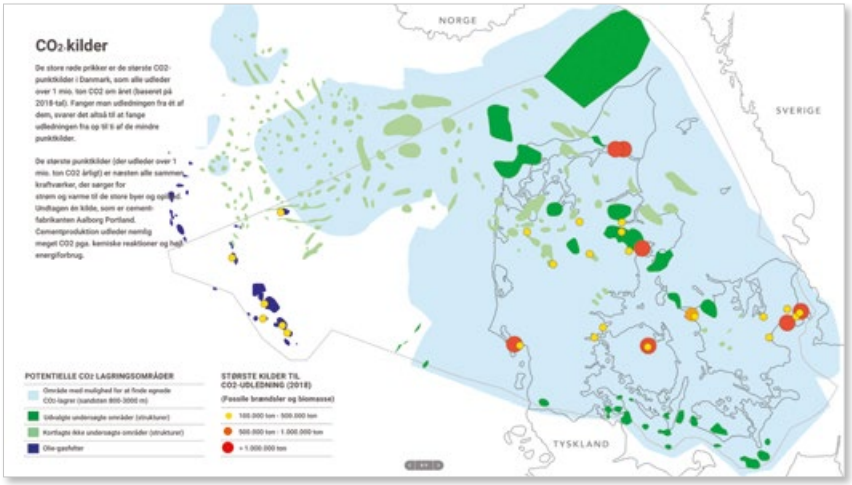


DOWNLOAD HELE PAKKEN
Under hver temaside kan du downloade en samlet mappe med bladet og artiklerne som pdf samt alle figurer og illustrationer enkeltvis. Dette er til undervisningsbrug eller til brug i skoleopgaver (med kildehenvisning).

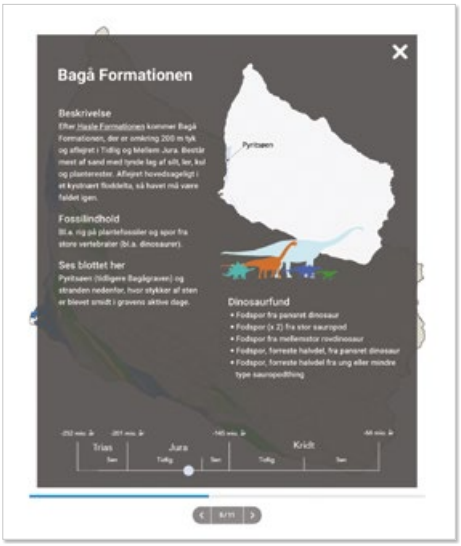
BEGREBSBIBLIOTEK
Der optræder mange fagbegreber i Geoviden, og nu har vi samlet nøglebegreberne fra alle temaer i ét stort opslagsværk. Det opdateres for hvert nyt tema. Samtidig kan du stadig finde en pdf med de temabaserede nøglebegreber på hver enkelt temaside.



ENKELTE ARTIKLER
Hvert Geoviden-tema har sin egen temaside, hvor alle artikler fra bladet ligger enkeltvis, så indholdet er nemmere at overskue og læse i bidder. På samme måde ligger tema-videoer, quizzer og andet ekstra materiale på de enkelte temasider. Du kan også stadig læse og downloade det samlede magasin.



INTERAKTIVE FIGURER
Vi vil gerne lave mange flere interaktive illustrationer og animationer, så historierne bliver sjovere at gå på opdagelse i. Og måske nemmere at huske. Du kan f.eks. klikke rundt på vores dinosaur-bornholmerkort eller se, hvor i Danmark der er potentiale for CO_2-lagring.



EKSPERTER, DER OPTRÆDER I DETTE GEOVIDEN

PER KALVIG

Chefkonsulent ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

Optræder i:

To grønlandske fjelde har sjældne jordartsmetaller til 100+ år s. 16.

Jakob Kløve Keiding
Chefkonsulent og leder af Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa) ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

Optræder i:

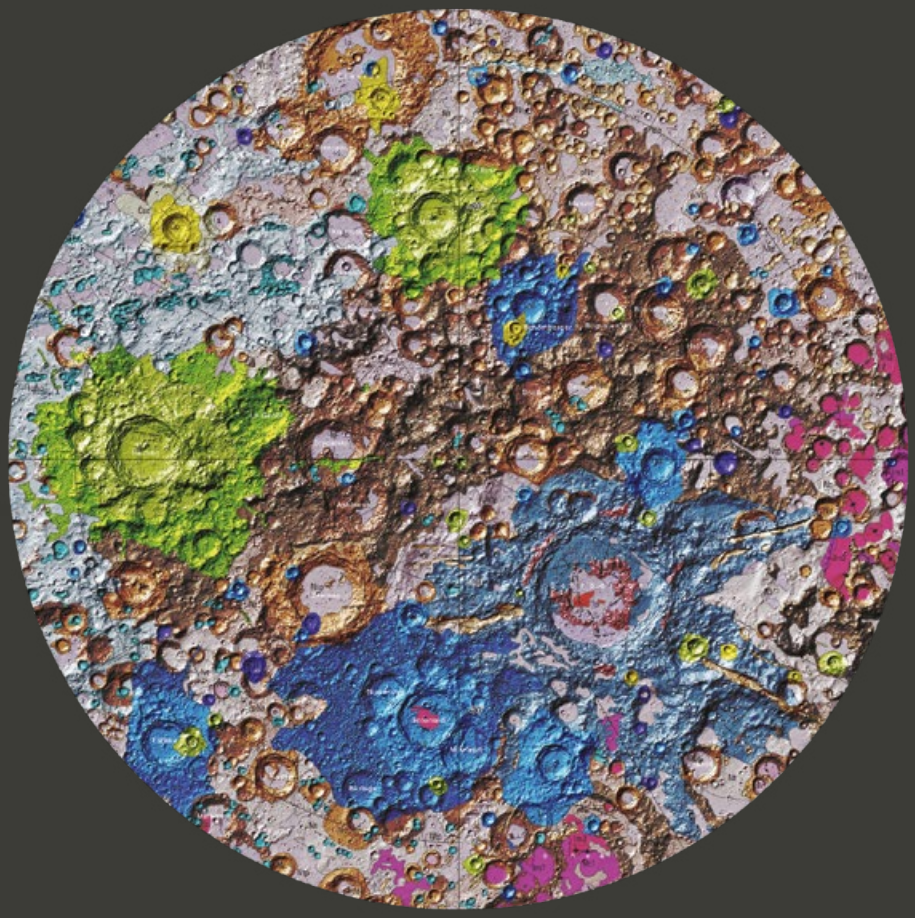
Metallerne, der ikke rigtig passede ind s. 10.

MOGENS CHRISTENSEN

Lektor i nanoscience og kemi ved Aarhus Universitet

Optræder i:

Neodymiummagneter er bare et bedre materiale s. 28.



I NÆSTE GEOVIDEN
løfter vi blikket fra jorden og undersøger geologien
hos vores nærmeste nabo: Månen.
Vi ses efter sommer!

Kort: Fortezzo, C.M., Spudis, P.D. og Harrel, S.L. (2020): 'Release of the Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5,000,000-Scale'.

GEUS

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

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING (IGN)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: ign@ign.ku.dk

STATENS NATURHISTORISKE MUSEUM (SNM)
Øster Voldgade 5–7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: snm@snm.ku.dk

AARHUS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)
AARHUS UNIVERSITET
Høegh-Guldbergs Gade 2,
B.1670
8000 Aahus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk

geo
viden

Udgiver: Geocenter Danmark

Ansvarshavende:
Mette Buck Jensen, GEUS

Redaktør og skribent:
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS

Design: Lykke Sandal, GEUS

Korrektur: Caroline Dea Rutter, GEUS

Tryk: Strandbygaard

Forside: Google Earth

Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse

Kontakt: geoviden@geus.dk

ISSN: 1604-6935 (papir)
ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

GEOCENTER
DANMARK

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet udkommer tre gange om året. Abonnement er gratis og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstramateriale såsom video.

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og Statens Naturhistoriske Museum, begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.