

# KAPITEL 28



**FIGUR 222.** Den lagdelte syenit (magmatisk bjergart) ved Kringlerne i Sydgrønland set mod syd. Dette antages at være verdens største forekomst af sjældne jordartsmetaller. Et mineselskab undersøger, om det kan betale sig at bryde forekomsten. Den har fået navnet kringlerne, fordi erosion af lagene danner forbundne cirkler, der ligner kringler. Af Per Kalvig (2014).



# SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

## HVORFOR HEDDER DET SJÆLDNE JORDARTS-METALLER?

Betegnelsen 'sjældne jordartsmetaller' er et paradoks, fordi de hverken er sjældne eller jordarter. Paradokset skyldes, at de første opdagelser blev gjort i 1787, hvor det lykkedes at påvise yttrium, som skulle vise sig at blive det første af de 17 grundstoffer, som i dag går under betegnelsen sjældne jordartsmetaller (figur 223).

Da yttrium ikke var påvist tidligere, mente man, at det måtte være et sjældent grundstof. Begrebet jordarter blev dengang brugt som betegnelse for de mindste bestanddele i naturen, altså grundstoffer. I dag ved man, at de ikke er sjældne, omend de kun findes i små mængder i Jordens skorpe. Betegnelsen sjældne jordartsmetaller har imidlertid holdt ved og forkortes ofte blot til 'sjældne jordarter', som dermed udelader den vigtigste del af navnet, nemlig metaller. Mange bruger desuden den engelske forkortelse REE, som står for 'Rare Earth Elements'.

Kemikere definerer de sjældne jordartsmetaller som gruppen lanthaniderne sammen med overgangsmetallerne scandium og yttrium, og tilsammen udgør de 17 forskellige

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | He |
| Li | Be |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| Na | Mg |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| K  | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|    |    |    | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |    |
|    |    |    | Tb | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |    |

grundstoffer i det periodiske system. Kemisk ligner de enkelte sjældne jordartsmetaller hinanden med næsten samme ionradius, de fleste er trivalente, og fælles for lanthaniderne er bl.a., at de er magnetiske. Det gennemsnitlige indhold i Jordens skorpe er omkring 9 g/ton bjergart. Men der er meget store forskelle mellem de enkelte jordartsmetaller: cerium, som er det mest almindelige i gruppen, udgør ca. 43 g/ton, hvorimod thulium og lutetium kun findes i en koncentration

**FIGUR 223.** De sjældne jordartsmetaller omfatter lanthaniderne (grundstofferne 57-71) samt overgangsmetallerne scandium (grundstof 21) og yttrium (grundstof 37). Af MiMa (2019).

på ca. 0,3 g/ton. Til sammenligning er skorpens gennemsnitlige indhold af kobber og bly henholdsvis 27 og 11 g/ton og er altså mere sjældne end cerium. Til gengæld er både guld og sølv med gennemsnitlige koncentrationer på henholdsvis 0,006 g/ton og 0,07 g/ton mere sjældne end de sjældneste sjældne jordartsmetaller. Men da guld og sølv let opkoncentreres under geologiske processer, findes der mange forekomster, og da de kulturhistorisk og økonomisk har spillet en stor rolle, er de blevet til en del af vores hverdag. Sådan kan det også blive med de sjældne jordartsmetaller.

Den industrielle anvendelse af sjældne jordartsmetaller begyndte allerede i 1884, hvor man med udgangspunkt i råstoffer fra Sverige fandt ud af at bruge lanthan og yttrium til fremstilling af glødelamper. Dette blev også starten på efterforskningen af forekomster af sjældne jordartsmetaller. Brydning af monazit, som er et af de mineraler der indeholder sjældne jordartsmetaller, begyndte i 1887 i USA og Brasilien og i Indien i 1911, men der skulle gå næsten 100 år, inden der for alvor kom gang i mineralefterforskningen af monazit. Det skete nemlig først i 2011, da verden erfarede, at priserne pludseligt steg

voldsomt, fordi Kina næsten havde opnået monopolstatus på alle led i værdikæderne for sjældne jordartsmetaller og selv kunne bestemme priserne.

### **SJÆLDNE JORDARTSMETALLER ER VIGTIGE TIL DEN GRØNNE OMSTILLING**

De sjældne jordartsmetaller bruges sammen med andre grundstoffer til materialer, som bruges i computerskærme, hukommelseskort i smartphones, linser i kameraer og i magneter til elektromotorer i biler og vindmøller (figur 224).

De sjældne jordartsmetaller indgår også i mange af de materialer, der bruges til den grønne omstilling, og de er derfor meget vigtige råstoffer. Selv om de sjældne jordartsmetaller ligner hinanden kemisk og fysisk, så er der små fysiske forskelle mellem deres egenskaber, fx graden af magnetisme og smeltepunkt. Dette gør, at nogle af de sjældne jordartsmetaller er efterspurgt til ét formål, mens andre bruges til noget andet. Neodymium, praseodymium og dysprosium bruges eksempelvis til at lave særligt stærke magneter; lanthan og cerium bruges i katalysatorer, mens yttrium især bruges til frem-

stilling af LED-lys. Der findes ingen andre grundstoffer, som kan give præcis de samme egenskaber som de sjældne jordartsmetaller, men nogle af dem kan indbyrdes erstatte hinanden.

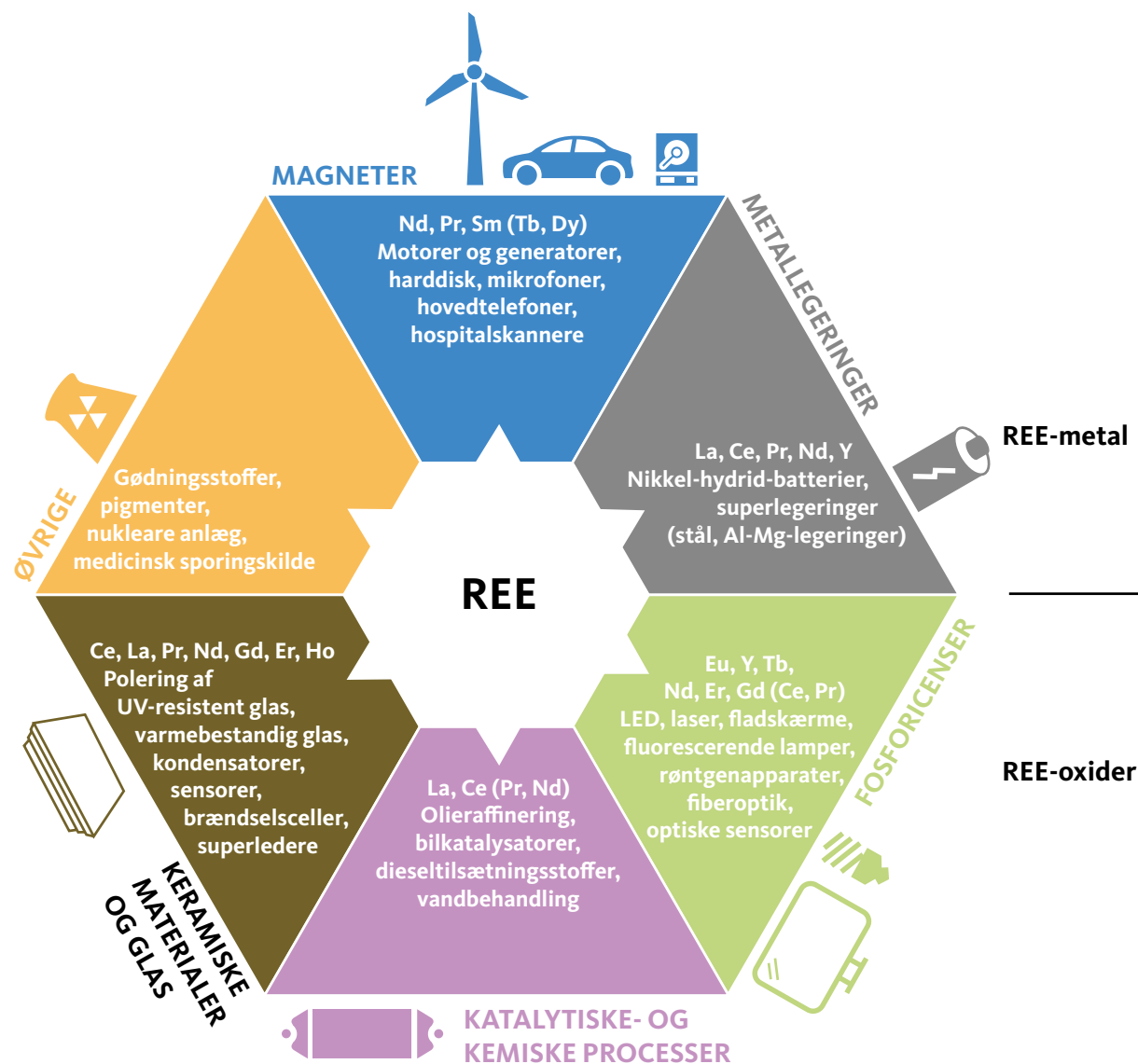
En stor del af de sjældne jordartsmetaller bruges til fremstilling af stærke permanente magneter. Magneter bruges til mange forskellige formål, men især magneter til dynamoerne i vindmøller bruger store mængder sjældne jordartsmetaller, fordi tilsætningen af sjældne jordartsmetaller betyder, at man kan lave mindre magneter, der har samme styrke som store traditionelle magneter. De lettere magneter gør det nemmere at løfte møllehuset med dynamoen op og montere det på toppen af mølletårnene. Men der bruges også store mængder magneter i biler. I almindelige biler sidder der omkring 70 små magneter, fortrinsvis placeret i små elektromotorer, der bl.a. bruges til at drive viskerblade, åbne vinduer, stille sidespejle, skubbe sæderne frem og tilbage, dreje hjulene så det er lettere at styre, få højtalere til at spille og til power-steering. Og igen, fabrikanterne vil hellere have små kraftige magneter end større og/eller svagere magneter. I en almindelig diesel- eller benzindre-

vet bil bruges der typisk omkring 0,5 kg sjældne jordartsmetaller, mens der i el- og hybridbiler bruges store magneter til elmotoren, så det samlede indhold er omkring 5 kg. Men sjældne jordartsmetaller bruges ikke kun til magneter i bilerne; det bruges også til Li-ion-batterier, som bruges i eldrevne biler. Da markedet for elbiler vokser hurtigt vokser forbruget af sjældne jordartsmetaller også meget hurtigt.

#### FORSYNINGSKÆDEN FRA MINE TIL MOBIL

Minerne er det første led i forsyningskæden af sjældne jordartsmetaller. I minerne brydes de bjergarter, som indeholder de sjældne jordartsmetal-mineraler (figur 225). Mineselskabet behandler bjergarten på en sådan måde, at de kan fremstille et produkt, der kun består af mineralet med de sjældne jordartsmetaller, som sælges til virksomheder, der er specialiserede i at frigøre metallerne fra mineralet. Det sker typisk ved at mineralet opløses i en syre, og alle 16 sjældne jordartsmetaller (promethium er radioaktiv og henfalder, derfor kun 16 og ikke 17 grundstoffer) findes derfor først på væskeform. Inden de kan bruges, skal væsken behandles, så de enkelte grundstoffer adskil-

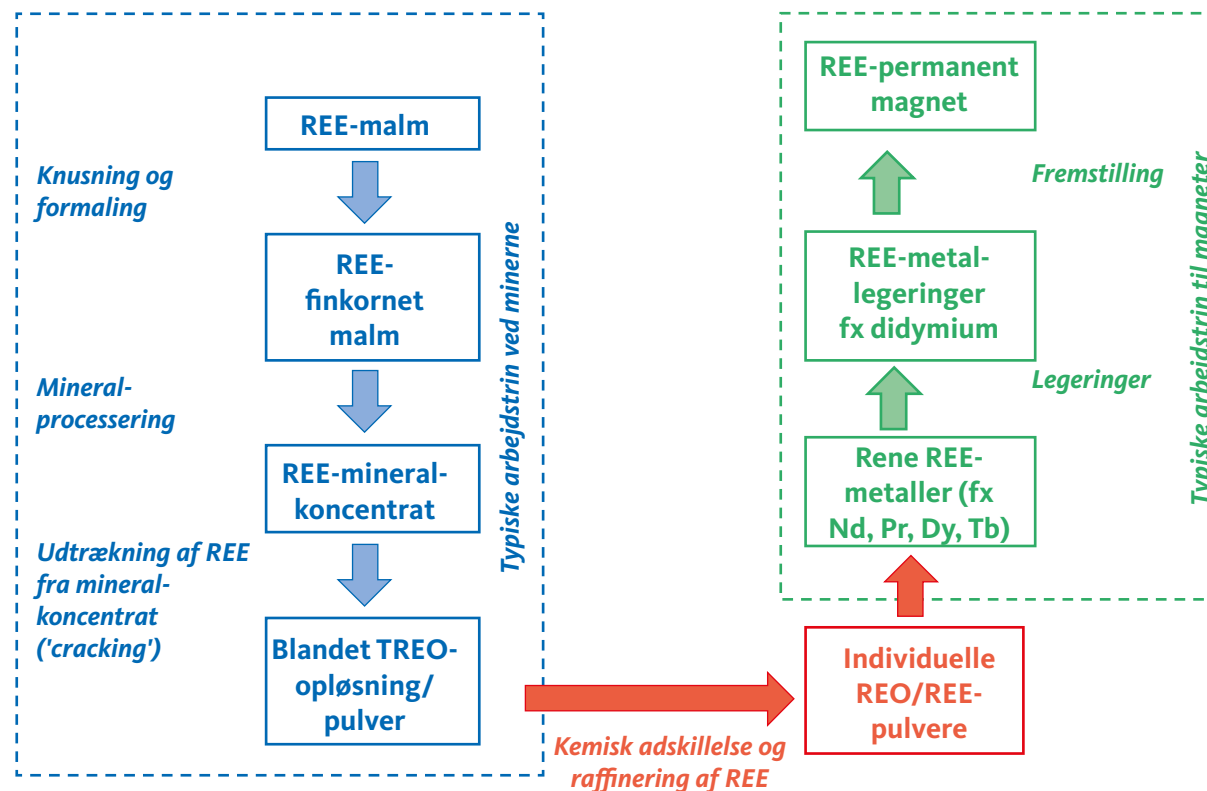
**FIGUR 224.** Oversigt over de seks vigtigste områder som bruger sjældne jordartsmetaller. Efter EURARE (2017).



les fra hinanden. Da de sjældne jordartsmetaller kemisk og fysisk har store ligheder, er det en teknisk kompliceret proces, som kun få virksomheder i verden kan udføre; Kina er helt dominerende på dette område. Man anvender hovedsagelig en teknik, som kaldes ion-bytter-metoden. Efter adskillelsen er der i princippet 16 forskellige halvfabrikata, som sælges videre til virksomheder, som har specialiseret sig i at raffinere og blande disse halvfabrikata til produkter, som kan bruges industrielt. Hver type industri har helt specifikke krav til metallernes kemiske sammensætning afhængig af, hvilke produkter de skal indgå i. Nogle industrier skal bruge de sjældne jordartsmetaller på en form, hvor de er bundet til karbonat; til andre formål skal de være bundet til klor, mens produkterne skal være helt rene metaller til magneter. Kina har opbygget en industri, som er specialiseret i disse produkter, og Kina kontrollerer det globale marked for sjældne jordartsmetaller.

### HVAD MED MILJØET?

Fremstilling af råstoffer til grønne energiteknologier er ikke i sig selv 'grønt' eller bæredygtigt. Det gælder også produktionen af



**FIGUR 225.** Principdiagram for de forarbejdningstrin som sjældne jordartsmetal-mineraler skal igennem for at blive til de råvarer, som industrien efterspørger.

Den blå del viser de trin, som typisk udføres ved minen, mens de røde og grønne dele beskriver processer, som oftest udføres i Kina. Hver af de grønne kasser udføres af virksomheder, som har specialiseret sig i netop disse processtrin.

Forklaring: REE = Rare Earth Elements, REO = Rare Earth Oxides og TREO = Total Rare Earth Oxides. Efter Machacek & Kalvig (2017).

råstoffer med sjældne jordartsmetaller, hvor især følgende forhold belaster miljøet:

I lighed med fremstilling af mange andre mineraler skal der bruges meget energi til fremstilling af de mange forskellige sjældne jordarts-produkter, både til udvinding og raffinering. Der er desuden et betydeligt vandforbrug. De mineralforekomster, som indeholder sjældne jordartsmetaller, indeholder ofte også uran og/eller thorium. Begge er radioaktive grundstoffer, der kan give anledning til miljøproblemer for de mennesker, der arbejder med brydning og forarbejdning af mineralerne og for mennesker og dyr i nærheden af minen og forarbejdningsanlæggene.

Der er særligt store miljøproblemer knyttet til udvinding af sjældne jordartsmetaller fra den type af forekomster, hvor de er bundet til lermineralers overflade. Denne type kaldes for ion-adsorptions-forekomster og findes især i Kina. Miljøbelastningen skyldes primært metoden, hvorved de sjældne jordartsmetaller udvindes: typisk er der tale om småskala-minearbejdere, som hælder store mængder lud ud over en forekomst; herved frigøres de sjældne jordartsmetaller

fra lermineralerne, og man indsamler efterfølgende væsken. Men meget lud trænger ned og forurener undergrunden. Kina er i gang med at stramme op på miljøforholdene for denne produktionsform.

Sjældne jordartsmetaller er væsentlige for omstilling til vedvarende energi og dermed for at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen. Men under fremstillingen af magneter og batterier, som indeholder betydelige mængder sjældne jordartsmetaller, udledes også CO<sub>2</sub>. Omfanget af denne CO<sub>2</sub>-udledning varierer både fra fabrik til fabrik, men især imellem de forskellige typer af produkter. Kinesiske forskere har beregnet udledningen til at være mellem 165-672 kg CO<sub>2</sub> pr. ton produceret REE-metal.

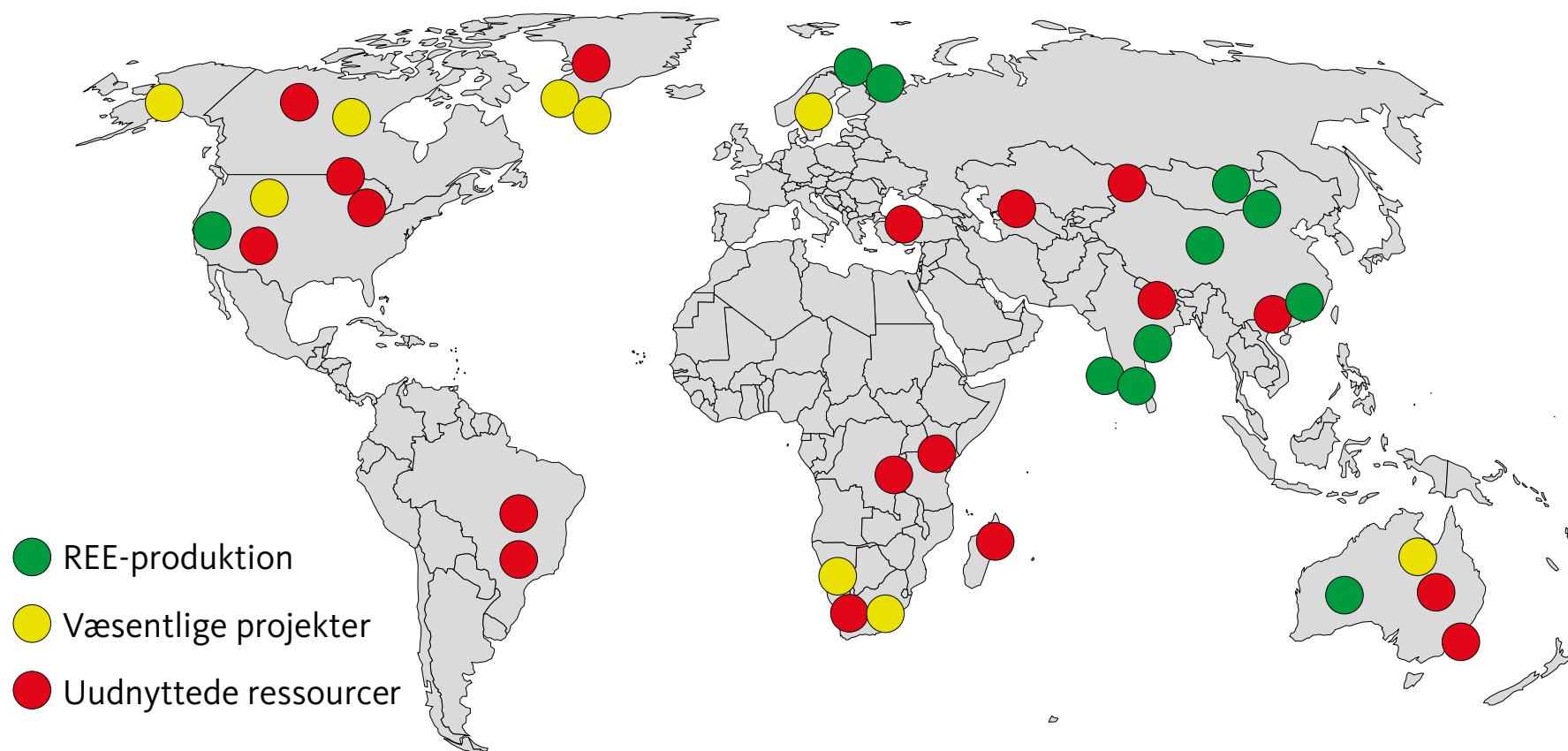
#### **GEOLOGISKE MILJØER MED FOREKOMSTER AF SJÆLDNE JORDARTSMETALLER**

Mineralforekomster, hvor der er højt indhold af de sjældne jordartsmetaller, findes i flere forskellige geologiske miljøer og i mange forskellige lande (figur 226). Geologerne deler dem op i tre hovedtyper:

- De magmatiske forekomster som er dannet fra magmatiske smelter i Jordens skorpe. Der kendes mere end 500 fore-

komster af denne type. De er ofte knyttet til riftområder, og mange findes derfor i Østafrika, i det østlige Canada og i Oslofjordens riftzone ved byen Fen. Langt størstedelen af verdens REE produceres fra denne gruppe, hvor Bayan Obo-forekomsten i Kina er den største.

- De sedimentære forekomster som består af forvittringsprodukter, herunder bl.a. tung og robuste REE-mineraler bliver opkoncentreret i floder og kystzoner. Denne type kaldes også for tungsandsforekomster. I Asien er dette en vigtig type. I Europa kendes denne type fra Sverige og Østgrønland, hvor den dog ikke er i produktion.
- Som en undergruppe under de sedimentære typer findes ion-adsorptions-forekomsterne. De opstår, hvor surt nedsvigende grundvand over lange tidsperioder (tusindvis af år) har udvasket de sjældne jordartsmetaller fra granit. Ionerne af de sjældne jordartsmetaller udfælder og sætter sig på overfladen af lermineraler, og over tid sker der en opkoncentrering. Denne forekomsttype er vigtig i Kina.



**FIGUR 226.** Geografisk fordeling af REE-miner og -efterforskning. På basis af Kalvig & Machacek (2018).

### MINERALER SOM INDEHOLDER SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

Der kendes mere end 200 forskellige mineraler, som indeholder sjældne jordartsmetaller. De mest almindelige er bastnäsit, monazit, xenotim og loparit. Det karakteristiske for disse mineraler er, at de altid indeholder alle 16 sjældne jordartsmetaller (med undtagelse af promethium, som er radioaktivt og henfalder meget hurtigt). Faktisk findes der ikke mineraler, som kun indeholder et udvalg af de sjældne jordartsmetaller. Men hvert af mineralerne har et givent forhold mellem de enkelte metaller, og tilsvarende er den mængde sjældne jordartsmetaller, der er i mineralet, bestemt af mineralets karakteristiske krystalstruktur. Mineselskaberne foretrækker derfor de mineraler, som har den mest værdifulde sammensætning af sjældne jordartsmetaller (figur 227).

I Sydgrønland arbejder flere mineselskaber på at udvinde sjældne jordartsmetaller af mineralerne steenstrupin og eudialyt. I 2019 er der ikke andre mineselskaber, som udnytter disse mineraler, og derfor skal mineselskaberne i Grønland udvikle nye metoder for at kunne fremstille de endelige produkter af

| REE-mineraler     | Kemisk formel  | Vægt% REO |
|-------------------|--|-----------|
| <b>Carbonater</b> |  |           |
| Bastnæsit         | $\text{CeCO}_3\text{F}$  | 75        |
| <b>Fosfater</b>   |  |           |
| Apatit            | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$   | -         |
| Monazit           | $\text{CePO}_4$  | 70        |
| Xenotim           | $\text{YPO}_4$   | 61        |
| <b>Oxider</b>     |  |           |
| Loparite          | $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Ca}, \text{Sr})(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3$  | 30        |
| <b>Silikater</b>  |  |           |
| Allanit           | $\text{CaNdAl}_2\text{Fe}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$   | 23        |
| Eudialyt          | $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{Cl}, \text{OH})_2$ | 9         |
| Fergusonit        | $\text{CaNdAl}_2\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$   | 53        |
| Steenstrupin      | $\text{Na}_{14}\text{Ce}_6(\text{Mn}_2)_2(\text{Fe}_3)_2\text{Zr}(\text{PO}_4)_7\text{Si}_{12}\text{O}_{36}(\text{OH})_{23}\text{H}_2\text{O}$           | 31        |

sjældne jordartsmetaller.

### DEN GEOGRAFISKE FORDELING AF MINER MED SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

I 2018 var der minedrift efter sjældne jordartsmetaller i følgende syv lande: Australien, Brasilien, Burundi, Indien, Kina, Rusland og Vietnam (figur 226). Af disse produktioner er det kun malmen fra Australien og Rusland, som ikke forarbejdes i Kina. Den australske malm forarbejdes i Malaysia,

**FIGUR 227.** De mest almindelige mineraler der indeholder sjældne jordartsmetaller. Efter Machacek & Kalvig (2017).

men en betydelig del af produkterne sælges efterfølgende til Kina. Rusland forarbejder selv malmen, men der er meget lidt viden om, hvad der efterfølgende sker med denne produktion.

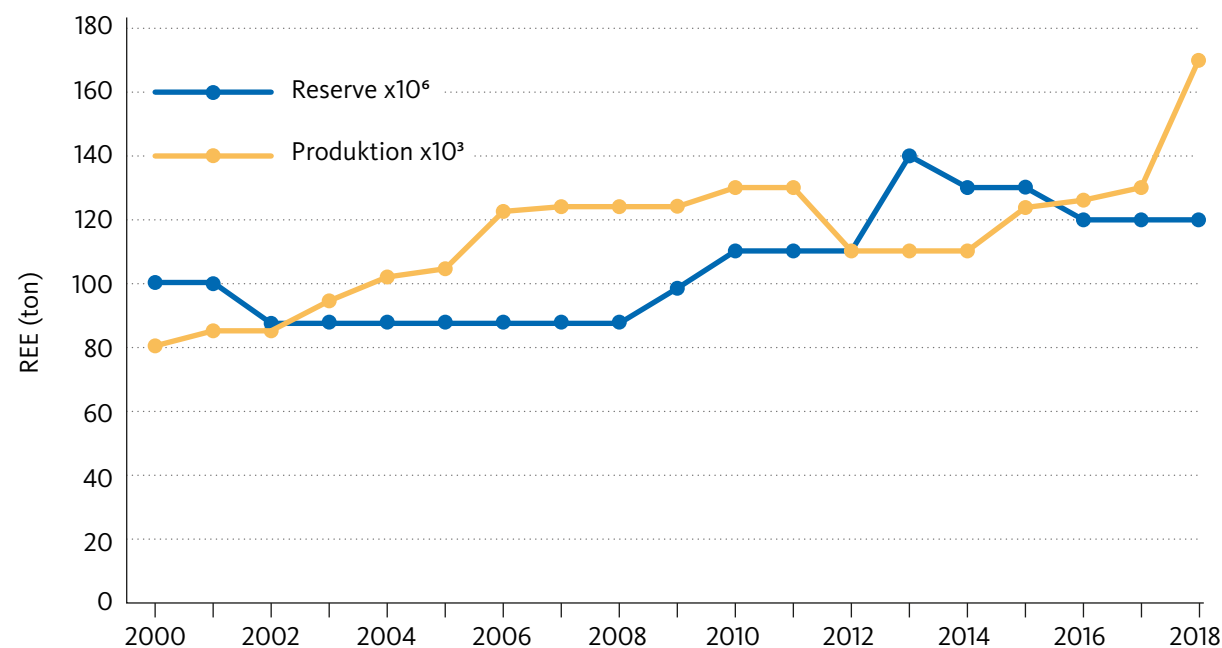
### INGEN GEOLOGISK MANGEL PÅ SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

Da Kina næsten har monopol på forsyningskæderne for de sjældne jordartsmetaller, har mange industrier i lande uden for Kina van-



skeligt ved at få tilstrækkelige forsyninger af de materialer og produkter, som indeholder sjældne jordartsmetaller. En del af disse industrier har stor økonomisk betydning. Set fra en europæisk synsvinkel, er materialer med sjældne jordartsmetaller økonomisk vigtige samtidig med, at forsyningssituationen er meget usikker, fordi Kina kan bestemme, hvor meget der sælges til de forskellige typer af industrier og til hvilke lande. Dette forsyningsproblem omtales ofte som at de sjældne jordartsmetaller er kritiske.

Det er værd at bemærke, at kritisk i denne forstand betyder, at det er økonomisk vigtigt, samtidig med at det kan være vanskeligt for virksomhederne at få tilstrækkelige mængder. Men det siger altså ikke noget om en geologisk mangel på forekomster med sjældne jordartsmetaller. Reserverne er på mere end 120 mio. ton, så med et forbrug på ca. 170.000 ton om året (i 2019) (figur 228 og figur 229), er der til omkring 800 år med det nuværende forbrug. Hertil kommer, at der er meget store ressourcer, som på sigt sikkert også kan indgå i reserverne.



### GRØNLANDS SJÆLDNE JORDARTSMETALLER

Som nævnt er de sjældne jordartsmetaller meget efterspurgte råstoffer til især omstillingen til de nye energiteknologier. Derfor er der meget stor interesse for at finde nye mineralforekomster med sjældne jordartsmetaller, som kan udnyttes. Nogle af disse forekomster ligger i Grønland, og otte af disse forekomster har så højt indhold, at flere mineselskaber har investeret i undersøgelser af, om det er økonomisk rentabelt at lave en

**FIGUR 228.** Oversigt over den globale produktion af sjældne jordartsmetaller i perioden 2000 til 2018 (gul kurve). Der ses en generelt stigende tendens.

Den blå kurve viser, hvor store reserverne er i de pågældende år; de er vokset lidt. Med det nuværende forbrug er der reserver til omkring 800 år. Hertil kommer mange kendte ressourcer.

Af MiMa efter data fra USGS (2000-2019).

mine (figur 231). Seks af disse forekomster er imidlertid opgivet, fordi det blev vurderet, at de ikke var økonomisk rentable. Men i Sydgrønland, ved byerne Narsaq og Qaqortoq, findes der to meget store forekomster, Kvanefjeld og Kringlerne. De indeholder begge nogle af verdens største forekomster af sjældne jordartsmetaller, og to mineselskaber har lavet efterforskning og ønsker nu at etablere en mine. De har derfor begge søgt de grønlandske myndigheder om en udnyttelsestilladelse, dvs. om tilladelse til at bryde forekomsterne. Først når de har fået myndighedernes tilladelser, kan arbejdet med at opbygge miner og infrastruktur gå i gang.

I geologisk terminologi tilhører forekomsterne Kvanefjeld og Kringlerne gruppen af magmatiske forekomster. De er dannet i tilknytning til en riftudvikling i Sydøstgrønland, som fandt sted for 1,3-1,2 mia. år siden. I Sydgrønland kaldes denne udviklingsperiode for Gardar-perioden, en periode som geologisk kan følges over 4.000 km og spores ind i det østlige Canada. Gardar-perioden er karakteriseret ved, at specielle magmaer (syeniter) trængte ind i brudzonerne, og mineraler med mange specielle metaller, bl.a. sjældne jordartsmetaller, findes i dag over et stort

|              | Mineproduktion |         | Reserver     |
|--------------|----------------|---------|--------------|
|              | 2010           | 2018    | 2018         |
| USA          | (Ingen data)   | 15.000  | 1.400.000    |
| Australien   | -              | 20.00   | 3.400.000    |
| Brasilien    | 500            | 1.000   | 22.000       |
| Myanmar      | -              | 5.000   | (Ingen data) |
| Burundi      | -              | 1.000   | (Ingen data) |
| Kina         | 130.000        | 120.00  | 44.000.000   |
| Indien       | 2.700          | 1.800   | 6.900.000    |
| Malaysia     | 350            | 200     | 30.0000      |
| Rusland      | (Ingen data)   | 2.600   | 12.000.000   |
| Thailand     | (Ingen data)   | 1.000   | (Ingen data) |
| Vietnam      | (Ingen data)   | 400     | 22.000.000   |
| Andre lande  | (Ingen data)   | -       | 4.400.000    |
| Verden total | 133.550        | 170.000 | 120.000.000  |

område i Sydgrønland (figur 232). Området, som domineres af Gardar-periodens bjergarter, betegnes også som Gardar-provinsen. En anden forekomst fra Gardar-perioden er kryolitforekomsten ved Ivittuut, hvor det sjældne mineral kryolit blev udvundet i mere end 100 år. Mange forekomster i dette område af Sydgrønland, foruden Kvanefjeld og Kringlerne, har forhøjet indhold af sjældne jordartsmetaller, niobium, tantal, zirkon og uran.

Selvom Kvanefjeld og Kringlerne er en del af samme geologiske historie og ligger tæt på

**FIGUR 229.** Oversigt over lande som udvandt sjældne jordartsmetaller i 2010 og 2018. Bemærk at tallene er meget usikre. Efter USGS (2011) og USGS (2019).

**FIGUR 230.** Sjældne jordartsmetaller i billeder.

**A.** Udsigt mod Kvanefjeld, Sydgrønland, hvor et mineselskab arbejder på at etablere en mine for brydning af sjældne jordartsmetaller.

**B.** En geolog undersøger en bjergart med sjældne jordartsmetaller ved Kringlerne, Sydgrønland, hvor et mineselskab ønsker at anlægge en mine.

**C.** Prøvetagning af bjergarter med sjældne jordartsmetaller ved Kringlerne, Sydgrønland, hvor et mineselskab ønsker at anlægge en mine.

**D.** En geolog laver et profil for at undersøge, hvor der er højt indhold af sjældne jordartsmetaller, Kringlerne, Sydgrønland.

**E.** Prøve af steenstrupin, som indeholder sjældne jordartsmetaller og uran, fra Kvanefjeld i Sydgrønland, hvor et mineselskab ønsker at anlægge en mine.

**F.** Stor krystal af mineralet eudialyt, som indeholder sjældne jordartsmetaller

Fotos A-C Per Kalvig, D-F Anouk Borst.



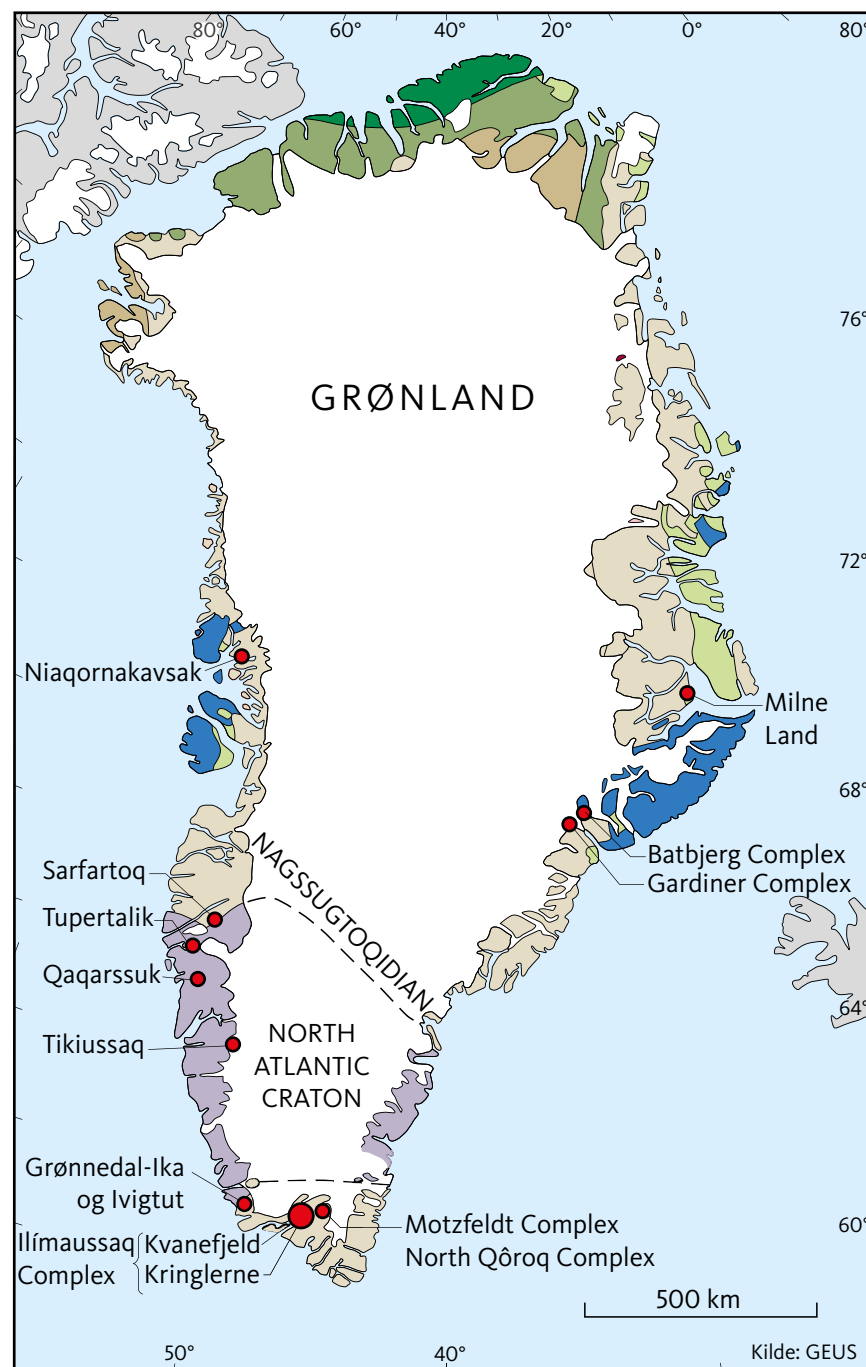


hinanden (ca. 15 km), har de alligevel forskellige mineraler. Det skyldes, at de begge er en del af et lagdelt magma, hvor de bjergarter, der danner Kringlerne ligger under de bjergarter, der danner Kvanefjeld. Det vil sige, at der har været forskellige kemiske forhold i magmaet, hvilket bl.a. har medført, at Kvanefjeldets indhold af sjældne jordartsmetaller findes i mineralet steenstrupin, mens de i Kringlerne findes i mineralet eudialyt. Steenstrupin indeholder også uran, hvilket eudialyt ikke gør; det indeholder derimod lidt niobium, tantal og zirkon.

### PROJEKT KVANEFJELD

Siden 2007 har forskellige mineselskaber udviklet planer for, hvordan der kan etableres minedrift i forbindelse med Kvanefjeld og Kringlerne for at udnytte forekomsternes indhold af sjældne jordartsmetaller. I det følgende ser vi nærmere på planerne for Projekt Kvanefjeld.

Det australske mineselskab Greenland Minerals (GM) fik i 2007 af de grønlandske myndigheder tilladelse til at undersøge området ved Kvanefjeld for at finde ud af, om lokalitetens indhold af sjældne jordartsmetaller



**FIGUR 231.** Der kendes 12 forekomster af sjældne jordartsmetaller i Grønland, hvoraf otte har været undersøgt af mineselskaber.

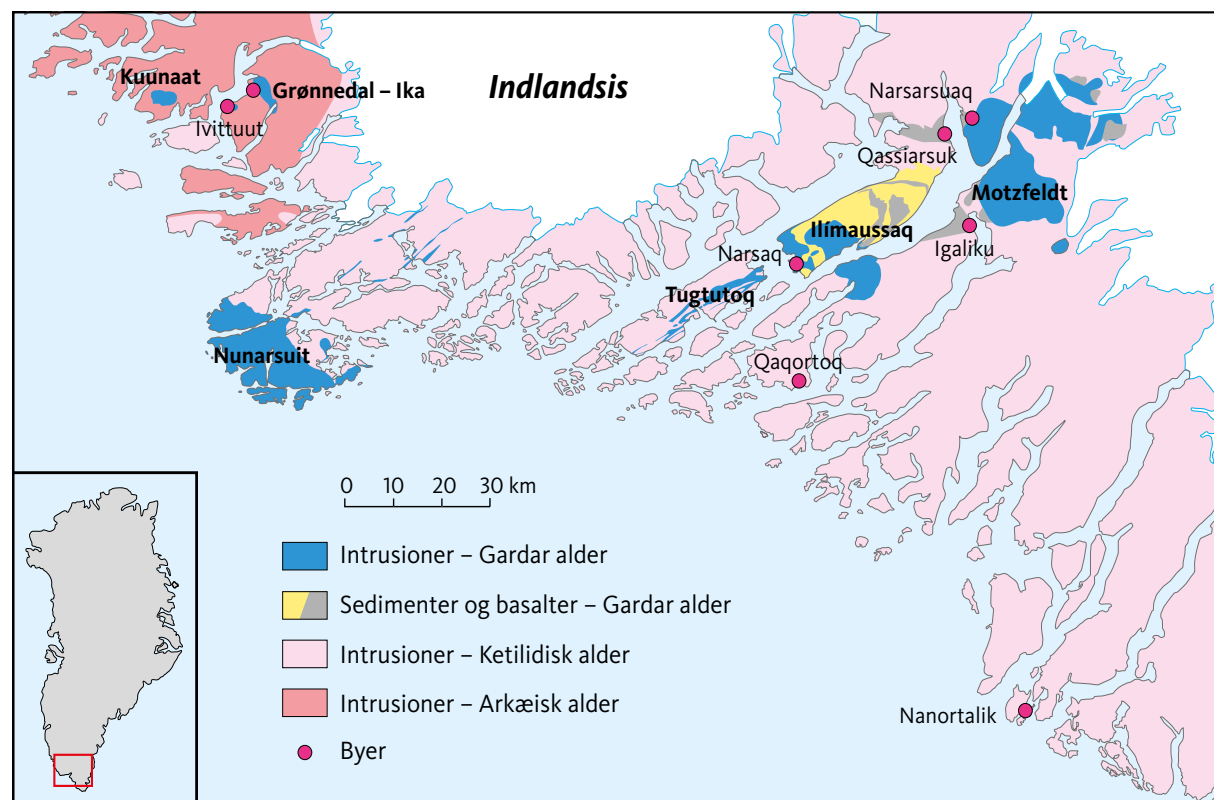
Blandt disse er forekomsterne Kvanefjeld og Kringlerne, som er så store, at det forventes, at de alene ville kunne forsyne verden med sjældne jordartsmetaller i mere end 100 år. To mineselskaber er i gang med at undersøge, om det er økonomisk rentabelt at udnytte forekomsterne. I 2019 var disse undersøgelser ikke afsluttet. Efter Goodenough et al. (2016).

- Cenozoiske basalter
- Devon-Palaeogene sedimenter
- Cambriske-Siluriske sedimenter
- Proterozoiske sedimenter og vulkanitter
- Nord Grønlands foldebælte (Palaeozoikum)
- Prækambrisk skjold (Nagssugtoqidian) (1.600–3.100 mio. år)
- Prækambrisk skjold (2.500–3.900 mio. år) North Atlantic Craton
- REE-forekomster

var tilstrækkeligt til etablering af en mine. Tilladelsen er en såkaldt mineral-efterforskningstilladelse, som beskriver, hvilke undersøgelser selskabet har lov til at gennemføre, og hvordan det skal foregå, så det er miljømæssigt forsvarligt.

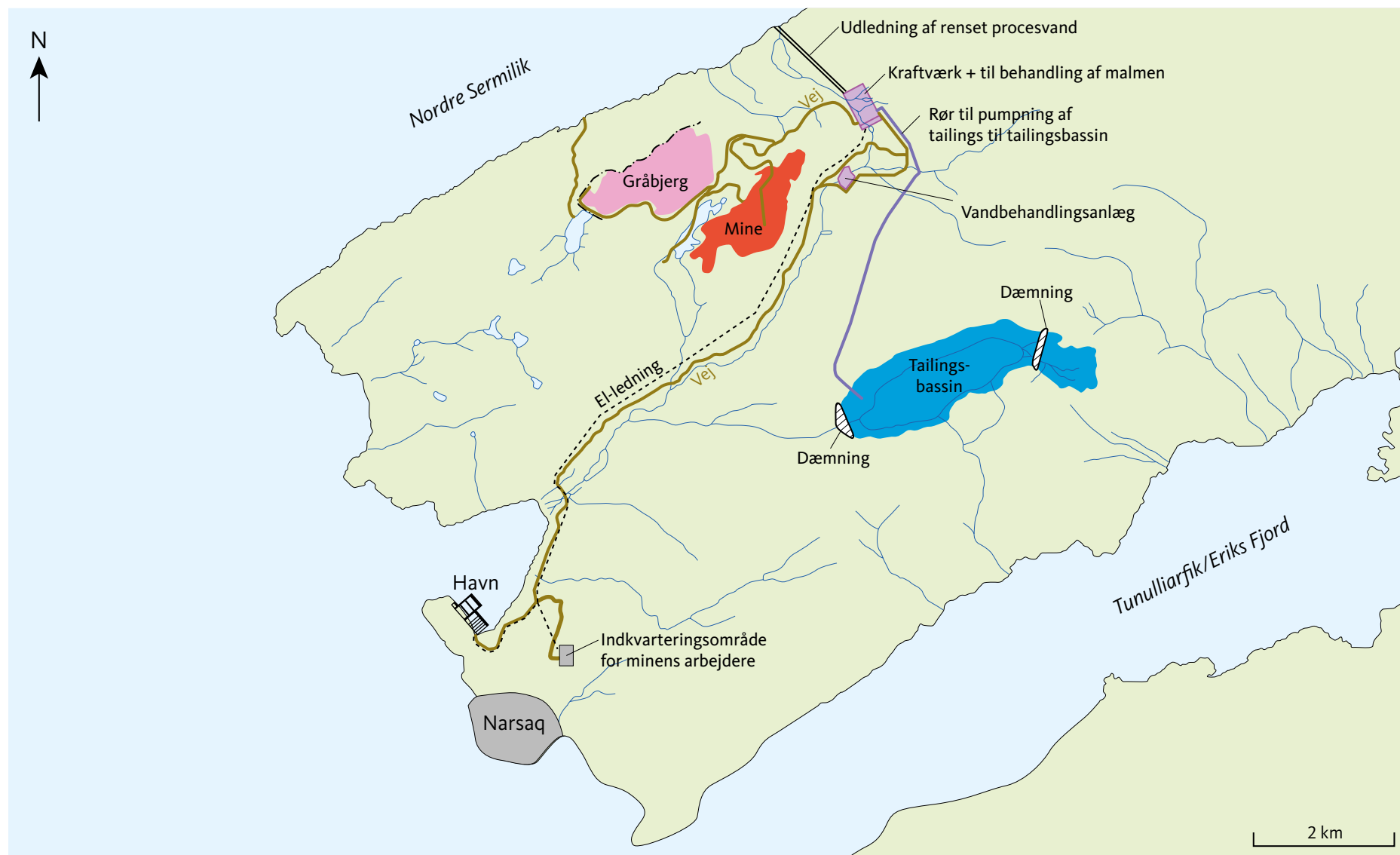
Kvanefjeld ligger 8 km nord for byen Narsaq med knap 1.400 indbyggere (2019). Byen har ikke den fornødne infrastruktur til en ny, stor mine. Derfor har mineselskabet udarbejdet planer for anlæg af nye veje, havn og energiproduktion (dieselgenerator) for selve minen, inklusiv det anlæg, som skal behandle malmen. GM planlægger at bryde malmen i en stor åben mine. Fra minen skal malmen køres til et anlæg, hvor bjergarterne bliver knust. Mineralet steenstrupin, som indeholder de sjældne jordartsmetaller og uran, skal derefter separeres fra bjergarternes øvrige mineraler. Selskabet planlægger, at de mineraler som ikke er interessante for udvindingen af sjældne jordartsmetaller, de såkaldte tailings, skal deponeres i en sø syd for minen, som i den ene ende skal lukkes med en 35 m høj dæmning (figur 233).

Efter separationen skal steenstrupin-mineralerne opløses i en syre, for at der kan



**FIGUR 232.** Gardar-periodens intrusioner er knyttet til en tidlig kontinental riftzone. Disse intrusioner har ofte forhøjet indhold af mindre almindelige metaller som fx sjældne jordartsmetaller, niobium, tantal, zirkon og uran. Mange mineselskaber har derfor gennemført mineralefterforskning i området, og det vurderes stadig, om det er muligt at etablere miner ved Kvanefjeld og Kringlerne for at udnytte de sjældne jordartsmetaller samt biprodukter af niobium, tantal, zirkon og uran. Efter Kolb et al. (2016).

**FIGUR 233.** Greenland Minerals plan for mine og infrastruktur for Projekt Kvanefjeld ved Narsaq i Sydgrønland. Som det ses, er selve minen kun en mindre del af projektet, der yderligere vil bestå af et anlæg, som behandler malmen, et deponeringsområde til tailings og gråbjerg, rørforinger til tailings og spildevandsstrømme, transportveje, dieselgenerator til forsyning af strøm, elledninger, havneanlæg og en ny by til de ansatte. Efter Lupton & Brook (2018).





fremstilles et koncentrat af alle de 16 sjældne jordartsmetaller. Herudover vil man producere biprodukter af uran, fluor og zink. Ved biprodukter forstås mineraler, som man lige så godt kan udvinde i forbindelse med ekstraktionen af hovedproduktet, uanset at disse kun i mindre grad bidrager til selskabets indtægter.

Fra fabrikken i Kvanefjeldsområdet vil man køre de udvundne koncentreter til havnen ved Narsaq, hvorfra de udskibes. Koncentreterne med sjældne jordartsmetaller vil sandsynligvis blive eksporteret til Kina, hvor de enkelte sjældne jordartsmetaller skal separeres fra hinanden og efterfølgende forarbejdes yderligere, så de kan bruges af virksomheder, som fremstiller magneter, skærme til smartphones, elektronik, katalysatorer osv.

#### **MINEARBEJDE KRÆVER SPECIALISTER**

Når minen er i drift, forventer mineselskabet, at der er brug for ca. 300 ansatte til at drive minen og anlæggene. Denne arbejdsstyrke vil især være specialister, som der ikke findes mange af i Grønland, og derfor vil en betydelig del af arbejdsstyrken komme fra

udlandet. Det vil også være nødvendigt at lave et boligområde ved minen, hvor minens ansatte kan indkvarteres.

Selskabets foreløbige beregninger viser, at der med sikkerhed er malm nok til ca. 35 års minedrift; og med det nuværende forbrug sandsynligvis endda til mere end 100 års produktion. Hvis denne plan bliver godkendt, må det forventes, at en lille by som Narsaq vil ændre sig betydeligt fra det nuværende samfund, som domineres af fiskeri, fåreavl, grøntsagsdyrkning og turisme, til en mere industrialiseret by med en stor havn, store veje og nye indbyggere, som arbejder i minen.

#### **MILJØUDFORDRINGERNE**

Inden myndigheder kan beslutte, om de vil godkende et mineprojekt, skal der foretages en vurdering af virkninger på miljøet, også kaldet en VVM-redegørelse. Greenland Minerals har udarbejdet en sådan VVM-redegørelse for Kvanefjeldsprojektet. Indbyggere og myndigheder i Narsaq har især haft fokus på tre miljøudfordringer:

- Minens eventuelle indflydelse på, hvor meget uranholdigt støv der kommer til

Narsaq, når de stærke 'sydøst-storme' (Føhn-vinde) passerer mineområdet i retning mod Narsaq.

- Forekomsten indeholder et vandopløseligt mineral, villiaumit, som bevirker en forhøjet fluorudledning i det vand, som kommer fra mineområdet.
- Der stort fokus på, om deponeringen af tailings, som beskrevet af selskabet, vil være miljø- og sikkerhedsmæssigt forsvarlig.

Myndighederne vurderer stadig i slutningen af 2019, om der kan gives tilladelse til at etablere minen.

**NØGLEBEGREBER**

- Sjældne jordartsmetaller / Rare Earth Elements (REE)
- Forsyningskæde
- Kritiske råstoffer
- Magmatiske forekomster
- Tungsandsforekomster
- Ion-adsorptions-forekomster.
- Infrastruktur til mineprojekter
- Gardar-periode
- Syenit
- Kontinental riftzone
- Udnyttelsestilladelse
- Efterforskningstilladelse
- VVM-redegørelse (Vurdering af Virkninger på Miljøet)
- Tailings
- Biprodukter
- Føhn-vind

**REFERENCER**

EURARE. (2017). What are Rare Earth Elements? Hentet fra <http://www.eurare.org/RareEarthElements.html>

Goodenough, K. M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J., ... Keulen, N. (2016). Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 72, 838–856.

Kalvig, P., & Machacek, E. (2018). Examining the rare-earth elements (REE) supply--demand balance for future global wind power scenarios. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 41, 87–90.

Kolb, J., Keiding, J. K., Steinfeld, A., Secher, K., Keulen, N., Rosa, D., & Stensgaard, B. M. (2016). Metallogeny of Greenland. *Ore Geology Reviews*, 78, 493–555.

Lupton, R., & Brook, M. (2018). Greenland Minerals and Energy A/S Kvanefjeld Project Environmental Impact Assessment. Hentet fra <https://noah.dk/sites/default/files/inline-files/Greenland%20Minerals%20and%20Energy%20AS%20Kvanefjeld%20Project%20Environmental%20Impact%20>

[Assessment%20%28October%202018%29.pdf](https://noah.dk/sites/default/files/inline-files/Greenland%20Minerals%20and%20Energy%20AS%20Kvanefjeld%20Project%20Environmental%20Impact%20Assessment%20%28October%202018%29.pdf)

Machacek, E., & Kalvig, P. (2017). Development of a Sustainable Exploitation Scheme for Europe's Rare Earth Ore Deposits. Hentet fra <http://www.geus.dk/media/9099/nyheder-07-04-2017-road-map-for-ree-material-supply-autonomy-in-europe.pdf>

USGS. (2000-2019). Mineral Commodity Summaries. Hentet fra <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/index.html>