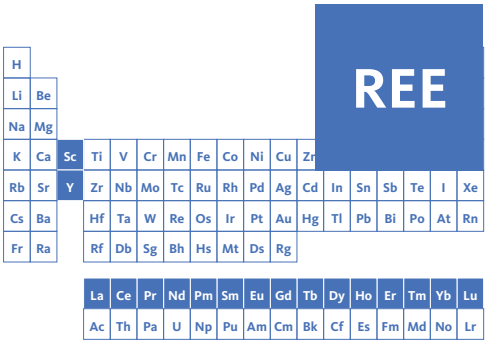
GEUS
MiMa
Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer
FAKTAARK OM RÅSTOFFER
NR.15



Sjældne jordarts-metaller (REE)

De sjældne jordartsmetaller (Rare Earth Elements (REE)) er fællesbetegnelsen for 17 grundstoffer. De første sjældne jordartsmetaller blev opdaget omkring år 1800, men det tog 100 år, før de alle var identificeret. Betegnelsen "de sjældne jordartsmetaller" er misvisende, da de geologisk set ikke er sjældne og ikke er jordarter. Der findes derimod kendte geologiske reserver af sjældne jordartsmetaller til flere hundrede års forbrug.

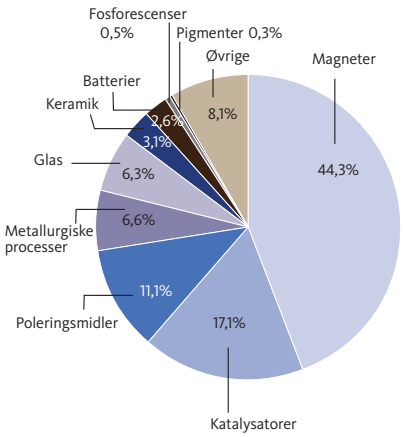
Omkring år 1900 begyndte man at bruge de sjældne jordartsmetaller i gaslamper og til farvning af glas. Den store industrielle efterspørgsel startede først i 1980'erne, hvor de især blev anvendt til katalytiske processer i olie- og bilindustrien, og REE-magneter vandt frem. I de seneste 15 år har især efterspørgsel af stærke magneter til vindenergi og el-køretøjer været styrende, og resulteret i en produktionsvækst på 250 % i perioden 2003-2023. I 2023 blev der udvundet 350.000 ton REE. Heraf udvandt Kina 2/3, efterfulgt af USA, Myanmar og Australien. Derudover har Kina styrket sin position som dominerende producent af værdikæderne fra mine til magnet. Stagnerende priser, højt specialiseret teknologi, i kombination med nichemarkeder som Kina dominerer, gør det vanskeligt at etablere egne uafhængige forsyningskæder uden for Kina. Den store efterspørgsel i kombination med Kinas dominans har bevirket, at man i EU og USA betragter de sjældne jordartsmetaller som kritiske råstoffer.

NØGLETAL	
Pris (feb. 2024)	Neodym-oxid: 54 USD/kg Neodym-metal: 76 USD/kg
Årlig produktion (2023)	350.000 ton TREO hertil kommer <5.000 ton fra genanvendelse
Estimerede ressourcer	120 mio. ton TREO (~200 års forbrug)
Genanvendelsesgrad	< 1 %
Forsyningsrisiko	Høj

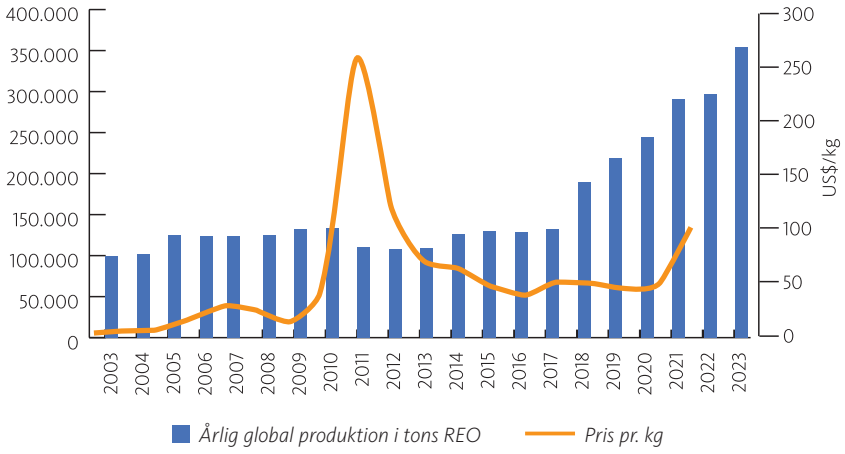
Sjældne jordartsmetaller er nødvendige for at sikre den grønne omstilling, da de anvendes i stærke magneter til generatorer og el-motorer. Foto: Vestas Wind Systems A/S.

Anvendelse og forbrug

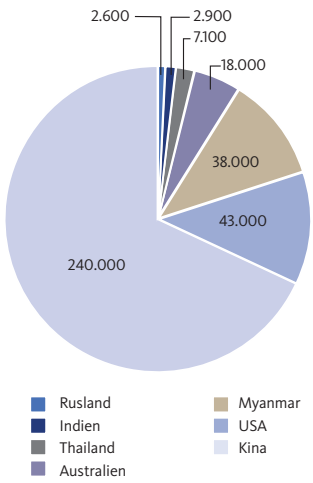
De sjældne jordartsmetaller er en fællesbetegnelse for lanthaniderne, grundstofferne nr. 57-71 (lanthan til lutetium), samt scandium og yttrium. De sjældne jordartsmetaller ligner hinanden meget i fysisk-kemisk henseende, og derfor bevirker de geologiske processer, at de sidder samlet i nogle bestemte mineraler. Det har betydning, når man ønsker at udnytte disse mineraler, da de så alle findes i samlet i den opløsning, der dannes, når man nedbryder mineralerne. Da de sjældne jordartsmetaller indbyrdes har lidt forskellige egenskaber, skal de igennem en teknisk kompliceret separationsproces. Værdimæssigt blev lidt over 60 % af de sjældne jordartsmetaller på verdensplan brugt til fremstilling af permanente magneter (44 %) og katalysatorer (17 %). Andre vigtige anvendelser er til poleringsmidler, i metallurgiske processer til især forbrugerelektronik og -kommunikation, til farvning af glas og keramik samt til visse batterityper. Mindre forbrugsområder omfatter bl.a. fluorescerende stoffer, teknisk keramik samt lægemidler, medicinsk udstyr og forsvarssystemer. Ifølge de seneste data afviger Europas industristruktur fra det globale mønster, idet de største anvendelsesområder her er katalysatorer og glas. Den grønne omstilling påvirker i disse år efterspørgslen af de enkelte sjældne jordartsmetaller, hvor der især er stor vækst i forbruget til fremstilling af stærke permanente magneter til el-køretøjer og vindmøller (særligt neodym (også betegnet neodymium), praseodym, dysprosium og terbium). Denne lille gruppe af de sjældne jordartsmetaller, der bruges til magneter, er blevet nøgleråstoffer i den grønne omstilling, og der forventes en stærk stigende vækst i efterspørgslen frem mod 2050 som



Efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller fordelt pr anvendelsesområde. kilde: Wood Mackenzie (2022).



Udvinding af sjældne jordartsmetaller i perioden fra 2003 til 2023.
Kilde: USGS Mineral Commodity Summaries (2016 til 2024).
Udviklingen i eksportpriserne for neodym. Kilde: S&P Global (2022).



Global mine-produktion i tons af sjældne jordartsmetaller i 2023. Kilde: USGS (2024).

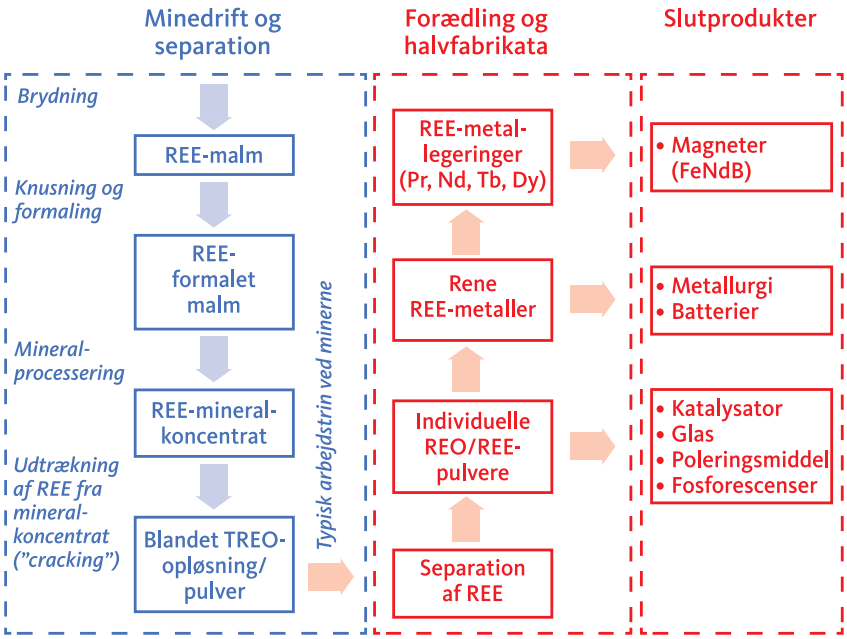
resultat af den internationale klimamålsætning. Samtidig er der et relativt fald i efterspørgslen på den gruppe af sjældne jordartsmetaller, som anvendes til katalysatorer i olieraffinering og til udstødningssystemer i biler (cerium og lanthan). Næsten alle de sjældne jordartsmetaller bruges til at producere tv, computere, telefoner og kameraer osv. Skærmbillederne skabes ved at skyde elektroner på en blanding af sjældne jordartsmetaller, så de udsender farvet lys. Derudover indgår de i både batterier, højttalere og harddiske.

Geologi og ressourcer

Betegnelsen sjældne jordartsmetaller er misvisende, da mineralforekomster indeholdende sjældne jordartsmetaller findes i forskellige geologiske miljøer og i mange lande. De største forekomster er knyttet til forskellige typer af magmatiske bjergarter, dannet ved kontinentale riftzoner, som det fx kendes fra Østafrika, Oslofjordsområdet og Gardarprovinsen i Sydgrønland, hvor nogle af verdens største forekomster findes (fx Kvanefjeld/Kuannersuit og Kringlerne/Killavaat Alannguat i Grønland). Derudover findes flere typer af sedimentære forekomster: (i) Mineraler med zirkonium, tin, titanium og spormængder af sjældne jordartsmetaller. (ii) Ion-adsorptions forekomsterne (IA-forekomster) dannes, ved at kemisk forvitring har frigjort sjældne jordartsmetaller fra mineraler, der på opløst form føres med grundvandet; REE-ionerne kan derefter blive bundet til overfladen af lermineraler og dermed danne nye REE-forekomster. IA-forekomster er almindeligvis små og lavlødige.

Forekomsttyper adskiller sig mineralogisk fra hinanden, og det indbyrdes forhold af de sjældne jordartsmetaller varierer derfor fra type til type. Mange magmatiske forekomster er fx relativt rige på det eftertragtede neodym, men også på lavprisgrundstofferne lanthan og cerium. Derimod er IA-forekomster relativt rige på de eftertragtede grundstoffer dysprosium og terbium. Nogle af REE-mineralerne indeholder også uran, fx monazit og steenstrupin. I Kvanefjeld/Kuannersuit i Sydgrønland var uranindholdet årsag til, at myndighederne stoppede projektet i 2021, da en ny lov om forbud mod udnyttelse af forekomster med uran blev indført.

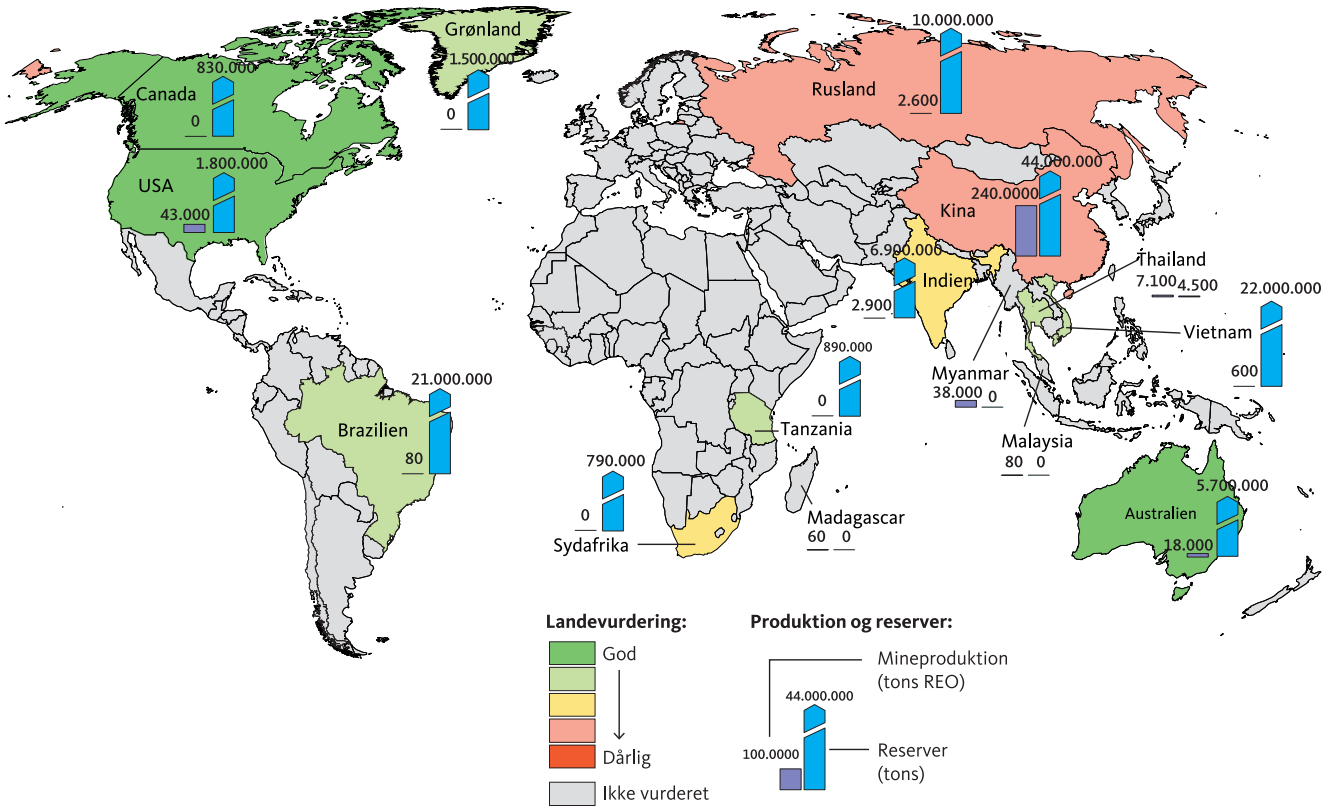
De kendte ressourcer af sjældne jordartsmetaller på verdensplan er omkring 126 mio. ton TREO (Total Rare Earth Oxide), svarende til mere end 200 års forbrug. Hovedparten af ressourcerne findes i Kina, Australien, Grønland og USA.



Generisk diagram for værdikæderne for sjældne jordartsmetaller fra mine til færdige varer.
De blå trin udføres typisk i eller ved mineanlægget på basis af traditionelle teknologier. De røde trin omfatter højteknologiske forarbejdningstrin, som hver især udføres af virksomheder specialiserede i det pågældende trin. De røde trin er helt domineret af kinesiske virksomheder. Kilde: Kalvig (2021).

Produktion

Forsyningskæderne af sjældne jordartsmetaller, fra mine til industrielt anvendelige



Lande med de største reserver og den største produktion af REE i verden (USGS, 2024). Størstedelen af produktionen af REO foregår i Kina. Landevurderingen viser de lande, som efterforsknings- og mineselskaber vurderer som gode henholdsvis dårlige for minedrift. Vurderingen er baseret på udvalgte faktorer (retssystemet, handelsbarrierer og politisk stabilitet) fra Fraser Institute (2024).

produkter, udgøres af: (a) Minedrift: Brydning af mineraler med sjældne jordartsmetaller og forarbejdning af malmen, dette udføres som ved traditionel minedrift. Minens produkt er almindeligvis et koncentrat bestående af de mineraler, der indeholder sjældne jordartsmetaller. (b) Opkoncentrering af de sjældne jordartsmetaller til et koncentrat: Mineralkoncentratet gennemgår en kemisk behandling typisk med syrer eller baser, som opløser mineralerne, og der fremstilles et letopløseligt koncentrat bestående af alle sjældne jordartsmetaller, der var i mineralet. Produktet omtales ofte som Mixed-Rare-Earth-Oxide (MREO) eller Mixed-Rare-Earth-Compound (MREC). (c) Separation af de individuelle sjældne jordartsmetaller: Det kemiske koncentrat (MREO/MREC) gennemgår kemiske separationsprocesser, hvorved der fremstilles koncentrater af hvert af de enkelte sjældne jordartsmetaller; produkterne er typisk salte af et af de sjældne jordartsmetaller. Der bruges store mængder kemikalier, energi og vand i denne separationsproces. (d) Fremstilling af metaller og legeringer, foretages enten ved brug af en reduktionsproces under høj temperatur eller elektrolytiske processer. Produkterne er metaller bestående af et af de sjældne jordartsmetaller, og anvendes til fremstilling af specifikke legeringstyper efterspurgt af industrien, som fx magnetindustrien.

I 2023 blev der udvundet ca. 350.000 ton sjældne jordartsmetaller (TREO) fra omkring 12 lande, hvilket er 250 % mere end i 2003. Kina har siden 1994 været den største producent og i 2023 udvandt Kina 68 %, efterfulgt af USA (12 %), Myanmar (11 %), Australien (5 %) og Thailand (2 %).

I takt med at nye miner åbner uden for Kina, er Kinas relative andel af verdensproduktionen faldet, men mere end 90 % af produktionen uden for Kina eksporteres til forarbejdning og forbrug i Kina. Kun produktionerne fra Australien og Rusland/Kasakhstan bliver forarbejdet uden for Kina.

Samlet set har Kina befæstet sin dominerede rolle over de komplekse forsynings-

Kringlerne, Killavaat Alannguat, i Grønland er en af verdens største REE forekomster. Foto: Per Kalvig.

kæder for sjældne jordartsmetaller, fra mine til færdige produkter. Vestens forsøg på at etablere selvstændige forsyningskæder uden for Kinas kontrol er endnu ikke lykkedes.

Genanvendelse og substitution

De sjældne jordartsmetaller indgår i mange forskellige sektorer, og i hver af disse anvendes de i mange forskellige kemiske konstellationer og materialer; men ofte indgår de sjældne jordartsmetaller kun i små mængder. Det skal også bemærkes, at nogle af de sjældne jordartsmetaller anvendes som proceshjælpestoffer fx til katalyse og til polering, og derfor ikke kan genanvendes.

Effektiv genanvendelse af sjældne jordartsmetaller er således en stor udfordring og genanvendelse udgør mindre end 1 %. Der arbejdes på at øge genanvendelsen generelt, og især er der fokus på at genanvende de mange magneter, som på sigt vil komme fra el-køretøjer og vindmøller. Disse magneter har et højt indhold af sjældne jordartsmetaller, og forbruget af magneter er stærkt stigende. Til gengæld er de tidligst klar til genanvendelse 20 år efter produktion, hvilket bevirker at genanvendelse kun forventes at udgøre 5-10 % af råmaterialerne i 2030.

De største muligheder for substitution er indbyrdes mellem de sjældne jordartsmetaller. Der arbejdes således på at substituere de sjældne jordartsmetaller, der forekommer i små volumener og derfor er dyre, med de sjældne jordartsmetaller, der er større volumener af og derfor er billigere. Der foregår bl.a. forsøg med at udskifte neodym i magneter med cerium. Hvor råstofsubstitution ikke er mulig, kan man i stedet ændre teknologien eller finde andre løsninger. På magnetområdet kan dette gøres, hvor større magneter kan accepteres; og nogle elbilfabrikker har ændret produktionen til induktionsbaserede motorer, som ikke anvender sjældne jordartsmetaller.

Marked og priser

Historisk set har priserne for sjældne jordartsmetaller ligget meget stabilt de seneste 20 år på trods af Kinas forsyningsdominans og den stærkt stigende efterspørgsel. Kun en handelskrise mellem Kina og Japan fra 2010 til 2012 ledte til højere priser i denne periode. Som følge af, at de enkelte sjældne jordartsmetaller i naturen findes i meget forskellig mængde, i kombination med at de forskellige markeder efterspørger dem forskelligt, er der meget store prisforskelle mellem de individuelle sjældne jordartsmetaller. 'Magnetmetallerne' neodym, praseodym, dysprosium og terbium, er blandt de dyreste og udgør ca. 80 % af den samlede omsætning af REE-råstofferne. Cerium og lanthan, som udgør mere end 50 % af volumenet, er blandt de billigste.

Priserne fastsættes i vidt omfang i bilaterale langtidskontrakter, og kun en lille del handles på børser. Transparensen i disse markeder er derfor lav, og desuden er forarbejdningens betydning for priserne på produkterne i de enkelte led i forsyningskæderne stort set ukendte.

Forsyningsrisiko

De sjældne jordartsmetaller er, de meget store globale ressourcer til trods, klassificeret som kritiske råstoffer i bl.a. EU, USA, Japan og England, hvilket skyldes kombinationen af Kinas monopolisering af hele forsyningskæden i kombination med en stærkt stigende efterspørgsel til grøn omstilling. I EU har de sjældne jordartsmetaller, siden 2010, været betragtet som de mest kritiske råstoffer. Der er derfor, i lighed med mange andre lande, igangsat initiativer som skal søge at etablere lokale, komplette forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller. I 2024 har EU vedtaget forordningen Critical Raw Materials Act, der sigter mod, at EU skal kunne levere 10 % af de strategiske råstoffer, 40 % af processeringen og på sigt skal en andel på 25 % af unionens forbrug af strategiske råstoffer komme fra genanvendelse.

Kilder og videre læsning

Fraser (2024): https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2023?language=en

GeoViden (2021): Her hentes den grønne omstilling. Sjældne jordartsmetaller. GeoViden Nr. 01, Maj 2021 https://www.geoviden.dk/sjaeldnejordarter

Kalvig, P. (2021): Sjældne jordartsmetaller (REE). Forekomster, forarbejdning, forbrug, forsyning og forventninger- MiMa rapport 2021/2 https://doi.org/10.22008/gpub/38029

Kullberg, T., Kalvig, P. & Rink, M. (2020): Mineralske råstoffer, bæredygtighed og innovation; kapitel 28. MiMa/GEUS, 291 pp. https://mima.geus.dk/undervisning/

Machacek, E. & Kalvig, P. (edit) (2017): Road map for REE material supply autonomy in Europe. EURARE, European REE market survey. 141 pp + appendix https://www.geus.dk/media/7617/nyheder-07-04-2017-road-map-for-ree-material-supply-autonomy-in-europe.pdf

Paulick, H., Rosa, D. & Kalvig, P. (2015): Rare Earth Element (REE) exploration potential and projects in Greenland. MiMa rapport 2015/2, 54 pp. https://pub.geus.dk/da/publications/rare-earth-element-ree-exploration-potential-and-projects-in-gree

Screen Factsheet, Rare Earth Eelements. https://scrreen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCRREEN2_factsheets_REE-EUROSTAT.pdf

USGS (2024): Mineral commodity summaries 2024: U.S. Geological Survey, 212 p. https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries

Wood Mackenzie (2022): World supply of REE (refined), 2022 via: https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/minerals-mining/mining-data-statistics-and-analysis/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts/20522

GEUS

MiMa
Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K, Danmark

Internet: www.mima.geus.dk

Kontakt

Jakob Kløve Keiding, centerleder

Telefon: 91 33 34 34
jkk@geus.dk

ISSN: 2246-7246