

# Sjældne jordartsmetaller (REE)

Forekomster, forarbejdning, forbrug, forsyning og forventninger

Per Kalvig

## MiMa rapport 2021/2



TOM SIDE

# Sjældne jordartsmetaller (REE)

## Forekomster, forarbejdning, forbrug, forsyning og forventninger

Per Kalvig

## MiMa rapport 2021/2

Teknisk redaktion: Kisser Thorsøe

Illustrationer: Jette Halskov

# **Sjældne jordartsmetaller (REE)**

**Forekomster, forarbejdning, forbrug, forsyning og forventninger**

## **MiMa rapport 2021/2**

*Forfatter: Per Kalvig*

*Illustrationer: Jette Halskov*

*Teknisk redaktion: Kisser Thorsøe*

*Repro: GEUS*

**December 2021**

**ISBN: 978-87-7871-552-2**

© Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) under  
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)  
Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet  
Øster Voldgade 10  
1350 København K

# Indhold

<b>Definitioner</b>	<b>7</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>8</b>
<b>Figuroversigt</b>	<b>10</b>
<b>Tabeloversigt</b>	<b>13</b>
<b>Indledning</b>	<b>15</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>18</b>
<b>Summary</b>	<b>23</b>
<b>1. Sjældne jordartsmetaller betragtes som kritiske råstoffer</b>	<b>28</b>
<b>2. Hvad er sjældne jordartsmetaller?</b>	<b>31</b>
2.1 Sjældne jordartsmetaller – kemisk set .....	31
2.2 Sjældne jordartsmetaller – historisk set .....	34
2.3 Sjældne jordartsmetaller – geologisk set .....	35
<b>3. Industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller</b>	<b>38</b>
3.1 Handelsvarer .....	38
3.2 Forbrugende industrisektorer .....	38
3.2.1 Permanente magneter.....	41
3.2.2 Fosforescenser og fluorescenser .....	43
3.2.3 Batterier .....	45
3.2.4 Metallurgiske anvendelser.....	45
3.2.5 Katalysatorer og katalytiske processer .....	46
3.2.6 Teknisk keramik og intermetalliske materialer .....	47
3.2.7 Glasindustrien .....	47
3.2.8 Poleringsmidler.....	48
3.2.9 Andre industrielle anvendelser .....	48
<b>4. Handel og priser</b>	<b>49</b>
4.1 Handel .....	49
4.2 Priser for hvad? .....	53
4.3 Prisudviklinger .....	53
4.3.1 Det lange tilbageblik (1960-2000) .....	53
4.3.2 Perioden 2000-2015 og de store prisstigningerne i 2011-2012 .....	56
4.3.3 Perioden efter 2015 .....	57
4.4 Malmværdi og basket-price .....	62
4.4.1 Malmværdi.....	62
4.4.2 Basket-price.....	62
4.5 Priserne påvirker mineralefterforskningsaktiviteterne .....	63
<b>5. Forsyningskæderne (øvre til midt)</b>	<b>66</b>
5.1 Brydning og forarbejdning af sjældne jordartsmetalmineraller .....	66

5.1.1	Brydning og forarbejdning af REE-malm fra faste bjergarter .....	66
5.1.2	Opgravning eller opugning/oppumpning (dredging) af tungsandsforekomster .....	67
5.1.3	Produktion af REE fra lerholdige IA-forekomster .....	68
5.2	Forarbejdning af REE-mineralerne – de kemiske processer .....	70
5.2.1	Separation – indbyrdes adskillelse af sjældne jordartsmetaller .....	70
5.3	Raffinering og legeringer .....	76
<b>6.</b>	<b>Genanvendelse og substitution</b> .....	<b>77</b>
6.1	Genanvendelse .....	77
6.2	Substitution .....	84
<b>7.</b>	<b>Miljø, sundhed og klimabelastning i de øvre dele af værdikæderne</b> .....	<b>85</b>
7.1	Miljø- og sundhedsforhold .....	85
7.2	REE-produktionens klimaaftryk .....	90
<b>8.</b>	<b>Global produktion af sjældne jordartsmetaller</b> .....	<b>92</b>
8.1	Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller .....	94
<b>9.</b>	<b>Geologiens betydning for forsyningerne af sjældne jordartsmetaller</b> .....	<b>96</b>
9.1	Primære forekomster af sjældne jordartsmetaller .....	98
9.1.1	Alkaline magmatiske forekomster .....	98
9.1.2	Karbonatitforekomster .....	99
9.1.3	Hydrothermale forekomster (vein og skarn) .....	101
9.1.4	Jernoxid-kobber-guld (IOCG)- og jernoxid-apatit-forekomster .....	101
9.2	Sekundære forekomster af sjældne jordartsmetaller .....	101
9.2.1	Tungsandsforekomster (placer deposits) .....	101
9.2.2	Ionadsorptionsforekomster .....	102
9.2.3	Laterit-(bauxit)-forekomster .....	104
9.3	Andre geologiske typer af sjældne jordartsmetaller .....	104
9.3.1	Metamorfe forekomster .....	104
9.3.2	Fosforitforekomster .....	105
9.3.3	Mangannoduler – dybhavet .....	105
9.4	Mineralernes betydning for forekomsternes økonomi .....	105
9.4.1	Balanceproblemet .....	109
<b>10.</b>	<b>Ressourcer og reserver</b> .....	<b>112</b>
10.1	Definitioner .....	114
10.2	Globale REE-ressourcer og -reserver (top-down) .....	115
10.3	Globale ressourcevurderinger (bottom-up) .....	117
10.3.1	Global opgørelse for ressourcer og reserver fordelt efter lande, geologiske typer og efterforskningsstadiet .....	118
10.3.2	Geografisk fordeling af geologiske ressourcer (og efterforskningsprojekter) .....	122
10.3.3	Ressourcestørrelserne er ikke de vigtigste succeskriterier .....	139
<b>11.</b>	<b>Kinas strategier og praksis</b> .....	<b>142</b>
11.1	Kinas vej til rollen som storproducent .....	143
11.2	Kinas politiske og administrative virkemidler .....	146
11.2.1	Kinas nationale kvoteordninger .....	147
11.2.2	Skatte- og afgiftspolitik – instrumenter til at opretholde kontrol med forsyningskæderne .....	147
11.3	Kinas handel med sjældne jordartsmetaller .....	151
11.3.1	Eksport .....	151
11.3.2	Import .....	153
<b>12.</b>	<b>Kinas forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller</b> .....	<b>155</b>

12.1	The Big Six .....	155
12.1.1	Intern konkurrence mellem de kinesiske producenter .....	160
12.2	Andre store kinesiske producenter.....	160
12.3	Større kinesiske magnetproducenter .....	165
<b>13.</b>	<b>Eksempler på forsyningskæder uden for Kina</b>	<b>167</b>
13.1	Eksempler på potentielle nye 'vestlige' forsyningskæder .....	168
13.1.1	Angola .....	169
13.1.2	Australien.....	169
13.1.3	Burundi .....	172
13.1.4	Belgien.....	172
13.1.5	Canada .....	173
13.1.6	Estland.....	174
13.1.7	Grønland.....	175
13.1.8	Indien.....	175
13.1.9	Japan.....	175
13.1.10	Madagaskar.....	176
13.1.11	Malawi .....	176
13.1.12	Norge.....	177
13.1.13	Polen .....	178
13.1.14	Rusland .....	178
13.1.15	Storbritannien .....	179
13.1.16	Sverige .....	179
13.1.17	Sydafrika.....	180
13.1.18	Tanzania.....	180
13.1.19	Tyskland .....	180
13.1.20	Uganda .....	180
13.1.21	USA .....	181
13.1.22	Vietnam .....	185
13.2	Konklusioner vedr. Vestens potentielle forsyningskæder .....	185
13.3	Eksempler på politiske initiativer til støtte for udvikling af 'vestlige' værdikæder ..	189
13.3.1	The European Raw Materials Alliance .....	190
13.3.2	Rare Earth Industry Association.....	190
13.4	Udfordringer for etablering af uafhængige værdikæder i Vesten.....	191
<b>14.</b>	<b>Vurdering af eventuelle forsyningsudfordringer til den grønne omstilling</b>	<b>193</b>
14.1	Vurderinger af efterspørgslen frem mod 2030 .....	193
14.2	Vurderinger af forsyninger frem mod 2030 .....	196
14.3	Vurdering af råstofbalancen frem mod 2030.....	199
	<b>Referencer</b>	<b>203</b>
	<b>Appendiks I</b>	<b>213</b>
	Forekomster, prospekter, projekter, miner.....	213
	<b>Appendiks II</b>	<b>237</b>
	Mineralforkortelser .....	237
	<b>Appendiks III</b>	<b>238</b>
	REE-lødheder for udvalgte projekter.....	238
	<b>Appendiks IV</b>	<b>241</b>
	Ressourcevolumener for udvalgte projekter med sjældne jordartsmetaller .....	241
	<b>Appendiks V</b>	<b>244</b>

The Big Six og datterselskaber .....	244
<b>Appendiks VI</b>	<b>247</b>
Medlemmer af Rare Earth Industry Association (REIA).....	247
<b>Appendiks VII</b>	<b>249</b>
Medlemmer af European Raw Material Alliance (ERMA) .....	249



## Definitioner

Alkaline bjergarter	Geologisk betegnelse for bjergarter som har relativt lavt indhold af silicium og aluminium og relativt højt indhold af alkalimetallerne natrium og kalium.
Basket price	Værdien (USD) af 1 kg REO på basis af den kemiske sammensætning, der findes i forekomsten.
Compounds	Blandingsprodukt af alle sjældne jordartsmetaller; fremkommer ved opløsning af mineralet. Omtales også som Rare Earth Compound (REC) og Total Rare Earth Compound (TREC).
Didymium	Blanding af grundstofferne neodymium (75 %) og praseodymium (25 %).
Legering	Materiale bestående af blandinger af metaller, som dermed får de ønskede fysiske/kemiske egenskaber.
IA-forekomster	Ionadsorptions(ler)forekomster. De sjældne jordartsmetaller er adsorberet til overfladerne på lerpartikler.
Lødighed	Mål for metalindholdet i en malm. Almindeligvis målt i %, gram pr. ton (ppm) eller troy ounces pr. ton. For REO bruges enten % eller ppm.
Malmværdi	Værdien af en ton malm.
Mineralkoncentrat	Handelsvare bestående af et enkelt mineral, som er opkoncentreret fra malmen; første produkt i værdikæden.
Mischmetal	Legering af lanthan, cerium, praseodymium og neodymium. Fremstilles i forskellige forhold; der er altid mest cerium.
Tailings	Ikke-økonomiske mineraler som er frasorteret de økonomiske mineraler i mineanlægget under behandling af malmen. Tailings er almindeligvis volumenmæssigt meget større end de økonomiske mineraler (=mineralkoncentratet) og deponeres typisk i store bassiner nær minen.
Tolling	Virksomhed som udfører en given forarbejdning af malmen/råvaren 'efter regning'
Værdikæde	Forretningskoncept som beskriver alle de aktiviteter, som er nødvendige for at fremstille et produkt. For de sjældne jordartsmetaller er der tale om mange værdikæder, der ofte blot omtales som 'værdikæden'.

Betegnelsen *sjældne jordartsmetaller* anvendes til generelle beskrivelser uanset forarbejdningsgraden. Hvis der er behov for mere præcise betegnelser, er de kemiske sammensætninger tilstræbt anvendt, ligesom renheden af produkterne er anført, hvor dette er relevant.

## Forkortelser

CAPEX	Kapitalomkostninger til anlæg af infrastruktur, mine og oparbejdningsanlæg
CFL	Compact Fluorescent Lamp
CIF	Priser inkl. forsikring og fragt
CIS	Commonwealth of Independent States (Fællesskabet af uafhængige stater); også omtalt som SNG
CRT	Cathode Ray Tube (katodestrålerør)
DALY	Disability-Adjusted Life Years
DDWT	Direct Drive Wind Turbine
EPA	Environmental Protection Agency
ERA	Environmental Risk Assessment
ERMA	European Raw Materials Alliance (internationalt netværk, se også Appendiks VII)
EV	Electrical Vehicle
EXW	Ex Works. Sælger sørger for transport; køber betaler for transporten
FCC	Fluid Catalytic Cracking
FOB	Free on Board; køber overtager ansvaret og omkostninger, når transporten begynder
FS	Feasibility Study
HDD	Hard Disk Drive
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HREE	Heavy Rare Earth Elements (gruppen af tunge sjældne jordartsmetaller)
HREO	Heavy Rare Earth Oxides (tunge sjældne jordartsmetaloxider)
HSLA	High-Strength-Low-Alloy
IA	Ion Adsorption
IAC	Ion Adsorption Clay
IOCG	Iron-Oxide-Copper-Gold
ISL	In-situ leaching
JORC	Joint Ore Reserves Committee Code; autoriseret australsk ressourceopgørelsesmetode
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LREE	Light Rare Earth Elements (gruppen af lette sjældne jordartsmetaller)
MFA	Mass Flow Analysis
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China
MiMa	Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer
MoU	Memorandum of Understanding
MREC	Mixed Rare Earth Compound
MREE	Medium Rare Earth Elements (mellemgruppen af sjældne jordartsmetaller)
MRI	Magnetic Resonance Imaging (scanner som anvendes i hospitalsudstyr)
MRT	Molecular Recognition Technology
NI 43-101	National Instrument 43-101; autoriseret canadisk ressourceopgørelsesmetode
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials
PDP	Plasma Display Panel
PEA	Preliminary Economic Assessment
PFS	Pre-Feasibility Study
PLS	Pregnant Leach Solution (den væske som er produktet, når de REE-mineralerne er opløst)
Ppm	Parts per million
REC	Rare Earth Compound; blandingsprodukt af sjældne jordartsmetaller, som fremkommer efter opløsning af mineralet og de sjældne jordartsmetaller er isoleret fra mineralets andre grundstoffer
REE	Rare Earth Elements (sjældne jordartsmetaller)

REE-magnetmetaller	Praseodymium, neodymium, terbium og dysprosium
REIA	Rare Earth Industry Association
REM	Rare Earth Metal
REO	Rare Earth Oxide
RMB	Renminbi (yuan)
ROW	Rest of the World (bruges i betydningen: alle lande med undtagelse af Kina)
SNG	Soduzhestvo Nezavisimyykh Gosudarsty (Fællesskabet af Uafhængige Stater)
SSD	Solid State Drives
Tpa	Ton pr. år
TREC	Total Rare Earth Compounds: Samlebetegnelse 'compounds' af alle sjældne jordartsmetaller, som findes i et mineral, ressource, reserver eller produkt.
TREE	Total Rare Earth Element: Samlebetegnelse for alle sjældne jordartsmetaller, som findes i et mineral, ressource, reserve eller produkt
TREO	Total Rare Earth Oxide: Samlebetegnelse for oxider af alle sjældne jordartsmetaller, som findes i et mineral, ressource, reserve eller produkt. Den gennemsnitlige omregningsfaktor mellem TREE og TREO er ca. 0,8
TWh	Tera Watt timer
USD	US Dollar
USGS	United States Geological Survey
WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment
WTO	World Trade Organization (Verdenshandelsorganisationen)

# Figuroversigt

Figur 1-1	Oversigt over råstoffer som indgik i EU-Kommissionens kritikalitetsvurdering.....	29
Figur 1-2	Generisk diagram for værdikæderne for sjældne jordartsmetaller fra mine til færdige varer.....	30
Figur 2-1	Det periodiske system med angivelse af de sjældne jordartsmetaller.....	31
Figur 2-2	Oversigt over forskellige anvendte undergrupper af sjældne jordartsmetaller.....	33
Figur 2-3	Historisk oversigt over påvisningerne af de grundstoffer, som udgør gruppen af de sjældne jordartsmetaller.....	35
Figur 2-4	Historisk oversigt over industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller.....	36
Figur 2-5	De sjældne jordartsmetallers gennemsnitlige koncentration i skorpenes bjergarter plottet som funktion af atomnummeret.....	37
Figur 3-1	Relativ fordeling af de sjældne jordartsmetaller fordelt på de ni vigtigste industrisektorer.....	39
Figur 3-2	Industrisektorerens forbrug af sjældne jordartsmetaller i hhv. EU og hele verden.....	40
Figur 3-3	Global fordeling af anvendelser af permanente neodymium-jern-bor (NdFeB)-magneter i 2019.....	41
Figur 3-4	Oversigt over forbruget af NdFeB-magneter til motorer i elbiler i 2020.....	44
Figur 3-5	Synlig luminescens for Eu <sup>3+</sup> , Tb <sup>3+</sup> og Dy <sup>3+</sup> .....	44
Figur 4-1	Kina dominerer handelsmønstrene for sjældne jordartsmetaller.....	49
Figur 4-2	Globalt forbrug af sjældne jordartsmetaller i perioden 2013-2019.....	50
Figur 4-3	Global efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller i perioden 2013-2019.....	50
Figur 4-4	Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller og tilhørende eksportværdi.....	51
Figur 4-5	Markedsandele for forbruget af sjældne jordartsmetaller i forskellige industrisektorer i volumen% og værdi%.....	52
Figur 4-6	Den procentvise fordeling mellem EU-landenes (inkl. Storbritannien) import af NdFeB-magneter i første halvdel af 2021.....	52
Figur 4-7	Prisudviklingen for sjældne jordartsmetaloxider i USA i perioden 1959-1975.....	54
Figur 4-8	Priser for bastnäsit- og monazitkoncentrater i perioden 1972-2010.....	55
Figur 4-9	Prisudviklingen for udvalgte sjældne jordartsmetaloxider i perioden 1970-2015.....	55
Figur 4-10	Prisudviklingen for udvalgte sjældne jordartsmetaloxider i perioden 2006-2017.....	56
Figur 4-11	Udviklingen i eksportpriser for forskellige typer REE-råmaterialer i perioden 2017-2019.....	58
Figur 4-12	Udviklingen i eksportpriserne for udvalgte sjældne jordartsmetalprodukter fra 2. december 2019 til 15. december 2021.....	60
Figur 4-13	Forholdet mellem eksportpriser og nationale priser i Kina i perioden 2005-2015.....	61
Figur 4-14	Basket-price for udvalgte miner og projekter.....	63
Figur 5-1	Generisk procesdiagram for behandling af faste bjergarter indeholdende sjældne jordartsmetaller.....	67
Figur 5-2	Procesdiagram for fremstilling af mineralkoncentrat af malm fra Bayan Obo-minen.....	68
Figur 5-3	Procesdiagram for ekstraktion af sjældne jordartsmetaller fra ionadsorptionsforekomster.....	69
Figur 5-4	Eksempler på typiske processer ved fremstilling af sjældne jordartsmetalkoncentrater fra Mountain Pass-minen og Bayan Obo-minen.....	71
Figur 5-5	Generisk værdikæde for sjældne jordartsmetaller.....	72
Figur 5-6	Principskitse for konventionel SX-separationsproces til separation af La-Ce-Pr-Nd fra La-Ce/Pr-Nd.....	73
Figur 5-7	Principper for sekventiel separation af sjældne jordartsmetaller ved brug af SX-separationsproces.....	74
Figur 5-8	Principperne i EURARE-separationsmetoden.....	75
Figur 6-1	Generisk diagram for genanvendelse af produkter indeholdende sjældne jordartsmetaller og angivelse af spildstrømme, som tabes.....	78
Figur 6-2	Generisk diagram for genanvendelse af permanente magneter med sjældne jordartsmetaller.....	79
Figur 6-3	Generisk diagram for genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra WEEE-produkter.....	79
Figur 6-4	Generisk diagram for genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra poleringspulver anvendt i glasindustrien.....	80
Figur 6-5	Historisk udvikling af de sektorer, der indgår i genanvendelse.....	81
Figur 6-6	Diagram over sorteringsfraktioner for WEEE-produkter på Stena Technoworlds genanvendelses anlæg for WEEE-produkter.....	83
Figur 6-7	Mitsubishi Electric's (2017) vurderinger af de vigtigste materialestrømme, som kan indgå i genanvendelse af neodymium og dysprosium.....	83

Figur 7-1	Generisk model for miljørisikovurderinger (ERA-analyser), som benyttes til vurdering af nye mineprojekter.....	86
Figur 7-2	Eksempel på processering af REE-mineralkoncentrat med udfældning af uran og thorium...	88
Figur 7-3	Eksempel på forarbejdning af REE-koncentrat med udfældning af uran og thorium under kemisk 'oplukning' af mineralet og efterfølgende separation.....	89
Figur 7-4	Eksempel på forarbejdning af monazit med udfældning af uran og thorium.....	89
Figur 7-5	CO <sub>2</sub> -udledning for produktion af udvalgte sjældne jordartsmetaller.....	91
Figur 8-1	Udviklingen i den globale produktion af mineraler indeholdende sjældne jordartsmetaller fordelt på lande.....	92
Figur 9-1	Landefordeling af kendte forekomster med sjældne jordartsmetaller fordelt efter de geologiske typer.....	97
Figur 9-2	Efterforskningsprojekter fordelt efter tonnage og lødighed (% TREO) med angivelse af geologisk type.....	98
Figur 9-3	Principskitse for de vigtigste geologiske forekomster med sjældne jordartsmetaller og deres dannelsesmiljøer.....	100
Figur 9-4	Områder med kendt indhold af betydelige forekomster af tungsand med monazit.....	102
Figur 9-5	Principskitse for ionadsorptionsforekomster.....	103
Figur 9-6	Udvalgte IA-forekomster.....	104
Figur 9-7	Fordelingen mellem de individuelle sjældne jordartsmetaller i forskellige mineraler og mellem samme type mineral, men dannet forskellige steder.....	106
Figur 9-8	Fordelingen af sjældne jordartsmetaller i allanit, monazit og apatit.....	109
Figur 10-1	Typiske faser i mineralefterforskningsprojekter som også er gældende for forekomster med sjældne jordartsmetaller.....	113
Figur 10-2	CRIRSCO's definitioner for ressourceopgørelser.....	115
Figur 10-3	Udvikling i REE-reserver (mio. ton TREO) i perioden 2000-2020.....	116
Figur 10-4	Fordelingen af 1.023 af de 1.040 sjældne jordartsmetalforekomster i Appendiks I. Forekomsterne er inddelt på basis af projekternes efterforskningsstade.....	118
Figur 10-5	Geografisk fordeling af kendte forekomster og efterforskningsaktiviteter af sjældne jordartsmetaller, fordelt på projektets fremdrift.....	120
Figur 10-6	Fordeling af REE-ressourcer på lande, ressourceklasse og geologisk type.....	121
Figur 10-7	Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Afrika, med angivelse af geologiske type.....	123
Figur 10-8	Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Asien (ekskl. Kina), med angivelse af geologiske type.....	125
Figur 10-9	Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Australien, med angivelse af geologiske type.....	127
Figur 10-10	Oversigt over fokusområder for mineralefterforskningen for sjældne jordartsmetaller i Europa.....	129
Figur 10-11	Geologisk kort med de vigtigste forekomster af sjældne jordartsmetaller i Grønland.....	131
Figur 10-12	Oversigt over nogle af de skandinaviske forekomster af sjældne jordartsmetaller.....	133
Figur 10-13	Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Nordamerika, med angivelse af geologiske type.....	136
Figur 11-1	USA og Kinas råstofafhængighed med angivelse af råstoffets betydning.....	142
Figur 11-2	Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller og tilhørende eksportværdi for perioden 1992-2013.....	145
Figur 11-3	Kinas eksport af ikke nærmere specificerede REE-produkter på månedsbasis fra januar 2016 til marts 2021.....	152
Figur 11-4	Udviklingen i Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller fra 2015 til august 2020.....	153
Figur 11-5	Kinas eksport (2019) af sjældne jordartsmetaller, anført i forhold til mængder.....	153
Figur 12-1	De vigtigste provinser i Kina, hvor der produceres og forarbejdes sjældne jordartsmetaller...	156
Figur 12-2	Estimeret fordeling af sjældne jordartsmetaller i det sydlige, vestlige og nordlige Kina.....	157
Figur 12-3	Chinalco.....	158
Figur 12-4	China Southern Rare Earth Group udgøres af tre selskaber med en række datterselskaber.....	159
Figur 12-5	Den økonomiske udvikling for China Northern Rare Earth Group.....	161
Figur 12-6	(Leshan) Shenghes koncernstruktur.....	163
Figur 13-1	Forsyningskæde for malm fra Longonjo-forekomsten i Angola.....	169
Figur 13-2	Påtænkt forsyningskæde for malm fra den australske forekomst Dubbo.....	169
Figur 13-3	Forsyningskæder for malm fra Nolans Bore-projektet i Australien.....	170
Figur 13-4	Forsyningskæde af råmaterialer til processering/separation hos Thyssenkrupp Materials Trading.....	172

Figur 13-5	Neo Performance Materials' organisationsdiagram.....	174
Figur 13-6	Selskabsrelationer i Songwe Hill-projektet i Malawi.....	177
Figur 13-7	Den 'europæiske' forsyningskæde.....	178
Figur 13-8	Projektejerskab for Makuutu-projektet i Uganda.....	181
Figur 13-9	Planlagt forsyningskæde for udvinding af sjældne jordartsmetaller fra monazit fra Georgia, USA.....	182
Figur 13-10	Oversigt over Lynas' amerikanske projekt.....	183
Figur 13-11	Hovedaktionærer i MP Materials Mountain Pass-mine.....	184
Figur 14-1	Estimerede behov for praseodymium, neodymium og dysprosium til elbiler frem mod 2030..	196
Figur 14-2	Illustration af råstofbalancen for neodymium (A), praseodymium (B) og dysprosium (C) ved anvendelse af kombinationer af høje og lave scenarier for 2025 og 2030.....	201

# Tabelloversigt

Tabel 2-1	Udvalgte kemiske og fysiske specifikationer for sjældne jordartsmetaller.....	32
Tabel 2-2	Omregningsfaktorer fra grundstoffer til oxider.....	33
Tabel 3-1	De mest almindelige industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller.....	40
Tabel 3-2	Forbruget af permanente magneter fordelt på sektorer.....	41
Tabel 3-3	Forbruget af sjældne jordartsmetaller til permanente magneter i forskellige anvendelser.....	42
Tabel 3-4	Oversigt over de mest almindelige anvendelser af sjældne jordartsmetaller i jern- og stål-industrien.....	46
Tabel 4-1	Import af REE-forbrugsstoffer til EU, USA, Japan og Korea i 2019 fra udvalgte lande.....	51
Tabel 4-2	Udviklingen i priserne for eksportprodukter fra Kina i perioden 2. december 2019 til 15. december 2021.....	59
Tabel 4-3	Priserne for forskellige råstofftyper baseret på samme individuelle sjældent jordartsmetal... ..	61
Tabel 4-4	Basket-price for 100 kg TREO i 2018-, 2019- og 2021-priser.....	65
Tabel 6-1	Estimerede volumener for sjældne jordartsmetaller fordelt på de vigtigste sjældne jordartsmetaller fra genvinding af magneter, fosforescenser og NiMH-batterier.....	80
Tabel 6-2	Status for eksisterende teknologier/metoder til genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra End-of-Life-produkter.....	82
Tabel 7-1	Fordele og ulemper ved forskellige metoder til at adskille uran og thorium fra sjældne jordartsmetaller.....	87
Tabel 7-2	Sammenligning af miljøindikatorer mellem fire forskellige forekomster af sjældne jordartsmetaller.....	90
Tabel 7-3	Miljøaftryk for fremstilling af udvalgte sjældne jordartsmetaller.....	90
Tabel 7-4	Estimer for CO <sub>2</sub> -belastningen for udvalgte sjældne jordartsmetaller.....	91
Tabel 8-1	Sammenligning mellem årsopgørelser af den globale produktion i ton/år TREO.....	93
Tabel 8-2	Estimer for den globale fordeling af REO i 2020.....	95
Tabel 8-3	Estimer for fordelingen af REO i Kina i 2020.....	95
Tabel 9-1	Geologisk typeopdeling af forekomster af sjældne jordartsmetaller.....	96
Tabel 9-2	Oversigt over de almindeligste mineraler med sjældne jordartsmetaller.....	107
Tabel 9-3	Eksempel på mineralernes betydning for økonomien i en forekomst.....	110
Tabel 10-1	Typiske arbejdsstrin for udvikling af mineralforekomster, herunder også forekomster med sjældne jordartsmetaller.....	112
Tabel 10-2	Beskrivelse af mineralressourcer og -reserver.....	114
Tabel 10-3	Globale 'bottom-up' ressourceestimer fordelt i klasserne sikre, sandsynlige og mulige resourcer.....	119
Tabel 10-4	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Afrika, inkl. evt. ressourceestimer.....	124
Tabel 10-5	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i asiatiske lande uden for Kina.....	126
Tabel 10-6	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Australien, inkl. evt. ressourceestimer.....	128
Tabel 10-7	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Norden, inkl. Grønland. Ressourceestimer vises, hvis det er tilgængelige.....	132
Tabel 10-8	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller som i væsentlig grad bidrager til Kinas resourcer, inkl. evt. ressourceestimer.....	135
Tabel 10-9	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Rusland, Kirgisistan og Kasakhstan; inkl. evt. ressourceestimer.....	137
Tabel 10-10	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Canada og USA; inkl. evt. ressourceestimer.....	138
Tabel 10-11	Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Argentina og Brasilien, inkl. evt. ressourceestimer.....	140
Tabel 10-12	Verdens største resourcer af sjældne jordartsmetaller i kategorierne 'sikre' og 'sandsynlige', fordelt på lande og selskaber.....	141
Tabel 11-1	Mountain Pass-minens historie.....	143
Tabel 11-2	Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller i 2004, 2006, 2008, 2010 og 2014.....	144
Tabel 11-3	Oversigt over Kinas politiske/administrative virkemidler til regulering af den globale produktion og handel med sjældne jordartsmetaller i perioden 1975-2018.....	147
Tabel 11-4	Kvotefordeling for produktion og behandling af sjældne jordartsmetaller i perioden 2018-2021, tildelt til The Big Six.....	148
Tabel 11-5	Kinas tariffer for REE-produkter.....	150

Tabel 11-6	Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller i ton i perioden 2016-2021.....	151
Tabel 11-7	Kinas eksport af ikke nærmere specificerede produkter med sjældne jordartsmetaller og de fem største aftagerlande i 2019.....	152
Tabel 11-8	Kinas import af 'sjældne jordartsmetaller'.....	154
Tabel 12-1	Oversigt over China Southern Rare Earth Groups hovedselskab, datterselskaber og aktionærer/delejerne.....	159
Tabel 12-2	Koncernoversigt for China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co. Ltd.....	164
Tabel 13-1	Oversigt over lande med forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller.....	168
Tabel 13-2	Forventet produktion fra et separationsanlæg som Ionic Rare Earth har under overvejelse	181
Tabel 13-3	Oversigt over relationerne i de potentielle forsyningskæder for udvalgte projekter under udvikling uden for Kina.....	186
Tabel 14-1	Principper for fire scenarier for balancer mellem udbud og efterspørgsel.....	193
Tabel 14-2	Forventningerne til forbruget af forskellige produkter til brug til fremstilling af NdFeB-magneter i 2025 og 2030.....	194
Tabel 14-3	Fordelingsnøgle anvendt til scenarierne for det samlede råstofforbrug for magnetmetallerne Pr, Nd og Dy i 2025 og 2030.....	195
Tabel 14-4	Estimerede forbrug af de tre magnetmetaller praseodymium, neodymium og dysprosium i 2025 og 2030.....	195
Tabel 14-5	Oversigt over efterforskningsprojekter, som indgår i de fire forsynings-scenarier.....	197
Tabel 14-6	Estimerede forsyninger af de tre magnetmetaller praseodymium, neodymium og dysprosium fra miner, som forventes at være i produktion i 2025 og 2030.....	198
Tabel 14-7	Estimerede produktioner af praseodymium, neodymium og dysprosium fra eksisterende og nye miner, vurderet i høje og lave scenarier for 2025 og 2030.....	199
Tabel 14-8	Sammenstilling af scenarievurderingerne for udbud-efterspørgsel af Pr-oxid, Nd-oxid og Dy-oxid i 2025 og 2030.....	200



# Indledning

De sjældne jordartsmetaller – på engelsk betegnet Rare Earth Elements (REE) – er fællesbetegnelsen for 17 specialmetaller, som igennem de seneste 20 år har fået stigende industriel betydning og endda i et omfang, hvor usikkerhed om de fremtidige forsyninger giver anledning til geopolitiske bekymringer i Vesten. De sjældne jordartsmetaller vurderes derfor af flere store, vestlige lande som kritiske råstoffer. En problematik som også er relevant i dansk sammenhæng, både i relation til dele af industrien (fx vindmølleindustrierne, som er storforbrugere af sjældne jordartsmetaller), og fordi en forsyningsmangel i andre lande kan få afledte konsekvenser, herunder forsinke dele af den grønne omstilling. En anden konsekvens af den internationale interesse for de sjældne jordartsmetaller har resulteret i store efterforskningsaktiviteter af Grønlands store forekomster af sjældne jordartsmetaller.

Kina har over de seneste 30 år formået at udvikle alle dele af værdikæderne for de sjældne jordartsmetaller fra udvinding af primærråstofferne til avancerede færdigprodukter og er i dag den altdominerende leverandør og producent af råstoffer med sjældne jordartsmetaller, råvarer af disse specialmetaller samt eksportør af de varer, hvori de sjældne jordartsmetaller har afgørende betydning og kun vanskeligt kan erstattes af andre råstoffer. Denne udvikling har været mulig for Kina, bl.a. som følge af at USA, i lighed med andre vestlige lande, i 1990'erne og 2000'erne udflyttede industriproduktionerne til Asien for at få fordel af det lavere lønniveau. Dermed blev Vestens udvikling af infrastruktur og knowhow til forarbejdning af disse specialråstoffer sat i stå.

Kinas stop for eksport af sjældne jordartsmetaller til Japan i 2010 blev et 'wake-up call' til Vestens politikere, da det både markerede Kinas industrielle styrke og Vestens egne mangler på sikre forsyninger af mineralske råstoffer. De vestlige lande har igennem de seneste ca. 10 år iværksat en række politiske initiativer og private investeringer i forsøget på at udvikle egne forsyningskæder, som kan frigøre landene fra den kinesiske afhængighed. Kina søger på den anden side, ved hjælp af forordninger og kvote-, skatte- og afgiftssystemer at fastholde sit økonomisk vigtige de facto monopol. Samlet set er Kinas dominans uændret trods 10 års vestlig indsats.

Værdikæderne af de sjældne jordartsmetaller adskiller sig i kompleksitet fra de fleste andre råstoffer, fordi det er en stor gruppe af metaller, som findes sammen i mineralerne, men som i nogen grad har forskellige anvendelser og forskellig efterspørgsel. Disse kombinationer fordrer en infrastruktur, som omfatter mange trin af komplicerede teknologier (hvoraf en del endda er rettighedsbeskyttede), og et marked, der kan aftage produkterne.

Det er således ingen simpel sag at udvikle vestlige forsyningskæder, som i konkurrence med kinesiske selskaber kan levere de vigtige råstoffer til bl.a. den grønne omstilling. Formålet med denne rapport er derfor at belyse kompleksiteten af en sådan opgave. Rapporten giver først en oversigt over værdikæderne for sjældne jordartsmetaller fra mineralefterforskning til færdige produkter, ligesom de vigtigste industrielle anvendelser omtales. Derefter påpeges nogle af årsagerne til at den vestlige verdens forsyningsudfordringer for de sjældne jordartsmetaller, nu ca. 10 år efter udfordringerne blev almindeligt erkendt, endnu ikke er løst. Rapporten giver desuden et bud på de forsyningsudfordringer verden kan stå overfor frem mod 2030 med den stigende fokus på grønne teknologier, hvor de sjældne jordartsmetaller indgår som nøgleråstoffer til flere teknologianvendelser. Herudover berører rapporten den betydelige klimapåvirkning, som fremstilling af de sjældne jordartsmetaller, der bruges i den grønne omstilling, giver anledning til.

Metodisk er grundlaget for rapporten baseret på publicerede forskningsartikler og -rapporter samt upublicerede præsentationer, projekthjemmesider, børsmeddelelser, nyhedsbreve, aviser og materiale fra branche- og interesseorganisationer o.l. i kombination med den viden, MiMa har opbygget via mange års deltagelse i tværfaglige forskningsprojekter i relation til de sjældne jordartsmetallers geologi og internationale værdikæder. Rapportens analyser vedr. globale ressourcer, globale produktioner og forsyningsituationen frem mod 2030 er i vidt omfang baseret på MiMa's database over vestlige efterforsknings- og mineprojekter og trækker på offentligt tilgængelige kilder. Rapportens analyser har derfor alene retningsgivende karakter, men vurderes at være substantielt korrekte og robuste. Råstofområdet er meget dynamisk, hvilket selvsagt kan påvirke forhold på projektniveau væsentligt.

Rapporten henvender sig bl.a. til offentlige og private beslutningstagere og -interessenter, som har berøring med nogle af de områder, som er knyttet til etablering af vestlige forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller.

Da det er min forventning, at de fleste læsers interesser er begrænset til udvalgte dele af rapporten, er kapitlerne tilstræbt udformet således, at de kan læses selvstændigt; dog forudsætter kapitlerne om Kinas og Vestens projekter (kapitel 13) og fremtidsscenerier (kapitel 14), antageligt enten forudgående viden eller læsning af kapitlerne omhandlende forsyningskæderne (kapitel 5) – og om geologiens betydning (kapitel 9). Denne opbygning af rapporten medfører, at der er visse gentagelser og krydshenvisninger.

## **Fremtidige perspektiver**

Rapporten påviser, at der findes mange og store forekomster af sjældne jordartsmetaller i mange lande og i alle verdensdele, samt at der, i modsætning til mange andre råstoffer, er kendte ressourcer til flere hundrede års forbrug. Men rapporten viser også, at det stærkt stigende forbrug af sjældne jordartsmetaller til de planlagte udbygninger af vindkraft og elektrificering af transportsektoren medfører, at der allerede i 2025 er risiko for utilstrækkelige forsyninger af disse råstoffer, og at dette forsyningsproblem formentlig forværres hen imod 2030. Manglende forsyninger af vigtige råstoffer – herunder sjældne jordartsmetaller – til den grønne omstilling, kan true den planlagte implementering.

Med en mulig forværret forsyningskrise for sjældne jordartsmetaller allerede i 2025 synes der at være et behov for at justere de eksisterende nationale og regionale råstofstrategier til i højere grad at omfatte globale løsninger, hvori de involverede industriers internationale karakter erkendes, og hvor Kinas eksisterende infrastruktur og knowhow indgår i sikringen af forsyningerne. Strategierne bør desuden afspejle, at råstofkритikalitet er dynamisk og kompleks; løsning af ét forsyningsproblem, fx de sjældne jordartsmetaller, kan udløse forsyningsproblemer for andre råstoffer.

Der er, som beskrevet i denne rapport, mange årsager til Vestens mere end 10 års forgæves forsøg på at bryde Kinas de facto monopol på de vigtigste dele af værdikæderne for sjældne jordartsmetaller. Måske kan en del af forklaringen også ligge i den 30 år gamle udtalelse af Horst Damm på Canton Spring Fair i Guangzhou i 1991: *Our relationship with China bases on trust and understanding. They don't trust us and we don't understand them!*

Per Kalvig, København, den 27. december 2021

*Tak til Patrik Andersson, Stefan Bernstein, Flemming Getreuer Christiansen, Rune J. Clausen, Sven Dahlgren, Jakob Kløve Keiding, Thomas Kruemmer, Mads Schou Pedersen, Mark Saxon, Badrinath Veluri og Jesper Willaing Zeuthen for diskussioner, råd og bidrag.*

# Sammenfatning

## *Kapitel 1: Sjældne jordartsmetaller betragtes som kritiske råstoffer*

Råstoffer, der anses for nationaløkonomisk vigtige, og som desuden er forsyningsudfordrede, defineres som kritiske råstoffer. De sjældne jordartsmetaller betragtes i de store industrilande som de mest kritiske råstoffer.

## *Kapitel 2: Hvad er sjældne jordartsmetaller?*

De sjældne jordartsmetaller (eng: Rare Earth Elements (REE)) er 17 grundstoffer bestående af overgangsmetallerne scandium, yttrium, samt de 15 lanthanider bestående af lanthan, cerium, praseodymium, neodymium, prometium (radioaktivt og findes ikke naturligt), samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium og lutetium (scandium er ikke omfattet i denne rapport). Gruppen opdeles ofte i de lette (LREE) og tunge sjældne jordartsmetaller (HREE). Betegnelsen sjældne jordartsmetaller skyldes, at de første opdagelser blev gjort for mere end 200 år siden, hvor man fejlagtigt troede, at de var sjældne; 'jordarter' var betegnelsen for oxider.

De sjældne jordartsmetaller finder bred industriel anvendelse pga. grundstoffernes kemiske og fysiske karakteristika. Trods deres store kemiske og fysiske ligheder er der små vigtige forskelle, og derfor anvendes de i betydeligt omfang til forskellige industrielle formål.

## *Kapitel 3: Industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller*

De vigtigste anvendelsesområder for sjældne jordartsmetaller er til katalysatorer til biler, katalytiske processer til raffinering af olie-/gasprodukter, tilsætningsmidler og poleringsmidler til glas og optik, fosforescenser, tekniske keramiker, metallurgiske processer, batterier og permanente magneter. Hvert anvendelsesområde efterspørger typisk 3-5 forskellige sjældne jordartsmetaller. Priser, specifikationskrav og tilgængelighed er afgørende for valget, men ikke alle kan substituere for hinanden. Forbruget varierer i takt med teknologiudviklingen, hvor nye teknologier kommer til (fx LED og NdFe-magneter) og andre udfases (fx halogen og katalysatorer). De enkelte landes forbrug afspejler, hvilke industrisektorer der er dominerende, hvorfor der er store forskelle på forbruget fra land til land. Den grønne omstilling har medført en stor stigning i efterspørgsel og produktion af permanente magneter til især elbiler og vindmøller med deraf stor efterspørgsel på praseodymium, neodymium og dysprosium. Udviklingen i disse markeder vil de kommende årtier få stor indflydelse på de globale produktioner af sjældne jordartsmetaller.

## *Kapitel 4: Handel og priser*

Hovedparten af råvarer og halvfabrikata med sjældne jordartsmetaller handles på langtidskontrakter. Som en konsekvens er der lille transparens med hensyn til volumen, specifikationer og priser med deraf følgende store variationer i de tilgængelige data for sjældne jordartsmetaller, hvilket vanskeliggør analyser af massebalancer.

Over de seneste 10 år er det samlede forbrug af sjældne jordartsmetaller vokset med omkring 50 %. Lanthan og cerium udgør omkring 70 % af de handlede tonnager og er dermed de største grupper efterfulgt af neodymium; efterspørgslen på neodymium er dog stærkt stigende som følge den voksende produktion af magneter. Vurderet i værdi udgør råstofferne til permanente magneter omkring 80 % af den samlede omsætning, og dette marked har derfor stor indflydelse på udviklingen af værdikæderne for sjældne jordartsmetaller.

Handel med sjældne jordartsmetaller foregår mange gange undervejs mellem værdikædernes dele fra mine til færdige produkter, da de involverede virksomheder typisk er specialiserede til at udføre specifikke opgaver. Priserne afspejler den omfattende og højteknologiske forarbejdning, der er nødvendig for at fremstille produkter, der kan opfylde de enkelte forarbejdningstrins specifikationskrav. Priser for mineralkoncentrater og andre kun lettere forarbejdede råstoffer ligger derfor betydeligt under de offentliggjorte listepreiser for færdigvarer. Sjældne jordartsmetaller til fremstilling af magneter tilhører den gruppe af råstoffer, som kræver særligt høje kvaliteter, og er derfor dyre råvarer. Preisevariationer mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller udtrykker desuden de forskelle, der skyldes forskellig geologisk tilgængelighed, som fx lanthan og cerium, der findes i store mængder, og priserne derfor er lave, og fx terbium og dysprosium, som kun findes i mindre mængder, og derfor er højprisprodukter.

Priserne for sjældne jordartsmetaller afspejler også de dynamiske forhold i verdensøkonomien. Den overvejende tendens var faldende priser frem til 2010, da en politisk konflikt i efteråret 2010 mellem Kina og Japan udløste voldsomme prisudsving i 2011-2012, hvorefter priserne igen faldt for mange af de sjældne jordartsmetaller. Priser på de råstoffer, som anvendes til fremstilling af permanente magneter (især praseodymium, neodymium og dysprosium), har dog igen været stigende. Efterforskningsprojekterne, som kan blive til de nye miner, bliver derfor især vurderet i forhold til malmens indhold af disse tre magnetmetaller.

#### *Kapitel 5: Forsyningskæderne (øvre til midt)*

Trods Vestens forsøg på at etablere infrastruktur på de øvrige dele af forsyningskæderne, udgør den vestlige produktionskapacitet stadig kun en meget lille del sammenlignet med Kinas kapacitet. I Vesten har der været særlig fokus på at udvikle mere effektive metoder til separation af de sjældne jordartsmetaller, da de traditionelle metoder er langsomme, pladskrævende og teknisk udfordrende operationer. Samlet set er forarbejdningen af de sjældne jordartsmetaller en flaskehals som, i kombination med Kinas dominans, udgør de vigtigste årsager til, at sjældne jordartsmetaller vurderes som særligt kritiske råstoffer.

#### *Kapitel 6: Genanvendelse og substitution*

Genanvendelsesraten for de sjældne jordartsmetaller er meget lille og bidrager kun med under 1 % af forbruget. Det skyldes primært, at en stor del sidder i små enheder, som hver især kun indeholder små mængder, hvilket vanskeliggør en effektiv indsamling og oparbejdning. De store enheder med stort indhold af sjældne jordartsmetaller, som fx magneter fra elbiler og vindmøller, er først tilgængelige efter hhv. 10-15 år og 20-30 års brug og kan derfor ikke indgå som tilskud til de eksisterende behov. Der pågår betydelig materialeforskning målrettet substitution af dyre sjældne jordartsmetaller med billigere sjældne jordartsmetaller, eller helt andre råstoffer. Øget genanvendelse vil på sigt bidrage til en forbedring af forsyningsikkerheden.

#### *Kapitel 7: Miljø, sundhed og klimabelastning i de øvre dele af værdikæderne*

Fremstilling af produkter med sjældne jordartsmetaller sker igennem en lang række procestrin, som samlet har et betydeligt CO<sub>2</sub>-aftryk og højt vand- og energiforbrug; CO<sub>2</sub>-aftrykket øges med forarbejdningsgraden. Da det er vanskeligere at fremstille neodymiumprodukter end fx ceriumprodukter, er miljøaftrykket også højere; fx er energiforbrug, drivhusgasudledning og vandforbrug hhv. 3, 4 og 4 gange højere ved produktion af neodymium end ved produktion af cerium. Langt de fleste mineraler, som bruges til udvinding af sjældne jordartsmetaller, indeholder desuden uran og thorium, hvilket nødvendiggør håndtering af radioaktive restprodukter. Omfanget af disse miljøpåvirkninger er især knyttet til malmens type og lødighed og de tekniske metoder, der anvendes til at udnytte de sjældne jordartsmetaller.

### *Kapitel 8: Global produktion af sjældne jordartsmetaller*

Produktion, i betydningen den mængde primærråstoffer der udvindes fra miner ('run-of-mine'), opgøres årligt af US Geological Survey, som for 2020 rapporterede en samlet global produktion på omkring 240.000 ton TREO. Der er en del afvigelser mellem USA's og andre opgørelser, men tendensen er den samme: Der har været en produktionsvækst på næsten 100 % i perioden fra 2015 til 2021. Væksten afspejler de globale omlægninger til fossile frie energikilder og elektrificeringer, hvortil især neodymium, praseodymium og dysprosium er efterspurgt. Det er især 11 lande, som står for produktionen, hvoraf Kina er langt den største producent (ca. 60 %), efterfulgt af USA (ca. 13%), Australien (ca. 9 %) og Myanmar (ca. 8 %). Det er dog Kina, som forarbejder hovedparten af produktionen.

De globale opgørelser offentliggøres som summen af de enkelte sjældne jordartsmetaller (TREO). Da vurderinger af forsyningssituationen til bl.a. grøn omstilling er bestemt af specifikke sjældne jordartsmetaller, er der udarbejdet estimater for fordelingen af primærproduktionen for de enkelte sjældne jordartsmetaller (REO); disse estimater ligger til grund for de forventningsscenarier, der er udarbejdet og rapporteret i kapitel 14.

### *Kapitel 9: Geologiens betydning for forsyningerne af sjældne jordartsmetaller*

Sjældne jordartsmetaller findes i mange forskellige geologiske miljøer og er bundet til forskellige mineraler. Da de geologiske typer er karakteriseret ved deres mineralogiske sammensætning, er de geologiske typer også indikator for fordelingen af de enkelte sjældne jordartsmetaller og malms potentiale som råstofressource for sjældne jordartsmetaller; ressourcestørrelsen er tilsvarende bestemt af det geologiske miljø med de magmatiske typer som de største.

Der er en generel tendens til ubalance mellem en forekomsts fordeling af sjældne jordartsmetaller, og den fordeling som markederne efterspørger; dette omtales 'balanceproblemet'. Derfor anses forekomster med højt indhold af især magnetmetallerne praseodymium, neodymium og dysprosium for at have det største kommercielle potentiale; i tillæg vil forekomster med lavt indhold af de radioaktive grundstoffer som uran og thorium desuden blive foretrukket. Netop disse forhold er knyttet til forekomsternes geologiske dannelsesmiljøer.

### *Kapitel 10: Ressourcer og reserver*

Begreberne ressourcer og reserver anvendes til at beskrive råstofgrundlaget for en mine – og inden en eventuel minedrift igangsættes skal reserverne være så sikkert bestemt, at investorerne har vished for, at 'lageret', som skal danne grundlag for virksomheden, er til stede. Sådanne påvisninger kræver flerårige undersøgelser, der udarbejdes som væsentlige dele af mineralefterforskningen. Mineindustrien anvender standardiserede betegnelser, som angiver både den sikkerhed, hvormed en malmressource er påvist (sikre, sandsynlige, mulige), og i hvilket omfang den vil kunne udnyttes økonomisk. Når der er sikkerhed for begge forhold, betegnes malmen som en reserve. Efterforskningselskaber indberetter forhold knyttet til ressourcen/reserven til myndighederne, og på dette grundlag offentliggøres de nationale ressourcer/reserver. Bl.a. udgiver USGS årligt data for de globale reserver for sjældne jordartsmetaller, hvoraf det fremgår, at de sjældne jordartsmetaller siden år 2000 har udgjort omkring 120 mio. ton (TREO).

På basis af MiMa-data er der udført en 'bottom-up' analyse af de globale ressourcer/reserver fordelt på klasserne 'sikre', 'sandsynlige' og 'mulige'. Det fremgår heraf, at karbonatitter og alkaline forekomster udgør hhv. de største sikre og sandsynlige ressourcer. Det fremgår endvidere, at de sikre ressourcer udgør omkring 114 mio. ton TREO, hvoraf hovedparten findes i Kina, Australien, Grønland og USA; de sandsynlige ressourcer udgør omkring 92 mio. ton TREO, hvoraf hovedparten findes i Grønland, Canada, Vietnam og Australien; gruppen af mulige ressourcer

udgør 58 mio. ton og findes især i Sverige, Canada og Kenya; dertil kommer ca. 60 mio. ton TREO tvivlsomt bestemte mulige ressourcer, som Nordkorea givetvis skulle råde over. Datagrundlaget kan være fejlbehæftet, men viser for de sikre ressourcer god overensstemmelse med data fra USGS.

Antages et fremtidigt forbrug på omkring 500.000 ton pr. år, rækker de sikre ressourcer til ca. 200 år. Dette er markant længere levetid end de fleste andre mineralske ressourcer som fx kobber og zink. Det må forventes, at trækket på ressourcerne delvist vil blive kompenseret af nye efterforskningsfund, samt at en del af efterspørgslen kompenseres med genanvendte råstoffer.

#### *Kapitel 11: Kinas strategier og praksis*

USA stoppede en mangeårig produktion af sjældne jordartsmetaller i 2002 og overlod forsyningen af verdensmarkedet til Kina; dette skete samtidigt med Vestens industrielle outsourcing til lande med lavere omkostningsniveau. På dette tidspunkt var Kina den dominerende producent af sjældne jordartsmetaller, hvoraf omkring 70 % af produktionen kom fra minerne Bayan Obo og Sichuan, ca. 20 % kom fra ionadsorptions(ler)forekomster (IA-forekomster) fra det sydlige og østlige Kina og resten som biprodukter fra tungsandsforekomster. På dette tidspunkt udviklede og diversificerede Kina værdikæderne for sjældne jordartsmetaller, og eksporten blev øget frem mod 2010, hvor den politiske konflikt mellem Kina og Japan resulterede i en ændret kinesisk strategi, der i højere grad skulle sikre at værditilvæksten af produkterne skete i Kina, hvilket lykkedes. Kina har efterfølgende reduceret produktionen fra IA-forekomster for bl.a. at imødekomme miljøkritik.

Kina etablerede i 2006 et industrikartel for værdikæderne for sjældne jordartsmetaller bestående af seks store konsortier, The Big Six, som tildeles licenser og halvårslige produktionskvoter for både den primære produktion og for oparbejdningen. Kina har desuden indført et skatte- og afgiftssystem, som er konstrueret, så det er fordelagtigt for de kinesiske virksomheder at foretage alle dele af værdikæderne, herunder også forbrug af råstofferne til fremstilling af varer og komponenter, i Kina med henblik på efterfølgende eksport.

#### *Kapitel 12: Kinas forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller*

De fleste medlemmer af The Big Six er vertikalt diversificerede og omfatter alle nødvendige industrier fra minedrift til færdige produkter, dog med en vis specialisering i forhold til råmaterialernes sammensætning i lette og tunge sjældne jordartsmetaller.

Konsolideringen i The Big Six gør det muligt for Kina at udnytte de store LREE-ressourcer ved Bayan Obo, i Indre Mongoliet samt forekomsterne i Sichuan-provinsen i vest og Shandong-provinsen i øst. Det store bidrag af HREE kommer især fra udnyttelse af IA-forekomsterne i de sydlige provinser: Jiangxi, Ganzhou, Guangxi, Hunan, Fujian, Guangdong og Yunnan.

Faldende indtægter og udfordringer med at skaffe råstoffer har medvirket til konkurrence mellem The Big Six. Der pågår derfor overvejelser om at reducere antallet af koncerner fra seks til to for fortsat at sikre, at Kina kan bevare den globale kontrol i et marked, hvor råstoffer til produktion af permanente magneter vil blive de helt centrale aktiviteter, hvilket vil udfordre råstofforsyningerne. I tillæg til disse udfordringer betyder Vestens tiltag med at etablere egne værdikæder (kapitel 13) øget konkurrence om 'batteriråstofferne'. Mange vestlige projekter har kinesiske samarbejdspartnere, hvilket giver de vestlige selskaber sikkerhed for afsætning af de udvundne mineraler/koncentrater, samtidig med at Kina har adgang til vigtige råstoffer. Shenghe Resources Holding er i flere tilfælde involveret i sådanne partnerskaber, eksempelvis i Grønland.

### *Kapitel 13: Eksempler på forsyningskæder uden for Kina*

En række vestlige lande er aktive i bestræbelserne på at etablere uafhængige værdikæder for sjældne jordartsmetaller. Som led i disse bestræbelser har bl.a. Australien, Europa, Japan og USA etableret forskellige politiske initiativer, herunder forskningsprojekter og erhvervsstøtteordninger. Herudover har et stort antal private efterforskningselskaber, især i perioden med store prisstigninger efter 2010, igangsat efterforskningsprojekter i mange lande (kapitel 10). En del af disse projekter er langt fremme i efterforskningsprocessen og har påbegyndt vurderinger af, hvor og hvordan malmen kan blive forarbejdet. I mangel på samarbejdspartnere og afsætningsmuligheder i Vesten har de fleste projekter etableret samarbejde med kinesiske partnere, som kan bidrage med knowhow, afsætningsaftaler og ofte også projektf finansiering. Blandt de kinesiske partnere er flere medlemmer af The Big Six samt Shenghe Resources, som er aktionær i bl.a. Kvanefjeldsprojektet/Kuannersuit, Grønland, og i Mountain Pass-minen, USA, der bryder malm som eksporteres til forarbejdning og forbrug i Kina.

Nogle store, vestligt baserede virksomheder besidder den nødvendige knowhow og råder over faciliteter relateret til de mellemste og nedre dele af værdikæderne for de sjældne jordartsmetaller. Dog er flere af disse også betydeligt engagerede i netop denne type aktiviteter i Kina. Den internationale laterale diversificering af disse virksomheder gør det vanskeligt at skelne mellem 'kinesiske' og 'vestlige' selskaber. I den øvre del af værdikæderne forsøger nogle af efterforskningselskaberne at etablere selvstændige separationsanlæg i Vesten; det er dog uafklaret, hvor produktionerne skal videreføres, da den vestlige kapacitet til forarbejdning, herunder raffinering og legeringer, er meget lav. Desuden er det sandsynligt, at produkterne vil være prismæssigt konkurrenceudfordret i både Vesten og i Kina, pga. Kinas told-, skatte- og afgiftssystempolitik.

### *Kapitel 14: Vurdering af eventuelle forsyningsudfordringer til den grønne omstilling*

Den teknologiske udvikling har igennem de seneste 20 år i stigende omfang involveret de sjældne jordartsmetaller med et hurtigt voksende marked til følge, som især domineres af Kina. De senere års internationale fokus på nødvendigheden af at udvikle CO<sub>2</sub>-reducerende energiproduktion og transportformer har resulteret i, at behovet for permanente magneter med indhold af sjældne jordartsmetaller er vokset eksplosivt; forbruget forventes også at vokse med høje rater i de kommende år til brug i især el- og hybridbiler og vindmøller. Dette marked vil især efterspørge praseodymium, neodymium og dysprosium, og denne efterspørgsel vil blive bestemmende for den samlede produktion af sjældne jordartsmetaller.

Da det hurtigt voksende forbrug og manglende vestlig udbygning af relevant infrastruktur åbner muligheden for en egentlig mangelsituation, som følge af for få aktive miner, er der udarbejdet en række scenarier for balancerne mellem udbud og efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller i hhv. 2025 og 2030. På forsyningsiden indgår de eksisterende anlæg samt 26 efterforskningsprojekter, som i forskelligt omfang forventes at bidrage til produktionen. Efterspørgslen er estimeret med udgangspunkt i tre analyser af elbilmarkedets udvikling frem mod 2030. Estimerterne peger på, at der i 2025 er et forsyningsunderskud i størrelsesordenen 10 % for både praseodymium og neodymium, hvis den varslede efterspørgsel på elbiler holder, og udbuddet af råstoffer følger et lavt niveau; anvendes de samme forudsætninger for 2030 er underbalancen vokset til ca. 50 % for hver af de to råstoffer. Det skal i denne forbindelse nævnes, at denne forsyningsudfordring ikke alene løses ved etablering af nye miner i Vesten; en løsning kræver, at der også udvikles komplette værdikæder til forarbejdning. Intet tyder derfor på, at Vesten frem mod 2030 vil kunne producere sjældne jordartsmetaller i et omfang, der kan dække egne behov.



# Summary

## *Chapter 1: Rare Earth Elements are classified as critical raw materials*

Raw materials considered of economic importance to a country or region, but which are also subject to actual or potential supply constraints, are defined as critical raw materials (CRM). The Rare Earth Elements (REE) are classified as CRM in most industrial countries.

## *Chapter 2: The Rare Earth Elements*

The REE group includes seventeen elements: lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium, yttrium and scandium, of which the latter is not dealt with. Commonly applied terms are light rare earth elements (LREE), encompassing the first four of the above listed elements, and the heavy rare earth elements (HREE), encompassing the rest. They are all metals, and the misleading names 'rare' and 'earth', stem back from the first discoveries more than 200 years ago, reflecting a different understanding of chemistry and mineralogy.

The REE are widely used industrially. Although there are many similarities among the REE, the various industrial sectors only demand a few of them, due to their specific physical and chemical properties.

## *Chapter 3: Industrial applications*

The majority of the REE have industrial applications as for example: catalytic processes, and as catalytic converters in the automobile industry, in batteries, permanent magnets, metallurgical processes, in the glass industry, phosphorescence's, technical ceramics, and optical polishing. Each of these sectors demands only a few specific elements, and in many cases, substitution is not an option. The global drive for green electrification impacts, in particular, the demand for REE for the magnet industry, and consequently there is a substantial growing demand for praseodymium, neodymium and dysprosium. Over the coming decade, this market is expected to play an important role for the development of global REE demand and supply.

## *Chapter 4: Trade and price*

The majority of the REE raw materials and semi-finished products, are traded bilaterally on long-term contracts. There are no recognized markets such as those like the LME that trade metals, consequently, there is little information available in terms of volumes traded, dominant companies, specifications, and prices. Therefore, there are large variations in the available data on REE, and moreover the products are also rarely well-defined, which makes analysis difficult.

Over the past 10 years, the total consumption of REE's has grown by about 50%. Lanthanum and cerium make up about 70% of the traded tonnages, and are thus the largest groups, followed by neodymium; however, the demand for neodymium is rising sharply due to the growing production of magnets. In terms of value, the raw materials for permanent magnets are the most significant, accounting for about 80% of the total turnover

Trade in REE takes place at many stages along the value chain, from mine to finished product. The prices for various REE, reflect the extensive and highly technical processing required to produce products that can meet the specific requirements of industry at each step. The prices of mineral concentrates and other processed raw materials are therefore significantly below the published list prices for finished, refined products. Raw materials for the production of magnets belong

to a group that requires particularly high specifications and therefore attracts consistently high prices. Price variations between the individual REE's also reflect differences due to their geological availability, such as lanthanum and cerium which are often found in large quantities, and terbium and dysprosium which are only found in small quantities.

The prices of REE reflect the dynamic conditions of the world economy. Up until 2010, prices showed a predominantly downward trend. The political tensions between China and Japan, clarified the West's supply challenges with China emerging as the dominant producer at all levels of the global value chain. After some violent fluctuations in 2011-2012, prices for many of the REE fell again; but for the raw materials used to make permanent magnets (in particular praseodymium, neodymium, dysprosium and terbium) prices have been rising. These 'magnet'-REE's now determine whether an exploration project is considered viable. High prices keep many of the exploration projects going; falling prices will see many projects abandoned.

#### *Chapter 5: The value chain*

The value chains for all mineral raw materials start in principle with mineral exploration, of which, only a small number of projects are ultimately developed for mining and production of minerals that contain the desired commodity/element. For some elements, i.e., gold, the value chains are short and technically simple. For others – such as the REE – the chain is longer, with the need for extensive and technically complicated processing to produce the raw materials and components in accordance with the consumer's specifications. For these, the value chain often includes the following process steps: (1) Mining and production of mineral concentrates; (2) extraction of the REE from the minerals; (3) separation of the individual REE; (4) refining; (5) alloying, and (6) product/component manufacturing – and later (7) recycling. Step 1 is usually performed by the mining company; the subsequent steps are performed by companies specializing in each of the particular process steps and are most often located far from the mine site.

China dominates all links in the REE supply chain, but with a declining share of step 1. Despite the West's attempts to establish infrastructure at the other links in the supply chain, Western production still only accounts for a small, fairly insignificant part of this global chain. Particularly, focus has been on developing more efficient methods for separating the individual REE (step 3), as the traditional methods are slow, require a lot of space for the many hundreds of separation columns, and China's companies control these productions, which constitute a significant bottleneck, and one of the main constraints to lifting REE out of the CRM domain.

#### *Chapter 6: Recycling and substitution*

There is a growing recognition of the need to increase the volume of recycling of mineral raw materials in combination with the desire to reduce the environmental impact of primary production. This is coupled to the desire to detach Western countries' reliance on China's REE production, thereby minimizing supply risk. Overall, recycling currently contributes less than 1% of global demand.

Efforts to increase recycling have mainly focused on production waste and discarded products such as magnets, batteries, lamps and catalysts. The challenges for increased recycling are partly due to the fact that a large proportion of REE's end up in physically small units, each of which contains only a small quantity of REE's. Thus it is difficult to collect and process this material efficiently. Large units with large quantities of REE, such as magnets from electric cars and wind turbines are only available after 10-15 years and 20-30 years of use respectively and can therefore not be included as a subsidy for existing needs. In addition, the technologies for recycling are under development. There is considerable material research going on targeted substitution

of some of the highly sought after and expensive REE with others which are less in demand and thus cheaper.

#### *Chapter 7: Environment, health, and climate impacts*

The manufacture of refined REE-raw materials takes place through a large number of process steps, which together have a significant CO<sub>2</sub> footprint, high water and energy consumption, as well as radioactive environmental impacts from e.g., associated content of uranium and thorium. The extent of these environmental impacts is particularly related to the type and quality of the ore and the technical methods used to exploit the specific REE required.

#### *Chapter 8: Global production of REE*

The global production of the raw materials containing REE in 2020 amounted to approximately 240.000 tons (USGS 2021). However, significant discrepancies between the global inventories occur, but all indicating the same fast-growing production trend, with about a 100% growth in the period from 2015 to 2021. The growth reflects the global shift to fossil-free energy sources and electrification, for which neodymium, praseodymium and dysprosium in particular are in high demand. Primary production is supplied by 11 countries in particular, of which China is by far the largest producer; but significant production also comes from e.g., USA, Myanmar and Australia.

Global production statistics for the total REE are published annually, by several institutions. To assess the supply-demand balance, the total figures are broken down to individual REE, and these estimates form the basis for the foresight scenarios reported in Chapter 14.

#### *Chapter 9: The importance of geology for the supply of REE*

REE are found in many different mineral and geological environments, occurring on all continents. Geologically, there are two main groups: (i) Magmatic types, divided into five subtypes, of which the alkaline and carbonatitic subtypes constitute the largest deposits, and (ii) the secondary types, divided into heavy sand, laterite, and ion adsorption (IA) deposits, of which the latter is enriched in heavy REE (HREE). The mineralogy, and thus the distribution of the REE, is controlled by the geological environment it is related to. Given the fact that the natural distribution of REE does not match the market demand; however, some deposits are more suitable than others, and consequently are economically more attractive.

#### *Chapter 10: Resources and reserves*

The terms 'resource' and 'reserve' are used to describe the estimated volume and grade of a raw material being amenable to mining and the level of confidence in that estimate. Mining companies must have a high level of confidence as well as a suitable volume and grade of material in order that decisions to invest in their project can be made. It takes several years of high-risk and intensive mineral exploration, to reach the stage where only minor uncertainties remain, and the risk has been minimized sufficiently for the major investment required to commence mining. The mining industry applies standardized terms and procedures set out in mining codes (JORC and NI43-101), to classify resources and reserves into various classes, and only the 'proven' and 'measured' classes are acceptable for final feasibility studies informing decision making. Few REE-projects have reached this stage, despite many years of intensive exploration.

Exploration and mining companies report to the authorities and markets, matters related the resource/reserve, and on this basis, the national resources/reserves are published. The US GS prepares annual global assessments. Since 2000, the global reserves for REE have amounted to around 114 Mt (TREO); at current rates of consumption, this is sufficient for several hundred years of production. But as consumption is rising sharply, the total life of the reserves decreases;

however, this may well be offset by new discoveries as a result of exploration activity, new production methods and increasing supply from recycling.

Only annual data of the combined total amount of all REE are published. As such inventories generally cannot be used for assessments of the reserves for the individual sectors. Estimates however have been prepared in this project for the reserves/resources for the individual REE, based on geological knowledge of the mines that produce them.

A 'bottom-up' analysis of the global resources/reserves has been carried out based on the estimates published for mining and exploration projects carried out as part of the project (Appendix I). From this analysis it appears that carbonatites and alkaline deposits constitute the largest proven and probable resources, respectively. It also appears that the largest proven reserves are found in China, USA and Australia; the largest probable occurrences are found in Greenland, Canada, and Russia.

#### *Chapter 11: China – strategies and practice*

In 2002, the US abandoned production of REE after many years, leaving China to supply the world market. China was already a dominant producer, particularly due to the Bayan Obo and Sichuan mines (about 75% of global production), ion-adsorbed clay deposits in southern and eastern China (ca. 20% of global production), as well as smaller amounts of heavy mineral sand deposits. After the year 2000, China expanded and diversified the value chains for REE, and exports of raw materials increased until 2010, when the political conflict between China and Japan resulted in a change in Chinese strategy, focusing on adding value to the products in China and not exporting raw materials. China has subsequently reduced production from ion-adsorbed clay deposits, to meet environmental criticism; this has caused a minor change in the overall LREE:HREE ratio, in favor of the first.

As part of China's diversification, the value chain has been expanded and a 'REE cartel' has been established, consisting of six large consortia, which are awarded licenses and half-yearly production quotas for both primary production and processing. Additionally, China has introduced a tax system that has been designed to make it more advantageous for Chinese companies to establish business links with domestic value chains, rather than foreign.

#### *Chapter 12: The Chinese value chains for REE*

China has developed highly diversified, and complex value chains for REE, organized and structured to ensure that China can continuously maintain their monopolistic market dominance. In 2016, more than 400 companies spread across 23 provinces were involved in REE-related mining, raw material processing and trade; today the number has grown further.

The value chains are predominantly organized into six large groups (called The Big Six) and are organized on the basis of; allocated production quotas for both mining and processing. Most members of The Big Six are vertically diversified, encompassing all necessary industries from mining to finished products, however, with a specialization in the composition of the raw materials in LREE and HREE. The consolidation in The Big Six enables China to exploit the vast LREE resources at Baotou Bayan Obo, in Inner Mongolia, as well as the Sichuan Province to the west and Shandong Province to the east. The large contribution of HREE comes mainly from the exploitation of ion adsorption clay deposits in the southern provinces: Jiangxi, Ganzhou, Guangxi, Hunan, Fujian, Guangdong and Yunnan.

Declining revenues and challenges in sourcing raw materials have contributed to rivalry between The Big Six. Considerations are therefore being given to reducing the number of groups from six to two. In addition to these challenges, the West's efforts to establish its own value chains means increased competition for the magnet raw materials. Many Western projects have Chinese partners, with whom favorable 'off-take' agreements can feed raw materials into the Chinese value chains, exemplified by the stakeholder relations between Shenghe Resources Holding and the Kvanefjeld Project, Greenland and Mountain Pass in the US.

#### *Chapter 13: New supply chains outside China - examples*

Several Western countries are active in the effort to establish independent value chains for REE, and a wide range of policy initiatives, including research funding and business support schemes have been introduced. Additionally, hundreds of private exploration companies, especially after the price-spike-period in 2011, are undertaking exploration across the world. Some of these projects have now reached the advanced exploration stage and are faced with issues related to where and how to get the ore treated. In the absence of partners and sales opportunities in the West, most of the projects have established cooperation with Chinese partners, several of which are members or associated members of the Big Six, offering know-how, off-take commitments and often also project financing. Some large, western-based companies do possess the required know-how and facilities related to the middle- and lower parts of the value chains for the REE; however, several of these are also significantly engaged in REE-activities in China. Thus, the international and lateral diversification of the large consortia makes it difficult to distinguish between 'Chinese' and 'Western'.

#### *Chapter 14: Assessment of the REE-supply challenges for the 'green' transition*

Over the past 20 years, technological development has increasingly involved the REE's, resulting in a rapidly growing market, which is particularly dominated by China. However, the international focus in recent years on the need to develop CO<sub>2</sub>-reducing technologies, especially for the transport and wind-energy sectors, has resulted in the fast-growing need for a reliable supply of these REE's, and this demand is expected to grow even faster in the next decade. The market will particularly demand praseodymium, neodymium, and dysprosium, and these commodities will determine the total production of the REE.

As the rapidly growing consumption and lack of western development of relevant infrastructure for producing REE, opens the possibility of supply-shortage risks due to scarce primary production facilities. Scenarios have been prepared for the REE supply-demand balances in 2025 and 2030, respectively. The existing mines as well as 26 advanced exploration projects, which to varying degrees are expected to contribute to production, are included. Demand is estimated based on three published foresight studies for the development of the electric car market up to 2030.

The scenarios indicate a supply deficit of around 10% in 2025 for both praseodymium and neodymium if the expected demand for electric cars is sustained and the production of raw materials follows the stipulated low-level scenario. Applying the same assumptions for 2030, the outcome of the scenarios is a significant deficit of about 50% for each these two raw materials. This serious supply challenge is not solved solely by establishing new mines in the West, nor with low-capacity level for mid- and downstream industries. Conclusively, it appears unlikely that the West will be able to achieve self-sufficient status for REE by 2030.

# 1. Sjældne jordartsmetaller betragtes som kritiske råstoffer

Et mineralsk råstof defineres som kritisk, hvis det både har stor industriel/økonomisk betydning, og råstofforsyningen samtidigt er udfordret. Udebliver forsyningerne af kritiske, forarbejdede råstoffer til de forskellige industrisektorer, tvinges de virksomheder, som er afhængige af disse råstoffer, til at reducere eller lukke produktionen med nationaløkonomiske følgevirkninger.

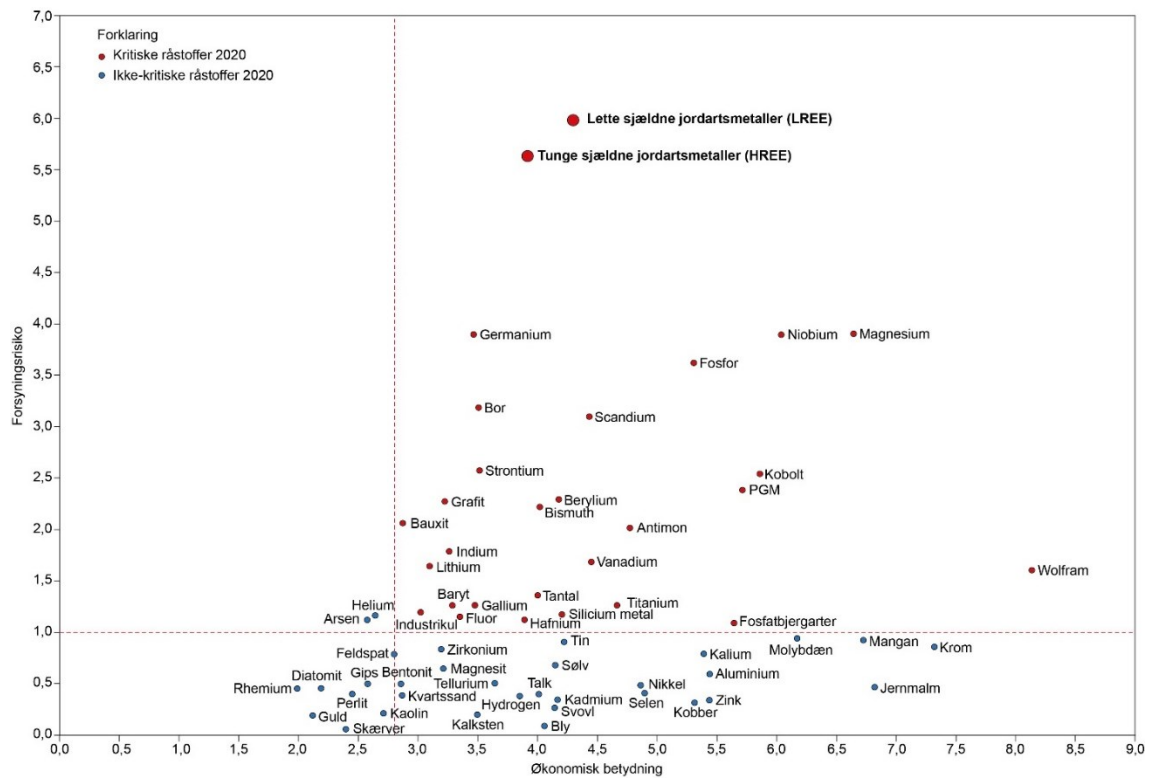
Det er ikke nyt, at der er både politisk og akademisk interesse for råstoffernes samfundsmæssige betydning. For 200 år siden var der bekymringer for, om der kunne produceres fødevarer nok til den voksende befolkning. Denne bekymring blev i 1960'erne afløst af bekymringer for, om industrialiseringen ville tømme naturens lagre af mineralske råstoffer. I dag er der to modsatrettede bekymringer: På den ene side erkendelsen af at verdens mineralske ressourcer er endelige, og at introduktion af bæredygtighedsprincipper i råstofudnyttelsen er nødvendige, hvis der skal være råstoffer til de næste mange generationer. På den anden side står bekymringerne for, om det er muligt at øge råstofforsyningerne i det nødvendige tempo, som er resultatet af en voksende og mere købekraftig global befolkning. Eksempelvis forventes kobberforbruget at være tredoblet i 2100 (90 mio. ton) i forhold til år 2020 (Schipper *et al.* 2018). Implementering af den grønne omstilling, hvor tilgængelighed af, store mængder af specialmetaller er en forudsætning, har sat råstofforsyningerne under yderligere pres.

Årsagerne til de aktuelle forsyningsudfordringer er mange og er forskellige fra råstof til råstof og mellem de forskellige industrisektorer. Det er dog et gennemgående træk, at private og nationale monopoliseringer af råstofforsyningerne anses som årsag til de fleste af udfordringerne, med Kinas råstofdominans som den hyppigst nævnte årsag (Schulz *et al.* 2017; Federal Register 2021; Government UK 2021). Det er den sidstnævnte bekymring, som knytter sig til de sjældne jordartsmetaller samt mange af de andre kritiske råstoffer. Bekymringerne over usikre råstofforsyninger er ikke kun et vestligt fænomen. Også Kina udarbejder, som led i landets femårsplaner, lister over de råstoffer som skal gives særlig prioritet, ofte omtalt som 'strategiske råstoffer'; i planen for 2016-2020 indgik de sjældne jordartsmetaller på denne liste (Andersson *et al.* 2018),

Siden 2000'erne er der udarbejdet en række kritikalitetsanalyser som led i nationale og regionale overvågninger af råstofforsyningssituationen. De udarbejdes i forskellige skala (fx regional målestok (EU, Nordamerika m.fl.), national skala og på landsdelsniveau) og med forskellige metodiske tilgange, og der er derfor betydelige variationer, som afspejler forskellige dynamikker og erhvervsstrukturer. EU-Kommissionen udarbejdede i 2010 den første kritikalitetsanalyse, som siden er blevet revideret og udbygget i 2014, 2017 og 2020 (Figur 1-1) (European Commission 2020). I samtlige af EU's analyser er de sjældne jordartsmetaller karakteriseret som 'særdeles kritiske', som følge af at Kina har udviklet komplette værdikæder fra brydning, forarbejdning og forbrug til fremstilling af eksportvarer, som giver landet et de facto monopol. Kombinationen af Kinas de facto monopol og de sjældne jordartsmetallers hurtigt voksende industrielle betydning til teknologier, der indgår i den grønne omstilling, forbrugerelektronik samt forsvarssystemer, er årsagen til, at de sjældne jordartsmetaller betragtes som kritiske i EU.

Der er to svagheder ved kritikalitetsanalyserne: (i) Handelsstatistiske data gør det kun muligt at følge de vurderede råstoffer (herunder de sjældne jordartsmetaller) som råvarer; indhold indarbejdet i komponenter og produkter kan ikke følges. Da dansk industri helt overvejende importerer varer og komponenter, er det derfor ikke muligt at vurdere, i hvilket omfang de sjældne

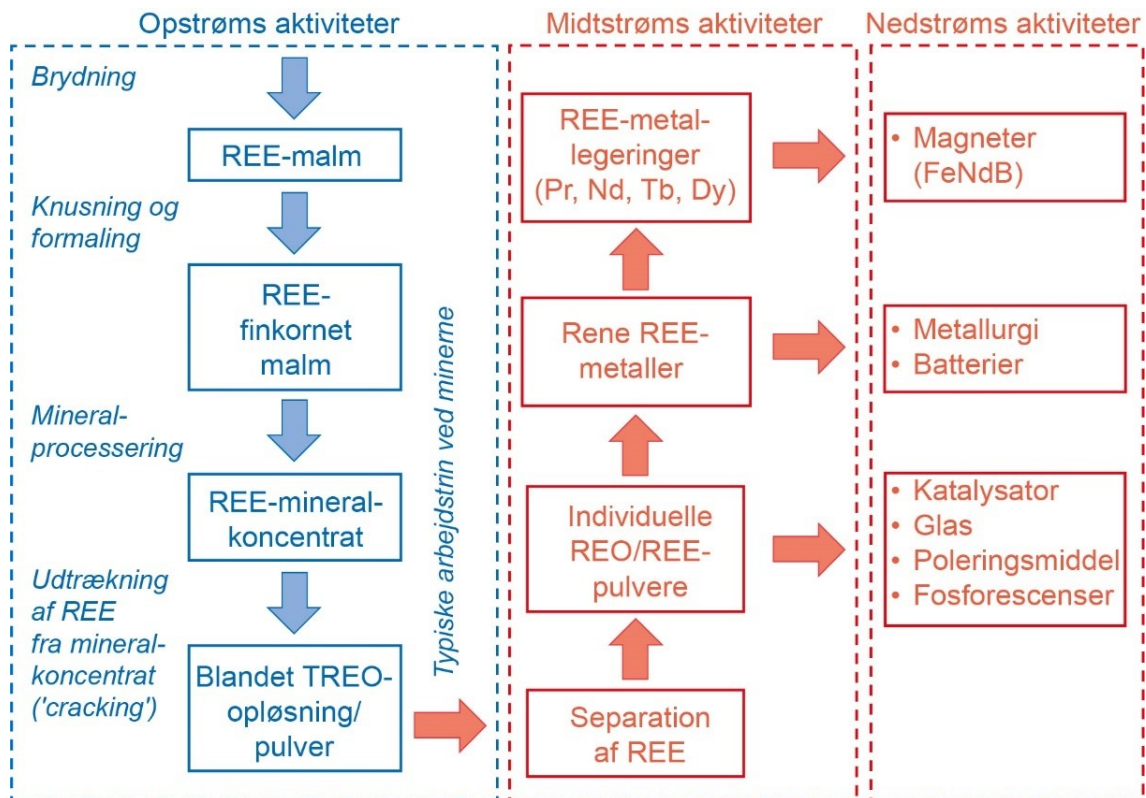
jordartsmetaller er kritiske for Danmark; (ii) Kritikalitetsanalyser udarbejdes på basis af handelsstatistiske data og udtrykker derfor kun, hvordan det er gået, og resultaterne er derfor ikke nødvendigvis velegnede til en vurdering af forsyningssituationen fremadrettet.



**Figur 1-1** Oversigt over råstoffer som indgik i EU-Kommissionens kritikalitetsvurdering; røde grundstoffer vurderes som kritiske for industrier i EU; blå vurderes ikke som kritiske. PGM – platingruppe-metaller. Kilde: European Commission (2020).

Nærværende rapport viser, at de væsentligste årsager til den aktuelle forsyningsrisiko for de sjældne jordartsmetaller hverken kan tilskrives mangel på geologiske forekomster, som navnet fejlagtigt kunne antyde, eller at der kun er få miner i lande uden for Kina. Den væsentligste årsag må tilskrives Kinas dominans og udvikling af de vidtforenede og højteknologiske værdikæder, som omdanner mineralerne til industrielt anvendelige og efterspurgte råvarer (Figur 1-2). Rapporten viser, at der på 5-10 års sigt er risiko for, at kritikalitetsårsagerne flytter sig til – også – at omfatte de øvre dele af værdikæderne.

Den usikre forsyningssituation for de sjældne jordartsmetaller, og de geopolitiske udfordringer der var forbundet hermed, blev blotlagt i september 2010, da Kina, som en følge af territorialstridigheder med Japan om øerne Sekaku og Diaoyu i det Østkinesiske Hav, stoppede for eksport af sjældne jordartsmetaller til Japan (se også afsnit 4.3.2). Episoden medførte mange politiske handlingsplaner, forskningsprogrammer og private aktiviteter for at bryde Kinas monopol, men desværre uden held. Den vestlige verden har dog ikke oplevet en mangelsituation på disse råstoffer i den mellemliggende periode.



**Figur 1-2** 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 forarbejdningsstrin, som hver især udføres af virksomheder specialiserede i det pågældende trin. De røde trin er helt domineret af kinesiske virksomheder.



## 2. Hvad er sjældne jordartsmetaller?

Betegnelsen *sjældne jordartsmetaller* er et paradoks, fordi de hverken er sjældne eller jordarter. Navneparadokset skyldes, at de første opdagelser blev gjort så sent som i 1787, hvor det lykkedes at påvise yttrium, som skulle vise sig at være det første af de 17 grundstoffer, som i dag går under betegnelsen sjældne jordartsmetaller. På det tidspunkt førte opdagelserne til den opfattelse, at det måtte være sjældent. Den anden del af navneparadokset *jordarter* er også forkert, da de 17 grundstoffer er metaller; men ordet jordarter blev på daværende tidspunkt brugt for de mindste bestanddele i naturen. Betegnelsen sjældne jordartsmetaller har imidlertid holdt ved og omtales ofte blot som *sjældne jordarter*, hvilket man også har på engelsk, hvor forkortelsen REE (Rare Earth Elements) bruges. Medmindre andet er angivet, anvender denne rapport begrebet *sjældne jordartsmetaller* som fællesbetegnelse, uanset hvilken kemisk form de optræder i.

### 2.1 Sjældne jordartsmetaller – kemisk set

I dag definerer kemikere ifølge International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) sjældne jordartsmetaller, som de 17 grundstoffer bestående af *gruppe 3*-overgangsmetallerne scandium (21) og yttrium (39) samt de 15 lanthanider, som er grundstofferne fra lanthan (57) til lutetium (71) (Figur 2-1). De er alle, på nær promethium (61), som er radioaktivt og et datterprodukt af uranisotopen U-235, naturligt forekommende grundstoffer.

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		

Lette sjældne jordartsmetaller (LREE)  
 Tunge sjældne jordartsmetaller (HREE)

**Figur 2-1** Det periodiske system med angivelse af de sjældne jordartsmetaller som omfatter lanthaniderne; lanthan (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodmium (Nd), promethium (Pr), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu) og overgangsmetallerne yttrium (Y) og scandium (Sc). Der anvendes forskellige opdelinger mellem LREE og HREE (se Figur 2-2).

Geologer inkluderer almindeligvis ikke scandium i de sjældne jordartsmetaller, der pga. sin mindre ionradius opfører sig anderledes og i øvrigt overvejende indvindes som biprodukt ved

fremstilling af aluminium fra bauxit, og som har selvstændige værdikæder. Scandium er derfor ikke beskrevet yderligere i denne rapport.

De sjældne jordartsmetaller er bløde, sølvfarvede metaller med mange fælles fysiske og kemiske karakteristika. I naturen findes de almindeligvis sammen med ikke-metaller i oxidationstrin 3+ og danner typisk oxider med formlen REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; dog findes cerium (Ce) også med valens 4+ og europium (Eu) med valens 2+. Nogle af de fysiske og kemiske ligheder mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller ændrer sig gradvist i rækken fra lanthan (La) til lutetium (Lu), som fx kationstørrelsen der falder (Tabel 2-1). Den faldende kationstørrelse bevirker, at der er små kemiske forskelle mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller, hvilket er grunden til, at de anvendes til forskellige industrielle formål.

**Tabel 2-1** Udvalgte kemiske og fysiske specifikationer for sjældne jordartsmetaller. Kilde: Atwood (2012).

Navn	Kemisk symbol	Atomnummer	Elektronkonfiguration	Trivalent ionradius		Atomvægt	Smeltepunkt °C
				CN6	CN8		
Lanthan	La	57	[Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	1,032	1,160	138,91	920
Cerium	Ce	58	[Xe]4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	1,010	1,143	140,12	799
Praseodymium	Pr	59	[Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	0,990	1,126	40,91	931
Neodymium	Nd	60	[Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	0,983	1,109	144,24	1.016
Samarium	Sm	62	[Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	0,958	1,079	150,36	1.072
Europium	Eu	63	[Xe]4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	0,947	1,066	151,96	822
Gadolinium	Gd	64	[Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	0,938	1,053	157,25	1.330
Terbium	Tb	65	[Xe]4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	0,923	1,040	158,93	1.356
Dysprosium	Dy	66	[Xe]4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	0,912	1,027	162,50	1.412
Holmium	Ho	67	[Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	0,901	1,015	164,93	1.472
Erbium	Er	68	[Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	0,890	1,004	167,26	1.529
Thulium	Th	69	[Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	0,880	0,994	168,93	1.545
Ytterbium	Yt	70	[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	0,868	0,985	173,04	824
Lutetium	Lu	71	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	0,861	0,977	174,97	1.663
Yttrium	Y	39	[Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	0,900	1,019	88,90585	1.522
Scandium	Sc	21	[Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>	0,745	0,870	44,96	1.541

På basis af forskelle i de sjældne jordartsmetallers atomvægt opdeles gruppen ofte i de såkaldte *lette sjældne jordartsmetaller* (LREE) med atomvægt fra 57 til 62 og de *tunge sjældne jordartsmetaller* (HREE) med atomvægt fra 63 til 71; yttrium (Y), som har en atomvægt på 39, grupperes som HREE pga. kemiske ligheder. I visse sammenhænge anvendes desuden *mellemgruppen af sjældne jordartsmetaller* (MREE). Opdelingerne mellem disse grupper er dog arbitrære og anvendes forskelligt af forskellige faggrupper. Geologer og procesingeniører bruger normalt en opdeling, hvor grundstofferne fra lanthan (La) til europium (Eu) tilhører LREE, mens grundstofferne fra gadolinium (Gd) til lutetium (Lu), samt yttrium (Y) henregnes til de tunge sjældne jordartsmetaller (HREE). I denne rapport anvendes overvejende den kinesiske opdeling, da Kinas kvotesystemer og produktioner er baseret på denne opdeling, hvor lanthan (La) til neodymium (Nd) tilhører gruppen af lette sjældne jordartsmetaller og samarium (Sm) til lutetium (Lu) samt yttrium (Y) tilhører gruppen af tunge sjældne jordartsmetaller. Figur 2-2 viser nogle af de opdelinger der anvendes.

Grundstof	Symbol	EURARE	IUPAC	Kina MLR		Kina Regerings hvidbog
				I	II	
Lanthan	La	LREE	Uparrede elektroner i 4f skaller	LREE	LREE	LREE
Cerium	Ce					
Praseodymium	Pr			MREE	MREE	
Neodymium	Nd					
Samarium	Sm	HREE	Parrede elektroner i 4f skaller	HREE	MREE	HREE
Europium	Eu					
Gadolinium	Gd					
Terbium	Tb					
Dysprosium	Dy			HREE	HREE	
Holmium	Ho					
Erbium	Er					
Thulium	Tm			HREE	HREE	
Ytterbium	Yb					
Lutetium	Lu					
Yttrium	Y			Scandium	Sc	
Scandium	Sc					

**Figur 2-2** Oversigt over forskellige anvendte undergrupper af sjældne jordartsmetaller. Kilde: Machacek & Kalvig (2017).

Sjældne jordartsmetaller bliver ofte benævnt med både den kemiske forkortelse for grundstoffet (fx La for lanthan) og for grundstoffet bundet til oxygen (fx  $\text{La}_2\text{O}_3$ ). Anvendes betegnelserne til angivelse af specifikke mængder, er vægten forskellig. Omregningsfaktorerne fra grundstoffer til oxider er vist i Tabel 2-2.

**Tabel 2-2** Omregningsfaktorer fra grundstoffer til oxider.

Navn	Kemisk symbol	Oxidform	Konversionsfaktor
Lanthan	La	$\text{La}_2\text{O}_3$	1,1728
Cerium	Ce	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	1,1713
Praseodymium	Pr	$\text{Pr}_2\text{O}_3$	1,1703
Neodymium	Nd	$\text{Nd}_2\text{O}_3$	1,1664
Samarium	Sm	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	1,1596
Europium	Eu	$\text{Eu}_2\text{O}_3$	1,1579
Gadolinium	Gd	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	1,1526
Terbium	Tb	$\text{Tb}_2\text{O}_3$	1,1510
Dysprosium	Dy	$\text{Dy}_2\text{O}_3$	1,1477
Holmium	Ho	$\text{Ho}_2\text{O}_3$	1,1455
Erbium	Er	$\text{Er}_2\text{O}_3$	1,1435
Thulium	Tm	$\text{Tm}_2\text{O}_3$	1,1421
Ytterbium	Yt	$\text{Yt}_2\text{O}_3$	1,1387
Lutetium	Lu	$\text{Lu}_2\text{O}_3$	1,1371
Yttrium	Y	$\text{Y}_2\text{O}_3$	1,2699

De sjældne jordartsmetaller er kemisk meget ens, men har meget små forskelle i fx opløselighed og evne til kompleksdannelse. Da det oftest er disse egenskaber, som anvendes til separation af grundstoffer, er det vanskeligt at separere de enkelte sjældne jordartsmetaller fra hinanden. Derimod er der betydelige forskelle i de fysiske egenskaber, hvilket fremgår af Tabel 2-1.

Overordnet set udmærker de sjældne jordartsmetaller sig især ved at have følgende karakteristika, som har givet gruppen stor industriel anvendelse (Tabel 2-1):

- Elektronkonfigurationerne danner distinkte spektre for udsendelse og absorption af lys og kan danne farvede opløsninger
- Fluorescerende i røde, grønne og blå farver
- Med undtagelse af Sc, La, Yb, Lu og Y kan de magnetiseres og blive stærkt magnetiske, når de indgår i blandinger med fx jern og kobolt
- Høj elektrisk ledningsevne
- Højt smeltepunkt (laveste har ytterbium med 824 °C og højeste har lutetium med 1.663 °C).

## 2.2 Sjældne jordartsmetaller – historisk set

Historien om opdagelserne af de sjældne jordartsmetaller startede i 1751, hvor den svenske mineralog Axel Cronstedt, nær Bastnäs i Mellemsverige, fandt et usædvanligt tungt, rødt mineral, som fik navnet cerit. På det tidspunkt viste de kemiske analyser ikke indhold af ukendte jordarter, men kun af aluminium, beryllium, jern og silikater.

I 1787, 36 år efter Cronstedts fund, fandt kemiker og løjtnant Carl Axel Arrhenius, i en feldspatmine i Ytterby på Resarö i nærheden af Stockholm, et tungt, sort, skinnende mineral, som fik navnet ytterbit. Kemikeren Johan Gadolin beskrev i 1794 dette mineral indeholdende et nyt 'metal', som fik navnet ceria. Mange definerer derfor år 1794 som begyndelsen for historien om de sjældne jordartsmetaller.

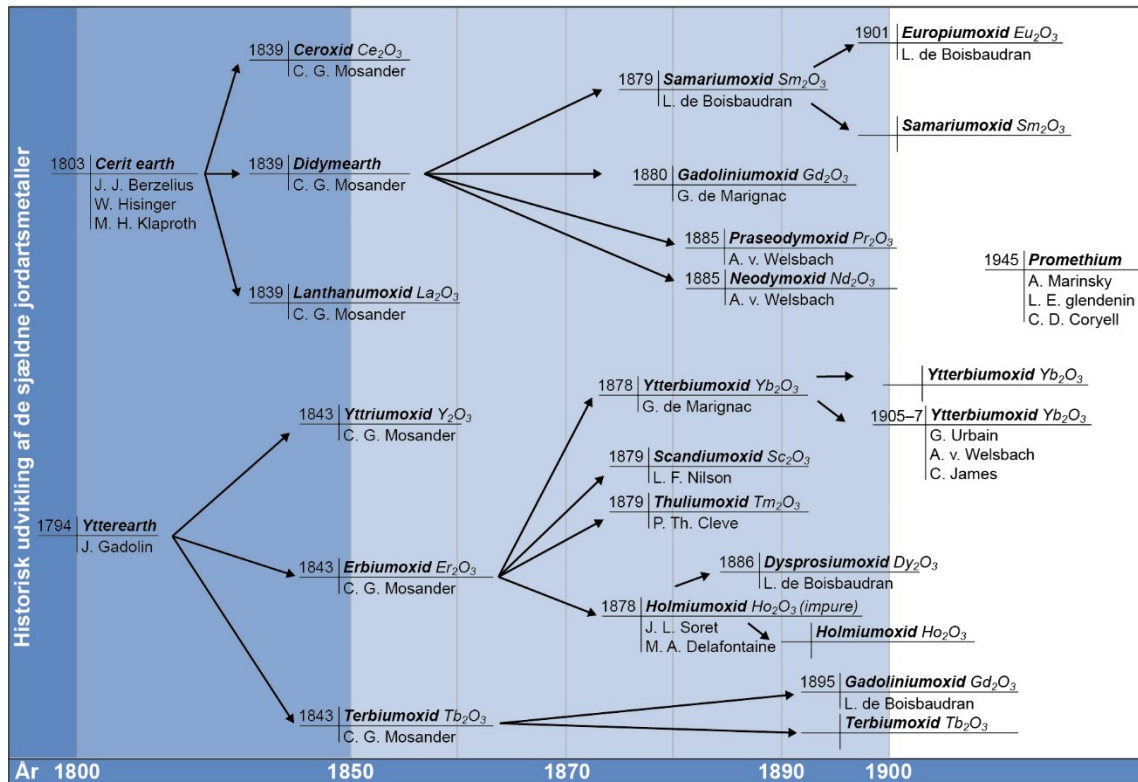
Cronstedts ceritmineral blev efterfølgende genstand for undersøgelser. I 1803, 52 år efter fundet af det tunge mineral (tungsten) fra Bastnäs, identificerede to uafhængige forskerhold grundstoffet cerium. Det var Hisinger og Berzelius fra Sverige og Klaproth fra Tyskland, som begge havde gjort opdagelsen på grundlag af ceritmineralet. Efterfølgende viste det sig, at cerium ikke var helt separeret, og i 1842 påviste Mosander eksistensen af lanthan, på grundlag af ceritmineralet, og allerede i 1843 påviste han grundstofferne erbium og terbium. På dette tidspunkt stod det klart for flere kemikere, at de tidligere påviste grundstoffer, jordarter, også kunne indeholde andre grundstoffer. Efterfølgende forskning i 1880'erne resulterede i påvisning af grundstofferne samarium, praseodymium, neodmium, gadolinium, terbium, scandium, dysprosium, holmium, thulium og erbium. I perioden 1900-1910 blev europium og lutetium beskrevet.

Dmitry Medelejev, som udviklede det moderne periodiske system, opdagede, at der 'manglede' nogle grundstoffer, og i 1902 konstaterede Bohuslav Brauner, at der manglede et grundstof mellem neodmium og samarium. Denne hypotese blev bekræftet i 1914, hvor Henry Moseley ved hjælp af røntgenkrystallografidata kunne opdele grundstofferne på basis af atomvægt/atomnumre og dermed konstaterede, at nr. 61 endnu ikke var beskrevet. Det sidste af de sjældne jordartsmetaller, promethium, blev først isoleret i 1947 af Marinsky, Glendenin og Coryell, som et fissionsprodukt fra uran.

Figur 2-3 viser en historisk oversigt over påvisninger af de enkelte sjældne jordartsmetaller. Men som figuren viser, blev nye *jordarter* påvist på basis af *jordarter*, som ikke var isoleret til grundstoffer. Eksempelvis resulterede Hisinger og Berzelius'/Klaproths fund af cerit i 1803 i fund af syv grundstoffer (cerium, lanthan, promethium, neodmium, gadolinium, samarium og erbium).

Tilsvarende resulterede Gadolins fund af yttrium i 1794 i fund af grundstofferne yttrium, gadolinium, terbium, scandium, erbium, thulium, dysprosium og holmium.

Den industrielle anvendelse af sjældne jordartsmetaller begyndte i 1884, hvor man til fremstilling af glødepærer bl.a. brugte lanthan og yttrium, som blev udvundet fra råstoffer fra Sverige. Dette blev også starten på mineralefterforskningen af sjældne jordartsmetaller og brydning af mineralet monazit begyndte i USA og Brasilien i 1887 og i Indien i 1911.



Figur 2-3 Historisk oversigt over påvisningerne af de grundstoffer, som udgør gruppen af de sjældne jordartsmetaller. Kilde: Zepf (2013).

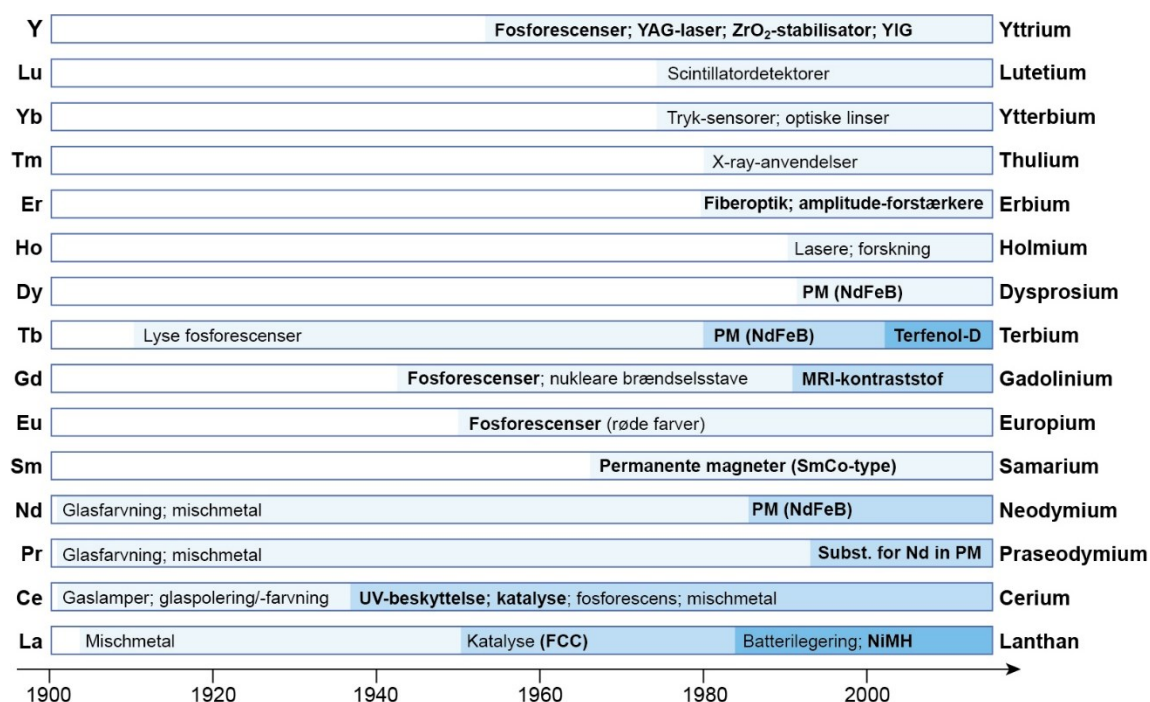
I begyndelsen af 1900-tallet blev der udviklet metoder til fremstilling af legeringer af sjældne jordartsmetaller, hvor lanthan, cerium, praseodymium og neodymium indgik (ofte benævnt mischmetal) (Figur 2-4). I nogenlunde samme periode blev der også udviklet metoder til at bruge neodymium, praseodymium og cerium til farvning af glas. Brug af fosforescerende stoffer, baseret på gadolinium, europium og yttrium blev brugt industrielt fra 1940'erne. I 1950 blev der udviklet metoder til at raffinere olieprodukter (fluid carbon cracking (FCC)), hvortil især cerium og lanthan blev anvendt. I 1960'erne fulgte udvikling af permanente magneter af samarium-kobolt (Sm-Co), og i 1990'erne tog udviklingen af permanente magneter fart med et teknologiskifte, der især efterspurgte neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium.

## 2.3 Sjældne jordartsmetaller – geologisk set

Hovedparten (99 %) af Jordens skorpe består af 12 grundstoffer (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, H, Mn og P); de resterende 80 naturligt forekommende grundstoffer udgør blot 1 % af Jordens skorpe. Hovedparten af de råstoffer, som vi mennesker bruger, er omfattet af denne lille gruppe og kan derfor med nogen ret defineres som 'sjældne'. For eksempel indeholder den øverste del

af bjergarterne i Jordens skorpe i gennemsnit ca. 170 g sjældne jordartsmetaller pr. ton bjergart, dog med meget store forskelle mellem de sjældne jordartsmetaller. Cerium, som er det mest almindelige i gruppen af sjældne jordartsmetaller, udgør ca. 33 g/ton, hvorimod indholdet af thulium og lutetium kun udgør ca. 0,3 g/ton (Figur 2-5) (Balaram (2019)). Men ændringerne i de gennemsnitlige indhold falder ikke helt regelmæssigt, idet koncentrationen af de sjældne jordartsmetaller, der har lige atomnummer er lidt højere sammenlignet med de to REE-naboer med ulige atomnummer; fx er koncentrationen af cerium højere end lanthan (hvilket følger Oddo-Harkins regel (<https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803100245510>)). Til sammenligning er skorpens gennemsnitlige indhold af kobber og bly hhv. 27 og 11 g/ton, og altså 'mere sjældne' end lanthan og cerium, og ædelmetallerne guld, sølv og platingruppemetaller er 'mere sjældne' end lutetium, som er det mest 'sjældne' af de sjældne jordartsmetaller (Figur 2-5).

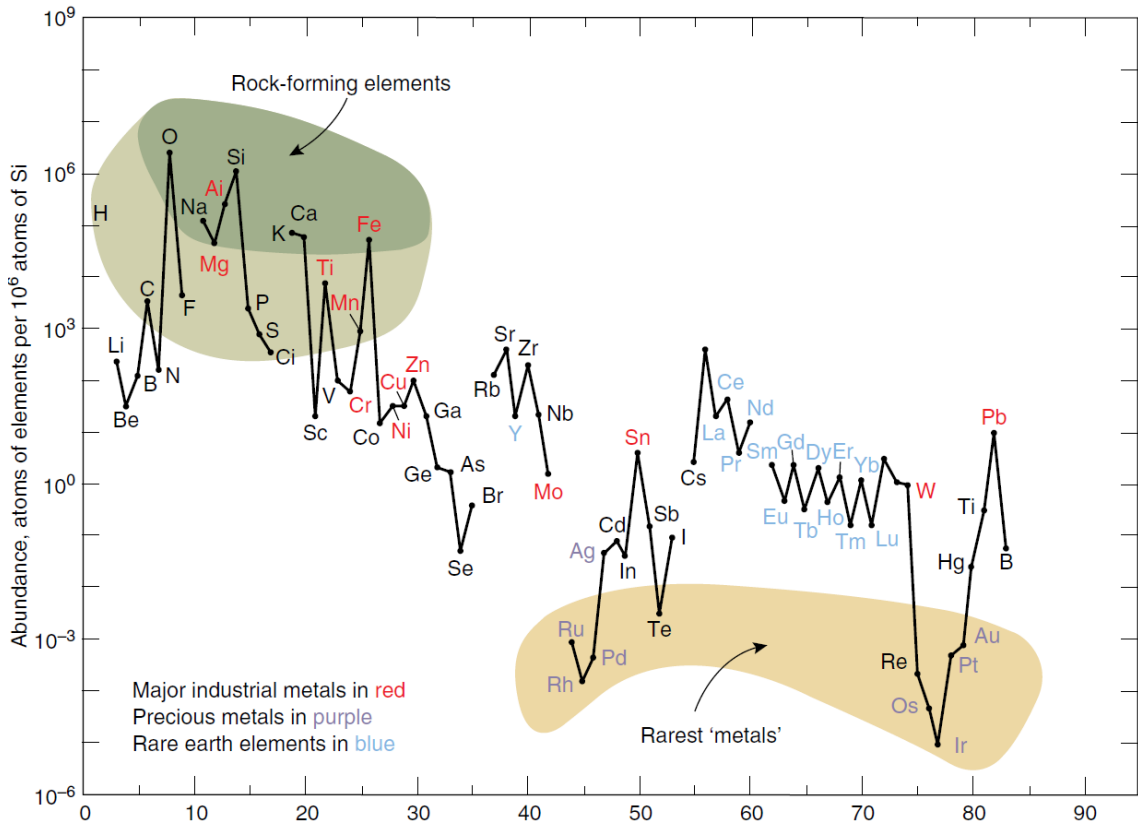
Som omtalt ovenfor skal betegnelsen 'sjældne' ses i historisk lys: De første sjældne jordartsmetaller blev påvist i 1794, og det tog mere end 150 år inden alle 17 sjældne jordartsmetaller var påvist. I dag vurderes de sjældne jordartsmetaller geologisk set ikke som sjældne, se kapitel 6 og 9.



**Figur 2-4** Historisk oversigt over industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller. Farver angiver, at der er kommet nye anvendelsesområder til. MRI – Magnetic Resonance Imaging, PM – Permanente magneter, YAG – Yttrium-aluminium-garnet, YIA – Yttrium-iron-garnet. Kilde: Zepf (2012).

En række geologiske forhold har betydning for, om mineraler med sjældne jordartsmetaller dannes i et omfang, så det er rentabelt at lave en mine. Blandt andet har de fleste sjældne jordartsmetaller stor ionradius og valens 3+ (med undtagelse af Ce og Eu) og har derfor mindre tendens til at blive indbygget i de bjergartsdannende mineraler, men danner under særlige geologiske forhold egne mineraler med højt indhold af sjældne jordartsmetaller. Indbygningsrækkefølgen er bestemt af deres indbyrdes fordelingskoefficient, som stiger fra lanthan til lutetium, dog med undtagelse af europium, der har tendens til at blive indbygget hurtigere i mineralerne.

Der er beskrevet mere end 200 mineraler, hvori de sjældne jordartsmetaller udgør en væsentlig del af mineralets krystalstruktur. Herudover findes sjældne jordartsmetaller som sporstoffer i mange andre mineraler. Ændringer i indholdet af sjældne jordartsmetaller i de bjergartsdannende mineraler bruges til at udrede dannelsesforhold for bjergarter, som fx tryk, temperatur og geochemisk sammensætning. Indholdet af sjældne jordartsmetaller er derfor et vigtigt værktøj for geologer, når et områdes geologiske udvikling fastlægges.



**Figur 2-5** De sjældne jordartsmetallers gennemsnitlige koncentration i skorpens bjergarter plottet som funktion af atomnummeret. Som det fremgår, findes de sjældne jordartsmetaller i betydeligt højere koncentrationer end eksempelvis guld, sølv og platingruppemetallerne. Kilde: Haxel et al. (2002).

Mineraler med højt indhold af sjældne jordartsmetaller er generelt fysisk og kemisk robuste og opløses ikke, når bjergarter og mineraler nedbrydes. Denne sidste egenskab er årsag til, at nogle af de oprindelige REE-mineraler kan findes som forvittringsprodukter i tungsands- og lateritforekomster. Der gøres yderligere rede for REE-mineralerne og de geologiske forekomster i kapitel 9.

## 3. Industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller

### 3.1 Handelsvarer

I de øvre og mellemste dele af værdikæderne for de sjældne jordartsmetaller handles der med en bred vifte af produkter. REE-handelsvarer kan omfatte alt fra:

- Mineralkoncentrater bestående af mineraler, der indeholder sjældne jordartsmetaller
- Blandingsprodukter af sjældne jordartsmetaller (ikke-separerede/delvist separerede), oftest i form af karbonater, oxider og organiske opløsninger
- Metaller af de enkelte sjældne jordartsmetaller til
- Legeringer med sjældne jordartsmetaller (mischmetal).

I de nedre dele af værdikæderne, som ikke behandles i denne rapport, indgår de sjældne jordartsmetaller til fremstilling af bl.a. forbrugsstoffer, kemikalier og industrielle produkter.

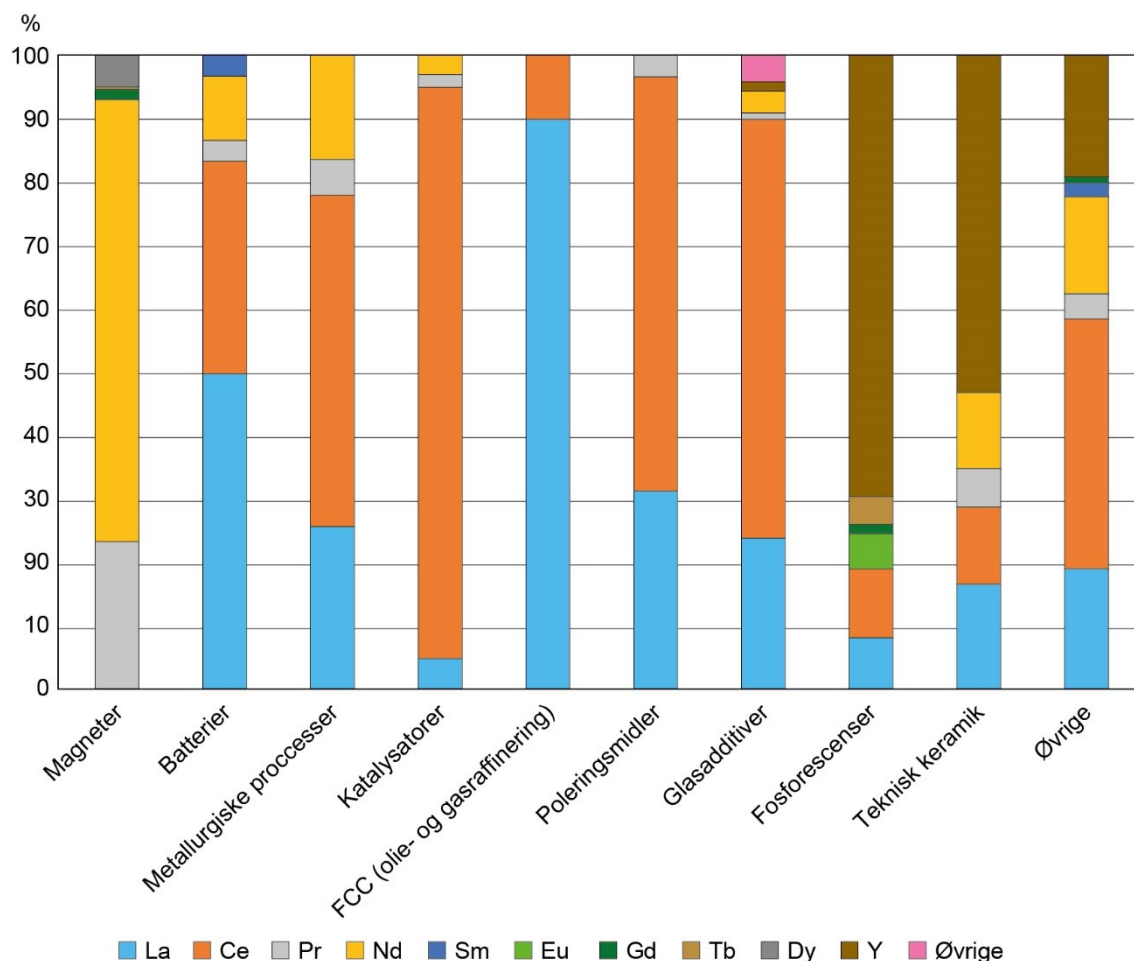
Specifikationerne for de sjældne jordartsmetaller, som anvendes i de nedre dele af værdikæderne, bestemmes af den industri, der anvender råstofferne. Specifikationerne kan fx være kemisk sammensætning som fx oxider, karbonater, fluorider m.fl. og som metal, og hertil kommer en lang række produktspecifikationer, hvor bl.a. renheden indgår som en af de vigtigste parametre. Den nuværende tendens går i retning af større og større krav til renheden af produkterne, dvs. at de kun må indeholde helt ubetydelige rester af andre sjældne jordartsmetaller. Renheden udtrykkes som procent af hovedråstoffet og angives for visse produkter med helt op til seks decimaler. For eksempel udtrykker 99,99 %, at produktet stadig indeholder 0,01 % 'urenheder' i form af andre sjældne jordartsmetaller, som ikke er blevet separeret fra. Renheden angives som antallet af 9-taller (i dette tilfælde 4N (four nines)). Til visse industrielle anvendelsesområder stilles der krav om 5N (>99,999 %). Priserne for REE-produkterne afspejler omkostningerne til raffinering og forarbejdning; fx er et 4N-produkt mange gange dyrere end et tilsvarende 3N-produkt.

### 3.2 Forbrugende industrisektorer

Det industrielle forbrug af sjældne jordartsmetaller sker især i ni industrielle sektorer, hvor de indgår som enten forbrugsstoffer eller hjælpestoffer ved fremstilling af permanente magneter, glas, teknisk keramik, batterier, fosforescenser og luminescens, katalysatorer, olie- og gasraffinering, poleringsmidler og metallurgiske processer, som især finder anvendelse i forbrugerelektronik og -kommunikation, kemikalier, olieindustrien, forsvarssystemer, vindkraft, solceller og brændselsceller samt til lægemidler og medicinsk udstyr (Figur 3-1 og Tabel 3-1). Af Figur 3-2 fremgår, at set på verdensplan forbruges ca. 50 % af den årlige produktion af sjældne jordartsmetaloxider (REO) til fremstilling af permanente magneter og til katalysatorer til biler og raffinering af olieprodukter, hvorimod fordelingen af forbruget i Europa er anderledes med ca. 43 % til katalyse og ca. 19 % til glasindustrien. Disse forskelle i fordelingen af forbruget skyldes, at industristrukturen varierer fra region til region og fra land til land og afspejler forskelle i økonomiske forhold, forbrugsmønstre, adgang til råstoffer, transportmuligheder og markeder. Da de enkelte industrisektorer ikke efterspørger helt de samme råvaretyper af sjældne jordartsmetaller, er der regionale og nationale forskelle på, hvilke produkter der bruges mest af, og hvor store mængder



industriene dermed efterspørger. Tilsvarende er der sket store ændringer i efterspørgslen set over tid; især er råstoffer til fremstilling af permanente magneter stigende.

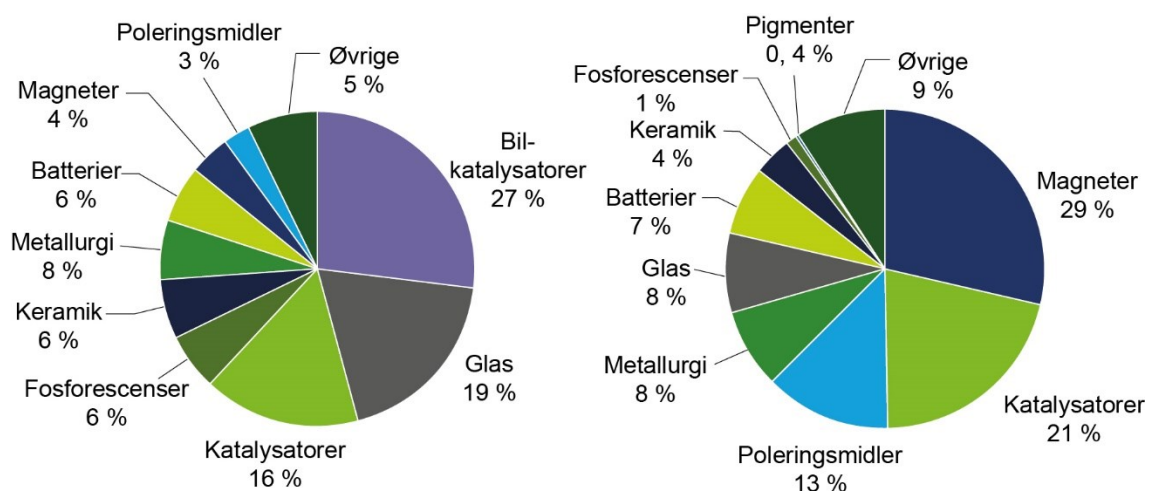


**Figur 3-1** Relativ fordeling af de sjældne jordartsmetaller fordelt på de ni vigtigste industrisektorer. Kilde: Binnemans (2014).

Den omtrentlige fordeling af de enkelte sjældne jordartsmetaller på de industrielle anvendelser er vist i Figur 3-1, hvoraf det fremgår, at blandt de ti mest anvendte sjældne jordartsmetaller bruges lanthan og cerium i en bred vifte af industrier, i modsætning til fx europium og terbium. Det skal dog bemærkes, at der, som følge af den naturlige fordeling af de sjældne jordartsmetaller i mineralerne, er ubalance mellem de mængder af sjældne jordartsmetaller, som industrierne efterspørger, og de mængder der udbydes; dette misforhold kaldes 'balanceproblemet' og omtales i afsnit 9.4.1.

**Tabel 3-1** De mest almindelige industrielle anvendelser af sjældne jordartsmetaller.

Grundstof	Vigtigste industrielle anvendelser
Yttrium	Superledere, lasere, fosforescenser, LED, LCD- og plasmaskærme, kameralinser, medicin
Lanthan	Bilkatalysatorer og katalytiske processer til olieraffinerings, vandbehandling, specialglas, legeringsmetal til stål, plasmaskærme, genopladelige batterier
Cerium	Bilkatalysatorer og katalytiske processer til olieraffinerings, glaspolering, legeringsmetal i stål, magnesium og aluminium, LCD- og plasmaskærme, genopladelige batterier
Praseodymium	Permanente magneter, orange farvepigment i keramiske materialer, legeringsmetal i aluminium til flyindustrien, katalytiske processer
Neodymium	Permanente magneter, katalysesystemer til biler, infrarøde laser til industrielle- og forsvarsformål
Promethium	Radioaktivt grundstof med kort henfaldstid, ingen industrielle anvendelser
Samarium	Permanente magneter, cancerdiagnosticering og -behandling, nukleare brændselstave
Europium	Fosforescens i belysning, laser, plasmaskærme og pengesedler, LCD- og plasmaskærme
Gadolinium	Afskærmning af nukleare reaktorer og neutronradiografi, magnetiske billedscannere (MR-scanner), røntgenanalyser
Terbium	Permanente magneter, LCD- og plasmaskærme, brændselceller, fluorescens; sonarsystemer
Dysprosium	Højtemperatur permanente magneter, laser, elektronik, kontrolstave i nukleare reaktorer, missilstyring
Holmium	Permanente magneter, farvepigment i glas og teknisk keramik, mikrobølgeudstyr
Erbium	Nuklearindustrien til neutronabsorberende kontrolstænger, fiberoptik, farvepigment (lyserød) i glas, laser til medicinsk brug
Thulium	Håndholdte røntgeninstrumenter, laser til forsvars-, medicinske- og meteorologiske formål
Ytterbium	Medicinalindustri, cancerbehandling, legeringsmetal i stål
Lutetium	Olieraffinerings, aldersdatering, cancerdiagnosticering (eng: positron emission tomografi)



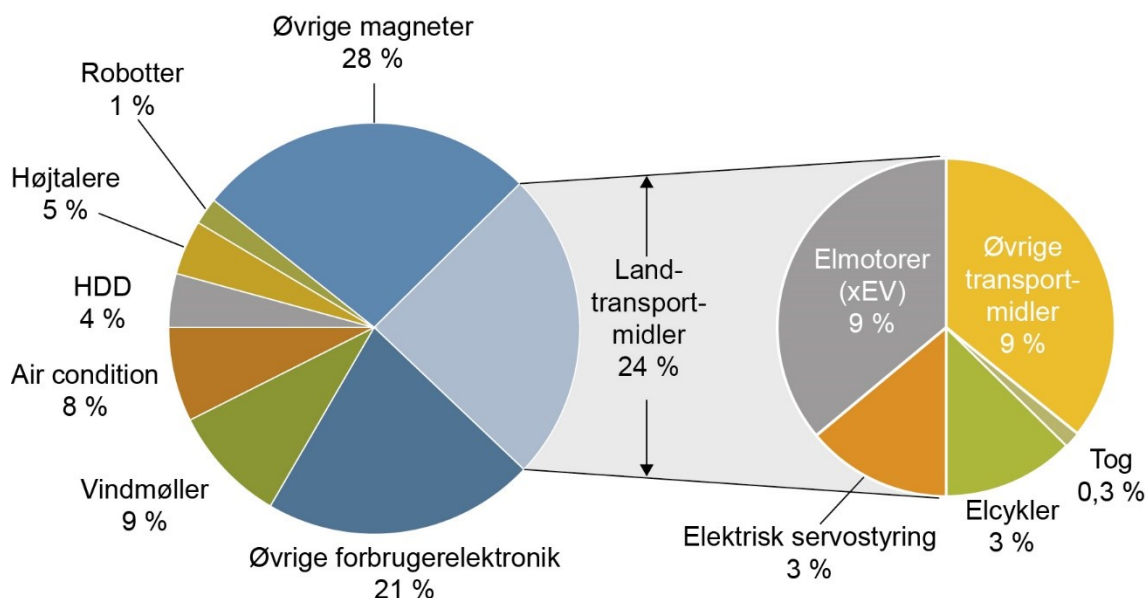
EU-forbrug af REO: 4.734 t (2019)  
 EU-forbrug af REE-metaller og -legeringer: 683 t (2019)

Globalt forbrug af REO: 139.551 t (2019)

**Figur 3-2** Industrisektorenes forbrug af sjældne jordartsmetaller i hhv. EU og hele verden. Kilder: Machacek & Kalvig (2017); European Commission (2020)

### 3.2.1 Permanente magneter

Permanente magneter anvendes i mange forskellige sammenhænge, hvor de vigtigste områder er til motorer i eltransportmidler, til servostyring, viskere, sensorer m.m. i el- og konventionelle biler, til vindmøllegeneratorer, forbrugerelektronik, airconditionanlæg, robotteknologier, medicinsk udstyr (fx MRI-scannere) samt i forsvarssystemer (Figur 3-3).



**Figur 3-3** Global fordeling af anvendelser af permanente neodymium-jern-bor (NdFeB)-magneter i 2019 (forbruget til militære forsvarssystemer indgår under 'øvrigt forbrugerelektronik'). Kilde: Roskill (2021b).

Værdikæderne til fremstilling af permanente magneter udføres i nogle tilfælde af samme virksomhed og i andre tilfælde i en kæde af specialiserede virksomheder. Først fremstilles de sjældne jordartsmetaller på metalform (REM), hvortil der som råstof bruges oxider af sjældne jordartsmetaller (REO), som reduceres ved elektrolyse. Typiske REM-produkter er Nd-metal, Dy-metal, Pr-metal og Tb-metal samt legeringer af disse; alle med høj renhed. Det efterfølgende segment i værdikæden fremstiller 'super-legeringer', som fx neodymium-jern-bor (NdFeB) eller samarium-kobolt (SmCo). Oversigt over forbruget af sjældne jordartsmetaller til magnetsektoren er vist i Tabel 3-2.

**Tabel 3-2** Forbruget af permanente magneter fordelt på sektorer. Som det fremgår, er der betydelige stigningstakter. Kilde: The Rare Earth Observer (2021).

Sektor	Andel 2019 (%)	Vækstrate 2019-20 (%)
Konventionelle biler	38	-1,4
El- og hybridbiler	12	17,5
Vindmøller	10	20
Airconditionanlæg	8	55
Øvrige	32	Ingen oplysninger

Ferrit-magneter (metal-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) er de almindeligste og billigste permanente magneter, men de er ikke stærke, og desuden påvirkes deres magnetiske egenskaber af både lave og høje temperaturer. Mange af de i Tabel 3-2 nævnte formål kræver, at de magnetiske egenskaber ikke ændres

under ekstreme temperaturforhold, at de ikke afmagnetiseres, og at magneterne er små, robuste og med høj feltstyrke. Permanente magneter, der er baseret på legeringer med sjældne jordartsmetaller, opfylder disse krav; neodymium-jern-bor-magneter ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , almindeligvis omtalt som neodymmagneter eller NdFeB-magneter) og samarium-kobolt-magneter ( $\text{SmCo}_5$  eller  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ , almindeligvis omtalt som samarium-kobolt-magneter) dominerer markedet.

De to typer REE-magneter har forskellige fordele og ulemper og har derfor forskellige markeder. SmCo-magneter kan bruges ved højere temperaturer og i mere korrosive miljøer end NdFeB-magneter. Men magnetfeltet for NdFeB-magneter er kraftigere, og NdFeB-magneter er billigere end SmCo-magneter og anvendes derfor i højere grad i elektrificering af transportsektoren og til visse typer af vindmøller (Kalvig & Machachek 2018). Da jern let korroderer, coates magnetkrystallerne ofte med tilsætning af 1,5 % kobolt (Co-coating) eller overfladebehandles med epoxy eller andre korrosionsbestandige materialer, hvorefter de kan anvendes i stærkt korrosive miljøer. SmCo-magneterne er pga. koboltindholdet mere resistente uden coating, men de coates ofte for at gøre dem mere robuste overfor fysisk påvirkning i form af slag og pres. Eksempler på forbruget af magneter i vindmøller og elbiler er vist i Tabel 3-3.

**Tabel 3-3** Forbruget af sjældne jordartsmetaller til permanente magneter i forskellige anvendelser.

Kilde: Binnemans (2014).

Produkt	Vigtigste REE-grundstoffer	Anvendelse
NdFeB-magneter	Nd, Pr, Dy, Ce, Gd, Tb, Ho	<p>Vindmøllegeneratorer (med gearkasse): ca. 80-100 kg NdFeB/MW</p> <p>Vindmøllegeneratorer (direct drive): ca. 700-1.200 kg NdFeB/MW</p> <p>Elbiler: ca. 1,2 kg NdFeB/100 kW</p> <p>På grund af procestab under fremstillingen er det reelle forbrug ca. 30 % højere.</p> <p>Typisk sammensætning af sintrede NdFeB-magneter: Nd (31 %), Dy (1-4 %), Tb (1 %), Ce (2 %), Fe (61,5 %), B (1 %)</p> <p>NdPr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> til biler bruger følgende mængder: BEV: 2,21 kg, PHEV: 0,89 kg, hybrid: 0,60 kg (King 2021)</p>
SmCo-magneter	Sm	Typisk sammensætning: SmCo (Sm maks. 35 %); Co 60 %; Fe (5 %)

Permanente magneter fremstilles på to forskellige måder: (i) ved en sintringsproces af en magnetlegering og (ii) ved en proces, hvor legeringspulveret opvarmes og nedkøles meget hurtigt ('bonded' magnet); sintringsprocessen er den billigste metode. Markedsfordelingen mellem de to typer er ca. 90 % til sintrede magneter og 10 % til bonded magneter.

Når magneter fremstilles ved en sintringsproces, smeltes metalpulver, der efterfølgende formes i magnetblokke, som genopvarmes og skæres til den ønskede form for til sidst at blive overfladebehandlet og magnetiseret til de ønskede specifikationer. Under fremstilling af magneter til specifikke formål er materialespildet 15-30 %, som dog delvist kan genanvendes i processen. Sintrede NdFeB-magneter har tendens til at korrodere langs korngrænserne, og det er derfor almindeligt, at magneterne er overfladebehandlet med nikkel-/nikkel-kobberlegeringer (Co-coating), hvilket dog giver udfordringer for genanvendelse. Kina og Japan har opbygget betydelige kapaciteter til fremstilling af sintrede magneter.

Sintrede NdFeB-magneter bevarer deres magnetiske egenskaber ved temperaturer op til omkring 350 °C, hvis der er tilsat dysprosium og terbium til legeringerne, og de anvendes derfor, hvor der udvikles høje temperaturer, som fx i vindmøller og elbilmotorer. NdFeB-magneter er baseret på legeringer af jern (ca. 66 %), mens neodymium og praseodymium udgør hhv. ca. 28 % og 6 %. Netop dette forhold er det mest almindelige forhold mellem neodymium og praseodymium i naturen, hvilket reducerer behovet for fordyrende separation af disse to sjældne jordartsmetaller.

SmCo-magneter indeholder ca. 35 % samarium, som i naturen forekommer i betydeligt mindre koncentrationer end neodymium, mens 'Co' består af blandinger af kobolt, jern, kobber og zirkon, hvor kobolt almindeligvis udgør 50-65 % (vægt). I modsætning til NdFeB-magneter korroderer SmCo-magneter ikke, men de er ikke fysisk stærke.

Magnetproducenterne står overfor meget store udfordringer mht. at fremskaffe tilstrækkelige forsyninger til lave priser, hvilket har bevirket, at der foregår en betydelig forsknings- og udviklingsaktivitet med henblik på substitution med mindre kritiske råstoffer og udvikling af alternative magneter. Eksempelvis kan cerium substituere op imod ca. 40 % af neodymium i magneter, som skal anvendes ved lave temperaturer. Som eksempel på alternative teknologier er jern-nitrid ( $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ )-magneter, som ikke indeholder kritiske råstoffer, og som tillige angives at være mere bæredygtige (Wang 2020).

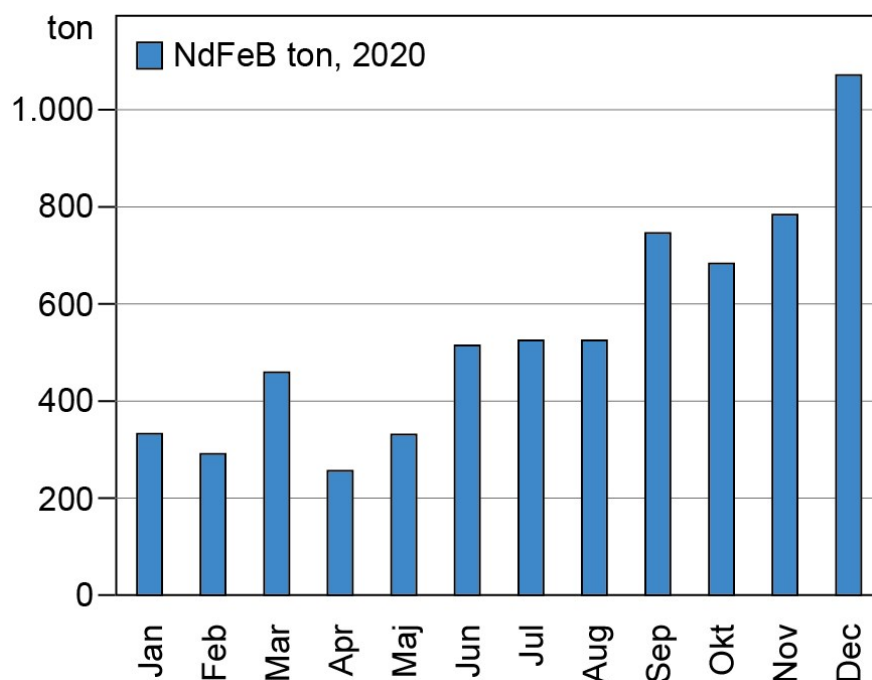
Magneternes egenskaber bestemmes især af mikrostrukturen i materialet og legeringssammensætningerne. Patenteringer af legeringssammensætninger, korngrænsediffusioner og fremstillingsmetoder er centrale i værdikæderne for permanente magneter og har fx betydet at Magnequench og Hitachi Metals har været i stand til at kontrollere produktionen af NdFeB-magneter. Hitachi Metals ejer mere end 600 patenter til NdFeB-magneter, hvoraf de fleste udløber i 2021; det er dog uklart i hvilket omfang, de er blevet forlænget (Less Common Metals 2021). Frem til 2014 havde kun ti fabrikker i Kina, Japan og Tyskland licens til at producere permanente magneter; antallet er efterfølgende steget betydeligt og Kina har udviklet en industrikultur, hvor patenter er væsentlige for at bevare kontrollen over forsyningskæderne. Magnetfabrikkerne er typisk specialiseret til at fremstille enten sintrede eller bonded magneter. Begge typer af produktioner er i høj grad styret af IP-rettigheder, hvor særligt Hitachi Metals mange hundrede licenser styrer sinteringsprocesserne, mens Magnequenchs IP-rettigheder primært er rettet mod produktion af bonded magneter. De europæiske magnetproducenter Neorem Magnets Oy, Vacuumschmelze GmbH & Co. og Thyssenkrupp Material Trading er specialiserede i fremstilling af sintrede magneter, mens fabrikker som Grundfos, Magnetfabrik Bonn, JL Mag, IMA og MS Scramberg er specialiserede i fremstilling af bonded magneter.

I løbet af de seneste år er forbruget af NdFeB-magneter til trækmotorer i elbiler steget voldsomt og har gjort permanente magneter til det økonomisk vigtigste forbrugsområde for sjældne jordartsmetaller (se kapitel 14). Som udtryk for denne vækst er stigningen i forbruget af NdFeB-magneter til motorer i elbiler i 2020 vist i Figur 3-4.

### 3.2.2 Fosforescenser og fluorescenser

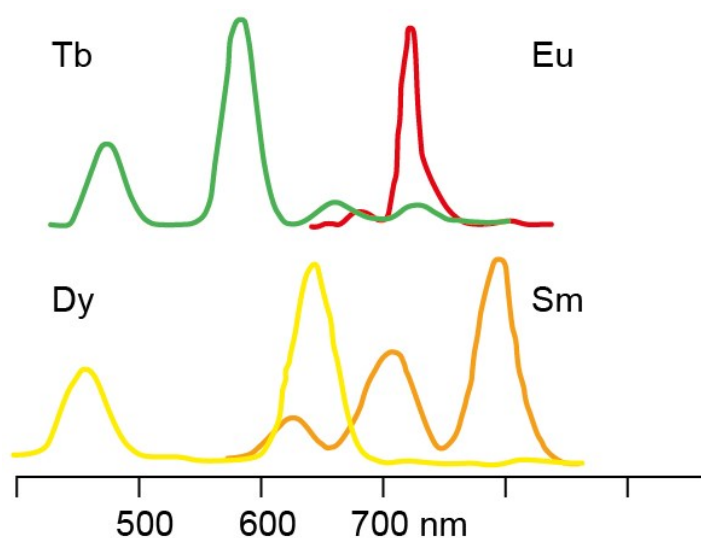
Fosforescerende materialer udsender lys i en vis tid efter, det er blevet belyst, hvorimod fluorescerende materialer kun udsender lys så længe, de er belyst. Disse egenskaber benyttes i lys, laserlys og computer- og fjernsynsskærme og er derfor vitale i en række medicinsk og militært udstyr. I fosforescerende og fluorescerende materialer anvendes sjældne jordartsmetaller både

til overfladebehandling af krystaller og som aktivatorer. Der er generelt meget få substitutionsmuligheder, og udviklingen er derfor primært gået i retning af muligheder for at reducere forbruget.



**Figur 3-4** Oversigt over forbruget af NdFeB-magneter til motorer i elbiler i 2020. Kilde: Adamas Intelligence (2021).

*Lamper og lys:* Til fluorescerende lys bruges især oxidprodukter af Eu, La, Ce, Tb og Y. Til LED-lys og LCD-skærme bruges især Eu, Ce, Y, Gd, Lu, Pr og Tb. I alle tilfælde skal det være produkter med høj renhed (4-6N). Figur 3-5 viser eksempler på, hvilke farver der fremkommer fra terbium-, europium-, dysprosium- og samariumfosforescenser i de forskellige bølgelængdeområder. Udfasningen af neonlamper (Compact Fluorescent Lamp (CFL)) igennem 2010'erne til fordel for LED-lys har bevirket, at det store marked for især Y-produkter blev stærkt reduceret, hvilket fik stor økonomisk betydning for de mineselskaber, der udvandt yttrium.



**Figur 3-5** Synlig luminescens for  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$  og  $\text{Dy}^{3+}$ . Obs: y-aksen er intensitet (relativ skala uden enhed). Kilde: Binnemans (2014).

*Skærme:* Til computerskærme, smartphones o.l. med CRT-teknologi bruges især oxider af Y, Ce, Eu, Gd og Tb. Til plasmaskærme bruges der især fosforescenser af Eu, La, Ce, Y, Tb og Gd. For begge grupper anvendes produkter med høj renhed (4-6N).

*Medicinsk udstyr:* Røntgenudstyr bruger fosforescens af især Eu, Y, Gd, La, Tb og Tm. Herudover bruges der også fosforescenser af sjældne jordartsmetaller til diagnostiske teknologier. I alle tilfælde anvendes oxider med høj renhed (4-6N).

### 3.2.3 Batterier

Batterier bruges til at lagre energi til senere brug, hvilket med de rigtige specifikationer gør dem anvendelige til alt fra høreapparater, håndholdt værktøj, elektronik, til start af bilmotorer og til fremdrift af skibe og biler, og de er derfor en central del af de grønne energiløsninger. Hvert anvendelsesområde stiller specielle krav til batteriernes funktionalitet, fx krav til energitæthed, størrelse, form, vægt, genopladelighed, opladningshastighed og meget mere. For at opfylde disse krav anvendes der forskellige batteriteknologier, og den store udbredelse af bærbart udstyr har medført en diversificeret og dynamisk udvikling af batteriteknologier. Et eksempel på dette er de meget udbredte nikkel-metalhydrid (NiMH)-batterier, som i 1990'erne afløste nikkel-cadmium (NiCd)-batterierne. NiMH-batterier er genopladelige, lades hurtigt op, har høj energitæthed og kan genoplades mange gange, hvilket betød, at batterierne fik stor anvendelse til håndholdt værktøj og elektronik.

I NiMH-batteriet udgøres metaldelen (M) af sjældne jordartsmetaller og fx nikkel, kobolt eller mangan. Blandt de sjældne jordartsmetaller anvendes især lanthan, typisk enten som La-metal eller legeringer (mischmetal) bestående af La (65 %), Ce (25 %), Nd (1-8 %) og Pr (3-8 %). Samlet udgør de sjældne jordartsmetaller i NiMH-batterier omkring 17 % af metallernes vægt.

Både i Japan (Toyota og Honda) og EU (Umicore og Solvay) er der udviklet teknologier til at genvinde de sjældne jordartsmetaller fra NiMH-batterier, men bidragene fra disse anlæg er meget små, bl.a. fordi batterierne først sendes til genvinding 7-10 år efter installering.

I 2010'erne erstattede litium-ion (Li-ion)-batterier mange af de funktioner, som blev opfyldt af NiMH-batterier, fordi de bl.a. er nemmere at fremstille i tilpassede faconer, hvorfor denne batteritype dominerer markederne i dag.

### 3.2.4 Metallurgiske anvendelser

Ved metallurgiske anvendelser forstås her alle former for udvalsninger, støbninger og legeringsfremstilling (dog ikke magneter, som behandles særskilt, se 3.2.1). Hovedparten af de sjældne jordartsmetaller anvendes som mischmetaller til afsvovling i stålproduktion og til at forbedre dannelsen af grafitnoder og udmærker sig i øvrigt ved, at de binder sig til uønskede spormetaller i støbejern, hvorved produkt- og forarbejdningsegenskaberne af stål- og metalprodukter forbedres. De anvendte mischmetaller består typisk af Ce (48-56 %), La (25-34 %), Nd (11-17 %) og Pr (4-7 %), hvor tilsætning af cerium reducerer de skadelige virkninger fra eventuel restsvovl. Kina, som er verdens største stålproducent, er den største forbruger af mischmetal. I Vesten har forbruget af sjældne jordartsmetaller været faldende, da europæiske og nordamerikanske smelteværker i stigende omfang har erstattet sjældne jordartsmetaller med magnesium-ferrosilicium,

som er billigere. En oversigt over de mest almindelige anvendelser af sjældne jordartsmetaller i de metallurgiske industrier er vist i Tabel 3-4.

Lanthan anvendes til fremstilling lanthan-nikkel (LaNi<sub>5</sub>)-legeringer til lagring af hydrogen. Materialet har potentiale til mange forskellige anvendelser og kan på sigt blive et nyt vækstområde.

**Tabel 3-4** Oversigt over de mest almindelige anvendelser af sjældne jordartsmetaller i jern- og stålindustrien. RE-compounds angiver uspecificerede blandingsprodukter. Kilde: Jha (2014); Machacek & Kalvig (2017).

Anvendelse	Vigtigste REE	Formål
<b>Støbejern og stål</b>	Mischmetal (Ce, La, Nd, Pr), Ce Der tilsættes typisk 0,1 % mischmetal REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Tilsætning reducerer de negative egenskaber fra rester af oxygen, svovl, magnesium, silicium, bly og antimon, samtidig med at materialegenskaberne forbedres.
<b>HSLA-stål</b>	Mischmetal (Ce, La, Nd, Pr) (der tilsættes <1 % mischmetal) REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Til fremstilling af High-Strength-Low-Alloy (HSLA), nedsætter smeltepunktet Cerium eller mischmetal anvendes i små mængder (<1 %) for at forbedre mikrostrukturen.
<b>Rustfrit stål</b>	Y, Ce REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Tilsætning giver bedre styrke ved høje temperaturer og bedre duktilitet
<b>Speciallegeringer</b>	La, Gd, Y, Ce, Nd, Pr REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Forbedrer støbeegenskaberne og øger styrken ved høje temperaturer (fx jetmotor)
<b>Mg-legeringer</b>	Y, Nd, Gd, Pr Der tilsættes op til 3,5 % REE REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Reducerer 'creep' ved høje temperaturer, bruges især til motorblokke o.l. Pr øger styrke og resistens over for korrosion Nd øger varmeresistens
<b>Al-legeringer</b>	Y, La og Ce: <3 wt% REM og RE-compounds; renhed 4-6N	Modificerer de mekaniske egenskaber og øger resistens overfor korrosion Ce-compounds bruges også i elektroekstraktion (eng: electrowinning) af aluminium

### 3.2.5 Katalysatorer og katalytiske processer

Sjældne jordartsmetaller anvendes både som katalysatorer i olieindustrien (Fluid Catalytic Cracking (FCC)) og til katalysatorer i biler, hvor de reducerer udslip af NOx og andre gasser fra benzins- og dieselmotorer.

I driften af FCC-anlæg opvarmes olien til ca. 550 °C for at nedbryde den i en række kommercielle hydrokarboner, og zeolitter tilsættes som katalysatorer for at fremme processen. Zeolitterne indeholder 2-4 % REO, overvejende i form af oxider af La, Ce og Nd (forholdene afhænger af de specifikke formål). La kan udgøre op til 80 %, Ce op til 46 %, mens Nd typisk udgør omkring 15 %. Kravet til renheden af produkterne er meget varierende (2-5N) (Machacek & Kalvig 2017).

Til fremstilling af katalysatorer til biler bruges især Ce, La og Nd, men her udgør Ce langt hovedparten. Brugen af sjældne jordartsmetaller forbedrer skiftet fra vand til gas. Sammensætningen af de sjældne jordartsmetaller varierer mellem de forskellige bilmærker og -modeller. Der er ikke oplagte substitutionsmuligheder for de sjældne jordartsmetaller. Katalysatorer indsamles fra de fleste biler inden skrotning, men med det formål at genanvende indholdet af platingruppe-



metallerne (PGM); der synes ikke at være systematisk industriel genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra katalysatorer.

På verdensplan forbruger katalytiske processer og katalysatorer omkring 21 % af den samlede produktion af REO (Figur 3-2). Det forventes, at omstilling til grønne energiteknologier med faldende olieproduktion og øget andel af elbiler på sigt vil reducere dette forbrug.

### 3.2.6 Teknisk keramik og intermetalliske materialer

Sjældne jordartsmetaller anvendes til forskellige typer af teknisk keramik og intermetalliske materialer, som indgår i produktion af fx brændselsceller, oxygen-sensorer, fiberoptik, elektrode-materialer, varmeskjold i jetmotorer, dentalprodukter og til overfladebelægninger i specielle metallurgiske smeltedigler. Visse typer af teknisk keramik, som er stabiliseret med sjældne jordartsmetaller, erstatter metaller til fx skæreværktøj og sliddele. Til dette er yttrium det mest anvendte af de sjældne jordartsmetaller og ofte i oxidform med høj renhed (3-6N) og indgår i alle ovennævnte anvendelser. Desuden efterspørges cerium til visse formål (særligt til brændselsceller og metallurgiske digler) samt små mængder gadolinium, lanthan og samarium, hvor der er varierende krav til materialets renhed (2-6N).

Intermetalliske materialer omfatter materialer til permanente magneter (afsnit 3.2.1) og til transducere og materialer, der kan lagre gasser; eksempel på sidstnævnte er lanthan-nikkel (LaNi<sub>5</sub>)-forbindelser.

### 3.2.7 Glasindustrien

Sjældne jordartsmetaller har forskellige anvendelser i glasindustrien. Det kan både bruges til farvning og affarvning af glas og kan forhindre, at visse typer af stråler går uhindret igennem glasset (fx infrarødt, røntgen- og UV-lys). Ce-oxider og -fluorider er de vigtigste produkter, men der bruges også en del La og Er og små mængder oxider af Gd, Nd, Y, Pr, Sm, Eu, Ho og Tm.

Nedenfor ses de mest almindeligste anvendelser af sjældne jordartsmetaller i glasindustrien.

*Farvning:* Tilsætning af sjældne jordartsmetaller kan farve glasset i lyse toner af violet, lyserødt, grønt og gult. Der anvendes især oxider af varierende renhed (2-5N) af Nd, Pr, Er, Ce, Eu, Ho, Sm og Tu. For eksempel giver Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> røde farver og i kombination med MnO<sub>2</sub> får glasset lilla farver. Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub> giver grønne farver, mens kombinationer af CeO<sub>2</sub> og TiO<sub>2</sub> giver gule farver.

*Farvefiltrering:* Oxider af sjældne jordartsmetaller tilsættes glasmassen, når det skal bruges til formål, hvor specifikke lysspektre ikke må trænge igennem. Det kan fx være til brug i specielle beskyttelsesbriller og -glasbeholdere. Tilsætning af Nd filtrerer for gult lys, Sm bruges som filter mod infrarødt lys, mens Eu bruges som filter til UV-lys. Produkterne har varierende renhed (2-5N).

*Affarvning/blegning:* Naturligt glas kan have uønskede misfarvninger, som glasproducenterne ønsker fjernet for at få helt klart glas. Tilsætning af oxider af Ce, Pr, Nd og Er til glasmassen kan fjerne misfarvninger. Ce-oxider bruges især til at fjerne grønne farver og erstatter det giftige arsenoxid (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Der anvendes produkter med varierende renhed (2-5N).

*Brydningsindeksregulator:* Tilsætning af oxider af sjældne jordartsmetaller kan øge glassets brydningsindeks og bruges især ved fremstilling af optiske fiberkabler (primært Er, Nd og Yb), optiske linser i smartphones og kameraer (primært La) samt i solceller (primært La og lidt Gd og Y).

*Strålingsmodstand:* Glasmaterialer som påvirkes af UV- og røntgenstråler farves over tid mørkt. Tilsætning af Ce-oxider i forskellige kvaliteter (2-5N) reducerer denne type misfarvninger.

Da markedet for smartphones og tablets forventes at vokse markant, arbejdes der på at finde metoder til at substituere Ce; La kan delvist udfylde denne rolle.

### 3.2.8 Poleringsmidler

Polérpulver baseret på sjældne jordartsmetaller bruges til polering af glas og elektriske komponenter og opdeles typisk i følgende fire hovedområder: (i) 'display panels' (LCD og fladskærme til TV, computere, tablets og smartphones); (ii) planglas (dekorative glas, spejle og vinduer); (iii) optisk glas (kamerallinser, brilleglas o.l.) og (iv) forbrugerelektronik (harddiske af glas og halvledere af silikone til integrerede kredsløb). Desuden benyttes det i mindre omfang til polering af smykkesten. Forskellige produkter af Ce-oxider er mest anvendt, men også oxider af La, Pr og Nd benyttes.

På verdensplan udgør forbruget af REO til poleringsmidler ca. 13 % af det samlede forbrug i 2021 (Figur 3-2). Generelt forventes dette marked at være nogenlunde konstant.

### 3.2.9 Andre industrielle anvendelser

Omkring 9 % af de sjældne jordartsmetaller anvendes til diverse industrielle formål, hvor en række er nævnt nedenfor.

*Mikroovne:* Krystaller til mikrobølgeovne indeholder bl.a. Y, Ga, Nd, Ho, Tm, Er og Yb.

*Laser til industrielle, medicinske og forsvarsteknologiske formål* indeholder Y og Ni som fluorescerende materialer. Renheden skal være minimum 5N.

*Nukleare anlæg:* Sjældne jordartsmetaller anvendes både i materialer til neutronabsorbering og til instrumenter, som kan måle radioaktivt udslip. Disse områder forbruger især Ga, Sm, Eu, Er og Ga.

*Medicinalindustrien:* Sjældne jordartsmetaller tilsættes forskellige typer af farmaceutiske- og antiseptiske produkter. Disse brancher efterspørger især Ce, Nd, La og Eu.

*Gødningsmidler:* Sjældne jordartsmetaller tilsættes visse gødningsmidler, fx superfosfat til brug ved produktion af bomuld og palmeolie. Dette område forbruger især La og Ce.

*Magnetisk køling:* Teknologien er baseret på, at nogle materialer skifter temperatur, når de kommer ind i et magnetisk felt. For eksempel fungerer Ga-legering som kølemiddel, når det sendes ind i et kraftigt magnetfelt; ud over Ga anvendes også legeringer, hvori et eller flere af følgende sjældne jordartsmetaller indgår: Nd, Tb, Er, La og Pr. Teknologien er under udvikling til brug i almindelige køleskabe.

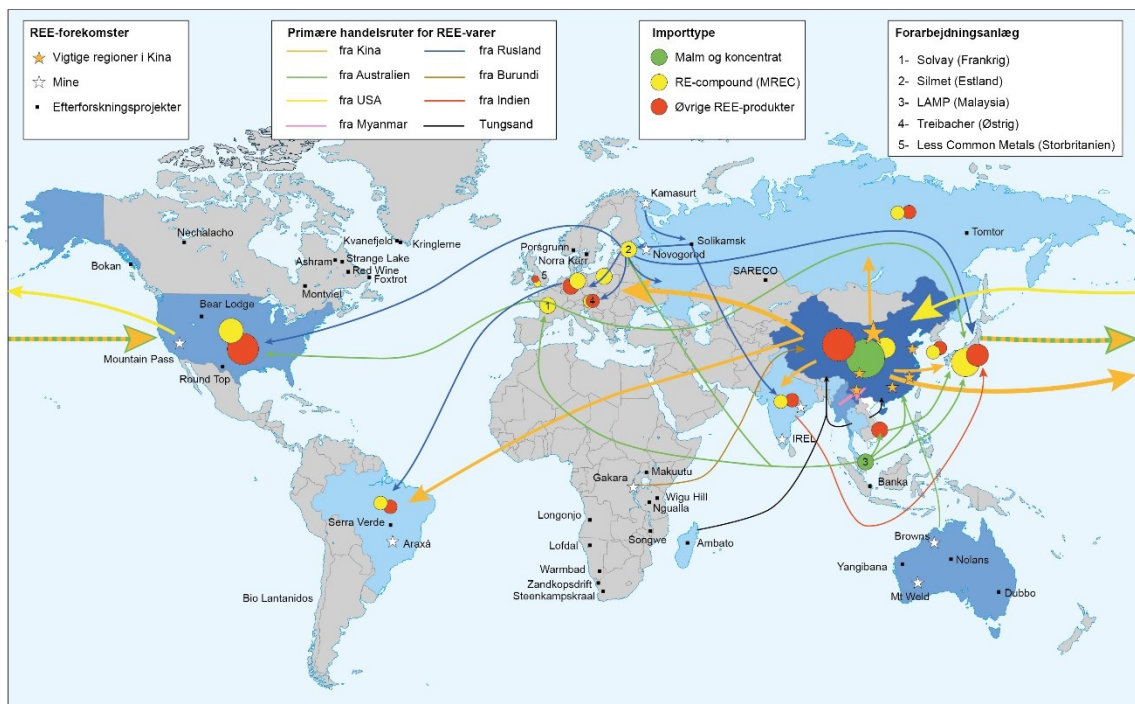
## 4. Handel og priser

### 4.1 Handel

Sjældne jordartsmetaller handles i mange forskellige dele af værdikæderne, og handlerne omfatter derfor forskellige typer af produkter: (i) mineralkoncentrater bestående af mineraler der indeholder sjældne jordartsmetaller, (ii) blandingsprodukter af sjældne jordartsmetaller (ikke-separerede/delvist separerede), (iii) metaller af de enkelte sjældne jordartsmetaller samt (iv) metallegninger med sjældne jordartsmetaller (mischmetal).

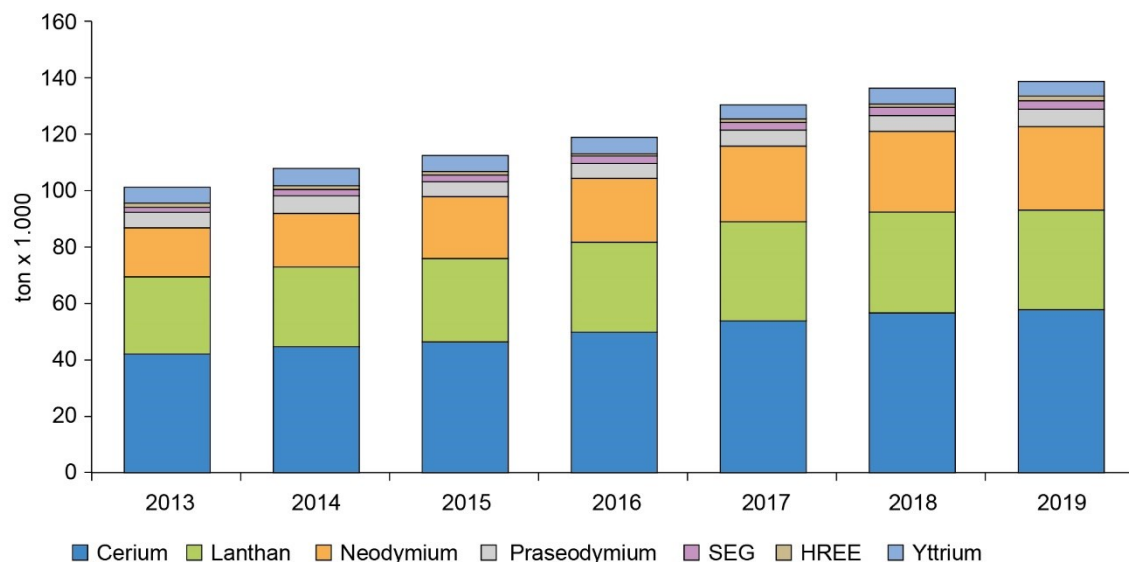
Kina er omdrejningspunktet for handel med alle typer af produkter af og med sjældne jordartsmetaller, men specielt på import af mineralkoncentrater og eksport af færdigvarer. Nogle af de betydeligste handelsrelationer er vist i Figur 4-1. Den internationale handel med REE-produkter domineres af Kinas køb af råstoffer fra de øvre dele af værdikæderne igennem langtidskontrakter, og der er kun et lille volumen tilgængeligt for spotmarkeder, hvor det især er billige lanthan- og ceriumprodukter, der er tilgængelige.

Værdimæssigt sker hovedparten af den internationale handel med sjældne jordartsmetaller i form af varer fra værdikædernes nedre dele, hvor de sjældne jordartsmetaller indgår i varen, enten som en selvstændig vare eller som komponent(er) i en anden vare; det gælder eksempelvis for biler og elektronik- og kommunikationsudstyr (Hou *et al.* 2018).

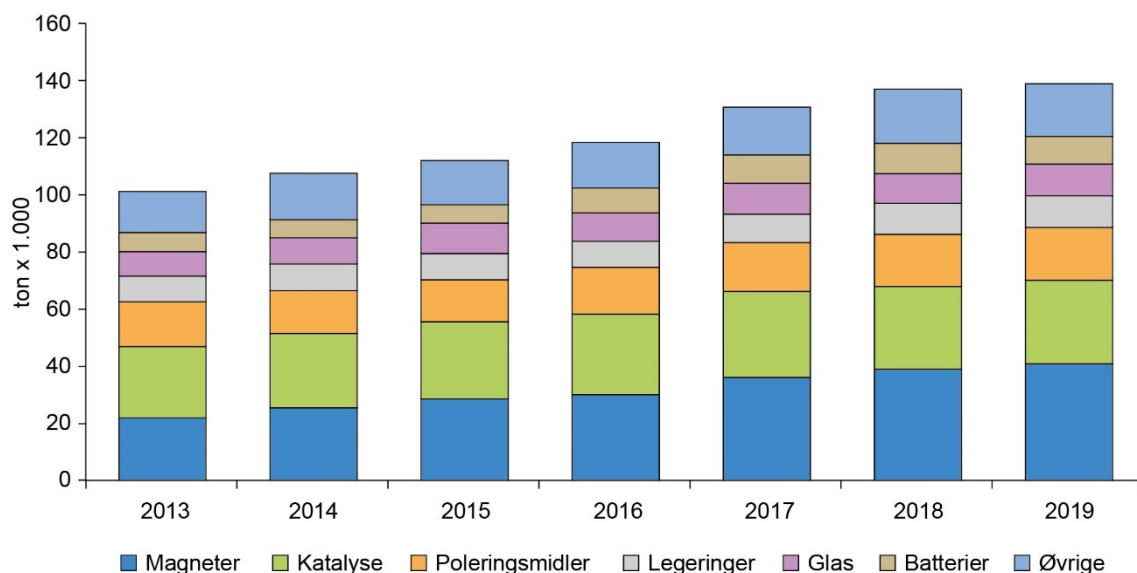


**Figur 4-1** Kina dominerer handelsmønstrene for sjældne jordartsmetaller. Baseret på Roskill (2021a).

Den globale efterspørgsel på sjældne jordartsmetaller stiger fra år til år målt både i volumen og i værdi; de største vækstrater ses indenfor produkter til permanente magneter (Figur 4-2 og Figur 4-3). Som svar på den stigende efterspørgsel øgede Kina i 2000 sin produktion markant (Figur 4-4); en betydelig del af produktionen blev eksporteret til Japan.



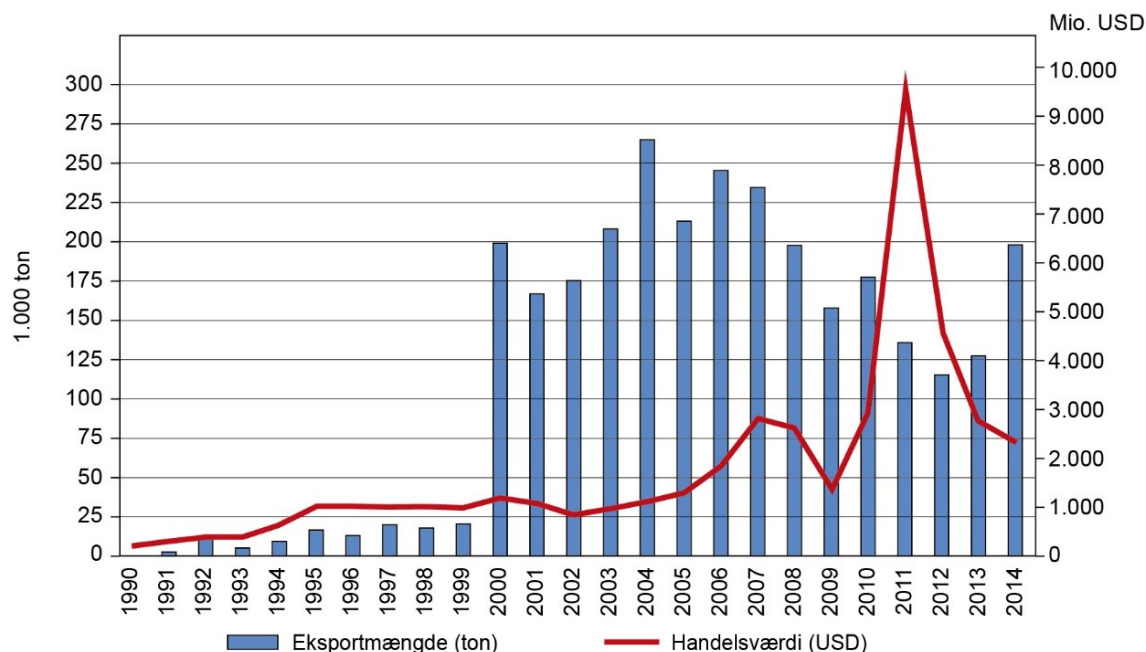
**Figur 4-2** Globalt forbrug af sjældne jordartsmetaller i perioden 2013-2019. SEG: Samarium, europium, gadolinium. Kilde: European Commission (2020).



**Figur 4-3** Global efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller i perioden 2013-2019, fordelt på industri-sektorer. Kilde: European Commission (2020).

Importen af sjældne jordartsmetaller til de fire store markeder EU, USA, Japan og Korea udgjorde i 2019 omkring 51.000 ton og i 2018 omkring 54.000 TREG/år (Tabel 4-1). Importstatistikken omfatter meget forskellige produkter, hvoraf en del er geneksport; da produktionsåret for de importerede tonnager desuden er ukendte, kan importtallene ikke vurderes i forhold til Kinas produktionskvoter.

Som omtalt i kapitel 14 forventes der stærkt stigende efterspørgsel på permanente magneter (NdFeB-magneter), som er centrale komponenter i elektrificeringen af transportsektoren, til vindmøller, airconditionanlæg m.m., og dermed stor efterspørgsel på især neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium, som alle er højprisprodukter.



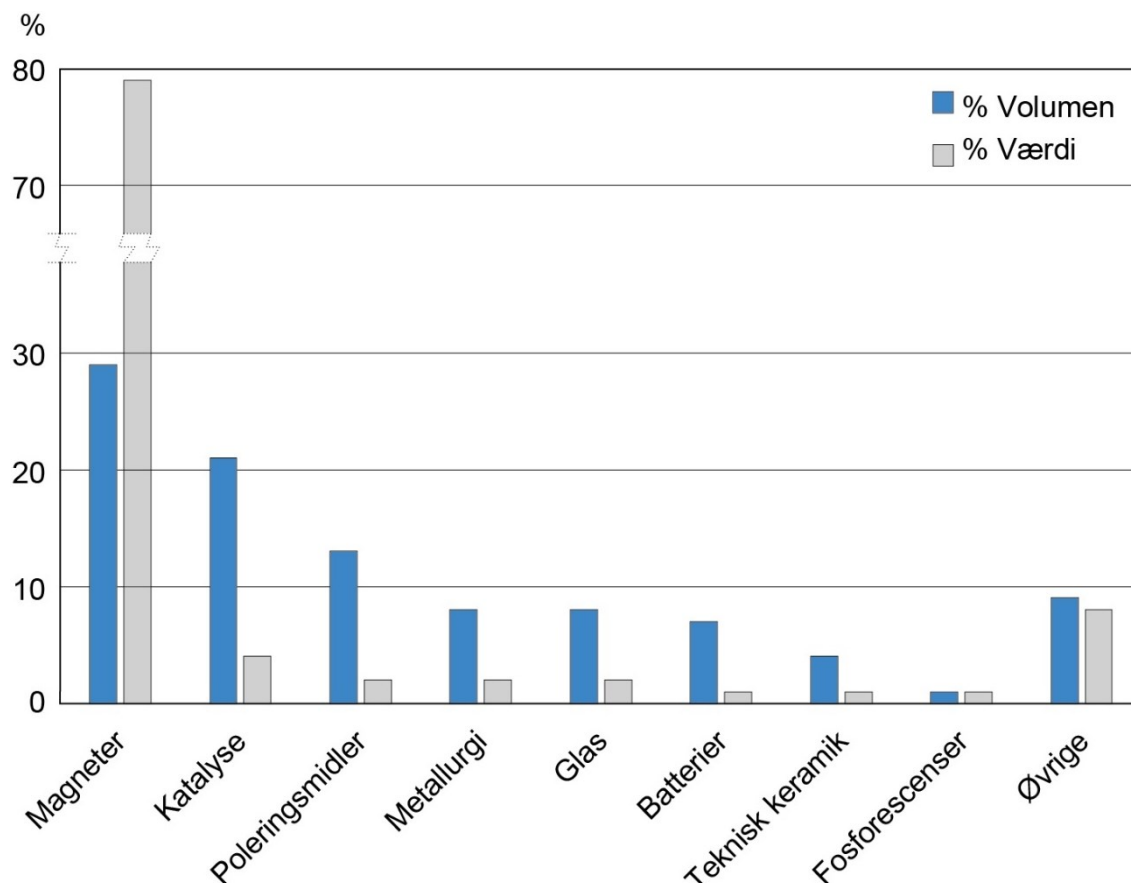
**Figur 4-4** Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller og tilhørende eksportværdi. Både eksporten og tilhørende værditilvækst ændredes radikalt i 2000 med stigninger de følgende fire år, hvorefter tendensen overordnet har været faldende. Kilde: Mancheri & Marukawa (2018).

**Tablet 4-1** Import af REE-forbrugsstoffer til EU, USA, Japan og Korea fra landene i første kolonne i 2019. Kilde: Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd. (2021).

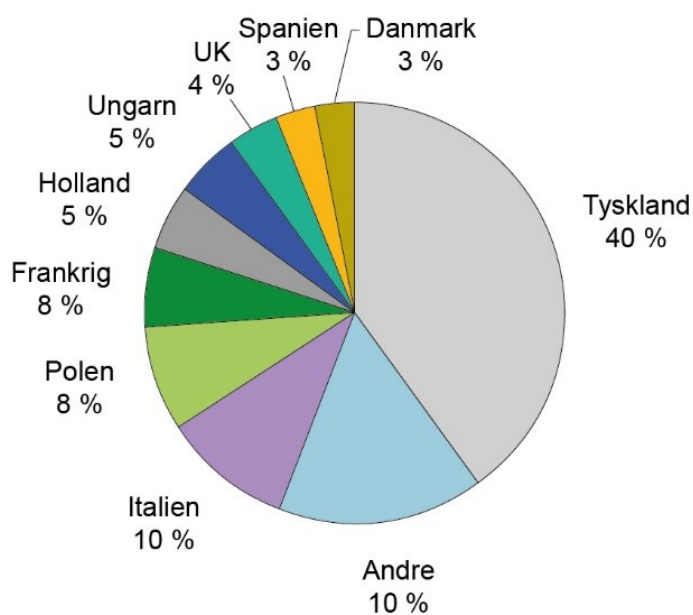
	EU		USA		Japan		Korea		Total
	%	Ton	%	ton	%	ton	%	Ton	
Estland			5	61	5	944			1.005
Frankrig					17	3.209	16	587	3.796
Indien	2	213			2	378	3	110	701
Italien					1	189			189
Japan	4	425	3	7			14	513	945
Kina	38	4.038	78	15.780	66	12.460	58	2.127	34.405
Korea	1	106							106
Malaysia	5	531	9	1.821	7	1.322	4	147	3.821
Rusland	47	4.995							4.995
Sydafrika			1	2					2
Taiwan					1	189	2	73	262
Tyskland			2	4			1	32	36
USA	2	213					2	73	286
Vietnam					1	189			189
Østrig			1	2					2
<b>2019</b>		<b>10.521</b>		<b>17.677</b>		<b>18.880</b>		<b>3.662</b>	<b>50.740</b>
<b>2018</b>		<b>12.467</b>		<b>17.033</b>		<b>21.054</b>		<b>3.153</b>	<b>53.707</b>

REE-magneter er generelt industrielt vigtige og økonomisk betydelige varegrupper (Figur 4-5), men betydningen af disse varegrupper varierer mellem landene i forhold til landenes industrisammensætning med Tyskland, Italien, Polen og Frankrig, som nogle af de største importører af

magneter fra Kina. Alene i første halvdel af 2021 importerede EU ca. 8.000 ton NdFeB-magneter til en samlet værdi af ca. 500 mio. USD (Rare Earth Industry Association 2021) (Figur 4-6).



**Figur 4-5** Markedsandele for forbruget af sjældne jordartsmetaller i forskellige industrisektorer i volumen% og værdi%. Kilde: European Commission (2020).



**Figur 4-6** Den procentvise fordeling mellem EU-landenes (inkl. Storbritannien) import af NdFeB-magneter i første halvdel af 2021. Samlet blev der importeret 8.000 ton NdFeB-magneter til en samlet værdi af ca. 500 mio. USD. Kilde: Rare Earth Industry Association (2021).

## 4.2 Priser for hvad?

Der er meget store prisforskelle på forskellige produkter af sjældne jordartsmetaller, som til dels er en følge af værditilvækst igennem forsyningskædernes enkelte trin. De store forskelle i prisniveauet for de enkelte sjældne jordartsmetaller skyldes også ubalancen mellem de enkelte sjældne jordartsmetallers naturlige forhold i naturen og de markedsmæssige efterspørgsler, hvilket betyder, at der er overskud af visse sjældne jordartsmetaller (fx lanthan og cerium), mens der periodevis er mangelsituationer for andre (fx neodmium, terbium og dysprosium). Dette misforhold kaldes balanceproblemet og omtales i afsnit 9.4.1.

Kina offentliggør ugentligt de officielle eksportpriser for forarbejdede råmaterialer af de enkelte sjældne jordartsmetaller. Flere mindre børser (fx Baotou Rare Earth Exchange) offentliggør dagligt priser for nogle af produkterne.

De offentliggjorte priser for sjældne jordartsmetaller er kun retningsgivende, da forhold om specifikationer og vilkår ikke oplyses. Kina opkøber stigende mængder mineralkoncentrater fra miner i andre lande (jf. kapitel 8). Priserne for disse produkter offentliggøres ikke, men bliver afregnet væsentligt under den pris, der kan beregnes ud fra koncentratets indhold af sjældne jordartsmetaller, da prisen afspejler, at der er mange forarbejdningsstrin forude, inden malmens indhold af sjældne jordartsmetaller er indarbejdet i de varer Kina eksporterer. Desuden vil der være fratræk for Kinas importbegrænsende told og afgifter, jf. kapitel 12.2.

## 4.3 Prisudviklinger

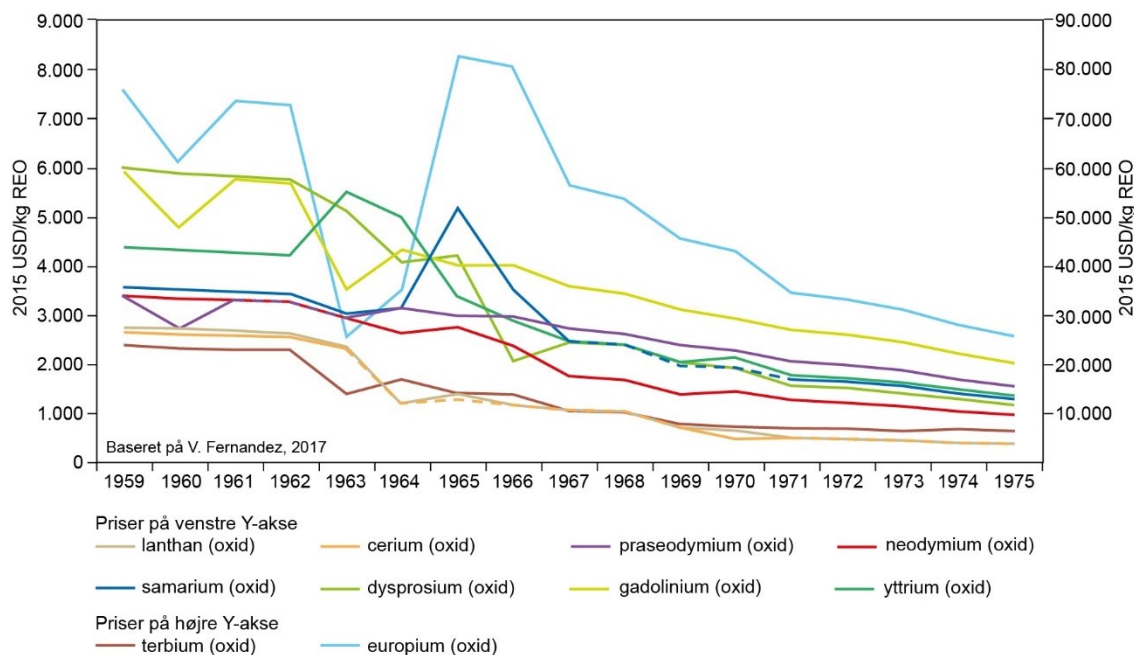
Set over de seneste 60 år kan udviklingen i priserne for sjældne jordartsmetaller opdeles i tre historiske perioder med hver deres indflydelse på prisdannelsen; fra 1960 til ca. 2000, fra ca. 2000 til 2015 og i perioden efter 2015.

### 4.3.1 Det lange tilbageblik (1960-2000)

I perioden fra omkring 1960 til begyndelsen af 1990'erne var USA verdens største producent af sjældne jordartsmetaller med en produktion baseret på biproduktion af monazit fra tungsandsofrekomster og fra produktion af bastnäsit fra Mountain Pass-minen i Californien. Efterfølgende overtog Kina rollen som verdens største producent og har været det siden. Da USA i 1994 stoppede uranproduktionen fra monazit fra tungsand (Bray 2011), blev 'Monazit-perioden' afløst af 'Mountain Pass-perioden', men i 2002 lukkede Mountain Pass-minen som en konsekvens af lave priser og de amerikanske myndigheders bekymringer for radioaktive restprodukter i forbindelse med produktionen af sjældne jordartsmetaller. Mountain Pass-perioden blev omkring 2005 afløst af den nuværende 'kinesiske periode', hvor Kina i et hastigt voksende og diversificeret marked har opbygget industrier, der dominerer alle værdikæderne for sjældne jordartsmetaller.

De tidligste prisdata for sjældne jordartsmetaller er fra USA i slutningen af 1950'erne. Direkte sammenligninger mellem de forskellige datasæt er ikke muligt, da beregningsgrundlag og diskonteringsmetoder ikke er fuldt oplyste; data er her derfor kun anvendt til illustration af nogle overordnede tendenser. I perioden 1950-1975 var tendensen faldende priser, som især var en følge af et stærkt voksende udbud fra Mountain Pass-minen i Californien, som var verdens største producent (Figur 4-7). Den globale produktion i perioden 1965-1974 voksede fra ca. 7.000 ton til

ca. 16.000 ton, hvoraf USA stod for hhv. ca. 3.000 ton og 12.000 ton, hvilket i 1974 svarede til ca. 78 % af verdensproduktionen.

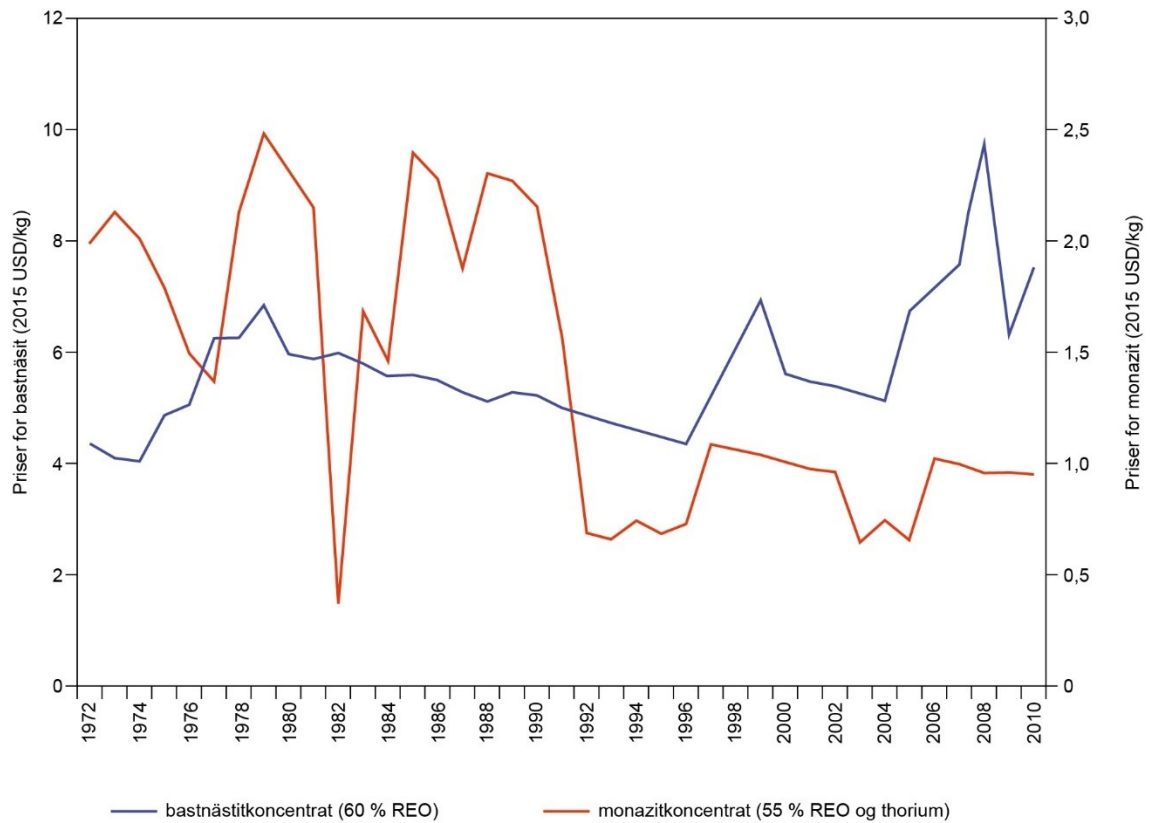


**Figur 4-7** Prisudviklingen for sjældne jordartsmetaloxider i USA i perioden 1959-1975. Priserne er opgivet i 2015-priser. Kilde: Fernandez (2017).

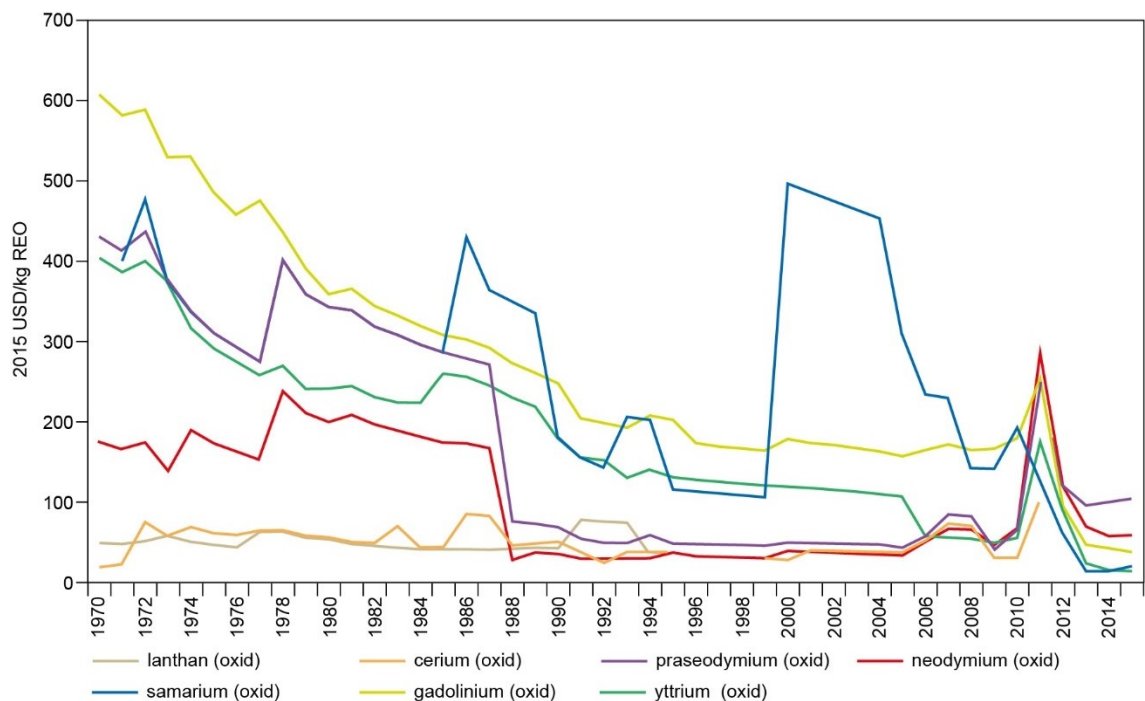
På basis af REE-holdige biprodukter fra fremstilling af uranprodukter fra monazit havde USA allerede i 1960'erne udviklet infrastruktur og værdikæder til fremstilling af metaller og legeringer af sjældne jordartsmetaller. Det Internationale Atomenergiagentur (IAEA) mente imidlertid, at kontrollen med og opbevaringen af monazitproduktionens indhold af uran og thorium var utilstrækkelig og udgjorde en miljømæssig udfordring, hvilket bl.a. var medvirkende til dalende interesse for monazit med faldende priser til følge, hvilket skete samtidig med, at priserne for bastnäsit steg (Figur 4-8). I 2002 besluttede den amerikanske regering derfor, at monazitproduktionen skulle ophøre, hvilket medførte at knowhow om sjældne jordartsmetaller og tilhørende patentrettigheder blev overdraget til kinesiske virksomheder. Dette blev begyndelsen på Kinas dominans indenfor de sjældne jordartsmetallers værdikæder, både relateret til forarbejdning af REE-råstoffer og til de REE-forbrugende industrier (se kapitel 11 og 12).

Trods en stærkt stigende efterspørgsel på REE-produkter igennem 1990'erne og frem til 2010 var tendensen faldende priser, bl.a. som følge af den globale økonomiske krise (Figur 4-9).





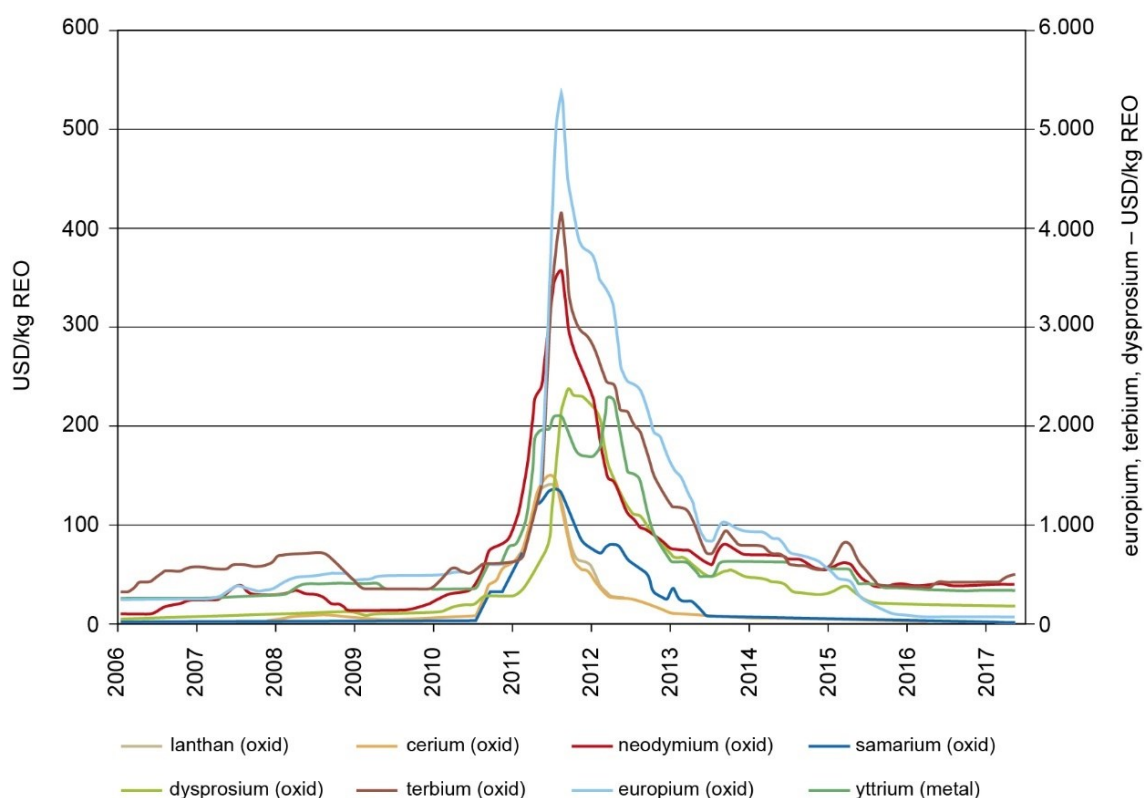
**Figur 4-8** Priser for bastnäsit- og monazitkoncentrater i perioden 1972-2010. Priserne er opgivet i 2015-priser. Kilde: Fernandez (2017).



**Figur 4-9** Prisudviklingen for udvalgte sjældne jordartsmetaloxider i perioden 1970-2015. Priserne er opgivet i 2015-priser. Kilde: Fernandez (2017).

### 4.3.2 Perioden 2000-2015 og de store prisstigningerne i 2011-2012

I perioden 2000-2010 var priserne på sjældne jordartsmetaller generelt faldende med samarium som eneste undtagelse. De store prisstigninger på samarium, specielt fra begyndelsen af 2000'erne, skyldtes primært øget efterspørgsel til SmCo-magneter. Men voldsomme og pludselige prisstigninger på stort set alle sjældne jordartsmetaller opstod i 2011 som følge af Kinas eksportforbud for sjældne jordartsmetaller til Japan, der var Kinas største eksportmarked. Officielt var sanktionen mod Japan udløst pga. grænsestridigheder i det Østkinesiske Hav, hvor en kinesisk fisketrawler blev opbragt af et japansk kystvagtskib i september 2010. Reelt blev denne udenrigspolitiske krise, og de stigende priser, brugt til at demonstrere Kinas kontrol over værdikæderne for sjældne jordartsmetaller og til konsolidering af Kinas egne forsyningskæder. Eksportforbuddet, som varede i to måneder, blev afløst af en 40 % reduktion af Kinas eksportkvote og den samlede eksport i 2010 faldt med 77 % og priserne mangedobledes (Figur 4-9 og Figur 4-10). Kina forklarede den faldende eksport med, at miljøforhold i kinesiske miner (specielt ionadsorptionsforekomster) havde tvunget kinesiske producenter til at reducere produktionen.



**Figur 4-10** Prisudviklingen for udvalgte sjældne jordartsmetaloxider i perioden 2006-2017. Priserne er opgivet i 2015-priser. Kilde: Fernandez (2017).

Set over perioden 2009-2020 er prisfaldet for sjældne jordartsmetaller 50-100 % for lanthan, cerium, samarium, europium og yttrium, hvorimod priserne for 'magnetmetallerne' praseodymium, neodymium og dysprosium steg med 100-200 %, hvilket især skyldes en øget efterspørgsel pga. elektrificering af transportsektoren og voksende behov til kommunikations- og datateknologi. Et stigende forbrug af magnetmetallerne udløser uundgåeligt overproduktion af lanthan og cerium (se afsnit 9.4.1), som i forvejen er presset af vigende markeder (særligt forbruget til olieraffinerer er reduceret), og derfor er prisfaldet særligt stort for produkter af disse grundstoffer. De faldende priser for europium og yttrium kan tilskrives et mindre forbrug til fosforescenser som følge af bl.a. indførelse af LED-belysning og udfasning af halogen-, FTL- og CFL-lamper.

### 4.3.3 Perioden efter 2015

Det faldende prisniveau begyndte omkring 2015 også at være et problem for de kinesiske virksomheder som forarbejdede sjældne jordartsmetaller, hvilket betød, at flere virksomheder i Kina lukkede og hele sektoren blev omorganiseret. Yderligere omorganiseringer blev indledt i 2021 for at styrke Kinas globale førerposition på værdikæderne for sjældne jordartsmetaller (se afsnit 12.1).

Retningsgivende eksportpriser fra Kina for udvalgte produkter er vist i Figur 4-11 og Tabel 4-2. Som det fremgår af Tabel 4-2, er der meget store prisforskelle mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller med magnetmetallerne som de dyreste og lanthan og cerium som nogle af de billigste. Der er almindeligvis ikke tilgængelige priser for de fem tunge sjældne jordartsmetaller holmium, erbium, thulium, ytterbium og lutetium, da disse kun anvendes i nichemarkeder, og de anførte priser er derfor behæftet med stor usikkerhed.

Udviklingen i eksportpriser for forskellige typer REE-råmaterialer i perioden 2017 til 2019 er vist i Figur 4-11 og kommenteres nedenfor.

*Cerium:* De generelt faldende priser skyldes, at efterspørgslen på magnetmetaller skaber overproduktion af bl.a. cerium samtidig med, at der er faldende efterspørgsel på cerium til olieraffinering.

*Dysprosium:* Produktionen er lav og leverer især til producenter af NdFeB-magneter. Prisudsving skyldes især, at dysprosium er et biprodukt til de lette sjældne jordartsmetaller, som fx neodymium, og at mængden af dysprosium på markedet varierer som følge af forskelle i hvilke miner, der dominerer forsyningen af markedet.

*Erbium:* Priserne har været nogenlunde konstante.

*Europium:* Priserne har været stærkt faldende i perioden som følge af det vigende marked for fosforescenser, der er en følge af indførelsen af LED-belysning.

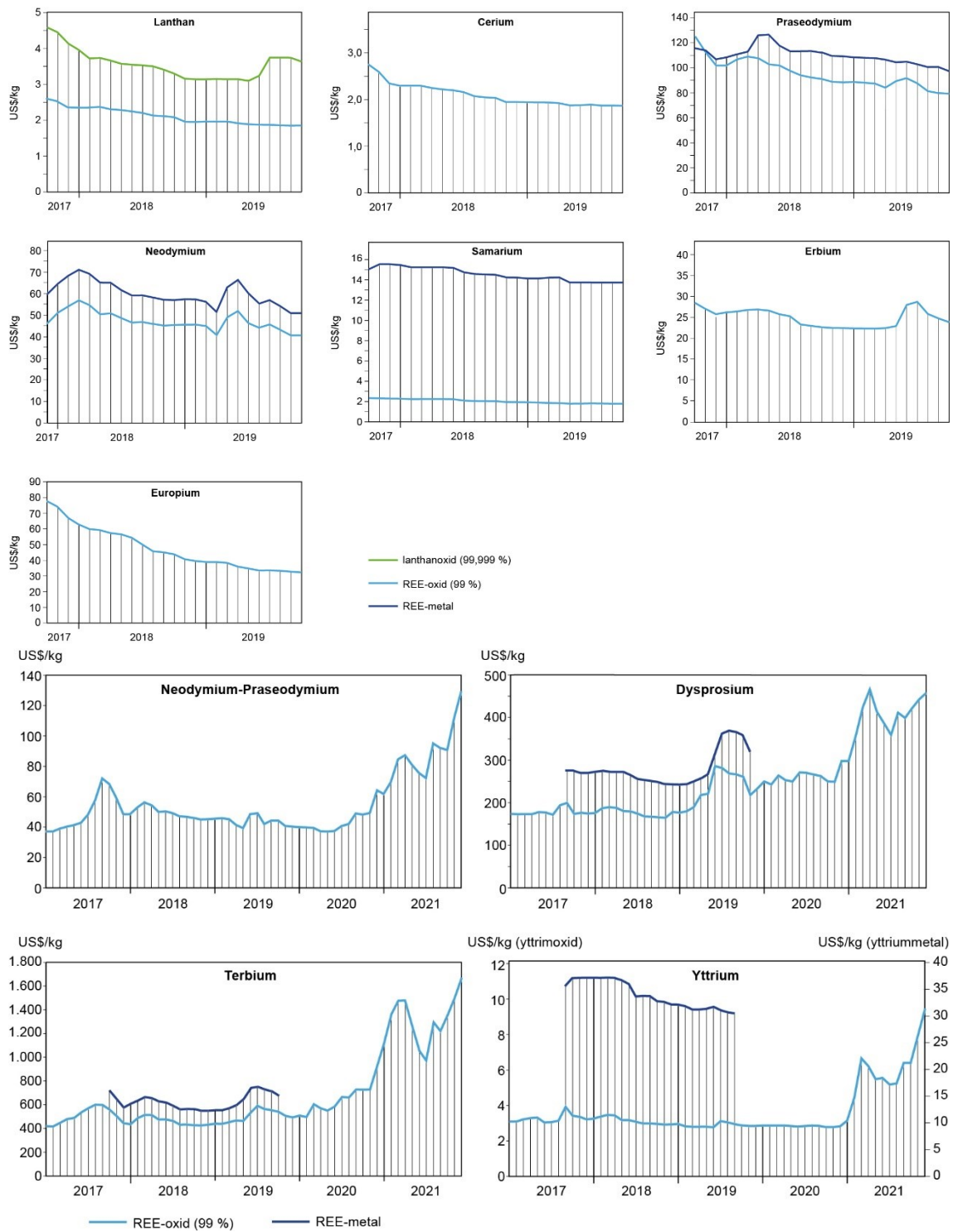
*Lanthan:* Det billigste af de sjældne jordartsmetaller. Markederne har været vigende og priserne næsten konstant faldende.

*Neodymium:* Der har været svagt faldende priser i perioden, men samlet skyldtes mere end halvdelen af omsætningen af de sjældne jordartsmetaller i 2019 salg af neodymium.

*Praseodymium:* Faldende priser på praseodymium-oxider, hvorimod priserne på praseodymium-metal kun er faldet marginalt.

Priserne for sjældne jordartsmetaller, som er tilgængelige i fri handel, fluktuerer betydeligt fra måned til måned (Tabel 4-2 og Figur 4-12). Det er dog uklart, i hvilket omfang disse dynamiske priser påvirker handelen, da det største handelsvolumen er bundet op på længerevarende kontrakter.

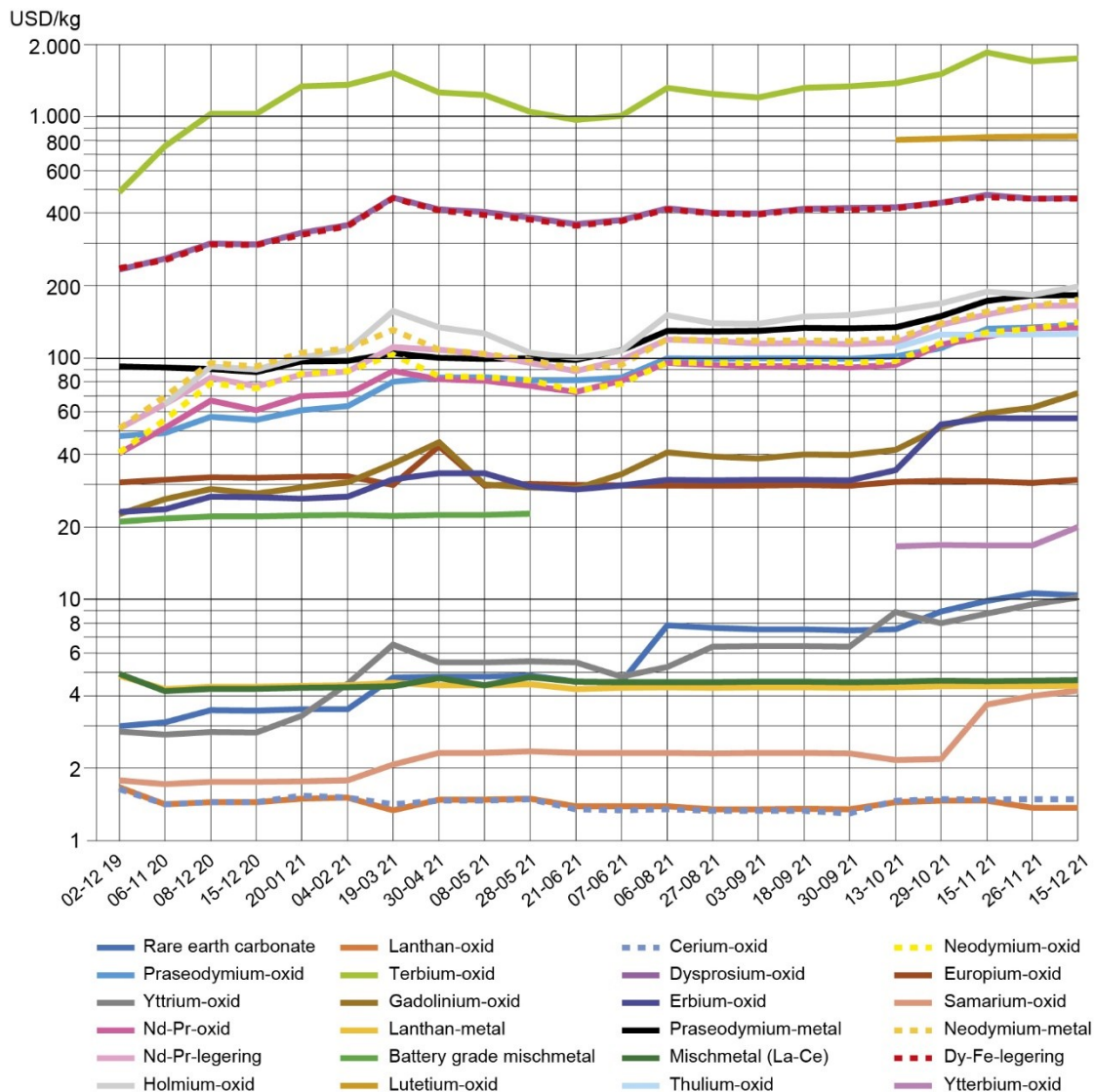
Med undtagelse af lanthan og cerium har der været meget store prisstigninger i perioden 2019 til efteråret 2021. I 2021 steg priserne mest for semi-produkter som fx sjældne jordartsmetalkarbonater (MREC) (154 %) samt for raffinerede produkter som yttrium-oxid (141 %) og erbium-oxid (103 %) (Tabel 4-2); kun priserne for lanthan- og cerium-oxid er faldet lidt. Markedsanalytikere forventer store prisstigninger på især Nd-Pr-produkter, som primært skyldes stigningen i efterspørgslen af elbiler (SMM News 2021). Det skal bemærkes, at prisniveauet stadig er meget lavere end niveauet under forsyningskrisen i 2011 (Tabel 4-2).



**Figur 4-11** Udviklingen i eksportpriser for forskellige typer REE-råmaterialer i perioden 2017-2019. Kilde: European Commission (2020).

**Tabel 4-2** Udviklingen i priserne for eksportprodukter fra Kina i perioden 2. december 2019 til 15. december 2021. Priseniveauet for 2011 er medtaget som reference. Grafisk fremstilling af data vist i Figur 4-12. Kilder: The Rare Earth Observer (2021) og Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd. (2021).

	2011	02-12	06-11	08-12	15-12	20-01	04-02	19-03	30-04	08-05	28-05	21-06	07-06	06-08	27-08	03-09	18-09	30-09	13-10	29-10	15-11	26-11	15-12	
		2019	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
MREC		3,0	3,1	3,5	3,5	3,5	3,5	4,8	4,8	4,8	4,9	4,6	4,6	7,8	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5	8,9	9,9	10,6	10,4	
Lanthan-oxid	172	1,7	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	
Cerium-oxid	158	1,6	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Neodymium-oxid	338	40,8	55,6	78,8	75,2	86,4	88,7	103,7	84,3	83,7	81,4	73,3	78,4	96,2	96,0	95,6	96,9	95,6	97,7	115,8	128,4	132,6	141,3	
Praseodymium-oxid	249	47,7	48,9	57,3	55,7	60,9	63,5	79,9	83,1	83,5	81,0	81,1	83,2	99,8	99,4	99,9	100,0	99,5	102,2	110,3	132,3	134,5	137,3	
Terbium-oxid	4.510	488,6	755,2	1.032	1.031	1.340	1.358	1.525	1.264	1.233	1.055	973,7	1.011	1.323	1.249	1.208	1.325	1.342	1.382	1.508	1.854	1.705	1.750	
Dysprosium-oxid	2.840	233,3	258,5	299,7	296,2	332,0	357,6	463,9	414,4	404,3	384,5	359,4	375,2	419,3	400,8	398,8	416,9	421,0	422,5	442,1	476,1	459,1	460,3	
Europium-oxid	5.870	30,6	31,4	32,1	32,1	32,4	32,5	30,0	43,3	29,8	30,2	29,8	29,7	29,8	29,7	29,8	29,8	29,7	30,7	31,1	31,0	30,5	31,4	
Yttrium-oxid	183	2,8	2,8	2,8	2,8	3,3	4,5	6,5	5,5	5,5	5,6	5,5	4,8	5,3	6,4	6,4	6,4	6,4	8,9	8,0	8,7	9,5	10,2	
Gadolinium-oxid	203	22,6	26,1	28,8	27,5	29,1	30,6	36,6	44,8	30,0	29,2	28,9	33,0	40,8	39,2	38,6	39,9	39,7	41,8	51,6	59,3	62,6	71,8	
Erbium-oxid		23,1	23,7	26,8	26,6	26,2	26,7	31,5	33,4	33,4	29,4	28,7	29,8	31,3	31,2	31,4	31,4	31,2	34,4	53,2	56,6	56,3	56,5	
Samarium-oxid	129	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	2,1	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	3,7	4,2	4,2	
Nd-Pr-oxid		40,5	51,4	66,9	61,0	70,0	71,1	88,7	82,1	80,9	77,1	72,5	80,7	95,9	94,1	92,6	92,8	91,7	94,0	114,2	123,3	133,3	134,2	
Lanthan-metal		4,8	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4	4,4	4,5	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	
Praseodymium-metal		92,5	91,9	90,2	87,8	97,1	97,5	105,2	100,4	99,7	100,1	98,5	108,3	130,0	129,5	130,1	133,7	133,0	134,3	149,4	173,3	182,2	182,8	
Neodymium-metal		51,2	69,6	95,6	92,4	105,5	109,9	131,3	108,6	104,4	98,6	90,6	93,9	120,4	118,6	118,5	118,6	118,0	120,7	140,1	156,5	165,0	175,0	
Nd-Pr-legering		51,2	64,5	83,3	76,7	85,7	88,2	111,4	108,6	104,0	95,8	88,5	98,4	119,5	117,9	115,0	115,5	114,9	116,2	137,7	152,2	164,6	165,6	
Battery grade mischmetal		21,1	21,7	22,2	22,1	22,3	22,4	22,3	22,4	22,4	22,7													
Mischmetal (La-Ce)		4,9	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,7	4,4	4,8	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	
Dy-Fe-legering		236,6	254,7	296,6	294,7	325,9	352,9	461,6	411,3	393,5	376,6	354,8	371,4	414,7	398,5	394,9	413,8	413,2	418,7	442,1	465,9	459,1	459,1	
Holmium-oxid			64,5	92,5	90,1	100,9	108,0	157,5	134,5	126,8	105,7	100,7	107,7	150,9	139,9	139,0	148,8	151,1	158,6	169,0	188,9	183,8	198,5	
Lutetium-oxid																			804,8	813,7	827,3	829,0	831,8	
Thulium-oxid																			110,7	126,0	125,7	125,9	126,3	
Ytterbium-oxid																			16,6	16,8	16,8	16,8	20,0	
Exchange rate US\$ 1=RMB		7,0	6,5	6,5	6,6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,4	6,4	6,4	



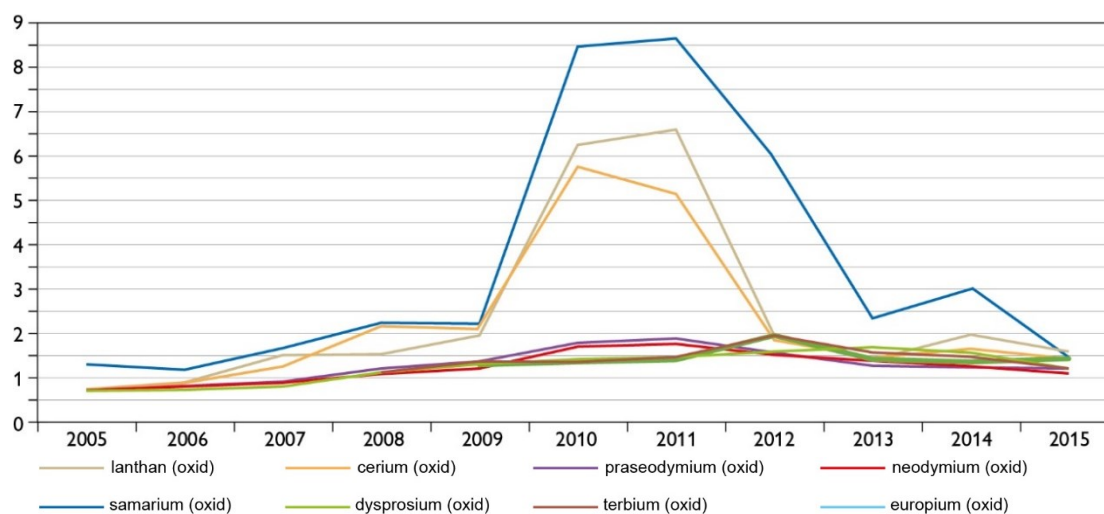
**Figur 4-12** Udviklingen i eksportpriserne for udvalgte sjældne jordartsmetalprodukter fra 2. december 2019 til 15. december 2021 (data fra Tabel 4-2). Y-aksen er logaritmisk; X-aksen er ikke lineær for 2019-2020. Kilder: *The Rare Earth Observer* (2021) og *Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd.* (2021).

I Tabel 4-3 ses eksempler på priser for forskellige produkttyper, som er baseret på samme sjældne jordartsmetal. Som det fremgår, stiger priserne almindeligvis i takt med forarbejdningsgraden.

Under forsyningskrisen i 2010-2011 indførte Kina en prispolitik, hvor der var betydelige forskelle mellem eksportpriser og nationale priser for sjældne jordartsmetaller (Figur 4-13). Efter forhandlinger med Verdenshandelsorganisationen (World Trade Organization (WTO)) ændrede Kina denne prispolitik og etablerede i stedet et skatte- og afgiftssystem, som begunstiger forarbejdning og fremstilling af produkter indeholdende sjældne jordartsmetaller i Kina. Skatte- og afgiftssystemet gør det økonomisk fordelagtigt at færdigforarbejde varer i Kina, og gør det vanskeligere og dyrere at importere forarbejdede råvarer, hvorved ordningerne giver kinesiske virksomheder markedsfordele tilsvarende dem de havde i perioden, hvor der var forskel på eksportpriser og nationale priser. Skatte- og afgiftssystemet gør det dermed muligt at bevare kontrollen over de globale værdikæder.

**Tabel 4-3** Priserne for forskellige råstoftyper baseret på samme individuelle sjældent jordartsmetal. Som det fremgår, stiger prisen bl.a. med produktets renhed. Kilde: Institut für seltene Erden und Strategische Metalle (2020).

Produkt	Kvalitet	USD/kg
Ce-karbonat	TREO 45 % MIN CeO <sub>2</sub> REO 100% EXW China	1,36
Ce-karbonat	TREO 45 % MIN CeO <sub>2</sub> REO 100% FOB China	1,60
Ce-oxid	99 % FOB China	1,58
Ce-oxid	99,9 % EXW China	7,83
Ce-oxid	99,99 % min EXW China	1,43
Ce-metal	99 % min EXW China	4,07
Ce-metal	99 % min FOB China	4,30
Dy-oxid	99,5 % min EXW China	247,59
Dy-oxid	99,5 % min FOB China	245,00
Dy-metal	99,5 % min EXW China	323,65
Dy-metal	99,5 % min FOB China	325,00
Eu-oxid	99,999 % min EXW China	30,28
Eu-oxid	99,999 % min FOB China	30,00
Eu-metal	99,5 % min FOB China	285,00
La-klorid	99,9 % min EXW China	1,36
La-oxid	99,9 % min EXW China	1,39
La-oxid	99,999 % min EXW	3,35
La-metal	99 % min EXW China	4,30
Nd-oxid	99,5 % min EXW China	52,64
Nd-metal	99 % min FOB China	67,00
Pr-oxid	99,5 % min EXW China	47,70
Pr-metal	99,5 % min FOB China	91,00
Sm-oxid	99,9 % min EXW China	1,75
Sm-metal	99,5 % EXW China	13,30
Tb-oxid	99,99 % min EXW China	721,88
Tb-metal	99,9 % min EXW China	929,25
Y-oxid	99,999 % min FOB China	3,00
Y-metal	99,9 % min EXW China	30,28



**Figur 4-13** Forholdet mellem eksportpriser og nationale priser i Kina i perioden 2005-2015. En værdi på eksempelvis 8,5 for samarium i 2010 betyder, at eksportprisen var 8,5 gange så høj som den nationale pris. Kilde: Friedrichs (2017).

## 4.4 Malmværdi og basket-price

I forbindelse med mineralefterforskningen, som er det første led i mineralindustriens værdikæder, har investorer, analytikere og beslutningstagere behov for at kunne sammenligne og vurdere efterforskningsprojekter for sjældne jordartsmetaller. Da sjældne jordartsmetalprojekter pr. definition er polymetalliske forekomster, dvs. at alle 16 sjældne jordartsmetaller forekommer (promethium er undtaget, se afsnit 2.1), og desuden ofte en række andre metaller, kan vurderingerne ikke foretages som en enhedspris for den samlede lødighed (Total Rare Earth Oxide (TREO)), da to forekomster med samme TREO-% kan have forskellige sammensætninger af de sjældne jordartsmetaller og dermed have forskellig værdi; forekomster med højere TREO-% end andre er derfor ikke nødvendigvis bedre kommercielt set. Vurderingerne omfatter derfor typisk både malmværdien og basket-price (se afsnit 4.4.2).

### 4.4.1 Malmværdi

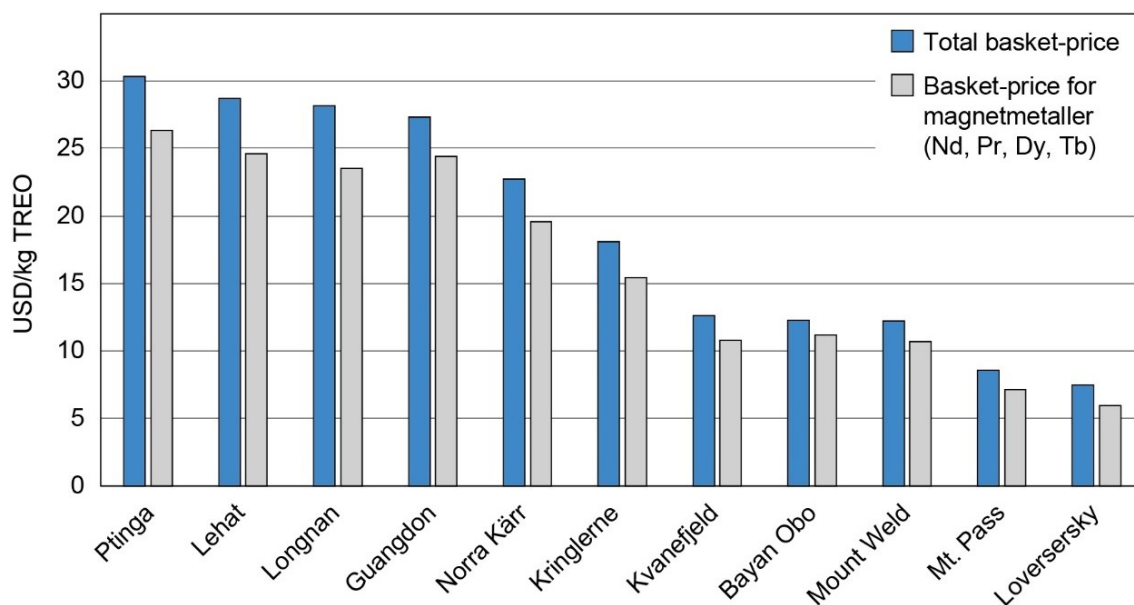
Malmværdien angiver værdien pr. ton malm (USD/ton), som den ligger i bjerget (in-situ-værdi) og er baseret på det samlede indhold af sjældne jordartsmetaller (TREO). I malmværdien indgår kun malmens lødighed og priserne for de individuelle sjældne jordartsmetaller, så hverken forekomstens størrelse, procestab (recovery) eller projektets økonomiske forhold indgår i værdien, ligesom en høj malmværdi, opnået som følge af høj lødighed med mineraler med lave HREE/LREE-forhold, ikke nødvendigvis kan realiseres pga. afsætningsproblemer af fx lanthan og cerium.

### 4.4.2 Basket-price

Ved prissætning af mineralkoncentrater og vurdering af mineprojekter anvendes en gennemsnitspris, som er baseret på priser for de enkelte sjældne jordartsmetaller og forholdet mellem de individuelle sjældne jordartsmetaller de forekommer i; prisen omtales ofte som 'basket-price'. Basket-price angiver den potentielle produktpris, hvis der tænkes fremstillet 1 kg sjældne jordartsmetaller (TREO) fra malmen uden fratrækning af materialetab under brydning og processering. Anvendelse af basket-price har den indbyggede u hensigtsmæssighed, at malmens lødighed ikke indgår; derfor kan en malm med en lav lødighed opnå en højere basket-price end en malm med høj lødighed. Eksempelvis vil visse granitiske bjergarter med kun få ppm REE (dvs. lav malmværdi) kunne opnå høj basket-price, hvis HREE/LREE-forholdet er højt. Derfor kan basket-price isoleret set ikke anvendes som parameter for et efterforskningsprojekts økonomi.

Med udgangspunkt i priserne i Tabel 4-2 og offentlige data om mineralernes relative indhold af sjældne jordartsmetaller, er basket-price for udvalgte miner og projekter beregnet (Figur 4-14). Basket-price er beregnet både som en totalværdi, hvori alle grundstoffer indgår, og som en basket-price for magnetmetallerne neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium. Basket-prisen varierer mellem 7 og 30 USD/kg med de højeste priser for projekter med xenotim som hovedmineral (Ptinga i Brasilien og Lehat i Malaysia) og IA-forekomster (Longnan og Guangdong i Kina). Forekomster med eudialyt (Norra Kärr i Sverige og Kringlerne i Grønland) har begge relativt høje basket-price, mens Kvanefjeld/Kuannersuit (Grønland), som domineres af mineralet steenstrupin, har en lidt lavere basket-price. De laveste basket-prices ses for forekomster som domineres af monazit (Mt. Weld i Australien) og bastnäsit (Mountain Pass i USA og Bayan Obo i Kina), hvilket skyldes deres relativt høje indhold af lanthan og cerium.





**Figur 4-14** Basket-price for udvalgte miner og projekter er beregnet med udgangspunkt i priserne i Tabel 4-2 og offentlige data om mineralernes relative indhold af sjældne jordartsmetaller. Blå søjler angiver total basket-price, mens grå søjler angiver basket-price beregnet for de fire magnetmetaller Nd, Pr, Dy og Tb.

## 4.5 Priserne påvirker mineralefterforskningsaktiviteterne

Den vestlige verdens reaktion på de store prisstigninger i 2010-2011 var opstart af mange nye mineralefterforskningsaktiviteter efter sjældne jordartsmetaller i lande uden for Kina. I perioden 2010-2015 blev der igangsat flere hundrede REE-efterforskningsprojekter, idet mange investorer uden kendskab til branchen opfattede begrebet sjældne jordartsmetaller meget bogstaveligt og prisstigningerne som udtryk for mangel på primære råstofforsyninger. Mange af investorerne var ikke bevidste om, at priserne ikke kun afspejlede globale forhold i udbud og efterspørgsel, men i særlig grad at Kina, via sit de facto monopol indenfor forarbejdning og forbrug, kunne påvirke både udbud og priser og dermed vanskeliggjorde etablering af ikke-kinesisk konkurrence (Barakos *et al.* 2018). I takt med den øgede erkendelse af disse forhold ophørte et stort antal af projekterne i de følgende år. Lave priser har imidlertid også medført, at kinesiske producenter af sjældne jordartsmetaller er udfordret økonomisk.

De tilbageværende efterforskningsprojekter er især de projekter, der har en gunstig sammensætning i forhold til markederne for NdFeB-magneter (Nd, Pr, Dy, Tb). Derfor er der mindre interesse for projekter med karbonatforekomster, som domineres af lanthan og cerium, hvor priserne er lave.

I alle faser af efterforskning er prisforventninger efterforskningsselskabernes vigtigste beslutningsparameter. Projekter med fokus på sjældne jordartsmetaller er polymetalliske forekomster (se afsnit 4.4), og de økonomiske vurderinger og beslutninger er dermed påvirket af prisudviklingen for de enkelte sjældne jordartsmetaller, som den specifikke malm består af.

Efterforskningsprojekternes følsomhed over for de senere års prisvariationer er vist i Tabel 4-4. Tabellen sammenligner prisforventninger til 2018 med de faktiske priser i hhv. december 2019 og august 2021 udregnet som værdien af 100 kg sjældne jordartsmetaller (TREO). Det ses, at

priserne i 2019 var betydeligt under de forventede 2018-priser, og at basket-price kun udgjorde 57 % af den forventede basket-price. Sammenlignes derimod med priserne for august 2021, er den samlede værdi ca. 19 % højere end de forventede 2018-priser. De tre mest betydende grundstoffer af de sjældne jordartsmetaller i perioden var praseodymium, neodymium og dysprosium. Lanthan og cerium udgjorde ca. 60 % (i dette eksempel) af volumenet, mens værdien udgjorde knap 1 %. I forhold til prisen kan efterforskningssekskaberne kun opnå langsigtede prisgarantier, hvis der kan indgås langtidsaftaler om salg af deres produkter. I erkendelse af den meget begrænsede vestlige forarbejdningskapacitet kan sådanne aftaler reelt kun indgås med kinesiske virksomheder tilknyttet 'The Big Six' (se afsnit 12.1), og som følge af kinesisk lovgivning, told og afgiftspolitik vil dette næsten udelukkende ske som salg af mineralkoncentrater, som skal forarbejdes i Kina.

Den pris, et mineselskab kan opnå for sine produkter af sjældne jordartsmetaller, er lavere end børspriserne på de færdige produkter. Forskellen mellem de to priser vil afhænge af forarbejdningsgraden af råstoffet. For eksempel vil mineralkoncentrater have en lavere pris end blandingsprodukter, hvor de sjældne jordartsmetaller er ekstraheret fra mineralet, og tilsvarende vil prisen stige med forarbejdningsgraden af produktet (renhedsgraden udtrykt i antallet af N'er, se afsnit 3.1). Da der som nævnt er en stor overskudsproduktion af bl.a. lanthan og cerium, vil disse ikke nødvendigvis blive afregnet.

Der er stor usikkerhed om de fremtidige priser, og selskaberne offentliggør almindeligvis ikke deres forventninger. Et enkelt selskab, Leading Edge Materials Ltd., ejer af Norra Kärr-projektet i Sverige, oplyste i september 2021, at de forventer en basket-price på 53 USD/kg set over minens levetid på 26 år og kalkulerer med en produktionspris på 33 USD/kg, inklusive omkostninger til separation hos underleverandører (Leading Edge Materials Ltd. 2021). Hvis man sammenligner basket-price fra Norra Kärr-projektet med eksemplet i Tabel 4-4, indikerer tallene fra Norra Kärr, at det vil være vanskeligt at opnå økonomisk attraktive forretningsmodeller; dette særligt set i lyset af, at mineralkoncentrater og MREC-produkter (Mixed Rare Earth Compound) sælges betydeligt under listepriiserne. Dog skal man være opmærksom på, at i mange nye sjældne jordartsmetalprojekter, herunder Norra Kärr, vil der være bidrag fra biprodukter, som fx niobium, tantal og zirkon, der ikke indregnet i basket-price, men kan indgå i malmværdien.

De store prisvariationer, store mængder af lavprisprodukter som MREC og usikkerhed om teknologiske ændringer i markederne betyder, at mange af de eksisterende efterforskningsprojekter har vanskeligt ved at finde finansiering til deres projekter, hvilket forsinker beslutningsprocesserne for igangsætning af nye mineprojekter med sjældne jordartsmetaller. De generelt lave priser for MREC-produkter, som er det produkt de fleste nye miner vil producere, er dog antageligt den væsentligste udfordring. I november 2021 er den kinesiske markedspris for MREC-produkter med indhold på mindst 44 % TREO omkring 10 USD/kg, inkl. 13 % VAT og 5 % importtold, svarende til ca. 8 USD/kg CIF Kina (The Rare Earth Observer 2021e).

**Tabel 4-4** Basket-price for 100 kg TREO i 2018-, 2019- og 2021-priser. Prisvariationernes betydning for nye projekters rentabilitet er beregnet i forhold til en samlet produktion på 100 kg TREO. Der er taget udgangspunkt i en typisk sammensætning for flere af de igangværende efterforskningsprojekter. Priser markeret med blå angiver magnetmetallerne.

	Volumen	Pris 2018*	Værdi 2018-priser*	Pris dec. 2019	Prisforskel 2014-2018	Værdi 2019-priser	Prisforskel 2014-2021	Pris aug. 2021	Værdi 2021-priser
	REO kg	USD/kg	USD	USD/kg	%	USD	%	USD/kg	USD
La	26	4	1006	2	-58	44	-65	1	37
Ce	44	4	176	2	-59	7	-66	1	60
Pr	4	95	409	48	-50	205	5	100	429
Nd	13	58	766	41	-30	538	66	96	1.269
Sm	1	4	6	2	-56	2	-42	2	3
Eu	0	741	74	31	-96	3	-96	30	3
Gd	1	29	29	23	-22	23	41	41	41
Tb	0	652	65	489	-25	49	103	1.323	132
Dy	1	318	318	233	-27	233	32	419	419
Ho	0	40	8				277	151	30
Er	1	58	29				-46	31	16
Tm		10							
Yb	0	10	3						
Lu		500							
Y	7	13	95	3	-78	21	60	5	38
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>2.083</b>			<b>1.190</b>			<b>2.477</b>
<b>Pr+Nd+Tb+Dy</b>			1.55			1.025			2.250

\* gennemsnitspriser pr. september 2021

## 5. Forsyningskæderne (øvre til midt)

I modsætning til nogle mineralske råstoffer, som fx guld, er værdikæderne for de sjældne jordartsmetaller lange og komplicerede. Værdikæderne for sjældne jordartsmetaller omfatter typisk følgende procestrin: (1) minedrift og fremstilling af mineralkoncentrater, (2) ekstraktion af de 16 sjældne jordartsmetaller fra mineralerne, (3) separation af de enkelte sjældne jordartsmetaller, (4) raffinering, (5) legering, (6) produkt/komponentfremstilling og efter en årrække også trin (7) genanvendelse. Trin 1 udføres almindeligvis af mineselskabet; de følgende trin udføres af virksomheder specialiseret i netop dette procestrin og foregår oftest langt fra selve minen. Kina er dominerende på alle dele af forsyningskæderne, men med faldende andel af trin 1.

### 5.1 Brydning og forarbejdning af sjældne jordartsmetalminerale

Som omtalt i kapitel 9 forekommer de sjældne jordartsmetaller som mineraler i faste bjergarter, som mineraler i løse aflejringer og som ioner i ler. Der er derfor tre principielt forskellige måder, hvorpå de kan brydes eller indvindes: (i) brydning og forarbejdning af REE-malm fra faste bjergarter, (ii) opgravning eller opsugning af tungsandsforekomster og (iii) produktion fra lerholdige ionadsorptionsforekomster; disse metoder gennemgås nedenfor.

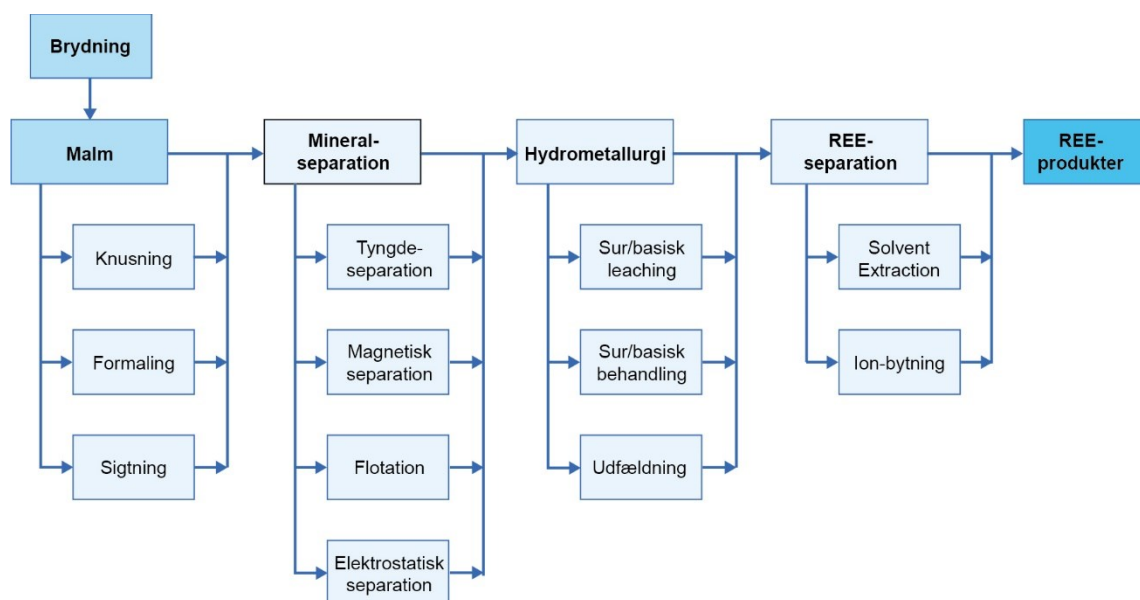
#### 5.1.1 Brydning og forarbejdning af REE-malm fra faste bjergarter

Et generisk procesdiagram for typiske arbejdsstrin, som indgår i brydning og forarbejdning af malm med sjældne jordartsmetaller fra faste bjergarter, er vist i Figur 5-1. Forekomster med sjældne jordartsmetaller i faste bjergarter kan, ligesom for alle andre typer metaller, både ligge dybt under jordens overflade eller tæt på overfladen. Forekomster som ligger overfladenært (~100 m under overfladen) kan i visse tilfælde brydes som åbne miner ('open pit'), mens det almindeligvis vil være nødvendigt at etablere en underjordisk mine, hvis forekomsterne ligger dybere. Da åbne miner almindeligvis er billigst at etablere og drive og samtidig er teknisk mindre udfordrende, tilstræbes det altid at anvende denne metode. Nogle af de største sjældne jordartsmetalminer, fx Bayan Obo i Kina, Mt. Weld i Australien og Mountain Pass i USA, er åbne miner. Hvor der er tale om en dybtliggende, højlydig forekomst etableres en underjordisk mine, som fx Lovozero-minen i Rusland.

Principperne for brydning og behandling af malmen er de samme for underjordiske og åbne miner og omfatter typisk følgende arbejdsstrin: (i) boring af sprænghuller hvori sprængmidlerne monteres; (ii) udsprængning af malmen til typisk 0,1-0,5 m store stykker; (iii) udlastning af malmen og transport til det første knuseværk; (iv) knusning og formaling af malmen, hvor bjergartens mineraler formales til en størrelse, hvor malmmineralerne er frigjorte som selvstændige korn og uden rester af andre mineraler (typisk 0,1-0,5 mm, men varierer fra forekomst til forekomst); og (v) sortering og separation af malmmineralerne fra bjergarternes øvrige mineraler. Det typiske produkt, som transporteres fra minerne til videre behandling, er et mineralkoncentrat bestående af det eller de mineraler, der indeholder de sjældne jordartsmetaller. Disse produkter udgør almindeligvis mindre end 10 % af den mængde malm, der er brudt og indeholder ca. 20-60 % TREO; restmaterialet kaldes tailings og deponeres i eller ved minen.

Bayan Obo-minen i Kina er en kombineret Fe-REE-Nb-mine, hvor de sjældne jordartsmetaller oprindeligt kun var et biprodukt til jernmalmen, men med stigende priser for de sjældne jordartsmetaller er det blevet hovedproduktet i minen, og Bayan Obo-minen er nu verdens største REE-mine. De dominerende jernminerale er magnetit og hæmatit, og de dominerende sjældne jordartsmetalminerale er bastnäsit og monazit i et forhold på ca. 3:2 (Li & Yang 2014); herudover er der en række niobiumminerale med columbit som det vigtigste. Procesdiagrammet for Bayan Obo-minen er vist i Figur 5-2. Når malmen er knust og formalet, adskilles REE-mineralerne fra de øvrige mineraler ved brug af magnetiske teknikker. Efterfølgende behandles REE-mineralkoncentraterne i et flotationsanlæg, hvor mineralers forskellige evne til at flyde på væskeoverflader (pga. overfladespændingen) anvendes til at adskille mineralgrupperne fra hinanden, hvorved de sidste rester af andre mineraler bliver sorteret fra. Mineralkoncentraterne, der kan indeholde op til 60 % TREO, sendes derefter til kemisk behandling, hvor mineralerne opløses og de sjældne jordartsmetaller ekstraheres.

I nogle miner kan sortering af de forskellige mineraler foretages på grundlag af mineralernes vægtfylde. De mest benyttede metoder hertil er 'rystebord', 'cycloner' og 'jigs'.

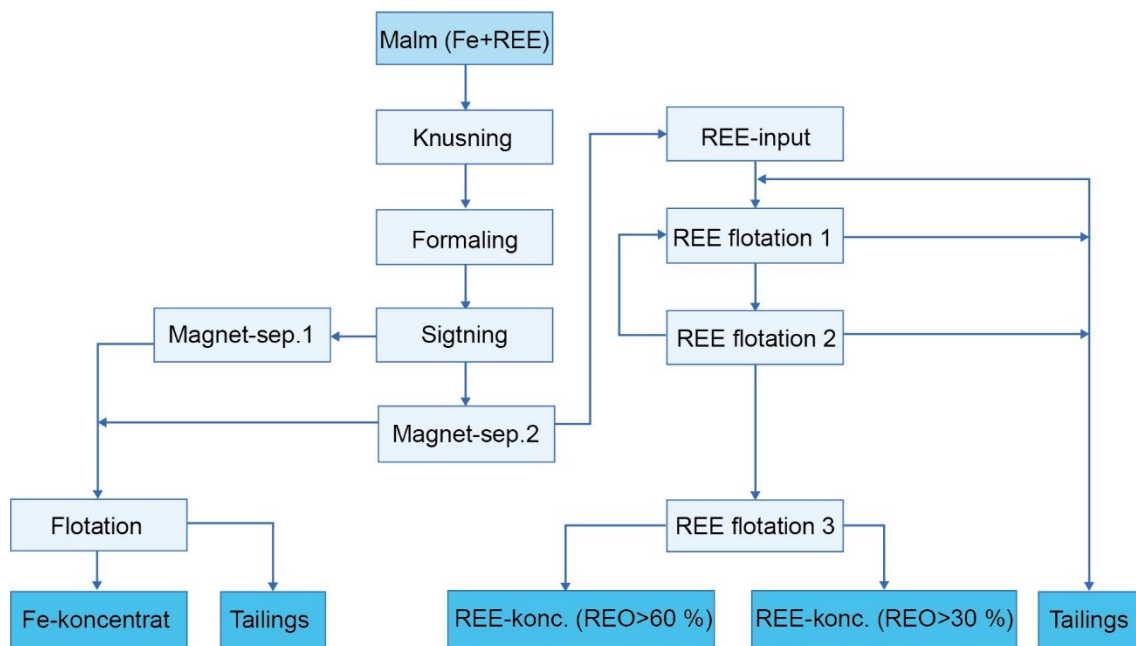


**Figur 5-1** Generisk procesdiagram for behandling af faste bjergarter indeholdende sjældne jordartsmetalforekomster.

### 5.1.2 Opgravning eller opsugning/oppumpning (dredging) af tungsandsforekomster

Tungsandsforekomster, som består af løse sedimenter med værdifulde mineraler, indvindes ved opgravning eller opsugning/oppumpning (dredging). Tungsandsforekomster kan opdeles i to grupper: (i) de aktive forekomster, der ligger under vand ved strande, floder eller søer, og som stadig udbygges; og (ii) de fossile forekomster (palæoforekomster), der nu ligger på land. For den første gruppe anvendes typisk sandsugningsteknik, hvor forekomsten pumpes op gennem et rør monteret på skibe eller flåder, der typisk opererer på vanddybder mindre end 100 m. For den anden gruppe graves forekomsten typisk op med forskellige typer gravemaskiner, afhængig af produktionens størrelse. De typiske REE-mineraler i tungsandsforekomster er monazit og xenotim, som begge er relativt tunge og modstandsdygtige overfor fysisk og kemisk nedbrydning, og

derfor har overlevet både forvittringsprocesser og efterfølgende sedimenttransport. De aflejres sammen med andre tunge mineraler som fx titanmineralerne ilmenit, rutil og leucoxen samt mineralet zirkon. I tungsandsforekomster vil indholdet af mineraler med sjældne jordartsmetaller almindeligvis være betydeligt mindre end de andre kommercielle tungsandsmineraler og vil kun være biprodukter i disse produktioner. Efter opgravning/oppumpning separeres de tunge mineraler fra de ikke-økonomiske, lettere mineraler; den ikke-økonomiske fraktion deponeres i nærheden som tailings. De forskellige mineraler i den tilbageværende tunge fraktion separeres ved brug af teknikker baseret på mineralernes forskellige densitet og magnetiske og elektrostatiske egenskaber. Hvis materialet er meget finkornet (<100 µm) vil flotation kunne komme i betragtning. De fremkomne mineralkoncentrater er kommercielle produkter, som kan afsættes til virksomheder, der er specialiseret i at opløse mineralerne og ekstrahere de sjældne jordartsmetaller fra mineralerne.



**Figur 5-2** Procesdiagram for fremstilling af mineralkoncentrat af malm fra Bayan Obo-minen. Kilde: Li & Yang (2014).

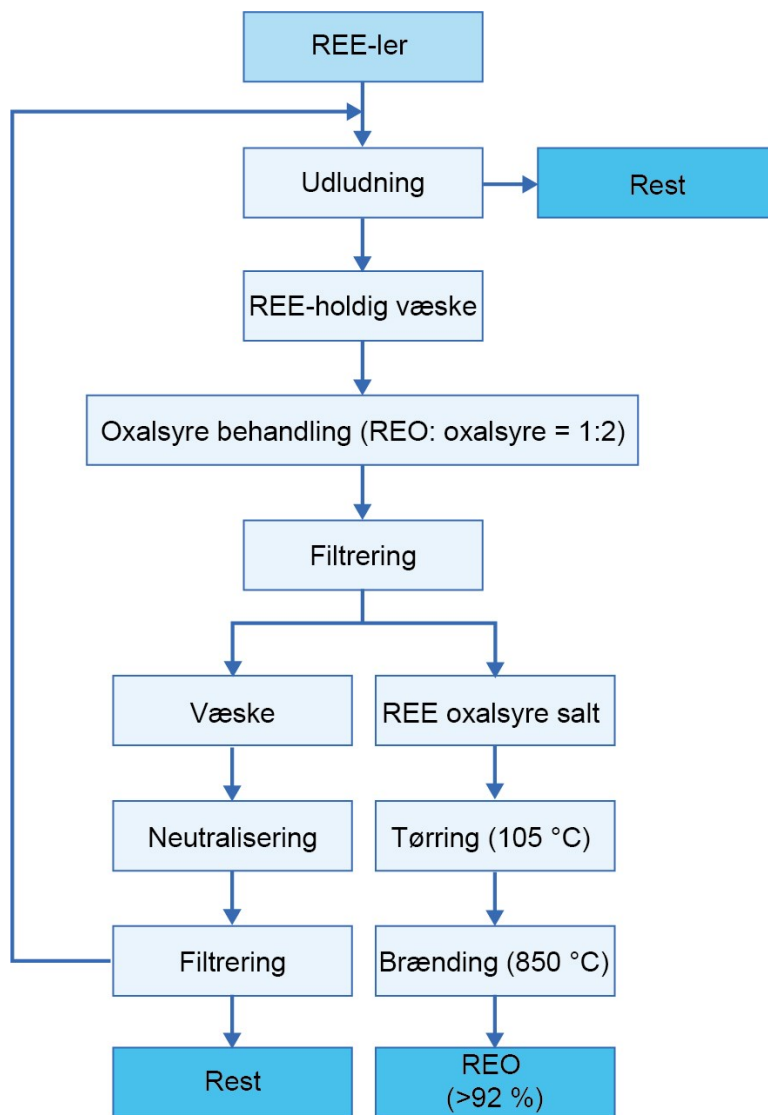
### 5.1.3 Produktion af REE fra lerholdige IA-forekomster

Sjældne jordartsmetaller kan under visse forhold binde sig til overfladen på lermineraler. Denne type forekomster kaldes ionadsorptionslerforekomster (IA-forekomster) og dannes, hvor de sjældne jordartsmetaller, knyttet til mineraler i granitiske bjergarter, opløses under forvittringsprocesser af gennemsvivende grundvand. De opløste REE-ioner kan under særlige pH- og Eh-forhold udfældes og adsorberes til lermineralernes overflade (fx kaolin, halloysit og illit). IA-forekomster er derfor typisk overfladenære, ikke-konsoliderede, finkornede, har lave REE-løsligheder og er tonnagemæssigt små. Den lave løslighed bevirker, at der ofte skal processeres 2-3.000 ton materiale for at fremstille 1 ton REO. IA-forekomsterne er dog ofte karakteriserede ved at have et meget højt HREE/LREE-forhold og er derfor kommercielt attraktive og har hidtil været den væsentligste forekomsttype i det østlige og sydlige Kina.

I IA-forekomster er de sjældne jordartsmetaller kemisk bundet til overflader af lerpartikler. Derfor brydes de ikke ved minedrift, men indvindes ved en kemisk proces. Ved den kemiske proces

brydes lermineralernes binding til lerpartiklerne ved brug af oxalsyre eller ammoniumbikarbonat ((NH<sub>4</sub>)HCO<sub>3</sub>), og REE-ionerne ionbytter med kationerne i væske, hvorefter den ionbyttede væske med de sjældne jordartsmetaller opsamles og behandles, så de sjældne jordartsmetaller udfældes (Li & Yang 2014). Der anvendes to forskellige metoder ved IA-forekomster: (i) ved *in-situ*-metoden føres ionbyttervæsken ned i lerforekomsten gennem borehuller (Figur 5-3), dvs. her forbliver forekomsten i jorden; (ii) i andre produktioner graves det REE-holdige lermateriale op, og ionbyttervæsken tilføres i store bassiner. Begge metoder kan give højt indhold af de sjældne jordartsmetaller i de færdige koncentrat ( $>REO = 92\%$ ) (Li & Yang 2014).

*In-situ*-metoderne volder ofte stor skade på miljøet, fordi det er vanskeligt at sikre, at al ionbyttervæsken opsamles. De kinesiske myndigheder er derfor officielt ved at lukke denne type operationer (se kapitel 7).



**Figur 5-3** Procesdiagram for ekstraktion af sjældne jordartsmetaller fra ionadsorptionsforekomster. Kilde: Li & Yang (2014).

## 5.2 Forarbejdning af REE-mineralerne – de kemiske processer

Mineralkoncentraterne med de sjældne jordartsmetaller skal gennemgå en række fysiske og kemiske behandlinger for at indholdet af sjældne jordartsmetaller kan frigøres og adskilles fra mineralernes andre grundstoffer. Da forskellige REE-mineraler har specifikke egenskaber, som er knyttet til mineralets krystalstruktur og kemiske sammensætning, er det nødvendigt at udvikle og optimere metoder, som er specifikt designede til hver enkelt forekomsts mineralsammensætning, lødighed, produktionskapacitet, miljøforhold og økonomi. Ofte er følgende hovedtrin involveret: (i) opløsning af mineralerne ved behandling med syre eller base (eventuelt suppleret med ristning (400-500 °C)), (ii) skylning, (iii) filtrering, (iv) tørring og (v) eventuel efterfølgende kemisk oprensning til fremstilling af et blandingskoncentrat af sjældne jordartsmetaller. Blandingsproduktet omtales ofte Mixed-Rare-Earth-Oxide (MREO) eller Mixed-Rare-Earth-Compound (MREC) og skal efterfølgende gennemgå yderligere kemisk forarbejdning for at de enkelte sjældne jordartsmetaller kan separeres. I blandingskoncentratet er forholdet mellem de sjældne jordartsmetaller stort set det samme, som der var i de oprindelige mineraler, som blev behandlet.

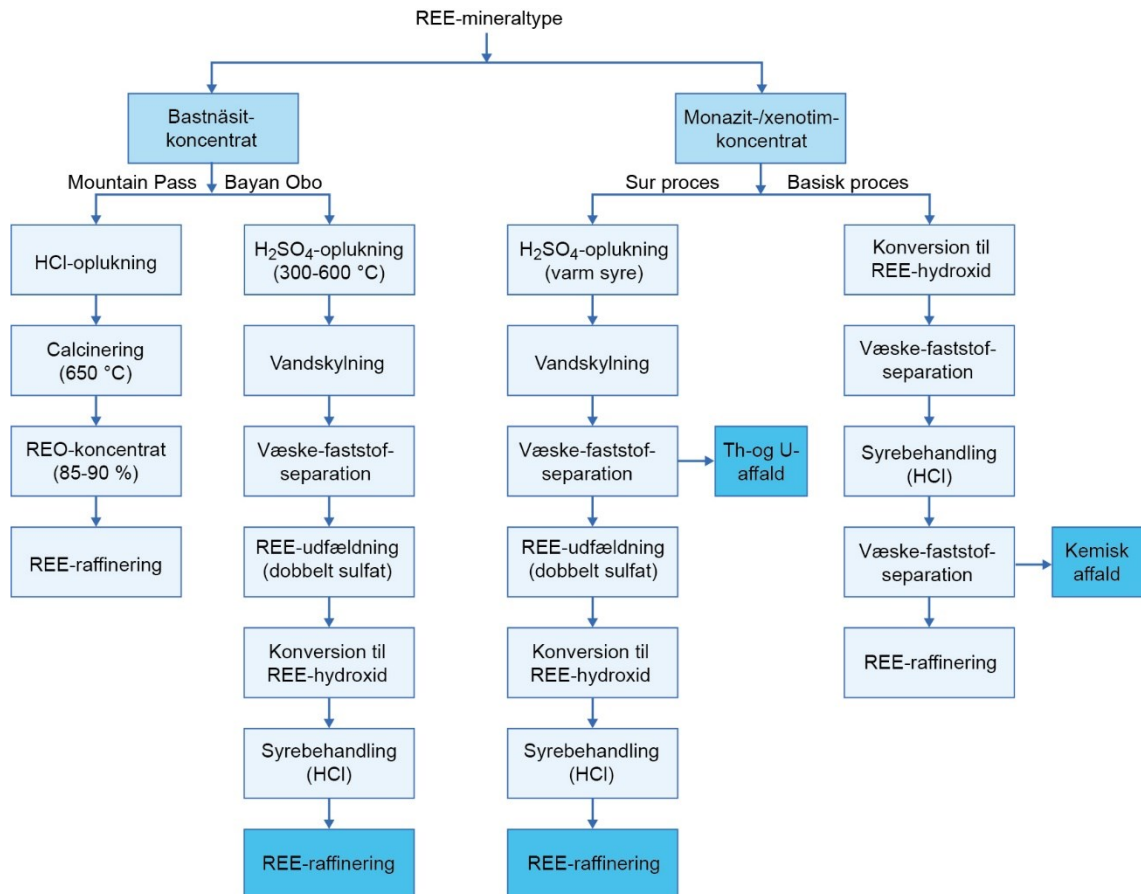
Ved Bayan Obo-minen i Kina består mineralkoncentratet af bastnäsit og monazit. Her behandles bastnäsit med koncentreret svovlsyre ( $H_2SO_4$ ) ved 300-600 °C, hvorved de sjældne jordartsmetaller i bastnäsitmineralerne bringes på delvist opløst form, og de sjældne jordartsmetaller udfældes som sulfater. Efter nogle rensetrin med saltsyre, der fjerner uønskede grundstoffer, udfældes de sjældne jordartsmetaller som et karbonatprodukt indeholdende de 16 sjældne jordartsmetaller, som findes i mineralet (British Geological Survey 2011). Ved Mountain Pass i USA, som ligeledes domineres af bastnäsit, blev der anvendt en proces, hvor mineralet først blev opløst med saltsyre (HCl) for at fjerne strontium og kalcium, hvorefter en kalcineringsproces fjernede  $CO_2$  fra MREC-koncentratet. Mindre kemiske forskelle mellem bastnäsitmineralerne fra de to forekomster er antagelig årsagen til, at der anvendes forskellige processer på materialet fra de to miner. Processerne for hhv. bastnäsit og monazit er vist i Figur 5-4.

Opløsning af monazit og xenotim, som ofte forekommer i tungsandsforekomster, behandles typisk med en basisk metode, ofte omtalt som den kaustiske metode. Ved denne metode opløses mineralerne i en koncentreret opløsning af natriumhydroxid (NaOH) ved ca. 150 °C, hvorved de sjældne jordartsmetaller, thorium og uran omdannes til hydroxider, og fosfaterne fjernes som natriumfosfat ( $Na_3PO_4$ ). Til slut adskilles de sjældne jordartsmetaller fra thorium og uran ved brug af partiel opløsning, hvor de sjældne jordartsmetaller ved tilsætning af koncentreret saltsyre (HCl) bringes på opløst form; typiske behandlingsprocedurer for uran og thorium er beskrevet i kapitel 7.

### 5.2.1 Separation – indbyrdes adskillelse af sjældne jordartsmetaller

Den gruppe af mineraler, som indeholder sjældne jordartsmetalminerale, indeholder altid alle 16 sjældne jordartsmetaller; men forholdet imellem dem er mineralspecifikt. Når sjældne jordartsmetalminerale opløses, indeholder opløsningen derfor en blanding af alle 16 sjældne jordartsmetaller, som skal adskilles, før de kan anvendes industrielt. På grund af de indbyrdes kemiske og fysiske ligheder mellem de sjældne jordartsmetaller er separationsprocessen vanskelig og endda med stigende vanskelighed fra sjældne jordartsmetaller med lave til høje atomnumre. Til nogle anvendelsesformål har det stor funktionel betydning, at de individuelle sjældne jordartsmetaller er separeret til meget rene produkter uden rester af andre sjældne jordartsmetaller (se afsnit 3.1).



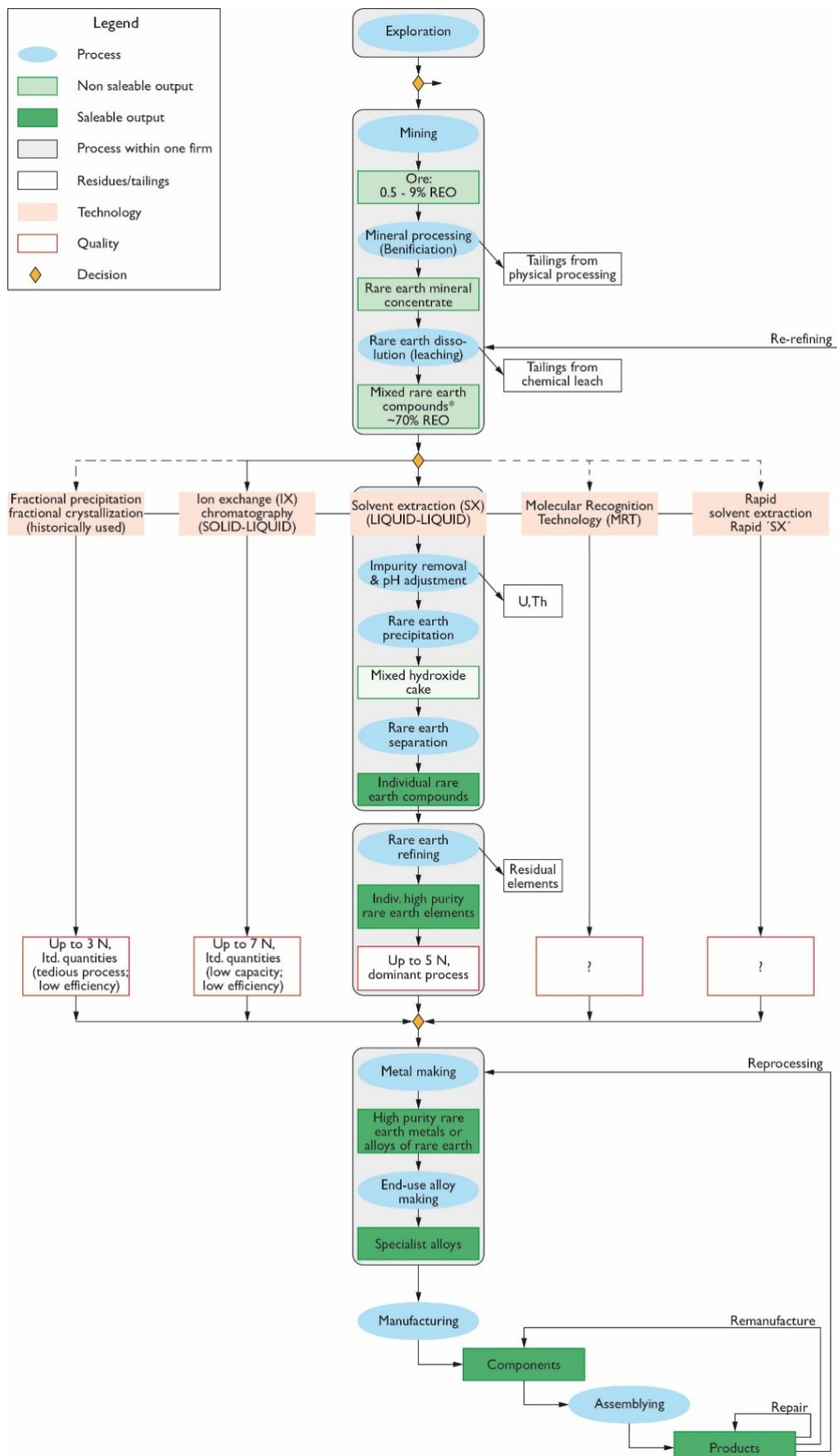


**Figur 5-4** Eksempler på typiske processer ved fremstilling af sjældne jordartsmetalkoncentrater fra Mountain Pass-minen og Bayan Obo-minen. Kilde: British Geological Survey (2011).

Separation af sjældne jordartsmetaller er en specialiseret branche, som er domineret af kinesiske virksomheder. Herudover er der virksomheder i bl.a. Frankrig, Japan, Indonesien, England og Estland, som er specialister i separation af sjældne jordartsmetaller i industriel skala (se afsnit 13.1).

Der er gennem tiden udviklet forskellige metoder til separation af sjældne jordartsmetaller, som udnytter at de individuelle sjældne jordartsmetaller kan bringes til at have forskellige oxidationstrin og dermed forskellige opløseligheder (Jordens *et al.* 2013). Metoderne er typisk baseret på enten et eller en kombination af følgende principper: udkrystallisering, udfældning, væske-væske-ekstraktion (eng: solvent extraction, SX) og ionbytning (IX). Kommercielt er det især væske-væske-ekstraktions- og ionbytningsmetoderne, som dominerer ved separation af sjældne jordartsmetaller. Begge metoder har imidlertid en række tekniske, økonomiske og ikke mindst miljømæssige udfordringer, hvorfor der foregår meget udviklingsarbejde for at finde brugbare alternative metoder. Nogle af metoderne er kort beskrevet nedenstående samt i Figur 5-5.

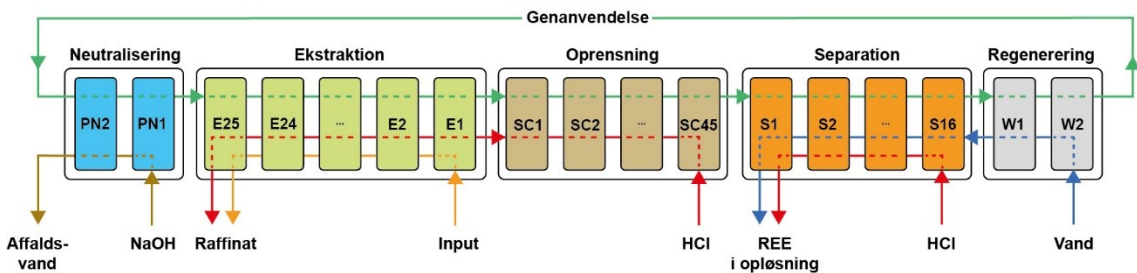
De konventionelle metoder – SX og IX – foretages som sekventielle procestrin og kræver 30-100 sekvenser for at separere de enkelte sjældne jordartsmetaller til koncentrater med renhed fra 2N og opefter (Leveque 2014).



**Figur 5-5** Generisk værdikæde for sjældne jordartsmetaller. Kilde: Machacek & Kalvig (2017) baseret på Gupta and Krishnamurty (2005).

### Solvent Extraction (SX) (Liquid-Liquid Extraction (LLE))

Solvent extraction (SX), også benævnt Liquid-Liquid Extraction (LLE), er baseret på, at der er små forskelle i opløsningssevnen mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller i to ikke-blandbare væsker. Væsken med de opløste sjældne jordartsmetaller (Pregnant Liquid Solution (PLS)) tilføres en ikke-blandbar væske, ofte en organisk opløsning, som er kompleksdanner for de sjældne jordartsmetaller. Efterfølgende ekstraheres REE-ionerne fra den organiske fase ved at tilføje en væske, i hvilken REE-ionerne er mere opløselige (fx vand), hvorved indholdet af sjældne jordartsmetaller i den organiske fase (PLS) er blevet reduceret. Dette procestrin – 'stripping' – gentages til den ønskede renhed er opnået. Derefter udfældes de sjældne jordartsmetaller almindeligvis som karbonater, oxalater eller oxider. Som hovedregel virker processen bedre for de lette sjældne jordartsmetaller end for de tunge. Princippet i metoden er illustreret i Figur 5-6.



**Figur 5-6** Principskitse for konventionel SX-separationsproces til separation af La-Ce-Pr-Nd fra La-Ce/Pr-Nd. Metoden kræver mere end 90 sekvenser. Baseret på *Innovation Metals* (2017).

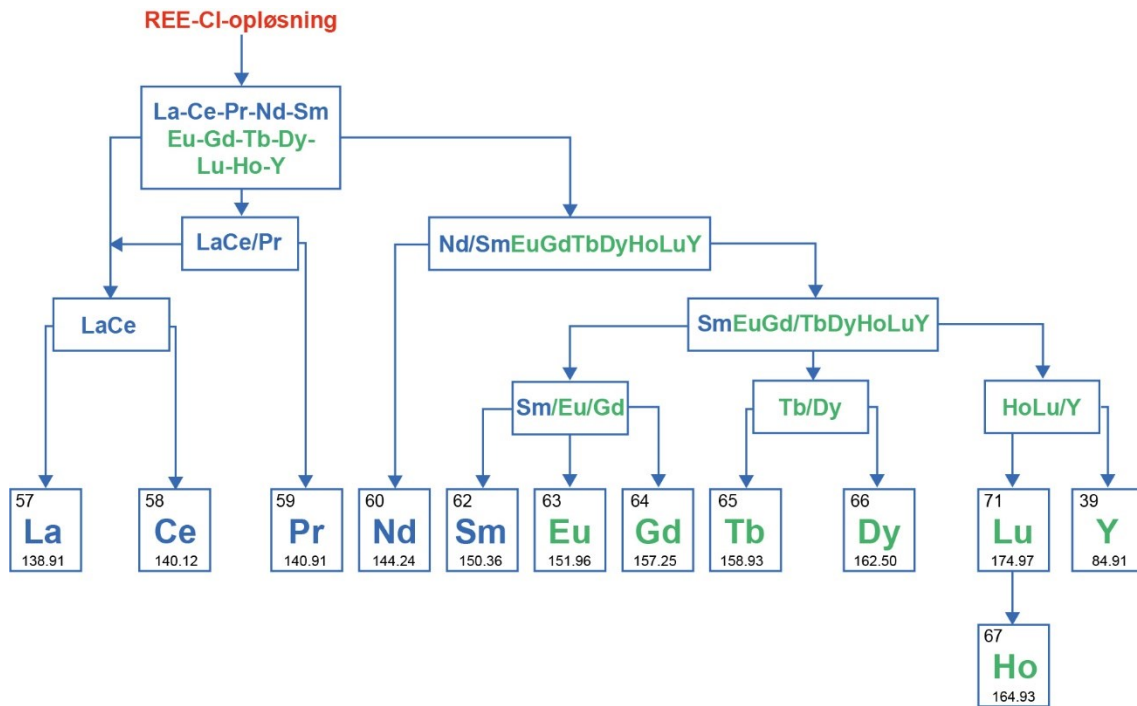
SX-separationsmetoden er langsom (nogle trin kan tage uger), ineffektiv og forudsætter, at processen gentages mange gange. Figur 5-7 illustrerer nogle af de typiske sekvenser, som bruges ved SX-separationsprocessen. De færdige sjældne jordartsmetalkoncentrater kan, når der er opnået tilstrækkelig renhed, udfældes som REE-salte eller -oxider, og er som sådan kommercielle produkter. SX-metoden er den almindeligst anvendte i REE-industrien, hvor hundredvis af mixer-settler-enheder<sup>1</sup> er forbundet i et modstrømssystem. Anlæg af SX-faciliteter kræver meget store investeringer, og kun de færreste miner med sjældne jordartsmetaller vil etablere sådanne anlæg i tilknytning til minen.

### Ionbyttermetode (Ion Exchange (IX))

Ionbyttermetoden anvendes til at fremstille meget rene REE-produkter (>4N). Metoden benytter de små varierende systematiske, kvantitative kemiske forskelle fra lanthan til lutetium. Eksempelvis gælder det, at der er omvendt korrelation mellem ionradius for opløste REE-ioner, og hvor stærkt ionen bindes til anioner i resiner<sup>2</sup>. Dette bevirker, at de tungeste sjældne jordartsmetaller bindes svagest og passerer igennem en ionbytterkolonne og forbliver som REE-kationer i opløsningen, hvorimod de letteste sjældne jordartsmetaller byttes ind i ionbyttermediet. Ved at gentage denne proces mange gange kan de individuelle sjældne jordartsmetaller separeres. De små forskelle i ionbytningssegenskaberne mellem de enkelte sjældne jordartsmetaller kan forstærkes ved brug af kompleksdannere med specifik affinitet i forhold til de enkelte sjældne jordartsmetaller. Metoden er karakteriseret ved, at der kan produceres meget rene produkter, men kapaciteten er lille og metoden tidskrævende. Ionbyttermetoden anvendes derfor normalt kun til fremstilling af meget rene produkter og ikke til separation af store mængder.

<sup>1</sup> Mixer-settler: blandebatterier; blandebatterier er en klasse mineralprocesudstyr, der anvendes i opløsningsmiddel ekstraktionsindustrien

<sup>2</sup> Resiner er typisk syntetiske, organiske polymerer, som bruges i den kemiske industri; og her til at udfælde anionerne på. Epoxy er et eksempel på en resin



**Figur 5-7** Principper for sekventiel separation af sjældne jordartsmetaller ved brug af SX-separationsproces. Kilde: Machacek & Kalvig (2017).

#### Molecular Recognition Technology (MRT)

Molecular Recognition Technology-metoden er udviklet omkring år 2000 af kommercielle virksomheder i USA, og der foreligger kun meget lidt detaljeret information om metodens principper og funktionsmåde. Angiveligt er metoden baseret på selektiv transport af meta-ioner som funktion af, at de er bundet til metalselektive ligander i en silica gel, som benævnes SuperLig<sup>®</sup>. Ligander, kation og systemparametre kan tilpasses alle sjældne jordartsmetaller (Izatt *et al.* 2016). Metoden er testet af Ucore Rare Metals og IBC Advanced Technologies Inc. på REE-opløsninger fra malmen fra Bokan-Dotson Ridge-forekomsten i Alaska, USA. Det er oplyst, at separationen for de individuelle sjældne jordartsmetaller var >99 % (Ucore 2015). Metoden fremhæves desuden at være miljøvenlig og billigere end de øvrige metoder (Izatt *et al.* 2016).

#### Ligand-Assisted Displacement (LAD) chromatography

Medallion Resources Ltd. orienterede i februar 2021 offentligheden om indgåelse af en licensaftale med Purdue University, Indiana, USA, om brug af en ny metode til separation af sjældne jordartsmetaller fra mineralet monazit (omtalt som Ligand Assisted Displacement (LAD)-ionbytteteknologi). Metoden angives at være miljøvenlig og skalérbar i forhold til behov. Ifølge Ding *et al.* (2020), giver metoden mulighed for at separere neodmium, praseodymium og dysprosium til en høj renhed (>99 %) og næsten uden procestab (<1 %), både når metoden anvendes på mineraler og på genanvendte magneter. Metoden har en produktionskapacitet på over 100 kg REE/m<sup>3</sup>/dag, hvilket er ca. 100 gange hurtigere end konventionelle metoder. Medallion Resources Ltd. planlægger at anvende metoden til separation af ekstrakter fra monazit ved brug af selskabets 'monazit-proces' (Medallion Resources 2021).

Medallion Resources har på grundlag af en årlig behandling af 7.000 ton monazit beregnet, at der kan produceres 870 ton Nd-Pr-oxid pr. år ved anvendelse af deres ikke nærmere beskrevne monazit-proces. I modelberegningerne indgår et omkostningsniveau svarende til det sydøstlige USA og køb af monazitkoncentrat i USA. Produktionsprisen for 1 kg blandet REO-produkt med

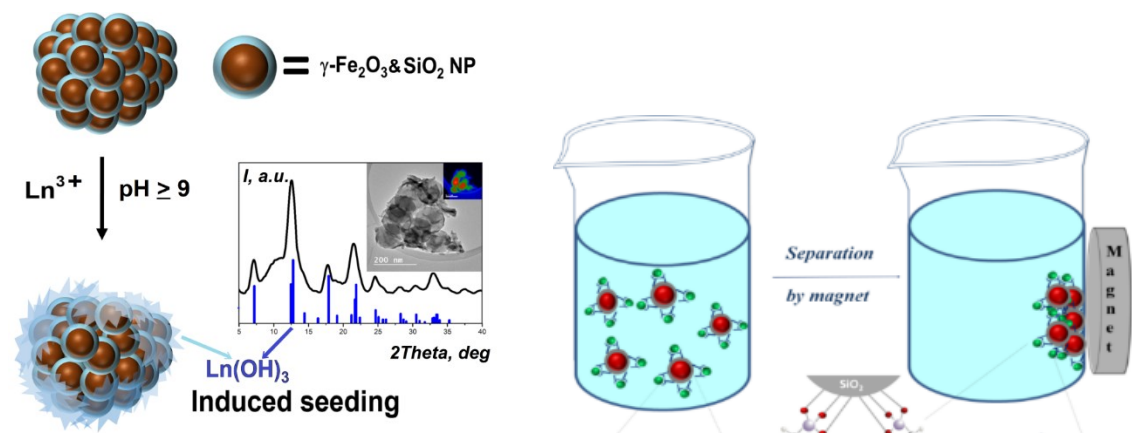
reduceret indhold af cerium er estimeret til 12 USD/kg, mens produktionsprisen for NdPr-oxid (Ce-'depleted') er estimeret til 28 USD/kg; priserne er rene produktionsomkostninger, hvor køb af monazit indgår ikke.

#### *Penn State-metoden*

Penn State University, Pennsylvania, USA, og Lawrence Livermore National Laboratory, Californien, USA, har udviklet en separationsmetode, som baseres på at et bestemt protein isoleres fra bakterier. Metoden angives at være ekstremt effektiv til, isoleret set, at binde de sjældne jordartsmetaller uden at påvirke andre metaller. Ved efterfølgende syrebehandling, og hvis  $\text{pH} > 3$ , kan de sjældne jordartsmetaller frigøres samlet; metoden menes på sigt også at kunne bruges som separation, så de sjældne jordartsmetaller kan adskilles enkeltvis ved trinvis regulering af pH. Metoden tænkes i særdeleshed at have potentiale til behandling af tailings (fx fosforholdig tailings fra gips fra gødningsproduktion) og til behandling af visse typer af skrot med henblik på genanvendelse af de sjældne jordartsmetaller (McCormick 2021).

#### *EURARE-separationsmetoden*

Det EU-finansierede projekt om sjældne jordartsmetaller EURARE udviklede en separationsmetode, som på sigt kan blive et alternativ til MRT-metoden. Denne separationsmetode bygger på, at udvalgte ligander forbindes til magnetiske silica-nanopartikler. Når disse nanopartikler tilsættes væsken med sjældne jordartsmetaller, adsorberes de udvalgte REE-ioner selektivt til partiklerne. Efterfølgende kan de magnetiske nanopartikler, 'ladet' med de udvalgte sjældne jordartsmetaller, magnetsepareres. Princippet i metoden er vist i Figur 5-8. Metoden forventes at kunne reducere både investerings- og driftsomkostninger ved etablering af nye separationsanlæg (Larsson & Binmians 2015).



**Figur 5-8** Principperne i EURARE-separationsmetoden. Kilde: Machacek & Kalvig (2017).

#### *Bio-leaching*

Ved bio-leaching frigøres metaller fra deres malm ved brug af levende mikroorganismer. Metoden anvendes i stigende omfang, da den er billig og produktion fra lavlødige malme derfor kan være rentabel. Der pågår forsøg med at udvikle metoden til brug for ekstraktion af sjældne jordartsmetaller fra sedimenter (IA-forekomster) og fra malm og skrot (Jalali & Lebeau 2021). Bio-leaching-metoden, som har et lavere energi- og  $\text{CO}_2$ -aftryk end de øvrige metoder, har desuden det langsigtede potentiale, at der kan udvikles specifikke metoder til direkte ekstraktion af de sjældne jordartsmetaller, som der er efterspørgsel på, og efterlade resten.

### 5.3 Raffinering og legeringer

De sjældne jordartsmetalprodukter, som er fremkommet efter separationen – ofte REE-salte – skal til mange formål forarbejdes yderligere, for at der kan fremstilles et metal. Der anvendes typisk en metallothermisk reduktionsmetode: Flussyre tilsættes for at omdanne saltene til flydende fluorider og med en efterfølgende behandling med calcium dannes calciumfluorider og metaller af det sjældne jordartsmetal, der specifikt ønskes fremstillet; efterfølgende foretages endnu en varmebehandling af de reducerede metaller. Processen vurderes som teknisk kompliceret og energikrævende og udføres almindeligvis af virksomheder med ekspertise i netop disse procestrin (Royen & Fortkamp 2016).

## 6. Genanvendelse og substitution

### 6.1 Genanvendelse

For alle produkter gælder, at den mest effektive genanvendelsesmetode er genbrug, da det bedst reducerer energi- og råstofforbrug og mindsker miljøaftrykket. Dette gælder også for produkter, der indeholder sjældne jordartsmetaller. Hvis fx magneter kan genbruges med de eksisterende specifikationer og størrelse, vil det reducere både det primære råstofforbrug og energiforbruget. Genbrug er imidlertid sjældent muligt, da teknologi og design løbende udvikles. Det næstbedste, set fra et energi- og ressourcemæssigt synspunkt, er genanvendelse, hvor råstoffet fra udtjente produkter bruges til nye produkter af samme art eller til fremstilling af helt andre produkter.

Men også for genanvendelse er der en række udfordringer, som er årsag til meget lave genanvendelsesrater (<1 % af de sjældne jordartsmetaller genanvendes (Lixandru *et al.* 2017)). Som led i stigende samfundsmæssig ressourcebevidsthed og ønske om at reducere industriens miljø-, ressource- og energiftryk er der gennem det seneste årti derfor igangsat mange projekter med henblik på at finde metoder til at øge genanvendelsen af sjældne jordartsmetaller. Herudover har en række projekter også til formål at forbedre forsyningssikkerheden af sjældne jordartsmetaller til den europæiske industri, som er udfordret af Kinas de facto monopol på værdikæderne.

Enkelte produkter, som eksempelvis de store NdFeB-magneter i vindmøller, er oplagte til genanvendelse, fordi de indeholder store mængder sjældne jordartsmetaller (især neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium), og fordi indsamling af møllernes magneter efter endt levetid kan systematiseres. Fra et globalt ressource-synspunkt er det en fordel, at produkter har lange levetider inden de udfases og skal erstattes af produkter lavet med nye råstoffer. Men det betyder så, at de råstoffer, som produktet består af, ikke kan indgå i genanvendelse i levetidsperioden. For vindmøller er levetiden 20-30 år, og møllernes indhold af sjældne jordartsmetaller kan først genanvendes derefter. Levetiden for permanente magneter i elbiler er omkring det halve. Lange levetider er derfor en udfordring for øget genanvendelse af magneter, hvis man ad denne vej ønsker at reducere forsyningsvanskelighederne for fx de sjældne jordartsmetaller. En anden udfordring er, at teknologien ændres i løbet af produkternes levetid og dermed også produkternes materialesammensætning. Det er derfor ikke sikkert, at de udfasede produkter indeholder de metaller, som vi har mest brug for om 10-20-30 år. Genanvendelse af kasserede magneter fra vindmøller, biler, elektronik m.m. vil derfor ikke direkte matche materialeforbruget til nye produkter. En yderligere udfordring for genanvendelsen er, at råstofforbruget hele tiden vokser, og dermed udgør den del der – principielt – er til rådighed til genanvendelse kun en lille andel af behovet; og reelt er andelen endda mindre på grund af tab knyttet til genanvendelsesprocessen.

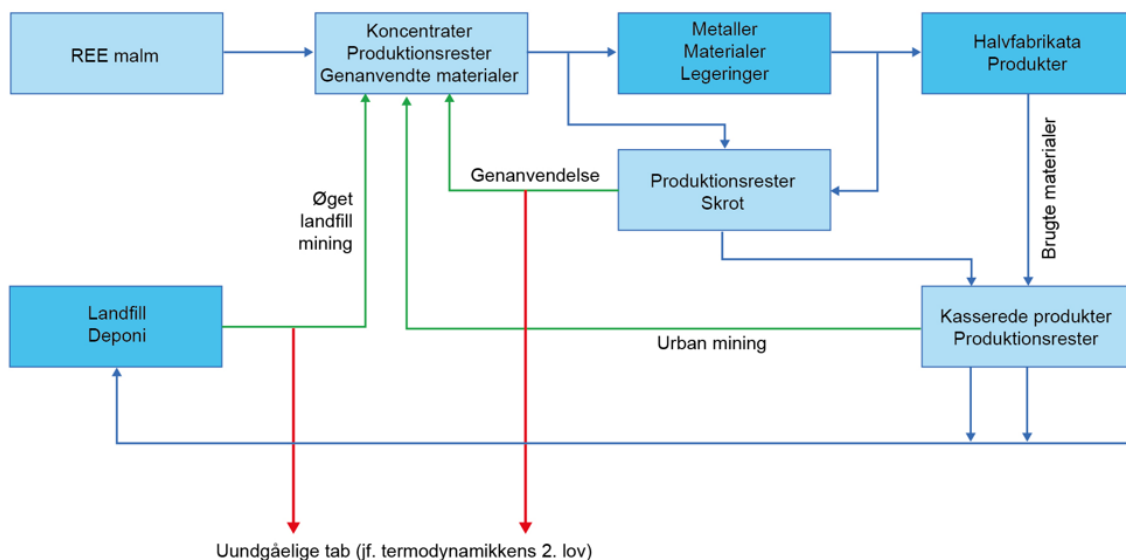
Permanente magneter anvendes, ud over til motoren i elbiler, også til mange andre funktioner i både elbiler og konventionelle biler. Både antal, form, størrelse, styrke og kemisk sammensætning varierer fra model til model, hvilket er en udfordring for genanvendelse. Der er ikke udviklet infrastruktur og værdikæder for sekundære REE-produkter, og derfor er indsamling og behandling usystematisk og ustruktureret. Almindeligvis afmonteres magneter i biler ikke inden skrotning; bilerne splittes mekanisk (med shredder) til cm-store metalstykker, som efterfølgende udsorteres. I de udsorterede skrotbunker er der ikke længere detailviden om indholdet af sjældne jordartsmetaller med store genvindingstab til følge. Automatiske metoder til demontering af magneter fra større enheder som biler, airconditionlæg o.l. er under udvikling (Mitsubishi Electric 2017).

Etablering af effektiv genvinding af sjældne jordartsmetaller fra forbrugerelektronik er udfordret af det store antal og lave indhold (ofte <1 g/enhed), som findes i forskellige dele af produkterne. For smartphones er der sjældne jordartsmetaller i batterierne (hvor det er NiMH), som fosforescenser i skærmene og som legeringer i visse komponenter, og genanvendelse er ikke tænkt ind i det industrielle design, hvilket gør det vanskeligt at adskille REE-holdige komponenter fra de øvrige. Dette problem er yderligere kompliceret af, at komponenter fra forskellige producenter ikke har samme sammensætning.

Ved genanvendelse skal de anvendte metoder kunne fremstille produkter, som på både pris og kvalitet er konkurrencedygtige med de primære REE-produkter, og helst hvor materialetab under processen er små, hvilket dog desværre sjældent er tilfældet. Genanvendelsesprocesserne er generelt meget energikrævende. Energiforbruget er metodeafhængigt og i nogle tilfælde kan det være mindre energikrævende at udvinde sjældne jordartsmetaller fra mineraler end ved genanvendelse.

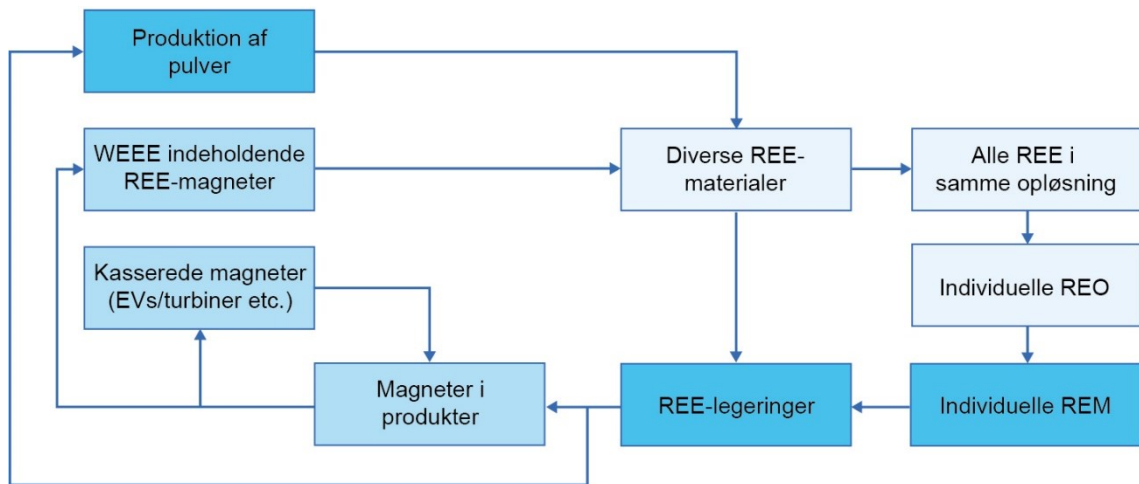
Genanvendelse kan potentielt formindske forsyningsrisikoen for fx de sjældne jordartsmetaller, som bruges i permanente magneter (praseodymium, neodymium, terbium, dysprosium) og fosforescenser (europium, yttrium, erbium, terbium). Derfor har fokus især været rettet mod genanvendelse af de affaldsstrømme, som opstår som led i produktionen, og på kasserede produkter som fx batterier, lamper, elektronikaffald (WEEE), katalysatorer og permanente magneter (Figur 6-1). Eksempler på industrielle processer til genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra magneter og forbrugerelektronik er vist i Figur 6-2 og Figur 6-3.

Mitsubishi Electric (2017) har udviklet en automatisk metode, Resonance Damping Demagnetization, til på kort tid at adskille REE-magneter fra produkter. Ved metoden frigøres magneten direkte fra produktet samtidig med, at der er bedre mulighed for at gruppere magneter med samme legering.

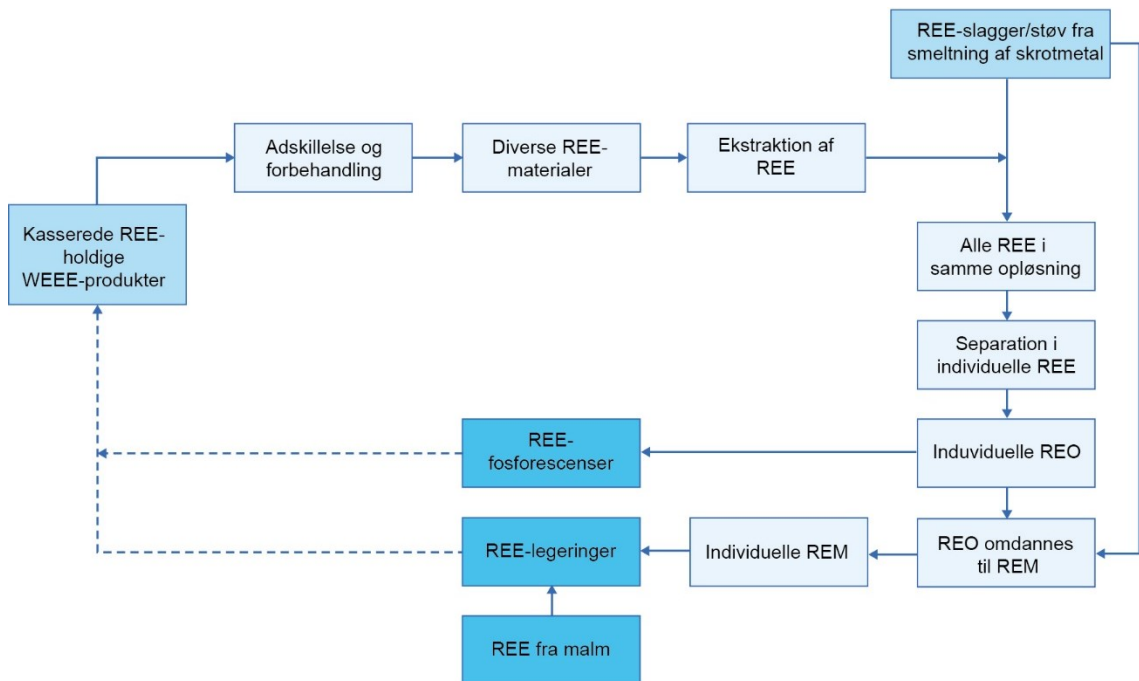


**Figur 6-1** Generisk diagram for genanvendelse af produkter indeholdende sjældne jordartsmetaller med angivelse af spildstrømme, som tabes. Kilde: Binnemans et al. (2013).





**Figur 6-2** Generisk diagram for genanvendelse af permanente magneter med sjældne jordartsmetaller. Kilde: Binnemans et al. (2013).

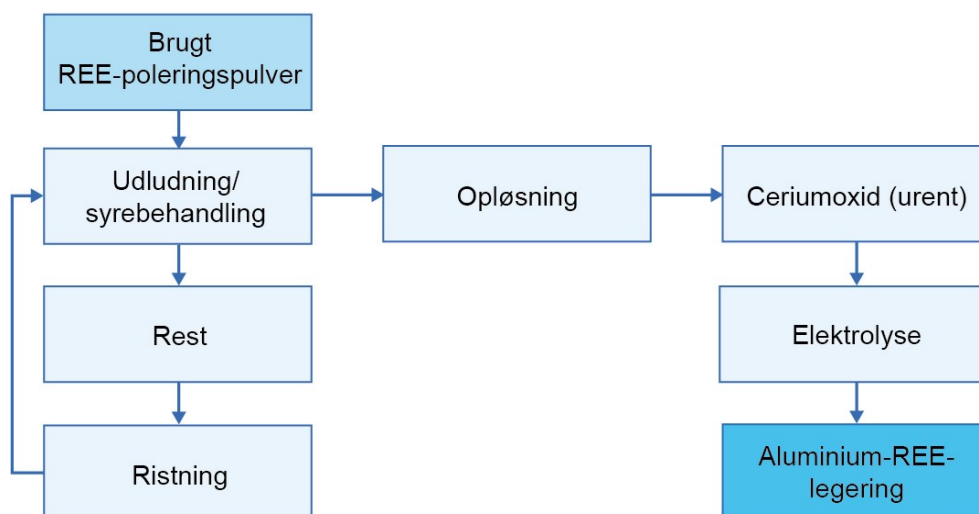


**Figur 6-3** Generisk diagram for genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra WEEE-produkter. Kilde: Baseret på Binnemans et al. (2013).

Der arbejdes på at udvikle metoder til at genanvende de ret store mængder af La- og Ce-poleeringsmidler, som anvendes i glasindustrien. Eksempelvis har Borra *et al.* (2021) udviklet en metode baseret på elektrolyse, hvor blandet La- og Ce-oxid kan anvendes til Al-La-Ce-legeringer uden forudgående separation af lanthan og cerium. Principperne i metoden er vist i Figur 6-4.

For fosforescenser (typisk europium, terbium, yttrium, gadolinium, lanthan og cerium) anvendt i belysning og computer- og smartphoneskærme har nogle producenter etableret en genanvendelsesfacilitet, hvor virksomheden genvinder fosforescenser fra egne produkter til genanvendelse i egne produkter. Der findes også genvindingsvirksomheder, som ekstraherer sjældne jordartsmetaller fra fosforescenser og fremstiller nye produkter baseret på genanvendelse. Det gælder fx Solvay, der opererer i 64 lande over hele verden, som har udviklet, patenteret og opbygget en

fabrik til genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra fluorescerende lamper, hvor der kan opnås genanvendelsesrater på ca. 95 %.

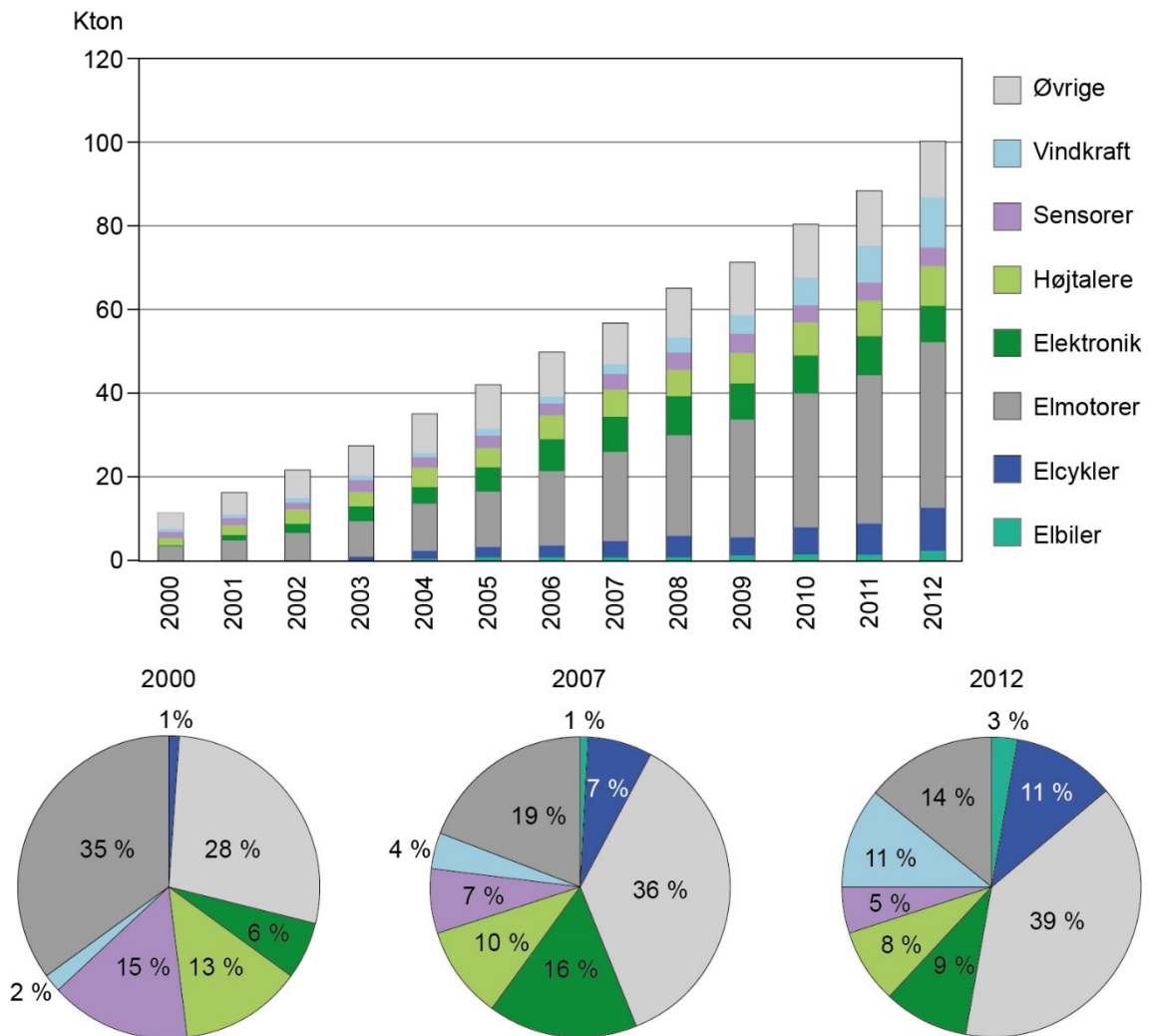


**Figur 6-4** Generisk diagram for genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra poleringspulver anvendt i glasindustrien. Kilde: Borra et al. (2021).

Figur 6-5 viser, at bidraget af sjældne jordartsmetaller, som indgår i genanvendelse, allerede i perioden 2000-2012 var stærkt stigende, og de største mængder i hele perioden stammede fra elmotorer; det fremgår dog også, at der sker ændringer over tid med voksende bidrag fra især elcykler og vindmøller, men at der er udfordringer (Binnemans *et al.* 2021). Disse tendenser er blevet forstærket i perioden siden 2012; tilsvarende er de tilgængelige mængder også vokset. Der er en voksende industriel interesse i udviklingen af metoder til genanvendelse af sjældne jordartsmetalprodukter; nogle af disse tiltag er vist i Tabel 6-1 og Tabel 6-2.

**Tabel 6-1** Estimerede volumener for sjældne jordartsmetaller fordelt på de vigtigste sjældne jordartsmetaller fra genvinding af magneter, fosforescenser og NiMH-batterier. Tabellen skal kun opfattes som et princip eksempel. Kilde: Binnemans et al. (2013).

Anvendelse af REE	Genanvendte REE i 2020 (ton) Forskellige scenarier		Sektorfordeling	Pessimistisk/ optimistisk
	Pessimistisk	Optimistisk	%	Ton (afrundet til 100)
Magneter	3.300	6.600	Nd: 69 Pr: 23 Dy: 5 Gd: 2	2.300-4.500 800-1.500 200-300 100
Fosforescenser til lamper og computer- og smartphone-skærme	1.333	2.333	Y: 69 Ce: 11 La: 9 Eu: 5 Td: 5 Gd: 2	900-1.600 100-300 100-200 100 100 -
NiMH-batterier	1.000	1.750	La: 50 Ce: 33 Nd: 10	500-900 300-600 100-200
<b>Total</b>	<b>5.633</b>	<b>10.683</b>		



**Figur 6-5** Historisk udvikling af de sektorer, der indgår i genanvendelse. Kilde: Gauss (2016).

For at øge genanvendelsen af sjældne jordartsmetaller har flere genvindingsvirksomheder udviklet eller er i gang med at udvikle sorteringsmetoder, som kan producere materialestrømme med høje indhold af sjældne jordartsmetaller, heriblandt WEEE. Figur 6-6 viser et eksempel fra Stena Technoworlds svenske anlæg.

Binnemans *et al.* (2013) har estimeret genanvendelsespotentialer for permanente NdFeB-magneter, fosforescenser og NiMH-batterier. Hver af disse sektorer domineres af 3-5 forskellige sjældne jordartsmetaller. Ved anvendelse af gennemsnitsforbruget i de tre sektorer er potentialer for de individuelle sjældne jordartsmetaller estimeret (Tabel 6-1). Der er ikke fundet data, for de faktiske mængder af genvundne sjældne jordartsmetaller fra 2020. Det skal bemærkes, at ud over materialetabet i genanvendelsesprocesserne, skal de tab, som skyldes at REE-holdige produkter ikke indsamles, eller ikke er økonomiske at genvinde, lægges til.

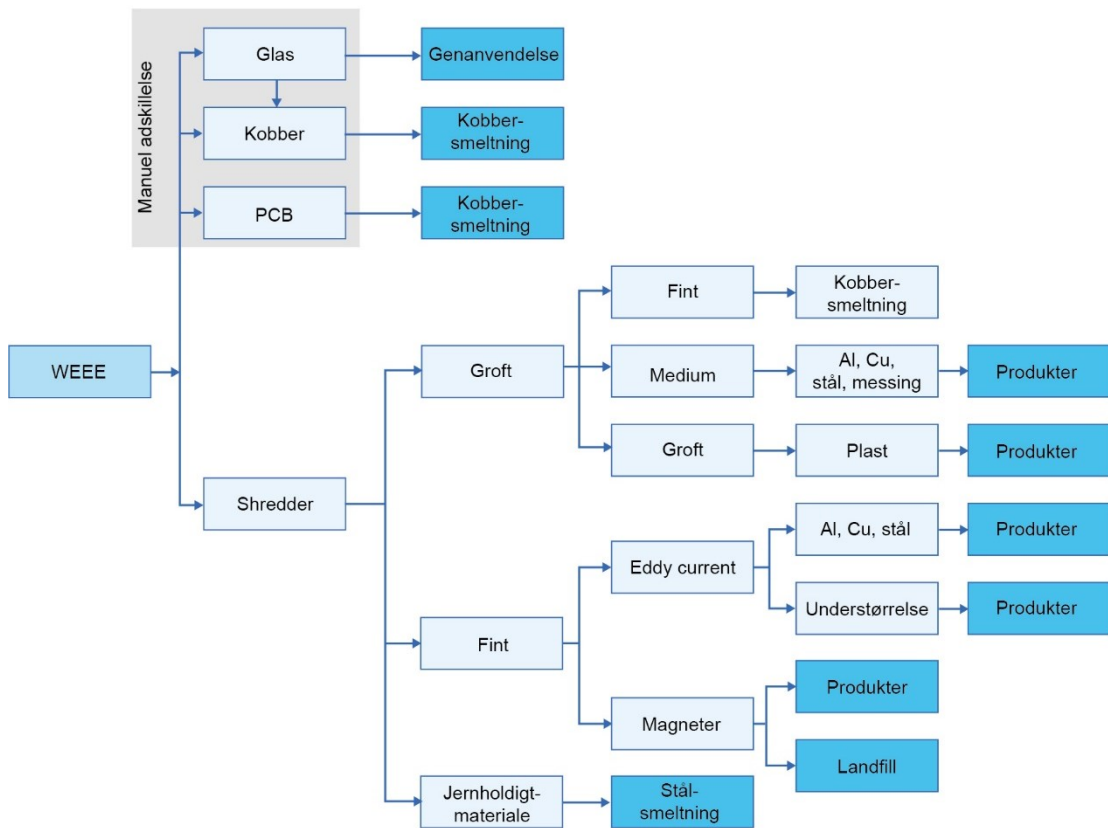
Mitsubishi Electric (2017) anslåede i 2017, at genanvendelsesraten frem mod 2025 vil stige til ca. 7 % og 11 % for hhv. neodymium og dysprosium i magneter, hvoraf halvdelen vil være til elbiler (Figur 6-7). Med den forventede stigning i magnetproduktionen vil dette forhold antageligt falde. Andre analytikere er mere optimistiske, som fx The Rare Earth Observer (2021e), der forventer, at op imod 30 % af PrNd-oxid-forbruget i 2025 vil være baseret på genanvendelse.

**Tabel 6-2** Status for eksisterende teknologier/metoder til genanvendelse af sjældne jordartsmetaller fra End-of-Life-produkter. Kilder: Tsamis & Coyne (2015) og Binnemans et al. (2013).

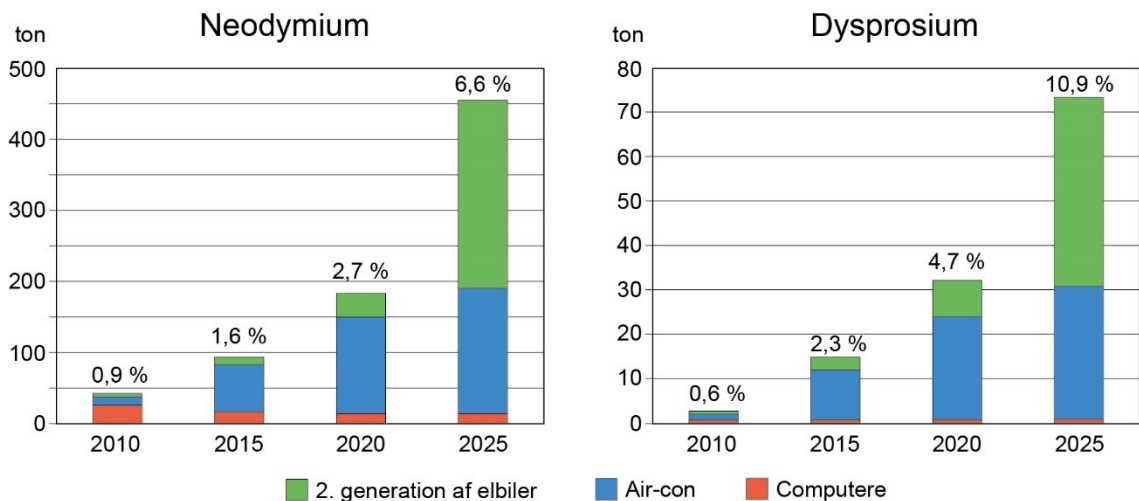
Sekundært REE-råstofkilde	Teknologi/metode	Teknologi – udviklingstrin	Forventet relativt bidrag
<b>Fosforescenser</b> Y (69 %), Ce (11%), La (9 %), Eu (5 %), Tb (5 %), Gd (2 %)			
<b>Compact Fluorescent Lamp (CFL)</b> Eb, Tb, Y	Kemisk opløsning, solvent extraction	Udviklet til industrielt brug (Rhodia)	Voksende
<b>Light Emitting Diode (LED)</b> Ce, Y			Voksende
<b>Plasmaskærme</b> Eu, Tb, Y, (Ce, Gd, La)			Stabilt
Katodestrålerør (Cathode Ray Tube (CRT): Eu, Y	Kemisk opløsning og solvent extraction	Begrænset forskning og faldende interesse	Lille
<b>Permanente NdFeB-magneter</b> Nd (69 %), Pr (23 %), Dy (5 %), Gd (2 %), Tb (0,2 %)	Hydrometallurgi	Stadigt på laboratoriestadiet	Stabilt for små magneter i biler, mobiltelefoner, bærbare computere. Stigende for elcykler, elbiler, vindmøller
	'Rapid solidification'	Udviklet af Fraunhofer 2015. Pulver som kan bruges til fremstilling af nye magneter.	
	Pyrometallurgi	Udviklet – men ikke til REE	
	Gas-fase-ekstraktion	Laboratorieskala	
	Reprocessering af legeringer til magneter efter nedbrydning af hydrogen	Laboratorieskala	
	Biometallurgiske metoder	Laboratorieskala	
<b>Permanente SmCo-magneter</b> Sm			Stabilt
<b>NiMH-batterier</b> La (50 %), Ce (33 %), Nd (10 %), Pr (3 %), Sm (3 %)	Kombination af ultrahøj temperatursmeltning og hydrometallurgi/pyrometallurgi	Meget effektiv metode til separation af Nd, Pr, Dy. Industrieskala (Umicore og Rhodia)	Voksende
<b>Optisk glas (La)</b>	Hydrometallurgisk proces	Laboratorieskala	
<b>Glaspoleringsmiddel (Ce)</b>	Kemisk proces	Laboratorieskala	

Med et stigende globalt forbrug af sjældne jordartsmetaller vil genanvendelse være utilstrækkelig til at opfylde efterspørgslen. Men øget genanvendelse kan medvirke til at reducere balanceproblemet (se afsnit 9.4.1), hvor den store efterspørgsel på Nd og Dy medfører, at der reelt er en overproduktion af Ce og La.

Reduktion af materialetabene forudsætter, at industrierne udvikler fælles standarder for de REE-holdige materialer i produkterne, og at udviklingen af de industrielle design sker med fokus på forbedrede genanvendelsesmuligheder.



**Figur 6-6** Diagram over sorteringsfraktioner for WEEE-produkter på Stena Technoworlds genanvendelsesanlæg for WEEE-produkter. Kilde: Lixandru et al. (2017).



**Figur 6-7** Mitsubishi Electrics (2017) vurderinger af de vigtigste materialestrømme, som kan indgå i genanvendelse af neodymium og dysprosium.

## 6.2 Substitution

Ved substitution forstås her at en producent erstatter et givet råstof med et andet; oftest for at reducere omkostningerne eller for at erstatte et forsyningstruet råstof med et med større forsyningssikkerhed. I de fleste tilfælde kan dette ikke blot gøres ved at erstatte en ingrediens med en anden, men forudsætter mere gennemgribende design- eller produktionsændringer.

I visse tilfælde fører teknologiske ændringer til, at nye produkter foretrækkes og fortrænger andre produkter, hvilket kan påvirke efterspørgslen på nye råstoffer. Dette var eksempelvis tilfældet ved den hurtige udbredelse af Li-ion-batterier, som især anvendes til elbiler, elcykler og håndholdt værktøj og dermed løbende fortrænger NiMH-batterier, hvilket har skabt en stor og hurtig efterspørgsel af lithium, kobolt, mangan og grafit og en reduceret efterspørgsel af lanthan, cerium og neodymium til denne sektor. Tilsvarende markante ændringer på markedet for sjældne jordartsmetaller er sket med introduktionen af LED-teknologien, som har et betydeligt mindre forbrug af fosforescenser med faldende efterspørgsel af yttrium og europium til følge. Implementeringen af den grønne omstilling i transportsektoren og vindenergi skaber et stort marked for især NdFeB-magneter og en meget stor efterspørgsel på især praseodymium, neodymium, terbium og dysprosium. Af hensyn til både forsyningssikkerhed og pris arbejdes der med at substituere neodymium med cerium; en sådan substitution kan få vidtrækkende konsekvenser for markederne for mange af de sjældne jordartsmetaller (se kapitel 14). Ændringer i magnetteknologien, som har påvirket forbruget af sjældne jordartsmetaller, skete også ved udfasningen af disk drives (HDD) til fordel for solid state drives (SSD), som ikke bruger sjældne jordartsmetaller, hvilket medførte en markant reduktion af forbruget af de fire magnetmetaller neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium, som dog blev rigeligt kompenseret af det øgede forbrug af metallerne til bl.a. magneter. Ændringerne i forbruget påvirker dog ikke kun efterspørgslen, men kan også påvirke genanvendelsesraterne. Udfasningen af HDD, hvor genanvendelse af de fire magnetmetaller tidligere kunne ske efter 5-10 års levetid, og 'flytningen' af forbruget af råstofferne over i transport- og vindenergisektorerne med levetider på hhv. 10-15 år og 20-30 år betyder, at råstofferne bindes i længere tid inden de kan genanvendes.

## 7. Miljø, sundhed og klimabelastning i de øvre dele af værdikæderne

De mange forskellige arbejdsstrin, der indgår i fremstilling af råvarer af sjældne jordartsmetaller, har et betydeligt energi- og vandforbrug samt CO<sub>2</sub>-aftryk. Selvom en betydelig del af de sjældne jordartsmetaller anvendes til grønne teknologier, er det derfor vigtigt at se på det samlede omfang af disse miljøaftryk, der bl.a. bestemmes af malmens lødighed og mineralogi, hvordan minedriften udføres og malmen behandles, samt af de trin, der er involveret ved fremstillingen af de endelige råvarer. Som det fremgår af Pell *et al.* (2019a, b), kan livscyklusanalyser (LCA), udført i tilknytning til feasibility-studier for mineprojekter, bidrage til at identificere områder, hvor det vil være både hensigtsmæssigt og teknisk muligt at ændre i brydning og forarbejdning af malmen for at reducere produktionens miljøbelastning.

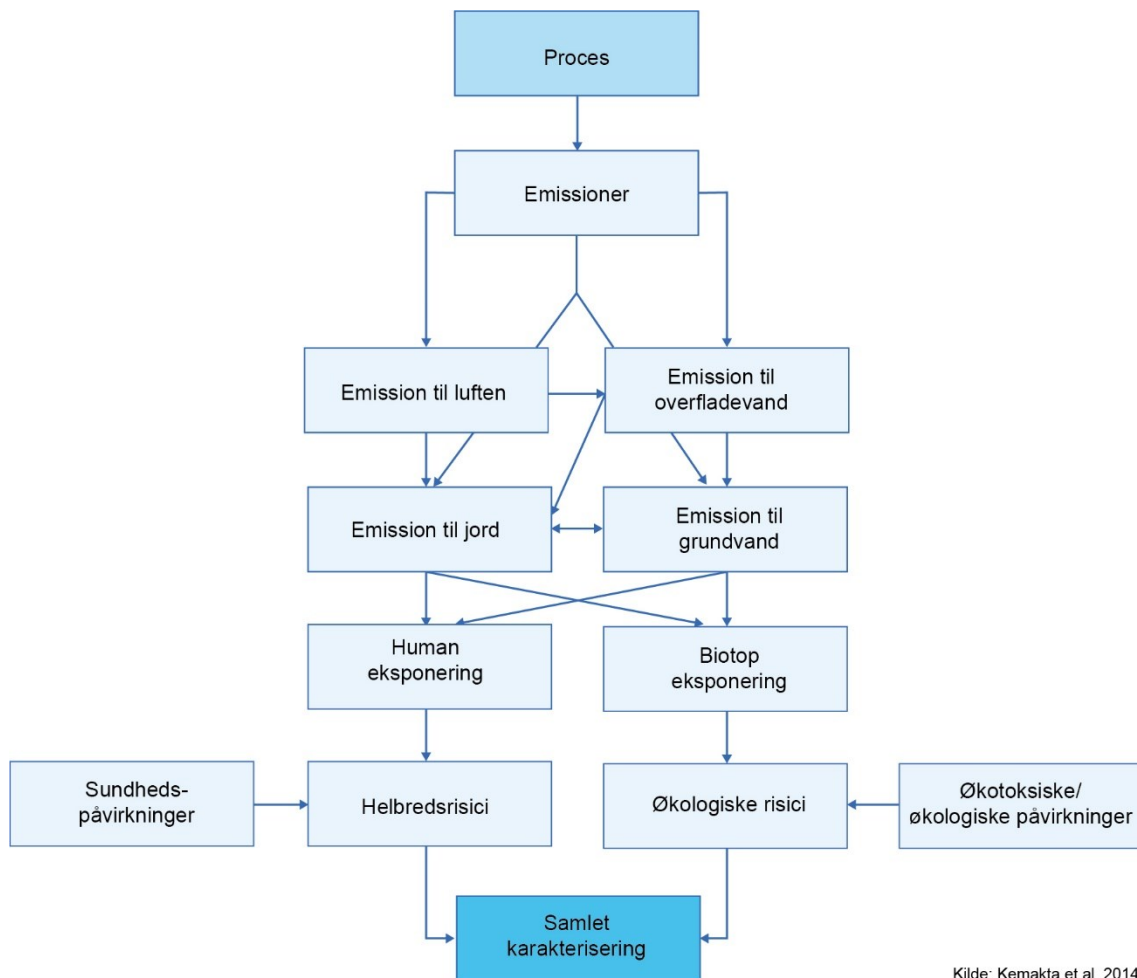
I dette kapitel gennemgås nogle af de udfordringer, der er knyttet til miljø og sundhed samt klimapåvirkning.

### 7.1 Miljø- og sundhedsforhold

Mange af de miljø- og sundhedsforhold, der er knyttet til fremstilling af råvarer med sjældne jordartsmetaller, svarer til forhold, som kendes fra mineindustrien generelt. For produktion af sjældne jordartsmetaller kan der desuden være særlige udfordringer, som skyldes, at nogle mineraler indeholder thorium og uran, og derfor er radioaktive. Ved opstart af alle miner udarbejdes der miljørisikovurderinger (Environmental Risk Assessment (ERA)), hvor arbejds gange, processer, udledninger, mulige forureninger og påvirkninger af mennesker og miljø samt strålingsrisici indgår. En generel konceptmodel for miljørisikovurderinger er vist i Figur 7-1. Detaljerede informationer om miljøforhold findes i EPA (2012).

I lighed med brydning af malm fra fast fjeld er hovedparten af miljøudfordringerne for malm med indhold af sjældne jordartsmetaller især knyttet til at sikre, at deponering af overjord, underlødigt malm og tailings sker miljømæssigt forsvarligt, at støv og støjgener er under fastsatte grænseværdier, samt at afstrømmende vand fra mineområdet behandles inden udledning, og at udledningen overholder fastsatte grænseværdier.

Til at adskille de REE-holdige mineraler fra de ikke-REE-holdige anvendes der eksempelvis betydelige mængder vand og kemikalier. Miljøudfordringerne fra mineralseparationen er derfor især knyttet til behandling af procesvand og deponering af de store mængder (ofte >90 % af det samlede volumen) finknuste mængder af materiale, som ikke indeholder sjældne jordartsmetaller (tailings). Tailings er en blanding af finkornede, ikke-kommercielle mineraler opslemmet i procesvand, som typisk deponeres i bassiner nær separationsanlægget. Da tailings almindeligvis skal forblive deponeret i mange år, og mængderne er store, forudsætter det omfattende anlæg, som sikrer, at tailings deponeres stabilt i bassinet, samt at procesvand og tilstrømmende regnvand ikke forurener omgivelserne. Begge forhold har givet anledning til store miljøproblemer for miner generelt. Eksempelvis har der været en række betydelige miljøproblemer knyttet til produktion af sjældne jordartsmetaller i Brasilien, Kina, Indien, Malaysia og USA (Kemakta Konsult 2014).



Kilde: Kemakta et al. 2014

**Figur 7-1** Generisk model for miljørisikovurderinger (ERA-analyser), som benyttes til vurdering af nye mineprojekter. Kilde: Kemakta Konsult (2014).

Når produktionen af sjældne jordartsmetaller sker fra IA-forekomster, er miljøudfordringerne især knyttet til de væsker, der på lokaliteten bruges til at frigøre de sjældne jordartsmetaller. I Kina, hvor IA-forekomster er særligt udbredt, er in-situ-metoden den mest anvendte (se afsnit 5.1.3). Her pumpes ammonium-sulfat-opløsninger (3-5 %) ned i de overfladenære forekomster, eller leret graves op og blandes med opløsningen i udgravede bassiner. Anvendes disse metoder, er der stor risiko for at væskerne forurener grundvandet (Yang *et al.* 2013). Som følge af disse miljøproblemer har de kinesiske myndigheder gennem de seneste 10 år lukket mange IA-produktioner (Adamas Intelligence 2014).

Som nævnt ovenfor adskiller miljøudfordringer for produktionen af sjældne jordartsmetaller sig fra de fleste andre miner og procesanlæg ved, at mange REE-mineraler indeholder naturligt forekommende uran og thorium, ofte omtalt som NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). De procestrin, hvor mineraler, der indeholder sjældne jordartsmetaller, separeres fra de øvrige mineraler, vil uundgåeligt medføre, at en mindre del af mineralerne med sjældne jordartsmetaller samt uran og thorium, ikke sorteres fra, og derfor ender i tailings. Men hovedparten af de radioaktive grundstoffer – uran, thorium og nogle af henfaldsprodukterne som fx protactinium og actinium – frigøres (opløses) især fra mineralerne i det procestrin, hvor de sjældne jordartsmetaller frigøres fra mineralerne (se også Figur 5-4). Dette restmateriale er radioaktivt og vil typisk blive deponeret i et bassin for kemirester nær forarbejdningsanlægget. I nogle tilfælde bliver dette



procestrin udført i nærheden af minen, i andre tilfælde bliver mineralkoncentratet solgt og ekstraktionen foretages andet steds. Det er typisk anlæggets placering, der afgør, hvilket myndighedsgodkendt sted de radioaktive kemirester kan deponeres. Eksempelvis er planerne for de to grønlandske projekter, Kvanefjeld/Kuannersuit og Kringlerne forskellige; Kvanefjeldsprojektet planlægger at foretage processen lokalt og deponere kemiresterne lokalt, hvorimod projektet ved Kringlerne planlægger at udskibe mineralkoncentratet til et produktionssted uden for Grønland, hvorfor kemiresterne også skal deponeres uden for Grønland.

Farligheden af de radioaktive grundstoffer afhænger bl.a. af mineralsammensætningen, koncentrationerne, oxidationsforholdene og den kemiske sammensætning. De største udfordringer med radioaktive restprodukter er knyttet til forekomster med højt indhold af xenotim og monazit, hvor der kan være op til 2 % uran og 1 % thorium (Tabel 7-1). Til sammenligning indeholder malmen fra Kvanefjeld/Kuannersuit omkring 0,03 % uran og 0,07 % thorium, som især findes i mineralet steenstrupin; malmen fra Kringlerne, som domineres af mineralet eudialyt, indeholder kun ca. 0,0012 % uran, hvilket stemmer overens med eudialyts generelt lave indhold af uran og thorium. Alkaline forekomster, som domineres af mineralerne parisit, synchisit, fergusonit og loparit, har almindeligvis også lavt indhold af uran og thorium, mens IA-forekomster er karakteriseret ved kun at indeholde ubetydelige mængder uran og thorium.

**Tabel 7-1** Fordele og ulemper ved forskellige metoder til at adskille uran og thorium fra sjældne jordartsmetaller. Kilde: Garcia et al. (2020).

Metode	Fordele	Begrænsninger	Recovery (%)
Leaching	Th og U fjernes samtidigt fra REE Billig proces Let skalérbar proces	Malmen/koncentratet skal være meget finkornet Metoden virker kun på fast stof	Th: >68 % U: 65-95 %
Udfældning	Th og U fjernes samtidigt fra REE Th og U kan adskilles separat Billig proces	Recovery meget afhængig af pH, temperatur og reagenser REE kan udfældes med U og Th ved forkert pH Vanskeligt at udføre i ét procestrin uden at reducere recovery	Th: >98 % U: 65-95 %
Solvent extraction	Meget selektiv over for U og Th Høj recovery for U og Th i de enkelte procestrin Let skalérbar proces	Lav recovery af Th og U hvis de separeres sammen Flere procestrin er nødvendige for at opnå høj recovery Dyre reagenser	Th: >70 % U: >55 %
Ion-kromatografi	Th og uran kan fjernes i ét procestrin Høj recovery af både Th og U	Lav flowrate Ved opskalering vil processen enten blive batch-vis eller kolonner Anionbytter ekstraherer kun uran	Th: >90-99 % U >90-99 %

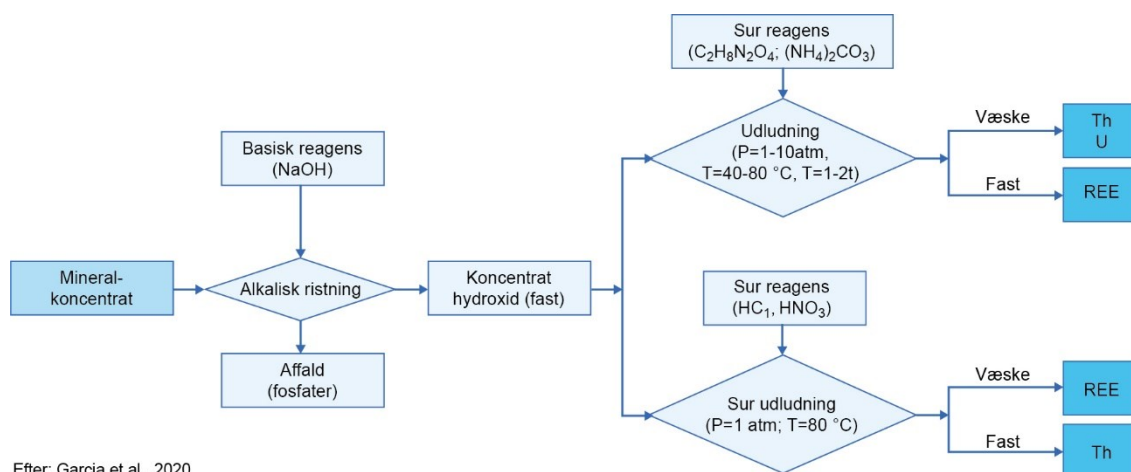
Generelt skal man være opmærksom på, at der under separationsprocessen af de enkelte sjældne jordartsmetaller kan ske en opkoncentrering af de radioaktive stoffer, som kan findes i mange af værdikædernes dele.

Ved sammenligning af forskellige forekomsters NORM-belastning skal man sikre sig, at opgørelserne er foretaget på basis af lødighederne af de individuelle sjældne jordartsmetaller, da to forekomster med samme NORM-værdi, kan have forskellig NORM-belastning, hvis der er forskel i mineralsammensætningen. Hvis fx to forekomster indeholder hhv. 1 % og 2 % neodymium, er NORM-belastningen dobbelt så stor for den første forekomst målt i forhold til produceret mængde neodymium.

Der er adskillige eksempler på at utilstrækkelig myndighedskontrol af produktionen af sjældne jordartsmetaller har ført til store miljødelæggelser. Det gælder fx:

- Asia Rare Earth og Mitsubishi Electrics kemiske anlæg i Bukit Merah i Malaysia, som i perioden fra 1979 til 1994 producerede sjældne jordartsmetaller fra monazit. Her fik mere end 10.000 beboere i området dødelige sygdomme, som kunne kobles til det radioaktive restmateriale. Det langvarige forløb må især tilskrives svage lokale miljø- og råstofmyndigheder (Consumers Association Penang 2011).
- I områderne omkring byen Krasnoufimsk i Sverdlovsk-regionen i Rusland er store mængder radioaktive monazit-rester siden 1970'erne blevet deponeret; arbejdet med at minimere miljøskaderne pågår stadig (Buynovskiy *et al.* 2014; Idolova 2019).
- I Ganxhou-regionen i det sydlige Kina er der konstateret meget store skader på mennesker, jord og grundvand, som resultat af udnyttelse af en IA-forekomst. Kinesiske myndigheder anslår, at det vil tage 50-100 år at genoprette skaderne (Standaert 2019).
- Efter militærjuntaens overtagelse af magten i Myanmar i 2021 steg illegale produktioner af IA-forekomster nær Pangwa og Chipwi betydeligt og med store miljødelæggelser til følge (The Irrawaddy 2021). Nogle måneder senere stoppede produktionen, det antages derfor, at produktionerne næsten er ophørt. I december 2021 forlyder det, at produktion og eksport igen pågår.

Eksempler på typiske processeringer af mineralkoncentrater, hvor der udfældes sjældne jordartsmetaller, uran og thorium, ses i Figur 7-2, Figur 7-3 og Figur 7-4.



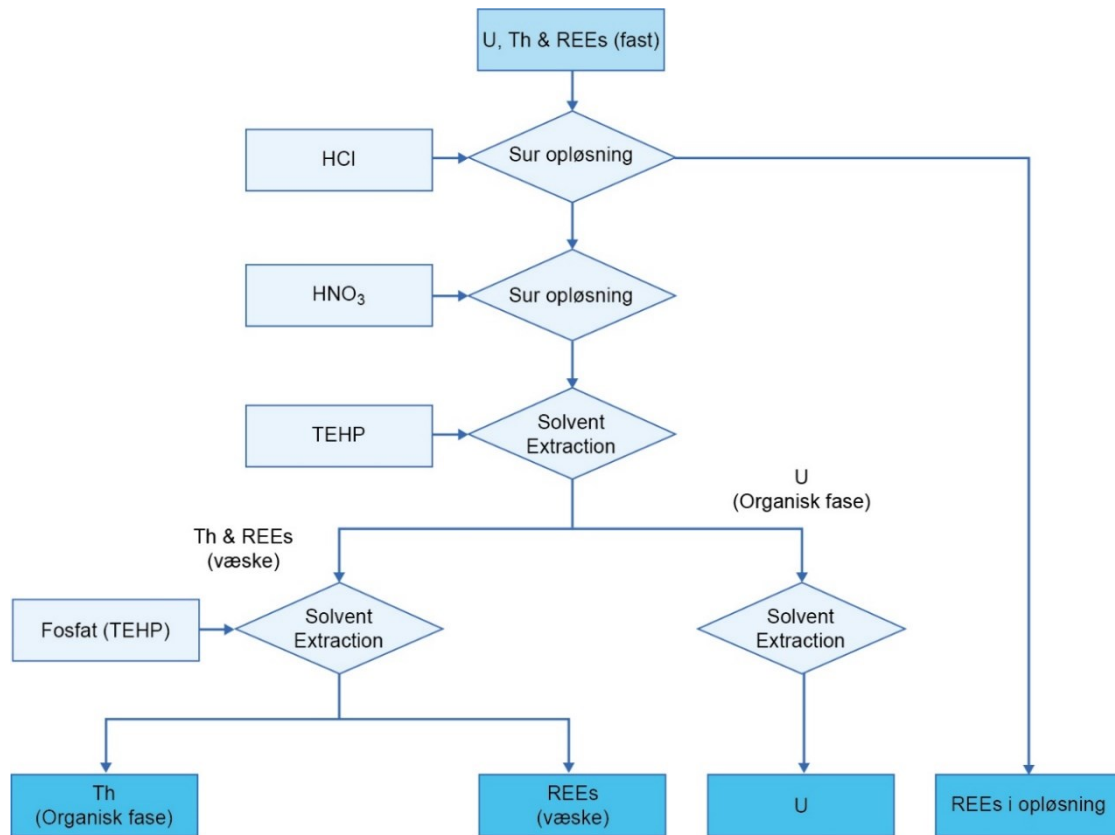
Efter: Garcia et al., 2020

**Figur 7-2** Eksempel på processering af REE-mineralkoncentrat med udfældning af uran og thorium. Kilde: Garcia et al. (2020).

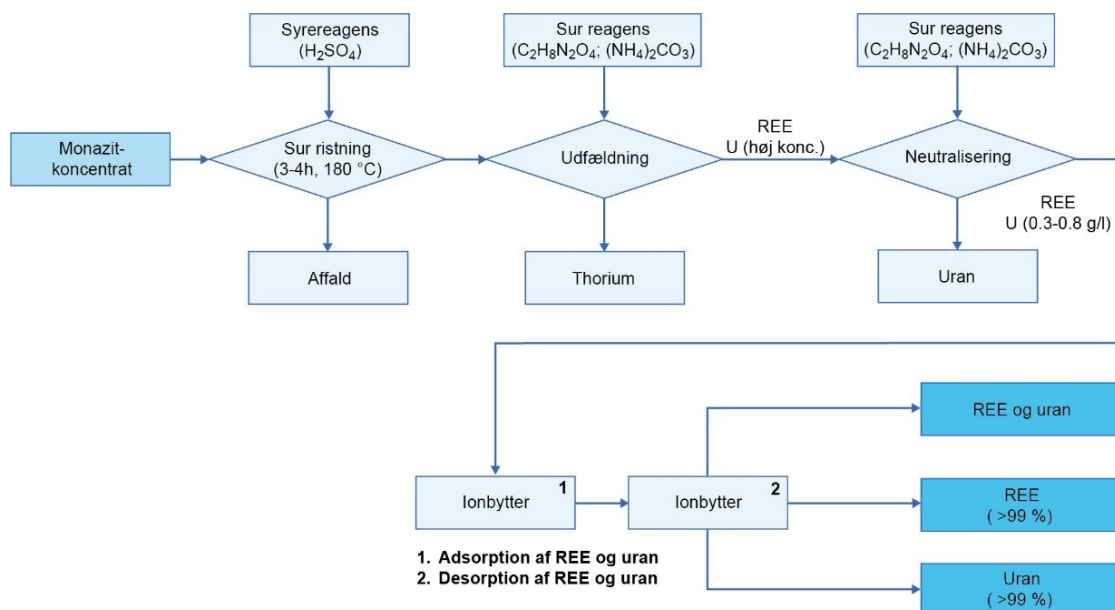
De forskellige teknologier har forskellige fordele og ulemper, og især er der store forskelle på, hvor effektive metoderne er. Som det fremgår af Tabel 7-1, er effektiviteten stærkt varierende (55-99 %). For processer med lav effektivitet skal processen gentages i et betydeligt antal sekvenser for at sikre, at de radioaktive stoffer er samlet i én fraktion, som kan håndteres forskriftsmæssigt.

Miljøudfordringerne, forbundet med det radioaktive materiale, var årsagen til, at USA i 2002 besluttede at indstille produktionen af sjældne jordartsmetaller fra især monazit, hvorefter produktionen flyttede til Kina, og dermed lagde grunden til Kinas dominerende rolle i industrierne for sjældne jordartsmetaller (se kapitel 11). I Australien skal brydning af uranholdige produkter godkendes af føderalregeringen, og Lynas Corporation, der ejer Mt. Weld-minen, har ikke fået

tilladelse til at forarbejde sine produkter fra minen pga. indholdet af uran og thorium, hvilket har resulteret i, at mineraler brudt fra Mt. Weld-minen bliver forarbejdet på Lynas' anlæg i Malaysia (hvor diskussioner om miljøforholdene pågår mellem Lynas og de malaysiske myndigheder) (se afsnit 13.1.2).



**Figur 7-3** Eksempel på forarbejdning af REE-koncentrat med udfældning af uran og thorium under kemisk 'oplukning' af mineralet og efterfølgende separation. Kilde: Garcia et al. (2020).



**Figur 7-4** Eksempel på forarbejdning af monazit med udfældning af uran og thorium. Kilde: Garcia et al. (2020).

## 7.2 REE-produktionens klimaaftryk

Klimaaftryk fra primærproduktionen af sjældne jordartsmetaller er bestemt af både malmens sammensætning og lødighed; fra minens start til minen lukkes vil lødigheden af den brudte malm oftest blive lavere og lavere og både miljø- og klimaaftryk vil typisk blive højere jo ældre minen er (Pell *et al.* 2019b). Pell *et al.* (2019b) har sammenlignet en række klimaaftryksparametre mellem Bear Lodge-projektet (USA), Mountain Pass-minen (USA), Bayan Obo-minen (Kina) og IA-forekomster (Kina) (Tabel 7-2). Datagrundlaget i undersøgelsen er fra 2014 og 2015 og forbedringer kan være foretaget efterfølgende.

**Tabel 7-2** Sammenligning af miljøindikatorer mellem fire forskellige forekomster af sjældne jordartsmetaller. Kilde: Pell *et al.* (2019b).

Miljøindikator	Enhed	Bear Lodge	Mountain Pass	Bayan Obo	IA-forekomst (Kina)
Forsuring	kg SO <sub>2</sub> eq.	6,00E-02	1,70E-01	3,08E+00	1,70E-01
Økotoksicitet	CTU e	1,45E+00	n/A	3,76E+01	2,79E+0,2
Eutrofikation	kg N eq.	1,30E-02	1,50E-01	1,80E-01	3,00E-01
Global opvarmning	kg CO <sub>2</sub> eq.	1,21E+01	1,40E+01	2,30E+01	2,09E+01
Sundhed	kg PM <sub>2,5</sub> eq.	1,60E-02	n/A	1,70E-01	2,59E-02
Karcinogen-effekt	CTU h	1,30E-08	1,30E-08	2,27E-06	3,00E-02
Ikke-karcinogen	CTU h	1,20E-06	1,20E-06	7,70E-06	1,04E-05
Ozon-nedbrydning	kg CFC 11 eq.	2,40E-09	2,30E-09	3,80E-06	2,40E-09

Haque *et al.* (2014) har estimeret en række miljøaftryk for produktion af udvalgte sjældne jordartsmetaller (Tabel 7-3). Generelt er de estimerede energiforbrug relativt lave, hvilket tilskrives, at der kun er indregnet forbrug frem til produktionen af REO, som er et af de første halvfabrikata, og at energiforbruget til fremstilling af eksempelvis REM dermed ikke er medregnet. Samtidig med dette oplyser Haque *et al.* (2014), at vandforbruget er betydeligt højere end for andre metaller.

**Tabel 7-3** Miljøaftryk for fremstilling af udvalgte sjældne jordartsmetaller. Kilde: Haque *et al.* (2014).

REO	Energi MJ/kg	GHG* kg CO <sub>2e</sub> /kg REO	Vand liter vand/kg	Toksicitet DALY**/kg x 10 <sup>6</sup>
La	177	9,3	300	1,65
Ce	157	8,3	300	1,46
Pr	798	41,4	1.320	7,36
Nd	743	38,5	1.230	6,86
Mix af Sm+Eu+Gd	1.074	55,6	1.750	9,89

\* GHG – Drivhusgas (eng: Greenhouse Gas)

\*\* DALY – Disability-Adjusted Life Years

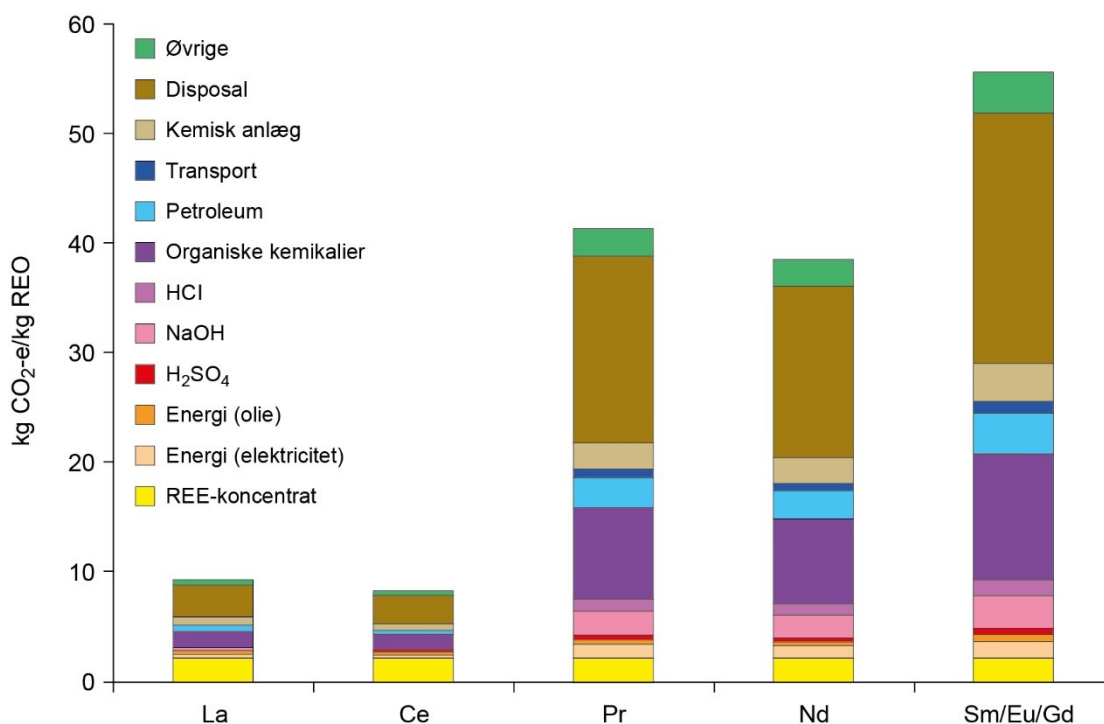
Den samlede globale CO<sub>2</sub>-belastning som følge af udvinding af sjældne jordartsmetaller er vist i Tabel 7-4 og er baseret på den gennemsnitlige sammensætning af produktionen i 2019 (European Commission 2020) og en produktion på 240.000 ton, nogenlunde svarende til 2020. Som det ses af Tabel 7-4 og Figur 7-5 er miljøaftrykket generelt mindre for LREE end HREE, hvilket stemmer med, at det er sværere at separere HREE end LREE (se afsnit 5.2.1). Haque *et al.* (2014) har også beregnet mængden af drivhusgas (GHG), som dannes i de enkelte procestrin, og har fundet, at en væsentlig del af GHG-aftrykket er relateret til forbruget af saltsyre. De peger

derfor på, at hvis GHG-faktoren skal reduceres, bør fokus rettes mod både syre- og energiforbruget.

Jiabao & Jie (2009) har beregnet, at der til fremstilling af 1 ton TREO ved anlægget i Bayan Obo samtidig produceres ca. 60.000 m<sup>3</sup> svovl- og saltsyreholdige gasser, ca. 200 m<sup>3</sup> syreholdigt vand samt 1,4 ton radioaktivt materiale, når alle processer fra minedrift, forarbejdning og raffinering inkluderes.

**Tabel 7-4** Estimer for CO<sub>2</sub>-belastningen for udvalgte sjældne jordartsmetaller med udgangspunkt i fordelingsdata for 2019 (European Commission 2020, tabel 176), samt en anslået global produktion på 240.000 ton REO og belastningstal fra Haque et al. (2014).

	La	Ce	Pr	Nd	Sm/Eu/Gd
%	24,5	44,3	4,7	15,8	4,0
Ton REO	58.800	106.320	11.280	37.920	9.600
Ton CO <sub>2</sub> /ton REO	10	9	44	39	58
Ton CO <sub>2</sub> tot	588.000	956.880	496.320	1.478.880	556.800



**Figur 7-5** CO<sub>2</sub>-udledning for produktion af udvalgte sjældne jordartsmetaller. Kilde: Haque et al. (2014).

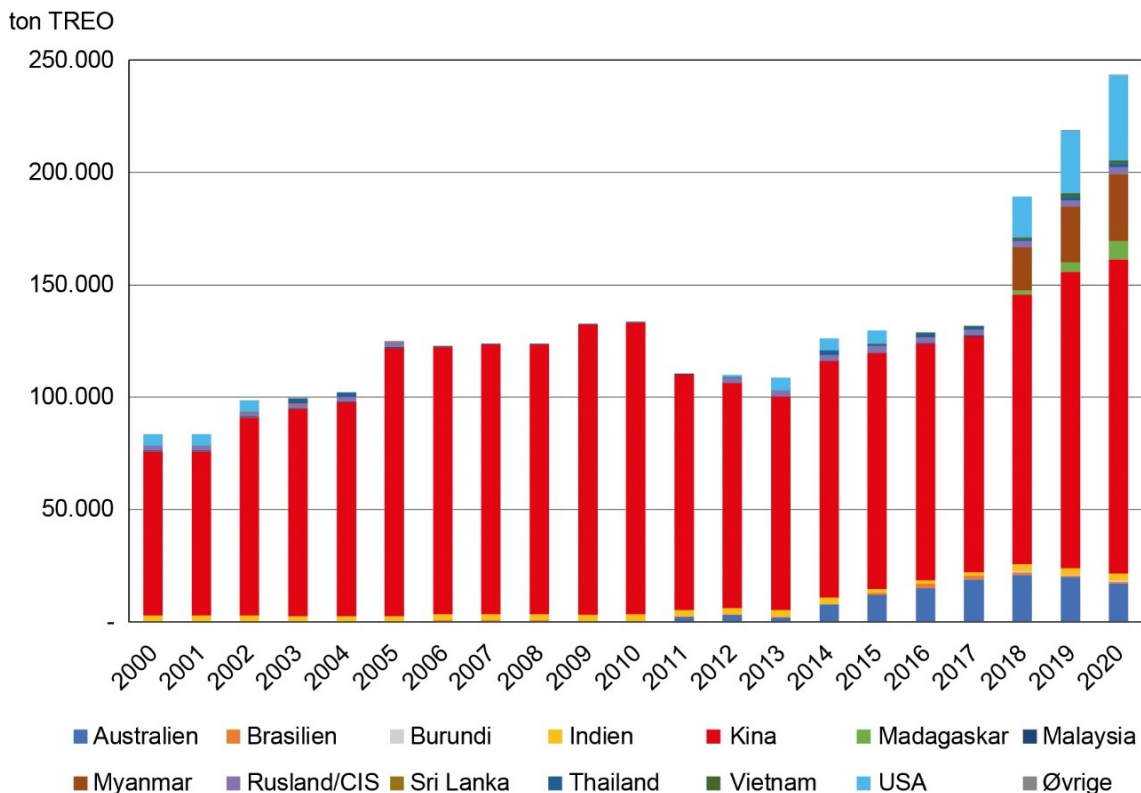
Set fra et klimasynspunkt kan det derfor konkluderes, at hvor det er muligt, bør strategien være rettet mod substitution af relativt tungere sjældne jordartsmetaller med relativt lettere sjældne jordartsmetaller. Procesrækkefølgen i separationsprocesserne og de naturlige fordelinger af de individuelle sjældne jordartsmetaller favoriserer en sådan strategi. I visse tilfælde kan substitution fx være udskiftning af Pr og Nd med Ce, hvor miljøaftrykket stadig vil være mindre så længe merforbruget af det relativt lettere sjældne jordartsmetal <400 % i forhold til de relativt tungere sjældne jordartsmetaller. Netop disse substitutioner er vigtige, da det forventes at den grønne omstilling vil få et markant øget forbrug af Pr og Nd (se kapitel 14).

## 8. Global produktion af sjældne jordartsmetaller

Dette kapitel vurderer den årlige, globale produktion af sjældne jordartsmetaller som udvindes fra primærproducenterne – minerne. Det er disse mængder, der er bestemmende for, hvor meget der kan leveres til de næste dele i værdikæderne. Der er ikke nationale opgørelser for, hvor store mængder industrierne anvender.

Den årlige produktion af sjældne jordartsmetaller målt som ton TREO fra miner registreres på landebasis af bl.a. United States Geological Survey (USGS). Figur 8-1 viser resultaterne fra USGS' (2001 til 2021) opgørelser for perioden fra 2000 til 2020, hvoraf det fremgår, at den samlede produktion i perioden er steget ca. 200 %, og at væksten især skete i perioden 2017-2020.

Registreringerne er kun omtrentlige, da der dels er mange små bidrag fra et stort antal producenter af tungsandsprodukter med en biproduktion af monazit, som ikke medregnes, og fordi der, specielt i Kina, er en betydelig ikke-registreret illegal produktion, på trods af at Kina har arbejdet målrettet på at nedbringe illegale produktioner i landet. Desuden påvirkes de nationale indberetninger også af politiske forhold, både i opad- og nedadgående retning; eksempelvis faldt den kinesiske produktion angiveligt i en række år efter den politiske krise mellem Kina og Japan i 2010 (se afsnit 4.3.2), men har igen været stigende siden 2017 (Figur 8-1).



**Figur 8-1** Udviklingen i den globale produktion af mineraler indeholdende sjældne jordartsmetaller (omregnet til ton TREO) fordelt på lande. Kilde: USGS (2001 til 2021).

**Tabel 8-1** Sammenligning mellem årsopgørelser af den globale produktion i ton/år TREO udført af hhv. USGS (2016 til 2020) og World Mining Data (WMD) (Reichl & Schatz 2021).

	2015		2016		2017		2018		2019	
	USGS	WMD	USGS	WMD	USGS	WMD	USGS	WMD	USGS	WMD
	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO	ton/år TREO
Australien	12.000	10.916	15.000	13.872	19.000	17.264	21.000	18.556	20.000	17.613
Brasilien	880	1.040	2.200	2.900	1.700	1.700	1.100	1.100	710	600
Burundi						31	630	631	200	68
Indien	1.700	956	.500	2.265	1.500	2.724	2.900	4.215	2.900	4.200
Kina	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	120.000	120.000	132.000	132.000
Madagaskar							2.000		4.000	
Malaysia	500	565	300	1.876	300	302		86		114
Myanmar		230		2.730		5.000	19.000	20.400	25.000	17.100
Rusland	2.800	2.312	2.800	3.063	2.600	2.500	2.700	2.596	2.700	2.620
Thailand	760		1.600		1.300		1.000		1.900	
Vietnam	250		220		200		920		1.300	
USA	5.900	3.678					18.000	14.000	28.000	28.000
Øvrige									66	
<b>Total</b>	<b>129.790</b>	<b>124.697</b>	<b>128.620</b>	<b>131.706</b>	<b>131.600</b>	<b>134.521</b>	<b>189.250</b>	<b>181.584</b>	<b>218.776</b>	<b>202.315</b>

Kina har igennem perioden entydigt været den største producent af sjældne jordartsmetaller og det eneste land, der har produceret i hele perioden med en varierende produktionsandel på omkring 90 % frem til 2013, hvorefter nye produktionslande er kommet til, hvilket har betydet, at Kinas andel i 2020 udgjorde ca. 60 % af den globale produktion. USA's produktion er helt overvejende fra Mountain Pass-minen i Californien, som i perioder har været lukket. MP Materials genåbnede Mountain Pass-minen i 2017 med det kinesiske selskab Shenghe Resources som mindretalsaktionær. Produktionen blev øget og udgjorde i 2020 ca. 40.000 ton. I præsident Trumps regeringsperiode gav den amerikanske regering i 2017 tilladelse til eksport af mineral-koncentrater fra Mountain Pass til Kina, der fortsat indgår i de kinesiske forsyningskæder. Produktionen i Australien (ca. 17.000 ton TREO) er baseret på Lynas Corporations Mt. Weld-mine i Vestaustralien, hvorfra mineralkoncentratet eksporteres til forarbejdning på selskabets anlæg i Malaysia. Rusland har angiveligt en ret lille, men konstant produktion på 2.000-2.700 ton TREO, som overvejende er biprodukter fra Lovozero-minerne, og som forarbejdes i Kasakhstan og Estland. Siden 2018 er der etableret en stor årlig produktion (ca. 30.000 ton TREO) i Myanmar, som hidtil er eksporteret til forarbejdning i Kina, men i efteråret 2021 er eksporten til Kina dog næsten stoppet af Myanmars militærjunta; samlet er der eksporteret omkring 24.000 ton TREO fra januar til og med oktober 2021 (The Rare Earth Observer 2021e), hvilket angives at være betydeligt mindre end i 2020. Mindre, men voksende, produktioner kommer desuden fra tungsandforekomster i Madagaskar (8.000 ton TREO) og Indien (3.000 ton TREO).

Der er betydelige afvigelser mellem de forskellige institutioners opgørelser over den globale produktion af sjældne jordartsmetaller. Eksempelvis er der for femårsperioden 2015-2019 store variationer mellem USGS og World Mining Data (WMD) (Tabel 8-1). Her ses det at WMD, i modsætning til USGS, ikke har registreret produktion af sjældne jordartsmetaller i Madagaskar, Thailand og Vietnam, men derimod registreret produktion i Myanmar allerede i 2015; der er desuden store afvigelser mellem fx produktionen i Myanmar (USGS-data) og eksporten til Kina, som jf. The Rare Earth Observer (2021c) er større end den produktion USGS angiver. Samlet kan det konstateres, at datagrundlagene for den globale produktion af sjældne jordartsmetaller er

upræcise med hensyn til de mængder, der produceres i de enkelte lande. Afvigelserne er så betydelige, at de kan have indflydelse på resultaterne i Tabel 8-2 og scenarieberegninger i kapitel 14.

Kinas reducerede andel af verdensproduktionen i de senere år er ikke ensbetydende med, at Kina har fået en mindre afgørende rolle som verdensledende på forsyningskæderne for sjældne jordartsmetaller. Dette skyldes, at kun produktionerne fra Australien og Rusland forarbejdes på anlæg uden for Kina, og at Kina har afgørende indflydelse på de øvrige produktioner uden for Kina. Udfordringerne med at etablere alternative værdikæder til de kinesiske er beskrevet i kapitel 13.

De senere års stigende produktion afspejler de globale omlægninger til fossulfrie energikilder og elektrificeringer, hvortil især neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium er efterspurgt. Dette har ført til, at der er særlig stor interesse for de forekomster, som bedst tilgodeser disse behov, som fx forekomster med monazit.

Der foreligger ikke offentliggjorte data over, hvor store tonnager af de enkelte sjældne jordartsmetaller primærproduktionerne udgør. Da disse oplysninger er vigtige for at vurdere udbud-efterspørgsel, er disse sammensætninger estimerede med udgangspunkt i USGS' (2021) globale produktionsdata for 2020 (Tabel 8-2) og i kombination med forfatterens kendskab til de vigtigste miners mineralogiske sammensætninger. For Myanmar er data for ionadsorptionsforekomsten Tantalus anvendt som proxy, og for Kina er estimerne baseret på de offentliggjorte produktionskvoter for 2020, som blev tildelt 'The Big Six' (se afsnit 12.1) (det samlede estimat for Kina giver dog en lidt højere andel LREE/en lidt lavere andel HREE i forhold til de tildelte produktionskvoter).

Estimerne for fordelingen af de sjældne jordartsmetaller produceret i de enkelte lande er vist i Tabel 8-2 og er kun retningsgivende, hvorfor mængder under 100 ton/år ikke er medtaget; derudover producerer flere lande, end det fremgår af tabellen, tunge sjældne jordartsmetaller. Trods ovenstående forbehold peger estimerne entydigt på, at Kina og Myanmar dominerer produktionen af de vigtige magnetmetaller praseodymium, neodymium, terbium og dysprosium.

## 8.1 Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller

Fordelingen af Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller i 2020 er estimeret med udgangspunkt i kvotetildelingen til konsortierne i The Big Six (se afsnit 12.1 og Appendiks V) og retningsgivende sammensætninger af de sjældne jordartsmetaller i de involverede provinser (Tabel 8-3). Summen af estimerne afviger fra kvotefordelingen; estimerne er ca. 5 % højere og 31 % lavere for hhv. lette og tunge sjældne jordartsmetaller; det er uafklaret, i hvilket omfang den faktiske produktion afviger fra kvoter og estimer.



**Tabel 8-2** Estimer for den globale fordeling af REO i 2020. Kilder: USGS (2021), Appendiks III og Appendiks IV; metode forklaret i teksten. Lys blå: LREE, mørk blå: HREE.

	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	Ton	ton	ton	ton	ton	Ton
Australien	4.000	8.000	1.000	3.000	400	100	200	-	-	-	-	-	-	-	100	<b>16.800</b>
Brasilien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burundi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indien	1.000	1.000	-	1.000	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>3.100</b>
Kina	38.000	60.000	6.000	24.000	2.600	400	1.600	300	1.000	100	500	-	100	-	6.400	<b>141.000</b>
Madagaskar	2.000	4.000	-	1.400	200	-	200	-	-	-	-	-	-	-	100	<b>7.500</b>
Myanmar	2.000	-	6.000	10.000	-	2.100	600	1.500	4.800	-	300	300	300	-	2.100	<b>30.000</b>
Rusland	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	<b>2.100</b>
Thailand	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>2.000</b>
USA	13.000	19.000	2.000	4.000	300	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>38.400</b>
Vietnam	-	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>1.000</b>
<b>Total</b>	<b>62.000</b>	<b>95.000</b>	<b>15.000</b>	<b>43.000</b>	<b>3.600</b>	<b>2.600</b>	<b>2.700</b>	<b>1.800</b>	<b>5.800</b>	<b>100</b>	<b>800</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>-</b>	<b>8.800</b>	<b>241.900</b>

**Tabel 8-3** Estimer for fordelingen af REO i Kina i 2020. Baseret på kvotetildelinger til The Big Six. Lys blå: LREE, mørk blå: HREE.

The Big Six	Kvote	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TLREO	THREO
	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
China Northern Rare Earth	<b>73.700</b>	19.000	37.000	3.000	13.000	1.100	100	300	100	100	-	-	-	-	-	-	72.000	1.700
China Southern Rare Earth	<b>32.800</b>	10.000	16.000	1.000	5.000	400	100	200	-	100	-	-	-	-	-	-	32.000	800
	<b>9.000</b>	3.000	-	1.000	2.000	400	100	400	100	300	-	200	-	-	-	1.500	6.000	3.000
China Xiyou Rare Earth (Chinalco)	<b>14.300</b>	4.000	7.000	1.000	2.000	200	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	14.000	300
	<b>2.800</b>	1.000	-	-	1.000	100	-	100	-	100	-	-	-	-	-	500	2.000	800
Xiamen Tungsten	<b>2.900</b>	-	-	-	-	100	-	200	-	200	100	200	-	100	-	2.000	-	2.900
Guangdon Rare Earth	<b>2.800</b>	1.000	-	-	1.000	100	-	100	-	100	-	-	-	-	-	500	2.000	800
Minmetal Rare Earth	<b>1.400</b>	-	-	-	-	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-	1.000	-	1.400
<b>Total</b>	<b>139.700</b>	<b>38.000</b>	<b>60.000</b>	<b>6.000</b>	<b>24.000</b>	<b>2.500</b>	<b>300</b>	<b>1.500</b>	<b>200</b>	<b>1.000</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>-</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>5.500</b>	<b>128.000</b>	<b>11.700</b>

## 9. Geologiens betydning for forsyningerne af sjældne jordartsmetaller

De sjældne jordartsmetaller findes i mange forskellige bjergarter og geologiske miljøer, men det gennemsnitlige indhold i de fleste bjergarter er langt under, hvad der økonomisk er rentabelt at bryde. Udvinning kan derfor kun finde sted, hvor forskellige geologiske processer igennem Jordens historie har opkoncentreret de sjældne jordartsmetaller. Dette har resulteret i, at sjældne jordartsmetaller findes i mange forskellige mineraler og danner geologiske forekomsttyper, som enten allerede bidrager, eller potentielt kan bidrage, til den globale produktion og forsyning af disse råstoffer.

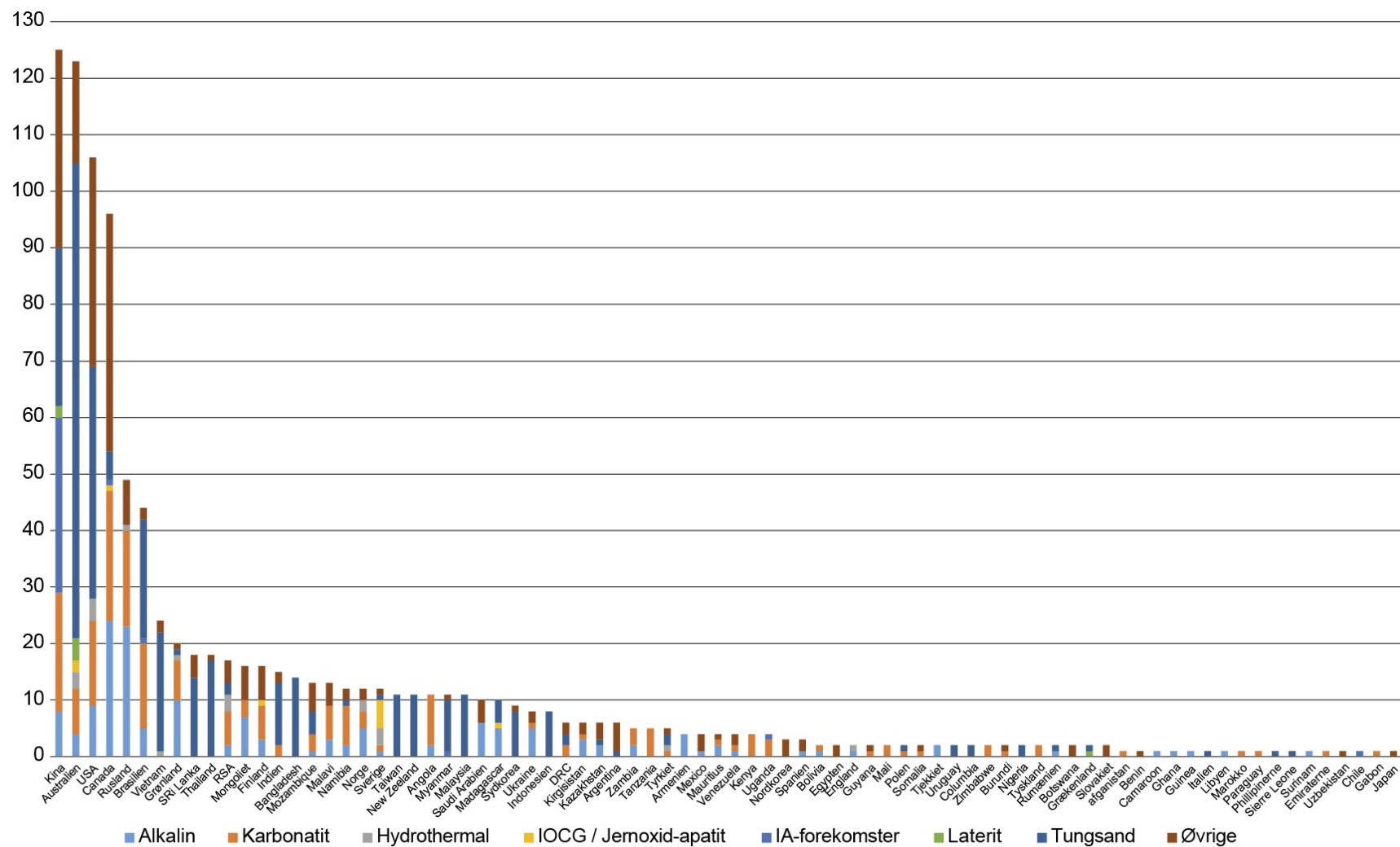
Forekomster af sjældne jordartsmetaller opdeles i forskellige geologiske typer, som hver især har deres kendetegn med hensyn til den indbyrdes fordeling af de sjældne jordartsmetaller, ressourcestørrelser og lødigheder. Forekomsterne opdeles i to hovedgrupper: (i) forekomster, som er dannet i Jordens dyb, og som i denne sammenhæng omfatter både magmatiske og hydrothermale forekomster; og (ii) sekundære forekomster, der er dannet som restprodukter fra kemisk og fysisk nedbrydning af bjergarter og mineraler på eller i nærheden af Jordens overflade, og hvor de sjældne jordartsmetaller efterfølgende er blevet opkoncentreret ved naturlige processer. Geologer anvender lidt forskellige typeopdelinger; i denne rapport anvendes en underinddeling, hvor de sjældne jordartsmetaller er blevet opkoncentreret på otte forskellige måder (Tabel 9-1).

**Tabel 9-1** Geologisk typeopdeling af forekomster af sjældne jordartsmetaller.

REE-hovedgruppe	Undergruppe af REE-forekomster relateret til følgende geologiske miljøer
Magmatiske	Alkaline magmatiske intrusioner
	Karbonatitintrusioner
	Granit- og pegmatitintrusioner
	Hydrothermale (vein og skarn)
	Jernmalmsforekomster af jernoxid-kobber-guld-typen (eng: Iron-Oxide-Copper-Gold (IOCG)) eller jernoxid-apatit-typen
Sekundære	Tungandsforekomster (alluviale; kyst/kystnære; fossile tungandsforekomster)
	Laterit-/bauxit-relaterede forekomster
	Forvittringsforekomster (IA-forekomster)

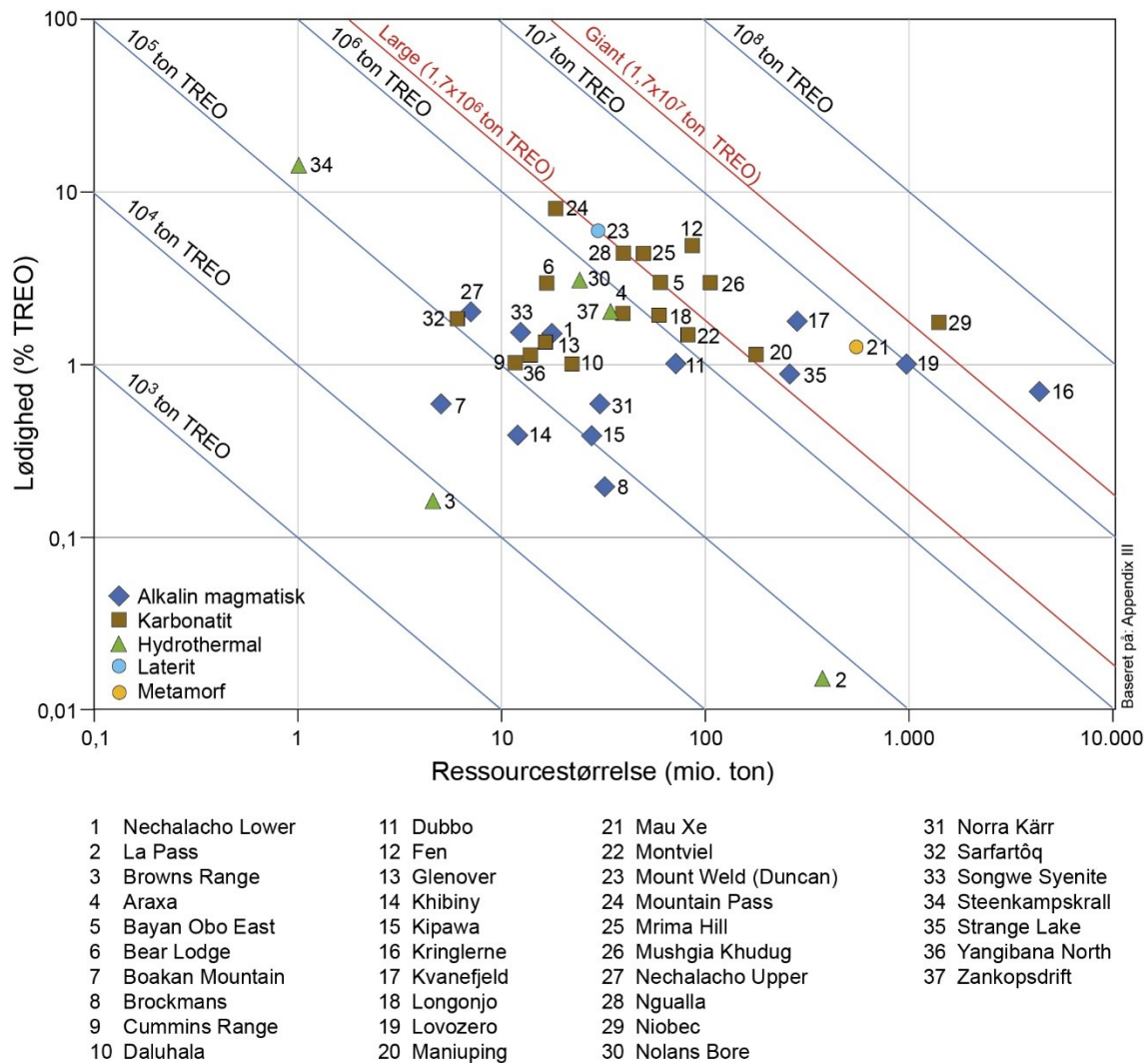
I tilknytning til nærværende rapport er der udarbejdet en oversigt med 1.040 kendte forekomster af sjældne jordartsmetaller (Appendiks I) fordelt på 86 lande (Figur 9-1). Dette høje antal, som på ingen måde er fuldstændigt, er endnu et eksempel på, at første del af begrebet 'sjældne' jordartsmetaller er misvisende.

Klassificering i forskellige forekomsttyper har praktisk betydning for mineralefterforskningen, da hver type indikerer, hvilken sammensætning af de sjældne jordartsmetaller, der kan forventes, hvilke lødigheder de forekommer i, hvor store forekomsterne kan forventes at være, samt om der kan være andre grundstoffer, som eventuelt kan blive biprodukter til en produktion af sjældne jordartsmetaller – eller eventuelt omvendt, at de sjældne jordartsmetaller kan udgøre biprodukter til en produktion af et andet mineral. Det skal dog bemærkes, at mange af forekomsterne ofte er blevet påvirket af efterfølgende geologiske hændelser, som både kan have forstærket eller svækket nogle af de klassiske type-karakteristika. Klassifikationssystemet er derfor ofte et forsimplet billede, og i realiteten er mange af forekomsterne kombinationer af flere typer.



**Figur 9-1** Landfordeling af kendte forekomster med sjældne jordartsmetaller fordelt efter de geologiske typer. Oversigt over de anvendte geologiske typer ses i Tabel 9-1. Kilde: Appendiks I.

De største ressourcer er typisk knyttet til forekomststyper dannet i Jordens dyb, såsom karbonatitter og alkaline intrusioner. Dette er illustreret i Figur 9-2, hvor udvalgte resourcedata fra Appendix IV er anvendt. Som det fremgår, har karbonatitter oftest lidt højere lødighed end alkaline forekomster; de største kendte er dog alkaline, som almindeligvis også har en lidt mere fordelagtig fordeling af sjældne jordartsmetaller, altså en lidt højere andel af de mest efterspurgte sjældne jordartsmetaller.



**Figur 9-2** Efterforskningsprojekter fordelt efter tonnage og lødighed (% TREO) med angivelse af geologisk type. Kilde: Appendix IV.

Nedenstående gives der en sammenfatning af gruppernes karakteristika. Udførlige beskrivelser af bjergarter og REE-mineraler knyttet til de forskellige undergrupper kan bl.a. findes i Orris & Grauch (2002) og Verplanck *et al.* (2014).

## 9.1 Primære forekomster af sjældne jordartsmetaller

### 9.1.1 Alkaline magmatiske forekomster

Alkaline magmatiske forekomster dannes fra alkaline bjergartsmelter, som trænger op fra Jordens kappe og igennem skorpen (Figur 9-3 midt), hvilket typisk sker ved opbrud af Jordens stabile

kontinenter. Under optrængningen påvirkes smelten af de lavere tryk og temperaturforhold højere oppe i skorpen. På et tidspunkt er smelten nået op i områder med andre tryk og temperaturforhold, hvilket bevirker, at nogle af smeltens grundstoffer danner mineraler. Restsmeltens kemiske sammensætning ændres løbende i takt med mineraldannelsen, da de grundstoffer, som har dannet mineralerne, ikke længere er i smelten. Da de sjældne jordartsmetaller er inkompatible pga. stor ionradius og -ladning, dvs. at de ikke passer ind i de almindelige bjergartsdannende mineraler, indbygges de sjældne jordartsmetaller i mineraler sent i krystalliseringsprocessen. På dette tidspunkt er smeltens indhold af de sjældne jordartsmetaller blevet væsentligt opkoncentreret i forhold til det oprindelige niveau i smelten, og derfor har disse sent udkrystalliserede mineraler væsentligt højere indhold af sjældne jordartsmetaller end de kappeafledte smelter. I de alkaline forekomster er det bl.a. mineralerne bastnäsit, eudialyt, loparit, xenotime, monazit og fergusonit, som dominerer.

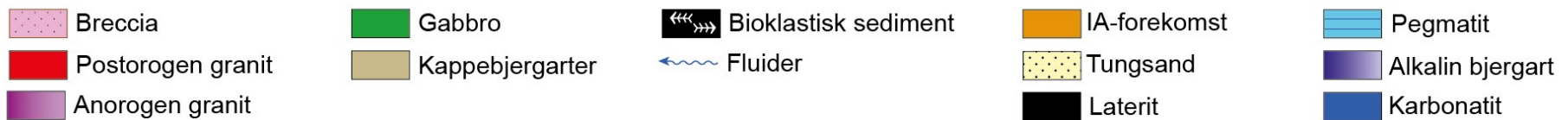
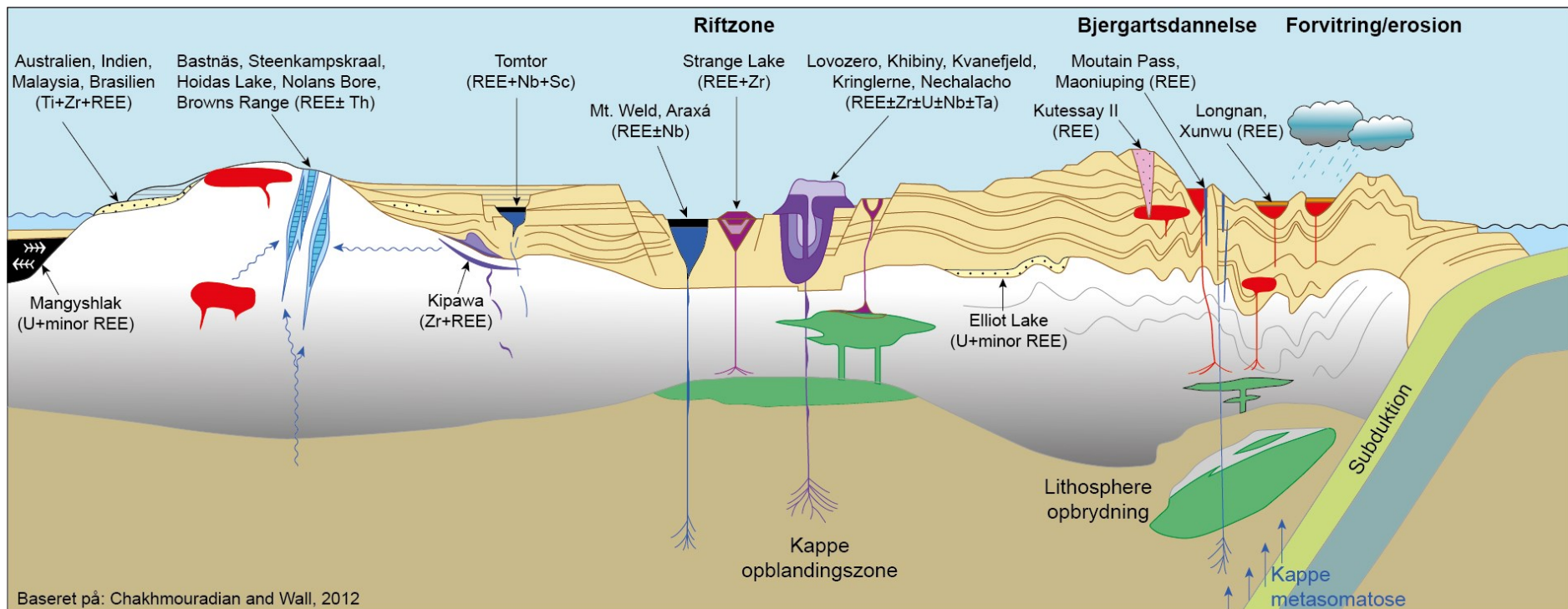
Kendte alkaline forekomster med sjældne jordartsmetaller er bl.a. de grønlandske forekomster Kvanefjeld/Kuannersuit (steenstrupin), Kringlerne/Killavaat Alannguat (eudialyt) og Motzfeldt (pyrochlor), den russiske Lovozero (eudialyt, loparit og apatit), den svenske Norra Kärr (eudialyt), de canadiske Strange Lake (bastnäsit, monazit, gadolinit) og Nechalacho (basnäsit, monazit, allanit, fergusonit) og det sydafrikanske kompleks Pilansberg (eudialyt, fergusonit, britholit). Alkaline bjergarter er ofte karakteriseret ved også at have et relativt højere indhold af zirkon, titan, niobium og tantal samt uran og thorium, der kan være biproduktpotentialer. I Appendiks I er der registreret 152 forekomster af den alkaline magmatiske type.

De alkaline forekomster er ofte store ressourcer med et typisk indhold på 0,7-1,2 % TREO, hvoraf LREE udgør 60-80 % (Figur 9-2). Af de ovenfor nævnte forekomster er det kun Lovozero-forekomsten som er i produktion med en produktion på ca. 10.000 ton REO om året, hvoraf hovedparten er fra udnyttelse af mineralet loparit. Der er efterforskningsaktivitet på de øvrige forekomster, dog er aktiviteterne på Kvanefjeldprojektet indstillet, som følge af indførelse af nultoleranceforbud overfor produktion af uran (2021), og Norra Kärr-projektet er også midlertidigt stoppet, dog som resultat af negative offentlige høringer om projektet.

## 9.1.2 Karbonatitforekomster

Karbonatitter er bjergarter som domineres af karbonatmineraler (>50 %), og hvor indholdet af silicium er lavt (<20 %). Karbonatitter findes ofte i alkaline komplekser, i geologiske rift-zoner og i områder, hvor to kontinentalplader er kollideret (Figur 9-3). Karbonatitforekomster findes som plugs, intrusive breccier og i årer. I Appendiks I er der registreret 200 karbonatitforekomster, hvoraf de fleste findes i Kina, Østafrika, det østlige Canada, Californien, Kola-halvøen i Rusland, Norge og Sverige. I Grønland kendes flere karbonatitforekomster, fx Sarfartoq, Qaqarssuk, Qassiarsuk, Niaqonakavssak og Tikiusaaq.

De mest almindelige REE-mineraler i karbonatitforekomsterne er monazit og bastnäsit samt mindre mængder af huanghoit, parisit og cebait. De karbonatitrelaterede REE-forekomster er karakteriseret ved at være store og med højt indhold af sjældne jordartsmetaller (typisk 1-9 % TREO) og domineres af LREE. Hovedparten af produktionen af sjældne jordartsmetaller fra denne type forekomster er baseret på de to store karbonatitforekomster Bayan Obo (basnäsit, monazit) i Kina og Mountain Pass (bastnäsit, monazit) i USA. Dog er Bayan Obo geologisk set en jernforekomst med sjældne jordartsmetaller og niobium som biprodukter (se afsnit 9.1.4).



**Figur 9-3** Principskitse for de vigtigste geologiske forekomster med sjældne jordartsmetaller og deres dannelsesmiljøer. Baseret på Chakhmouradian & Wall (2012), Goodenough et al. (2016), Liu (2016) og Elliott et al. (2017).

### 9.1.3 Hydrothermale forekomster (vein og skarn)

Hydrothermale forekomster er dannet hvor varme, vandige opløsninger, indeholdende opløste sjældne jordartsmetaller, er trængt ind i andre bjergarter og har opløst dem, hvorefter de sjældne jordartsmetaller under afkølingen er udfældet som REE-mineraler. Denne forekomststype kan være associeret med både granitter, karbonatitter og alkaline intrusioner. Til gruppen hører de to historiske svenske forekomster, Ytterby nord for Stockholm og Bastås ved Riddarshyttan vest for Stockholm, samt Nolans Bore (Australien) og Steenkampskraal (Sydafrika).

De hydrothermale forekomster er almindeligvis små (<1 mio. ton), men kan have høje lødigheder (op til ca. 4 % TREO), og ofte er der mulighed for biprodukter som fx beryllium, niobium og fluor.

### 9.1.4 Jernoxid-kobber-guld (IOCG)- og jernoxid-apatit-forekomster

Jernmalmsforekomster af typen jernoxid-kobber-guld (eng: iron-oxide-copper-gold (IOCG)) er kendetegnet ved at have et højt indhold af jernmineraleerne magnetit og hæmatit og har almindeligvis også højt indhold af barium, fluor og fosfor og kan have forhøjet indhold af sjældne jordartsmetaller. Bayan Obo-minen i Kina, der er verdens største producent af sjældne jordartsmetaller, tilhører geologisk set denne type. Store miner som Olympic Dam, Australien, og Kiruna, Sverige, har forhøjet indhold af sjældne jordartsmetaller og er dermed potentielle producenter af sjældne jordartsmetaller. Selvom de svenske forekomster i Kiruna, Malmberget og Grängesberg-Blötberget, egentlig er jernmalmsforekomster, klassificeres de almindeligvis også som jernoxid-apatit-forekomster. Til jernoxid-apatit-gruppen henregnes også forekomsterne Tantalus (basnäsit, synchesit) og Milo (apatit) i Australien. Begge grupper er store, men lavlødige ressourcer, hvor sjældne jordartsmetaller typisk kun vil kunne bidrage som biprodukt.

De sjældne jordartsmetaller udnyttes på nuværende tidspunkt ikke fra miner af de to forekomsttyper, da Bayan Obo-minen regnes for en karbonatitforekomst.

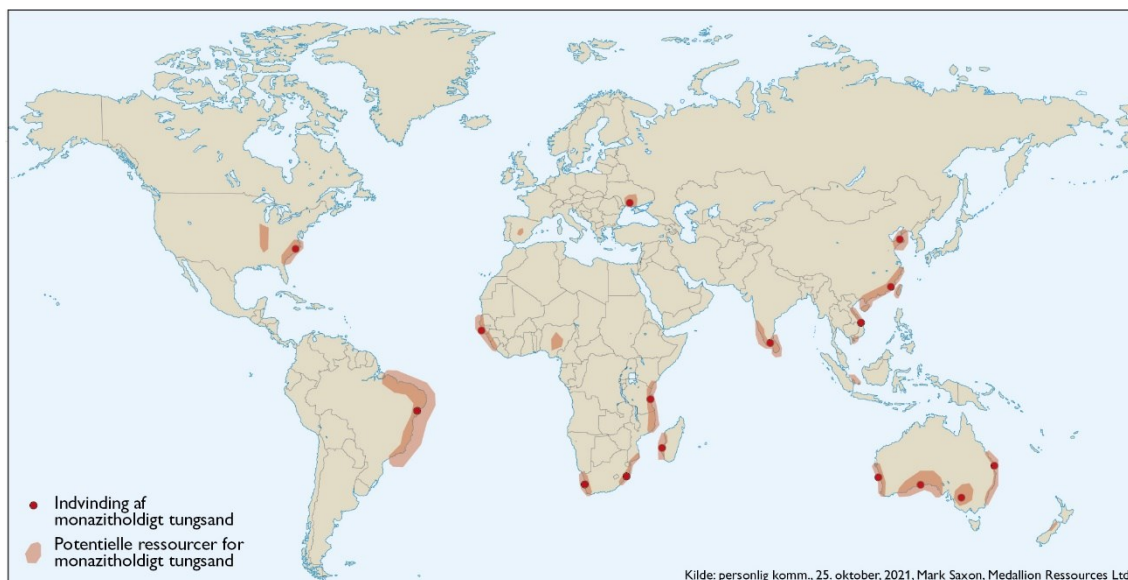
## 9.2 Sekundære forekomster af sjældne jordartsmetaller

### 9.2.1 Tungsandsforekomster (placer deposits)

Nogle af de mineraler, som indeholder sjældne jordartsmetaller, kan efter bjergarternes forvitring modstå fysisk og kemisk nedbrydning og kan aflejres sammen med andre relativt tunge mineraler og danne tungsandsforekomster. Tungsandsforekomster opdeles ofte i forhold til deres dannelses måde, dvs. i alluviale (flodaflejrings) og marine aflejringer (kyst- og nær-kystaflejringer) samt fossile forekomster (aflejringer i alluviale eller marine miljøer, der ikke længere er aktive). Tungsandsforekomster er karakteriseret ved at indeholde forskellige mineraler med økonomisk potentiale, fx titan (ilmenit, rutil m.fl.), zirkonium (zirkon), tin (cassiterit) og i nogle tilfælde i mineraler med indhold af sjældne jordartsmetaller (overvejende monazit), som normalt kun vil udgøre et biprodukt i en produktion.

Det vigtigste REE-mineral i denne gruppe er monazit, som desuden indeholder uran og thorium, men tungsandsforekomsterne kan også indeholde REE-mineralerne xenotim, fergusonit, allanit, pyrochlor og loparit. Generelt er disse forekomster store, men indholdet af sjældne jordartsmetaller er lavt (<0,05% TREO). Lødighederne angives almindeligvis i forhold til, hvor meget der er af det pågældende mineral (fx % monazit).

I Appendiks I der registreret 344 tungsandsforekomster, der dermed er den forekomststype der kendes flest af, men samlet indeholder de ikke nødvendigvis flest ressourcer. Udnyttelse af tungsandsforekomster finder sted i bl.a. Australien, Indien, Madagaskar, Malaysia og USA, hvor monazit og xenotim indvindes som REE-biprodukt til produktioner af tin, titan og zirkon. I Norden kendes typen fra Olserum i Sverige og i Østgrønland fra Milne Land; ingen af disse er i produktion. Figur 9-4 ses områder med kendt indhold af betydelige forekomster af tungsand med monazit.



**Figur 9-4** Områder med kendt indhold af betydelige forekomster af tungsand med monazit. Kilde: Saxon (2021).

For tungsandsforekomster rapporteres ressourcer og produktionsstørrelse ofte blot som mængden af det mineral, der indeholder de sjældne jordartsmetaller, og kun undtagelsesvis ses egentlige ressourceopgørelser specifikt for denne gruppe. Årsagen er antagelig, at produktionen af sjældne jordartsmetaller er biprodukt, som ikke har stor betydning for hovedproduktionen, samt at indvinding af tungsandsforekomster i mange tilfælde ikke kræver store anlægsinvesteringer, hvorfor der er mindre behov for de omfattende undersøgelser, der skal til for at etablere egentlige ressourceopgørelser. Ved omregning fra mængden af et monazitkoncentrat til indholdet af sjældne jordartsmetaller bruges ofte, at koncentratet indeholder omkring 10 % ikke-REE-mineraler, og at monazit indeholder omkring 50 % TREO (stedvis op til ca. 60 %).

## 9.2.2 Ionadsorptionsforekomster

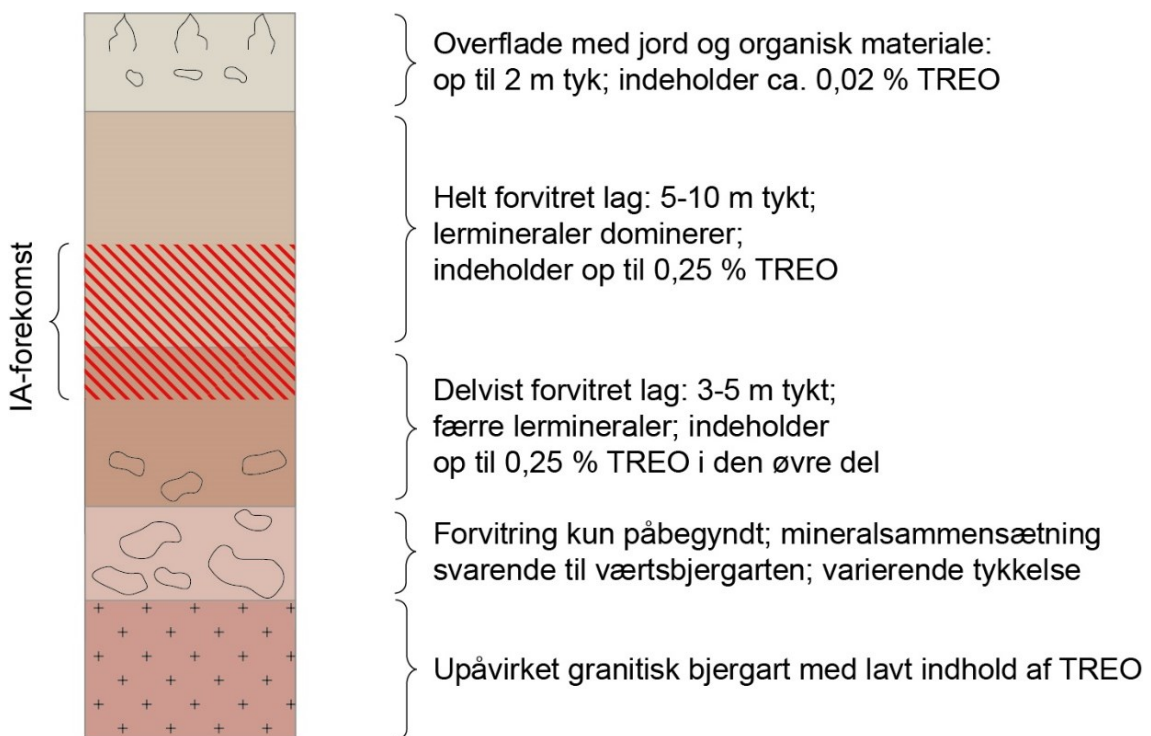
Ionadsorptions(ler)forekomster (IA-forekomster) er dannet i tropisk-subtropisk regnfuldt klima, hvor nedsvivende regnvand gennem tusinder af år har opløst mineralerne i granitiske og vulkanske bjergarter og frigjort bl.a. de sjældne jordartsmetaller, som pga. elektrostatiske kræfter efterfølgende er adsorberet til overfladerne på de lermineraler, der er dannet som led i nedbrydningen af bjergarterne. Denne forekomsttype findes ofte i områder mindre end 200 km<sup>2</sup> og er almindeligvis lavlødige (0,03-0,4 % TREO) med små ressourcer (typisk <100.000 ton TREO). Men sammensætningen af de sjældne jordartsmetaller er relativt stærkt beriget på tunge sjældne jordartsmetaller, herunder bl.a. terbium og dysprosium, som gør dem industrielt attraktive, da disse bruges i magneter (se afsnit 3.2.1). Et typisk profil i IA-forekomster er vist i Figur 9-5; dybderne ned til den berigede zone varierer fra få meter til ca. 30 m under overfladen; det højeste indhold er



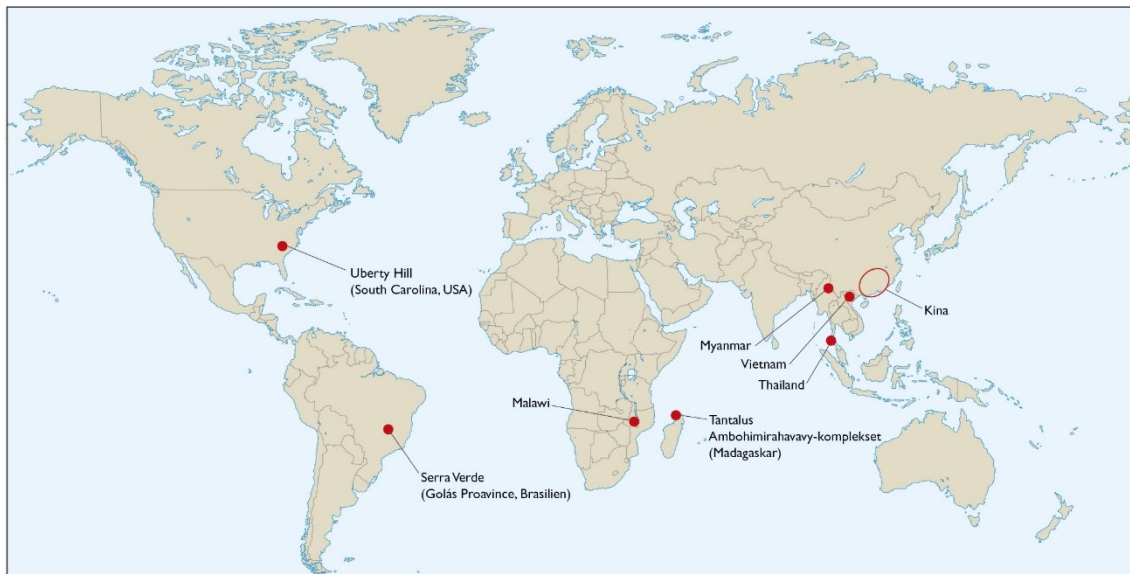
omtrent midt i zonen. Forekomsterne er desuden lette at udnytte ved tilsætning af fx ammoniumsulfat eller natriumklorid direkte i forekomsten eller ved opgravning og behandling i bassin eller tank (O'Callaghan 2012) (se også afsnit 5.1.3).

Ionadsorptionsforekomster findes især i et bælte mellem 30°S og 30°N og er grundlag for produktion i bl.a. Kina (fx Ganzhou, Jiangxi, Guangdong, Longnan, Hunan, Fujian, Xunanwu), i Nujiang Lisu-området i Myanmar og i efterforskningsprojekterne Araxa i Brasilien, Penco i Chile, Tantalus i Madagaskar og Makuutu i Uganda. I de seneste 20 år er der produceret fra omkring 170 forekomster i det sydøstlige Kina, og de udgør stadig en vigtig gruppe for HREE-produktionen i landet (Xie *et al.* 2016). Produktionsmetoden har dog betydelige miljømæssige udfordringer, og af samme grund er den kinesiske småskalaproduktion under udfasning. Der kendes et utal af denne forekomststype, men da mange er tonnagemæssigt små, er de ikke registreret officielt. I Appendiks I er 62 af de beskrevne projekter IA-forekomster. Detaljeret beskrivelse af dannelsen af IA-forekomsten ved Serra Verde, Brasilien, er givet af Pinto-Ward (2017). I Figur 9-6 vises udvalgte IA-forekomster.

Fordelingen af de sjældne jordartsmetaller i disse forekomster varierer betydeligt som følge af de meget forskellige kildebjergarter. I Kina opdeles de i LREE og HREE, typisk i forhold til  $Y_2O_3$ -indholdet, hvor LREE-typen indeholder <50 %  $Y_2O_3$ , og HREE-typen indeholder >50 %  $Y_2O_3$ .



**Figur 9-5** Principskitse for ionadsorptionsforekomster. Kilde: O'Callaghan (2012).



Figur 9-6 Udvalgte IA-forekomster. Kilde: Appendiks I.

### 9.2.3 Laterit-(bauxit)-forekomster

Lateritforekomster stammer fra udvinding af forvittringsbjergarten bauxit (som er en aluminium-malm) og kaldes derfor også bauxitforekomster. Laterit-(bauxit)-forekomster er typisk overfladenære aflejringer, dannet som resultat af kemisk forvitring af granitiske bjergarter, hvor bjergartens oprindelige lave indhold af sjældne jordartsmetaller er blevet opløst og efterfølgende udfældet som sekundære mineraler i tynde, overfladenære lag, beriget med sjældne jordartsmetaller (ofte bastnäsit). Forekomsterne er meget varierende i størrelse og lødighed, men er sjældent større end 50 mio. ton; lødighederne er typisk på 0,1 til 10 % TREO. Mt. Weld-forekomsten i Australien tilhører delvist denne type, da dele af den oprindelige karbonatit efterfølgende er blevet lateritiseret.

Når bauxit anvendes som råstof til aluminium, fremkommer der store mængder 'red mud' efter processeringen; denne type tailings udgør en potentiel lavlødige ressource af sjældne jordartsmetaller, men især er der fokus på at udnytte scandium fra 'red mud', og flere projekter er under vurdering, heraf flere i Grækenland (Panias *et al.* 2014).

## 9.3 Andre geologiske typer af sjældne jordartsmetaller

### 9.3.1 Metamorfe forekomster

Metamorfe forekomster med sjældne jordartsmetaller er primære forekomster, der som følge af Jordens pladetektoniske dynamik i en del tilfælde er blevet påvirket af efterfølgende geologiske hændelser, hvor de er blevet udsat for høje temperaturer og/eller højt tryk, som kan have medført opkoncentrering af de sjældne jordartsmetaller. Der er ikke eksempler på producerende forekomster af denne type.

### 9.3.2 Fosforitforekomster

Fosforitforekomster er sedimentære karbonatbjergarter, som indeholder fosfatrige knolde/noduler med indhold af francolit og fluorapatit, der begge har højt indhold af sjældne jordartsmetaller, hvori de tunge sjældne jordartsmetaller er relativt beriget (Emsbo *et al.* 2015). Bjergarterne er en af verdens vigtigste ressourcer til fremstilling af kvælstof-fosfor-kalium-kunstgødning, som bliver produceret i store mængder (i USA alene ca. 30 mio. ton i 2014 (Emsbo *et al.* 2015)). Almindeligvis overstiger REE-indholdet ikke 0,2 %. I USA findes fosforitforekomster i sedimenter fra Proterozoikum til Pleistocæn, hvori indholdet af sjældne jordartsmetaller ofte er højt i forekomster af Øvre Mississippian-Øvre Devon, hvor lødighederne kan være op til omkring 1 %. Emsbo *et al.* (2015) påpeger, at det er teknisk enkelt at frigøre de sjældne jordartsmetaller ved en udludningsproces, endda med et højt udbytte.

### 9.3.3 Mangannoduler – dybhavet

Sjældne jordartsmetaller findes i dybhavet i to forskellige geologiske miljøer: (i) i form af ferromangannoduler, som udfældes på havbunden i 4.500-6.000 m dybde; og (ii) som jern-manganskorper, der dannes i tilknytning til seamounts<sup>3</sup> og spredningszoner. Indholdet af sjældne jordartsmetaller varierer betydeligt mellem de forskellige kendte forekomster. I seamounts ved Mid-Pacific er der ca. 0,2 % TREO i de polymetalliske noduler; ved Scotia Sea er der ca. 0,3 % TREO i ferromangannodulerne og i marint mudder i det Indiske Ocean er der ca. 0,09 % TREO. Forekomsterne vurderes at være meget store (Takaya *et al.* 2018), men er ikke detaljerede kortlagte, da efterforskning indenfor dette felt er relativt nyt og en eventuel indvinding vil være teknisk udfordret. The International Seabed Authority (<https://www.isa.org.jm/>) udsteder rammer og licenser for efterforskningen i dybhavene.

## 9.4 Mineralernes betydning for forekomsternes økonomi

Ingen af de sjældne jordartsmetaller findes naturligt som egentlige metaller, men findes kun indbygget som hoved- eller sporstoffer i mineraler. Der kendes mere end 200 mineraler, som indeholder sjældne jordartsmetaller, men kun omkring 20, der primært tilhører mineralgrupperne karbonater, oxider, fosfater og silikater, anses for at være kommercielt interessante (Tabel 9-2). De sjældne jordartsmetaller erstatter ofte kationer i krystalstrukturen, som eksempelvis i mineralet apatit ( $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3[\text{F},\text{Cl},\text{OH}]$ ), hvor de sjældne jordartsmetaller sidder på calciums plads i krystalstrukturen.

Hvis et mineral har højt indhold af sjældne jordartsmetaller, fremgår det af den kemiske formel for mineralet. Det gælder fx for mineralet xenotim, hvor de tunge sjældne jordartsmetaller dominerer, og i bastnäsit, hvor cerium og lanthan dominerer. Da hvert af de sjældne jordartsmetaller har omtrentlig samme ionradius og valens, kan de til en vis grad erstatte hinanden i krystalstrukturen, og forholdet mellem dem kan derfor variere i samme mineral dannet i to forskellige forekomster. Hvis et mineral kun indeholder meget små mængder af sjældne jordartsmetaller, fremgår det almindeligvis ikke i den kemiske formel for mineralet.

Indholdet af grundstoffer i Jordens skorpe falder med stigende atomnummer; dog sådan, at der, jf. Oddo-Harkins lov, er mere af de grundstoffer, der har lige atomnummer end det foregående,

---

<sup>3</sup> Seamounts er undersøiske bjerge, der dannes ved vulkansk aktivitet

grundstof med ulige atomnummer (se afsnit 2.3). Der er således højere indhold af lette sjældne jordartsmetaller end tunge, og mere cerium end lanthan i Jordens skorpe.

De enkelte REE-mineraler er karakteriseret ved et givet HREE/LREE-forhold. Som det fremgår af Figur 9-7 har både bastnäsit og monazit et relativt lavt HREE/LREE-forhold, mens mineraler som fx eudialyt, gadolinit, fergusonit og steenstrupin har et lidt højere HREE/LREE-forhold; xenotim har det højeste forhold.



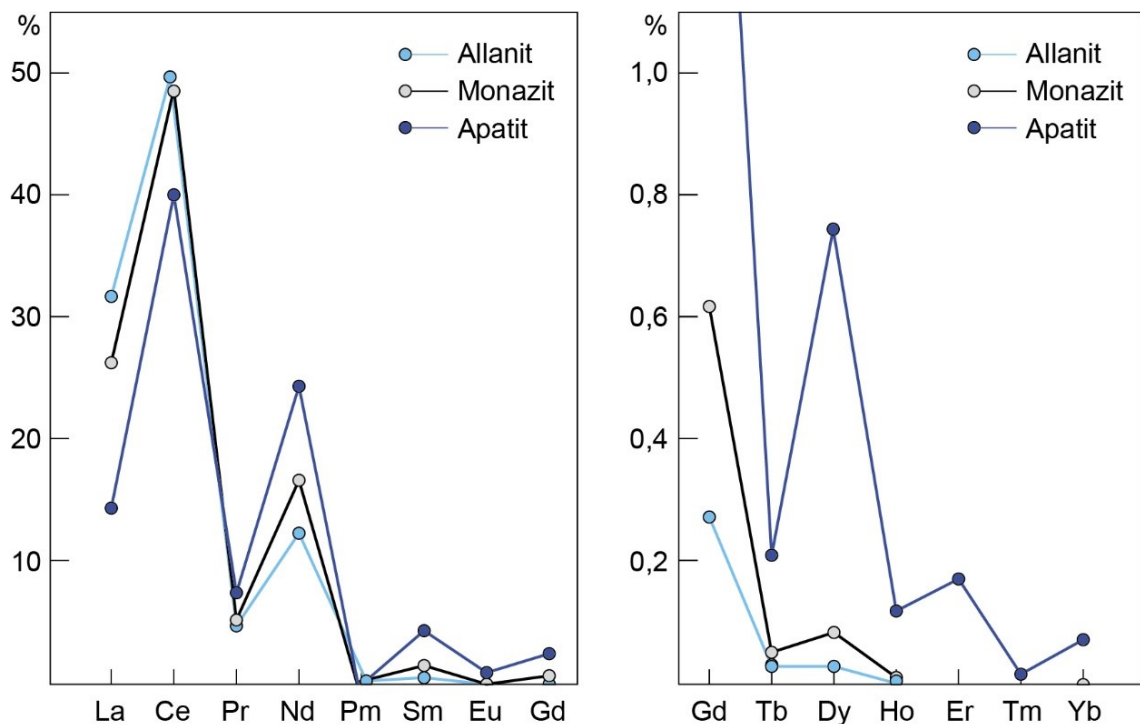
**Figur 9-7** Fordelingen mellem de individuelle sjældne jordartsmetaller i forskellige mineraler og mellem samme type mineral, men dannet forskellige steder. Figur fra Machacek & Kalvig (2017).

**Tabel 9-2** Oversigt over de almindeligste mineraler med sjældne jordartsmetaller. Parentes i første kolonne angiver, om det er dominerende lette eller tunge sjældne jordartsmetaller. Kilder: O'Calaghan 2012, Goodenough et al. 2016 og Chakhmouradin & Wall 2012.

Mineral	Mineralgruppe	Kemisk formel	Wt% TREO	ThO <sub>2</sub> (Wt%)	UO <sub>2</sub> (Wt%)	Geologiske REE-typer
Aeschynit (Ce)	Oxid	(Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>4</sub>	32			Hydrothermal
Allanit (Ce)	Silikat	CaNdAl <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)	23	0,2-1,5	0,1	Alkalin
Ancylit (Ce)	Karbonater	SrCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH)H <sub>2</sub> O	46-53	0,1-0,4	0,1	Karbonatit
Apatit	Fosfat	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	12-19	0,1-10	0,001	
Bastnäsit (Ce)	Karbonater	CeCO <sub>3</sub> F	53-75	<2,8	0,09	Karbonatit/hydrothermal
Brannerit	Oxid	(U,REE,Th,Ca)(Ti,Fe,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>				
ritholit (Ce)	Silikat	(Ce,Ca,Sr) <sub>2</sub> (Ce,Ca) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (O,OH,F)	23			Hydrothermal
Brockit	Fosfat	(Ca,Th,Ce)(PO <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> O				Hydrothermal
Burbankit	Karbonat	(Na,Ca) <sub>3</sub> (Sr,Ba,I,REE) <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>5</sub>				Karbonatit
Cebait (Ce)	Fluorider	Ba <sub>3</sub> Ce <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>5</sub> F <sub>2</sub>	32			
Cerit	Silikat	(LREE,Ca) <sub>9</sub> (Mg,Ca,Fe)(SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (SiO <sub>3</sub> OH) <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub>				
Cerianit (Ce)	Oxider	CeO <sub>2</sub>	90	<5		
Cheralit	Fosfat	CaTh(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>				
Churchit (Y)	Fosfat	YPO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	43-56	<0,3		
Columbit	Niobat	FeNb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>				
Eudialyt	Silikat	Na <sub>15</sub> Ca <sub>6</sub> Fe <sub>3</sub> Zr <sub>3</sub> Si(Si <sub>25</sub> O <sub>73</sub> )(O,OH,H <sub>2</sub> O)(Cl,OH) <sub>2</sub>	9	0,01	0,002-0,09	Alkalin
Euxenit	Oxid	(REE,Ca,U)(Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	20-30	4-5	8-9,5	Alkalin
Fergusonit (Ce)	Niobat	REENbO <sub>4</sub>	43-52	<8	<2,4	Alkalin
Florencit (Ce)	Fosfat	(Ce)Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	32	-		
Fluocerit (Ce)	Fluorid	CeF <sub>3</sub>	83	-		Hydrothermal
Gadolinit (Ce)	Silikat	Ce <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Be <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	60	<0,3	<0,3	Hydrothermal/alkalin
Gerenit (Y)	Silikat	CaNdAl <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> (SiO <sub>4</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)	44	-		
Huanghoit (Ce)	Karbonat/fluorkarbonater	BaCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F	40	-		
limorit	Silicon-karbonat	Y <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> CO <sub>3</sub>				
Kainosit (Y)	Silikat	Ca <sub>2</sub> Y <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (CO <sub>3</sub> )H <sub>2</sub> O	38	-		
Keiviit (Y)	Fluorid	Y <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	69	-		

Mineral	Mineralgruppe	Kemisk formel	Wt% TREO	ThO <sub>2</sub> (Wt%)	UO <sub>2</sub> (Wt%)	Geologiske REE-typer
Loparit (Ce)	Oxid	(Ce,La,Nd,Ca,Sr)(Ti,Nb)O <sub>3</sub>	28-38	0,65-0,85	0,1	
Monazit (Ce)	Fosfat	CePO <sub>4</sub>	38-71	<30	0,2-2	Karbonatit, tungsand, hydrothermal, alkalisk
Mosandrit	Fosfat	(Ca,Na,REE) <sub>12</sub> (Ti,Zr) <sub>2</sub> Si <sub>7</sub> O <sub>31</sub> H <sub>6</sub> F <sub>4</sub>				
Parisit (Ce)	Karbonat/Fluorkarbonater	CaCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	58-63	<4	0-0,3	Karbonatit
Pyrochlor	Niobat	(Na,Ca) <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (OH,F)				Karbonatit
Rinkit	Silikat	(Na,Ca) <sub>3</sub> (Ca,Ce) <sub>4</sub> Ti(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> OF <sub>3</sub>				
Samarskit	Oxid	(Y,Ce,U,Fe,Nb) (Nb,Ta,Ti) O <sub>4</sub>				
Steenstrupin (Ce)	Silikat	Na <sub>14</sub> Ce <sub>6</sub> (Mn <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> (Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub> Zr(PO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>36</sub> (OH) <sub>23</sub> H <sub>2</sub> O	20-30	0,2	0,4-0,8	Alkalisk
Synchysit (Ce)	Karbonat/fluorkarbonat	CaCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F	48-52	<1	0,02-0,03	Karbonatit, hydrothermal
Xenotim (Y)	Fosfat	YPO <sub>4</sub>	43-65	<8,4	<5,8	Hydrothermal
Yttropyrochlor (Y)	Oxid	(Y,Na,Ca,U) <sub>1-2</sub> Nb <sub>2</sub> (O,OH)	17			

Når der foretages en økonomisk vurdering af en malm med sjældne jordartsmetaller, har især følgende to forhold betydning: (i) koncentrationen af sjældne jordartsmetaller i malmen (REO-lødligheden) og (ii) forholdet mellem LREE og HREE. Som nævnt ovenfor er HREE/LREE-forholdet bestemt af, hvilke(t) REE-mineral(er) der er i malmen, mens lødligheden bestemmes af, hvor stor koncentrationen er af de mineraler, der indeholder de sjældne jordartsmetaller. Med den teknologiske udvikling, hvor de økonomisk vigtigste anvendelser er til permanente magneter, er mineraler med højt indhold af praseodymium, neodmium, terbium og dysprosium særligt efterspurgte. Bedømt ud fra dette forhold alene, er apatit mere fordelagtigt at udvinde end fx monazit og allanit (Figur 9-8), men det samlede indhold af sjældne jordartsmetaller i apatit er betydeligt lavere i apatit end i monazit og allanit, hvilket gør de to sidstnævnte mere kommercielt interessante.



**Figur 9-8** Fordelingen af sjældne jordartsmetaller i allanit, monazit og apatit. Kilde: Papunen & Lindsjö (1972).

### 9.4.1 Balanceproblemet

Set fra et kommercielt synspunkt er der generelt et uhensigtsmæssigt forhold mellem REE-mineralernes naturlige sammensætning af de individuelle sjældne jordartsmetaller og den industrielle efterspørgsel af disse. Dette opstår, fordi udvinding af sjældne jordartsmetaller fra mineralet forudsætter, at hele mineralet opløses, hvorved de 16 sjældne jordartsmetaller (promethium er undtaget, se afsnit 2.1) kommer på opløst form i samme forhold, som de fandtes i mineralet. Den efterfølgende separation sker efter atomnummer fra de lette til de tunge sjældne jordartsmetaller. Da de lette sjældne jordartsmetaller i naturen forekommer i større mængde end de tunge, og industriens behov ikke matcher den naturlige fordeling, opstår der derfor en overproduktion af de lette jordartsmetaller som lanthan og cerium. Dette misforhold mellem den industrielle efterspørgsel og de naturgivne sammensætninger omtales ofte som 'balanceproblemet' (Binnemans *et al.* 2013). Balanceproblemet udtrykker den tendens, der er til overproduktion af LREE og en

underproduktion af HREE, og den afsmittende virkning dette har på prisdannelserne af de enkelte sjældne jordartsmetaller og dermed på, hvor økonomisk rentable forekomsterne er.

Det er endnu ikke teknisk muligt at omgå balanceproblemet ved at lave målrettet individuel ekstraktion af de sjældne jordartsmetaller. Balanceproblemet er knyttet til mineralerne i forekomsten, og nogle mineraler giver større udfordringer end andre. For eksempel er bastnäsit et mineral med højt indhold af lanthan og cerium og påvirker balanceproblemet negativt; omvendt giver forekomster med fx eudialyt, xenotim og monazit mindre udfordringer i forhold til balanceproblemet (Figur 9-7). IA-forekomster bidrag oftest positivt i forhold til balanceproblemet, idet indholdet af lette sjældne jordartsmetaller typisk er lavt, mens indholdet af de tunge sjældne jordartsmetaller, specielt yttrium, er meget højt, hvilket kan have betydning for afsætningsmulighederne til mindre nichemarkeder.

Tabel 9-3 viser mineralsammensætningens betydning for to forskellige forekomsters produktion: (i) bastnäsit fra Mountain Pass-forekomsten i USA og (ii) eudialyt fra forekomsten Kringlerne/Killavaat Alannuat i Grønland. For de to forekomster er mængderne af de enkelte sjældne jordartsmetaller beregnet, hvis der ønskes fremstillet hhv. 1 ton europium eller 1 ton neodmium. Produktion af det efterspurgte europium til fremstilling af permanente magneter bevirker, at der også vil blive produceret store mængder af lanthan og cerium; for forekomster med eudialyt er denne mængde omkring  $\frac{2}{3}$  mindre end for bastnäsit-forekomster. Tilsvarende vil der for eksemplet med bastnäsit blive produceret mere end 800 ton lanthan og cerium for hvert ton produceret europium og ca. 200 ton lanthan og cerium for eksemplet med eudialyt.

**Tabel 9-3** Eksempel på mineralernes betydning for økonomien i en forekomst. Produktsammensætningen for bastnäsit fra Mountain Pass, USA, og eudialyt fra Kringlerne/Killavaat Alannuat, Grønland, sammenlignes; vi antager, at der ønskes fremstillet hhv. 1 ton europium og 1 ton neodmium.

	Mountain Pass (bastnäsit)	Kringlerne (eudialyt)	Mountain Pass (bastnäsit)	Kringlerne (eudialyt)
	1 ton Eu giver (kg)	1 ton Eu giver (kg)	1 ton Nd giver (kg)	1 ton Nd giver (kg)
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	332,0	72,6	2,8	1,5
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	491,0	135,7	4,1	2,7
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	43,4	13,2	0,4	0,3
<b>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	120,0	49,8	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,0	9,6	0,1	0,2
<b>Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	0,0	0,0
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7	10,5	0,0	0,2
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0,2	1,9	0,0	0,0
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	11,7	0,0	0,2
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	2,6	0,0	0,1
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	9,8	0,0	0,2
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	1,3	0,0	0,0
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	8,3	0,0	0,2
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	1,2	0,0	0,0
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0	79,1	0,0	1,6

Den mineralogiske sammensætning har derfor stor betydning for omfanget af balanceproblemet og dermed, hvor attraktiv en given forekomst vil være. Af dette følger at REE-forekomster, som domineres af bastnäsit, almindeligvis vil være mindre attraktive sammenlignet med forekomster domineret af monazit, xenotim og REE-silikater. Vurdering af REE-forekomster kan derfor ikke



alene betragtes ud fra forekomstens samlede lødighed for alle de sjældne jordartsmetaller (TREO) på samme måde, som det bruges for fx guld-, jern- eller kobberforekomster. I vurderingerne af forekomster med sjældne jordartsmetaller er det nødvendigt også at inddrage den individuelle sammensætning af mineralerne indeholdende de sjældne jordartsmetaller.

Malmens mineralogiske sammensætning har endvidere betydning for de tekniske muligheder, der findes for at separere mineraler med sjældne jordartsmetaller fra bjergartens øvrige mineraler, ligesom malmens mineralogi har betydning for, hvor let de sjældne jordartsmetaller kan frigøres fra mineralerne. Begge forhold påvirker en REE-mines driftsøkonomi. De fleste produktioner af sjældne jordartsmetaller har været baseret på bastnäsit, monazit og xenotim, og der findes derfor veludviklede teknikker til, hvordan disse mineraler adskilles fra de øvrige mineraler, og hvordan mineralerne efterfølgende kan opløses og de sjældne jordartsmetaller ekstraheres. Den stigende interesse for sjældne jordartsmetaller har medført, at der siden 2000'erne er udviklet metoder til behandling af REE-silikater, men da ingen forekomster er mineralogisk helt ens, er det fortsat nødvendigt at udvikle individuelle metoder til hver ny forekomst, inden en eventuel produktion kan igangsættes. De almindeligste metoder er beskrevet i kapitel 5.

Mange forekomster med sjældne jordartsmetaller indeholder en vis mængde uran og thorium, hvilket giver en særlig problematik, både i forbindelse med udvinding og opbevaring af tailings, og fordi radioaktive stoffer kan findes i de nedre dele af værdikæderne. I forekomsterne findes uran og thorium enten indbygget i mineralerne eller som selvstændige uran- eller thoriummineraller. Problemet med de radioaktive materialer er især knyttet til alkaline intrusioner, karbonatitintrusioner og tungsandsforekomster. Eksempelvis indeholder mineralet monazit ofte betydelige mængder thorium, mens mineralet steenstrupin indeholder både uran og thorium, som det eksempelvis kendes fra Kvanefjeld/Kuannersuit i Grønland. Ved forarbejdning af mineraler fra sådanne forekomster vil uran og thorium også blive ekstraheret og kan bidrage til radioaktiv forurening af både tailings og procesvand og eventuelt også af REE-koncentratet. Ved produktion af sjældne jordartsmetaller skal der derfor tages særlige forholdsregler, som sikrer, at der ikke er radioaktiv forurening i hverken tailings, procesvand eller i mineralkoncentrater. Dette er beskrevet nærmere i kapitel 7.

## 10. Ressourcer og reserver

Mineralefterforskningsprojekter gennemgår typisk en række faste udviklingsfaser, der tilrettelægges trinvis, så nye informationer for et minimum af omkostninger bidrager til at reducere investeringsrisikoen, så projektet kan stoppes, hvis det på det foreliggende grundlag ikke findes økonomisk attraktivt. En central del i alle efterforskningsprojekter er kortlægning og vurdering af projektets ressourcer, som er 'varelageret' til virksomheden/minen, og dermed bestemmer minens levetid. Data fra mineralefterforskningen indgår desuden som information til investorer og til myndighedernes vurderinger af, hvorvidt selskaberne opfylder deres licensforpligtelser. Den typiske fremgangsmåde for nye projekter er vist i Tabel 10-1 og kan for store mineprojekter være mere end 10 år. De største kommercielle risici er knyttet til de indledende faser, men generelt stiger omkostningerne for hvert trin efterforskningen tager. Projektfaserne i Tabel 10-1 og Figur 10-1 viser, hvordan udviklingen af mineralreserven typisk forløber. Projektfaserne er i denne rapport anvendt subjektivt i vurderinger af status for de efterforskningsprojekter, der er listet i Appendiks I.

**Tabel 10-1** Typiske arbejdsstrin for udvikling af mineralforekomster, herunder også forekomster med sjældne jordartsmetaller.

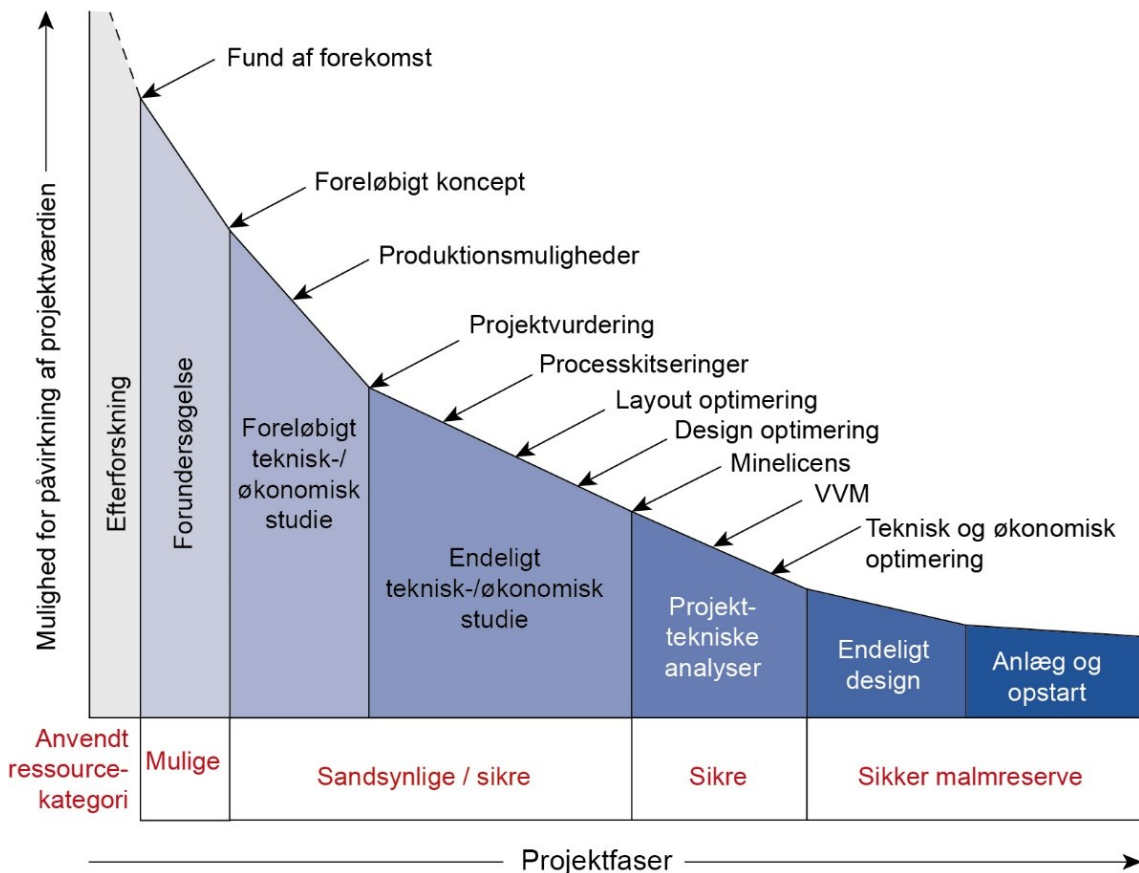
Projektfaser	Aktiviteter
Prospektering	Indsamling af felldata fra overfladen (prøver, geokemi, geofysik o.l.), ofte dækkende et betydeligt område af licensen Forekomsten identificeres/påvises
Efterforskning	Indsamling af overfladeprøver, detaljeret geofysik og geokemi Indledende borer Preliminary Economic Assessment (PEA) Scoping Study (SS)
Avanceret efterforskning	Detailboringer Ressource-/reserve-påvisninger Overordnede kommercielle vurderinger (Pre-Feasibility Study (PFS)) Metallurgiske test Kommercielle projektvurderinger (Feasibility Study (FS); Definitive Feasibility Study (DFS)) Arbejdet målrettes licens- og investoraftaler Bankable Feasibility Study (BFS) Design af mine og anlæg
Udvikling af minen	Opbygning af mine og tilhørende infrastruktur Præproduktion
Produktion	Minen igangsættes (almindeligvis med mindre produktion de første år)
Nedlukning	I lande med ansvarlig råstofforvaltning aftales vilkår for nedlukning allerede ved tildeling af udnyttelsestilladelsen. Omtales ikke yderligere.

*Scoping Study (SS)*: Sammenfattende vurdering af projektet tidligt i projektforløbet på basis af indledende geofysik, geokemi og borer; omfatter ofte en skitsering til et muligt mineprojekt. Formålet er at afgøre, om der er grundlag for opfølgende undersøgelser, og hvilke risici projektet omfatter. Mange efterforskningsprojekter stoppes efter SS.

**Pre-Feasibility Study (PFS):** Teknisk og økonomisk studie (lønsomhedsstudie) som anvendes til at vurdere, hvor stor sandsynligheden er, for at projektet kan føre til et økonomisk rentabelt miniprojekt; udføres almindeligvis midtvejs i projektet. Studiet baseres på indsamlede overfladeprøver, detaljeret geofysik og geokemi samt et betydeligt antal borer, som har dannet grundlag for påvisning af en sandsynlig malmressource; desuden udføres projektskitse for minen og de tilhørende anlæg til behandling af malmen. PFS indeholder også en finansiell analyse af de forventede driftsomkostninger, kapitalbehov og økonomiske risici. En del projekter stoppes efter PFS.

**Feasibility Study (FS):** Teknisk, økonomisk og kommerciel analyse som anvendes til at vurdere, om projektet skal fortsætte og som grundlag for udarbejdelse af detaljerede anlægs- og procesplaner, miljøstudier m.m. I FS er malmlegemet klassificeret som 'påvist reserve' (se afsnit 10.1), og FS indeholder desuden tidsplaner, handlingsplaner og forventninger til finansiell udvikling til en flerårig periode efter minens åbning. En del sjældne jordartsmetalprojekter er nået frem til FS-fasen, men afventer endelig beslutning om projektstatus af forskellige uoplyste årsager (Appendiks I).

**Basic Engineering (BS):** Et positivt resultat af FS vil typisk medføre et behov for yderligere undersøgelser, herunder endelig opgørelse af malmreserven ('mineable reserve'). I denne indgår beregninger af de samlede mængder, som er til rådighed for minedrift, og af lødigheden af den malm som udspænges, og som efterfølgende skal behandles. Derudover indgår forslag til tekniske løsninger af alle trin i en eventuel kommende produktion.



**Figur 10-1** Typiske faser i mineralefterforskningsprojekter som også er gældende for forekomster med sjældne jordartsmetaller. Figuren angiver desuden, på hvilke trin forekomstens ressourcer og malmreserver bestemmes.

## 10.1 Definitioner

Helt overordnet anvendes begrebet *ressourcer* om alt fra skønnede mængder råstoffer til sikkert påviste reserver. Begrebet *ressourcer* benyttes næsten altid i tilknytning til efterforskningsprojekter, hvor selskaberne på basis af basale data angiver skøn for, hvorvidt et projekt *ville kunne være* rentabelt, *såfremt* opfølgende undersøgelser bekræfter ressourcens volumen og lødighed. Begrebet *reserver* angiver den mængde malm, som er sikkert bestemt med forskellige grader af sikkerhed.

Mineindustrien har udviklet forskellige standarder (klassifikationssystemer) for brugen af begreberne *ressourcer* og *reserver*, som skal sikre, at de værdier der er under overfladen – malmen – er velbestemt, både med hensyn til hvor meget der er af det ønskede råstof samt den tredimensionelle udbredelse af malmlegemet. Sådanne standarder er udviklet af mineindustriens organisationer for at sikre investorerne. De mest anvendte standarder er JORC (Australien), SME (USA), NI43-101 (Canada), SAMREC (Afrika), PERC (Europa) samt CRIRSCO, som tilstræbes at blive det globale klassifikationssystem. Bestemmelser af malmmængder og -lødigheder foretages i henhold til internationale, anerkendte retningslinjer og skal i alle tilfælde udføres af uafhængige eksperter. Der pågår desuden bestræbelser på at indføre en United Nations Framework Classification for Resources (UNFC), som i tillæg til klassificering af ressourcerne, også angiver et projekts økonomiske og tekniske status.

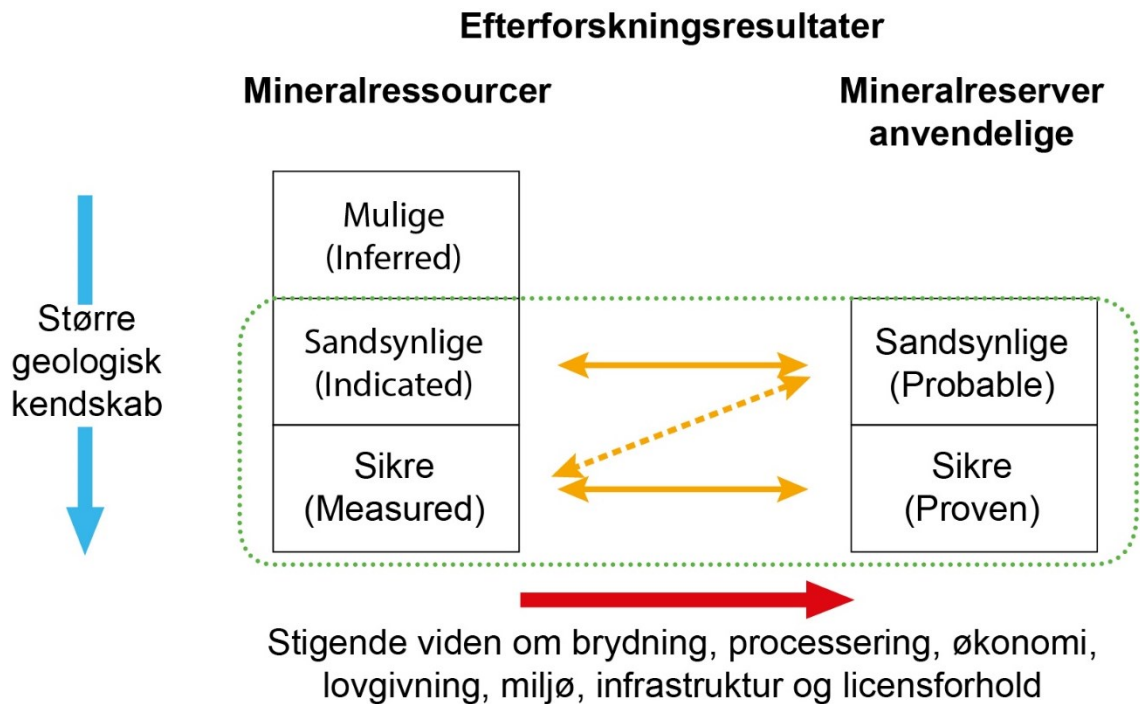
En skematisk oversigt over *ressourcer* og *reserver* er vist i Figur 10-2. Opgørelsen skelner mellem 'mulige' (inferred), 'sandsynlige' (indicated) og 'sikre' (measured) mineralressourcer, som i takt med stigende geologisk information kan klassificeres som én af disse kategorier. Såfremt efterforskningen og økonomiske analyser viser, at en given del af ressourcen kan udnyttes profitabelt, vil denne del indgå som en 'sikker' (proven and measured) mineralreserve, mens den del af ressourcen, som er lige så velbestemt, men som pga. den nuværende teknologi og/eller økonomi ikke kan brydes økonomisk, vil indgå i kategorien 'sandsynlige' (probable) mineralreserver. Dette betyder, at stigninger i råstofpriser, eller nye, billigere produktionsmetoder, kan flytte sandsynlige reserver (probable) til sikre reserver (proven); og omvendt ved faldende priser. Ændringer i teknologiske muligheder kan tilsvarende påvirke reserveopgørelserne.

Beskrivelser af *ressourcer* og *reserver* er vist i Tabel 10-2.

**Tabel 10-2** *Beskrivelse af mineralressourcer og -reserver.*

<b>Ressource</b>	Den del af malmen, som er usikkert bestemt, eller hvor lødighederne med den nuværende teknologi eller priser ikke giver grundlag for en økonomisk produktion, betegnes som <i>ressourcen</i> . Ændres priserne i opadgående retning eller yderligere efterforskningsaktiviteter med stor sikkerhed kan påvise et malmlegeme, kan hele eller dele af ressourcen overgå til reserven.
<b>Reserve</b>	Den del af malmen, hvor (i) tonnagen og den gennemsnitlige lødighed er bestemt med stor sikkerhed; eller (ii) det er påvist, at det er teknisk og økonomisk profitabelt at bryde og processere malmen, betegnes som <i>reserven</i> . Faldende priser kan betyde at dele af reserven ikke længere kan produceres økonomisk, og denne del skal nedklassificeres fra sikker reserve til sandsynlig reserve, eller til sikker ressource.

Lødigheden for sjældne jordartsmetalforekomster angives ofte som indholdet af den samlede mængde af alle sjældne jordartsmetaller, som findes i en ton af malmen/reserven og angives som TREO%. For at kunne vurdere malmens kommercielle værdi er det dog nødvendigt, at vurdere malmens individuelle sammensætning af sjældne jordartsmetaller.



**Figur 10-2** CRIRSCO's definitioner for ressourceopgørelser. Kilde: CRIRSCO (2019).

Efterforskningsindustrien bruger bl.a. ressourcer og reserver til vurderinger og sammenligninger af forskellige projekter; ressourceopgørelserne er dynamiske i forhold til resultater fra efterforskningsaktiviteterne og ændres derfor over tid. I en række tilfælde fremhæver efterforskningselskaber, at deres ressource er særlig stor, og antyder, at dette er en kvalitet i sig selv. Men efterforskningsprojekter med meget store ressourcer, tilstrækkelige til fx >30 års produktion, er ikke i sig selv mere økonomisk attraktive end mindre forekomster med et kortere perspektiv, da de meget lange tidshorisonter ikke kan kapitaliseres. Investorer i mineindustrien ønsker sikre investeringer med et overskueligt tidsperspektiv, som svarer til de usikkerheder, der er indbygget i forretningsmodellerne.

## 10.2 Globale REE-ressourcer og -reserver (top-down)

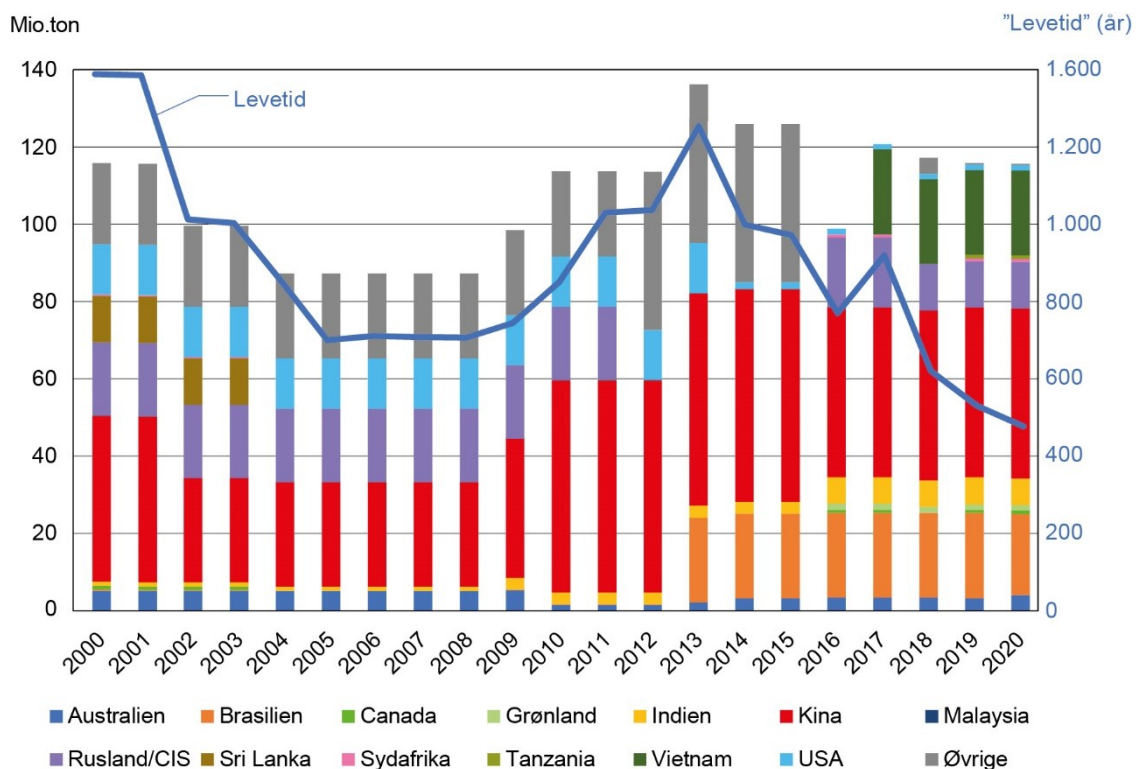
De fleste lande sammenstiller årlige opgørelser af de nationale ressourcer, som bl.a. indgår i internationale organisationers estimater for de globale ressourcer og reserver og dermed i estimater af, hvor mange års produktion der er reserver af for et givet mineralsk råstof.

De nationale opgørelser er baseret på oplysninger fra efterforsknings- og mineselskaberne, og datakvaliteten reflekterer derfor fejl og mangler hos både myndigheder og selskaber samt i visse tilfælde nationale, politisk bestemte udeladelser af data (eksemplificeres nedenstående).

United States Geological Survey (USGS) udarbejder årlige opgørelser for globale sikre reserver for sjældne jordartsmetaller i form af samlet mængde TREO (ton) for de enkelte lande (se fx Tabel 8-1). USGS rapporterer imidlertid ikke størrelsen af de mulige (inferred) og sandsynlige (indicated) ressourcer, og generelt kan opgørelserne af REE-reserverne kun betragtes som retningsgivende pga. en række forbehold, som gennemgås nedenfor. USGS publicerer desuden ikke oplysninger om de enkelte forekomster, deres reserver, lødighed eller mineralogi.

Figur 10-3 viser udviklingen af mineralreserverne i perioden 2000-2020 baseret på USGS (2001 til 2021). Det fremgår, at de totale reserver varierer en del over tid, hvilket primært skyldes, at nogle lande i en årrække ikke er medtaget, fx Rusland/SNG i 2012-2015. Af opgørelserne fremgår, at Brasilien, Indien og Vietnam har forøget reserverne markant, mens USA og Kina begge har nedjusteret deres reserver af sjældne jordartsmetaller i perioden. USA's ændringer er antageligt en følge af lukning/åbning af Mountain Pass-minen, mens Kina har reduceret reserverne i takt med lukninger af IA-produktioner i det sydlige og østlige Kina. Kendere af Kina mener desuden, at Kinas reserver er betydeligt overestimerede (Kruemmer pers. komm. oktober 2021). Derimod er der kun meget små reserver for Canada og Grønland, som begge vides at råde over nogle af verdens største forekomster, som dog stadig er i kategorien sandsynlige, og derfor ikke er omfattet af USGS' opgørelser. Herudover er reserver for nye produktionslande, som bl.a. Myanmar og Madagaskar ikke medtaget, antageligt som følge af manglende viden om IA-forekomsterne i Myanmar og om tungsandsforekomsterne i Madagaskar, som kun producerer sjældne jordartsmetaller, som et biprodukt til ilmenit og zirkon. USGS' (2001 til 2021) opgørelser må derfor anses for konservative.

Set over perioden 2000-2020 varierede de samlede reserver mellem ca. 85 og 130 mio. ton TREO (Figur 10-3). Da forbruget af reserverne i perioden var meget lille i forhold til reservernes samlede størrelse, skyldes de varierende reservestørrelser ikke ændringer i forbruget i denne periode. De fleste af variationerne kan antageligt tilskrives prisvariationer, idet de lave priser i 2000'erne kan have flyttet reserver fra kategorien *sikre* til *sandsynlige*, og derfor ikke medtages; tilsvarende kan væksten i reserverne være en kombination af stigende priser, og at nye lande er medtaget.



**Figur 10-3** Udvikling i REE-reserver (mio. ton TREO) i perioden 2000-2020. Levetiden for reserverne er beregnet som forholdet mellem årets opgjorte reserver og produktion (blå linje). Kilde: USGS (2001 til 2021).

Udtrykket 'levetid' bruges ofte for den tidshorisont reserverne for et givet råstof kan række til, set i forhold til en given produktion. Udviklingen i levetiden for de sjældne jordartsmetaller er beregnet med udgangspunkt i de reserver, der er opgjort af USGS (2001 til 2021) og den årlige produktion i samme periode (blå linje i Figur 10-3). Det fremgår heraf, at reservernes samlede levetid er reduceret fra omkring 1.600 år i år 2000 til 450 år i 2020, hvilket primært skyldes det stigende forbrug. Med de forventede store produktionsstigninger i de kommende år vil levetiden antageligt falde til omkring 200 år frem mod 2025, dog vil eventuelle sandsynlige reserver fra Grønland og Canada kunne påvirke levetiden positivt. Det skal bemærkes, at de estimerede levetider for de sjældne jordartsmetaller er betydeligt højere end for de fleste andre metaller (kobber ca. 43 år; zink ca. 19 år (USGS 2021)), samt at der er meget store tonnager i ressourceklasserne mulige og sandsynlige, som på et tidspunkt kan forventes et blive omklassificeret til sikre reserver.

Da de markedsmæssige forhold for de sjældne jordartsmetaller er dynamiske og i disse år forskydes i retning af hurtig stigning i forbruget af neodymium, praseodymium, terbium og dysprosium skal mere retvisende levetidsestimater baseres på indholdet af disse fire magnetmetaller i reserverne. USGS offentliggør ikke reserverne på hverken type, mineral eller grundstofniveau, og den ønskede relevante sondring er derfor ikke mulig på basis af offentliggjorte data. Dette spørgsmål diskuteres i kapitel 14 på grundlag af data fra Appendiks I og IV. Overordnet kan det igen konkluderes, at hvis begrebet 'sjældne' jordartsmetaller vurderes i forhold til de meget store kendte ressourcer, er navnet misvisende.

### 10.3 Globale ressourcevurderinger (bottom-up)

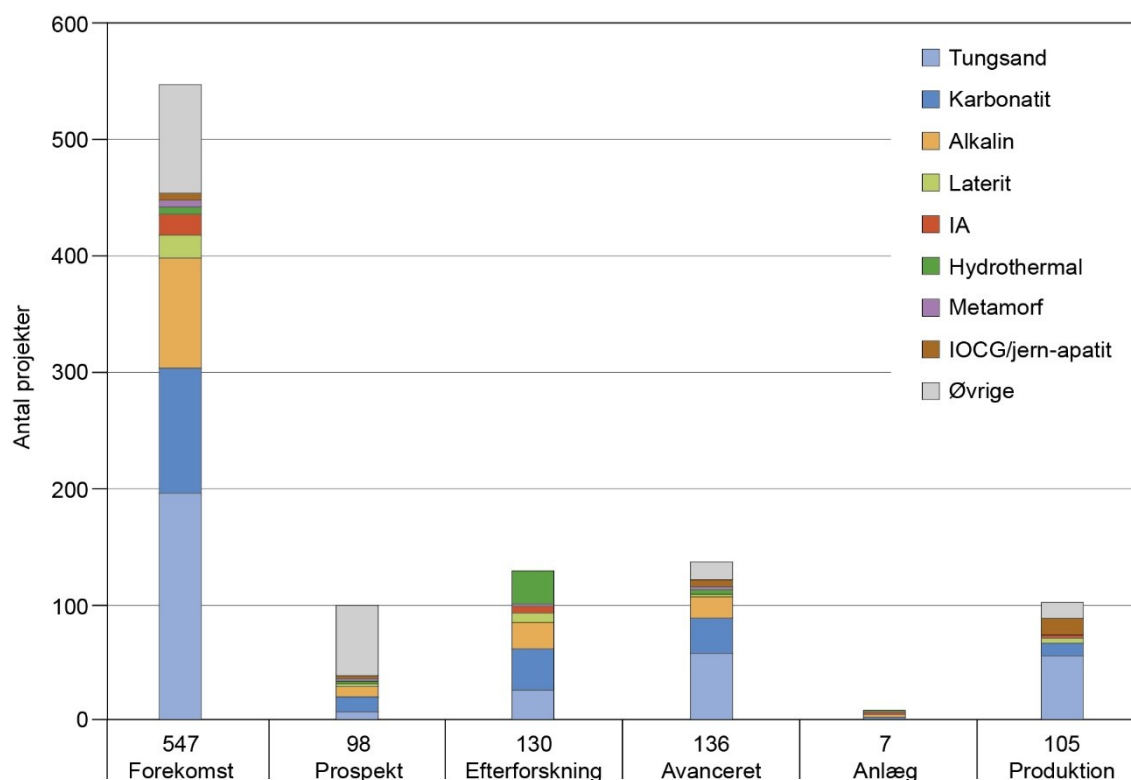
Med udgangspunkt i offentligt tilgængelige informationer har MiMa pr. 22. december 2021 registreret 1.040 lokaliteter med sjældne jordartsmetaller fordelt på 86 lande. Lokaliteterne er på basis af tilgængelige oplysninger og subjektive skøn inddelt i seks kategorier: forekomster, prospekt, efterforskning, avanceret efterforskning, anlæg/mine under etablering og produktion, som angiver, hvor fremskredne projekterne er, se Figur 10-4. I engelsksproget litteratur skelnes der mellem 'mineral occurrence' og 'mineral deposit'; i denne rapport er begge grupper omtalt som 'forekomster'. Den geografiske fordeling af forekomsterne i grupperne 'produktionssteder', 'avancerede projekter og miner under etablering', 'prospekter og efterforskning' samt 'forekomster' er vist i Figur 10-5. De bagvedliggende data fremgår af Appendiks I og Appendiks IV; som følge af efterfølgende justeringer af Appendiks I kan der være mindre uoverensstemmelser mellem Figur 10-4, Figur 10-5, Appendiks I og Appendiks IV.

Vi anser det for sandsynligt, at registreringerne inkluderer alle væsentlige projekter og dermed er nogenlunde retvisende for aktivitetsniveauet, men er bevidste om, at et antal efterforskningsprojekter med stor sandsynlighed ikke er inkluderet, og at registreringen derfor er ukomplet.

Som følge af øget målrettet efterforskningsaktivitet er antallet af beskrevne REE-forekomster steget betydeligt i de seneste 15 år med de største stigninger i lande, som traditionelt har betydelige mineralefterforskningsaktiviteter efter mange forskellige råstoffer, fx Australien, Canada, Kina og USA, samt i en række 'frontier zoner', som Afrika, Sydamerika og Asien. Dvs. at der foregår betydelige efterforskningsaktiviteter uden for Kina, om end det ikke på det foreliggende grundlag kan konkluderes, i hvilket omfang kinesiske interesser er involveret i aktiviteter, som udføres uden for Kina (se evt. afsnit 13.1).

Omkring halvdelen af de registrerede forekomster i Appendiks I er umiddelbart uden kommerciel interesse, og/eller der findes ikke offentligt tilgængelig information om forekomsterne/projekterne.

For et stort antal af de øvrige projekter er forretningsmodellerne baseret på, at de sjældne jordartsmetaller kun skal udgøre et biprodukt, eksempelvis fra monazit fra tungsandforekomster, fra polymetalforekomster med niobium og tantal og fra apatit eller andre mineraler fra jernmalmsforekomster. En oversigt over projekterne fordelt på efterforskningsstadiet og geologisk type er vist i Figur 10-5, hvoraf det fremgår, at der i MiMa's registreringer er 136 projekter, som er vurderet som 'advanced', og 130 som er vurderet som efterforskningsprojekter (altså lidt tidligere i efterforskningsforløbet); det er forventeligt at de nye produktioner frem mod 2030 skal findes blandt disse 266 projekter.



**Figur 10-4** Fordelingen af 1.023 af de 1.040 sjældne jordartsmetalforekomster i Appendiks I. Forekomsterne er inddelt på basis af efterforskningsstadiet. Data fra Appendiks I (opgjort pr. 22. december 2021).

### 10.3.1 Global opgørelse for ressourcer og reserver fordelt efter lande, geologiske typer og efterforskningsstadiet

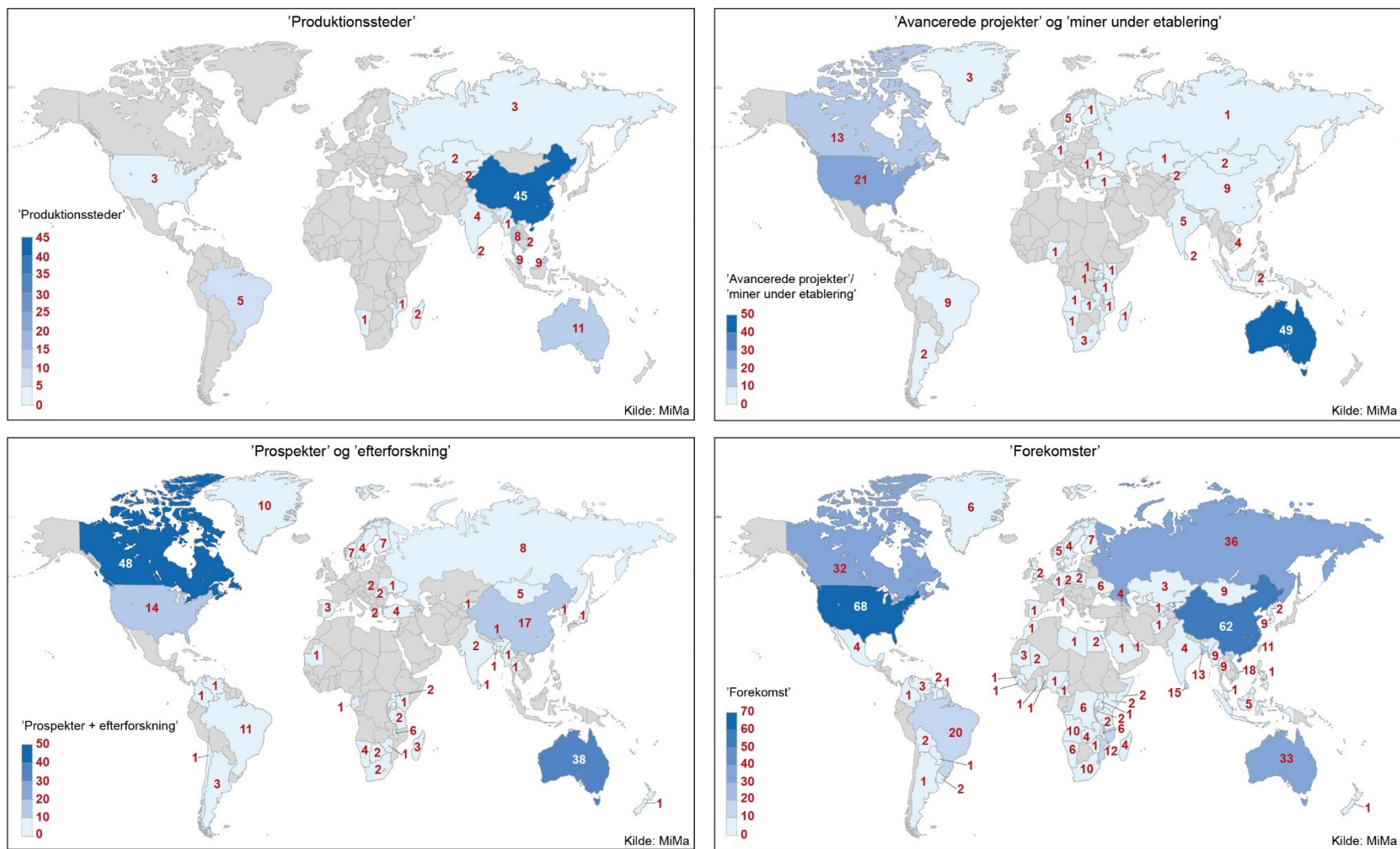
MiMa's registreringer i Appendiks I og Appendiks IV omfatter bl.a. selskabernes rapporterede ressourceopgørelser for de sjældne jordartsmetaller fordelt på lande, ressourceklasse, geologisk type og efterforskningsstadiet. På dette grundlag er der foretaget en opgørelse, som viser, at de samlede TREO-ressourcer udgør ca. 165 mio. ton, hvoraf ca. 14 mio. ton er sikre ressourcer, 93 mio. ton er sandsynlige ressourcer og 58 mio. ton er mulige ressourcer; i tillæg til den sidste gruppe menes Nordkorea at have ca. 60 mio. ton (Tabel 10-3). Hovedparten af de sikre ressourcer findes i Kina, Australien, Grønland og USA. De sandsynlige ressourcer findes især i følgende lande: Grønland, Canada, Vietnam og Australien. En meget væsentlig del af de sandsynlige ressourcer er knyttet til forekomster i Canada og Grønland, hvor det i Grønland især er forekomsten ved Kringlerne, der påvirker resultatet. Den samlede størrelse af de mulige ressourcer vil især være bestemt af, i hvilket omfang ressourcer af jernmalmsforekomster bør indgå. Den samlede



mængde af sikre og sandsynlige reserver er i god overensstemmelse med opgørelserne foretaget af USGS.

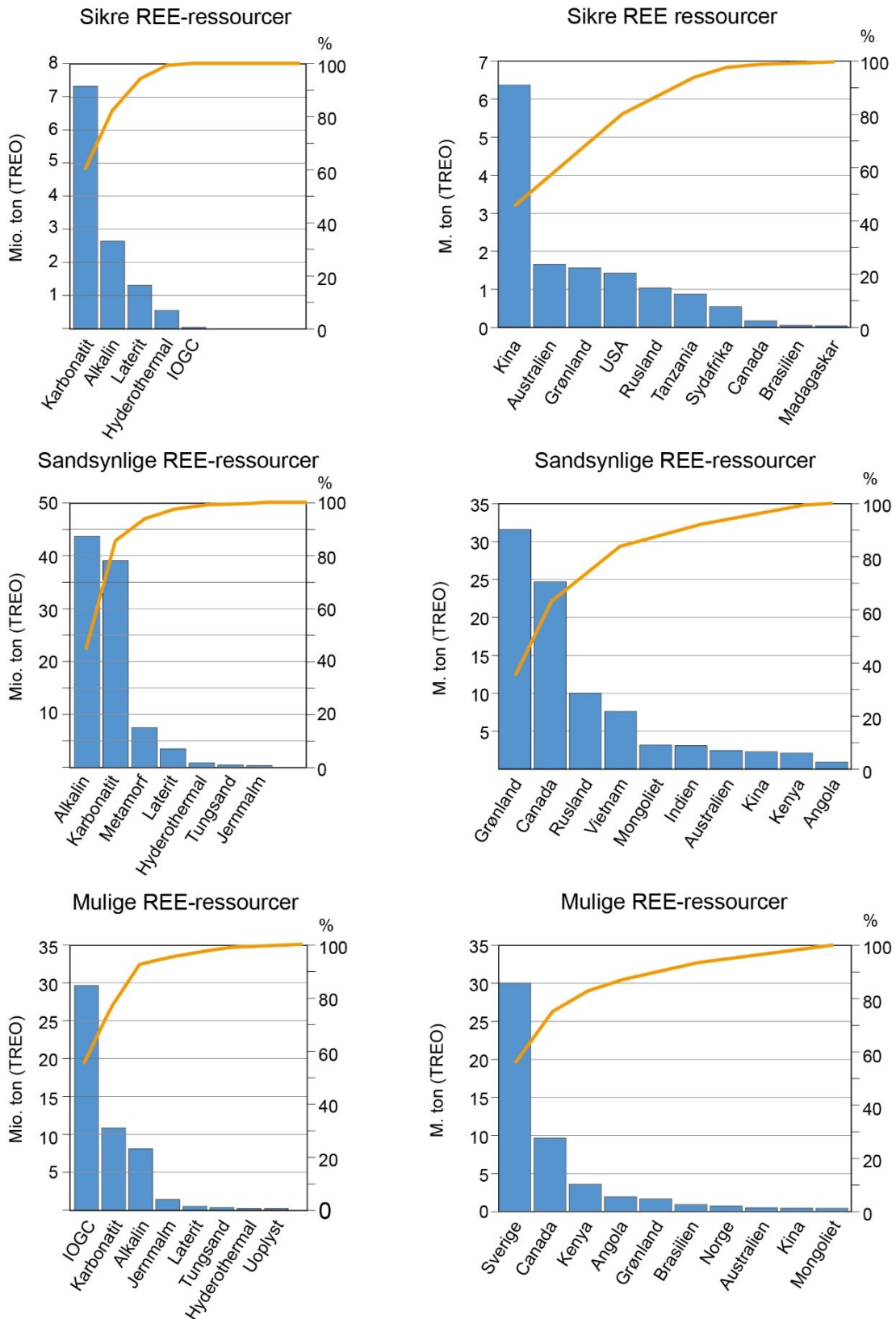
**Tabel 10-3** Globale 'bottom-up' ressourceestimer fordelt i klasserne sikre, sandsynlige og mulige ressourcer. Nordkoreas meget store andel af mulige ressourcer, er ikke dokumenteret. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Land	Sikre ressourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige ressourcer ton TREO
Kina	6.410.000	2.350.000	2.160.000
Australien	1.690.000	3.650.000	3.070.000
Grønland	1.590.000	31.660.000	1.970.000
USA	1.440.000	780.000	30.000
Rusland	1.040.000	10.050.000	-
Tanzania	900.000	90.000	70.000
Sydafrika	570.000	800.000	140.000
Canada	200.000	24.700.000	9.950.000
Brasilien	80.000	1.080.000	1.330.000
Kirgisistan	40.000	50.000	-
Madagaskar	40.000	-	-
Vietnam	-	7.800.000	-
Mongoliet	-	3.150.000	790.000
Indien	-	3.150.000	-
Kenya	-	2.140.000	4.000.000
Angola	-	1.110.000	2.220.000
Malawi	-	320.000	140.000
Sverige	-	190.000	30.080.000
Uganda	-	50.000	150.000
Mozambique	-	20.000	-
Namibia	-	10.000	10.000
<i>Nordkorea</i>	-	-	<i>(59.840.000)</i>
Norge	-	-	990.000
Tyrkiet	-	-	710.000
Zambia	-	-	260.000
Finland	-	-	140.000
Burundi	-	-	30.000
Tyskland	-	-	20.000
<b>Total</b>	<b>14.000.000</b>	<b>93.000.000</b>	<b>58.000.000</b> <b>(118.000.000)</b>



Figur 10-5 Geografisk fordeling af kendte forekomster og efterforskningsaktiviteter af sjældne jordartsmetaller, fordelt på projektets fremdrift. Baseret på Appendiks I.

Vurderes ressourcerne på grundlag af de geologiske typer, er karbonatitter og alkaline magmatiske forekomster de største grupper for de sikre og sandsynlige ressourcer (Figur 10-6).



**Figur 10-6** Fordeling af REE-ressourcer på lande, ressourceklasse og geologisk type. Baseret på Appendiks I.

Som tidligere nævnt er ressource- og reserveopgørelser dynamiske og ændres bl.a. i takt med efterforskningsaktiviteterne og fremdriften i projekterne. Ved vurderinger af sjældne jordartsmetalressourcer og -reserver har det også betydning at kende sammenhængen mellem ressourcerne og de geologiske typer, da dette påvirker malmens sammensætning og dermed har betydning for projektets kommercielle muligheder.

Med udgangspunkt i USGS' (2021) opgørelse af den globale produktion i 2020 på ca. 240.000 ton TREO er den estimerede levetid for de påviste ressourcer ca. 50 år, for de sandsynlige ressourcer ca. 400 år og for de mulige ressourcer ca. 450 år. Dog kan der med ændret efterspørgsel på de enkelte sjældne jordartsmetaller være betydelige afvigelser fra disse estimater.

Da mineralefterforskning er økonomisk drevet, igangsættes disse aktiviteter kun i det omfang – og i de områder – hvor selskaberne skønner at kunne tjene penge. Af samme grund vil det aldrig være muligt at få en samlet vurdering af Jordens ressourcer af et givet råstof, og opgørelserne skal alene betragtes som øjeblikbilleder.

### **10.3.2 Geografisk fordeling af geologiske ressourcer (og efterforskningsprojekter)**

I de følgende afsnit gives en kort beskrivelse af en række sjældne jordartsmetalprojekter med sammenfatning af status fordelt på de enkelte lande eller kontinenter. I beskrivelserne er potentialerne fra eksisterende miner, hvorfra sjældne jordartsmetaller eventuelt i fremtiden kan produceres som biprodukter, ikke medtaget. En samlet liste over de registrerede projekter findes i Appendix I.

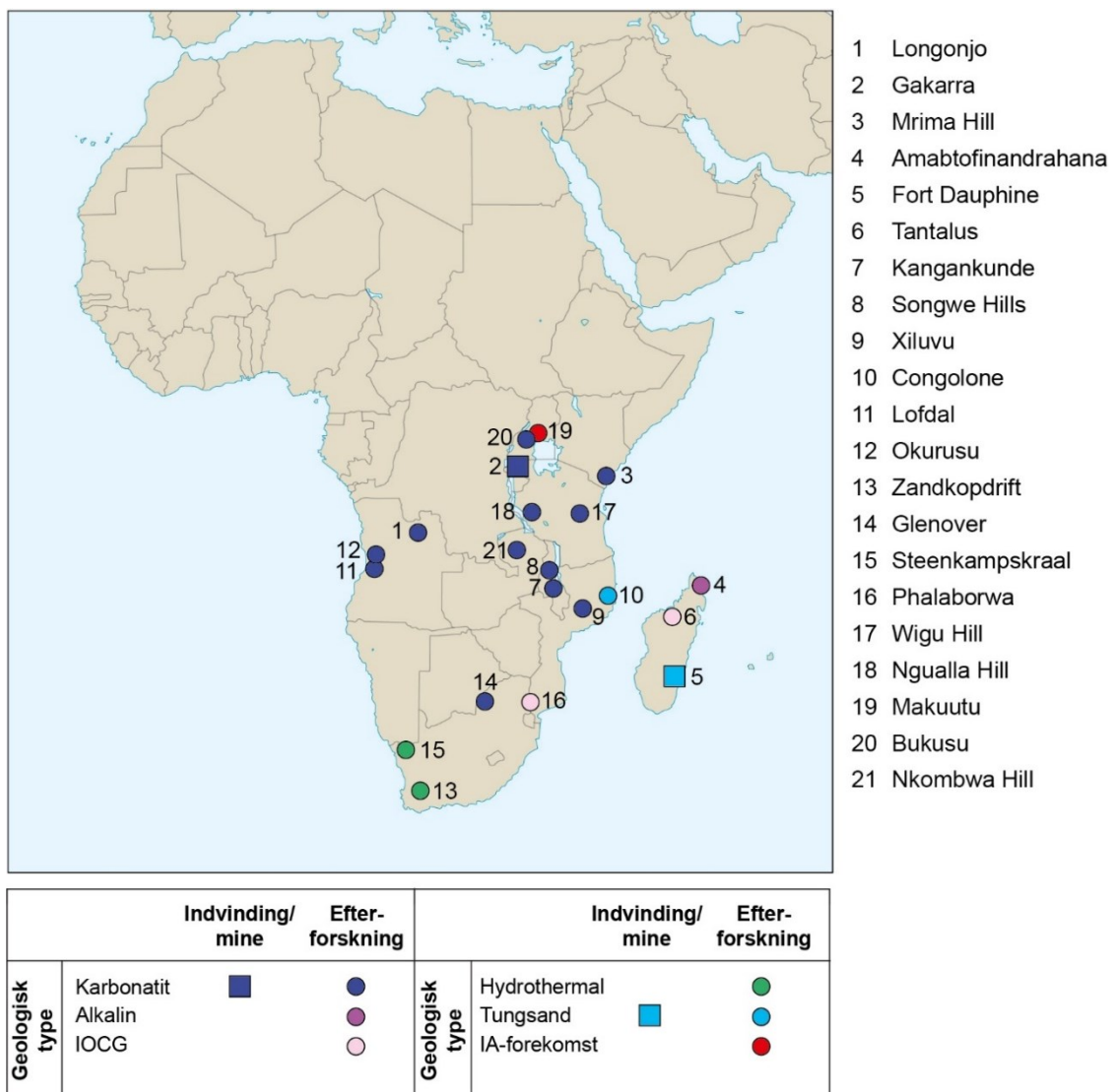
#### **10.3.2.1 Væsentlige ressourcer i Afrika**

Den stigende efterforskningsinteresse for sjældne jordartsmetaller har også medført øget interesse i Afrika, også udenfor de store, kendte forekomster i Sydafrika, Namibia og de sekundære forekomster i Madagaskar; en sammenfatning af forekomsterne er givet af Harmer & Nex (2016) og Kasay *et al.* (2012). Fordelingen af de udvalgte forekomster er vist i Figur 10-7.

MiMa har registreret 124 forekomster/prospekter/projekter fordelt på 27 afrikanske lande (Appendix I). Med udgangspunkt i samme data udgør de sikre ressourcer ca. 1,4 mio. ton TREO, de sandsynlige ca. 4,5 mio. ton TREO og de mulige ressourcer ca. 7 mio. ton TREO. Alle geologiske typer er repræsenteret i Afrika, dog er antallet af karbonatitter særligt stort og er helt overvejende knyttet til udviklingen af den Østafrikanske riftzone og findes i Burundi, Kenya, Malawi og Tanzania. Alkaline intrusioner findes både i Nord- og Vestafrika, men der er relativt få efterforskningsprojekter, som omfatter disse geologiske typer. En betydelig del af REE-efterforskningen i Afrika er målrettet biprodukter fra tungsand indeholdende monazit, som i fx Madagaskar, samt ionadsorptions-/lateritforekomster. Da hovedparten af ressourcerne udgøres af karbonatitter og lateritter, domineres ressourcerne af de lette sjældne jordartsmetaller.

Der er ca. 20 projekter, hvor efterforskningen er meget fremskreden og flere har igangsat brydning i mindre skala (Tabel 10-4). Det anses derfor sandsynligt, at flere afrikanske lande i de kommende år kommer på listen over primærproducenter af sjældne jordartsmetaller. Det er derimod mere usikkert, hvilke forsyningskæder disse bliver en del af, idet flere selskaber forsøger at etablere egne forarbejdningsfaciliteter, som af selskaberne angives at være uden kinesisk indflydelse; dette selvom der også ses eksempler på virksomheder/projekter, som har indgået aftaler med kinesiske virksomheder om teknisk og/eller økonomisk assistance og/eller afsætningsaftaler (se

kapitel 13 for eksempler). Der er ikke offentliggjort planer om etablering af virksomheder i Afrika til forarbejdning og processering af de sjældne jordartsmetaller fra afrikanske miner.



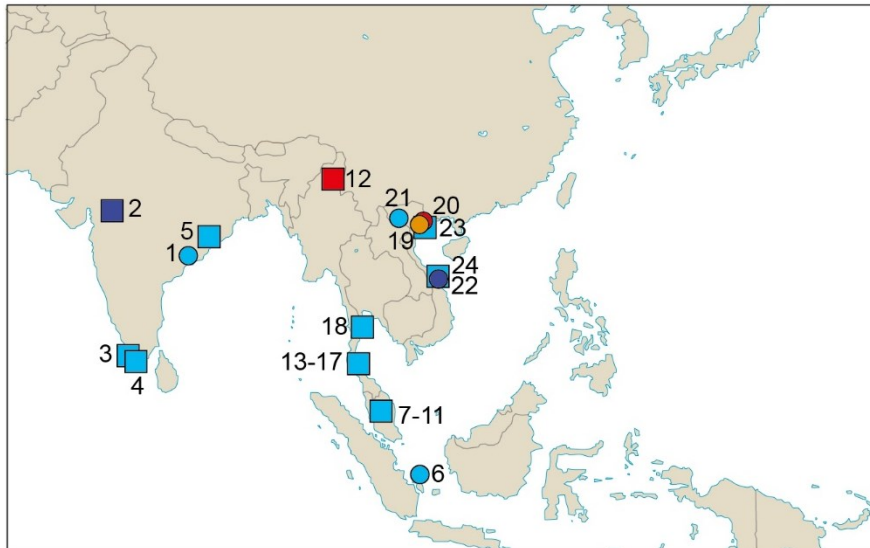
**Figur 10-7** Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Afrika, med angivelse af geologiske type. Baseret på Appendiks I.

### 10.3.2.2 Væsentlige ressourcer i Asien (uden for Kina)

Offentligt tilgængelige oplysninger og data om efterforskningsaktiviteter og ressourcer i Asien er mangelfulde, og Appendiks I samt nedenstående status skal derfor vurderes i dette lys. Appendiks I omfatter 129 forekomster i ni lande; blandt disse forekomster dominerer tungsandsforekomster med biprodukter af de sjældne jordartsmetaller (mest monazit). Det manglende datagrundlag, samt det forhold at tungsandssektoren i denne region domineres af uformelle mindre virksomheder, som ikke udarbejder ressourceopgørelser, betyder, at de registrerede forekomster kun er ca. 13 mio. ton TREO, hvilket ud fra viden om geologi ikke er et retvisende billede af regionens ressourcer for sjældne jordartsmetaller. I tillæg til denne underestimering kan regionen som helhed betragtes som underestimeret, og det samlede ressourcepotentiale antages derfor at være væsentligt undervurderet. Figur 10-8 og Tabel 10-5 viser nogle af de eksisterende miner og avancerede projekter.

**Tabel 10-4** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Afrika, inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Land	Projekt	REE-type	Status	Sikre ressourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige ressourcer ton TREO
Angola	Longonjo	Karbonatit	Avanceret	-	1.114.000	2.221.000
Burundi	Gakara (Karonge)	Karbonatit	Mine under etablering	-	-	26.000
Kenya	Mrima Hill	Karbonatit	Avanceret	-	2.143.000	3.996.000
Madagaskar	Amabtofinandrahana	Alkalin	Efterforskning	-	-	-
Madagaskar	Fort Dauphine	Tungsand	Produktion	-	-	-
Madagaskar	Tantalus	IOCG	Avanceret	39.000	-	-
Malawi	Kangankunde	Karbonatit	Efterforskning	-	106.000	-
Malawi	Songwe Hills	Karbonatit	Efterforskning	-	214.000	136.000
Mozambique	Xiluvo	Karbonatit	Avanceret	-	23.000	-
Mozambique	Congolone	Tungsand	Produktion – biprodukt	-	-	-
Namibia	Lofdal	Karbonatit	Avanceret	-	9.000	10.000
Namibia	Okurusu Complex	Karbonatit	Produktion	-	-	-
Sydafrika	Zandkopdrift Mineral Resource	Hydrothermal	Avanceret	476.000	330.000	17.000
Sydafrika	Glenover	Karbonatit	Efterforskning	-	243.000	119.000
Sydafrika	Steenkampskrail	Hydrothermal	Avanceret	17.000	67.000	-
Sydafrika	Phalaborwa	IOCG	Avanceret	-	158.000	-
Tanzania	Wigu Hill	Karbonatit	Efterforskning	-	-	52.000
Tanzania	Ngualla Hill	Karbonatit	Avanceret	898.000	92.000	22.000
Uganda	Makuutu	IOCG	Efterforskning	-	54.000	151.000
Uganda	Bukusu	Karbonatit	Avanceret – tidligere biprodukt	-	-	-
Zambia	Nkombwa Hill	Karbonatit	Avanceret	-	-	255.000
<b>Total</b>				<b>1.430.000</b>	<b>4.553.000</b>	<b>7.005.000</b>



- 1 Orissa
- 2 Amba Dongar
- 3 Manavalakurichi
- 4 Chavara
- 5 Chatrapur
- 6 Singkep
- 7 Batang Padang
- 8 Bidor Malaya
- 9 Kinta Kellas Batu
- 10 Malayan Batu
- 11 Tronoh
- 12 Kachin
- 13 Chumphon
- 14 Kuan Tong
- 15 Layan
- 16 Phuket
- 17 Ranong
- 18 Prachuap Khiri
- 19 Nam Xe
- 20 Yen Phu
- 21 Muong Hum
- 22 Dong Pao
- 23 Cat Khanh
- 24 Ky Khang

		Indvinding/ mine	Efter- forskning			Indvinding/ mine	Efter- forskning		
Geologisk type	Karbonatit	■	●	Geologisk type	Hydrothermal	■	●		
	Alkalin	■	●		Tungsand	■	●		
	IOCG	■	●		IA-forekomst	■	●		
							Laterit	■	●

**Figur 10-8** Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Asien (ekskl. Kina), med angivelse af geologiske type. Baseret på Appendiks I.

### Indien

Indiens forekomster af sjældne jordartsmetaller domineres af monazit-holdigt tungsand og findes især i delstaterne Andhra Pradesh, Kerala, Chattisgarh, Odisha, Jharkhand, West Bengalen samt i de nordøstlige stater. Indiens produktion af sjældne jordartsmetaller kommer fra produktionsstederne Tamil Nadu og Kerala. Ifølge USGS (2016, 2017, 2021) udgjorde produktionen i 2020 omkring 3.000 ton TREO, mens den kun var ca. 1.700 ton i 2015 og 2016. I tillæg hertil er der en betydelig ikke-registreret produktion af monazitkoncentrat.

### Malaysia

Pengang Mining Company producerer monazit og xenotim som biprodukt til udvinding af tin i Kinta Valley-regionen. Forarbejdningen foretages på selskabets anlæg i Menglembu. Produktionsanlægget har en kapacitet på omkring 500 ton/år for hver af de to koncentrat (Adamas Intelligence 2014).

### Myanmar

Myanmar har siden 2015 produceret sjældne jordartsmetaller og er blevet en central leverandør af tunge sjældne jordartsmetaller til de kinesiske værdikæder. Der foreligger dog kun få informationer om landets ressourcepotentiale, hvilket dels beror på, at der ikke er vestlige efterforsknings- og mineselskaber involveret og dels på, at hovedparten af produktionen er baseret på IA-forekomster, hvor der generelt ikke er tradition for ressourceopgørelser. Desuden kan det være en fordel for det nuværende militærstyre at betragte informationer om ressourcerne som fortrolige data.

## Vietnam

Det statsejede mineselskab Lavreco åbnede i 2011 en produktion fra Dong Pao-minen, hvor der tidligere har været betydelig illegal produktion af sjældne jordartsmetaller. Reserven er angivet til ca. 5 mio. ton. Den øvre forvitrede zone indeholder ca. 10 % TREO, og indholdet af uran og thorium varierer mellem 0,01 og 0,001 %. Forekomsten består overvejende af mineralerne parisit, bastnäsit og apatit og domineres derfor af lette sjældne jordartsmetaller. Produktionen blev igangsat efter indgåelse af aftaler med bl.a. Toyota Tsusho om afsætning til det japanske marked. Der var i 2013 planlagt en produktion på 3.000 ton (Adamas Intelligence 2014), men ifølge USGS (2021) har produktionen ikke oversteget produktionen i 2019 på 1.300 ton/år.

**Tabel 10-5** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i asiatiske lande uden for Kina. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Land	Projekt	REE-type	Status
Indien	Orissa	Tungsand	Mine under etablering
Indien	Amba Dongar	Karbonatit	Produktion
Indien	Manavalakurichi	Tungsand, kystaflejringer	Produktion
Indien	Chavara	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Indien	Chatrapur	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Indonesien	Singkep	Tungsand, kystaflejringer	Avanceret – tidligere biprodukt
Malaysia	Batang Padang	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Malaysia	Bidor Malaya Mine	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Malaysia	Kinta Kellas Batu	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Malaysia	Southern Malayan Batu Gajah Mine	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Malaysia	Tronoh Mines	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Myanmar	Kachin state	IA-forekomst	Produktion
Thailand	Chumphon	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Thailand	Kuan tong Mine	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Thailand	Layan	Tungsand, flodaflejringer	Produktion – biprodukt
Thailand	Phuket	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Thailand	Prachuap Khiri Khan	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Thailand	Ranong	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Vietnam	Nam Xe	Metamorf/laterit	Avanceret
Vietnam	Yen Phu	Tungsand	Avanceret
Vietnam	Muong Hum	Tungsand, flodaflejringer	Avanceret
Vietnam	Dong Pao	Karbonatit	Mine under etablering
Vietnam	Cat Khanh	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt
Vietnam	Ky Khang	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt

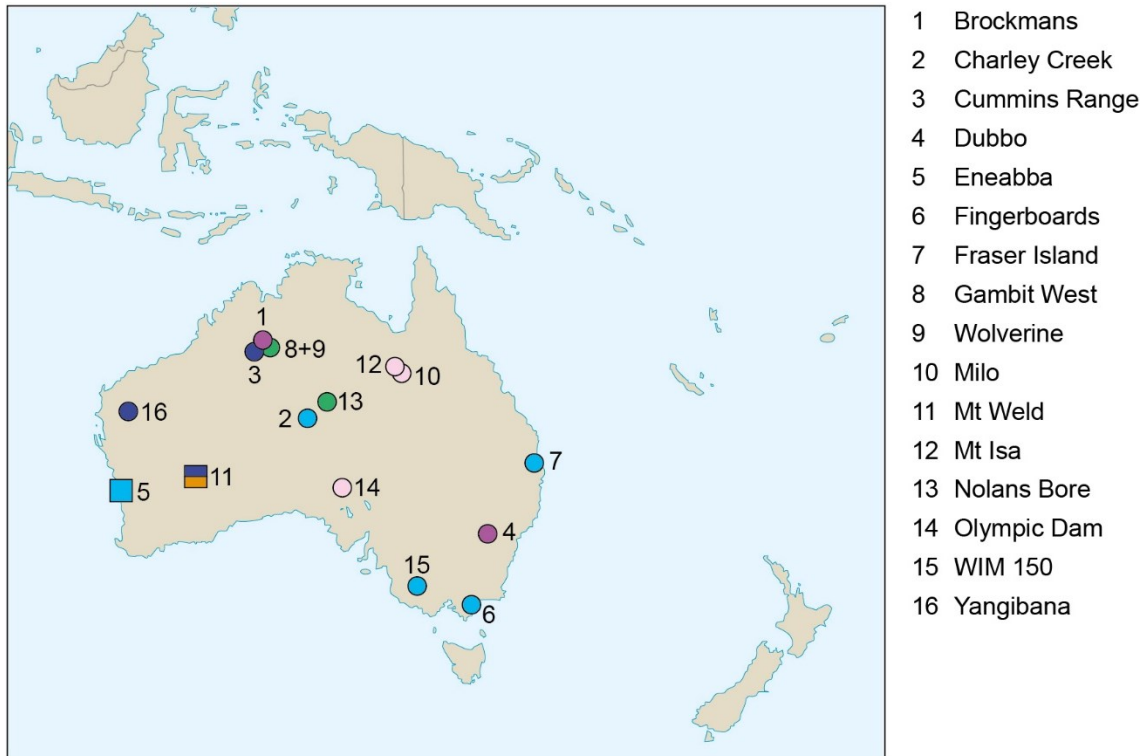
### 10.3.2.3 Væsentlige ressourcer i Australien

Australien har generelt en lang tradition for mineralefterforskning, hvilket bl.a. har betydet, at mineralefterforskning af sjældne jordartsmetaller allerede begyndte i 2000'erne. I Appendiks I er der registreret 128 prospekter/projekter i Australien, hvor Mt. Weld er den eneste mine med sjældne jordartsmetaller som hovedprodukt; herudover indvinder en række virksomheder tungsandskoncentrater med monazit som biprodukt, bl.a. Eneabba (Figur 10-9 og Tabel 10-6).

I opgørelsen i Appendiks I er 85 af projekterne tungsandforekomster, efterfulgt af otte karbonatitforekomster, fire alkaline forekomster, fire lateritforekomster, samt nogle IOCG- og hydrothermale forekomster. Der er 128 prospekter/projekter, hvoraf 16 enten er i produktion eller kan



betragtes som avancerede projekter med potentiale til at bidrage til den globale produktion inden for fem år. Flere stater i Australien tillader ikke produktion, hvor uran er et biprodukt, hvilket bl.a. var årsagen til, at selskabet Lynas Corporation har etableret et forarbejdningsanlæg i Malaysia, da malmen i Mt. Weld indeholder uran og thorium. Australien har derudover begrænsninger på, hvor store ejerandele kinesiske selskaber må have i mine- og efterforsknings-selskaberne, hvilket har ført til, at nogle påtænkte selskabskonstruktioner med kinesiske investorer er blevet afvist.



		Indvinding/ mine	Efter- forskning			
Geologisk type	Karbonatit	■	●	Geologisk type	Hydrothermal	●
	Alkalin		●		Tungsand	●
	IOCG		○		Laterit	●

**Figur 10-9** Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Australien, med angivelse af geologiske type. Baseret på Appendiks I.

Lynas Corporation startede produktion fra Mt. Weld Central Lanthanide Deposit i 2011; selskabet ejer desuden REE-forekomsten Duncan. Mineanlægget og det tilhørende anlæg til behandling af malmen har, ifølge Lynas' egne oplysninger, en kapacitet på 240.000 ton/år malm, svarende til 26.500 ton/år mineralkoncentrat.

Forarbejdning af malmen udføres på selskabets fabrik (Lynas Advanced Material Plant (LAMP)) i Gebeng, Malaysia, som blev igangsat i 2012; der produceres følgende REE-produkter: NdPr-oxider, Ce-karbonater, Ce-oxider, LaCe-karbonater og LaCe-oxider, samt SEG-oxider (Lynas Corporation 2021); selskabet oplyser, at produktionskapaciteten er 22.000 ton/år TREO, hvoraf kun ca. 75 % udnyttes. Produktionen afsættes til kunder i Japan, Europa, USA og Kina (yderligere information om Lynas Corporation i kapitel 13.1.2 og 13.1.21).

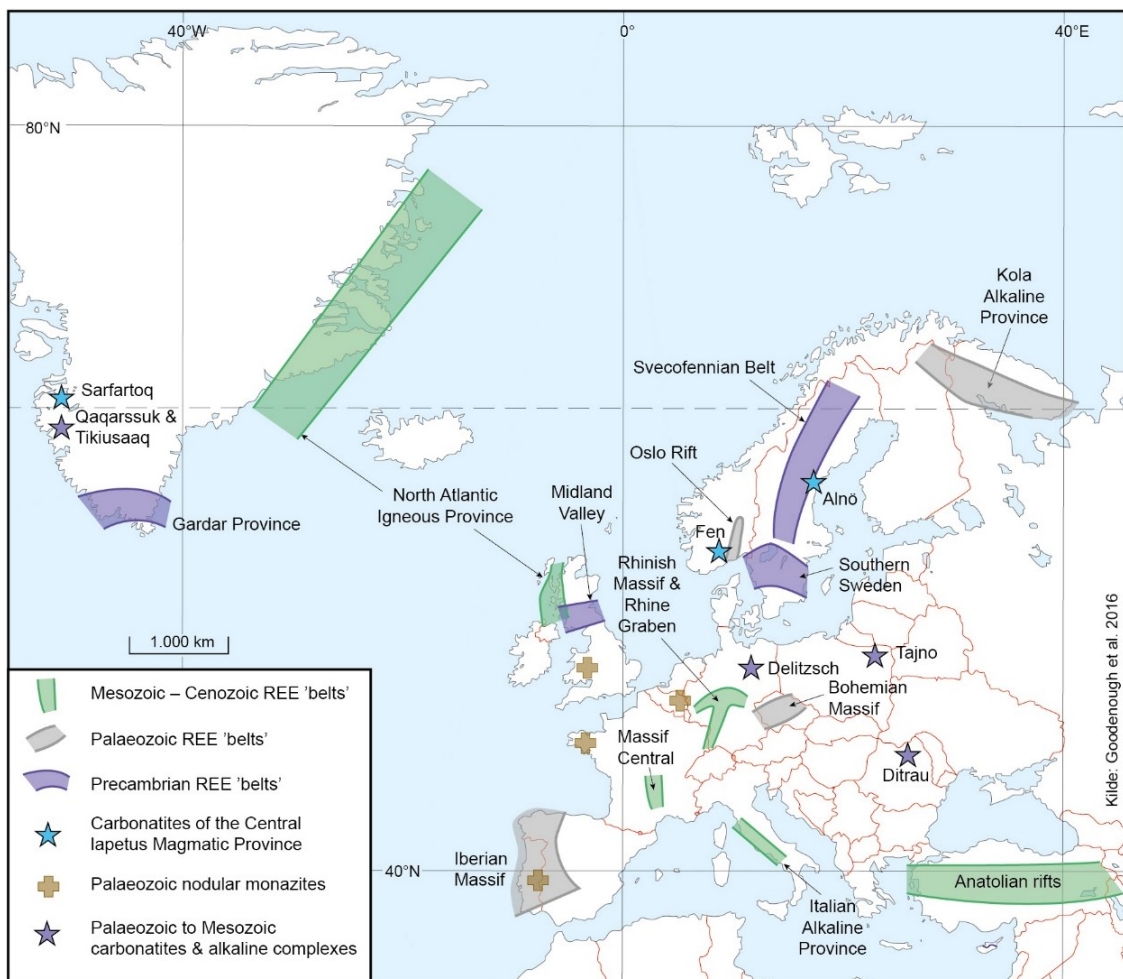
**Tabel 10-6** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Australien, inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Projekt	Type	Projekt-status	Sikre ressourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige ressourcer ton TREO
Brockmans	Alkalin	Avanceret	-	68.000	-
Charley Creek	Tungsand	Avanceret	-	-	-
Cummins Range	Karbonatit	Avanceret	-	147.000	85.000
Dubbo	Alkalin	Avanceret	134.000	651.000	-
Eneabba	Tungsand	Produktion	-	-	-
Fingerboards	Tungsand	Avanceret	-	-	-
Fraser Island	Tungsand, kystaflejringer	Avanceret – tidligere biprodukt	-	-	-
Gambit West (Browns Range)	Hydrothermal	Avanceret	-	-	2.000
Wolverine (Browns Range)	Hydrothermal	Mine under etablering	-	24.000	18.000
Milo	IOCG	Avanceret	-	112.000	112.000
Mt. Weld, Duncan	Karbonatit	Produktion	1.400.000	660.000	-
Mt. Isa	IOCG	Avanceret	-	-	-
Nolans Bore	Hydrothermal/karbonatit	Avanceret	142.000	546.000	528.000
Olympic Dam	IOCG	Produktion – biprodukt	-	-	-
WIM 150	Tungsand, kystaflejringer	Avanceret	-	-	-
Yangibana North	Karbonatit/laterit	Avanceret	5.000	35.000	5.000
<b>Total</b>			<b>1.681.000</b>	<b>2.485.000</b>	<b>750.000</b>

### 10.3.2.4 Væsentlige ressourcer i Europa og Grønland

Ressourcemæssigt er Europa, inkl. Grønland, en af de regioner i Verden, som råder over de største mængder af sjældne jordartsmetaller. I dag kendes der ca. 114 forekomster af sjældne jordartsmetaller i Europa, inkl. Grønland, hvoraf flere er i verdensklassestørrelse (Appendiks I). Forekomsterne fordeler sig i seks geologiske hovedgrupper (Goodenough *et al.* 2016) (Figur 10-10):

- Det Mesozoiske-Cenozoiske bælte, som især omfatter Østgrønland, Nordvestskotland, samt Rhin-graven i Tyskland, Central-massivet i Sydfrankrig og den Anatolske riftzone i Tyrkiet.
- Det Palæozoiske bælte, som især består af det Iberiske massiv i Spanien og Portugal, det Bømiske massiv i Tyskland, Oslo-riften i Norge, samt Kola-halvøen i Rusland.
- Det Prækambriske bælte i Sydgrønland, som domineres af Gardar-provinsen, det Svecofenniske bælte i det nordlige Sverige, samt det sydsvenske bælte.
- Karbonatitintrusioner, hvoraf de større er Fen i Norge, Sarfartoq i Grønland og Alnø i Sverige.
- Palæozoiske monazitforekomster i det sydlige England, Belgien, Frankrig og Portugal, samt
- Palæozoiske-Mesozoiske karbonatitter og alkaline provinser, som fx Qaqaarsuk og Tiki-usaaq i Grønland, samt Lock Loyal i Skotland, Delitzsch i Tyskland, Tajno i Polen og Ditrau i Rumænien.



**Figur 10-10** Oversigt over fokusområder for mineralefterforskningen for sjældne jordartsmetaller i Europa. Kilde: Goodenough *et al.* (2016).

I tillæg til ovenstående kendes der 15 laterit(bauxit)-forekomster i Middelhavsområdet (Goodenough *et al.* 2016). Nogle af disse forekomster udnyttes som råstof til aluminium, men indholdet af sjældne jordartsmetaller udnyttes ikke. Der er en del forskningsprojekter med fokus på udnyttelse af disse ikke-udnyttede ressourcer, herunder flere med særligt fokus på scandium. Hovedparten af de europæiske forekomster af sjældne jordartsmetaller efterforskes ikke, da ressourcestørrelse og -lødighed eller logistiske forhold ikke gør dem kommercielt interessant.

De sikre reserver i Europa, inkl. Grønland, udgør ca. 1,5 mio. ton TREO, mens de sandsynlige og mulige ressourcer udgør hhv. 32 og 34 mio. ton TREO (Appendiks IV); hovedparten af disse ressourcer er knyttet til Grønlands undergrund. Det skal dog bemærkes, at især unøjagtige opgørelser fra Kringlerne i Grønland påvirker ressourcerne i opadgående retning.

De seneste ca. 15 år har den europæiske mineralefterforskning især været rettet mod forekomster i Grønland, Sverige, Norge og Finland, hvoraf flere er kommercielt interessante, og hvor der pågår tekniske, økonomiske og miljømæssige undersøgelser af mulighederne for at bringe dem i produktion. Særlig opmærksomhed knytter der sig til de alkaline forekomster i Grønland (Kvanefjeld/Kuannersuit og Kringlerne/Killavaat Alannguat) og Sverige (Norra Kärr) samt karbonatitkomplekset Fen i Norge, som alle indgik i EU-forskningsprojektet EURARE ([www.eurare.org/](http://www.eurare.org/)), der havde til formål at vurdere mulighederne for at etablere forsyningskæder i EU (og de associerede lande Grønland og Norge) (Tabel 10-7).

### Grønland

Den internationale mineralefterforskning af Grønlands potentiale for sjældne jordartsmetaller startede i 2007 med en enkelt licens, som havde fokus på det alkaline Ilímaussaq-kompleks, som på dette tidspunkt var geologisk velbeskrevet på grundlag af 50 års videnskabelige undersøgelser og flere års uranefterforskning. Den hurtigt voksende globale interesse for sjældne jordartsmetaller medførte en betydelig stigning i efterforskningsaktiviteterne i Grønland. I 2015 var der 19 efterforskningslicenser efter sjældne jordartsmetaller, som dækkede et areal på ca. 3.200 km<sup>2</sup> og på dette tidspunkt udgjorde en betydelig del af mineralefterforskningen i Grønland.

Der kendes i dag 20 forekomster med sjældne jordartsmetaller, men desuden kendes en række områder, som skønnes at have potentiale for sjældne jordartsmetaller, som er fordelt på følgende typer (se også Figur 10-11):

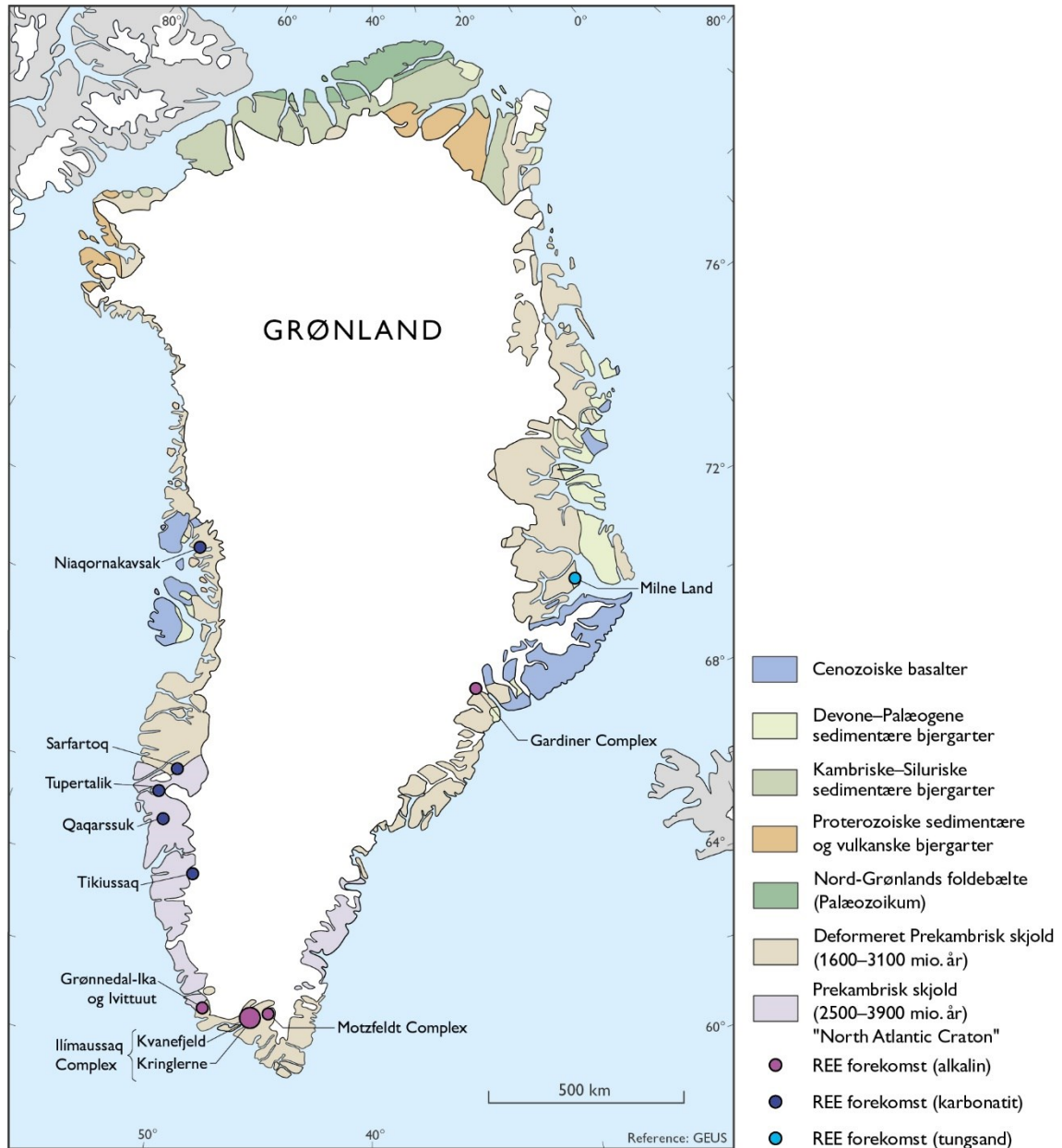
- Alkaline bjergarter i Gardarprovinsen i Sydgrønland (Kvanefjeld/Kuannersuit, Kringlerne/Killavaat Alannguat, Motzfeldt, Grønnedal-Ika m.fl.) og Gardinerkomplekset i Østgrønland
- Karbonatitforekomster i Vestgrønland (fx Sarfatoq, Qaqarssuk, Qassiarsuk, Tikiusaaq)
- Tungsandsforekomster (fossile) i Østgrønland (Milne Land)
- Hydrothermal forekomst i Vestgrønland (Niaqornakavsak)

I 2021 er tre af licenserne med de største ressourcer stadig aktive (Tanbreez' licens ved Kringlerne/Killavaat Alannguat, Greenland Minerals licens på Kvanefjeld/Kuannersuit samt Hudson Resources licens ved Sarfartoq); Tanbreez fik tildelt en udnyttelsestilladelse i 2020.

Greenland Minerals ansøgte i 2016 om udnyttelsestilladelse til forekomsten på Kvanefjeld/Kuannersuit, men miljøudfordringer som følge af indhold af uran og thorium samt den geografiske nærhed til Narsaq bevirkede en flerårig ansøgningsproces. I løbet af denne periode ændrede den politiske opbakning til projektet sig som følge af indholdet af uran og thorium, og i efteråret 2021 indførte Naalakkersuisut (Grønlands Landsstyre) en lov, som forbyder mineralefterforskning af

uran og udnyttelse af bjergarter med indhold over 100 ppm uran (U). Som konsekvens heraf har Greenland Minerals besluttet at indstille aktiviteterne i Grønland (KNR 2021).

En samlet oversigt over de vigtigste grønlandske forekomster med sjældne jordartsmetaller er vist i Figur 10-11. En gennemgang af Grønlands ressourcepotentiale for sjældne jordartsmetaller er givet i Paulick *et al.* (2015) og Goodenough *et al.* (2016).



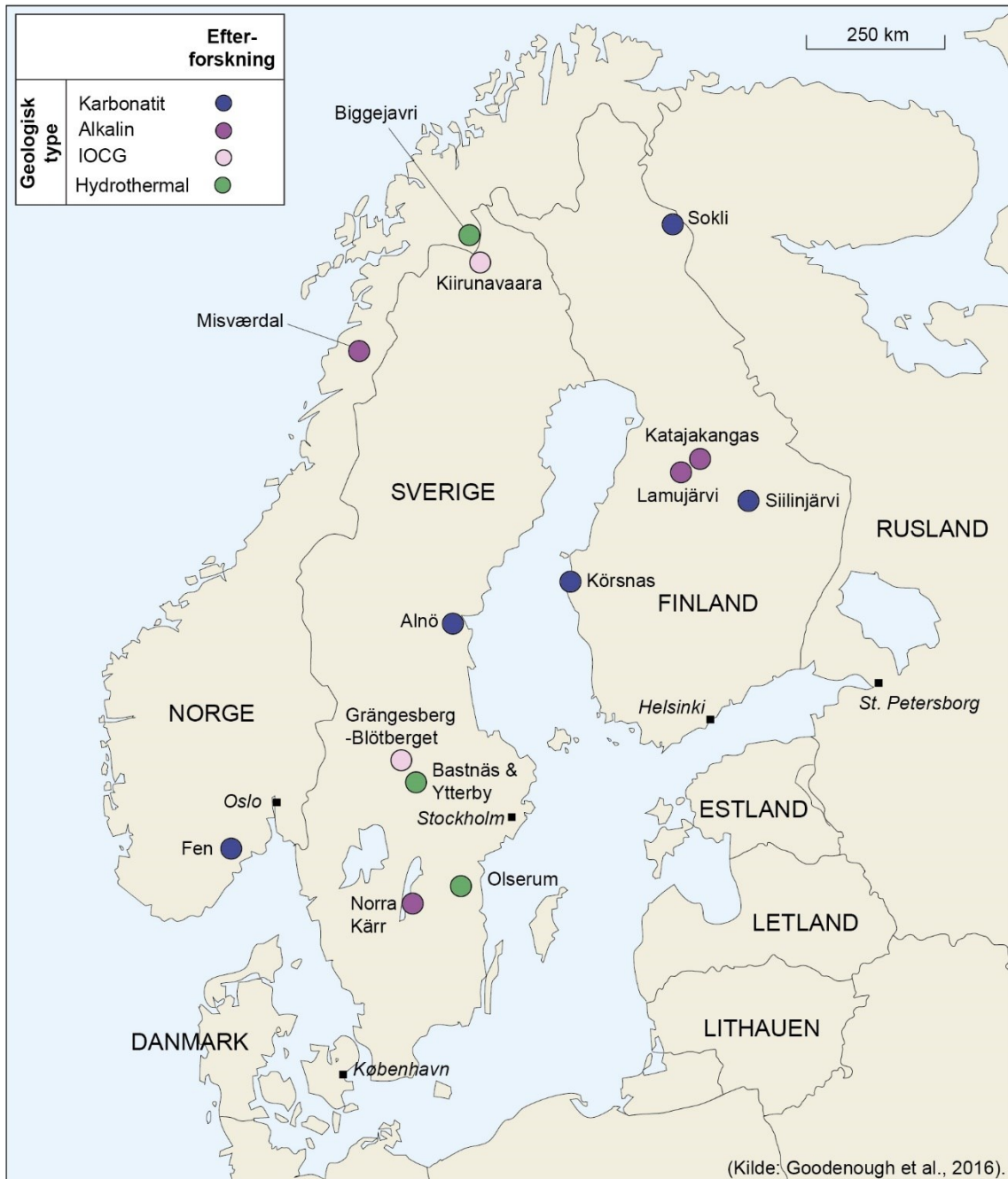
**Figur 10-11** Geologisk kort med de vigtigste forekomster med sjældne jordartsmetaller i Grønland. Kilde: Goodenough *et al.* (2016).

**Tabel 10-7** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller Norden, inkl. Grønland. Ressourceestimer vises, hvis de er tilgængelige. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Land	Lokalitet	REE-type	Selskab	Status (tolket)	Sikre ressourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige ressourcer ton TREO
Finland	Sokli	Karbonatit	Finnish Minerals Group	Avanceret	-	-	-
Grønland	Kvanefjeld (hovedområdet)	Alkalin	Greenland Minerals A/S	Avanceret (pause)	1.600.000	3.600.000	800.000
Grønland	Sarfartoq	Karbonatit	Hudson Resources A/S	Efterforskning (pause)	-	100.000	-
Grønland	Kringlerne	Alkalin	Rimbal Pty Ltd	Avanceret	-	28.000.000	-
Norge	Fen	Karbonatit	REE Minerals AS	Efterforskning	-	-	900.000
Sverige	Olserum	Hydrothermal	Leading Edge Materials Ltd.	Avanceret	-	-	-
Sverige	Kiruna	Jern-oxid-apatit	LKAB	Avanceret – biprodukt	-	-	19.800.000
Sverige	Leveaniemi	Jern-oxid-apatit	LKAB	Avanceret – biprodukt	-	-	2.000.000
Sverige	Malmberget	Jern-oxid-apatit	LKAB	Avanceret – biprodukt	-	-	8.000.000
Sverige	Norra Kärr	Alkalin	Leading Edge Materials Ltd.	Avanceret (pause)	-	200.000	200.000
<b>Total</b>					<b>1.600.000</b>	<b>31.900.000</b>	<b>31.700.000</b>

## Norge

I Norge har især karbonatitkomplekset Fen været i fokus for mineralefterforskningen af sjældne jordartsmetaller, som følge af det meget store ressourcepotentiale og logistiske forhold med nærhed til udskibningsmuligheder og industriområder. Igennem næsten 300 år, frem til 1927, blev der udvundet jernmalm fra Fen, og i perioden 1953-1965 blev der udvundet niobium. Sjældne jordartsmetaller findes i flere bjergartsenheder, bl.a. 'rødbergit' og Fe-dolomit ('rauhaugit'), hvoraf den sidstnævnte vurderes som den mest prospektive (Dahlgren 2019). Der udføres stadig mineralefterforskning for sjældne jordartsmetaller i Fen-feltet (Figur 10-12).



**Figur 10-12** Oversigt over nogle af de skandinaviske forekomster af sjældne jordartsmetaller. Efter Goodenough et al. (2016).

### *Sverige*

Sverige er, som omtalt i afsnit 2.2, det land, hvor de sjældne jordartsmetaller første gang blev identificeret, og efter flere hundrede års efterforskning kendes der mange forekomster i landet (Figur 10-12). De fleste af disse findes i Mellemsverige og vurderes alle som ikke-økonomiske. De senere års efterforskning har især været rettet mod den alkaline forekomst Norra Kärr og den hydrothermale forekomst Olserum. Leading Edge Materials Ltd., Canada, har rettighederne til begge forekomster, hvoraf Norra Kärr-forekomsten har tiltrukket sig mest opmærksomhed. Resultaterne af en VVM-undersøgelse i 2019 bevirkede imidlertid at aktiviteterne måtte indstilles, da den forelagte forretningsmodel ikke indfrie de pålagte krav fra myndighederne. I efteråret 2021 pågår der arbejde med et koncept, hvor malmen påtænkes brudt ved Norra Kärr og efterfølgende fragtet til Mellem- eller Nordsverige, hvor der skal etableres faciliteter til udludning (heap leaching), som Leading Edge Materials Ltd. forventer kan opfylde myndighedernes miljøkrav. Olserum-projektet er på stand-by.

Jernmalmsforekomsterne ved Kiruna og Biggejärvi i Nordsverige indeholder begge mineralet apatit med små mængder sjældne jordartsmetaller. På sigt er der mulighed for at udnytte disse ressourcer som biprodukt til jernmalmsproduktionen. Udnyttelse af apatit fra jernmalmsproduktioner undersøges forskellige steder i verden, og vil, pga. de store mængder jernmalm der brydes, potentielt kunne bidrage markant til forsyningerne af sjældne jordartsmetaller.

### *Finland*

I Finland er der 16 forekomster/prospekter/projekter for sjældne jordartsmetaller knyttet til både karbonatit, alkaline og hydrothermale geologiske miljøer. Ingen af projekterne, der har sjældne jordartsmetaller som hovedprodukter, kan klassificeres som avancerede projekter (Figur 10-12, Appendiks I), men blandt forekomsterne er der flere med betydelige biproduktpotentialer, som fx fosfatforekomsten Sokli, Korsnäs og Kortejärvi (Al-Ani *et al.* 2018).

#### **10.3.2.5 Væsentlige ressourcer i Kina**

Kina råder over et meget stort antal forekomster af sjældne jordartsmetaller af forskellige geologiske typer; nogle af disse er vist på Figur 12-1. I Appendiks I er der registreret 152 forekomster (det faktiske antal forekomster er antageligt betydeligt højere), som fordeler sig på følgende geologiske typer: 24 karbonatitforekomster, 35 IA-forekomster og 28 tungsandsforekomster, hvoraf nogle er vist i Tabel 10-8 og i Figur 12-1. Ressourcemæssigt er det især karbonatitforekomsterne, som bidrager til de store mængder; IA-forekomster er almindeligvis relativt små (<100.000 ton TREO); tungsandsforekomster bidrager væsentligt til produktionen, men udgør kun en lille del af Kinas samlede ressourcer.

Kinas største ressourcer er karbonatitforekomsterne ved Bayan Obo og Maoniuping, som overvejende består af bastnäsit og dermed har relativt højt indhold af lette sjældne jordartsmetaller. Som det fremgår af Tabel 10-8, er de sikre ressourcer fra de to store karbonatminer omkring 6,3 mio. ton TREO. Af Appendiks IV fremgår det, at de sandsynlige og mulige ressourcer er hhv. ca. 2 mio. og 1 mio. ton TREO; data i disse opgørelser er fra 2016 og er meget konservative, også set i lyset af at der pågår store efterforskningsaktiviteter i Kinas karbonatitområder. Der er dog generelt stor usikkerhed om Kinas ressourcer, som nogle mener er overestimerede (Kruemmer pers. komm. oktober 2021b). Produktionen i Kina omtales nærmere i kapitel 11 og 12.

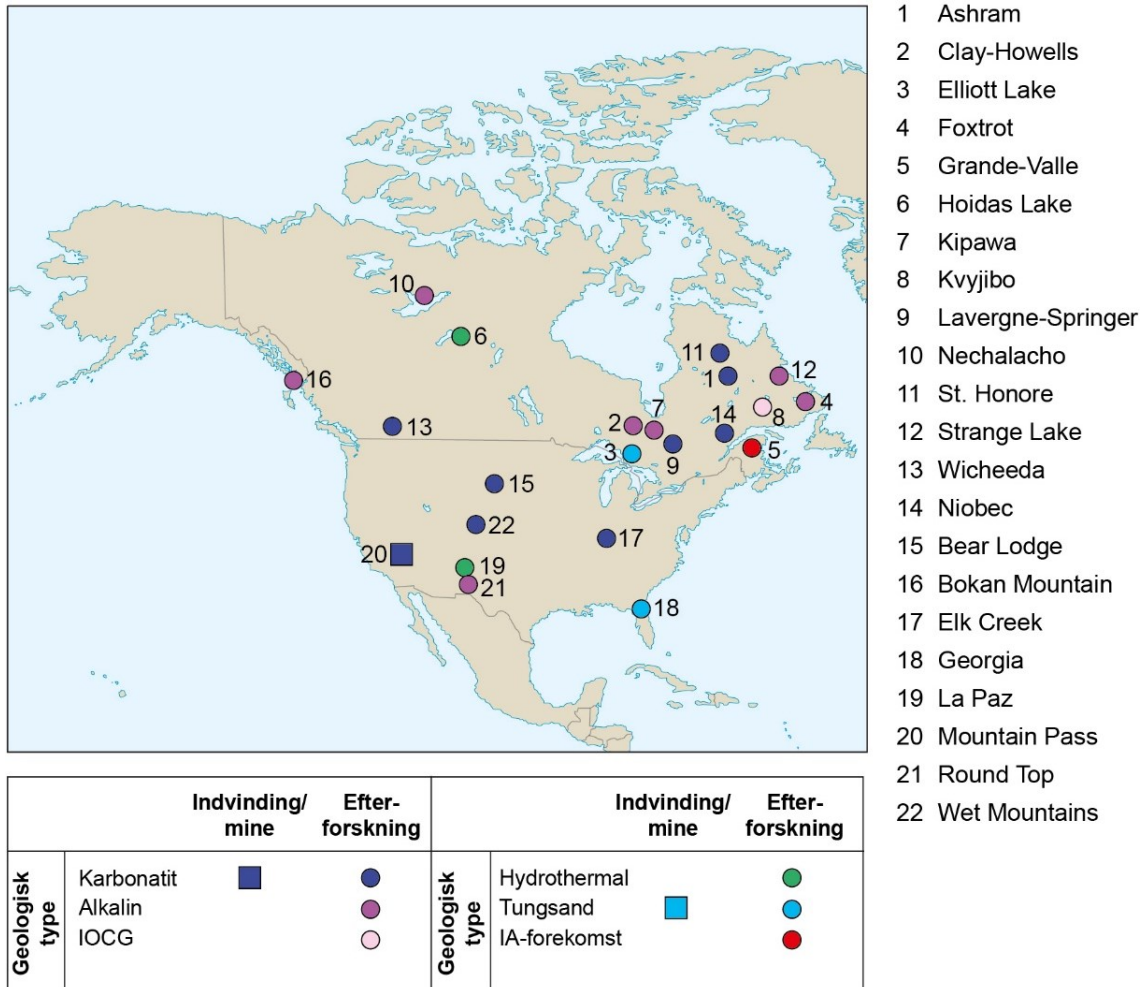


**Tabel 10-8** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller som i væsentlig grad bidrager til Kinas ressourcer, inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Lokalitet	REE-type	Selskab	Status (tolket)	Sikre res- sourcer ton TREO
Bayan Obo (East)	Karbonatit	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel	Produktion	-
Bayan Obo (Main and West)	Karbonatit	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel	Produktion	3.400.000
Bayan Obo (surrounding)	Karbonatit	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel	Avanceret	300.000
Bayan Obo (West)	Karbonatit	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel	Avanceret	1.200.000
Dalucao	Karbonatit	Dechang Houdi Rare Earth Mining Co. Ltd	Produktion	-
Fujian Jinlong	IA-forekomst	Fujian Changting Jinlong Rare Earth Co. Ltd.	Mine under etablering	-
Ganzhou	IA-forekomst	Ganzhou Mining Group	Produktion	-
Guandong	IA-forekomst	Guandong Rising NF	Produktion	-
Gupsehan	IA-forekomst	China Minmetals Corp.	Produktion	-
Longchuan Heping	IA-forekomst		Produktion	-
Longnan (Zudong)	IA-forekomst	People's Republic of China	Produktion	-
Longyan, Jiangxi	IA-forekomst	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd	Produktion	-
Maoniuping	Karbonatit	China Southern Rare Earth Group Co Ltd/ Sichuan Jiangtong Rare Earth Co. Ltd	Produktion	1.400.000
Mianning	Alkalin		Produktion	-
Miaoya	Karbonatit	n.a.	Avanceret	-
Renju	IA-forekomst	Rising Nonferrous Metals Share Co. Ltd	Avanceret	-
Tianzhuping Sha'ebo	Ingen information	Ganzhou Mining Group	Avanceret	-
Xuanwu 1	IA-forekomst	Ganzhou Mining Group	Produktion	-
Xuanwu 2	IA-forekomst	Ganzhou Mining Group	Produktion	-
<b>Total</b>				<b>6.300.000</b>

### 10.3.2.6 Væsentlige ressourcer i Nordamerika

Det nordamerikanske ressourcepotentiale for sjældne jordartsmetaller er et af verdens betydeligste og omfatter mere end 200 forekomster (i Appendiks I er der registreret 198 prospekter/projekter), hvoraf flere, størrelsesmæssigt, er i verdensklasse. Det var da også denne region, som dominerede den primære produktion, da den industrielle efterspørgsel begyndte omkring 1950'erne og frem til 2002, hvor USA besluttede at indstille produktionen pga. miljøproblemer forårsaget af uran i tailings. Efter en del år uden produktion blev USA i 2015 igen et af de få vestlige lande, der producerer sjældne jordartsmetaller, som dog forarbejdes i Kina (se kapitel 13). Udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Nordamerika kan ses i Figur 10-13.



**Figur 10-13** Geografisk fordeling af udvalgte mine- og efterforskningsprojekter i Nordamerika, med angivelse af geologiske type. Baseret på Appendiks I.

#### Canada

Hovedparten af de canadiske forekomster/prospekter/projekter er beliggende i Labrador, Quebec og Ontario og er knyttet til det prækambriske canadiske skjoldområde og Appalachen-foldekædeområderne, der har stort potentiale for alkaline forekomster og karbonatitforekomster af sjældne jordartsmetaller; disse typer udgør også ca. halvdelen af de canadiske efterforskningsprojekter og størstedelen af de kendte ressourcer. Efterforskningsprojekternes samlede ressourcer er opgjort til ca. 0,2 mio. ton TREO, som er påvist, samt en sandsynlig ressource på 25 mio. ton TREO samt 10 mio. ton TREO som muligvis findes. De største ressourcer er knyttet til forekomsterne Strange Lake og Nachalaco (Tabel 10-10).

## USA

USA's råstofpotentiale for sjældne jordartsmetaller er stort. Appendiks I omfatter 106 forekomster/prospekter/projekter, hvoraf tungsandsforekomster udgør den største gruppe, mens karbonatit og alkaline forekomster, som dominerer de potentielle ressourcer, omfatter 24 prospekter/projekter. USA's offentliggjorte resourcedata for sikre og potentielle ressourcer omfatter kun karbonatitforekomsten ved Mountain Pass, som MP Materials bryder, samt nogle enkelte efterforskningsprojekter af andre karbonatitter og alkaline bjergarter, da ressourcepotentialet for tungsandsforekomsterne ikke umiddelbart er tilgængelige, hvilket er tilsvarende andre lande. På basis af Appendiks I udgør USA's sikre reserver ca. 1,4 mio. ton TREO, hvoraf Mountain Pass indeholder ca. 1,3 mio. ton TREO, og de sandsynlige ressourcer udgør ca. 0,8 mio. ton TREO. Dette er med stor sandsynlighed ikke et retvisende billede af USA's ressource-situation, da viden om de geologiske forhold og igangværende prospekter tilsiger, at ressourcerne er betydeligt større.

### 10.3.2.7 Væsentlige ressourcer i Rusland, Kirgisistan og Kasakhstan

Der er ikke tradition for mineralefterforskning af vestlige selskaber i Rusland, Kirgisistan og Kasakhstan, og dermed er de offentligt tilgængelige informationer om ressourcerne tilsvarende meget begrænsede og områdernes geologiske ressourcepotentialer generelt ikke velbeskrevet. Murmansk-regionen indeholder dog nogle af verdens største geologiske forekomster af sjældne jordartsmetaller og blev i 2016 opgjort til 22,4 mio. ton TREO sikre reserver og 36,2 mio. ton TREO sandsynlige ressourcer (Kalashnikkov *et al.* 2016). Ressourcerne er især knyttet til titanit-apatitforekomsten Khibiny og loparit-eudialytforekomsten Lovozero, som begge har været udnyttet i en længere årrække, overvejende med sjældne jordartsmetaller som biprodukter (Cotting *et al.* 2019). Tomtorforekomsten (niobium og sjældne jordartsmetaller) er en stor højlydig forekomst (6 mio. ton/13,5 % TREO).

Der har desuden været biproduktion af sjældne jordartsmetaller som led i en uranproduktion i Kasakhstan og Kirgisistan, men samlet set er ressourceoplysninger for disse lande mangelfulde (Appendiks I). En oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Rusland, Kirgisistan og Kasakhstan ses i Tabel 10-9.

**Tabel 10-9** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Rusland, Kirgisistan og Kasakhstan; inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Projekt	REE-type	Status	Sikre resourcer ton TREO	Sandsynlig ressource ton TREO	Mulig ressource ton TREO
Abukalakscoe	Ingen info	Avanceret	-	-	-
Shevchenko	IOCG	Produktion – biprodukt	-	-	-
Stepnogorsk	Tailings	Produktion	-	-	-
Aktyuz	Ingen info	Efterforskning	-	-	-
Kutessay II	Alkalin	Produktion	37.000	47.000	4.000
Kutessiask	Ukendt	Produktion	-	-	-
Elisenvaara	Alkalin	Produktion	-	-	-
Khibiny apatite deposti	Alkalin	Produktion	41.000	-	-
Lovozero (loparit deposti)	Alkalin	Produktion	57.000	10.000.000	-
Seligdar	Karbonatit	Efterforskning	15.000	-	-
Tomtorskoye	Karbonatit	Avanceret	924.000	-	-
Azovske	Alkalin	Avanceret (pause)	-	-	-
Mazurivske	Ukendt	Efterforskning	-	-	-
<b>Total</b>			<b>1.071.000</b>	<b>10.047.000</b>	<b>4.000</b>

**Tabel 10-10** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Canada og USA; inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

Land	Projekt	REE-type	Selskab	Status (tolket)	Sikre res- sourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige res- sourcer ton TREO
Canada	Ashram	Karbonatit	Commerce Resources Corp	Avanceret	28.000	526.000	4.132.000
Canada	Clay-Howells	Alkalin		Efterforskning	-	-	62.000
Canada	Elliott Lake Teasdale	Tungsand	Appia Rare Earths & Uranium Corp	Avanceret	-	475.000	-
Canada	Foxtrot	Alkalin	Search Minrals Inc	Avanceret	-	48.000	56.000
Canada	Grande-Vallee	IA-forekomst	Orbite Aluminae Inc.	Advanced	-	605.000	-
Canada	Hoidas Lake	Hydrothermal	Great Western Minerals Group (bancrupt?)	Efterforskning	25.000	70.000	-
Canada	Kipawa (Zeus)	Alkalin	Vital Metals Ltd/ Matamec Explorations Inc.	Avanceret	-	77.000	-
Canada	Kwyjibo	IOCG	Investissement Quebec/Focus Graphite Inc.	Avanceret	68.000	119.000	-
Canada	Lavergne-Springer	Karbonatit	Canada Rare Earths Corporation	Efterforskning	-	48.000	149.000
Canada	Nechalacho (Thor Lake)	Alkalin	Avalon Advanced Material	Avanceret	63.000	248.000	-
Canada	Nechalacho Upper	Alkalin	Vital Metals Ltd	Mine under etablering	22.000	120.000	-
Canada	St. Honore (Niobec)	Karbonatit	IAMGOLD	Avanceret	-	-	-
Canada	Strange Lake	Alkalin	Quest Rare Minerals Ltd/Tongat Metals Inc.	Avanceret	-	2.587.000	1.822.000
Canada	Wicheeda	Karbonatit	Defense Metals Corp/Marvel Discovery Corp.	Efterforskning	-	148.000	350.900
Canada	Niobec	Karbonatit	Magris Resources Inc; Commerce Resources	Avanceret	-	18.321.000	-
USA	Bear Lodge	Karbonatit	Rare Element Resources	Efterforskning (på hold)	113.000	446.000	-
USA	Bokan Mountain	Alkalin/hydrot./alkalin?	Ucore Rare Metals	Mine under etablering	-	29.000	31.000
USA	Elk Creek	Karbonatit	Nio-Corp Development Ltd.	Avanceret	-	-	-
USA	Georgia	Tungsand	Chemours	Avanceret	-	-	-
USA	La Paz	Hydrothermal	American Rare Earth	Efterforskning	-	297.000	-
USA	Mountain Pass	Karbonatit	MP Materials/Bhang Inc	Produktion	1.333.000	-	-
USA	Round Top	Alkalin	USA Rare Earth (80%) JV Texas Rare Earth Resources (20%)	Avanceret	120	98	441
USA	Wet Mountains	Karbonatit	U.S. Rare Earths Inc.	Efterforskning	-	-	-
<b>Total</b>					<b>1.652.120</b>	<b>24.164.098</b>	<b>6.603.341</b>

### 10.3.2.8 Væsentlige ressourcer i Sydamerika

Sydamerika er med kun 64 registrerede forekomster/prospekter/projekter, hvoraf hovedparten kendes fra Brasilien, en af de regioner, som har få identificerede ressourcer af sjældne jordartsmetaller (Appendiks I). Geologisk set domineres regionen af tungsandsforekomster samt alkaline- og karbonatitforekomster. De offentligt kendte ressourcer er ligeledes få og er knyttet til forekomster i Brasilien (karbonatitforekomsten Araxa og tungsandsforekomsten Buena Norte), hvorfra der også er/har været biproduktion af sjældne jordartsmetaller. Ressourcepotentialet opgjort i Appendiks I udgøres af en sikker ressource på ca. 30.000 ton TREO, samt ca. 0,5 mio. ton og 1,4 mio. ton TREO sandsynlige og mulige ressourcer (Tabel 10-11). Ressourcepotentialet forventes at være betydeligt større, fordi der desuden er en del forekomster, hvor sjældne jordartsmetaller vil kunne produceres som biprodukt.

### 10.3.3 Ressourcestørrelserne er ikke de vigtigste succeskriterier

For projekter med specialmetaller, som fx sjældne jordartsmetaller, hvor der er et begrænset marked, og hvor få producenter kan dominere markedet, er størrelsen af ressourcerne for et projekt ikke en nøgleparameter til bedømmelse af et projekts kommercielle værdi, da det typisk er afsætningen, der bestemmer produktionsmængden. Et projekt med en ressource som rækker flere årtier frem, er derfor ikke nødvendigvis et økonomisk mere attraktivt projekt end et projekt med en noget mindre ressource, hvis ressourcen blot er tilstrækkelig lang til at give projektet den fornødne levetid for at projektet er økonomisk attraktivt.

Da mine- og efterforskningsprojekterne for de sjældne jordartsmetaller i investorkredse ofte bliver markedsført på baggrund af bl.a. ressourcestørrelse, er de 20 største forekomster, målt i forhold til sikre og sandsynlige ressourcer, sammenlignet i Tabel 10-12.

Det fremgår, at en række af de efterforskningsprojekter, som ofte omtales som de (næste) kommende miner, ikke er blandt de 20 største ressourcer. Det gælder fx Songwe Hill (Malawi), La Paz (USA), Lofdal (Namibia) og Norra Kärr (Sverige), og omvendt gælder, at nogle af de projekter der indeholder meget store ressourcer, som fx Kringlerne/Killavaat Alannguat og Kvane-fjeld/Kuannersuit (begge i Grønland), Fen (Norge) og Montviel (Canada), ikke – alene på ressourcegrundlaget – har kunnet nå hurtigere frem til beslutningsniveauet for igangsætning af en mine. Dette skyldes, at sådanne beslutninger også omhandler mange andre forhold, som fx sammen-sætningen af de sjældne jordartsmetaller, malmens lødighed, afsætningsmuligheder, logistik m.m.

**Tabel 10-11** Oversigt over udvalgte projekter og miner for sjældne jordartsmetaller i Argentina og Brasilien, inkl. evt. ressourceestimer. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

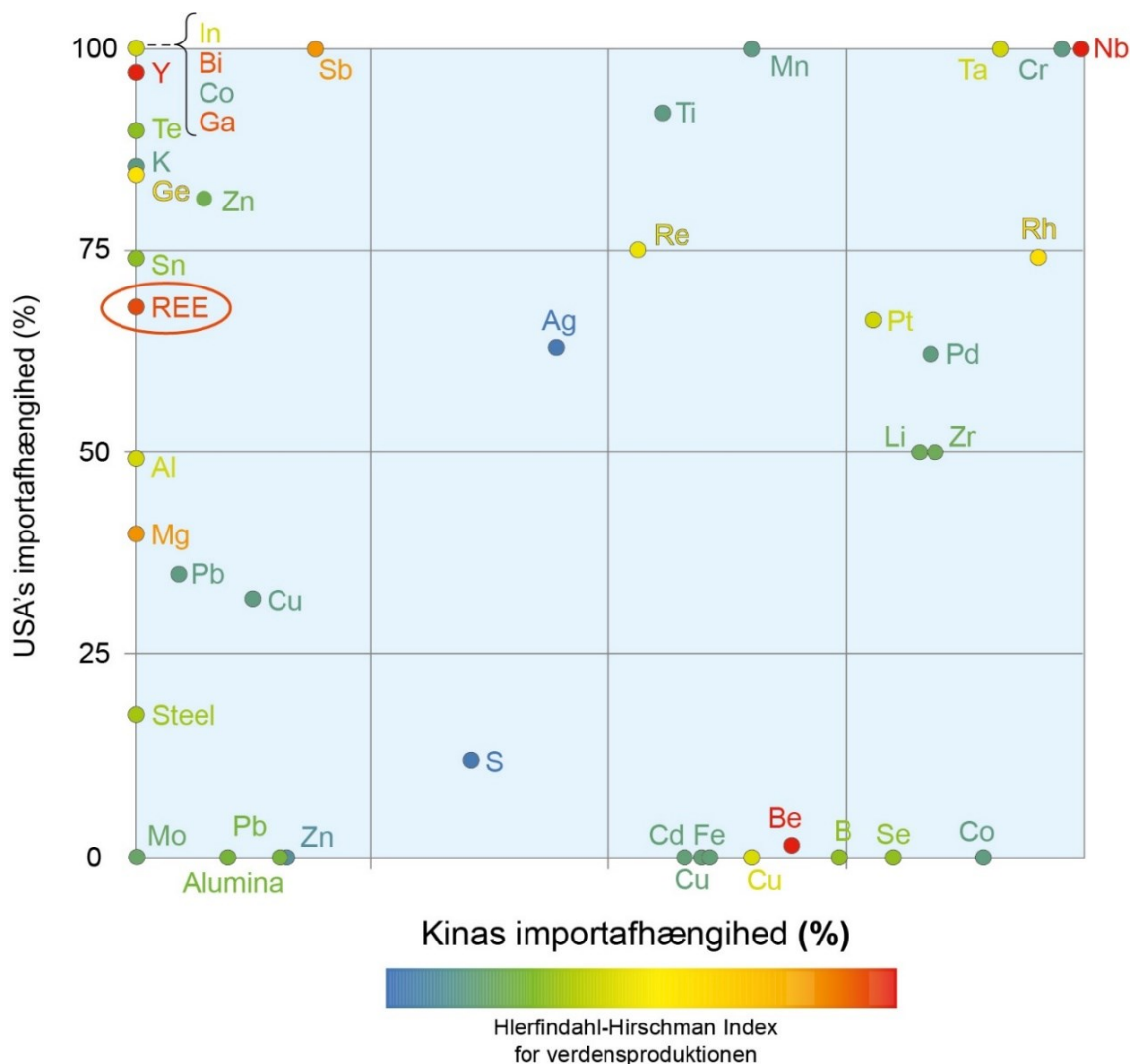
Land	Projekt	REE-type	Status	Sikre ressourcer ton TREO	Sandsynlige ressourcer ton TREO	Mulige ressourcer ton TREO
Argentina	Cueva del Chacho	Tungsand	Efterforskning	-	-	-
Argentina	RioTercero	Tungsand, flodaflejringer	Avanceret	-	-	-
Argentina	Rodeo de Los Molles	Ukendt	Avanceret	-	-	-
Brasilien	Anitapolis	Karbonatit	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Araxa	Karbonatit	Efterforskning	28.000	526.000	876.000
Brasilien	Buena Norte	Tungsand, kystaflejringer	Produktion	-	-	-
Brasilien	Catalao I	Karbonatit	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Cumuruxatiba	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Guarapari	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Itapemirim	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Jacupiranga	Alkalin	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Matka Zul	Ukendt	Efterforskning	-	-	-
Brasilien	Morro dos Seis Lagos	Karbonatit	Efterforskning	-	-	-
Brasilien	Northeast Dunes	Tungsand, kystaflejringer	Efterforskning	-	-	-
Brasilien	Pitinga	Tungsand, kystaflejringer	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Pocos de Caldas	Alkalin	Prospekt	-	-	-
Brasilien	Porto Seguro	Tungsand, kystaflejringer	Avanceret – tidligere biprodukt	-	-	-
Brasilien	Prado area	Tungsand, kystaflejringer	Forekomst – ingen data	-	-	-
Brasilien	Sao Goncalo do Sapucaí	Tungsand, flodaflejringer	Efterforskning	-	-	-
Brasilien	sao Joao de Barr	Tungsand, kystaflejringer	Efterforskning	-	-	-
Brasilien	Serra Negra	Karbonatit	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Serra Verde	IA-forekomst	Efterforskning	46.000	552.000	449.000
Brasilien	Tapira	Karbonatit	Avanceret – biprodukt	-	-	-
Brasilien	Vitoria District	Tungsand, kystaflejringer	Produktion – biprodukt	-	-	-
Venezuela	Cerro Impacto	Karbonatit	Efterforskning	-	-	-
<b>Total</b>				<b>74.000</b>	<b>1.078.000</b>	<b>1.325.000</b>

**Tabel 10-12** Verdens største ressourcer af sjældne jordartsmetaller i kategorierne 'sikre' og 'sandsynlige', fordelt på lande og selskaber. Udtræk fra Appendiks I og Appendiks IV.

	Land	Projekt	Sikre ressourcer ton TREO		Land	Projekt	Sandsynlige ressourcer ton TREO
1	Kina	Bayan Obo (hovedområdet)	3.444.000	1	Grønland	Kringlerne	27.950.000
2	Grønland	Kvanefjeld (hovedområdet)	1.587.000	2	Canada	Niobec	18.321.000
3	Kina	Maoniuping	1.432.000	3	Rusland	Lovozero	10.000.000
4	Australien	Mt. Weld, Duncan	1.400.000	4	Vietnam	Mau Xe	7.798.000
5	USA	Mountain Pass, CA	1.333.000	5	Grønland	Kvanefjeld (hovedområdet)	3.612.000
6	Kina	Bayan Obo (vest)	1.213.000	6	Indien	Amba Dongar	3.150.000
7	Tanzania	Ngualla Hill	898.000	7	Mongoliet	Mushgia Khudug	3.150.000
8	Sydafrika	Zandkopdrift Mineral Resource	476.000	8	Canada	Strange Lake	2.587.000
9	Kina	Bayan Obo (området omkring)	329.000	9	Kenya	Mrima Hill	2.143.000
10	Australien	Nolans Bore	142.000	10	Kina	Maoniuping	2.116.000
11	Australien	Dubbo	140.000	11	Canada	Montviel	1.241.000
12	USA	Bear Lodge	113.000	12	Angola	Longonjo	1.114.000
13	Canada	Kwyjibo	68.000	13	Australien	Mt. Weld, Duncan	660.000
14	Canada	Nechalacho (Thor Lake)	63.000	14	Australien	Dubbo	651.000
15	Rusland	Lovozero (loparitforekomst)	57.000	15	Canada	Grande-Vallee	605.000
16	Rusland	Khibiny (apaitforekomst)	41.000	16	Australien	Nolans Bore	546.000
17	Madagaskar	Tantalus	39.000	17	Canada	Ashram (samlet ressource)	526.000
18	Kirgisistan	Kutessay II	37.000	18	Brasilien	Araxa	526.000
19	Brasilien	Araxa	28.000	19	Canada	Elliott Lake Teasdale	475.000
20	Canada	Ashram (samlet ressource)	28.000	20	USA	Bear Lodge	446.000

## 11. Kinas strategier og praksis

Alle lande er afhængige af import af mange forskellige mineralske råstoffer; graden af afhængighed varierer fra land til land som følge af landenes forskellige geologiske forudsætninger for minedrift, infrastruktur og industristrukturer. Det gælder også for store lande som USA og Kina, om end der er forskel på graden og arten af deres afhængighed. Nogle af disse forskelle er illustreret i Figur 11-1, som viser Kinas og USA's afhængighed af en række af de råstoffer, der bl.a. er vigtige i den grønne omstilling. En del af denne import er ikke begrundet i manglende nationale råstoffer, men mere i hvorvidt den nødvendige infrastruktur til forarbejdning af råstofferne og markeder til at aftage varerne er til stede. Eksempelvis stod USA i 2020 for ca. 15 % af verdensproduktionen af sjældne jordartsmetaller, som i princippet ville kunne forsyne USA's industri. Men uforarbejdede mineralkoncentrater blev i stedet eksporteret, og eksporteres stadig, til forarbejdning og forbrug i Kina, da USA ikke har den nødvendige infrastruktur til at behandle koncentraterne. Omvendt kan Kinas import af sjældne jordartsmetaller, som landet selv har ressourcer og infrastruktur til at forarbejde, ses som led i en geopolitisk strategi, om at bevare kontrollen over de globale værdikæder, som har stor nationaløkonomisk betydning.



**Figur 11-1** USA og Kinas råstofafhængighed med angivelse af råstoffets betydning (HHI-farvekode). Kilde: White House (2021).



## 11.1 Kinas vej til rollen som storproducent

Den første industrielle anvendelse af sjældne jordartsmetaller var i 1880'erne i USA, hvor de blev anvendt til fremstilling af glødetråden i elpærer. De sjældne jordartsmetaller blev i starten kun udvundet fra mineralet monazit fra granitiske pegmatiter i Sverige og Brasilien, men fra 1890'erne var der også produktion i USA og fra omkring 1910 fulgte produktion i Indien (Hedrick 2010). USA begyndte i 1940'erne at udnytte monazit fra tungsandsforekomster og i 1960'erne startede udnyttelsen af mineralet bastnäsit fra karbonatbjergarter fra bl.a. Mountain Pass-minen i USA, som blev verdens største producent af sjældne jordartsmetaller. Men lave priser, stigende konkurrence og miljøudfordringer bevirkede, at minen i flere perioder har været lukket. I dag er Mountain Pass-minen igen en af verdens største producenter af sjældne jordartsmetaller, men produktionen af bastnäsit eksporteres til Kina og indgår i de kinesiske værdikæder, faciliteret af den kinesiske minoritetsaktionær Shenghe Resources Holding Co. Ltd. Mountain Pass-minens historie er vist i Tabel 11-1 .

I slutningen af 1960'erne startede Kina en lille produktion af sjældne jordartsmetaller, som dog allerede i 1980'erne var steget til omkring 5.000 ton TREO (Adamas Intelligence 2014). På dette tidspunkt begyndte Kina at udvinde sjældne jordartsmetaller som biprodukt fra jernminen Bayan Obo, og allerede i 1986 var produktionen yderligere steget til 15.000 ton. Kina var dermed en af de største producenter af sjældne jordartsmetaller (Adamas Intelligence 2014), en position som landet siden har styrket som resultat af implementeringen af en national råstofstrategi, som både havde til formål at sikre råstoffer til kinesiske industrier, samt sikre at værditilvæksten skete i Kina. Kinas politiske strategi for udvikling af råstofindustrien for de sjældne jordartsmetaller blev efter sigende udtrykt allerede i 1992 af Kinas ministerpræsident Deng Xiaopeng på et møde i Jiangxi, hvor han sammenlignede Mellemøstens geopolitiske styrke, som følge af store olieressourcer, med Kinas geopolitiske styrke som følge af de sjældne jordartsmetaller, og opfordrede sine landsmænd til at nyttiggøre disse ressourcer maksimalt økonomisk.

**Tabel 11-1** Mountain Pass-minens historie. Kilde: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain\\_Pass\\_mine](https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain_Pass_mine).

År	Ejer	Aktivitet
1949		Forekomsten opdages
1952	Molybdenum Corp. (Molycorp)	Småskala-produktion
1960	Molybdenum Corp. (Molycorp)	Produktionen udvides og fokus på europium; verdensledende
1977	Union Oil	Union Oil køber Molycorp
1998		Separationsanlægget stoppes; produktion af bastnäsit fortsætter
2002		Minen lukker pga. miljøproblemer og konkurrence fra Kina
2005	Chevron Corp	Chevron Corp køber Molycorp
2012		Produktion af bastnäsit genoptages
2015		Molycorp går konkurs; selskabet aflistes fra børsen i New York (New York Stock Exchange)
2016	Neo Performance Materials (NPM)	NPM overtager konkursboet. Relationerne mellem NPM og MP Materials er uklare.
2018	MP Materials	Minen genåbnes hvor Shenghe Resources Holding Co. Ltd. ejer 8% af aktionerne) Bastnäsit-koncentrat sælges til kun til Kina

Allerede i 1990 erklærede Kina sjældne jordartsmetaller for *protected and strategic minerals*, som bl.a. betød, at udenlandske selskaber kun kan bryde disse råstoffer i Kina, hvis det sker i joint venture med kinesiskejede virksomheder, og at udenlandske selskaber kun kan være involveret i de processer, der forarbejder mineralerne til færdige produkter. I praksis betød det, at Kina havde stort fokus på at udvikle de nødvendige teknologier og infrastruktur til at opbygge industrier indenfor sjældne jordartsmetaller, og i 1999 var Kina nået så langt, at der blev indført eksportkvoter for at styrke landets førende position for produktion af REE-råstoffer til industrierne. Kinas vigtigste provinser for udnyttelse af sjældne jordartsmetaller omtales i afsnit 12.1

Med produktionen i Bayan Obo blev Kina allerede i starten af 1990'erne en af verdens største producent af sjældne jordartsmetaller, og Kina udviklede, i overensstemmelse med Deng Xiaopings strategi, samtidigt de industrisektorer, der forarbejder råstofferne og fremstiller råvarer og varer, hvori sjældne jordartsmetaller indgår. Denne udvikling var stærkt hjulpet af den vestlige verdens udflytning af industriproduktioner til Kina, som led i bestræbelserne på at reducere produktionsomkostninger, og i takt hermed forsvandt konkurrerende industrier. Som følge af den udenrigspolitiske krise med særligt Japan blev den kinesiske produktion reduceret i 2011, men var efter et par år tilbage i det tidligere høje niveau med hovedparten fra Bayan Obo-minen (Tabel 11-2). I 2020 udgjorde Kinas produktion 140.000 ton TREO, svarende til ca. 58 % af den globale produktion, hvilket sammen med Kinas langtidskontrakter af mineralkoncentrater og udbyggede infrastruktur til forarbejdning af råstofferne giver Kina mulighed for at bevare kontrollen over de stadigt mere teknisk komplicerede og økonomisk vigtige værdikæder. Kinas hurtigt voksende produktion, og dermed øgede betydning i perioden fra slutningen af 1990'erne til 2013 ses af Figur 11-2.

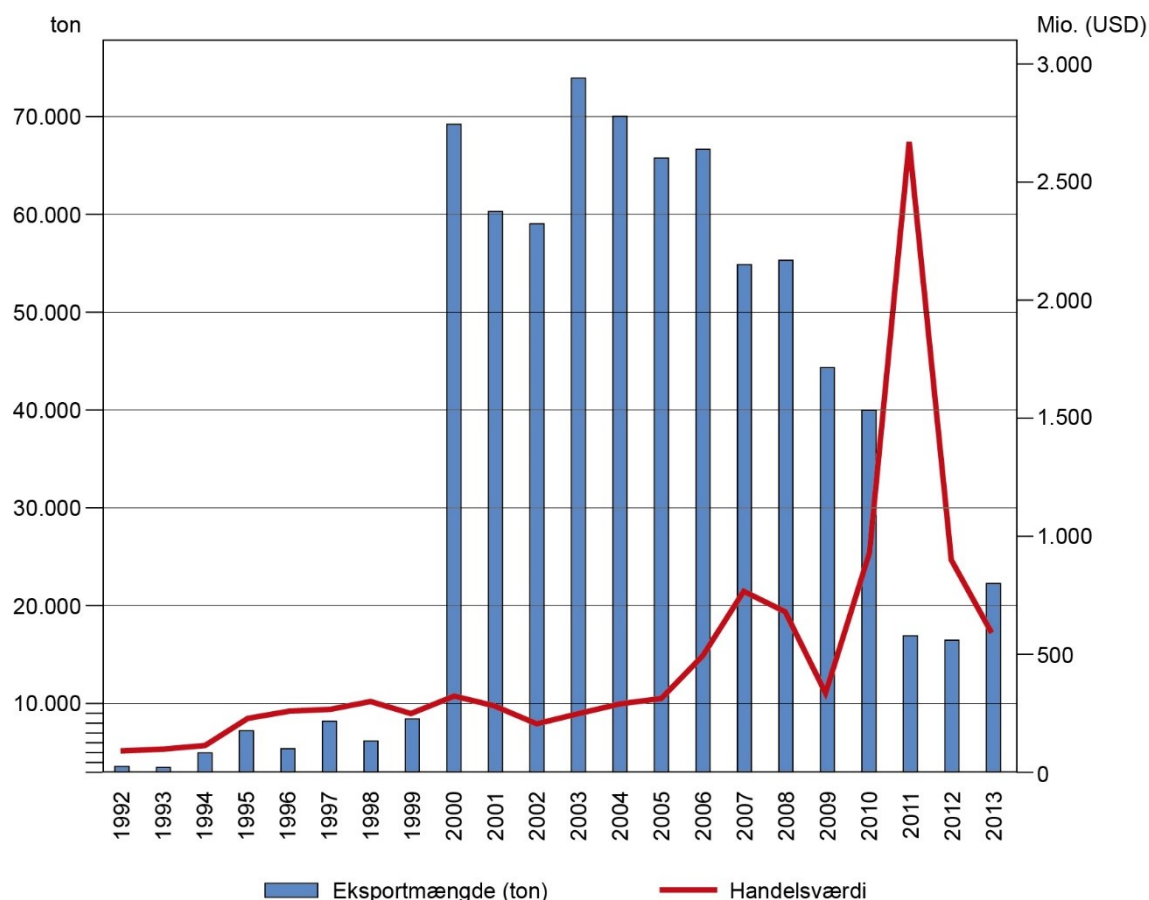
**Tabel 11-2** Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller i 2004, 2006, 2008, 2010 og 2014. Kilde: Mancheri & Marukawa (2018).

År	Bayan Obo (bastnäsit) ton	Sichuan (bastnäsit) ton	IA-forekomster ton	Tungsand (monazit) ton	Total ton
2004	42-48.000	20-24.000	28-32.000	-	90-104.000
2006	45-55.000	22-26.000	40-50.000	9-12.000	115-143.000
2008	60-70.000	10-15.000	45-55.000	8-12.000	123-152.000
2010	55-65.000	10-15.000	35.45.000	4-8.000	104-133.000
2014	80-100.000	20-40.000	40.50.000	8-12.000	148-202.000

I perioden frem mod år 2000 eksporterede Kina mindre end 10.000 ton sjældne jordartsmetaller, og sektoren havde kun meget begrænset økonomisk betydning. I 2000 steg eksporten eksplosivt (ca. 70.000 ton), men uden væsentligt økonomisk bidrag, da værditilvæksten overvejende skete uden for Kina. I de følgende år udbyggede Kina en diversificeret industrisektor for sjældne jordartsmetaller og reducerede eksporten med en samlet økonomisk vækst til følge (Figur 11-2).

I 2010 reducerede Kina eksportkvoten med 37 % og stoppede helt eksporten til Japan i nogle måneder som følge af stridigheder mellem de to lande om områder i det Østkinesiske Hav. Eksportrestriktionerne blev indbragt for Verdenshandelsorganisationen (WTO) i 2012. Kina argumenterede for, at restriktionerne skyldtes nedsat produktion pga. miljøproblemer med produktioner af primært IA-forekomster. WTO udtalte i 2014, at der ikke var grundlag for Kinas eksportkvoter. Kina ophævede derfor eksportkvoterne i 2015, og afløste dem med en modificeret udgave af de produktionskvoter, der var indført i 2006, med angivelse af, hvor store mængder REE-mineraler, der må brydes, og hvor store mængder der må separeres af de enkelte sjældne jordartsmetaller.

Kvoterne tildeles seks statsejede konsortier omtalt som 'The Big Six' (se afsnit 12.1); yderligere omstruktureringer fandt sted i 2016 som følge af betydelig konkurrence mellem de enkelte kinesiske producenter (Yi *et al.* 2021). Kina lægger vægt på, at man skal se produktionskvoterne som redskab til en mere miljøvenlig og effektiv produktion.



**Figur 11-2** Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller og tilhørende eksportværdi fra 1992-2013. Baseret på Mancheri & Marukawa (2018.)

Den vestlige verdens svar på Kinas kontrol over forsyningskæderne for sjældne jordartsmetaller har i højere grad været rettet mod etablering af nye miner end på etablering af de forsyningskæder, som skal bearbejde REE-mineralerne til industrielle råstoffer. Dette har resulteret i massive mineralefterforskningsaktiviteter, hvilket ikke mindst var en følge af, at USA's eneste producent af sjældne jordartsmetaller, Mountain Pass-minen, blev lukket i 2002 efter at have stået for ca. 24 % af verdensproduktionen i 1996. Den blev dog genåbnet i 2012, lukket igen i 2015 og atter genåbnet i 2018 (se Tabel 11-1 og afsnit 13.1.21). I 2019 udgjorde USA's produktionen ca. 20 % af verdensmarkedet for sjældne jordartsmetaller, men uden at den amerikanske produktion ændrede ved Kinas kontrol over værdikæderne for sjældne jordartsmetaller. Resultaterne af de vestlige landes strategi med at satse på mineralefterforskning og ikke udvikling af de tilhørende nødvendige værdikæder har bevirket, at en række af de vestlige efterforskningselskaber indgår aftaler om samarbejde med kinesiske virksomheder for derigennem at sikre afsætning af deres produkter (se også kapitel 13).

Trods Kinas kontrol over markederne for TREO åbnede det australske selskab Lynas Corporation allerede i 2011 Mt. Weld-minen i Australien og etablerede et separationsanlæg i Malaysia for at

omgå de australske regler for håndtering af radioaktive materialer. Etableringen kunne bl.a. lade sig gøre, fordi projektet havde både politisk og økonomisk opbakning fra Japan (Lynas modtog i 2011 250 mio. USD fra Sojitz Corporation og JOGMEC) (se også afsnit 13.1.2). I 2014 var Australien den største ikke-kinesiske producent af primære sjældne jordartsmetalråstoffer med en produktion på ca. 8.000 ton TREO, svarende til 6 % af den globale produktion; i 2020 producerede Australien ca. 18.000 ton TREO med nogenlunde samme andel af verdensproduktionen og er volumenmæssigt overhalet af USA's produktion. Australien har i et tæt samarbejde med Japan formået at fastholde uafhængigheden til Kina.

I 2019 erklærede USA's daværende præsident Trump de sjældne jordartsmetaller for *essential to national defense*, og at USA skulle sikre etablering af egne produktioner, forarbejdning og produktion for at frigøre USA's forsvarsindustri fra Kina (Lasley 2019), hvilket udløste økonomisk støtte fra Department of Defense (DOD) til en række projekter. Blandt disse projekter indgik DOD bl.a. i april 2020 en joint-venture-finansieringsaftale mellem Lynas Corp. og Blue Line Corp. (USA) om etablering af et separationsanlæg i Texas med det langsigtede formål, at en del af Lynas' produktion skal færdigraffineres i Texas i stedet for, som nu, i Kina. Udenlandske projekter indgår også i USA's bestræbelser på at nedbringe USA's importafhængighed af Kina, og fx indgik USA i 2020 en aftale med Grønlands Selvstyre om et mineralefterforskningsprojekt i et område nær de to store efterforskningsprojekter for sjældne jordartsmetaller, Kvanefjeld/Kuannersuit og Kringlerne/Killavaat Alannguat i Sydgrønland.

Der er fortsat stor fokus på sjældne jordartsmetaller for både kinesisk og amerikansk side. Det fremgår fx i en udtalelse fra Kinas Natural Development and Reform Commission i maj 2019, hvor Kina truer USA med eksportsanktioner, hvis de lægger forhindringer i vejen for Kinas handel med sjældne jordartsmetaller (Hanke 2021). Kina har efterfølgende gentaget sådanne trusler, bl.a. i forbindelse med Biden-administrationens forslag (november 2021) om at indføre sanktioner på NdFeB-magneter til USA ved brug af Section 232 of the Trade Expansion Act of 1962 (Lester 2021) som politisk hjælp til etablering af en national værdikæde for NdFeB-magneter; et tiltag som EU ikke bakker op.

## 11.2 Kinas politiske og administrative virkemidler

Som omtalt ovenfor var Kinas værdikæder for sjældne jordartsmetaller i en del år præget af konkurrence mellem nogle af de større konsortier, som nu udgør The Big Six (se afsnit 12.1), med lave priser og overkapacitet til følge, og i 2006 blev de første produktionskvoter derfor indført (Zeuthen 2021a). Da Kina i 2010, af Verdenshandelsorganisationen (WTO), blev anklaget for, at eksportkvoterne var reelle handelshindringer, blev et nyt kvotesystem indført, som angiveligt skulle sikre, at Kina kunne bekæmpe de illegale produktioner og sikre, at produktionerne blev udført på en miljømæssig forsvarlig måde, og som en del af de nye tiltag blev der desuden indført nye skatte- og afgiftssystemer (Central People's Government of the People's Republic of China 2011). I 2015 blev systemet ændret, så licenser kun udstedes til store selskaber, og produktionskvoterne blev på provinsbasis tildelt til de seks store vertikalt integrerede konsortier i The Big Six, da man fra centralt hold på den måde kunne koordinere og styre produktion af råvarer og færdige eksportvarer i forhold til den geografiske fordeling af ressourcerne (Ministry of Land & Resources 2015). Produktionskvotesystemet, i kombination med det ny skatte- og afgiftssystem, fungerer nu som et effektivt værn mod internationale forsøg på at bryde Kinas monopollignende forsyningskæder (se kapitel 11). En historisk oversigt over de politiske/administrative virkemidler er vist i Tabel 11-3.

**Tabel 11-3** Oversigt over Kinas politiske/administrative virkemidler til regulering af den globale produktion og handel med sjældne jordartsmetaller i perioden 1975-2018. Kilde: Shen et al. (2020).

Politisk virkemiddel	Undergruppe	1975–1990	1991–1998	1999–2009	2010–2015	2016–2018
		Produktion af opstrømsprodukter til eksport	Restriktioner på produktion og udenlandske investeringer	Eksporthvoter og skatter. Promovering af nedstrømsproduktioner	Restriktioner øges som følge af WTO-afgørelsen	Følger af WTO-afgørelsen og geopolitiske diskussioner
Etablering af REE-kontor						
Industripolitik	Kinesiske investeringer i udlandet					
	Produktionskvoter					
	Reguleringer af produktionskvoter					
	Industriel konsolidering					
	Produktsporingsordning					
	Efterforsknings- og minetilladelser					
	Indgreb mod illegale produktioner					
	Industrielle standarder					
Eksportpolitik	Udviklingsplaner					
	Eksporthvoter					
	Eksportskat-rabat					
	Eksportskat					
	Eksporttilladelser					
	Udledningsstandarder					
	Rehabilitering af mineområder					
	Love og regler					
Råstofskat/afgift	Godkendelse af REE-virksomheder					

### 11.2.1 Kinas nationale kvoteordninger

Kinas Ministerium for Industri- og Informationsteknologi (MIIT) tildeler halvårslige kvoter til de seks store konsortier i The Big Six, som har en måned til at fordele deres tildelte kvoter til deres datterselskaber (ved redaktionens afslutning arbejder Kina på at reducere The Big Six til to eller tre store konsortier). For at sikre implementering af regeringens industripolitik skal datterselskaberne opfylde følgende krav for at få del i kvoterne: (i) de skal have adgang til en mine; (ii) deres separationskapacitet skal være >2.000 t/år REO; (iii) de skal opfylde miljøkrav for affaldsprodukter, herunder radioaktivt materiale; og (iv) de må ikke have været nedlukket i en længere periode. Selskaberne må ikke købe eller bruge malm fra ikke-godkendte miner eller produkter, som er separeret på centrale anlæg (efter tolling) uden for Kina, eller som ikke er en del af The Big Six. Derudover må virksomheder, som genindvinder sjældne jordartsmetaller, ikke anvende malm eller mineralkoncentrater i deres produktion.

Produktionskvoterne for perioden 2018 til 2021 er vist i Tabel 11-4, hvoraf det fremgår at de i perioden er steget fra ca. 132.000 ton til 168.000 ton, samt at stigningerne omfatter produktion fra faste bjergarter, som domineres af de lette sjældne jordartsmetaller, og stagnerende kvoter for IA-forekomster. Kvoterne til separation og raffinering er øget tilsvarende.

### 11.2.2 Skatte- og afgiftspolitik – instrumenter til at opretholde kontrol med forsyningskæderne

Som værn mod konkurrence fra vestlige virksomheder har Kina indført et specielt skatte- og afgiftssystem, som indeholder følgende elementer:

- Alle varer i Kina er belagt med 13 % VAT, som ikke angives separat. Dette gælder også for REE-oxider, -metaller og -magneter og den pålagte VAT kan dermed betragtes som en forbrugsskat, som er kostneutral for indenlandske producenter.

**Tabel 11-4** Kvotefordeling for produktion og behandling af sjældne jordartsmetaller i perioden 2018-2021, tildelt til The Big Six, samt tre specifikationer til deres associerede selskaber. Kilde: Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd. (2021).

The Big Six	Mineralprodukter (ton TREO) 2018		Mineralprodukter (ton TREO) 2019			Mineralprodukter (ton TREO) 2020			Mineralprodukter (ton TREO) 2021		
	LREE + HREE	Smelte- og separationsprodukter	Mineraler (LREE)	IA-ler (HREE)	Smelte- og separationsprodukter	Mineraler (LREE)	IA-ler (HREE)	Smelte- og separationsprodukter	Mineraler (LREE)	IA-ler (HREE)	Smelte- og separationsprodukter
<b>China Xiyou Rare Earths Corp. (China Aluminium, Chinalco)</b>	14.350	19.379	14.350	2.500	21.879	14.550	2.500	23.879	14.550	2.500	23.879
hvoraf: China Steel Reseach Technology Group Co. Ltd			4.100		1.500	4.300		1.700	4.300		1.700
<b>Minmetals Rare Earth Group Co. Ltd</b>	21.010	5.658		2.010	5.658		2.010	5.658		2.010	5.658
<b>China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co. Ltd</b>	69.250	59.484	70.750		60.984	73.550		63.784	100.350		89.634
<b>Xiamen Tungsten Co. Ltd</b>	3.440	3.963		3.440	3.963		3.440	3.963		3.440	3.963
<b>China Southern Rare Earth Group Co. Ltd</b>	28.250	15.912	27.750	8.500	23.912	32.750	8.500	27.112	33.950	8.500	28.262
hvoraf: Jiangxi Copper participations in Sichuan			27.750		16.320	32.750		19.520	33.950		20.670
<b>Guangdong Rare Earth Industry Co. Ltd</b>	2.700	10.604		2.700	10.604		2.700	10.604		2.700	10.604
hvoraf: China Nonferrous Metals Construction Co. Ltd					3.610		3.610		3.610		3.610
<b>Subtotal</b>	<b>139.000</b>	<b>115.000</b>	<b>112.850</b>	<b>19.150</b>	<b>127.000</b>	<b>120.850</b>	<b>19.150</b>	<b>135.000</b>	<b>148.850</b>	<b>19.150</b>	<b>162.000</b>
<b>Total</b>	<b>139.000</b>		<b>132.000</b>			<b>140.000</b>			<b>168.000</b>		

- Når en producent køber sine REE-råvarer i Kina, betales den internationale markedspris, hvilket inkluderer 13 % VAT. Hvis køberen er en kinesisk virksomhed, refunderes VAT-afgiften efterfølgende, men ved eksport af REE-råmaterialer og -råvarer refunderes VAT ikke; derimod refunderes det fulde VAT for eksport af permanente magneter. Dermed er der i de øvre og mellemste dele af forsyningskæderne etableret en økonomisk konkurrencefordel på 13 % i de kinesiske virksomheders favør og et økonomisk incitament til, at værditilvæksten i alle dele skal tilfalde Kina.
- Såfremt en ikke-kinesisk virksomhed producerer sjældne jordartsmetalprodukter, som ønskes solgt til Kina, gælder der følgende:
  - Mineralkoncentrater er undtaget VAT og importtold
  - Forarbejdede råstoffer (karbonater, oxider o.l.) pålægges 5 % importtold, beregnet ud fra 'cost-insurance and freight'-Kina-priser, samt 13 % VAT af dette beløb.
- Ved fastsættelse af produktprisen beregnes basket-price på basis af Mixed Rare Earth Compound (MREC), men almindeligvis betales der ikke for de sjældne jordartsmetaller, som overproduceres (fx cerium, lanthan, samarium, yttrium og europium) eller for nicheprodukter, som fx holmium, erbium, thulium, ytterbium og lutetium; det er desuden normalt, at der fratrækkes 20 % for materialetabet under forarbejdningsprocessen (Kruemmer 2021a).

Dette betyder bl.a., at ikke-kinesiske magnetproducenter kun kan blive konkurrencedygtige, hvis de kan basere deres produktion på ikke-kinesiske råmaterialer, som kan matche kinesiske priser for tilsvarende produkter, og desuden fremstille produktet til priser, som kan matche tilsvarende kinesiske produkter. Det er ikke sandsynligt, at mineselskaber vil sælge deres mineralkoncentrater billigere end den pris, de vil kunne opnå hos kinesiske købere, da det vil være til skade for investorerne. Det kinesiske skatte- og afgiftssystem har yderligere den konsekvens, at nye miner i Vesten ikke vil kunne opnå en merværdi for malmen ved at forarbejde koncentraterne yderligere med efterfølgende eksport til Kina, da der så skal betales afgifter og VAT, og der er derfor nødsaget til at sælge til lavere priser for at være konkurrencedygtige i Kina. Nye vestlige miner og producenter i forsyningskæderne for sjældne jordartsmetaller kan derfor, under de gældende ordninger, kun etableres, hvis de producerer målrettet mod et hjemmemarked, hvor alle minens og værdikædens produkter kan afsættes. Samlet set betyder Kinas skatte- og afgiftssystem, at Kina uden ændringer af refusionsordningerne for VAT, vil bevare sin monopollignende status på værdikæderne for sjældne jordartsmetaller. Kinas tariffer for sjældne jordartsprodukter er vist i Tabel 11-5. Heraf følger også, at i det omfang økonomiske vurderinger af nye ikke-kinesiske REE-projekter baseres på basis af eksportpriser fra Kina, inkluderer disse priser 13 % VAT; vurderingerne skal derfor korrigeres for dette beløb.

Forretningskoncepterne for en række vestlige efterforskningsprojekter er angiveligt baseret på at bryde malmen og sende mineralkoncentrater til Kina til processering og separation for efterfølgende at sælge disse produkter til lande uden for Kina. Denne model er imidlertid ikke mulig, da Kina i 2016 indførte forbud mod, at Kina blot forestod delforarbejdning af råstofferne.

#### *Kinas råstofafgift*

Kinas nuværende råstofafgifter trådte i kraft 1. september 2020 og er som følger:

Eksport: Afgiften beregnes på værdien af malmen/mineralkoncentratet

- LREE: 11,5% (Shandong: 7,5 %; Sichuan: 9,5 %)
- MREE: 20 %
- HREE: 20 %

Import: Kina har fjernet told på import af REC, RE-karbonater og mineralkoncentrater for 2022 for at gøre det mere attraktivt for nye projekter at afsætte deres produkter til Kina (The Rare Earth Observer 2021e).

**Tabel 11-5** Kinas tariffer for REE-produkter. Kilde: Kruemmer (2021a).

Produkt	Toldkoder (Harmonized System Code)	VAT (%)	VAT-refusion for eksport- produkter (%)	Generel tarif (%)	Alm. nati- onale ta- riffer (%)	Ekstra ta- rif på im- port fra USA (%)
<b>REE råstof-tariffer</b>						
Malm med REE	2530 9020 00	13	0	0	0	0
Monazit (thoriummalm og -koncentrater)	2612 2000 00	13	0	0	0	0
REO (undtaget fosforescens) >30% TREO	2846 9019	13	0	0	0	27,5
Øvrige REE-karbonater (>30% TREO)	2046 9048	13	0	30	5	25,0
Øvrige REM-blandinger (>30% MHRE)	2846 9099	13	0	30	5	22,5
<b>REE Tariffer</b>						
Cerium-oxid	2846 1010 00	13	0	30	5	22,5
Cerium-karbonat	2846 1030 00	13	0	30	5	0
Yttrium-oxid	2846 9011 00	13	0	30	5	27,5
Lanthan-oxid	2846 9012 00	13	0	30	5	22,5
Neodymium-oxid	2846 9013 00	13	0	30	5	0
Europium-oxid	2846 9014 00	13	0	30	5	0
Dysprosium-oxid	2846 9015 00	13	0	30	5	0
Terbium-oxid	2846 9016 00	13	0	30	5	0
Praseodymium-oxid	2846 9017 00	13	0	30	5	27,5
Erbium-oxid	2846 9019 20	13	0	30	5	27,5
Gadolinium -xid	2846 9019 30	13	0	30	5	27,5
Samarium-oxid	2846 9019 40	13	0	30	5	27,5
Ytterbium-oxid	2846 9019 70	13	0	30	5	27,5
Scandium-oxid	2846 9019 80	13	0	30	5	27,5
Øvrige REE-oxider (inkl. NdPr-oxid)	2846 9019 99	13	0	30	5	27,5
Neodymium-klorid	2846 9024 00	13	0	30	5	0
Praseodymium-klorid	2846 9025 00	13	0	30	5	0
Neodymium-fluorid	2846 9034 00	13	0	30	5	0
Praseodymium-fluorid	2846 9035 00	13	0	30	5	0
Øvrige REE-fluorider	2846 9039 00	13	0	30	5	0
Neodymium-karbonat	2846 9044 00	13	0	30	5	0
Øvrige REE-karbonater (>30% TREO)	2846 9045 00	13	0	30	5	25,0
Øvrige ikke-blandede REE-karbonater	2846 9048 90	13	0	30	5	0
Lanthan-blandinger, øvrige	2846 9091 00	13	0	30	5	7,5
Neodymium-blandinger, øvrige	2846 9092 00	13	0	30	5	7,5
Praseodymium-blandinger, øvrige	2846 9095 00	13	0	30	5	7,5
Fosforescenser (yttrium) til LED	2846 9096 01	13	0	30	5	27,5
Øvrige REM med indhold af MHRE (>30%)	2846 9099 10	13	0	30	5	22,5
Øvrige REM (ekskl. LED- og Ce-produkter)	2846 9099 90	13	0	30	5	22,5
<b>REM Tariffer</b>						
Lanthan-metal	2805 3014 00	13	0	30	5	7,5
Sc-Y-legeringer	2805 3029 00	13	0	30	5	27,5
Øvrige REM	2805 3019 00	13	0	30	5	7,5
<b>REE Magnets Tariffer</b>						
Ikke-REE magneter	8505 1190 00	13	13	20	7	20
REE-magneter	8505 1110 00	13	13	20	7	25



## 11.3 Kinas handel med sjældne jordartsmetaller

Nedenfor gives en historisk oversigt over udviklingen i Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller i perioden 2016-2021. Oversigten, der kun er retningsgivende, er medtaget for at vise tendenser i perioden. Manglende informationer om, hvad der reelt indgår i eksporten og importen, gør det umuligt at opstille en massebalance (MFA) for råstofferne. Denne udfordring skyldes bl.a., at told-deklareringer er etableret med andre formål, og derfor ikke oplyser de i denne sammenhæng relevante information. Dette er også årsagen til, at der i nedenstående opgørelser er betydelige volumenforskelle set over samme periode.

### 11.3.1 Eksport

Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller kan opdeles i tre grupper: (i) råmaterialer/råvarer, (ii) komponenter og (iii) færdige produkter. Eksporten indenfor de enkelte grupper varierer betydeligt fra år til år og fra måned til måned og mellem forskellige opgørelser (Tabel 11-6, Tabel 11-7, Figur 11-3 og Figur 11-4). Fra 2016 til 2020 lå den samlede årlige eksport af sjældne jordartsmetaller forholdsvis stabilt omkring 46.000-53.000 ton TREO (Tabel 11-6). Det stabile niveau skyldes antageligt, at Kina siden begyndelsen af år 2000 indførte økonomiske tiltag, som tilskynder, at forarbejdningen af alle produkter udføres i Kina, samtidig med at kvotesystemet har gjort det muligt at omlægge primærproduktioner, så de kompenserede for de reducerede produktioner, der var et resultat af en række miljøtiltag (omtalt i kapitel 7), som Kina indførte i 2010-2012, herunder lukning af produktionen fra mange IA-forekomster. En kinesisk undersøgelse af eksporten af sjældne jordartsmetaller fra 1995 til 2015 viste, at lukningen ikke førte til en reduktion af eksporten af råmaterialer og færdige produkter (Pan *et al.* 2021). Den kinesiske strategi for eksport af højt forædlede produkter med sjældne jordartsmetaller følger Kinas ekspansionsplaner; det ses bl.a. af, at Kina i første halvdel af 2021 eksporterede 22.700 ton NdFeB-magneter, hvilket volumennemæssigt svarede til 38 % mere end 1. halvdel af 2020, og værdimæssigt er det en stigning på 59 %. EU er største aftager af magneteksporten (35 %) efterfulgt af USA (14 %), Korea (12 %), Vietnam (8 %), Thailand (5 %) og Japan (3 %) (Rare Earth Industry Association 2021).

**Tabel 11-6** Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller i ton i perioden 2016-2021. Kilde: *The Rare Earth Observer (2021a)*.

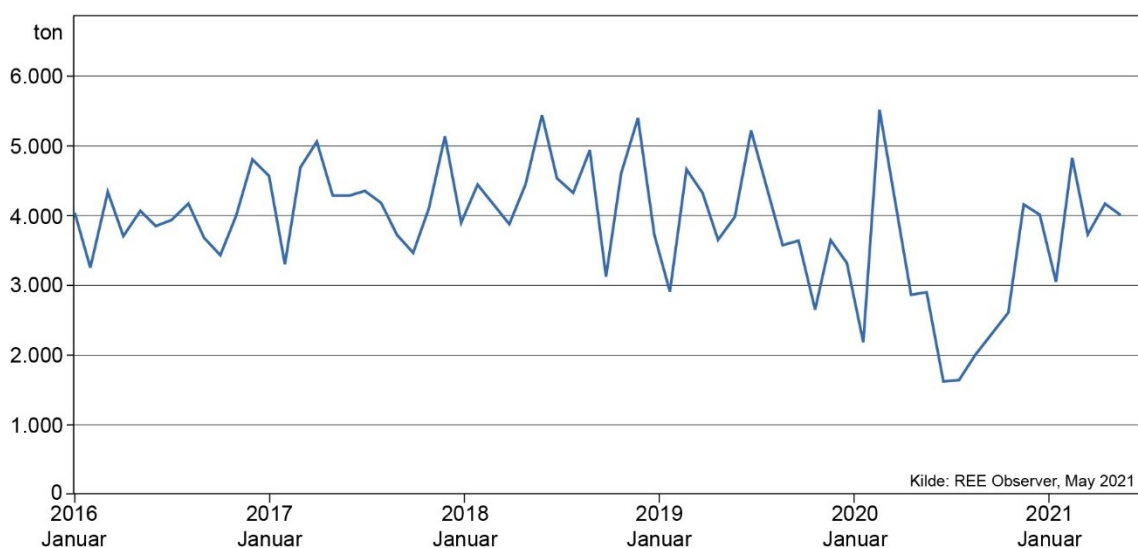
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Januar	4.013	4.571	3.890	3.753	3.322	4.023
Februar	3.240	3.293	4.451	2.886	2.167	3.045
Marts	4.343	4.694	4.180	4.659	5.551	4.837
April	3.696	5.068	3.874	4.329	4.317	3.737
Maj	4.073	4.294	4.447	3.640	2.865	4.171
Juni	3.849	4.290	5.456	3.966	2.893	4.012
Juli	3.945	4.353	4.529	5.243	1.620	
August	4.170	4.185	4.314	4.352	1.642	
September	3.674	3.715	4.951	3.571	2.003	
Oktober	3.432	3.467	3.100	3.639	2.288	
November	3.987	4.103	4.610	2.636	2.611	
December	4.805	5.156	5.421	3.657	4.168	
Total	47.227	51.189	53.223	46.331	35.447	

The Rare Earth Observer (2021c) mener, at det lave niveau i eksporten af sjældne jordartsmetaller fra Kina i 2020 (Tabel 11-6) er en følge af Covid-19-pandemien, som har ført til lavere efterspørgsel, men forventer, at eksporten i 2021 vil nå op på ca. 47.000 ton TREO.

**Tabel 11-7** Kinas eksport af ikke nærmere specificerede produkter med sjældne jordartsmetaller og de fem største aftagerlande i 2019. Kilde: China Briefing (2021).

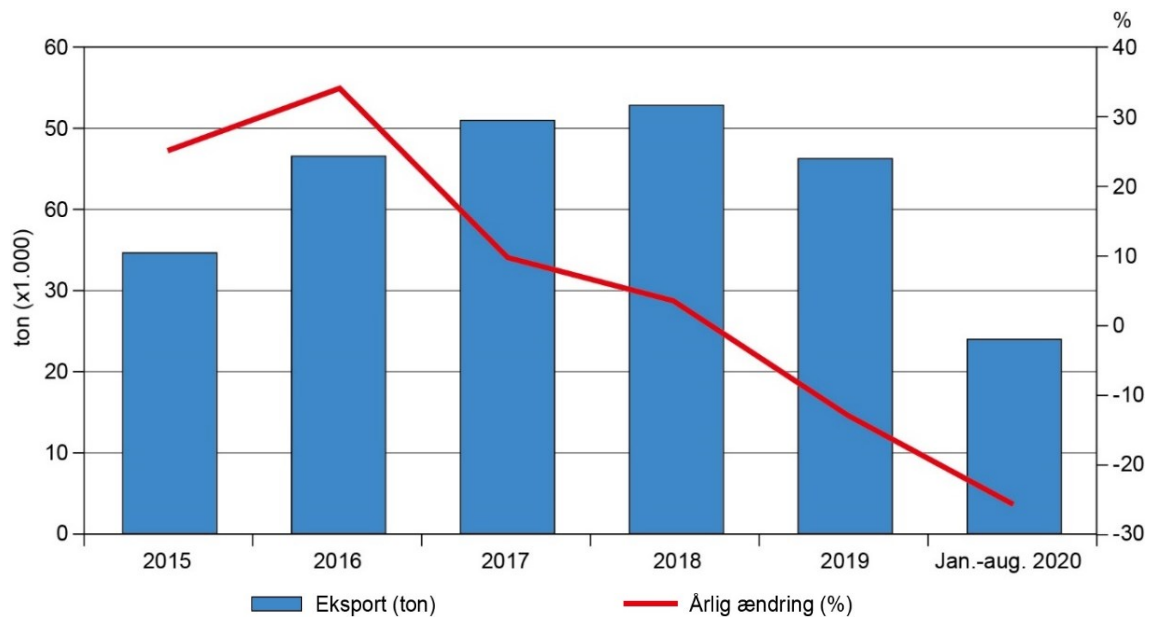
	Eksport	Japan	USA	Sydkorea	Holland	Italien	ROW*
2019	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
Lanthan	19.397	3.256	11.030	639	2.484	368	1.620
Cerium	9.105	4.849	1.823	474	443	456	1.060
Praseodymium	72	42	15	0	2	-	13
Neodymium	835	561	15	10	75	15	159
Europium	13	2	2	-	8	-	2
Terbium	115	100	7	-	-	7	-
Dysprosium	156	91	-	51	-	-	14
Yttrium	3.153	1.427	762	247	71	419	227
Øvrige	12.704	6.046	1.564	1.029	1.276	350	2.438
<b>Total (ton)</b>	<b>45.550</b>	<b>16.375</b>	<b>15.218</b>	<b>2.451</b>	<b>4.358</b>	<b>1.614</b>	<b>5.532</b>

\* Rest of the World

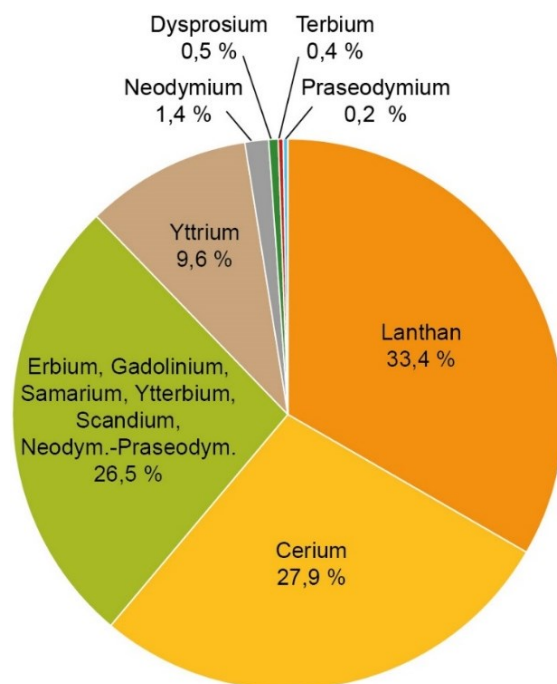


**Figur 11-3** Kinas eksport af ikke nærmere specificerede REE-produkter på månedsbasis fra januar 2016 til marts 2021. Som det ses, er der store månedlige variationer i de eksporterede mængder. Kilde: The Rare Earths Observer (2021c).

Lanthan og cerium udgør langt den største andel af eksporten (Figur 11-5), hvorimod eksport af niobium, praseodymium, terbium og dysprosium, som er vigtige råstoffer til fremstilling af permanente magneter, kun udgør en meget lille andel, hvilket er i overensstemmelse med Kinas strategi.



**Figur 11-4** Udviklingen i Kinas eksport af sjældne jordartsmetaller fra 2015 til august 2020. Kilde: S&P Global (2020).



**Figur 11-5** Kinas eksport (2019) af sjældne jordartsmetaller, anført i forhold til mængder. Kilde: The Rare Earth Observer (2021a).

### 11.3.2 Import

Kina importerer REE-mineralkoncentrater fra alle produktionslande med undtagelse af Australien, Rusland og Indien. Tabel 11-8 viser den hastige stigning af importen af 'sjældne jordartsmetaller' – her sat i anførselstegn, da tonnagen må antages at omfatte mineralkoncentrater, og indholdet af TREO vil da udgøre 30-40 % af den importerede mængde. Det har imidlertid ikke været muligt

at identificere kvantitative og kvalitative data for importen. Importtallene indikerer, at Kina i stigende omfang supplerer egenproduktionen med importerede råstoffer. Det er uklart, hvorvidt årsagen til den stigende import skyldes, at Kinas egenproduktion er utilstrækkelig, eller om importen er begrundet i et ønske om at binde nye producenter til de kinesiske værdikæder og derigennem vanskeliggøre etablering af vestlige forsyningskæder (Kinas indflydelse på de vestlige forsyningskæder diskuteres i kapitel 12).

**Tabel 11-8** Kinas import af 'sjældne jordartsmetaller' (se tekst for forklaring på anførelsestegn).

Kilde: *Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd. (2021).*

År	Mængde ton	Ændring %
2017	35.000	
2018	82.000	133
2019	105.000	29
2020	121.000	15
2021 (estimat)	167.000	38

## 12. Kinas forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller

Kina har udviklet en stærkt diversificeret infrastruktur for produktion af sjældne jordartsmetal-råmaterialer, forarbejdning og råmaterialefremstilling samt produktion af varer, hvori disse produkter indgår. Allerede i 2016 var der officielt mere end 400 virksomheder, fordelt på 23 provinser, som var involveret i minedrift, processering og handel med sjældne jordartsmetaller (Adamas Intelligence 2017). Som led i Kinas bestræbelser på at stoppe illegale produktioner, som var vokset betydeligt siden 2011, og for at forbedre miljøforholdene – specielt i minerne – etablerede Kina i 2014 hovedparten af værdikæderne for sjældne jordartsmetaller i en konstruktion bestående af seks store grupper af selskaber, ofte omtalt som 'The Big Six' (se bl.a. 11.2.1). Denne konstruktion gav bl.a. mulighed for at sikre, at industrierne leverede på de planmål, der blev udstukket af centralregeringen, og som skulle sikre overensstemmelse mellem udbud og efterspørgsel.

### 12.1 The Big Six

Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller blev, som nævnt ovenfor, i 2014 organiseret i seks store, vertikalt integrerede virksomhedsgrupper, The Big Six, som alle, i lidt forskelligt omfang, er involveret i forarbejdning af råstofferne frem mod færdige REE-produkter. Selskabernes geografiske fordeling er opdelt, så de repræsenterer forskellige geologiske miljøer og dermed forskellige mineralogiske sammensætninger, hvilket giver centralregeringen i Beijing mulighed for, ved hjælp af produktionskvotesystemet, at regulere produktionen, så det bedst muligt opfylder industriens behov.

The Big Six udgøres af følgende grupper (Hui 2015):

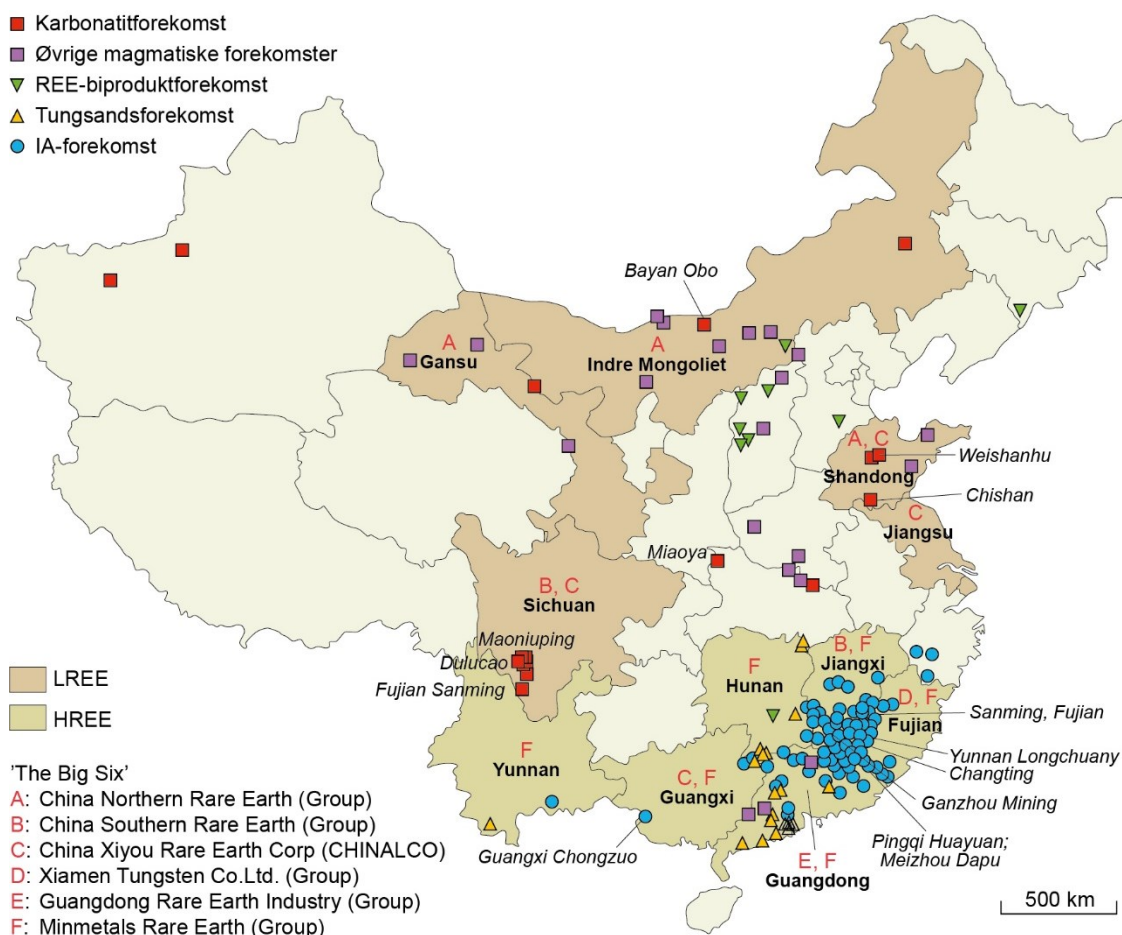
- China Aluminium Corporation (Chinalco)
- China Minmetals Rare Earth Corporation (Minmetals)
- Guangsheng Rising Nonferrous Metals
- Ganzhou Rare Earth Group (ejes af bystyret) (China Southern Rare Earth Group (CSREG))
- Northern Rare Earth Group
- Xiamen Tungsten Corporation

En oversigt over nogle af de datterselskaber, der er relateret til The Big Six, er vist i Appendiks V.

Organisationen af Kinas produktion af sjældne jordartsmetaller i The Big Six giver en konsolidering, som gør det muligt for Kina at udnytte de store ressourcer ved Bayan Obo i Indre Mongoliet samt forekomsterne i Sichuan-provinsen i vest og Shandong-provinsen i øst, som domineres af lette sjældne jordartsmetaller. Det store bidrag af tunge sjældne jordartsmetaller kommer fra udnyttelse af IA-forekomsterne i de sydlige provinser: Jiangxi, Ganzhou, Guangxi, Hunan, Fujian, Guangdong og Yunnan. Samlet kontrollerede The Big Six mere end 74 % af den kinesiske produktion af sjældne jordartsmetalråstoffer i første halvdel af 2016 (Liu 2016). Denne andel er antageligt øget i takt med, at Kina har nedbragt omfanget af de illegale produktioner i landet.

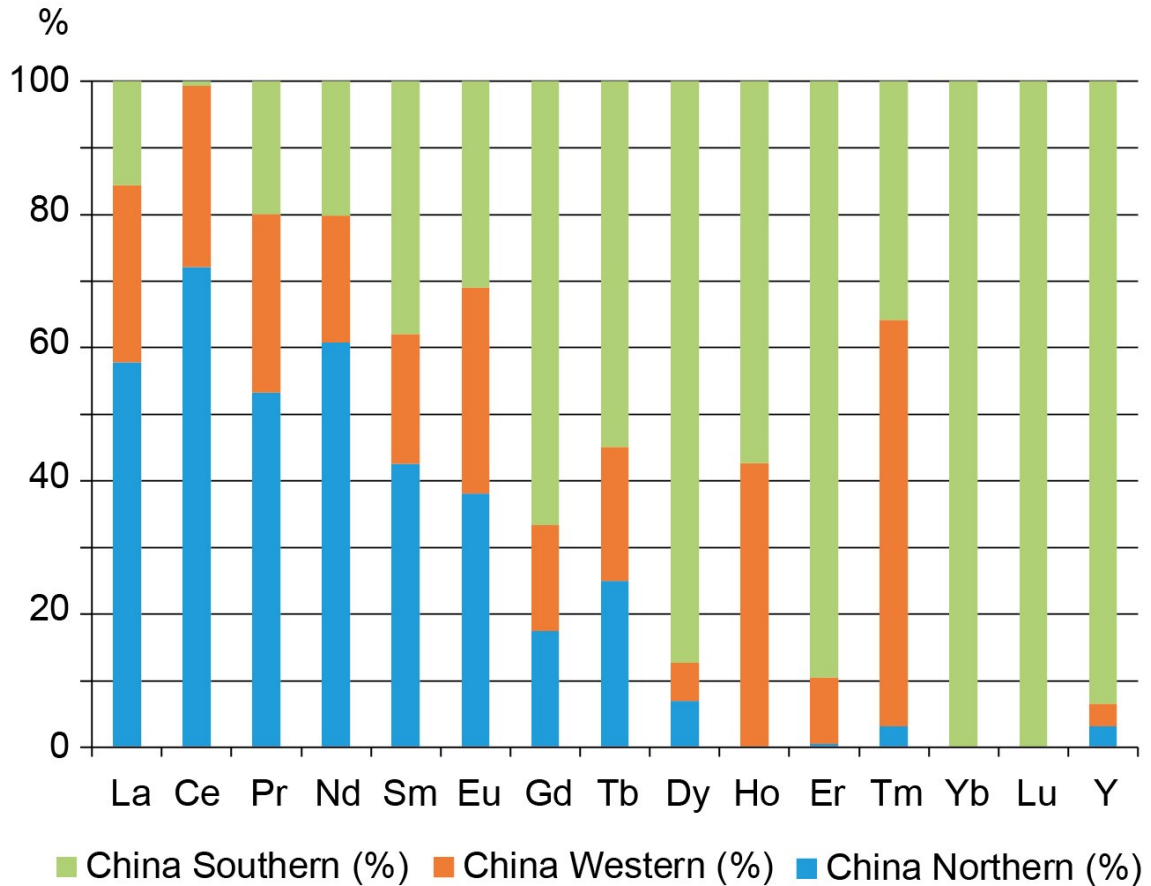
Den kinesiske primærproduktion foregår især i de tre nordlige provinser: (i) Indre Mongoliet med Bayan Obo som den dominerende producent; (ii) Sichuan-provinsen med China Southern Rare Earth Group/Jiangxi Coppers' udbygning af Maoniuping-minen, Chinalco/Shenghes Resources udbygning af Dalucao-minen samt en række nye projekter; og (iii) Shandong-provinsen med Chinalco/CISRI's udbygning af Weishanhu-minen samt udbygning af produktionerne i provinsens andre miner. Denne udvikling er også knyttet sammen med tildelingerne af produktionskvoter til provinserne, hvor Indre Mongoliet og Sichuan er tildelt hhv. 52 % og 31 % af kvoterne. Derimod er der faldende produktion i det sydlige Kina med nedlukninger af miner i provinserne Jiangxi, Hunan, Guangdong og Guangxi samtidig med, at de illegale produktioner fra IA-forekomster ligeledes er lukket; samlet har dette resulteret i en nedgang i produktionen af tunge sjældne jordartsmetaller. Kina har i diskussioner med Verdenshandelsorganisationen (WTO) argumenteret for, at disse tiltrængte miljøtiltag er årsag til nedskæringer i produktionen og dermed i eksporten af halvfabrikata (afsnit 4.3.3). Lukningerne af produktionen fra mange IA-forekomster har givetvis resulteret i, at Kina er udfordret på primære forsyninger af tunge sjældne jordartsmetaller.

I Figur 12-1 ses de vigtigste provinser i Kina, hvor The Big Six producerer og forarbejder sjældne jordartsmetaller. Ligeledes vises forekomsttyper, og om provinserne domineres af lette- eller tunge sjældne jordartsmetaller. I Figur 12-2 ses fordelingen mellem de sjældne jordartsmetaller i det sydlige, vestlige og nordlige Kina.



**Figur 12-1** De vigtigste provinser i Kina, hvor der produceres og forarbejdes sjældne jordartsmetaller. Baseret på Metal Events (2016).

Kina besluttede i november 2021 at omstrukturere The Big Six, så sammenlægning af China Aluminium Corporation (Chinalco), China Minmetals Rare Earth Corporation (Minmetals) og Ganzhou Rare Earth Group sammenlægges under det nye navn 'China Rare Earth Group' med base i Jiangxi-provinsen i det sydlige Kina. China Rare Earth Group vil blive Kinas næststørste producent af sjældne jordartsmetaller; de tre konsortiers kvoter vil overgå til det nye selskab (Jingjing 2021; Zhai 2021).

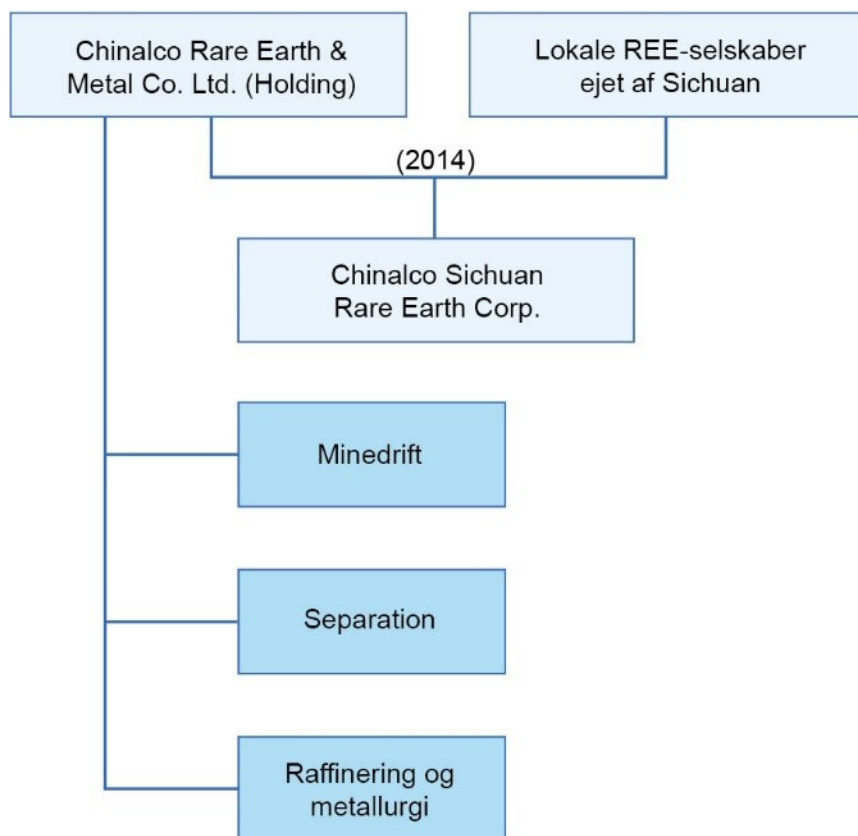


**Figur 12-2** Estimeret fordeling af sjældne jordartsmetaller i det sydlige, vestlige og nordlige Kina. Udarbejdet af MiMa på basis af data fra Liu (2016) og officielle produktionskvoter (Rao 2016).

#### China Aluminium Corporation (Chinalco)

Chinalco Rare Earth Corporation (CREC) er et datterselskab af det statsejede Aluminium Corporation of China (Figur 12-3).

Produktionen i Guangxi forestås af datterselskabet Guangxi Nonferrous Rare Earth Development Co. Ltd.



**Figur 12-3** Det statsejede Aluminium Corporation of China – ofte blot omtalt som Chinalco – har hovedparten af aktiviteterne indenfor separation, raffinering og metallurgiske processer; minedriften udgør kun en mindre del af aktiviteterne.

#### *China Minmetals Rare Earth Corporation*

China Minmetals Rare Earth Corporation er involveret i minedrift (især indvinding fra IA-forekomster), forarbejdning af disse råstoffer og separation af alle sjældne jordartsmetaller til oxidprodukter med høj renhed og er desuden involveret i forskning og udvikling samt rådgivning. Hovedparten af råstofferne indvindes fra Shenggongzhai-mineområdet; selskabet har desuden udnyttelsestilladelser fra Fetian-mineområdet. Der er ikke foretaget efterforskning i de senere år.

I 2019 var China Minmetals Rare Earth Corporations samlede produktion af sjældne jordartsmetaller ca. 4.000 ton (SMM News 2020).

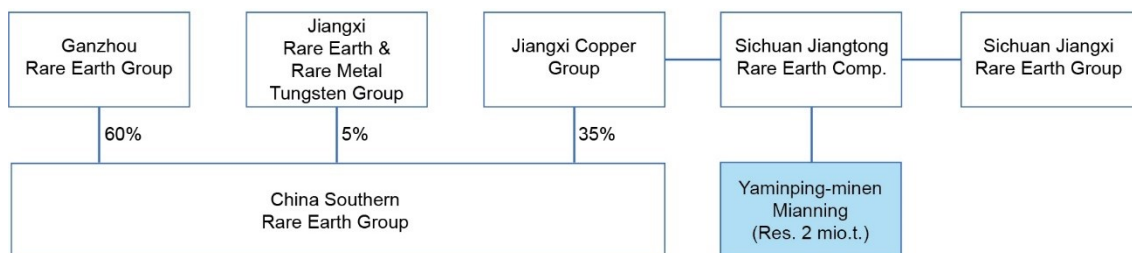
Datterselskaberne Dingnan Dahua og Guangzhou Jianfeng producerer og sælger højkvalitetsprodukter af sjældne jordartsmetaloxider. Produktionen omfatter især de tunge sjældne jordartsmetaller (HREE).

China Minmetals etablerede i 2011 Minmetals Sande (Ganzhou) Rare Earth Materials i Jiangxi i joint venture med det japanske Sand med henblik på produktion af NdFeB-magnetlegeringer samt magneter.

#### *China Southern Rare Earth Group*

China Southern Rare Earth Group (CSREG) udgøres af Ganzhou Rare Earth Group (60 %) (ejet af bestyret), Jiangxi Copper Group (35 %) samt Jiangxi Rare Earth & Rare Metal Tungsten Group Comp. (5 %) (Figur 12-4 og Tabel 12-1).





**Figur 12-4** China Southern Rare Earth Group udgøres af tre selskaber med en række datterselskaber.

Ganzhou-området i Jiangxi-provinsen er det vigtigste område for IA-forekomster i Kina og dermed for produktion af de tunge sjældne jordartsmetaller; minerne i området har dog været lukket siden 2016, men vil muligvis blive genåbnet, hvis miljøproblemerne kan håndteres. I dette område arbejder tre af The Big Six: Minmetals, Guangsheng Rising Nonferrous Metals og China Southern Rare Earth Group (CSREG). Desuden har nogle af de store magnetproducenter etableret sig i området, fx Jin Li Permanent Magnet, der forventer at øge den nuværende kapacitet på 15.000 ton/år til 23.000 ton/år i 2023, og desuden forventes China Science Sanhuan at etablere et anlæg i samarbejde med CSREG.

Ganzhou Rare Earth Mining, der råder over 43 licenser i Jiangxi-provinsen, omfatter bl.a. selskaberne Minmetals Rare Earth og Guangsheng Group.

**Tablet 12-1** Oversigt over China Southern Rare Earth Groups hovedselskab, datterselskaber og aktionærer/delejerne.

Group	Hovedselskab	Datterselskab	Aktionærer/delejerne
China Southern Rare Earth Group (CSREG)	Ganzhou Rare Earth Group	Minmetals Rare Earth	
		Guangsheng Group	
		Ganzhou Huahong Rare Earth New Materials Comp. Under opbygning: forventet kapacitet 60.000 ton/år magnetisk scrap og en produktion på ca. 20.000 ton/år (Nd, Pr, Tb, Dy).	Jiangsu Huahong Technology Co. (45 %) Ganzhou Zeyu Management Consulting Co. (28 %) Ganzhou Huayi Management Consulting Co. (17 %) (China Southern Rare Earth Group (10 %)???)

### Guangsheng Rising Nonferrous Metals

Guangsheng Rising Nonferrous Metals (GRNM) er et børsnoteret selskab under Guangdong Rare Earth Group, der er involveret i minedrift, processering og separation af sjældne jordartsmetaller og wolfram og handel med disse produkter. Selskabet producerer fra tre miner og fire separationsanlæg samt en produktionsenhed til fremstilling af MREE- og HREE-metaller. GRNM er desuden en del af et konsortium, som fremstiller NdFeB-magneter. Produktionen fra minerne har været faldende siden 2018 som følge af omstruktureringer og nedlukninger af IA-forekomster i Kina. Derimod har den øvrige del af produktionen været stigende (SMM News 2020).

### *Northern Rare Earth Group (ofte omtalt som Baogang Group)*

Northern Rare Earth Group (NREG) er verdens største producent af lette sjældne jordartsmetaller. Hovedaktionær i NREG er Baotou Iron & Steel Co., som er et datterselskab af Baogang (Group) Company (100 % statsejet); licensen til brydning og forarbejdning fra Bayan Obo-minen er tildelt Baotou Iron & Steel Co. Omkring halvdelen af NREG's produktion kommer fra brydning af Bayan Obo-minen, hvilket har givet NREG en betydelig rolle blandt de øvrige medlemmer af The Big Six.

Gruppens produktion omfatter alle dele af forarbejdningskæderne, dvs. brydning, processering af mineralerne, separation af de sjældne jordartsmetaller og raffinering til metalfremstilling og produktion af magneter (NdFeB), poleringsmidler, fosforescenser og materialer til katalytiske processer og NiMH-batterier.

NREG er forpligtet til at levere en given produktmængde internt i Baotou Iron & Steel Co., som i 2021 udgjorde mineralkoncentrater svarende til 100.000 ton TREO.

Baotou Rare Earth er medejer af Beijing Sanjili New Materials Magnet Alloying, der er en stor magnetproducent.

### *Xiamen Tungsten Corp. Ltd*

Xiamen Tungsten Corporation (XTC) er hovedsageligt involveret i wolfram-molybdæn-værdikæder og produktion af sjældne jordartsmetaller, der især er øget i de seneste 10 år. De største aktionærer i XTC er Fujian Rare Earth (Group) Co. Ltd (ca. 32 %), China Minmetals Nonferrous Metals Co. Ltd (ca. 9 %) og A.L.M.T. Corp. (7 %). XTC er ifølge Orbis (2021) organiseret i 103 datterselskaber og er lateralt integreret i produktion og handel med wolfram- og molybdænprodukter samt sjældne jordartsmetalprodukter omfattende alle dele af forsyningskæderne fra udvinning til færdige produkter og forbrugsvarer indenfor alle industrielle områder, hvor der anvendes sjældne jordartsmetaller. Mineaktiviteterne er knyttet til minerne Shanghang Jiazhuang og Liancheng Huangfang; Changting Yangmeikeng-minen er under igangsætning. Xiamen-gruppens datterselskaber er vist i Appendiks V. Det forventes, at den primære produktion i de kommende år især vil komme fra Shanghang Jiazhuang Rare Earth Mine, Liancheng Huangfang Rare Earth Mine og mineprojekterne i Changting Yangmeikeng.

## **12.1.1 Intern konkurrence mellem de kinesiske producenter**

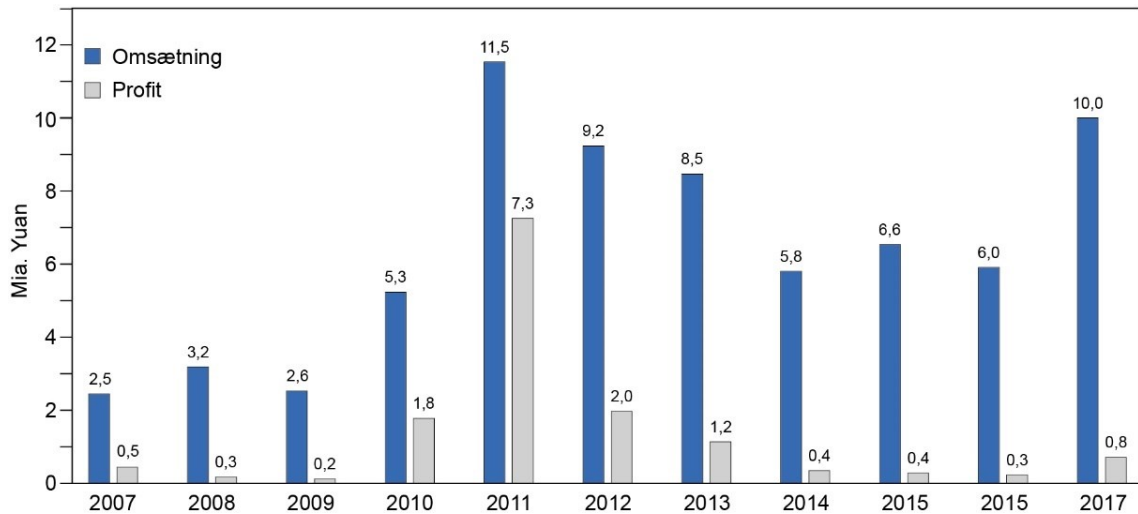
De hastigst stigende priser i 2011-2012 resulterede i en væsentlig øgning af produktionen i mange virksomheder og førte til en overproduktion af en række af de sjældne jordartsmetaller, herunder især lanthan og cerium. Med de efterfølgende faldende priser har dette bidraget til, at der er en betydelig konkurrence mellem de kinesiske virksomheder, som er involveret i de øvre dele af forsyningskæderne for de sjældne jordartsmetaller. Dette er illustreret i Figur 12-5, som viser udviklingen i omsætning og profit for China Northern Rare Earth Group i perioden 2007-2017; gruppen er den dominerende LREE-producent (The Rare Earth Observer 2021a).

## **12.2 Andre store kinesiske producenter**

### **Shenghe Resources Holding Co. Ltd.**

Shenghe Resources Holding Co. Ltd. er en stor, vertikalt integreret producent af sjældne jordartsmetaller og zirkon-titan-produkter. Selskabet er involveret i brydning, oplukning/opløsning af

mineral, separation (kun af sjældne jordartsmetaller) og produktion af metaller og legeringer samt handel med produkter fra disse værdikæder. Shenghe er primærproducent af sjældne jordartsmetaller i Kina og USA og er desuden involveret i forarbejdning af disse råstoffer i både Vietnam og Kina (Chen 2020).



**Figur 12-5** Den økonomiske udvikling for China Northern Rare Earth Group viser en stigende omsætning, men faldende indtjening. Kilde: Rare Earth Observer (2021a).

Shenghe Resources Holding Co. Ltd. blev etableret i 2013 med hovedkvarter i Hengdu Sichuan og er børsnoteret på Shanghais børs. Shenghes relationer til The Big Six og Kinas centralregering er uklare, men ejerkredsen omfatter bl.a. Chengdu Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources (IMUMR) (14 %) (Zeuthen pers. komm. 2021b), som er knyttet til Ministry of Land and Resources, samt Sichuan Geological and Minerals Resources Company (som udfører mineralefterforskning i bl.a. Laos og Mozambique). Det statsejede Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, som er en enhed under Kinas Geologiske Undersøgelse i Chengdu, er den største aktionær i Shenghe, som også har hovedkvarter i Chengdu. Den tidligere direktør i IMUMR, hr. Wan Quangen, er den største private aktionær i Shenghe Resources. Ledelsen i Shenghe og IMUMR er i betydeligt omfang sammenfaldende (Zeuthen pers. komm. 2021b).

Shenghe Resources har indgået et formaliseret samarbejde med Chinalco Sichuan Rare Earth Co. Ltd. og etableret selskabet Mianning Minali Rare Earth Conc. Co. Ltd, som ejer processeeringsanlægget, som planlægges at skulle arbejde med mineralkoncentrater fra Yangfanggon Rare Earth-minen, som afventer miljøgodkendelser inden den kan starte (Figur 12-6).

Shenghe Resources og Arafura indgik i 2013 en MoU om udviklingen af Nolan Bore-projektet i Australien; hvorvidt aftalen er forlænget, er uoplyst. To år senere, i 2015, indgik Shenghe en aftale med Tantalus Resources om årligt at aftage 3.000 ton MREO fra Tantalus' IA-forekomst i det nordlige Madagaskar. Shenghe indgik desuden en aftale om at finansiere 30 % af projektets udviklingsomkostninger mod sikkerhed i produktionen. Denne afsætningsaftale er den første en kinesisk virksomhed indgår med en ikke-kinesisk producent, og det må antages at have været godkendt af Kinas centralregering.

I 2016 indgik Shenghe Resources Holding Co. Ltd. og det australske Greenland Minerals Ltd. (GM) en samarbejdsaftale om udvikling af projektet ved Kvanefjeld/Kuannersuit i Sydgrønland; samtidig købte Shenghe ca. 8 % af aktierne i GM og blev repræsenteret i bestyrelsen. Shenghe

blev dermed den vigtigste strategiske partner, som i tillæg til viden om procesteknologi, er de facto garant for en eventuel afsætning af produkter fra Kvanefjeld/Kuannersuit; det er uklart, i hvilket omfang Shenghe har retten til at købe aktiemajoriteten i GM.

Shenghe Rare Earth Co. Ltd. indgik i 2017 en aftale med det amerikanske MP Materials Corp. (tidligere Mountain Pass) om medejerskab og ejer nu ca. 9 % af aktierne fordelt på Shenghe Resources Holding Co. Ltd, Shenghe Resources (Singapore) Pte. Ltd. og Shenghe Resources (Singapore) International Trading Pte. Ltd. Ejerskabsstrukturen er vist i Figur 12-6; angiveligt er Shenghe ikke repræsenteret i bestyrelserne af hverken MP Mine Operation eller MP Materials Corp. (MP Materials 2020).

MP Materials er en af de største producenter af REE-mineralkoncentrater uden for Kina (se kapitel 13) og har planer om at udvikle en lateral forsyningskæde fra mineraler til magneter med henblik på at forsyne de nordamerikanske markeder. Den planlagte produktion fra MP Materials' procesanlæg i Californien er 5.000 ton/år; hovedparten af malmkoncentratet vil derfor stadig skulle udskibes til forarbejdning i Kina.

Shenghe Resources blev omorganiseret i 2019, hvor der blev etableret fire produktionsgrupper:

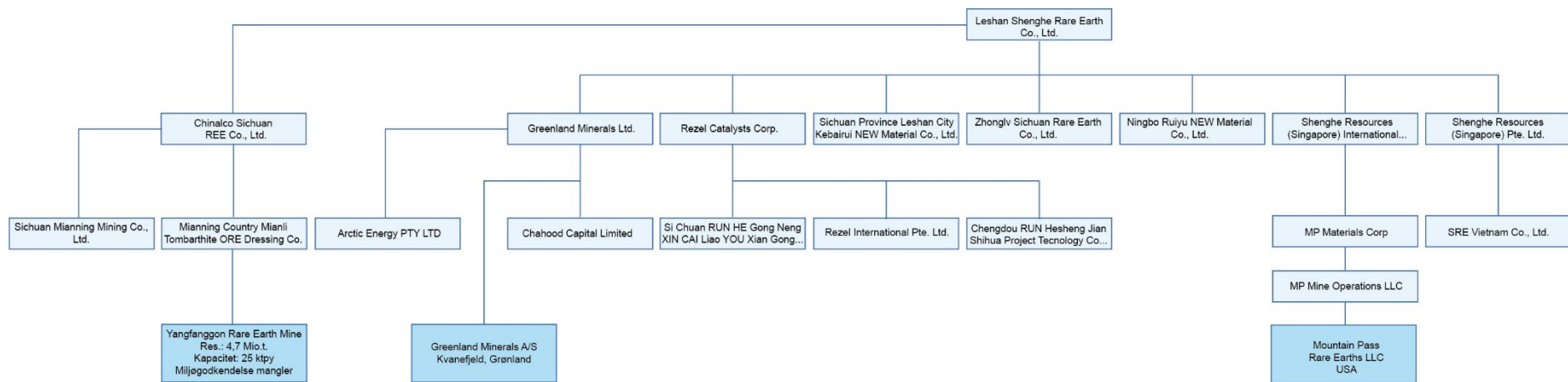
- Sichuan-undergruppen: Leshan Shenghe, Coburi og Geo Mining (tidligere Dechang County Polymetal Ore Test Mining Plant) med fokus på: brydning, processering og metalfremstilling af LREE
- Jiangxi-undergruppen: Chenguang Rare Earth, Quannan New Resources and Bulai Terbium med hovedforretningsområder indenfor separation af MREE-HREE, ekstraktion af sjældne jordartsmetaller fra affaldsstrømme, samt metalprocessering
- Hainan-undergruppen: Hainan Wensheng, Haituo Mining, Fujian Wnsheng, Fangchenggang Wensheng med fokus på indvinding og processering af tungsandsforekomster
- 'Overseas'-undergruppen med særligt fokus på handel af ikke-kinesiske REE-projekter.

Et organisationsdiagram for Leshan Shenghe med relationer til the Big Six samt Mountain Pass (USA) og Greenland Minerals (Kvanefjeld/Kuannersuit, Grønland) er vist i Figur 12-6.

I 2019 producerede Shenghe ca. 7.300 ton praseodymium-neodymium samt 48 ton terbium og 375 ton dysprosium (SMM News 2020).

I 2021 rådede Leshan Shenghe Resources produktionsmæssigt over ca. 50.000 ton TREO, hvoraf hovedparten kommer fra MP Materials, USA, samt en separationskapacitet (Liannyungang) på ca. 15.000 ton/år og en REE-metalproduktion (Chenguang) på ca. 12.000 ton/år (i 2019 udgjorde NdPr-metal ca. 7.300 ton, Te ca. 48 ton og Dy ca. 375 ton (SMM News 2020)). Shenghe har desuden kapacitet til at processere ca. 500.000 ton/år tungsandsprodukter.

(Leshan) Shenghe Resources søger tilsyneladende at øge selskabets forsyninger af primærråstoffer og indgik i 2021 en samarbejdsaftale med det australske efterforskningselskab RareX om dannelse af et fælles handelsselskab med henblik på opkøb af mineralkoncentrater af sjældne jordartsmetaller fra produktioner uden for Kina og processering på Shenghes anlæg i Kina. Aftalen giver også Leshan Shenghe Resources ret til at aftage en eventuel produktion fra RareX' Cummins Range-forekomst (Roskill 2021b). Shenghe indgik i 2015 en afsætningsaftale med Tantalus om at aftage 3.000 ton/år MREC (Mining Review Africa 2015).



Figur 12-6 (Leshan) Shenghes koncernstruktur. Kilde: Orbis (2021).

### China Nonferrous Metal Mining (Group) Co. Ltd.

China Nonferrous Metal Mining (Group) Co. Ltd. (CNMC) blev etableret i 1983 og er et statsejet konsortium, som arbejder med udvikling af ikke-jernholdige metaller, ingeniørmæssige anlægsopgaver samt rådgivning og handel; selskabet blev primært dannet for at forestå opgaver uden for Kina. I 2021 er selskabet repræsenteret i mere end 80 lande og har været involveret i næsten alle typer af ikke-jernholdige metalprojekter, herunder sjældne jordartsmetaller.

CNMC er organiseret i en række børsnoterede selskaber samt 33 holdingselskaber, heriblandt China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co. Ltd, som har været involveret i en række projekter med sjældne jordartsmetaller i Vesten. Eksempelvis forsøgte CNMC i 2009 at købe det australske Lynas Corp., som ejer Mt. Weld-projektet, men denne handel blev afvist af de australske myndigheder. I årene 2014-2016 indgik CNMC en samarbejdsaftale med Greenland Minerals (GM) om udvikling af Kvanefjeldsprojektet i Grønland (se kapitel 10); af ukendte årsager blev CNMC i 2016 udskiftet med Shenghe Resources. Koncernstrukturen for CNMC er vist i Tabel 12-2.

**Tabel 12-2** Koncernoversigt for China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co. Ltd. Kilde: Orbis (2021).

China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co. Ltd	CNFC Equipment Co. Ltd
	CNFC Kazakhstan (Kz)
	Chifeng NFC Zinc Co. Ltd
	Guangdong Zhujiang Rare Earths Co. Ltd
	Shenyang Jiacheng Industrial Co. Ltd
	Zhongse Int. Alumina Develop. Co. Ltd
	Beijing Zhongse Metal Resources Co. Ltd
	Monglia Industrial Construction Co Ltd (Mn)
	China-Australian Resources Holding Ltd (LA)
	NFC Rare Earth Co. Ltd
	NFC Shenyang Metallurgical Machinery Co. Ltd
	China-Australian Resources (Laos) Hong Kong Ltd.
	Xindu Cargo Co. Ltd (MN)
	Chifeng CNMC Baiyinnuoer Mining Industry Co. Ltd
	Acxap-Tay (KZ)
	Zhongse Meigong Mines Ltd. (LA)
	Zhnagse Southern Rare Earth (Zinfeng) Co. Ltd
	SNFS (Elos) (RU)
	NFC (Saudi Arabia Co. Ltd. (A)
	Kaifeng Resources Holdings Ltd. (VG)
	NFC Metal Pte. Ltd
	China Nonferrous Metals (Erenhot) Co. Ltd.
	NFC Development (DRC) Company Ltd. Sarl (CG)
	Baisheng fulcrum Company (Pty) Ltd (ZA)
	NFC Kyrgyzstan Co. Ltd (KG)
	Chifeng Hongye Investment Co. Ltd.
NFC Russia Co. Ltd (RU)	

I 2019 indgik CNMC en ikke-bindende aftale med det kinesiske ISR Capital (nu Reenova Investment Holding Ltd.) om etablering og drift af Tantalus' projekt på Madagaskar; samtidig indgik de i en købsoption på 3.000 ton/år af 'produkterne'. Reenova Investment Holding er angiveligt den reelle licenshaver.

## 12.3 Større kinesiske magnetproducenter

Et af resultaterne af den grønne omstilling og elektrificering af især transportsektoren er et meget stærkt stigende forbrug af permanente magneter. En betydelig del af disse magneter er af typerne NdFeB og SmCo (se afsnit 3.2.1), der er blevet det økonomisk vigtigste marked for de fire sjældne jordartsmetaller praseodymium, neodymium, terbium og dysprosium. Fremstilling af højkvalitetsmagneter er bundet op på patenter og knowhow og sker i et konkurrencepræget marked, som herudover forudsætter, at der er adgang til de rigtige råmaterialer. Førnævnte faktorer begrænser mulighederne for etablering af nye fabrikker efterhånden som behovet opstår. Kina menes at have en årlig produktionskapacitet på ca. 400.000 ton af de efterspurgte magneter, hvilket er større end det nuværende globale behov, så Kina er på nuværende tidspunkt markedsledende.

Eksempler på nogle af de større kinesiske magnetproducenter er nævnt nedenfor.

### *Beijing Zhongke Sanhuan High Technology Co. Ltd.*

Beijing Zhongke Sanhuan High Technology Co. Ltd. (Zhongke Sanhuan) er især involveret i forskning og udvikling og produktion og salg af materialer til NdFeB-magneter og er angiveligt den næststørste producent i verden af denne magnettype. Der er råstofleveringsaftaler med China Southern Rare Earth Group (CSREG) og Keli Rare Earth. I konsortiet indgår bl.a. datterselskabet Ningbo Koningda Industrial Co. Ltd., som i fællesskab med Dandong Rare Earth Group Co. Ltd. ejer Ningbo Zoning Special Alloy Co. Ltd., som har indgået aftale om råmaterialeforsyninger med CSREG. Gruppen har indgået samarbejdsaftale med Tesla Motors Inc. (USA) og er samarbejdspartner med Vacuumschmelze GmbH & Co. (Tyskland).

### *Galaxy Magnet*

Galaxy Magnet blev etableret i 1993 med forretningsområder indenfor især forskning & udvikling og produktion af magnetmaterialer og bondede NdFeB-magneter (se afsnit 3.2.1) samt varmpresede SmCo-magneter.

### *Hengdian East Magnetic Field*

Hengdian East Magnetic Field (HEMF) er en privatejet virksomhed, som producerer materialer til magneter og energibesparende produkter. Derudover er koncernen involveret i fremstilling af solcelleanlæg. Koncernen er den største af sin slags i Kina og leverer til bl.a. Huawei, Tesla, Bosch, Samsung, Valeo og Panasonic.

### *Jin Li Permanent Magnet*

Jin Li Permanent Magnets (JL Mag) forretningsområde er især højkvalitetsmagneter til energifremstilling og -besparelser. Med sin beliggenhed i Ganzhou, Jiangxi-provinsen, ligger virksomheden i et af de områder, hvor der indvindes store mængder tunge sjældne jordartsmetaller, og virksomheden har indgået en forsyningsaftale med Ganzhou Rare Earth Group. JL Mag har i flere år leveret magneter til Bosch Group og indgik i 2019 aftale om levering af magneter til Volkswagen Group MEB og American General Motors. I 2017 blev den årlige produktionskapacitet udbygget fra 6.000 ton til 10.000 ton NdFeB-magneter.

#### *Ningbo Yun Sheng*

Ningbo Yun Sheng er specialiseret i højkvalitets-NdFeB-magneter baseret på egne forsknings- og udviklingsprojekter, særligt rettet mod magneter til bilproducenter, og er en af Kinas største producenter på området. I 2019 blev der produceret ca. 170.000 ton sintrede NdFeB-magneter og ca. 7.900 ton bonded magneter (SMM News 2020).

#### *Yantai Zhenghai Magnetic Material*

Yantai Zhanghai Magnetic Material er specialiseret i produktion af NdFeB-magneter til områder, hvor der stilles særlige krav til magneternes ydeevne. Selskabet har en kapacitet på ca. 10.000 ton/år.



## 13. Eksempler på forsyningskæder uden for Kina

Mange af de eksisterende vestlige virksomheder, der indgår i værdikæderne for sjældne jordartsmetaller, er afhængige af import og eksport af deres råstoffer og produkter, hvor Kina uden sammenligning er knudepunkt for mange af disse aktiviteter. For at opnå konkurrencemæssige fordele har en del vestlige virksomheder oprettet datterselskaber i Kina, og omvendt har en del kinesisk registrerede virksomheder oprettet datterselskaber i Vesten med det resultat, at der ikke kan skelnes skarpt mellem begreberne 'Kina' og 'Vesten', og at virksomhedernes markedsstrategiske præferencer ikke er tydelige. Denne manglende transparens er en udfordring for de erhvervspolitiske tiltag, der i flere lande er igangsat for at indfri de vestlige politiske mål om etablering af nationale, Kina-uafhængige værdikæder, bl.a. fordi selskaberne afstemmer deres 'nationalitet' med, hvad der er forretningsmæssigt mest fordelagtigt i en given situation. Det skal bemærkes, at det i mineindustrien er mere undtagelsen end reglen, at råstofferne forarbejdes i det land, hvor de brydes.

Mountain Pass-minen i USA er et eksempel på en virksomhed fra den øvre del af værdikæderne, hvor der foregår et tæt samarbejde med Kina. Efter en række turbulente år fra 2002 til 2017, hvor minen åbnede og lukkede med nye ejere (se afsnit 13.1.21), overtog MP Materials (som er et konsortium bestående af MP Mining Operation LLC, QTT Financial, JHL Capital og det Singapore-registrerede selskab Resource International Trading (som er et datterselskab til Shenghe Resources)) i 2017 minen. Dette konsortium ændrede forretningsmodellen til salg af mineralkoncentrat til oparbejdning og forbrug i Kina; USA blev dermed storeksportør af sjældne jordartsmetaller til Kina. Med kombinationen af kinesisk medejerskab, afsætning af hele produktionen i Kina og beliggenhed og registrering i USA udgør MP Materials en hybrid af et vestligt/kinesisk selskab og kan drage fordel af både amerikanske erhvervsstøtteordninger, uden forpligtelser til sikring af at produktionen indgår i USA's værdikæder, samt adgang til det kinesiske marked.

Magnequench er et andet eksempel på en international virksomhed med uklare nationalt tilhørsforhold. Magnequench, der oprindeligt var ejet af General Motors og en af USA's største magnetfabrikker, og som udviklede de første NdFeB-magneter, blev i 1995 overtaget af den amerikanske Sextant Group og de to kinesiske selskaber China Non-Ferrous Metal Import & Export (CNNMC) og San Huan New Material. I 1997 overtog Oufem Holding, datterselskab til CNNMC, den kinesiske majoritet i virksomheden og overflyttede i 2000 produktionen og patenter til Kina. Dette skete samtidigt med, at Mountain Pass-minen lukkede efter krav fra myndighederne (se afsnit 4.3.1). Dermed mistede USA både råstofproduktion, forarbejdning og knowhow, hvilket blev både accepteret og tilskyndet af USA's regering som led i at minimere omkostningerne til bl.a. løn. I 2005 blev Magnequench og det canadiske selskab AMR Technologies sammenlagt og navnet blev ændret til Neo Materials Technologies, der i 2012 overtog selskabet Molycorp Inc., inklusive separationsfaciliteterne på Silmet-anlægget i Estland. Neo Magnequench, som er selskabets seneste navn, er børsnoteret i Toronto med aktiviteter i Kina i bl.a. Beijing, Tianjin, Hejn, Zibo og Jiangyn. Magnequenchs har bl.a. licensaftaler med Beijing Zhongke Sanhuan High Technology om produktion af REE-magneter

Af andre vestlige selskaber med joint ventures eller delejerskaber i midtstrømsproduktionerne i Kina kan fx nævnes: samarbejdet mellem Sumikin Molycorp, Hitachi Metals og Advanced Materials Japan Corporation med magnetproducenten Girem Advanced Material; Hitachi Metals' licensaftale med Beijing Zhongke Sanhuan High Technology om produktion af REE-magneter; Vacuumschmelze GmbH & Co.'s joint venture med Beijing Sanvac, som producerer NdFeB-

magneter; og Beijing Zhongke Sanhuan High Technologys joint venture med Sagami Chemical Metal Co. Ltd. om magnetproduktion (NdFeB).

Kina er det eneste land, som har komplette værdikæder indenfor sjældne jordartsmetaller med kapacitet til at sikre både egen forsyning og eksport af industrielle produkter, hvori de sjældne jordartsmetaller indgår eller er en del af. Værdikæderne for sjældne jordartsmetaller i lande uden for Kina er ufuldstændige (Tabel 13-1). Nedenstående gives en række eksempler på vestlige virksomheder, som indgår i de eksisterende værdikæder, og selskaber som arbejder på projekter, som på sigt kan blive dele af disse kæder.

**Tabel 13-1** Oversigt over lande med forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller. Vestens kapacitet til separation, processering (oxid til metal og til legeringer) og magnetproduktion er lille sammenlignet med Kinas. Mixed compounds angiver her blandede REE-produkter, som fremkommer ved opløsning af mineralet; oftest er det MREC-produkter.

Land	Minedrift	Mixed compounds	Separation	Processering: oxid til metal	Processering: legeringer	Magnetproduktion
Australien	X	(X)				
Brasilien	X					
Burundi	X					
Estland			X			
Frankrig			X			
Indien	X	X	X			
Japan			X	X	X	X
Kasakhstan			(X)			
Kina	X	X	X	X	X	X
Madagaskar	X					
Malaysia		X	X			
Myanmar	X					
Rusland	X	X	X			
Storbritannien				X	X	
Thailand	X					
Tyskland					X	X
USA	X	(X)	(X)			(X)
Vietnam	X			X	X	X
Østrig					X	X

### 13.1 Eksempler på potentielle nye 'vestlige' forsyningskæder

I dette afsnit gives eksempler på de partnerskaber, der indgår i nogle af de potentielle nye 'vestlige' forsyningskæder for sjældne jordartsmetaller. Eksemplerne illustrerer, at mineralindustrien og de forbundne forsyningskæder er internationale; meget få forsyningskæder kan fungere som isolerede nationale kæder. Det fremgår desuden, at efterforskningselskaberne i en del tilfælde har accepteret det vilkår, at der ikke er aftagere til deres produkter i Vesten, hvorfor der i forskelligt omfang er indgået aftaler med kinesiske samarbejdspartnere.

Eksemplerne er ordnet alfabetisk i forhold til det land, hvori kædens øverste del er geografisk placering. Projekternes eventuelle øvrige produkter, som ikke udgøres af sjældne jordartsmetaller, nævnes kun undtagelsesvist. Gennemgangen af eksemplerne skal alene bidrage til at give et

billede af hvor, hvordan, hvad og hvem, der er involveret i nogle af de potentielt nye forsyningskæder, og der foretages ikke en forretningsmæssig vurdering af projekterne. En oversigt over projekternes placering i værdikæderne og de selskaber, der indgår i hver kæde, er vist i Tabel 13-1.

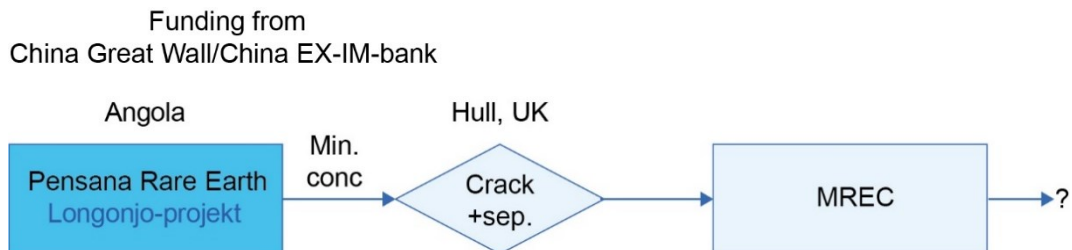
### 13.1.1 Angola

#### Pensana Rare Earth (Longonjo)

Pensana Rare Earth Plc meddelte i maj 2021, at selskabet påbegyndte etableringen af det 125 mio. USD-dyre separationsanlæg ved Saltend Chemical Park, Hull, England. Anlægget angives at skabe 100 nye arbejdspladser og levere ca. 5 % af den globale efterspørgsel af magnetmetaloxider (Figur 13-1).

*Samarbejdspartnere:* China Great Wall/China EX-IM-bank er involveret i finansiering af mineprojektet

*Angivet årlig produktion:* ca. 12.500 ton TREO, heraf 4.500 ton NdPr-oxid. Malmen indeholder 0,09 % thorium, og den planlagte produktion vil desuden give ca. 1.340 ton ThO<sub>2</sub>



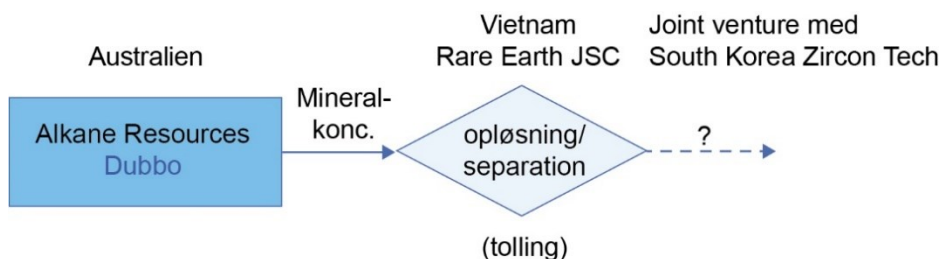
**Figur 13-1** Forsyningskæde for malm fra Longonjo-forekomsten i Angola, som ejes af Pensana Rare Earth.

### 13.1.2 Australien

#### Alkane (Dubbo) – Vietnam Rare Earth JSC – South Korea Zircon Tech (Sydkorea)

Alkane, som udvikler Dubbo-projektet, forventer at bearbejde malmen i Australien og sende mineralkoncentratet til processing og separation hos Vietnam Rare Earth JSC (VRE JSC), som skal udføre dette arbejde i kommission (tolling) (Figur 13-2). Shenghe Resources (Singapore) Pte. Ltd. ejer 90 % af VRE JSC; 10 % ejes af det japanske selskab Chuo Denki Kogyo Co. Ltd. Det er ikke oplyst, hvilket produkt der skal sendes videre til South Korea Zircon Tech, og om en del af produkterne afsættes til anden side.

*Angivet årlig produktion:* 3.675 ton TREO



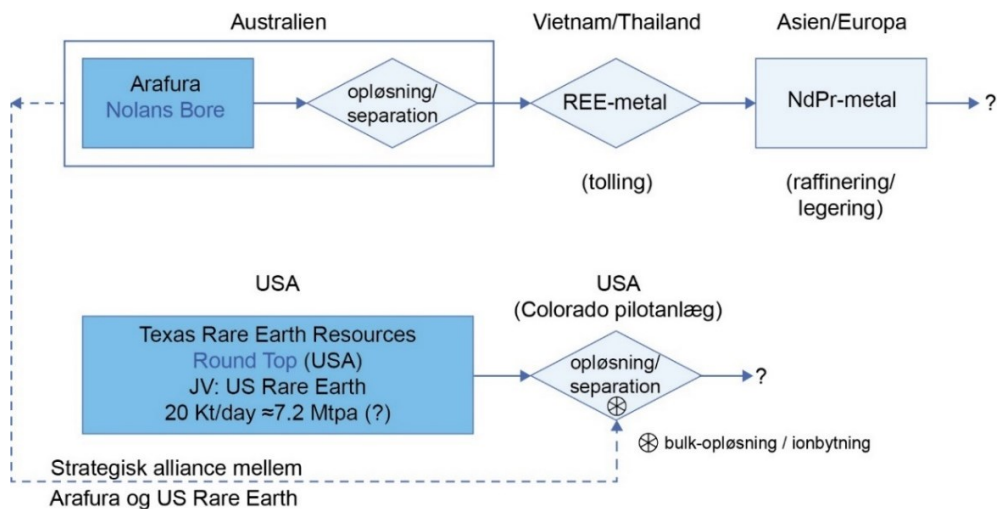
**Figur 13-2** Påtænkt forsyningskæde for malm fra den australske forekomst Dubbo.

### Arafura Resources Ltd. (Nolans Bore) – Vietnam/Thailand

I 2013 indgik Arafura Resources Ltd. en MoU med China Nonferrous Metals Co. om udvikling af Nolans Bore-forekomsten. Det er uklart, om denne aftale er forlænget, men i 2019 indgik Arafura en MoU med Baotou Tianhe Magnets Technology Co. Ltd. med henblik på en flerårig afsætningsaftale om ca. 4.350 ton NdPr-oxid/år, som råstof til Baotou Tianhes NdFeB-magnetproduktion. Oversigt over forsyningskæderne for malm fra Nolans Bore kan ses i Figur 13-3.

I 2021 oplyste Arafura, at der forhandles afsætningsaftaler med virksomheder i Europa, Japan, Sydkorea, USA og Kina svarende til 120 % af den planlagte produktion fra Nolans Bore. Endelig beslutning om igangsætning forventes afgjort i anden halvdel af 2022 (Arafura Resources 2021).

Angivet årlig produktion: 14.000 ton TREO



**Figur 13-3** Forsyningskæder for malm fra Nolans Bore-projektet i Australien. Opløsning af mineral og separation i Australien, efterfølgende raffinering og metalfremstilling i enten Vietnam eller Thailand. Desuden er der indgået en strategisk alliance med US Rare Earth.

### Hastings Technology Metals (Yangibana) – China Northern og Thyssenkrupp Material Trading

Hastings Technology Metals, som arbejder på at udvikle Yangibana-forekomsten ved Onslow i Australien, har forretningsrelationer med China Northern Rare Earth og indgik i 2017 følgende afsætningsaftaler:

- Levering af 2.500 ton/år af MREC til Baotou Sky Rock Rare Earth New Material
- Levering af 2.000 ton/år af MREC til China Rare Earth Holding
- Levering af 1.500 ton/år af MREC til Ganzhou Qiandong Rare Earth Group som udvikler, producerer og sælger RE-råmaterialer; aftalen er 3-årig med mulighed for forlængelse
- Levering af 6.000 ton/år (usikker information) til Thyssenkrupp Material Trading.

Malmen fra Yangibana er karakteriseret ved at have højt indhold af neodymium og praseodymium. Etablering af minen og forarbejdningsanlæg forventes igangsat i 2022 med forventet produktion i 2024. Den planlagte årlige produktion er 15.000 ton MREC (indeholdende ca. 23 % TREO). Dele af det planlagte forløb fra mine til Thyssenkrupp Material Trading kan ses i Figur 13-3.

Angivet årlig produktion: ca. 3.500 ton TREO

### **Lynas Corp. Ltd.**

Lynas Corp. Ltd., den største vestlige producent af sjældne jordartsmetaller, åbnede mine og procesanlæg ved Mt. Weld i 2007 og påbegyndte processering og separation ved Lynas Advanced Material Plant (LAMP)-anlægget i Gebeng i Malaysia i 2013. Procesanlægget ved Mt. Weld til opkoncentrering af monazit (m.fl.) kan producere ca. 70.000 ton mineralkoncentrat/år, svarende til ca. 28.000 ton TREO. LAMP-anlægget har en separationskapacitet på ca. 26.000 ton/år TREO, men tilladelserne til produktion udløber i 2023, og selskabet er udfordret mht. at opfylde de malaysiske myndigheders miljøkrav for tailings.

Japan er Lynas' største marked og har siden 2011 bidraget med lånefinansiering til etablering og udbygning. Lynas Rare Earths Ltd. meddelte i august 2021, at selskabet havde modtaget 10,9 mio. USD fra den australske stat til udvikling af 'verdens største produktionsanlæg uden for Kina'; selskabet planlægger at etablere anlægget nær Kalgoorlie, Australien (The Rare Earth Observer 2021d). Lynas forventer at investere omkring 400 mio. USD i anlægget, som skal fremstille REC af malmen fra Mt. Weld med henblik på eksport (antageligt til LAMP-anlægget i Malaysia); det må antages, at anlægget ved Kalgoorlie på sigt skal udbygges til afløsning af LAMP.

Se også Lynas Rare Earths aktiviteter i afsnit 13.1.21.

### **Northern Minerals (Browns Range) – Conglin Baoyuan – Thyssenkrupp Material Trading**

Northern Minerals udvikler under fællesnavnet Browns Range forekomsterne Wolverine, Gambit West, Gambit, Area 5, Cyclops, Banshee og Dazzler i det nordlige Vesta Australien. Et pilotanlæg åbnede i 2018 og blev opført i samarbejde med Sinosteel, som yder teknisk og økonomisk støtte til projektet. Northern Minerals har indgået en aftale med Thyssenkrupp Material Trading om behandling af 114 ton mineralkoncentrat fra Browns Range-projektets pilotproduktion (Figur 13-4).

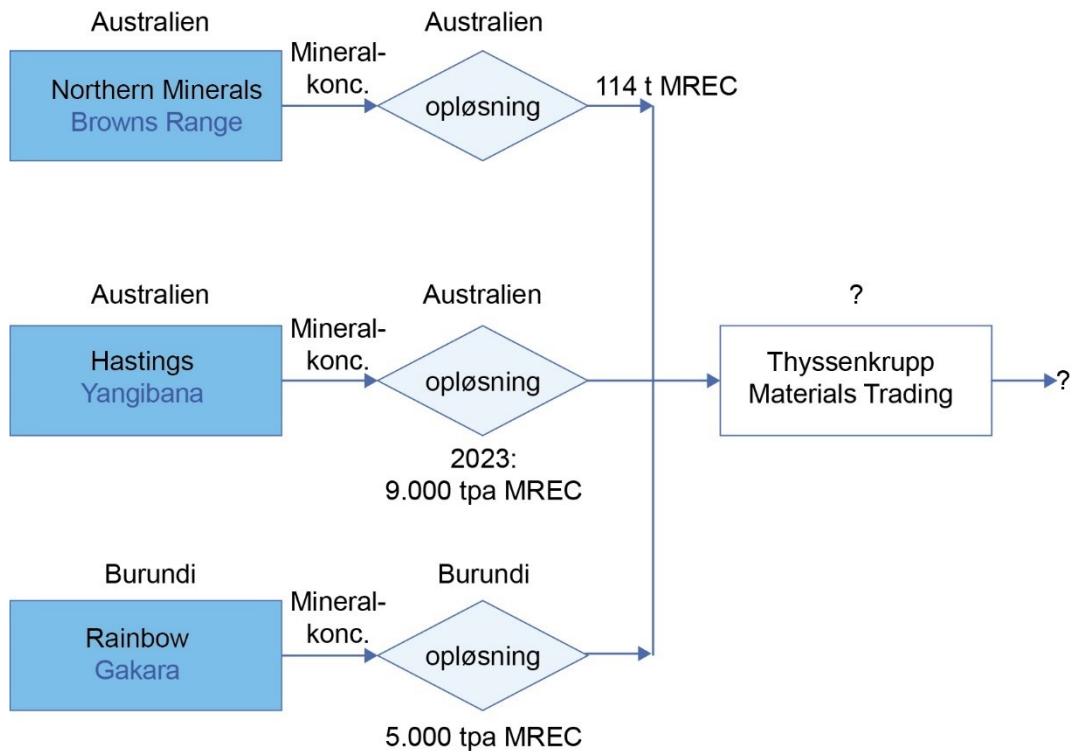
Northern Minerals ansøgte i 2012 de australske myndigheder om tilladelse til at indgå investeringsamarbejde med China Northern Rare Earth Group og Baotou Steel (Baogang) om kinesisk investering på 20 mio. AUD til udvikling af Browns Range-projektet; myndighederne godkendte ikke dette samarbejde. Northern Minerals indgik efterfølgende en afsætningsaftale med en unavngivet japansk virksomhed. En mindre del (<5 %) af Northern Minerals aktier ejes af Conglin Baoyuan Int. Investment Group, som kontrolleres af kinesiske investorer.

*Angivet årlig produktion: Uoplyst*

### **RareX (Cummins Range Project) – Shenghe Resources**

RareX indgik i februar 2021 en ikke-bindende samarbejdsaftale med Shenghe Resources om udvikling RareX's Cummins Range-projekt, etablering af et fælles handelsselskab for opkøb af TREO-råmaterialer fra områder uden for Kina og etablering af et fælles raffineringsanlæg uden for Kina. Det fælles selskab, Rare Earths Trading Company (RET Co.), ejes 51 % af Shenghe og 49 % af RareX.

*Angivet årlig produktion fra Cummins Range: Uoplyst*



**Figur 13-4** Forsyningskæde af råmaterialer til processering/separation hos Thyssenkrupp Materials Trading. Bemærkninger til Rainbows produktion er anført under afsnit 13.1.3 Burundi.

### 13.1.3 Burundi

#### Rainbow Rare Earth (Gakara), Bujumbura, Burundi) – Thyssenkrupp Material Trading

Rainbow Rare Earth Ltd. fik i 2015 licens til at udnytte en højlydige malm fra flere mindre forekomster nær Bujumbura (Gakara) i Burundi i 25 år; prøveproduktion blev igangsat i Gakara i 2019 samtidig med løbende mineralefterforskning. Forretningskonceptet er baseret på eksport af mineralkoncentrat (bastnäsit, monazit) med en forventet årlig produktion på ca. 5.000 ton mineralkoncentrat, stigende til ca. 10.000 ton/år med et angivet indhold på ca. 50 % TREO (Figur 13-3). Malmen har relativt højt indhold af lette sjældne jordartsmetaller.

Prøvebrydning og processering pågår, men blev indstillet i juli 2021 efter påbud fra regeringen, som ønsker licensaftalen genforhandlet. Der er indgået afsætningsaftale med Thyssenkrupp Material Trading om 5.000 ton/år mineralkoncentrat og udskibning via Mombasa, Kenya.

*Angivet årlig produktion fra Gakara:* Uoplyst – men anslås at udgøre ca. 5.000 ton/år TREO

### 13.1.4 Belgien

#### Solvay Rare Earth Systems

Solvay er en verdensomspændende virksomhed med ca. 23.000 medarbejdere med projekter/kontorer i mere end 60 lande med fokus på kompositmaterialer og kemikalier; sjældne jordartsmetaller indgår i produktporteføljen.

Den belgiske koncern Solvay købte i 2011 den franske kemikoncern Rodia samt deres separationsanlæg i La Rochelle i Frankrig. Anlægget har en installeret produktionskapacitet på 9.000 ton/år TREO. Der har angiveligt været miljøproblemer grundet indhold af radioaktive stoffer i de væsker, der blev behandlet på anlægget, og produktionen er tilsyneladende flyttet til Kina. Solvay har efterfølgende tilbudt at udføre separation for nye mineselskaber, såfremt de materialer, der ønskes behandlet, kan opfylde de tekniske krav for at fungere i anlægget (der må fx ikke være indhold af uran, thorium, jern, aluminium og fluor) samt de franske miljøstandarder for radioaktiv indhold.

### 13.1.5 Canada

#### **Avelon/Vital Metals/Cheetah Resources (Nechalacho) – Search Minerals – REEtec**

Avelon og Vital Metals har fælles ejerskab over NWT Rare Earth Ltd. (NWTREL) med Vital Metals' datterselskab Cheetah Resources som operatør. Saskatchewan's regering har ydet finansiel støtte (ca. 31 mio. CAD) til etablering af et separationsanlæg (Menezes 2021). Konceptet i denne forsyningskæde er baseret på, at Cheetah bryder de REE-holdige mineraler i T-zonen af Nechalacho-forekomsten og desuden er ansvarlig for at opbygge og drive et anlæg, som forarbejder mineralerne og fremstiller et blandet karbonatprodukt indeholdende alle de sjældne jordartsmetaller. Forarbejdningen er baseret på et patent (Direct Extraction Process), som ejes af Search Minerals. Karbonatproduktet eksporteres efterfølgende til REEtecs separationsanlæg ved Porsgrunn i Norge, som skal fremstille RE-oxidprodukter med 99-99,999 % renhed (Avelon 2020). Aftalen omfatter levering af 2.000 ton/år TREO med et indhold på 750 ton NdPr-oxid med maksimalt 25 % ceriumoxid. Der foreligger ikke oplysninger om den efterfølgende forarbejdningsrute.

*Angivet årlig produktion fra Nechalacho:* Uoplyst, men Vital Metals har femårs kontrakt på levering af 1.000 ton/år MREC (eksklusive cerium) til REEtec, og der arbejdes på en tiårs kontrakt på 2.000 ton/år MREC samt leveringsaftale til Ucore Rare Metals' Alaska-2023-projekt.

#### **Defense Metals Corp. (Wicheeda) – Sinosteel**

Defense Metals Corp. (DMC) indgik i august 2021 en teknisk og økonomisk samarbejdsaftale med Sinosteel Equipment & Engineering Co. Ltd. (datterselskab af Sinosteel Corp.) med henblik på etablering af pilotanlæg til mineralprocessering og -separation af de enkelte sjældne jordartsmetaller, som skal bruges til udvikling af DMC's Wicheeda-forekomst i British Columbia i Canada. Forretningsmodellen angives at være produktion af mineralkoncentrat med minimum 48 % sjældne jordartsmetaller med fokus på råstoffer til militærindustrielle anvendelser (Bird *et al.* 2019).

*Angivet årlig produktion fra Wecheeda:* ikke oplyst

#### **Great Western Minerals Group**

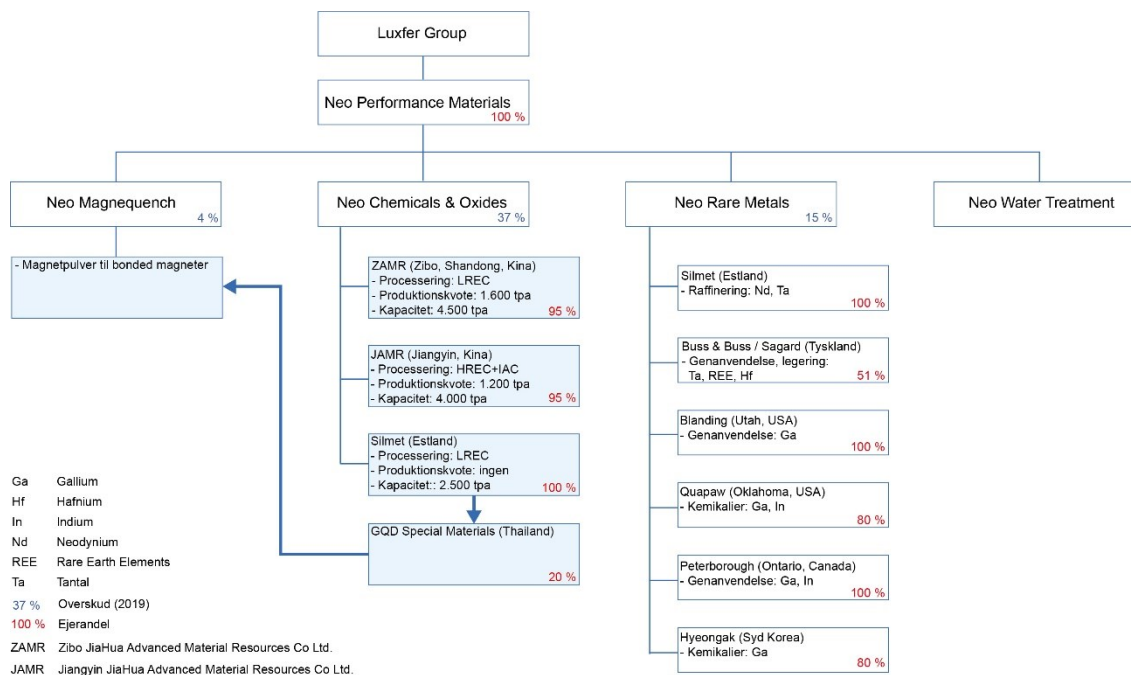
Great Western Minerals Group (GWMG) har tre efterforskningslicenser (Hoidas Lake, Canada), Malilongue (Malawi) og Steenkampskral (Sydafrika) og er desuden ejer af raffinerings- og metalproducenten Less Common Metals (Storbritannien). GWMG kontrollerer dermed en vigtig del af midtstrømsproduktionen i Europa. Der er indgået aftale om levering af råmateriale fra Steenkampskraal-produktionen, men status for dette projekt er ukendt.

## Medallion Resource Ltd.

Medallion Ressource Ltd.'s forretningskoncept er baseret på opkøb af monazitkoncentrater, som skal processeres på eget anlæg ved brug af egen patenteret metode. Der er ikke oplysninger om, hvor anlægget skal etableres, og hvem der efterfølgende skal separere og raffinere produkterne.

## Neo Performance Materials

Neo Performance Materials (NPM) blev etableret i 2012, som led i rekonstruktionen af Molycorp (som ejede og var producent af Mountain Pass, USA). Efterfølgende er NPM opdelt i Neo Magnequench, Neo Chemicals & Oxides, Neo Rare Metals og Neo Water Treatment (Ecclestone 2019) (Figur 13-5).



Figur 13-5 Neo Performance Materials' organisationsdiagram. Kilde: Neo Performance Materials (2020).

Neo Performance Materials har i alt tre separationsanlæg for sjældne jordartsmetaller; anlægget Silmet i Estland (se afsnit 13.1.6 Estland) har en kapacitet på ca. 2.500 ton/år, mens to anlæg i Kina, Zibo og Jiangxi, har en samlet kapacitet på ca. 10.000 ton/år (Figur 13-5).

### 13.1.6 Estland

#### Neo Performance Materials (Silmet)

Neo Performance Materials overtog ved købet af Molycorp i 2015 også separationsanlægget Silmet i Estland. Anlægget har en kapacitet på ca. 2.500 ton/år og har især været anvendt til behandling af malm fra de russiske forekomster på Kola-halvøen. Med anlæggets geografiske beliggenhed betragtes det almindeligvis som en del af de 'vestlige' værdikæder, som skal frigøre forsyningskæderne af sjældne jordartsmetaller fra Kinas dominans. I hvilket omfang de kinesiske relationer vil påvirke Neo Performance Materials aktiviteter er uvist.



### 13.1.7 Grønland

#### **Greenland Minerals (Kvanefjeld/Kuannersuit) – Shenghe Resources**

Greenland Minerals' projekt Kvanefjeld er baseret på udvinding af mineralet steenstrupin fra en åben mine. Projektet er i sidste godkendelsesfase med igangværende VVM-proces, hvilket sker samtidig med, at der er indført en ny lov, som ikke tillader mineralefterforskning og minedrift af malm med en gennemsnitlig koncentration på mere end 100 ppm uran; projektets fremtid er dermed usikker. Greenland Minerals indgik i 2016 en samarbejdsaftale med Shenghe Resources, som desuden er mindretalsaktionær (se også afsnit 10.3.2.4 og 12.2). Der arbejdes med to overordnede forretningskoncepter; (i) fremstilling af et mineralkoncentrat af steenstrupin, som eksporteres til oparbejdning på et af Shenghes anlæg; og at (ii) malmen brydes og processeres i Grønland, og der fremstilles et LRE-karbonat og et HRE-karbonat, som eksporteres til et af Shenghes separationsanlæg. I model (i) vil indholdet af uran og thorium i steenstrupin blive eksporteret; i model (ii) påtænkes det at fremstille et eksportprodukt af uran og deponering af thorium.

*Angivet årlig produktion fra Kvanefjeld: ca. 30.000 ton TREO (projektet er sat på pause december 2021)*

#### **Tanbreez (Kringlerne/Killavaat Alannguat)**

Det privatejede selskab Tanbreez har udnyttelsestilladelse til udvinding af sjældne jordartsmetaller og andre metaller (bl.a. Zr, Nb, Ta) fra eudialyt-malmen fra Kringlerne i Sydgrønland. Forekomsten er med en anslået malmmængde på ca. 4,3 mia. ton en af verdens største. Produktionen planlægges baseret på en åben, kystnær mine og fremstilling af et mineralkoncentrat fra eudialyt, som udskibes. Der er ikke offentliggjort planer for, hvor og under hvilke rammer ekstraktionen af sjældne jordartsmetaller skal foregå, ligesom der ikke er oplysninger om samarbejdspartnere. Tanbreez' ejer har ofte signaleret, at projektet ikke skal knyttes til kinesiske aftagere og har desuden meldt ud, at projektet vil kunne påbegynde opstart i 2023 med fuld produktion i 2025.

*Angivet årlig produktion fra Kringlerne: ca. 5.000 ton TREO i opstartsfasen med et langsigtet mål på 10.000-15.000 ton TREO*

### 13.1.8 Indien

#### **Indian Rare Earths Ltd**

Indian Rare Earths Ltd (IREL) producerer monazitkoncentrater som biprodukt fra tungsandsindvinding. Desuden råder IREL over et processeringsanlæg i Odisha i Indien til behandling af monazit, som kan producere et blandingsprodukt af sjældne jordartsmetaller; anlægget har en kapacitet på 11.200 ton/år, men denne kapacitet blev ikke udnyttet i 2016 (Gambogi 2019).

### 13.1.9 Japan

#### **Chuden Rare Earth**

Chuden Rare Earth producerer magnetlegeringer i både Japan og Kina (bl.a. Langfang Gans Magnetic Material) og Vietnam (Vietnam Rare Earth).

### **Hitachi Metals Ltd.**

Hitachi Metals Ltd. producerer forskellige typer af REE-magneter og magnetlegeringer. I 1982 fremstillede Hitachi Metals den stærkeste NdFeB-magnet, som blev patenteret og markedsført for NeoMax Magnet, hvilket kickstartede den store udbredelse af disse magneter.

### **Santoku**

Santoku producerer REE-magneter og -batterilegeringer fra anlæg i Phoenix, Arizona, USA. Oprindeligt var virksomheden ejet af Rhône-Poulenc, men blev i 1988 overtaget af Santoku Metal Industry Co. Ltd. (Kobe, Japan). I 2010 etablerede de China Minmetals Santoku (Gnazhou). Rare Earth Material Co. Ltd. Santoku blev i 2018 opkøbt af Hitachi Metals.

## **13.1.10 Madagaskar**

### **Tantalus Rare Earth Malagasy Resources – ISR Capital Ltd – Leshan Shenghe Resources – China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co. Ltd.**

I 2015 indgik Leshan Shenghe Resources (LSR) og Tantalus Rare Earth Resources (Tantaus) en afsætningsaftale om årlige leverancer på 3.000 ton TREO fra Tantalus' IA-forekomst på Ampa-sindava-halvøen i den nordvestlige del af Madagaskar. Det blev desuden aftalt, at LSR skulle finansiere 30 % af projektets udviklingsomkostninger. Projektet, som var nødlidende, blev efterfølgende solgt til ISR Capital Ltd. (Singapore), som i juni 2019 indgik en aftale med China Nonferrous Metal Industry Foreign Engineering and Construction Co., om udvikling af forekomsten og afsætning af 3.000 ton TREO/år. Status for projektet er ukendt.

## **13.1.11 Malawi**

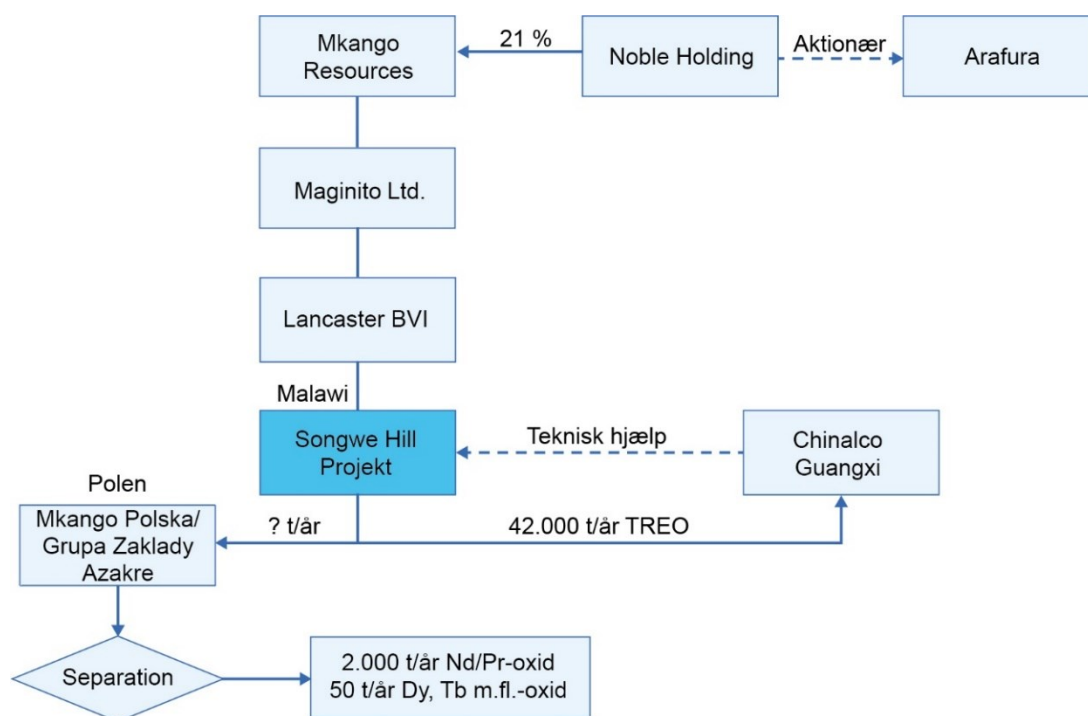
### **Mkango Resources/Talaxis (Songwe Hill) – Chinalco Guangxi**

En joint venture-gruppe kontrolleret af Mkango Resources og investorgruppen Noble Group Holding Ltd.'s datterselskab Talaxis gennemførte i 2021 et FS-studie af projektet Songwe Hill i Malawi. Mkango stod for undersøgelserne og Talaxis var ansvarlig for finansiering og kommercielle aktiviteter. Mkango planlægger at eksportere et blandet produkt af sjældne jordartsmetalkarbonat og et mineralkoncentrat med udskibning fra Beira i Mozambique.

Talaxis indgik december 2019 en aftale med Chinalco Guangxi om levering af 42.000 ton/år sjældne jordartsmetalmineralkoncentrater og -oxider (Noble Group Holding Ltd. 2019). Det er uklart, hvorvidt denne store leverance skal produceres af Mkango alene, eller om kontrakten tillader koncentrat fra andre forekomster. I august 2021 overtog Mkango Talaxis' andel af projektet mod at Noble Group Holding fik 23 % af Mkango Resources. Det antages derfor, at afsætningsaftalen med Chinalco Guangxi, samt aftale om teknisk og finansiel støtte til igangsættelse af Songwe Hill-projektet er opretholdt. Selskabskonstruktion og relationer er vist i Figur 13-6.

Mkango Resources har desuden etableret et datterselskab i Polen (Mkango Polska), som gennem Grupa Azoty Zakłady Azotow Pulawy skal opbygge og drive et separationsanlæg i Polen med en forventet kapacitet på ca. 2.000 ton/år NdPr-oxid (Figur 13-6).

*Angivet årlig produktion fra Songwe Hill: ikke klart oplyst*



Figur 13-6 Selskabsrelationer i Songwe Hill-projektet i Malawi.

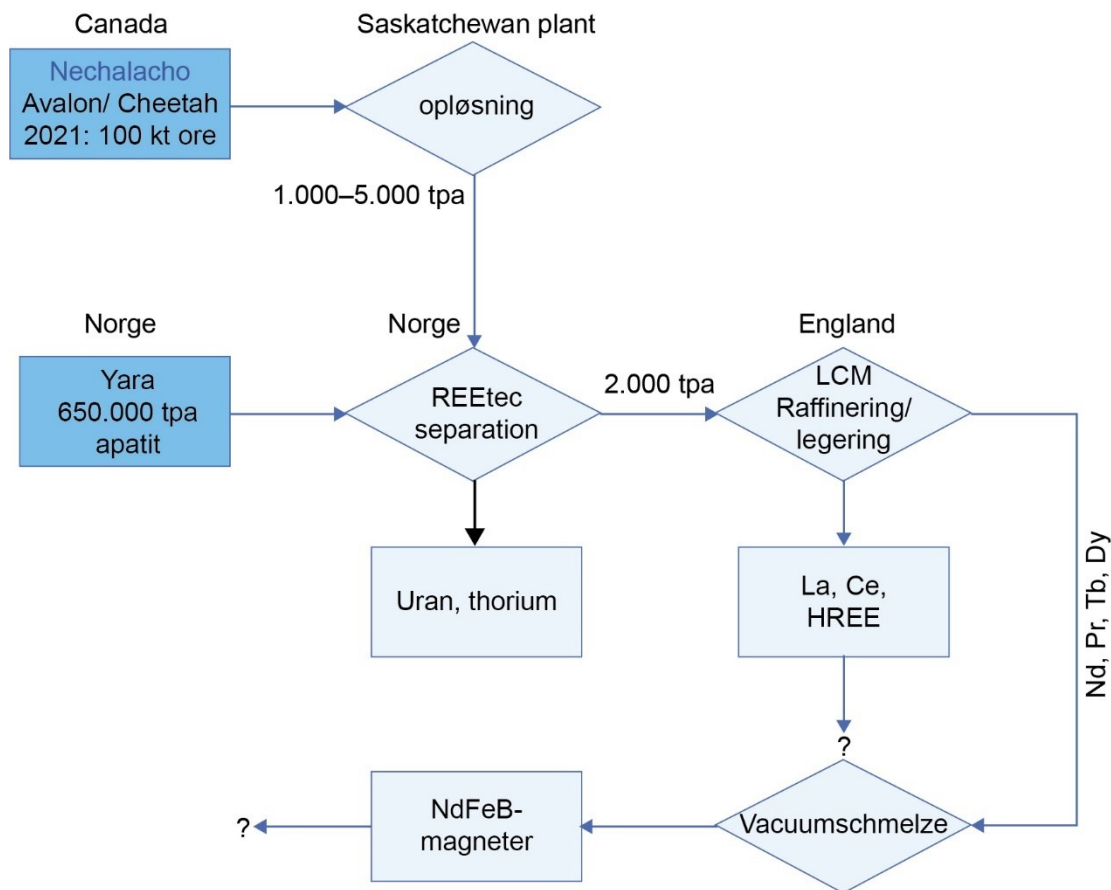
### 13.1.12 Norge

#### Yara – REEtec – Less Common Metals – Vacuumschmelze Gmbh & Co.

REEtec ejes af Scatec Innovation i Norge og er partner i EU-Horizon 2020-projektet SecREEs (<https://secret-project.eu/>) med en samlet forskningsbevilling på 12,5 mio. EUR. I projektet deltager bl.a. Less Common Metals (LCM) fra England og Vacuumschmelze Gmbh & Co. (VAC) fra Tyskland. Projektet har, med udgangspunkt i 650.000 ton fosfatmalm (apatit) fra Yaras anlæg i Porsgrunn (Norge), fået igangsat en forsyningskæde, hvor REEtec skal ekstrahere, separere og raffinere sjældne jordartsmetaller og fremstille højkvalitets-REO-produkter (op til 3N), som efterfølgende raffineres og legeres af LCM i en kvalitet, som kan bruges til fremstilling af NdFeB-magneter hos VAC (Figur 13-7). VAC er knyttet til den kinesiske magnetindustri via sit ejerskab i Beijing Sanvac.

I tillæg til aftalen med Yara har REEtec en samarbejdsaftale med Vital Metals, om at forarbejde op til 1.000 ton/år fra Nechalacho-forekomsten i Canada. De første prøvesendinger blev afsendt i september 2021.

Angivet årlig produktion fra Yara-fosfatmalm: 2.000-6.500 ton TREO, som anslås sammensat således: 400-1.200 ton La, 800-2.400 ton Ce, 400-1.200 ton Nd, 200-600 Pr, og 100-325 ton Dy (Messecar 2020)



**Figur 13-7** Den 'europæiske' forsyningskæde som bl.a. er et resultat af EU-Horizon 2020-projektet. (tpa: ton per år). Kilder: fra selskabshjemmesider.

### 13.1.13 Polen

#### Mkango Resources/Grupa Azoty Zaklady Azotow Pulawy S.A

Mkango Resources/Grupa Azoty Zaklady Azotow Pulawy arbejder på at etablere et separationsanlæg i Polen til processering af TREC fra Songwe Hill-forekomsten i Malawi, som ejes af Mkango Resources.

### 13.1.14 Rusland

#### JSC Solikamsk Magnesium Works

JSC Solikamsk Magnesium Works i Perm Krai i den vestlige del af Rusland producerer forskellige blandingsprodukter af sjældne jordartsmetaller på basis af loparit fra Lovozero-minen (som Lovozersky GOK driver); anlægget har en kapacitet på ca. 13.000 ton/år loparit. Der foreligger ikke oplysninger om, hvor disse produkter efterfølgende bliver separeret og raffineret.

Angivet årlig produktion fra Lovozersky: i 2016 ca. 3.000 ton TREO (Gambogi 2019)

#### ThreeArc Mining LCC (Tomtor)

ThreeArc Mining LCC har udført efterforskning på Tomtor-forekomsten i Olenyoksky-distriktet i den nordlige del af Rusland med henblik på produktion af sjældne jordartsmetaller. Det er uklart

hvorvidt pilotforsøgene er blevet gennemført. Forretningsmodellen er baseret på etablering af et processeringsanlæg ved Krasnokamensk i det sydøstlige Sibiren, tæt på grænsen til Kina. Denne lokalitet er tilsyneladende valgt for at lette eksporten af råstoffet til Kina. Anlægget, som har en planlagt kapacitet på 160.000 ton/år malm, skal fremstille MREC, som skal separeres 'efter regning' (tolling); der foreligger ikke oplysninger om, hvem der skal udføre det.

ThreeArc Mining LCC har indgået aftale med Rosatom om behandling af 82.000 ton monazit-koncentrat, et restprodukt fra Rosatoms processer, med henblik på ekstraktion af sjældne jordartsmetaller.

ThreeArc Mining LCC er et datterselskab af Polymetal International Plc., som ejer sølv- og guldminer i Rusland, Armenien og Kasakhstan; det er registreret på Jersey-øerne og børsnoteret i London.

*Angivet årlig produktion fra Tomtor: 11.500 ton TREO*

*Angivet årlig produktion fra Rosatom monazit: ca. 33.000 ton TREO*

### **13.1.15 Storbritannien**

#### **Less Common Metals Ltd.**

Less Common Metals Ltd. (LCM) producerer legeringsmetaller, baseret på sjældne jordartsmetaller, med hovedvægt på fremstilling af råmaterialer til SmCo- og NdFeB-magneter; kapaciteten er ca. 2.000 ton/år. Less Common Metals i Cheshire i det sydlige England ejes af Great Western Minerals Group og Lang Ltd. (som i 2015 blev overtaget af Indian Ocean Rare Metals Ptd. Ltd.). Relationerne til Great Western Minerals Group betyder, at LCM har relationer til en række af de potentielle nye producenter af MREC, som fx Steenkampskraal (Sydafrika) og Hoidas Lake (Canada). LCM er den eneste virksomhed i Europa, som i industriel skala raffinerer og fremstiller legeringer af sjældne jordartsmetaller og er derfor en vigtig del i en europæisk værdikæde. Hovedparten af LCM's råmaterialer importeres fra Kina med højere råstofpriser end de kinesiske konkurrenter, da VAT ikke modregnes, hertil skal lægges transportomkostninger.

### **13.1.16 Sverige**

#### **Leading Edge Materials Ltd. (Norra Kärr)**

Norra Kärr-projekt er ejet af Greena Mineral AB, som ejes af Leading Edge Materials Ltd. (Canada) og datterselskabet Tasman Metals Ltd. (Canada). Norra Kärr-projektet blev (foreløbigt) stoppet i 2018 efter en negativ VVM-redegørelse og konflikt om Natura 2000-krav, hvorfor tilladelsen til minedrift fra 2014 blev inddraget. Leading Edge Materials arbejder på at relancere projektet med ændret forretningskoncept og har anket inddragelsen af licensen. I det nye koncept skal malmen behandles ved udludning på en ikke nærmere bestemt lokalitet i det nordlige Sverige. Det nye koncept omfatter også en højere grad af industriel anvendelse af de mineraler, som ikke indeholder sjældne jordartsmetaller, hvorved mængden af tailings reduceres. Produktionen tænkes baseret på brydning af 1,15 mio. ton malm pr. år med en forventet levetid på 26 år. Der er ikke oplysninger om afsætningsaftaler eller nedstrøms projektpartnere.

*Angivet årlig produktion fra Norra Kärr: 5.350 ton TREO som forventes at indeholde 578 ton Nd-oxid, 143 ton Pr-oxid, 248 ton Dy-oxid og 36 ton Tb-oxid*

### 13.1.17 Sydafrika

#### **Great Western Minerals Group (Steenkampskraal) – Less Common Metals Ltd. – Ganzhou Qiangong Rare Earth Group**

Steenkampskraal-projektet omfatter en lille, men højlydig monazitforekomst i Western Cape-provinsen i Sydafrika, hvor Anglo American tilbage i 1960'erne producerede monazit. Great Western Minerals Group, som ejer 28 % af Steenkampskraal Monazite Mine (Pty) Ltd., indgik i 2012 aftale med Ganzhou Qiangong Rare Earth Group (GQR) om etablering af et joint venture-selskab, Great Western GQD Rare Earth Materials Proprietary Ltd., med 25 % ejerandel til GQR, som desuden skal sikre etablering og drift af et separationsanlæg. Det oplyses, at produkterne skal afsættes til Great Western Groups datterselskab Less Common Metals samt til andre ikke navngivne kunder (Proactive 2020). Projektet er tilsyneladende ikke udviklet væsentligt siden 2012.

### 13.1.18 Tanzania

#### **Peak Resources Ltd. (Ngualla Hill)**

Det australske selskab Peak Resources Ltd. planlægger at starte produktion fra Ngualla Hill-forekomsten, Songwe Region, Tanzania, i 2022; licensen er udstedt til PR NG Minerals Ltd., som ejes 100 % af Peak Resources. Der pågår dialog med myndighederne om vilkårene for licensen. Mineralkoncentratet planlægges udskibet til Peaks planlagte processerings- og separationsanlæg i Teesside i det nordlige England. Efter planen skal Teesside Refinery producere NdPr-oxid til brug i magneter til elbiler, hvilket kræver kvaliteter, som mindst kan opfylde kvaliteter >3N.

Myndighedsgodkendelser til Peak Resources' processerings- og separationsanlæg i Teesside blev udstedt i april 2021. Der foreligger ikke oplysninger om den planlagte teknologi, kapacitet, partnerskaber eller tidsplaner.

*Forventet produktion:* 32.700 ton mineralkoncentrat (hvilket modsvarer 10-12.000 ton TREO)

### 13.1.19 Tyskland

#### **Vacuumschmelze Gmbh & Co.**

Vacuumschmelze (VAC) med hovedkontor i Tyskland ejes via en række holdingselskaber af NEW VAC Intermediate Holding B.V. Produktion. VAC ejer den finske NdFeB-magnetfabrik Neorem Magnets Oy. og er desuden medejer af Beijing Sanvac sammen med den kinesiske NdFeB-magnetproducent Beijing Zhong Ke San Huan Hi-Tech, som er minoritetsaktionær i China Southern Rare Earth Group (CSREG). VAC har produceret REE-kobolt-magneter siden 1973 og NdFeB-magneter siden 1985. VAC's forskning har bl.a. fokus på udvikling af NdFeB-magneter uden dysprosium til anvendelse i induktionsmotorer. Udviklingsarbejdet ligger i fire datterselskaber registreret i Tyskland, Storbritannien og Slovakiet. VAC er blandt verdens største NdFeB-magnetproducenter, og kapaciteten forventes af blive fordoblet til omkring 40.000 ton/år fra 2023 til 2025 (The Rare Earth Observer 2021b).

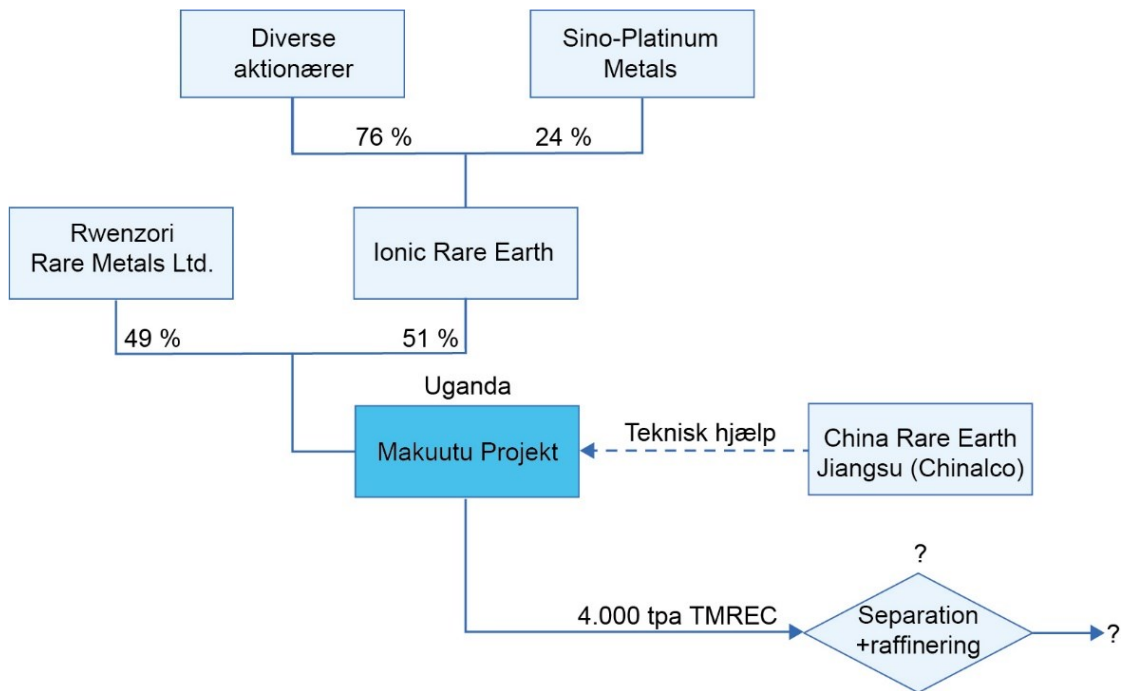
### 13.1.20 Uganda

#### **Ionic Rare Earth (Makuutu, Uganda) – Sino Platinum Metals Co. – Chinalco**

Ionadsorptionsprojektet Makuutu ca. 100 km øst for Kampala ejes af Ionic Rare Earth (51 %), Kunming Sino-Platinum Metals Co. Ltd. (SPMC) (24 %) og bl.a. Rwenzori Rare Metals. Det

endelige feasibility study forventes færdigt i 2023, og produktionen forventes påbegyndt i 2024. Der er indgået MoU med China Rare Earths Jiangsu (datterselskab af Chinalco) om udviklingen af mineprojektet og aftaler om teknisk hjælp med Chinalco (Figur 13-8). SPMC skal være ansvarlig for produktionen. Ionic Rare Earth overvejer på sigt at etablere eget separations- og raffineringsanlæg med en kapacitet på 4.000 ton/år TREO.

Angivet årlig produktion fra Makuutu: 3.200 ton MREC som i fase 3 skal øges til ca. 6.000 ton MREC. De forventede årlige produkter er vist i Tabel 13-2.



Figur 13-8 Projektejerskab for Makuutu-projektet i Uganda, baseret på diverse internetkilder.

Tabel 13-2 Forventet produktion fra et separationsanlæg som Ionic Rare Earth har under overvejelse. Kilde: ASX Release (2021).

	REO ton/år		REO ton/år		REO ton/år
La	580	Eu	35	Er	75
Ce	550	Gd	170	Tm	11
Pr	220	Tb	25	Yb	65
Nd	1.000	Dy	140	Lu	10
Sm	180	Ho	30	Y	1.000

### 13.1.21 USA

#### American Resources Corporation

American Resources Corporation arbejder på at etablere et produktionsanlæg til separation og raffinering af sjældne jordartsmetaller samt andre kritiske metaller i Noblesville, Indiana i USA. Anlægget er udviklet med henblik på anvendelse af skrotmetaller som råstof.

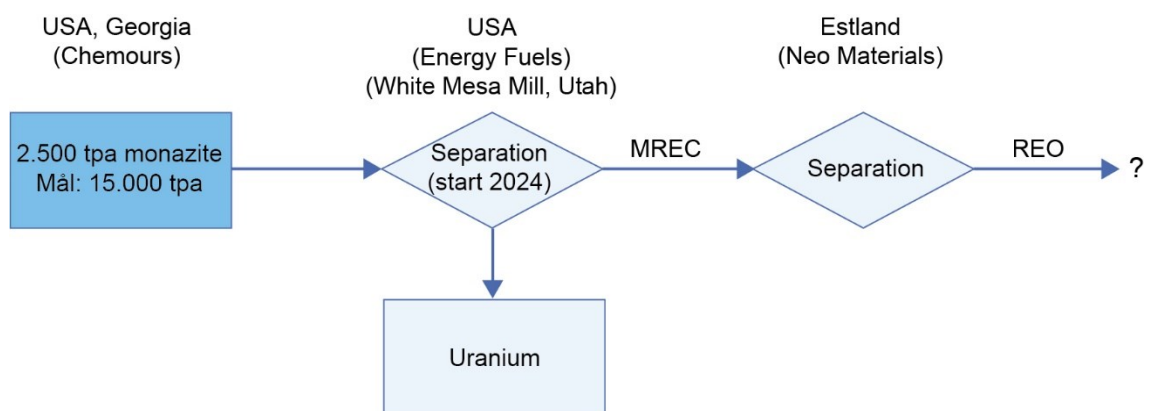
### Chemours (Georgia monazit tungsand) – Energy Fuels – Neo Performance Materials Ltd. (Silmet)

Forretningsmodellen for udnyttelse af monazitforekomster i Georgia, USA, er baseret på: (i) Chemours leverer monazitkoncentrat til Energy Fuels' anlæg i Utah, USA; (ii) Energy Fuel etablerer et nyt procesanlæg i USA, som forventes at være i drift i 2024, og som skal udvinde uran (og thorium) og sjældne jordartsmetaller (MREC) fra monazitkoncentratet; og (c) Energy Fuels afsætter de sjældne jordartsmetaller til Neo Performance Materials (NPM), som skal udføre separationen af de sjældne jordartsmetaller på deres anlæg i Estland (Hui 2021a). Prøvesending på omkring 30 ton blev udskibet til NPM i starten af juli 2021 (Hui 2021b; Neo Performance Materials Ltd. 2021). Konkurrencefordelen i konceptet er angiveligt, at der er tale om en biproduktion af monazit, som indvindes med ekstraktion af uran som hovedprodukt, hvorved råstoffet kan fås billigt og uden yderligere store investeringer til indvinding. Den oplyste forretningsmodel er baseret på afsætning af sjældne jordartsmetaller til det europæiske batterimarked. Udfordringen for dette koncept er bl.a., at der i Europa ikke findes hverken raffinerings- og legeringsanlæg eller magnetfabrikker i det nødvendige omfang, og at der ikke er en plan for de øvrige sjældne jordartsmetaller, som vil blive separeret ud. Det er derfor nærliggende at antage, at en eventuel produktion fra Silmet i Estland vil blive eksporteret til Neo Performance Materials legerings- og magnetfabrikker i Korat, Thailand.

Energy Fuels' pilotanlæg, White Mesa Mill, som er udviklet af Carester SAS, er etableret i et procesanlæg, som i 2006-2012 blev anvendt til processering af monazit med henblik på udvinding af uran. Energy Fuels overvejer på sigt at flytte anlægget tættere på Chemours udvindingsområde, men vil på deres nye anlæg også behandle monazit fra andre miner. Anlægget processerer ca. 2.500 ton monazit/år, og der satses på en produktion på 15-30.000 ton/år, hvilket burde være mulig, da kapaciteten er betydeligt større (Chalmers 2021). En lille produktion af TREC pågår og separeres på Silmets anlæg i Estland, men på sigt overvejes etablering af eget separationsanlæg. Både uran- og thorium-oxider angives at være kommercielle produkter.

Chemours indvinder desuden monazit fra to tungsandforekomster i Kina i joint venture med et kinesisk selskab. Det canadiske Neo Performance Materials har i alt tre separationsanlæg for sjældne jordartsmetaller, Silmet i Estland og Zibo og Jiangxi i Kina (Figur 13-9).

*Angivet årlig produktion fra Georgia monazit tungsand:* med udgangspunkt i 2.500 ton monazit kan der produceres ca. 1.000 ton TREC; 15.000 ton monazit vil producere ca. 6.000 ton TREC



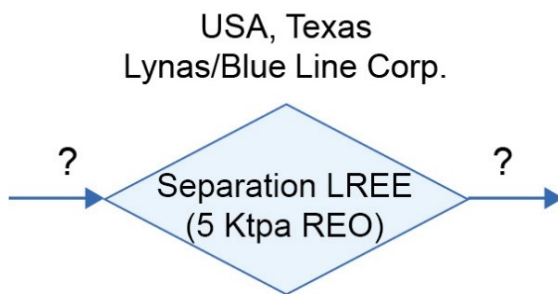
**Figur 13-9** Planlagt forsyningskæde for udvinding af sjældne jordartsmetaller fra monazit fra Georgia, USA.



### Lynas Corp. Ltd. (ikke identificeret ressource) – Blue Line Corp. – ?

Det australske mineselskab Lynas Corp. Ltd. og den amerikanske kemiske virksomhed Blue Line Corp. har dannet et joint venture (med Lynas som hovedejer) med henblik på at etablere et separationsanlæg i Honda, Texas, USA, til tunge sjældne jordartsmetaller (inkl. terbium og dysprosium) og efterfølgende udbygning af anlægget til separation af lette sjældne jordartsmetaller (inkl. praseodymium og lanthan) (Figur 13-10). Dette udviklingsarbejde er støttet med 30 mio. USD fra US Department of Defense (Menezes 2021; Hui 2021a). Det er uklart, hvorfra REE-mineralerne til dette projekt skal komme, og dermed er sammensætningen ukendt; desuden er samarbejdspartnere til efterfølgende raffinering/legering uoplyst.

Angivet årlig produktion fra Lynas Corp./Blue Line Corp.: ca. 5.000 ton TREO



**Figur 13-10** Oversigt over Lynas' amerikanske projekt. Der er ikke oplysninger om forsyningskæderne for projektet, som Lynas skal forestå.

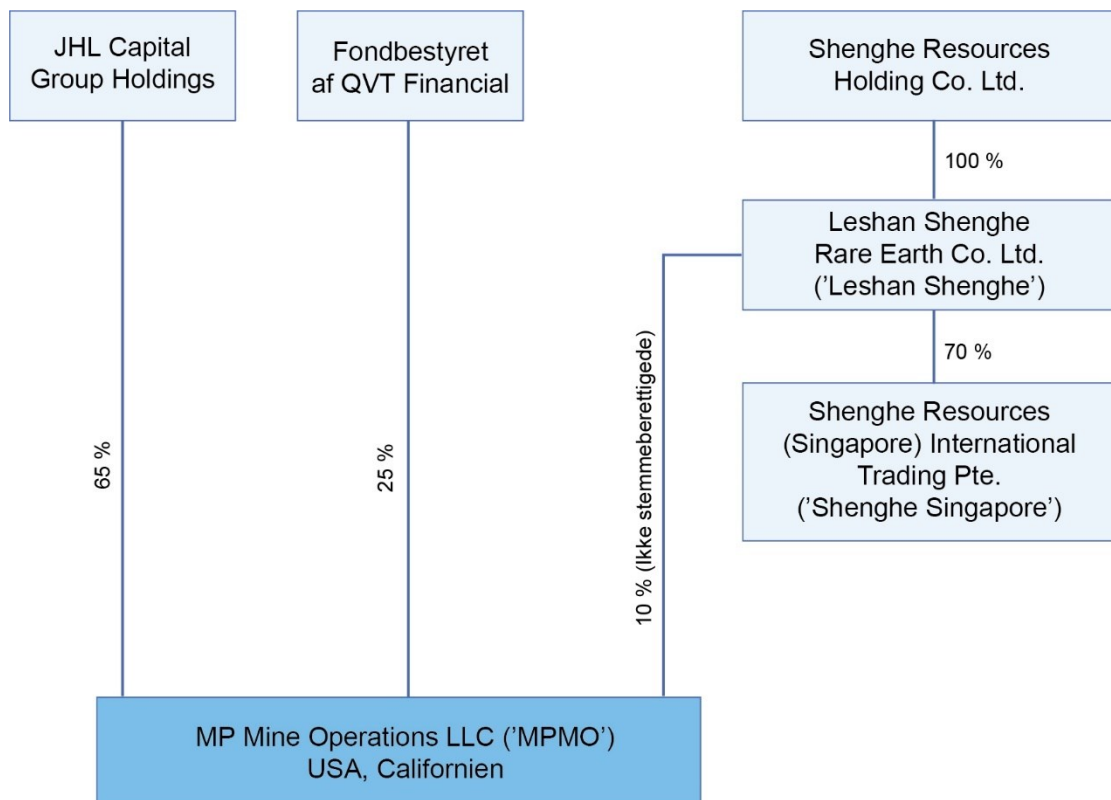
### MP Materials (Mountain Pass) – Shenghe Resources

MP Materials producerer mineralkoncentrater fra Mountain Pass-minen i Californien, USA. Minen har spillet en stor rolle i den globale forsyning af sjældne jordartsmetaller. En historisk oversigt over minens ejer(e) og aktivitet er vist i Tabel 11-1, mens det nuværende ejerforhold med hovedaktionærer kan ses i Figur 13-11.

I november 2020 købte Fortress Value Acquisition Corp. MP Materials og etablerede MP Materials Corp. Ved denne handel blev MP Materials tilført 545 mio. USD, som angiveligt skal anvendes til etablering af en komplet forsyningskæde for sjældne jordartsmetaller, som skal opdeles i følgende to faser (Menezes 2021):

- Etablering af separationsanlæg med fokus på Nd-Pr, som forventes klar i 2022 (i november 2020 ydede US Defense Production Act 9,6 mio. USD til denne udviklingsdel)
- Etablering af en komplet NdFeB-magnetproduktion i 2025.

Produktionen af mineraler (bastnäsit) fra Mountain Pass-minen sendes til forarbejdning i Kina (i 2020 var produktionen ca. 30.000 ton TREO). Planerne om etablering af en samlet forsyningskæde i USA, vil, såfremt Kina betragter MP Materials som en ikke-kinesisk virksomhed, betyde, at alle produkter skal afsættes uden for Kina for at undgå de kinesiske skatte- og afgiftssystemer (jf. afsnit 11.2). Sammensætningen af sjældne jordartsmetaller i malmen fra Mountain Pass-minen vil være en udfordring for et forretningskoncept, som omfatter en komplet forsyningskæde.



**Figur 13-11** Hovedaktionærer i MP Materials Mountain Pass-mine. Kilde: MP Materials (2020).

### US Rare Earth/Texas Minerals Resources Corp. (Round Top) – Search Minerals – Geo-Mega Resources

US Rare Earth LLC (URE) indgik i april 2020 partnerskab med Texas Mineral Resources Corp. (TMR) og i maj 2021 overtog URE 80 % af TMR-aktierne og igangsatte endeligt lønsomhedsstudie, inkl. pilotprocesanlæg, for udnyttelse af Round Top-forekomsten i Hudspeth County, Texas, USA. Round Top-forekomsten er en polymetalforekomst, som bl.a. indeholder sjældne jordartsmetaller. Projektet design omfatter et åbent brud med udludning (heap leaching) efterfulgt af separation af de sjældne jordartsmetaller (kombinationsteknik af ionbytter og kromatografi) og forventes at have et udbytte på 85 %. Estimerne omfatter en 20-årig produktionsperiode.

URE's forretningsmodel er baseret på en fuldt integreret forsyningskæde med produktion af råstoffer til NdFeB-magneter. Som led i denne plan indgik URE i november 2020 en aftale med Search Minerals om anvendelse af deres 'direct extraction process'-patent og kan dermed principielt producere et blandet produkt af sjældne jordartsmetaller. URE og TMR købte i april 2020 Hitashi Metals Americas anlæg til fremstilling af NdFeB-magneter og planlægger, igennem datterselskabet US Rare Earth Magnets, at fremstille NdFeB-magneter i Wheat Ridge, Colorado, USA. Derudover indgik URE i juli 2020 en aftale med GeoMega Resources med henblik på at integrere genanvendelse i produktionen. Der foreligger desuden en aftale mellem Texas Rare Earth Resources og Arafura (Australien) om at processere og separere malmkoncentrat fra Nolans Bore på URE's anlæg i Texas (se Figur 13-3).

### Ucore Rare Metals (Bokan Hill) – Alaska Strategic Metals Complex

Ucore købte i april 2020 Innovation Metals Corp. (IMC), som ejer et patent til separation af sjældne jordartsmetaller (Rapid SX™). Man ønsker at etablere en forsyningskæde fra primære REE-mineraler fra deres eget projekt Bokan Hill, Alaska, USA og frem til et ikke specificeret

separeret produkt. Med finansiell støtte (2 mio. USD) og økonomiske garantier på 145 mio. USD arbejdes der på at etablere Alaska Strategic Metals Complex i Ketchikan; IMC's anlæg ligger i Kingston, Ontario, USA (Menezes 2021).

#### **Urban Mining Comp.**

US Department of Energy bevilgede i juli 2020 28,8 mio. USD til Urban Mining Corp. til implementering af deres patent 'magnet-to-magnet' (Menezes 2021).

### **13.1.22 Vietnam**

#### **Vietnam Rare Earth Co. Ltd. – Shenghe Resources – Chou Denki Kogyo**

Shenghe Resources Singapore Pte. Ltd. og Chou Denki Kogyo Co. Ltd. (Japan) købte i 2019 Vietnam Rare Earth (VRE) med respektive ejerandele på 90 % og 10 %. VRE's produktionsanlæg i Thuan Thanh, Bac Ninh-provinsen i Vietnam udfører processering og separation på ad hoc-kontrakter. Anlægget har en kapacitet på ca. 4.000 ton/år; kapaciteten på det elektrolytiske anlæg er ca. 700 ton/år.

#### **Lavreco (Dong Pao) – Toyota Tsusho – Sojitz**

I 2011 indgik Vietnams statsejede mineselskab Lavreco, japanske Toyota Tsusho og Sojitz en joint venture-aftale om udnyttelse af Dong Pao-forekomsten i Vietnam med henblik på afsætning af produkterne på det japanske marked. Produktionen blev igangsat med en planlagt produktion på 3.000 ton/år i 2013 (Adamas Intelligence 2014), men ifølge USGS (2000-2020) har produktionen ikke været over 1.300 ton/år, som var i 2019.

## **13.2 Konklusioner vedr. Vestens potentielle forsyningskæder**

Ovenstående er der givet en række eksempler på vestlige virksomheder, som indgår i de eksisterende værdikæder, og selskaber som arbejder på projekter, som på sigt kan blive dele af vestlige forsyningskæder.

I Tabel 13-3 ses en oversigt over relationerne i de potentielle forsyningskæder for udvalgte projekter uden for Kina, hvoraf det fremgår, at Vestens forsyningskæder er ukomplette og desuden i betydeligt omfang involverer kinesiske relationer. Af gennemgangen i afsnit 13.1 fremgår det desuden, at forarbejdningsskapaciteterne er meget beskedne. Det må derfor konstateres, at selv hvis alle de potentielle projekter bliver realiseret, er der lang vej endnu inden Vesten er uafhængig af de kinesiske forsyningskæder; specielt kan der forventes store udfordringer, hvis Vesten skal være selvforsynende med produktion af metal/legering af de sjældne jordartsmetaller, ligesom det er få virksomheder, der kan producere de efterspurgte NdFeB-magneter.

**Table 13-3** Oversigt over relationerne i de potentielle forsyningskæder for udvalgte projekter under udvikling uden for Kina. Selskaberne, som danner første del af kæderne, er omtalt i ovenstående tekst. Værdikæderne går fra venstre mod højre, dvs. fra Efterforskning → Mine og mineralkoncentrat → Handel → Udludning af REE → Separation af REE → Metal/legering REE → NdFeB-magneter. Hvert farveskift markerer en ny forsyningskæde. Hvert farveskift markerer en ny forsyningskæde.

Selskaber	Efterforskning	Mine og mineralkoncentrat	Handel	Udludning af REE	Separation af REE	Metal/legering REE	NdFeB-magneter
Pensana	Longonjo (Angola)	Longonjo (Angola)		England (Hull)	England (Hull)		
Alkane	Dubbo (AUS)	Dubbo (AUS)					
Vietnam Rare Earth JSC (Shenghe)				Vietnam			
South Korea Zirkon Tech					Sydkorea		
Arafura Resources	Noilans Bore (AUS)						
Hastings Technology Metals	Yangibana (AUS)						
Thyssenkrupp							
Lynas Corp.		Mt. Weld (AUS)		LAMP Malaysia			
Northern Minerals	Browns Range (AUS)	Browns Range (AUS)					
Thyssenkrupp							
China Northern REE				Kina			
RareX	Cummins Range (AUS)	Cummins Range (AUS)					
RET Co.							
Shenghe				Kina	Kina		
Rainbow Rare Earth	Gakara (Burundi)	Gakara (Burundi)					
Thyssenkrupp							
Avalon/Vita Metals/Cheetah Resources	Nechalacho (Canada)	Nechalacho (Canada)					
REEtec				Norge	Norge		
Ucore Rare Metals				Alaska	Alaska		
Defense Metals Corp.	Wicheeda (Canada)	Wicheeda (Canada)					

Selskaber	Efterforskning	Mine og mineral-koncentrat	Handel	Udludning af REE	Separation af REE	Metal/legering REE	NdFeB-magneter
Greenland Minerals	Kvanefjeld (Grønland)	Kvanefjeld (Grønland)		Grønland			
Shenghe Resources				Kina	Kina		
Tanbreez	Kringlerne (Grønland)	Kringlerne (Grønland)					
Mkango Resources/Talaxis	Songwe Hill (Malawi)	Songwe Hill (Malawi)					
Chinalco Guangxi				Kina	Kina		
Mkango Polska					Polen		
Yara			Norge				
REEtec				Norge	Norge		
Less Common Metals						England	
Vacuumschmelze							?
Lovozero GOK		Lovozero (Rusland)		?	?		
JSC Solikamsk Magnesium Works						Rusland	
ThreeArc Mining LCC	Tomtor (Rusland)	Tomtor (Rusland)					
Rosatom				Rusland	Rusland		
Great Western Minerals Group	Steenkampskraal (Sydafrika)	Steenkampskraal (Sydafrika)					
Ganzhou Qiangong Rare Earth Group				Sydafrika	Sydafrika		
Less Common Metals						England	
Peak Resources Ltd.	Ngualla Hill (Tanzania)	Ngualla Hill (Tanzania)		England	England		
Ionic Rare Earth	Makuutu (Uganda)	Makuutu (Uganda)					
Kunming Sino Platinum Metals				Kina	Kina		
Chemours		Georgia (USA)					
Energy Fuels				USA			
Neo Performance Materials (Silmet)					Estland	?	?
Lynas Corp./Blue Line Corp.				USA			

Selskaber	Efterforskning	Mine og mineral-koncentrat	Handel	Udludning af REE	Separation af REE	Metal/legering REE	NdFeB-magneter
MP Materials		Mountain Pass (USA)		USA		USA	USA
Shenghe Resources				Kina	Kina		
US Rare Earth/Texas Minerals resources	Round Top (USA)	Round Top (USA)		USA	USA	USA	USA
Ucore Rare Earth Metals	Bokan Hill (USA)	Bokan Hill (USA)					
Alaska Strategic Metals Complex				Canada	Canada		
Vietnam Rare Earth Co. Ltd.	Vietnam	Vietnam					
Shenge Resources				Vietnam	Vietnam		
Lavreco (Vietnam)/ Toyota Tsusho/Sojitz (Japan)	Dong Pao (Vietnam)	Dong Pao (Vietnam)					
Solvay Rare Earth Systems					Frankrig		
Medallion Resources Ltd.				?			
Indian Rare Earth Ltd. (IREL)				Indien	Indien		

### 13.3 Eksempler på politiske initiativer til støtte for udvikling af 'vestlige' værdikæder

I den vestlige verden arbejdes der både på politisk plan og i forskellige organisationer på implementering af økonomiske initiativer, som skal gøre det muligt at etablere værdikæder, som er uafhængige af Kina.

Eksempelvis indførte USA i april 2021 en skattereduktionslov for produktion af kritiske råstoffer (Reclaiming American Rare Earths Act). I tillæg til denne lov arbejder USA på at indføre økonomiske støttetiltag til udvikling af national opbygning af værdikæder for sjældne jordartsmetaller (Rare Earth Magnet Manufacturing Production Tax Credit Act). I forslaget indgår en skattecredit på 20 USD/kg NdFeB-magnet produceret i USA, stigende til 30 USD/kg, såfremt der anvendes råmaterialer, som er produceret i USA (Hui 2021c). Gennemføres denne støtteordning vil det eksempelvis kunne give en skattecredit på 40-60 mio. USD til US Rare Earth, som arbejder på at etablere en NdFeB-magnetproduktion på ca. 2.000 ton/år fra malm fra selskabets Round Top-projekt.

På føderalt niveau giver USA desuden økonomisk støtte til industrielle udviklingsprojekter, som vil bidrage til opbygning af komplette amerikanske værdikæder for sjældne jordartsmetaller fra udvinding til færdige produkter. Eksempelvis støttede US Department of Energy i april 2021 13 projekter med et samlet beløb på 19 mio. USD; herudover har US Department of Defense bevillet 30,4 mio. USD til Lynas til etablering af et amerikansk separationsanlæg i Texas til separation af LREE (Fixler & Gilbertson 2021); dette under forudsætning af at Lynas investerer et tilsvarende beløb. I december 2020 støttede US Department of Defense MP Materials med 9,6 mio. USD som en del af US Defense Production Act. Pengene skal bidrage til etablering af et 200 mio. USD-anlæg, som skal oparbejde lette sjældne jordartsmetaller til brug for det amerikanske marked; anlægget forventes at komme i produktion i 2022 (Magnuson 2021). I denne sammenhæng skal det bemærkes, at USA's produktion af sjældne jordartsmetaller fra Mountain Pass-minen i Californien er ca. 30.000 ton/år TREO, samt at mindre mængder monazitholdige produkter eksporteres uforarbejdet til Kina. Samlet ville denne mængde antageligt kunne dække USA's forbrug til fremstilling af permanente magneter.

I EU har de sjældne jordartsmetaller været på den politiske dagsorden siden 2010, hvor de kritiske råstoffer i EU blev kortlagt første gang (European Commission 2010). Efterfølgende har der været et stort antal EU og nationalt støttede forskningsprojekter med fokus på forskellige dele af værdikæderne for de sjældne jordartsmetaller. Sammenfatninger af værdikædeudfordringerne i EU er bl.a. givet i Kooroshy *et al.* (2014) og Machacek & Kalvig (2017). Analyserne peger entydigt på, at udfordringerne ikke skyldes mangel på geologiske ressourcer, men at udfordringerne primært skyldes den manglende industrielle infrastruktur i Europa, som er en følge af Kinas styrker på teknisk knowhow, IP-rettigheder og komplette værdikæder, som kan aftage de meget diversificerede og mangeartede produkter.

#### *Japan*

Japan indførte i 2019 Foreign Exchange and Foreign Trade Act (FEFTA) med det formål at beskytte udvalgte industrisektorer af vital interesse for Japan mod uønskede udenlandske opkøb. Ordningen indebærer at alle udenlandske investeringer i 12 nøgleindustriktorer først skal godkendes, hvis de overstiger 1 % af aktiekapitalen. Desuden er der igangsat en omfattende indsats for at øge IP-rettigheder på sårbare områder; eksempelvis var Japan i 2019 det vestlige land med flest IP-rettigheder (13.929) til behandling og forarbejdning af sjældne jordartsmetaller, foran USA (9.810) og EU (7.280)); til sammenligning har Kina 25.911 patenter (Ng 2019), og samlet set er

Japans afhængighed af Kina i forhold til sjældne jordartsmetaller over de seneste 10 år reduceret fra ca. 80 % afhængighed til ca. 60 %. Denne udvikling er bl.a. et resultat af Japans strategiske beslutning om at investere i Lynas' udvikling af Mt. Weld-minen i Australien og procesanlægget i Malaysia.

### 13.3.1 The European Raw Materials Alliance

The European Raw Materials Alliance (ERMA, <https://erma.eu>) blev etableret i 2021 på initiativ af EU-Kommissionen, som opfølgende aktivitet på den seneste analyse af kritiske råstoffer i EU fra 2020. Formålet med alliancen er at støtte og udvikle råstofforsyninger til 'grøn' og 'digital' udvikling af Europa med specifikt fokus på at udvikle og styrke forsyningslinjerne for sjældne jordartsmetalmagneter og elektromotorer. ERMA, som er delvist finansieret af EU, er administrativt organiseret under EIT RawMaterials ([www.eitrawmaterials.eu](http://www.eitrawmaterials.eu)). Aktiviteterne er opdelt i to spor; (i) værdikædespecifikke aktiviteter, som skal identificere forsyningsudfordringerne, fremsætte industrielle og regulative løsningsforslag; og (ii) investeringsaktiviteter i primære og sekundære råmaterialeprojekter til 'forsyning af EU's industrielle økosystemer'; dette skal bl.a. udmøntes ved etablering af en 'Råmateriale Investeringsplatform' og ved investeringer, også i projekter uden for EU.

I september 2021 var der omkring 400 medlemmer (Appendiks VII) (<https://erma.eu/network/>) fordelt med primære/sekundære råstofproducenter (242), producenter af avancerede materialer og 'mellemprodukter' (131), virksomheder involveret i slutprodukter (83), virksomheder involveret i genanvendelse (126), brancheorganisationer (67), forsknings- og udviklingsinstitutioner og universiteter (63), nationale råstofmyndigheder (17), finansielle institutioner (4), NGO'er (4) og handelsorganisationer (1). Medlemskredsen repræsenterer virksomheder registreret i EU, øvrige Europa, Nord- og Sydamerika samt en række lande i Afrika og Asien. Ingen medlemmer har angivet Rusland eller Kina som nationalitet. Det kan dog konstateres, at flere medlemmer har nære relationer til kinesiske virksomheder, enten direkte eller via relaterede selskaber (fx JL Mag, Neo Performance Materials, Greenland Minerals, Hastings, Mkango og Ionic Rare Earth). Det kan også konstateres, at en betydelig del af medlemskredsens kerneydelser ikke synes at omfatte ERMA's ene fokusområde med at udvikle og styrke EU's forsyningslinjer for sjældne jordartsmetalmagneter og elektromotorer for derigennem at sikre EU's grønne og digitale omstilling.

ERMA lancerede i september 2021 handlingsplanen 'Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action' med fokus på, hvordan EU kan sikre, at der er sjældne jordartsmetaller nok til at gennemføre den grønne omstilling (EIT RawMaterials 2021). Planen omfatter (i) politiske initiativer til økonomiske støtteordninger til at sikre, at der kan produceres til konkurrencedygtige priser i forhold til Kina; (ii) at virksomhederne skal købe en given, betydelig mængde af deres råstoffer fra europæiske producenter; (iii) sikring af at en større del skrotmateriale indeholdende sjældne jordartsmetaller genanvendes i EU; og (iv) at nationale finansieringsordninger skal inddrages i projekter, som kan bidrage til udvikling af værdikæder for sjældne jordartsmetaller i EU. Planen omfatter ingen tiltag til øget kinesisk-europæisk samarbejde.

### 13.3.2 Rare Earth Industry Association

Industrisammenslutningen Rare Earth Industry Association (REIA) (<https://www.global-reia.org/>) blev oprindeligt etableret som et EU-finansieret forskningsprojekt (GloREIA), som kortlagde værdikæderne for sjældne jordartsmetaller i EU. REIA er i dag en international interesseorganisation,



som skal samle virksomheder og institutioner involveret i værdikæderne for sjældne jordartsmetaller med det formål at koordinere viden om og forbedre livscyklus for produkter med sjældne jordartsmetaller. REIA havde pr. 15. december 2021 omkring 39 medlemmer, som spænder fra forskning & udvikling, mineralefterforskning, minedrift, magnetproduktion til virksomheder som forbruger magneterne. Medlemmerne kommer fra en række europæiske lande samt Australien, Canada, USA og Kina (Appendiks VI). Efterforskningselskaberne udtrykker alle (via hjemmesider) ønske om at bryde den kinesiske dominans i markedet, og flere understreger deres uafhængighed af Kina, men som det fremgår af afsnit 13.1 har flere medlemmer tætte samarbejdsrelationer til kinesiske virksomheder. Desuden omfatter medlemsskaren to kinesiske magnetproducenter.

REIA's oprindelige formål med at bidrage til udvikling af vestlige forsyningskæder, uafhængige af kinesiske, synes vanskeliggjort af medlemssammensætningen, som virker mere egnet til etablering af kontakter mellem juniorefterforskningselskaber og større forbrugende kinesisk dominerede virksomheder.

### **13.4 Udfordringer for etablering af uafhængige værdikæder i Vesten**

Mange af de efterforskningsprojekter, som nu annoncerer at de vil være klar til produktion af sjældne jordartsmetaller indenfor nogle år, blev igangsat for 10-15 år siden, typisk på forekomster som var blevet identificeret ved geologisk kortlægning mange år tidligere. Men kun to ud af flere hundrede vestlige projekter er kommet i produktion: Mt. Weld i Australien, som påbegyndte minedriften i 2007 og separationsanlægget i Malaysia i 2013 (se afsnit 13.1.2), samt Mountain Pass-minen i USA, som har en længere historie med flere lukninger og åbninger (se afsnit 11.1 og 13.1.21). Herudover er der kun mindre vestlige biproduktioner fra tungsand. De eksisterende råstofforarbejdende industrier udgøres især af en række selskaber med årtiers erfaring, og som i begyndelsen af 2000'erne etablerede samarbejde med kinesiske producenter. På trods af regionale, nationale og private initiativer, som støtter etablering af uafhængige forarbejdende industrier, er det kun i få tilfælde lykkedes at etablere vestlige faciliteter, hvor Lynas' anlæg i Malaysia er et af eksemplerne på et større anlæg; Lynas har en produktionskapacitet på ca. 22.000 ton/år TREO, hvoraf ca. 75 % udnyttes. Årsagerne, set fra denne forfatters synspunkt, er beskrevet i kapitel 11 og 12 og må tilskrives, at Kina i de seneste årtier har haft politisk fokus på den industrielle vigtighed af de sjældne jordartsmetaller, samtidig med at de med store investeringer i både forskning og udvikling har opbygget en vertikalt integreret industri organiseret i de seks store konsortier The Big Six (afsnit 12.1).

Blandt vestlige producenter involveret i REE-værdikæderne er det også vurderingen, at det under de gældende vilkår er vanskeligt at bryde Kinas kontrol. Eksempelvis har Less Common Metals (LCM), England, på vegne af den engelske regering, gennemført en analyse af mulighederne for at etablere uafhængige magnetfabrikker i England (Less Common Metals 2021). LCM peger på, at forudsætningen for etablering af uafhængige komplette fra-mine-til-magnet-forsyningskæder er, at hver del af forsyningskæden skal være konkurrencedygtig med kinesiske produkter på både sociale- og miljøforhold samt pris. LCM konkluderer, at dette, pga. Kinas skatte- og afgiftssystemer, som sikrer at værditilvæksten sker i Kina, kun vil kunne lade sig gøre, hvis råstofferne i Vesten kan skaffes til meget lave priser, fx som biprodukter fra tungsand, gødningsråstoffer og jernmalm. LCM peger desuden på, at for en række af de potentielle 'vestlige' mineprojekter med anlægsinvesteringer på 300-1.000 mio. USD er forretningsgrundlaget økonomisk udfordret pga.

lave priser på mineralkoncentrater og usikre markedsforhold. Projekterne er desuden teknisk udfordret på håndtering af radioaktive grundstoffer, som opkoncentreres under produktionen samt af selskabernes utilstrækkelige knowhow om alle produktionstrin. Endelig vurderer LCM, at det engelske magnetmarked er utilstrækkeligt til etablering af en magnetfabrik i Storbritannien.

## 14. Vurdering af eventuelle forsyningsudfordringer til den grønne omstilling

Sjældne jordartsmetaller er nøgleråstoffer i den grønne energiomstilling med stigende forbrug til følge (kapitel 3). Forbruget af sjældne jordartsmetaller går især til fremstilling af NdFeB-magneter til el- og hybridbiler, vindmøller, airconditionanlæg m.m. Det Internationale Energiagentur forventer, at dette forbrug vil blive syvdoblet frem mod 2040 (International Energy Agency 2021). Spørgsmålet er derfor, om der er balance mellem de sandsynlige råstofforsyninger og den forventede efterspørgsel på de sjældne jordartsmetaller.

For at prøve at besvare dette spørgsmål er der udarbejdet en analyse, som tager udgangspunkt i de sjældne jordartsmetaller praseodymium (Pr), neodymium (Nd) og dysprosium (Dy), der er centrale råstoffer i magneter af typen neodymium-jern-bor (NdFeB), som anvendes i bl.a. elbiler og vindmøller (se også afsnit 3.2.1), og fordi priserne for disse metaller dominerer malmværdien i både eksisterende og kommende miner. Produktionerne i minerne vil derfor blive tilrettelagt i forhold til mulighederne for at maksimere afsætningen af disse tre råvarer; malmens øvrige sjældne jordartsmetaller vil blive reduceret til biprodukter, som vil blive produceret i mængder, der er funktion af malmens sammensætning og den planlagte produktion af magnetmetallerne. Da efterspørgslen på magnetmetallerne i øjeblikket vokser hurtigere end for de øvrige markeder, er det sandsynligt, at der på sigt opstår en overproduktion af råstoffer til de øvrige anvendelsesområder. Vurderinger af balancer mellem udbud og efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller frem mod 2030 kan derfor reduceres til en problematik om udbud og efterspørgsel af de råstoffer, der anvendes til magneter. Derfor omfatter analysen kun estimer for forventet udbud fra minerne og forventet efterspørgsel af de tre vigtigste sjældne jordartsmetaller til NdFeB-magneter i 2025 og 2030. Eventuelle kapacitetsudfordringer i de efterfølgende værdikæder, som forarbejder malmen til magnetråstoffer, indgår ikke i scenarierne.

Datagrundlaget er utilstrækkeligt til lave statistiske analyser for udbud og efterspørgsel. Derfor er vurderingerne af balancen mellem udbud og efterspørgsel af magnetmetallerne udført som fire scenarier baseret på kombinationer af 'lave' og 'høje' estimer for udbud og efterspørgsel (Tabel 14-1) og er beregnet for hhv. 2025 og 2030. Det er vurderet, at der ikke er tilstrækkeligt vidensgrundlag til at foretage estimer for perioden efter 2030.

**Tabel 14-1** *Principper for fire scenarier for balancer mellem udbud og efterspørgsel.*

Scenarienr.	Kombination	Scenarienr.	Kombination
1	Lav efterspørgsel/ Lavt udbud	2	Høj efterspørgsel/ Lavt udbud
3	Lav efterspørgsel/ Højt udbud	4	Høj efterspørgsel/ Højt udbud

### 14.1 Vurderinger af efterspørgslen frem mod 2030

Vurderingerne af efterspørgslen frem mod 2030 er udarbejdet på følgende grundlag:

- Det totale forbrug af sjældne jordartsmetaller er fordelt på 10 sektorer og er baseret på Merriman (2021).

- Den relative fordeling af de sjældne jordartsmetaller i de enkelte sektorer er baseret på Binnemans (2013); dog er fordelingen for magnetsektoren baseret på Merriman (2021).
- Efterspørgslen på magnetmetallerne praseodymium, neodymium og dysprosium i hhv. 2025 og 2030 er estimeret ud fra tre dataset: King (2021), Adamas Intelligence (2021) og Merriman (2021), som alle angiver forventningerne til forbruget af sjældne jordartsmetaller til NdFeB-magneter. Disse tre analyser af magnetmarkedet angiver forbruget i NdPr-oxid (King 2021), NdFeB-magnet (Merriman 2021) og opdelt i praseodymium-oxid (Pr-oxid), neodymium-oxid (Nd-oxid) og dysprosium-oxid (Dy-oxid) (Adamas Intelligence 2021) (Tabel 14-2).

**Tabel 14-2** Forventningerne til forbruget af forskellige produkter til brug til fremstilling af NdFeB-magneter i 2025 og 2030. Data danner grundlag for efterspørgselsscenerierne i dette kapitel.

	Enhed	2020	2025	2030
King (2021)	ton NdPr-oxid*	1.000	18.000	48.000
Merriman (2021)	ton NdFeB totalt	105.000	150.000	195.000
Adamas Intelligence (2021)	ton TREO	4.000	8.000	20.000

\* neodymium-praseodymium-oxid

Estimaterne for udviklingen i magnetmarkederne er omregnet til de forventede behov for praseodymium, neodymium og dysprosium (Tabel 14-2). Det skal bemærkes, at disse data kun indgår som grundlag for nedenstående estimater; forfatteren er ansvarlig for den sammenhæng og metode, data indgår i.

Til vurderinger af efterspørgslen frem mod 2030 er der anvendt følgende forudsætninger:

- Magnetmarkedet for NdFeB-magneter er opdelt i to typer:
  - (i) Magneter til trækmotor (Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM)) med en typisk sammensætning af 12 Pr-oxid, 75 % Nd-oxid og 7 % Dy-oxid.
  - (ii) Øvrige magneter med en gennemsnitlig sammensætning af 12 % Pr-oxid, 70 % Nd-oxid og 2 % Dy-oxid.
- Den relative fordeling i efterspørgslen for 2025 og 2030 fra magnetsektoren og de øvrige sektorer, som forbruger Pr, Nd og Dy følger Merriman (2021).
- Der vil være et betydeligt procestab fra råmalm til færdigt magnetpulver; dette tab er anslået til 40 %, hvilket antageligt er optimistisk. Dette tab er indregnet i efterspørgslen.
- Fremstilling af magneter til specifikke formål medfører 15-30 % materialespild, som følge af formlilpasning. Sådanne tab er ikke indregnet, da det er uklart, i hvilket omfang dette materiale indgår i efterfølgende produktioner.

Den anvendte fordelingsnøgle for materiale til magneter til elbiler, materiale til øvrige magneter og forbrug til øvrige sektorer i 2025 og 2030 er vist i Tabel 14-3.

De estimerede behov for de tre magnetmetaller praseodymium, neodymium og dysprosium i 2025 og 2030 er vist i Tabel 14-4 og Figur 14-1 med år 2020 til sammenligning. Det fremgår, at estimaterne for Merriman (2021) og Adamas Intelligence (2021) er meget ens, mens estimaterne baseret på King (2021) er betydeligt højere for alle tre magnetmetallerne.

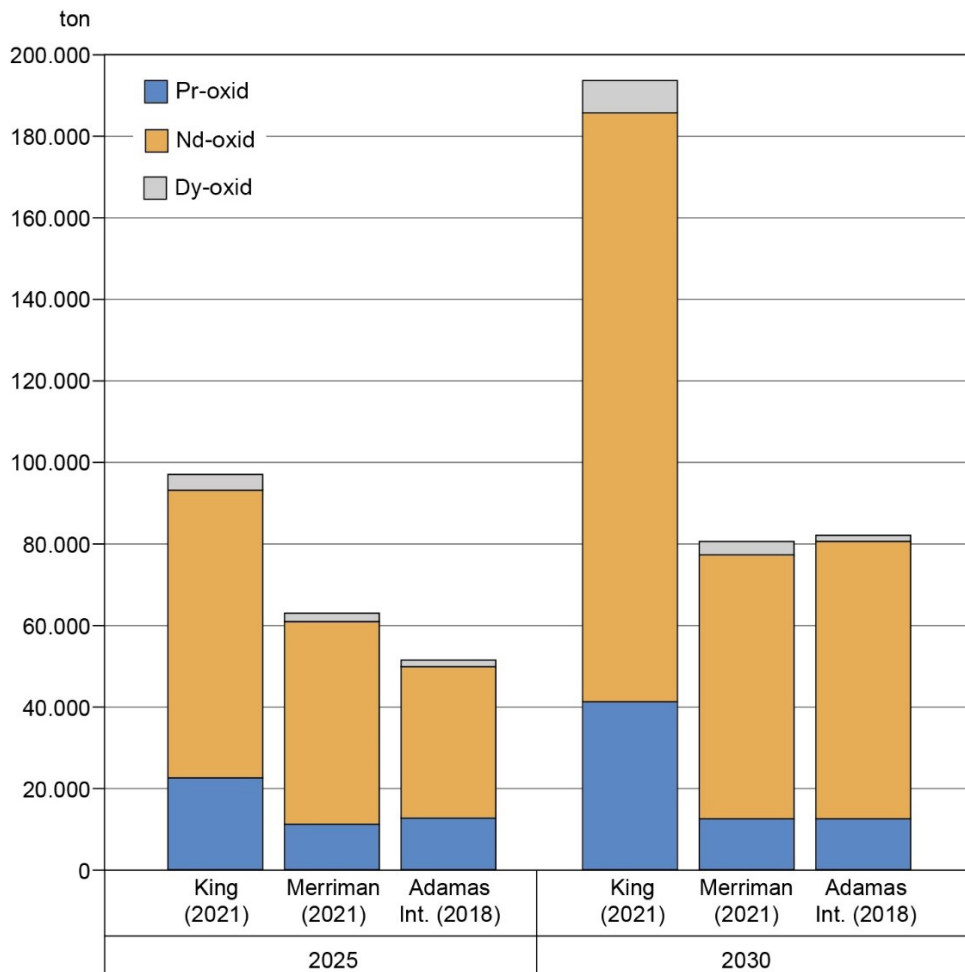
**Tabel 14-3** Fordelingsnøgle anvendt til scenarierne for det samlede råstofforbrug for magnetmetallerne Pr, Nd og Dy i 2025 og 2030. Tallene angiver den procentvise fordeling som hver af de tre metaller udgør. Kilder: King (2021); Merriman (2021) og Adamas Intelligence (2021).

	Andel (%) af		
	Pr-oxid	Nd-oxid	Dy-oxid
Materiale til magneter til elbiler (drivetrains)			
2025	12	17	34
2030	16	21	44
Materiale til øvrige magneter			
2025	32	38	37
2030	36	41	27
Kompensation for materialetab fra mine til magnetpulver (40 %)			
2025	21	25	29
2030	21	25	29
Forbrug til øvrige sektorer			
2025	35	20	-
2030	27	13	-
<b>Total 2025</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Total 2030</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tabel 14-4** Estimerede forbrug af de tre magnetmetaller praseodymium, neodymium og dysprosium i 2025 og 2030. Røde tal indgår i de fire scenarier, jf. Tabel 14-1.

Total-forbrug	År	Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton
King (2021)	2025	23.000	70.000	4.000
	2030	43.000	143.000	8.000
Merriman (2021)	2025	11.000	50.000	2.000
	2030	14.000	64.000	3.000
Adamas Intelligence (2021)	2025	13.000	37.000	1.000
	2030	14.000	67.000	2.000

Til sammenligning forventer Morgan Stanley Research (2021), at efterspørgslen for NdPr-oxid i 2025 og 2030 vil være hhv. 66.000 ton og 83.000 ton. Hertil skal antageligt lægges den mængde, som anvendes til andre sektorer, samt den mængde der skal kompensere procestabet (40 %); det samlede behov for 2025 og 2030 vil dermed udgøre omkring 123.000 ton og 150.000 ton NdPr-oxid, og er dermed på niveau med estimerne baseret på med King (2021). I en artikel af Watari *et al.* (2020) varierer det forventede samlede forbrug af Nd-oxid i 2030 mellem 39.000 ton og 220.000 ton med et middel på ca. 90.000 ton, hvilket svarer til niveauet i denne undersøgelse (Tabel 14-1); Watari *et al.* (2020) omfatter ikke praseodymiumoxid. For dysprosiumoxid-forbruget henviser Watari *et al.* (2021) til otte vurderinger af dysprosiumoxid-forbruget i 2030, som estimerer et middelniveau på ca. 7.000 ton; dette niveau svarer også til estimerne i denne undersøgelse, men er dog i den høje ende. Kinas estimat for det forventede forbrug af NdPr-oxid i 2025 er 120.000 (The Rare Earth Observer 2022) og ligger dermed indenfor de intervaller, der er fundet i denne undersøgelse.



**Figur 14-1** Estimerede behov for praseodymium, neodymium og dysprosium til elbiler frem mod 2030. Data fra King (2021), Merriman (2021) og Adamas Intelligence (2021) er anvendt i scenarier for behovet for sjældne jordartsmetaller.

Prognoseerne for efterspørgslen kan blive påvirket i nedadgående retning, hvis bilindustrien introducerer nye magnettyper, der helt eller delvist udfaser brugen af de sjældne jordartsmetaller. Dette er ikke et urealistisk scenarie, da der pågår udviklingsarbejde med øget substitution af cerium med NdPr-oxid, som findes i store mængder og er betydeligt billigere. Desuden har flere store, vestlige bilfabrikker ændret drivmotorteknologien i elbiler fra det nuværende system, hvor elmotorer indeholder NdFeB-magneter, som drives af batteristrøm, til induktionsmotorer, hvor batteristrøm i stedet bruges til at skabe et magnetfelt, som driver motoren; denne teknologi anvender væsentligt mindre mængder sjældne jordartsmetaller.

Efterspørgslen af magnetmetallerne praseodymium, neodymium og dysprosium kan blive påvirket i opadgående retning, i forhold til prognoseerne, hvis elektrificeringen af landtransporten sker i et hurtigere tempo end forventet i lande med store befolkninger og voksende økonomi, som fx Indien, Malaysia, Indonesien, Nigeria m.fl.

## 14.2 Vurderinger af forsyninger frem mod 2030

Estimater for produktionen af primærråstofferne, benyttet i nedenstående estimater for forsyningskapaciteten, tager udgangspunkt i de eksisterende aktive miner, samt i en række efter-

forskningsprojekter, som det anses for sandsynligt, vil være i produktion i hhv. 2025 og 2030 (Tabel 14-5), med undtagelse af to projekter er kapaciteten baseret på selskabernes egne oplysninger. Estimerede produktioner for høje og lave scenarier i 2025 og 2030 er vist i Tabel 14-6 og Tabel 14-7).

**Tabel 14-5** Oversigt over efterforskningsprojekter, som indgår i de fire forsyningsscenarier.

Land	2025 Høj	2025 Lav	2030 Høj	2030 Lav
<b>Angola</b>			Longonjo	
<b>Austra- lien</b>			Browns Range (Wolverine)	Browns Range (Wolverine)
			Charley Creek	Charley Creek
			Cummins Range	Cummins Range
	Dubbo	Dubbo	Dubbo	Dubbo
	Eneabba		Eneabba	
	Nolans Bore		Nolans Bore	
	Yangibana North	Yangibana North	Yangibana North	Yangibana North
<b>Brasilien</b>			Araxa	Araxa
<b>Burundi</b>	Gakara (Karonge)	Gakara (Karonge)	Gakara (Karonge)	Gakara (Karonge)
<b>Canada</b>			Ashram (Total resource)	
			Eco Ridge	
			Foxtrot (=Port Hope Simpson)	Foxtrot (Port Hope Simpson)
			Niobec	Niobec
	Nechalacho Upper	Nechalacho Upper	Nechalacho Upper	Nechalacho Upper
	Strange Lake	Strange Lake	Strange Lake	Strange Lake
<b>Grøn- land</b>	Kringlerne	Kringlerne	Kringlerne	Kringlerne
	Kvanefjeld (main)		Kvanefjeld (main)	
<b>Kirgisi- stan</b>	Kutesay II	Kutesay II	Kutesay II	Kutesay II
<b>Malawi</b>			Songwe Hills	Songwe Hills
<b>Namibia</b>			Lofdal	Lofdal
<b>Sverige</b>			Norra Kärr	
<b>Sydaf- rika</b>			Glenover	
			Kangankunde	Kangankunde
			Steenkampskrak	Steenkampskrak
			Zandkopdrift Mineral Ressource	
<b>Tanzania</b>	Ngualla Hill	Ngualla Hill	Ngualla Hill	Ngualla Hill
<b>USA</b>			Bokan Mountain	Bokan Mountain
	Georgia	Georgia	Georgia	Georgia
			Round Top	Round Top

Nedenfor gennemgås forudsætninger og data, som indgår i vurderinger af råstofforsyningen frem mod 2025 og 2030.

Estimaterne omfatter forsyningerne af sjældne jordartsmetaller fra både eksisterende og potentielle miner. Disse er udvalgt efter følgende kriterier:

- Produktion fra de eksisterende miner er udført ved en fordeling af data fra USGS (2020) for den samlede globale produktion til globale tonnager for de enkelte sjældne jordarts-metaller (jf. Tabel 8-2).
- Data for potentielle nye miner, som udgøres af de mest avancerede efterforskningsprojekter; projekterne er subjektivt udvalgt af forfatteren (Tabel 14-5). I dette valg er det til-lagt betydning, hvis projekterne har oplyst den forventede, årlige produktionsmængde.
- Høje og lave scenarier er tilsvarende baseret på forfatterens vurdering af, hvilke projek-ter der har størst sandsynlighed for at være i produktion i hhv. 2025 og 2030. Projekter, som ikke indgår i et eller flere scenarier, er angivet ved et tomt felt i Tabel 14-5.

**Tabel 14-6** Estimerede forsyninger af de tre magnetmetaller praseodymium, neodymium og dysprosium fra miner, som forventes at være i produktion i 2025 og 2030. Vurderinger er respektive konservative og optimistiske.

	2025 Lav	2030 Lav	2025 Lav	2030 Lav	2025 Lav	2030 Lav
	Pr-oxid ton	Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton	Dy-oxid ton
Angola	-	-	-	-	-	-
Australien	900	1.200	3.800	4.600	100	300
Brasilien	-	100	-	400	-	-
Burundi	100	100	500	500	-	-
Canada	800	1.000	2.900	3.900	600	700
Grønland	200	200	600	600	100	100
Kirgisistan	200	200	400	400	300	300
Malawi	-	300	-	1.000	-	-
Namibia	-	-	-	100	-	100
Sydafrika	-	100	-	500	-	-
Sverige	-	-	-	-	-	-
Tanzania	300	300	1.100	1.100	-	-
USA	300	400	1.100	1.500	-	300
	<b>3.000</b>	<b>4.000</b>	<b>10.000</b>	<b>14.000</b>	<b>1.000</b>	<b>2.000</b>

	2025 Høj	2030 Høj	2025 Høj	2030 Høj	2025 Høj	2030 Høj
	Pr-oxid ton	Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton	Dy-oxid ton
Angola	-	600	-	2.100	-	100
Australien	2.700	2.900	10.100	10.900	200	400
Brasilien	-	100	-	400	-	-
Burundi	100	100	500	500	-	-
Canada	800	2.100	2.900	7.400	600	800
Grønland	1.500	1.500	4.600	4.600	400	400
Kirgisistan	200	200	400	400	300	300
Malawi	-	300	-	1.000	-	-
Namibia	-	-	-	100	-	100
Sydafrika	-	1.500	-	5.200	-	200
Sverige	-	100	-	600	-	200
Tanzania	300	300	1.100	1.100	-	-
USA	300	400	1.100	1.500	-	300
	<b>6.000</b>	<b>10.000</b>	<b>21.000</b>	<b>36.000</b>	<b>2.000</b>	<b>3.000</b>



Forsyningerne frem mod 2030 vil omfatte produktion fra både eksisterende og nye miner. Produktionen fra de eksisterende anlæg er estimeret med udgangspunkt i Tabel 8-2 og er korrigeret med +20 % og +40 % for de høje scenarier i hhv. 2025 og 2030, og med +10 % og +20 % for de lave scenarier i hhv. 2025 og 2030 (Tabel 14-7).

**Tabel 14-7** Estimerede produktioner af praseodymium, neodymium og dysprosium fra eksisterende og nye miner, vurderet i høje og lave scenarier for 2025 og 2030.

		Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton
<b>2025 - høj</b>	Eksisterende +20%	18.000	53.000	7.000
	Nye miner (liste 25H)	6.000	21.000	2.000
	<b>Total</b>	<b>24.000</b>	<b>74.000</b>	<b>9.000</b>
<b>2025 - lav</b>	Eksisterende +10%	17.000	49.000	6.000
	Nye miner (liste 25L)	3.000	10.000	1.000
	<b>Total</b>	<b>20.000</b>	<b>59.000</b>	<b>7.000</b>
<b>2030 - høj</b>	Eksisterende +40%	21.000	62.000	8.000
	Nye miner (liste 30H)	10.000	36.000	3.000
	<b>Total</b>	<b>31.000</b>	<b>98.000</b>	<b>11.000</b>
<b>2030 - lav</b>	Eksisterende +20%	18.000	53.000	7.000
	Nye miner (Liste 30L)	4.000	14.000	2.000
	<b>Total</b>	<b>22.000</b>	<b>67.000</b>	<b>9.000</b>

Estimaterne for de globale forsyninger af praseodymium, neodymium og dysprosium i 2025 og 2030, som ses i Tabel 14-7, viser, at nye miner i både 2025 og 2030 kan forventes at bidrage med 20-50 % af den mængde magnetmetaller, der produceres af de eksisterende miner. Det er forfatterens vurdering, at for nye miner er de lave scenarier de mest sandsynlige forsyningsscenarier, da erfaringer har vist, at de fleste projekter overskrider deres egne tidsplaner med adskillige år og enkelte avancerede projekter lukkes ned som følge af tekniske, økonomiske eller myndighedsmæssige forhold.

Nogle af de store eksisterende miner vil formentlig kunne øge kapaciteten væsentligt; det gælder eksempelvis både Mt. Weld-minen i Australien, Mountain Pass-minen i Californien i USA og de store miner i Kina, heriblandt Bayan Obo. Desuden vil der frem imod 2030 kunne komme betydelige biproduktionsbidrag fra fx tungsandsforekomster, jernmalmsminer og IOCG-forekomster.

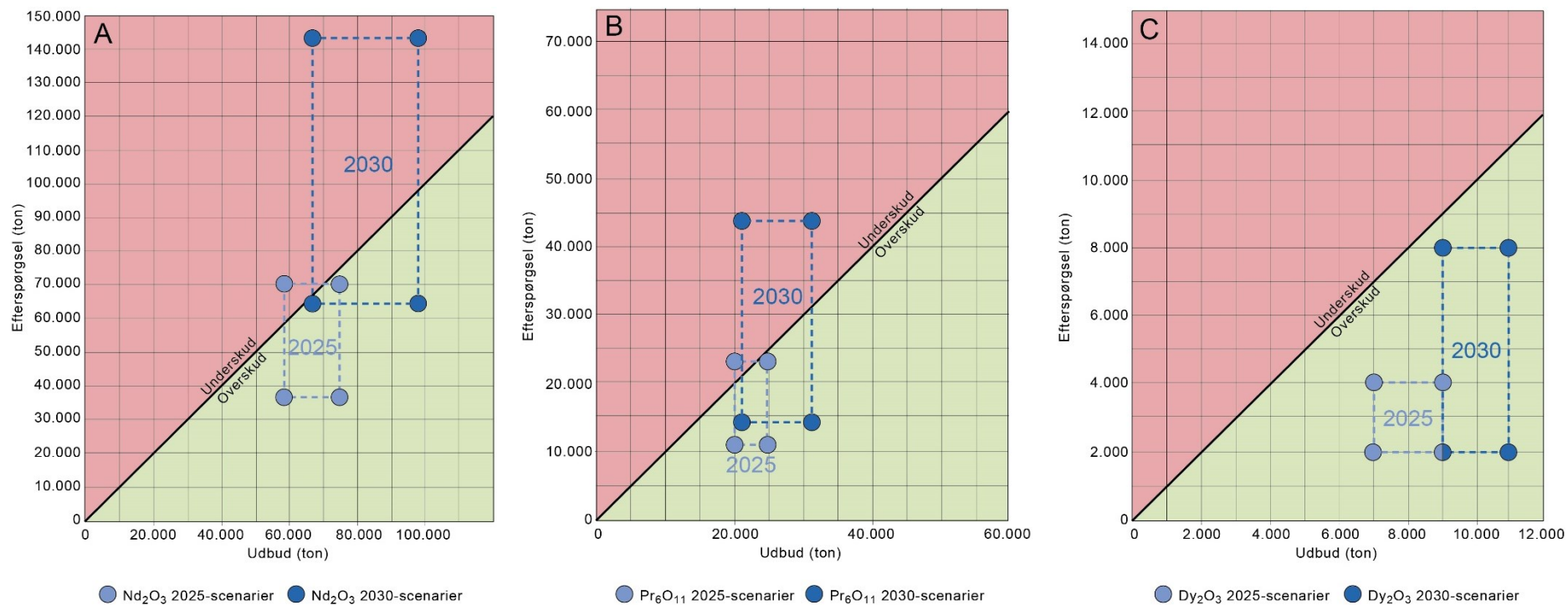
På forsyningssiden vil genanvendelse antageligt også få stigende betydning i takt med udbygning af tekniske anlæg til forarbejdning af skrot og i takt med, at mængden af – især – NdFeB-magneter, der skal skrottes, vokser.

### 14.3 Vurdering af råstofbalancen frem mod 2030

Balancen for råstofudbuddet-efterspørgslen er vist i Tabel 14-8 og illustreret i Figur 14-2, hvoraf det fremgår, at for de scenarier, hvor forbruget ikke forventes at vokse væsentligt, vil efterspørgslen kunne opfyldes med de indregnede forudsætninger på udbudssiden. Lave vækstscenarier er dog ikke forventelige med det store politiske fokus, der er på grønne energiløsninger og den hurtige globale omstilling af transportsektoren og hurtigt voksende vindmølleproduktion, som begge er afhængige af forsyninger af forarbejdede sjældne jordartsmetaller.

**Tabel 14-8** Sammenstilling af scenarievurderingerne for udbud-efterspørgsel af Pr-oxid, Nd-oxid og Dy-oxid i 2025 og 2030. Røde tal angiver negativ balance.

År	Scenarie		Efterspørgsel			Forsyning			Balance			Sandsynlighed
	Efterspørgsel	Forsyning	Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton	Pr-oxid Ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton	Pr-oxid ton	Nd-oxid ton	Dy-oxid ton	
2025	Høj	Høj	23.000	70.000	4.000	24.000	74.000	9.000	1.000	4.000	5.000	Lav
2025	Høj	Lav	23.000	70.000	4.000	20.000	59.000	7.000	-3.000	-11.000	3.000	Høj
2025	Lav	Høj	11.000	37.000	2.000	24.000	74.000	9.000	13.000	37.000	7.000	Lav
2025	Lav	Lav	11.000	37.000	2.000	20.000	59.000	7.000	9.000	22.000	5.000	Lav
2030	Høj	Høj	43.000	143.000	8.000	31.000	98.000	11.000	-12.000	-45.000	3.000	Høj
2030	Høj	Lav	43.000	143.000	8.000	22.000	67.000	9.000	-21.000	-76.000	1.000	Høj
2030	Lav	Høj	14.000	64.000	2.000	31.000	98.000	11.000	17.000	34.000	9.000	Lav
2030	Lav	Lav	14.000	64.000	2.000	22.000	67.000	9.000	8.000	3.000	7.000	Lav



**Figur 14-2** Illustration af råstofbalancen for neodymium (A), praseodymium (B) og dysprosium (C) ved anvendelse af kombinationer af høje og lave scenarier for 2025 og 2030.

For de mere sandsynlige scenarier, hvor der er anvendt vækst i efterspørgslen, er der betydelige negative balancer. For 2025 er der estimeret en mangel på omkring 3.000 ton Pr-oxid og 11.000 ton Nd-oxid, svarende til hhv. 13 % og 16 % underskud i forhold til den forventede efterspørgsel, hvis der antages en høj efterspørgsel og lav forsyningsrate. For 2030 opstår der balanceunderskud for både Pr-oxid og Nd-oxid på hhv. 12.000 ton (28 %) og 45.000 ton (31 %), hvis det antages, at både efterspørgsel og forsyningerne er høje. I scenariet for 2030 med høj efterspørgsel og lav forsyning vokser ubalancen til et underskud på ca. 21.000 ton Pr-oxid (49 %) og 76.000 ton Nd-oxid (53 %). Resultaterne er vist i Figur 14-2. Til sammenligning estimerer Adamas Intelligence (2021), at der i 2025 og 2030 vil være et samlet underskud af Pr-oxid og Nd-oxid på hhv. 15.000 ton og 8.000 ton. Scenarierne indikerer positiv balance for dysprosium, men det skal bemærkes, at der er stor usikkerhed knyttet til vurderinger af dysprosium, da det drejer sig om relativt små tonnager, som mest efterspørges til specielle magneter, og dysprosium desuden kun udgør en lille andel i malmen. Derfor kan selv små ændringer i udnyttelsesgraden få stor betydning for det samlede volumen, der er tilgængeligt for markedet.

Udfordringerne på udbudssiden er ikke alene knyttet til produktionen fra minerne, men – i Vesten – tillige på infrastruktur til forarbejdning af mineralerne til råvarer, som industrien efterspørger, herunder især separations- og raffineringssanlæg (se også kapitel 5). Kina menes at have en eksisterende separationskapacitet på ca. 300.000 ton/år TREO NdFeB-magneter, mens kapaciteten i Vesten til sammenligning er omkring 20.000 ton/år TREO, hvilket er betydeligt mindre end den mængde sjældne jordartsmetaller, som forbruges i Vesten. Det forventes desuden, at Kina vil øge produktionskapaciteten på NdFeB-magneter til ca. 480.000 ton i 2025, hvilket er større end behovet (Kruemmer pers. komm. 2021b); i tillæg hertil kan komme den kapacitet, som forventes etableret i Vesten.

Indførelse af nye teknologier i de storforbrugende industrier, som eksempelvis elbil- og vindmølleindustrierne, kan forrykke balancen mellem udbud og efterspørgsel af sjældne jordartsmetaller. Dette åbner også for den risiko, at kriticalitetsproblemet (se kapitel 1) flytter fra de sjældne jordartsmetaller til et eller flere andre metaller.

## Referencer

- Adamas Intelligence (2014): Rare Earth Market Outlook: Supply, Demand, and Pricing through 2025, edited by R. Castelloux; October 1, 2014
- Adamas Intelligence (2017): Chinese NdPr oxide price up 50% YTD – Panic or Party? Company brief; August 10, 2017, 8 pp.
- Adamas Intelligence (2021): The 2020 Super Recovery. EVs, Battery Metals and Rare Earth; Q1 2021.
- Al-Ani, T., Molnár, F., Lintinen, P. & Leinonen, S. (2018): Geology and Mineralogy of Rare Earth Elements Deposits and Occurrences in Finland. *Minerals* 2018, 8 356.  
<https://doi.org/10.3390/min8080356>
- Andersson, P., Zeuthen, J.W. & Kalvig, P. (2018): Chinese Mining in Greenland: Arctic Access or Access to Minerals. 15 pp; *Arctic Yearbook*
- Arafura Resources Ltd (2021): Arafura Resources steams ahead at Nolans rare earth project with FEED activities set to start. Company stakeholder information. <https://www.proactiveinvestors.com.au/companies/news/954695/arafura-resources-steams-ahead-at-nolans-rare-earth-project-with-feed-activities-set-to-start-954695.html>
- ASX Release (2021): IonicRE to evaluate standalone downstream HREE separation and refining asset. ASX Release Ionic Rare Earths; August 9, 2021
- Atwood, D.A. (editor) (2012): *The Rare Earth Elements. Fundamentals and applications.*
- Avelon (2020): Industry bulletin: Vital Metal sins off-take agreement for Nechalacho Rare Earth Product. [https://www.avalonadvancedmaterials.com/news\\_media/bulletins/index.php?content\\_id=917](https://www.avalonadvancedmaterials.com/news_media/bulletins/index.php?content_id=917)
- Balaram, V. (2019): Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers* 10, 2019, 1285-1303
- Barakos, G., Mischo, H. & Gutzmer, J. (2018): A forward look into the US rare-earth industry; How potential mines can connect to the global REE market. *Mining Engineering*, Aug. 2018, 30-37
- Binnemans, K. (2013): Economics of rare earth: the balance problem. Workshop notes, KU Leuven
- Binnemans, K. (2014): Luminescence of lanthanides and phosphor applications. Lecture VI. KU Leuven (Power Point Presentation)
- Binnemans, K., Jones, P.T, Acker, K. van, Blanpain, B., Mishra, B. & Apelian, D. (2013): Rare-Earth Economics; the Balance Problem. *JOM* 65, 846-848 (2013).  
<https://doi.org/10.1007/s11837-013-0639-7>
- Binnemans, K., McGuinness, P. & Jones, P.T. (2021): Rare-earth recycling needs market intervention. *Nature Reviews Materials*, Vol 6, June 2021
- Bird, S., Giroux, G. & Meintjes, T. (2019): Wicheeda Rare Earth Element Projects, BC Canada NI 43-101 Technical Reports; Moose Mountain Technical Services.
- Bray, E. L. (2011): Thorium. In: *Geological Survey Minerals Yearbook 2009*, V.I, 1101 p.
- British Geological Survey (2011): *Rare Earth Elements; Commodity Profile* 52 pp.
- Borra, C.N., Vlugt, T.J.H., Yang, Y., Spooren J., Nielsen, P., Amirthalingam, M. & Offerman, S.E. (2021): Recovery of rare earths from glass polishing waste for the production of aluminium-rare earth alloys. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 174, November 2021

- Buynovskiy, A.S., Zhiganov, A.N., Sofronov, V.L., Schkov, V.I. & Daeaikina, N.V. (2014): Current state of the rare earth industry in Russia and Siberia. *Procedia Chemistry* 11, 2014, p126-132.
- Central People's Government of the People's Republic of China (2011): Udtalelser fra statsrådet om fremme af bæredygtig og sund udvikling af sjældne jordartsmetalindustri.
- Chakhmouradian, A.R & Wall, F. (2012): Rare Earth Elements: Minerals, Mines, Magnets (and More). *Elements* 8. 333-340.
- Chalmers, M. (2021): oral presentation, Adamas Intelligence webinar, October 19, 2021
- Chen (2020): The past and present of Shenghe Resources and the Six Major Rare Earth Groups including Chinalco and Southern/Northern Rare Earth. *Rare Earth Information*, August 16, 2020. Translated by Patrik Andersson
- China Briefing (2021): China Tightens Control Over Management of Rare Earths, February 25, 2021. <https://www.china-briefing.com/news/china-tightens-control-over-management-of-rare-earths/>
- Consumers Association Penang (2011): Chronology of events in the Bukit Merah Asian Rare Earth development; <https://consumer.org.my/chronology-of-events-in-the-bukit-merah-asian-rare-earth-development/>
- Cotting, A., Woodall, T. & Javier, J.M.F. (2019): Russia struggling to capitalize on rare earth reserves. S&P Global, Market Intelligence., July 3, 2019. <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/russia-struggling-to-capitalize-on-rare-earth-reserves-52525919>
- CRIRSCO (2019): Introduction to CRIRSCO; [http://www.crirSCO.com/templates/CRIRSCO\\_International\\_Reporting\\_Template\\_November\\_2019.pdf](http://www.crirSCO.com/templates/CRIRSCO_International_Reporting_Template_November_2019.pdf)
- Dahlgren, S. (2019): REE in two long drill-cores from the Fen Carbonatite Complex, Telemark, Norway. Report no. 2019.008, Norges Geologiske Undersøgelse (NGU); 37 pp.
- Ding, Y., Harvey, D. & Wang, N-H. L. (2020): Two-zone ligand-assisted displacement chromatography for producing high-purity praseodymium, neodymium, and dysprosium with high yield and high productivity from crude mixtures derived from waste magnets. *Green Chemistry*, Issue 12, 2020.
- Ecclestone, C. (2019): Neo Performance Materials. Portfolio Strategy. Hallgarten & Compan, 20 pp. [https://www.hallgartenco.com/pdf/RareEarths/NEO\\_July2019.pdf](https://www.hallgartenco.com/pdf/RareEarths/NEO_July2019.pdf)
- EIT RawMaterials 2021: Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action; <https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2021/09/ERMA-Action-Plan-2021-A-European-Call-for-Action.pdf>
- Elliott, H.A.L., Wall, F., Chakhmouradian, A.R., Siegfried, P.R., Dahlgren, S., Weatherley, S., Finch, A.A., Marks, M.A.W., Dowman, E. & Dedy, E. (2017): Fenites associated with carbonatite complexes: A review. *Ore Geology Reviews* 93, 38-59; <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.003>
- Emsbo, P., McLaughlin, P., Breit, G.N., Bray, E.A & Koenig, A.E. (2015): Rare earth elements in sedimentary phosphate deposits: Solution to the global REE crisis? *Gondwana Research* 27 (2015) 776-785; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X14003128?via%3Dihub>
- EPA 2012: Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental issues. United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-12/52, December 2012 Revised
- European Commission (2010): Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. 86 pp. <http://www.euromines.org/files/what-we-do/sustainable-development-issues/2010-report-critical-raw-materials-eu.pdf>
- European Commission (2020): Study on the EU's list of Critical Raw Materials 2020. Critical Raw Materials Factsheets.

- Fan, X., Guo, S., Ding, G., Fan, S., Jin, Z., Chen, R., Zhang, S. & Yan, A. (2021): A comparative study of NdY-Fe-B magnet and NdCe-Fe-B magnet. *Journal of Rare Earths*. October 12, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2021.08.022>
- Federal Register (2021): 2021 Draft List of Critical Minerals. A Notice by the Geological Survey on 11.09.2021. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/11/09/2021-24488/2021-draft-list-of-critical-minerals>
- Fernandez, V. (2017): Rare-earth elements market: A historical and financial perspective. *Resources Policy* 53 (2017) 26–45. [https://www.researchgate.net/publication/317247601\\_Rare-earth\\_elements\\_market\\_A\\_historical\\_and\\_financial\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/317247601_Rare-earth_elements_market_A_historical_and_financial_perspective)
- Fixler, A. & Gilbertson, L. (2021): China consolidates rare earth supply chain. *The Frontier Post*. (<https://thefrontierpost.com/china-consolidates-rare-earth-supply-chain/>)
- Friedrichs, P. (2017): Development of a Rare Earth Element Resource Database Management System. Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. <https://d-nb.info/1162498188/34>
- Gambogi, J. (2019): Rare Earths (Advance Release), US Geological Survey. [Rare Earths 2016](#)
- Garcia, A.C., Latifi, M., Amini, A. & Chaouki, J. (2020): Separation of Radioactive Elements from Rare Earth Elements-Bearing Minerals. *Metals* 2020, 10, 1524
- Gauss, R. (2016): Fraunhofer Lighthouse Projects – Criticality of Rare Earth Elements. Presentation on CWIEME – May 10, 2016, Berlin.
- Generalic, Eni (2017): History of the rare earth elements. EniG. Periodic Table of the Elements. KTF-Split, 29 May 2017. Website, June 22, 2017. [https://www.periodni.com/history\\_of\\_rare\\_earth\\_elements.html](https://www.periodni.com/history_of_rare_earth_elements.html)
- Ginger International Trade & Investment Pte., Ltd. (2021): <https://giti.sg/>
- Goodenough, K.M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J., Deady, E.A., Sadeghi, M., Schiellerup, H., Müller, A., Bertrand, G., Arvanitiis, N., Eliopoulos, D.G., Shaw, R.A., Thrane, K. & Keulen, N. (2016): Europe’s rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews* 72, (2016) 838-856. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.09.019>
- Government UK (2021): Net Zero Strategy: Build Back Greener. Policy paper, October 19, 2021. <https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-strategy>
- Green Car Congress (2021): Roskill: rare earth magnet applications to account for ~40% of total RE demand by 2030, up from 29% in 2020. <https://www.greencarcongress.com/2021/02/20210203-roskill.html>
- Gulley, A.L., Nassar N. T. & Xun S. (2018): China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, April 17, 2018 115 (16) 4111-4115
- Gupta, C. K. and Krishnamurty, N. (2005): *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press. 484 pp.
- Guofa 2011: Nr. 12. [http://www.gov.cn/zwqk/2011-05/19/content\\_1866997.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2011-05/19/content_1866997.htm)
- Haque, N, Hughes, A., Lim, S. & Vernon, C. (2014): Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact. *Resources* 2014, 3, 614-635; <https://doi.org/10.3390/resources3040614>
- Hanke, S.H. (2021): China Rattles Its Rare-Earth-Minerals Saber, Again. *National Review* (online), February 25, 2021. <https://www.cato.org/commentary/china-rattles-its-rare-earth-minerals-saber-again>
- Harmer, R.E. & Nex, P.A.M. (2016): Rare Earth Deposits of Africa. *Episodes Journal of International Geoscience* 2016; 39(2): 381-406. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2016/v39i2/95784>
- Haxel, G.B., Hedrick, J.B. & Oris, G.J. (2002): Rare Earth Elements: Critical Resources for High Technology. USGS. <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/>

- Hou, W., Liu, H., Wang, H. & Wu, F. (2018): Structure and patterns of the international rare earths trade: A complex network analysis. *Resources Policy* 55, (2018) 133-142
- Haque, N., Hughes, A., Lim, S. & Vernon, C. (2014): Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Sustainability and Environmental Impact. *Resources* 2014, 3, 614-635. <https://doi.org/10.3390/resources3040614>
- Hedrick, J.B. (2010): Global Rare-Earth Production: History and Outlook, accessed October 28, 2017. [https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy\\_files/files/attachments/101215\\_EnergyHedrick.pdf](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_files/files/attachments/101215_EnergyHedrick.pdf)
- Hui, M. (2021a): A US-Europe rare earths partnership is sandwiched by China. *Quartz*. May 12, 2021. [https://qz.com/1982071/a-us-europe-rare-earths-supply-chain-cant-quite-shake-off-china/?utm\\_source=dlvr.it&utm\\_medium=twitter](https://qz.com/1982071/a-us-europe-rare-earths-supply-chain-cant-quite-shake-off-china/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter)
- Hui, M. (2021b): A new US-Europe rare earths supply chain is using a “very Chinese model” to counter China. *Quartz*. July 12, 2021. <https://finance.yahoo.com/news/us-europe-rare-earths-supply-071947693.html>
- Hui, M. (2021c): The US is digging into its tax toolkit to rebuild its rare earth industry. *Quartz*. August 16, 2021. <https://finance.yahoo.com/news/us-digging-tax-toolkit-rebuild-090615585.html>
- Hui, Z. (2015): Chinalco and North and South Rare Earth Groups compete for Sichuan resources (oversat af Patrik Andersson). <http://finance.sina.com.cn/chanjing/cyxw/20150325/094621803251.shtml>
- Idolova, T. (2019): Монazitконцентрат экспортерес. Экспертер svarer. онацитовый концентрат вывозят? Отвечают специалисты. *Hjemmeside*. <https://ksk66.ru/2019/08/05>
- Innovation Metals (2017): <https://www.innovationmetals.com/>
- Institut für seltene Erden und Strategische Metalle (2020): Current prices of rare earths. <https://en.institut-seltene-erden.de/aktuelle-preise-von-seltenen-erden/>, October 2020
- International Energy Agency (IEA) (2021): The role of critical minerals in clean energy transitions. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- Izatt, S. R., McKenzie, J. S., Izatt, N. E., Bruening, R. L., Krakowiak, K. E. and Izatt, R. M. (2016): Molecular Recognition Technology: A Green Chemistry Process for Separation of Individual Rare Earth Metals. White Paper on Separation of Rare Earth Elements. [http://ucore.com/documents/WhitePaper\\_REE\\_Separations.pdf](http://ucore.com/documents/WhitePaper_REE_Separations.pdf)
- Jalali, J. & Lebeau T. (2021): The Role of Microorganisms in Mobilization and Phytoextraction of Rare Earth Elements: A review. *Front. Environ. Sci.* 9:688430, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.688430>
- Jha, A.R. (2014): Rare Earth Materials. Properties and Applications. ISBN 9781138033870 Published November 16, 2016, CRC Press
- Jiabao, L. & Jie, L. (2009): Rare earth industry adjusts to slow market. *China Daily*, September 7, 2009. [https://www.chinadaily.com.cn/bw/2009-09/07/content\\_8660849.htm](https://www.chinadaily.com.cn/bw/2009-09/07/content_8660849.htm)
- Jingjing, M. (2021): China's rare-earth giants forming 'super group' in merger for high-quality devt, deal with price abnormalities. *Global Times*, September 24, 2021. <https://www.global-times.cn/page/202109/1235016.shtml?id=11>
- Jordens, A., Cheng, Y.P. & Waters, K.E. (2013): A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering* 41, p 97-114
- Kalashnikkov, A.O., Konoleya, N.G., Pakhomovsky, Y.A. & Ivanyuk, G.Y (2016): Rare Earth Deposits of the Murmansk Region, Russia – A Review. *Economic Geology* v 111 p 1529-1559
- 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, Review of Survey activities 2017, p87-90. <https://geusbulletin.org/index.php/geusb/article/view/4350>



- Kasay, G.M., Bolarinwa, A., Aromolaran, O.K., Nzolang, C & Kivava, A. (2021): Global Deposits of Rare Earth Elements and Prospects in the Democratic Republic Congo. Research Square, 31 pp.
- Kemakta Konsult (2014): Health and safety issues in REE mining and processing. Internal EURARE guidance report. 39 pp.
- King, G. 2021: Trends, growth and adoption of EVs globally, and the impact on underlying NdPr demand. Rare Earth Industry Association (REIA), September 6, 2021. Webinar.
- Kingsnorth, D.J. (2016): Curtin University publication on the rare earth industry in 2016.
- KNR (2021): Greenland Minerals vil søge nye muligheder – uden for Grønland 12. december 2021. <https://knr.gl/da/nyheder/greenland-minerals-vil-s%C3%B8ge-nye-muligheder-%E2%80%93-uden-gr%C3%B8nland>
- Kooroshy, J., Tiess, G., Tukker, A. & Walton, A. (2014): Strengthening the European Rare Earths Supply Chain. Challenges and Policy Options. A report by the European Rare Earths Competency Network. 104 pp.
- Kruemmer, T. (2021a): Mundtlig præsentationer, REIA-webinar, marts 2021
- Kruemmer, T. (2021b): Personlig kommunikation, oktober 2021
- Larsson, K. and Binnemans, K. (2015): Process for extraction and separation of rare earths by split-anion extraction with ionic liquids. Patent publication number WO2015106324 A1.
- Lasley, S. (2019): Trump: Rare earth essential to US defense. North of 60 Mining News, August 1, 2019. <https://www.miningnewsnorth.com/story/2019/08/01/news/trump-rare-earth-essential-to-us-defense/5845.html>
- Leading Edge Materials Ltd. (2021): Leading Edge Materials Announces Positive Preliminary Economic Assessment Results for its Nora Kärr REE Project. Press Release July 22, 2021
- Less Common Metals (2021): UK RE Magnet Base. Feasibility Study, November 2020-May 2021. <https://online.flippingbook.com/view/775353858/2/>
- Lester, S. (2021): Governments Weigh In on Section 232 Investigation on Neodymium Magnets. November 30, 2021, China Trade Monitor, <https://www.chinatradermonitor.com/governments-weigh-in-on-section-232-investigation-on-neodymium-magnets/>
- Leveque, A. (2014): Extraction and separation of rare earths. In: Proceedings of the EREAN Summer School, Leuven, Belgium
- Li, L.Z. & Yang, X. (2014): China's rare earth ore deposits and beneficiation techniques. ERES 2014: 1<sup>st</sup> European Rare Earth Resource Conference, Milos, 04-07/09/2014. <http://www.eurare.org/docs/eres2014/firstSession/XiaoshengYang.pdf>
- Liu, H., Tan, D. & Hu, F. (2016): Rare Earths: Shades of Grey. Can China Continue To Fuel Our Global Clean & Smart Future? China Water Risk, 63 pp. <https://chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2016/08/China-Water-Risk-Report-Rare-Earths-Shades-Of-Grey-2016-Eng.pdf>
- Liu, J. (2016): Evaluation of Rare Earth Projects Using the Real Options Model. PhD-thesis, Faculty of Economics and Business Administration, The Technische Universität Bergakademie Freiberg. 270 pp
- Lixandru, A., Venkatesan, P., Jönsson, C., Poenary, I., Hall, B., Yang, Y., Walton, A., Güth, K., Gauss, R.K. & Gutfleisch, O. (2017): Identification and recovery of rare-earth permanent magnets from waste electrical and electronic equipment. Waste Management, October 2017, 68, 483-489.
- Lynas Corporation: Company website visited June 3, 2021 ([www.lynascorp.com](http://www.lynascorp.com))
- Machacek, E. & Kalvig, P. (2016): Assessing advanced rare earth element-bearing deposits for industrial demand in the EU. Resources Policy 49: 186-203
- Machacek, E. & Kalvig, P. (editor) 2017: Road map for REE material supply autonomy in Europe. EURARE, European REE market survey (component D1.2). 141 pp + appendix.

- Magnuson, S. (2021): US Startups Seek to Claw Back China's Share of 'Technology Minerals' Market. National Defense, July 9, 2021. <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/9/7/us-startups-seek-to-claw-back-chinas-share-of-technology-minerals-market>
- Mancheri, N. & Marukawa, T. (2018): Rare Earth Elements: China and Japan in industry, trade and value chain. ISS Contemporary Chinese Research Series No. 17, 188 pp.
- Mancheri, N.A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J. & Tukker, A. (2019): Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience. Resources, Conservation & Recycling 142 (2019) 101-112.
- McCormick, G. (2021): New, environmentally friendly method to extract and separate rare earth elements. <https://news.psu.edu/story/671831/2021/10/08/research/new-environmentally-friendly-method-extract-and-separate-rare-earth>
- Medallion Resources (2021): Completion of Techno Economic Assessment for Extraction of Rare Earth Elements from Mineral Sand Monazite. Press Release, July 14, 2021. <https://medallionresources.com/2021/07/completion-of-techno-economic-assessment/>, <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/07/14/2262559/0/en/Medallion-Resources-Announces-Completion-of-Techno-Economic-Assessment-for-Extraction-of-Rare-Earth-Elements-From-Mineral-Sand-Monazite.html>
- Menezes, D.R. (2021): The Case for Five Eyes Critical Mineral Alliances. Focus on Greenland. Polar Research and Policy Initiative. <https://polarconnection.org/wp-content/uploads/2021/03/Report-The-Case-for-a-FVEY-CMA.pdf>; ISBN: 978-1-8384420-0-2
- Messeccar, C. (2020): Europe moves closer to magnet supply chain. Argus. <https://www.argusmedia.com/en/news/2067472-europe-moves-closer-to-rare-earth-magnet-supply-chain>
- Merriman, D. (2021): Magnet demand outlook. Oral presentation, REIA-webinar, March 2021
- Metal Events (2016): [www.metalevents.com](http://www.metalevents.com), Wall Map
- Mining Review Africa (2015): Tantalus signs purchase agreements with Chinese Shenghe Resources. Mining Review Africa, February 9, 2015. <https://www.miningreview.com/top-stories/tantalus-signs-purchase-agreement-with-chinese-shenghe-resources/>
- Ministry of Land & Resources (2015): Notice of the MLR on regulating of mining rights for tungsten and Rare Earth Minerals (国土资源部关于规范稀土矿钨矿探矿权采矿权审批管理的通知 (yzx.gov.cn)
- Mitsubishi Electric (2017): Environmental Topics (2017). Company Report. [https://www.mitsubishielectric.com/en/sustainability/reports/pdf/2017/environmental\\_topics.pdf](https://www.mitsubishielectric.com/en/sustainability/reports/pdf/2017/environmental_topics.pdf)
- Morgan Stanley Research (2021): If you like EV, You'll love MP; Initiating at overweight. March 1, 2021. <https://mega.nz/file/SYx0GRoR#wFYT1EvaZ-cyN8l0cDcmCczoTH8WyywJPOe57aB6paTc>
- MP Materials (2020): Response to September 3, 2020, Nuclear Regulatory Commission (NRC) questions. <https://www.nrc.gov/docs/ML2025/ML20259A009.pdf>
- Neo Performance Materials (2020): <https://www.neomaterials.com/>, September 2020
- Neo Performance Materials (2021): Energy Fuels and Neo Performance Materials Announce Contract Signing and Launch of Commercial Shipments of Rare Earth Product to Europe in Emerging U.S.-Based Rare Earth Supply Chain. Company info, July 7, 2021. <https://www.neomaterials.com/energy-fuels-and-neo-performance-materials-announce-contract-signing-and-launch-of-commercial-shipments-of-rare-earth-product-to-europe-in-emerging-u-s-based-rare-earth-supply-chain/>
- Ng, E. (2019): China's war chest of rare earth patents give insight into total domination of the industry. South China Morning Post. July 20, 2019. <https://finance.yahoo.com/news/chinas-war-chest-rare-earth-093000473.html>
- Noble Group Holdings Ltd. (2019): Talaxis and Chinalco Guangxi Rare Earth sign Memorandum of Understanding for Significant Rare Earth Supply. Press Release Noble Group Holding,

- December 9, 2019. <https://www.noblegroup Holdings.com/wp-content/uploads/2019/12/FI-NAL-Talaxis-Chinalco-MoU-announcement-Mon-09122019.pdf>
- Orris, G.J. & Grauch, R.I. (2002): Rare Earth Elements Mines, Deposits, and Occurrences. Open-File Report 02-189, 2002. USGS
- O'Callaghan, J. (2012): Rare earth minerals and the geochemistry and implications of their respective uranium and thorium content. Dissertation Project 2012, Camborne School of Mines, University of Exeter; 61 pp.
- Orbis (2021): Virksomhedsdatabase; informationer hentet 1. og 10. november 2021
- Pan, A., Feng, S. Hu, X. & Li, Y (2021): How environmental regulation affect China's rare earth export? Plos One, April 22, 2021, 20pp. doi.org/10.1371/journal.pone.0250407
- Panias, D., Tam, P, Cardenia C. (2014). REDMUD Project (Grant No: 636876 by H2020-MSCA-ITN-2014. <https://www.researchgate.net/project/REDMUD-Project-Grant-No636876-by-H2020-MSCA-ITN-2014>
- Papunen, H. & Lindsjö (1972): Apatite, monazit and allanite; three rare earth minerals from Korsnäs, Finland. [http://tupa.gtk.fi/julkaisu/sgs\\_bulletin/sgs\\_bt\\_044\\_2\\_pages\\_123\\_129.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/sgs_bulletin/sgs_bt_044_2_pages_123_129.pdf)
- Paulick, H., Rosa, D. & Kalvig, P. (2015): Rare Earth Element (REE) exploration potential and projects in Greenland. MiMa rapport 2015/2, 54 pp.
- Pell, R., Wall, F., Yan, X., Li, J. & Zeng, X. (2019a): Mineral processing simulation based-environmental life cycle assessment for rare earth project development: A case study on the Songwe Hill project. Journal of Environmental Management 249, 109353 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109353>
- Pell, R., Wall, F., Yan, X., Li, J. & Zeng, X (2019b): Temporally explicit life cycle assessment as an environmental performance decision making tool in rare earth project development. Miner. Eng. 135, 64-73 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.02.043>
- Pinto-Ward, C. (2017): Controls on the enrichment of the Serra Verde rare earth deposit, Brazil. PhD-disertation, December 2017, Imperial College London, 442 pp.
- Proactive (2020): Great Western inks rare earth separation facility deal with China's Ganzhou Qiandong. <https://www.proactiveinvestors.com/companies/news/82698/great-western-inks-rare-earth-separation-facility-deal-with-chinas-ganzhou-qiandong-23305.html>
- Rao, Z. (2016): Consolidating Policies on Chinese rare Earth Resources. Mineral Economics 29 (1), 23-28 <https://doi:10.1007/s13563-016-0081-8>
- Rare Earth Industry Association (2021): Weekly Newsletter (REIA), August 19, 2021
- Reichl, C. & Schatz, M. (2021): Minerals Production; World Mining Data 2021, Volume 36, 268 pp.
- Roskill (2021a): Rare Earth demand by 2030, up from 29% in 2020. Presentation Green Car Congress (Webinar), February 3, 2021. <https://www.greencar-congress.com/2021/02/20210203-roskill.html>
- Roskill (2021b): Rare Earths. Outlook to 2030, 20th Edition. Brochure published January 31, 2021. Website besøgt 4. februar 2021. [www.roskill.com/market-report/rare-earths/](http://www.roskill.com/market-report/rare-earths/)
- Royen, H. & Fortkamp, U. (2016): Rare Earth Elements – Purification, Separation and Recycling. No. C211, IVL Swedish Environmental Research Institute, September 2016; 34 pp.
- Saxon, M. (2021): Personlig kommunikation Saxon, Medallion Resources. Ltd., oktober 2021.
- S&P Global (2020): Analysts expect China's FY'20 rare-earth exports to drop YOY. Company information, September 10, 2020. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/analysts-expect-china-s-fy-20-rare-earth-exports-to-drop-yoy-60277927>
- Schipper, B.W., Lin, H.C., Meloni, M.A., Wansleeben, K., Heijungs, R. & van der Voet, E. (2018): Estimating Global Copper Demand until 2100 with regression and stock analysis. Resources, Conservation and Recycling, Vol .132, May 2018; p. 28-36

- Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Seal, R.R. & Bradley, D.C. (editors) (2017): Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply. Professional Paper 1802-0. USGS.  
<https://pubs.usgs.gov/pp/1802/o/pp1802o.pdf>
- Shen, Y., Moomy, R. Eggert, R.G. (2019): China's public policies toward rare earths, 1975–2018. *Mineral Economics*. Published online: January 7, 2020, 33:127–151.  
<https://doi.org/10.1007/s13563-019-00214-2>
- Standaert, M. (2019): China Wrestles with the Toxic Aftermath of Rare Earth Mining. *Yale Environment 360*, July 2, 2019. <https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining>
- Smith, M.P., Moore, K., Kavecsanszki, D., Finch, A.A., Kynicky, J. & Wall, F. (2016): From mantle to critical zone: A review of large and giant sized deposits of the rare earth elements. *Geoscience Frontiers*, Vol. 7, Issue 3, May 2016, p 315-334.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.12.006>
- SMM News (2020): A list of the main listed companies of medium and heavy rare earths. May 25, 2020. <https://news.metal.com/newscontent/101133690/%5bsmm-summary%5d-a-list-of-the-main-listed-companies-of-medium-and-heavy-rare-earths/>
- SMM News (2021): Citic securities: the price of rare earths is advancing by leaps and bounds or welcomeDavis to double click. August 2, 2021. <https://news.metal.com/newscontent/101549724/citic-securities:-the-price-of-rare-earths-is-advancing-by-leaps-and-bounds-or-welcome-davis-to-double-click/>
- Takaya, U., Yasukawa, K.; Kawasaki, T., Fujinaga, K., Ohta, J., Usui, Y., Nakamura, K., Kimura, K-I., Chang, Q., Hamada, M., Dodbiba, G., Nozaki, T., Iijima, K., Morisawa, T., Kuwahara, T., Ishida, Y., Ichimura, T., Kitazume, M., Fujita, T. & Kato, Y. (2018): The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements. *Scientific Reports* 8, Article num 5763 (2018), published 10 April 2018 (<https://www.nature.com/articles/s41598-018-23948-5>)
- The Irrawaddy (2021): Illegal Rare Earth Mines on China Border Multiply Since Myanmar's Coup. April 26, 2021. <https://www.irrawaddy.com/news/burma/illegal-rare-earth-mines-china-border-multiply-since-myanmars-coup.html>
- The Rare Earth Observer (2021): Priser for eksportprodukter af sjældne jordartsprodukter fra Kina i hele 2021. <https://treo.substack.com/archive?sort=new>
- The Rare Earth Observer (2021a): June 21, 2021. <https://treo.substack.com/p/we-think-it-is-the-egg-outdated-stereotypes>
- The Rare Earth Observer (2021b): July 7, 2021. <https://treo.substack.com/p/re-prices-happy-days-are-here-again>
- The Rare Earth Observer (2021c): July 19, 2021. <https://treo.substack.com/p/again-ft-fall-for-rare-earth-falsehood>
- The Rare Earth Observer (2021d): August 8, 2021. <https://treo.substack.com/p/runaway-prices-lem-comment-energy>
- The Rare Earth Observer (2021e): November 26, 2021. <https://treo.substack.com/p/re-concentrate-price-up-28-in-one>
- The Rare Earth Observer (2021f): December 23, 2021. <https://treo.substack.com/p/china-rare-earth-group-established>
- The Rare Earth Observer (2022): January 4, 2022. <https://treo.substack.com/p/china-rare-earth-group-details-chinas>
- Tsamis, A. & Coyne, M. (2015): Recovery of Rare Earths from Electronic Wastes: An Opportunity for High-Tech SMEs. EU Directorate General for Internal Policies. IP/A/ITRE/2014-09; PE 518.77. [https://www.europarl.europa.eu/Reg-Data/etudes/STUD/2015/518777/IPOL\\_STU\(2015\)518777\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/Reg-Data/etudes/STUD/2015/518777/IPOL_STU(2015)518777_EN.pdf)

Ucore (2015): Ucore Successfully Separates Entire Suite of Individual Rare Earth Elements at High Purity. Press Release, March 2, 2015. <https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2015/03/02/1435063/0/en/Ucore-Successfully-Separates-Entire-Suite-of-Individual-Rare-Earth-Elements-at-High-Purity.html>

USGS Minerals Yearbook (2011): Russia, Advance Release. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2011/myb3-2011-rs.pdf>

USGS (2000): Mineral Commodity Summaries 2000. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2000.pdf>

USGS (2001): Mineral Commodity Summaries 2001. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2001.pdf>

USGS (2002): Mineral Commodity Summaries 2002. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2002.pdf>

USGS (2003): Mineral Commodity Summaries 2003. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2003.pdf>

USGS (2004): Mineral Commodity Summaries 2004. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2004.pdf>

USGS (2005): Mineral Commodity Summaries 2005. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2005.pdf>

USGS (2006): Mineral Commodity Summaries 2006. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2006.pdf>

USGS (2007): Mineral Commodity Summaries 2007. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2007.pdf>

USGS (2008): Mineral Commodity Summaries 2008. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2008.pdf>

USGS (2009): Mineral Commodity Summaries 2009. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2009.pdf>

USGS (2010): Mineral Commodity Summaries 2010. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2010.pdf>

USGS (2011): Mineral Commodity Summaries 2011. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2011.pdf>

USGS (2012): Mineral Commodity Summaries 2012. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2012.pdf>

USGS (2013): Mineral Commodity Summaries 2013. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2013.pdf>

USGS (2014): Mineral Commodity Summaries 2014. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2014.pdf>

USGS (2015): Mineral Commodity Summaries 2015. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2015.pdf>

USGS (2016): Mineral Commodity Summaries 2016. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2016.pdf>

USGS (2017): Mineral Commodity Summaries 2017. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2017.pdf>

USGS (2018): Mineral Commodity Summaries 2018. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2018.pdf>

USGS (2019): Mineral Commodity Summaries 2019. [https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019\\_all.pdf](https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf)

USGS (2020): Mineral Commodity Summaries 2020. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>

- USGS (2021): Mineral Commodity Summaries 2021. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2021>
- Verplanck, P.L., van Gosen, B.S., Seal, R.R. & McCafferty, A.E. (2014): A deposit model for carbonatite and peralkaline intrusion-related rare earth element deposits. Chapter J of Mineral Deposit Models for Resource Assessment. Scientific Investigations Report 2010-5070-J, 72 pp. USGS
- Wang, J.P. (2020): Environment-friendly bulk Fe<sub>16</sub>-N<sub>2</sub> permanent magnet: Review and prospective. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol 497. March 2020
- Watari, T., Nansai, K. & Nakajima, K. (2020): Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements. Resources, Conservation & Recycling 155 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104669>
- White House 2021: Building resilient supply chains, revitalizing American manufacturing, and fostering broad-based growth. 100-Day Reviews under Executive Order 14017, June 2021. 250 pp. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>
- Xie, Y., Hou, Z., Goldfarb, R., Guo, X. & Wang, L. (2016): Rare Earth Element Deposits in China. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology v. 18 pp. 115-136, Chapter 6. USGS
- Yang, X.J., Lin, A.; Li, X.L.; Wu, Y, Zhou, W. and Chen, Z. 2013: China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. Environmental Development Vol. 8 (2013) pp. 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.006>
- Yi, J.; Dai, S.; Cheng, J., Wu, Q. & Liu, K. (2021): Production quota policy in China: Implications for sustainable supply capacity of critical minerals. Resources Policy 72 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102046>
- Zepf, V. (2013) Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use: Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets. PhD-thesis, University of Augsburg, 161 pp.
- Zeuthen, J.W. (2021a): personlig kommunikation, maj 2021
- Zeuthen, J.W. (2021b): personlig kommunikation, november 2021
- Zhai, K. (2021): China set to create new state-owned rare-earth giant. The Wall Street Journal, December 3, 2021

# Appendiks I

## Forekomster, prospekter, projekter, miner

Oversigt over forekomster, prospekter, projekter og miner med angivelser af land, geologisk forekomsttype, sjælden jordartsmetalmineral, status og licenshaver.

Mineralforkortelser ses i Appendiks II.

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
512 Xenotime Mine	Kina	Tungsand	xen, mon	Forekomst – ingen data	
Ablah	Saudi Arabien	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Abu Tatar	Egypten	Fosforit		Forekomst – ingen data	
Abukalaskoe	Kasakhstan	Ingen information	Ingen information	Avanceret	Ingen information
Adebo	Kina	Tungsand	mon, zir	Forekomst – ingen data	
Adiondj	Mali	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Adnew Lake	Canada	Uranforekomst		Forekomst – ingen data	
Agate Mountain	Namibia	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Agiut	Mongoliet	Ingen information		Efterforskning	
Agnes Waters	Australien	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Aiyang	Kina	Tungsand	xen, mon, zir	Produktion	
Akitskii	Rusland	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Aksu Diamas	Tyrkiet	Tungsand	apa, mon, all, bri	Efterforskning	AMR Mineral Metals Inc.
Aktyuz	Kirgisistan	Ingen information		Efterforskning	
Alces Lake	Canada	Ingen information	mon	Efterforskning	Appia Rare Earths & Uranium Corp
Alcobaca	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Prospekt	
Aley	Canada	Karbonatit		Forekomst	
Alice Springs	Australien	Ingen information		Avanceret – inaktiv	n.a.
Alnö	Sverige	Karbonatit		Forekomst	
Alto Ligonha	Mozambique	Andet – uvist		Forekomst – ingen data	
Alway	Indien	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Amabtofinandrahana	Madagaskar	Alkalin	bas	Efterforskning	Minbos Resources
Amba Dongar	Indien	Karbonatit	bas, mon	Produktion	
Ambadungar	Indien	Ingen information		Avanceret	
Amis Complex	Namibia	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Amity	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Ampasindava	Madagaskar	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Anchieta	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Anexrouf	Mali	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Anico dos Dias	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)		Forekomst – ingen data	
Anitapolis	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	apa	Avanceret – biprodukt	
Anomalnoe	Rusland	Metamorf		Forekomst – ingen data	
Anxi	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Apulia	Italien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Aracruz	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Aran	Ukraine	Hydrothermal			
Araxa	Brasilien	Karbonatit	mon, gor, goy, apa	Efterforskning	Companhia Brasileira de metalurgia e Mineracao (CBMM) / Itafos
Archie Lake	Canada	Tungsand, fossil		Efterforskning	
Arenopolis	Brasilien	Alkalin		Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Argo James Bay	Canada	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Arimoor	Nigeria	Tungsand, kystaflejringer		Avanceret – tidligere bi-produkt	
Arran	England	Granit & pegmatit	all, fer, gad, mon	Forekomst	
Ashram (Total Resource)	Canada	Karbonatit	mon, bas	Avanceret	Commerce Resources Corp
Atlantida	Uruguay	Tungsand, flodaflejringer		Forekomst – ingen data	
Atlin-Ruffner	Canada	Andet – magmatisk		Forekomst – ingen data	
Auas Dulce	Uruguay	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Auer	Australien	Karbonatit/laterit	mon	Avanceret	Hastings
Australind	Australien	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Avdrant	Mongoliet	Ingen information		Forekomst	
Avonbank	Australien	Tungsand	mon	Avanceret	WIM Ressource Pty
Ayer Kuning	Malaysia	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Azov Sea Coast Dikes	Ukraine	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Azovske	Ukraine	Alkalin	all	Avanceret (pause)	Ingen information
Bachi	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Badarmokam	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Baerzhe	Kina	Alkalin	hin, pyr, syn, mon	Efterforskning	
Bahuis Mountains	Surinam	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Baima	Kina	Andet – uvist		Forekomst – ingen data	
Baja Guainia	Columbia	Tungsand, fossil		Forekomst – ingen data	
Bakony	Ungarn	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Bald Hill	Australien	Karbonatit/laterit	mon	Avanceret	Hastings
Bald Mountain	USA	Tungsand, fossil		Avanceret – inaktiv	
Ban Yun	Thailand	Tungsand, flodaflejringer		Forekomst – ingen data	
Bancroft Haliburton	Canada	Alkalin	all	Forekomst – ingen data	
Banda Aceh	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Bang Lin	Thailand	Tungsand, flodaflejringer		Forekomst – ingen data	
Banka Island	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Barghoriapara	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Barra do Itapirapua	Brasilien	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Barrytown	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Baska-Eldorado	Canada	Ingen information		Prospekt	Canoe Mining Ventures Corp
Bastnäs	Sverige	Hydrothermal	all, bas	Efterforskning	
Basto	Canada	Ingen information		Prospekt	Spectre Investments Incl.
Batang Berguntai	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer		Forekomst – ingen data	
Batang Padang	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Bates Hole Area	USA	Tungsand, flodaflejringer		Forekomst – ingen data	
Batu Gajah	Malaysia	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Baude Lake	Canada	Karbonatit (pegmatit)	all	Efterforskning	Fancamp Exploration
Bayan Obo (East)	Kina	Karbonatit	bas, mon, eas	Produktion	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel
Bayan Obo (Main and West)	Kina	Karbonatit	bas, mon, eas, xen	Produktion	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel
Bayan Obo (surrounding)	Kina	Karbonatit	bas, mon, sur	Avanceret	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel
Bayan Obo (West)	Kina	Karbonatit	bas, mon,	Avanceret	China Northern Rare Earth Group/Baotou Steel
Bayside	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bas, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Bear Lodge	USA	Karbonatit	bur, par, syn	Efterforskning	Rare Element Resources
Bear Valley	USA	Tungsand, flodaflejringer	mon, lop, xen	Avanceret – inaktiv	



Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Bearpaw	USA	Karbonatit	bes, mon, bea	Forekomst – ingen data	
Beenup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bes, mon, bee	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Behemoth	Australien	Ingen information	n.a.	Prospekt	Strategic Elements Ltd
Beihei	Kina	Tungsand, kystaflejringer	Ingen information	Produktion	Local Government
Beilitung (biliton)	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer	mon, cen, all	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Belaya Zima	Rusland	Ingen information		Forekomst – ingen data	
Benjamin River	Canada	Ingen information	bes, mon, riv	Efterforskning	Fundy Minerals Ltd.
Berhala Island	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer	bes, mon, isl	Forekomst – ingen data	
Beruwalaq	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	bes, mon, ber	Forekomst – ingen data	
Bidor Malaya Mine	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Big Creek	USA	Tungsand, flodaflejringer	mon, eux	Avanceret – inaktiv	
Big Spruce Lake	Canada	Karbonatit	bis, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Biggejarvi	Norge	Hydrothermal	dav, lov, xen, syn	Efterforskning	
Bihor	Rumænien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Bilugyun Beach	Myanmar	Tungsand, kystaflejringer	bis, mon, bea	Forekomst – ingen data	
Bilundo	Angola	Karbonatit	bis, mon, bil	Forekomst – ingen data	
Bingo (Bingu)	DRC	Karbonatit (with residual enrichment)	bis, mon, bin	Forekomst – ingen data	
Birchfield	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	bis, mon, bir	Forekomst – ingen data	
Birthday gift	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bis, mon, bir	Efterforskning	
Blackfoot Bridge	USA	Fosforit	bls, mon, bri	Avanceret – inaktiv	
Blötberget	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa, all, mon, xen	Prospekt	
Bofal-Laoubboira	Mauritanien	Fosforit	bos, mon, lao	Forekomst – ingen data	
Bokan Mountain	USA	Alkalin/ hydrothermal?/alkaline?	syn, apa, bas, mon, fer	Mine under etablering	Ucore Rare Metals
Bomin-Khara	Mongoliet	Alkalin	bos, mon, kha	Forekomst – ingen data	
Bonga	Angola	Karbonatit	bos, mon, bon	Forekomst – ingen data	
Boorama	Somalia	Andet – uvist	bos, mon, boo	Forekomst – ingen data	
Bordvedaga	Norge	Metamorf	bos, mon, bor	Forekomst – ingen data	
Bosina	Slovakiet	Ingen information	bos, mon, bos	Prospekt	Empire Metals Corp
Bou Naga	Mauritanien	Karbonatit	bos, mon, nag	Prospekt – inaktiv	
Boulia South	Australien	Ingen information	bos, mon, sou	Efterforskning	Top Tung Ltd
Boulougne	USA	Tungsand, kystaflejringer	bos, mon, bou	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Bowen (Abbot Point)	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bos, mon, abb	Forekomst – ingen data	
Brandberg	Namibia	Alkalin	brs, mon, bra	Forekomst – ingen data	
Brejo grande	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	brs, mon, bre	Forekomst – ingen data	
Bridge Hill Ridge	Australien	Tungsand, kystaflejringer	brs, mon, rid	Forekomst – ingen data	
Brockmans	Australien	Alkalin	bas, cen, Y-nio-bate; sam	Avanceret	Hastings Technology Metals
Broughton Creek	Australien	Ingen information	brs, mon, cre	Efterforskning	Broughton Minerals Metals Ltd
Bruce Bay	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	brs, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Brunswick-Altamaha	USA	Tungsand, kystaflejringer	brs, mon, alt	Avanceret	
Buckton	Canada	Karbonatit	bus, mon, buc	Prospekt	DNI Metals Inc. (?)
Bueme	Benin	Andet – uvist	bus, mon, bue	Forekomst – ingen data	
Buena Norte	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion	Serra Verde
Buffalo Fluorspar	Sydafrika	Andet – fluorforekomst	bus, mon, flu	Forekomst – ingen data	
Bukit Duabelas	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer	bus, mon, dua	Forekomst – ingen data	
Bukusu	Uganda	Karbonatit (with residual enrichment)	bus, mon, buk	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Bunbury	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Bunduk	Armenien	Alkalin	bus, mon, bun	Forekomst – ingen data	
Bungalally	Australien	Tungsand	mon	Avanceret	WIM Ressource Pty
Burpalinskii (Burpala)	Rusland	Alkalin	bus, mon, bur	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Buru	Kenya	Karbonatit (with residual enrichment)	bus, mon, bur	Forekomst – ingen data	
Busselton East	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bus, mon, eas	Forekomst – ingen data	
Byfield	Australien	Tungsand, kystaflejringer	bys, mon, byf	Forekomst – ingen data	
Caballo Mountains	USA	Alkalin	cas, mon, mou	Forekomst – ingen data	
Cabin Bluff	USA	Tungsand, kystaflejringer	cas, mon, blu	Forekomst – ingen data	
Cable Sands	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Caiapo	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	cas, mon, cai	Forekomst – ingen data	
Caldwell Canyon	USA	Fosforit	cas, mon, can	Avanceret	
Cam Hoa	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	cas, mon, hoa	Forekomst – ingen data	
Cam Nhuong	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	cas, mon, nhu	Forekomst – ingen data	
Campania	Italien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Camratub	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	cas, mon, cam	Forekomst – ingen data	
Canakli I	Tyrkiet	Tungsand		Prospekt	AMR Mineral Metals Inc.
Cap	Canada	Ingen information	cas, mon, cap	Efterforskning	Arctic Star Exploration Corp.
Cape Foulwind	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	wes, mon, wes	Forekomst – ingen data	Westland Mineral Sands Ltd
Capel	Australien	Tungsand, kystaflejringer	cas, mon, cap	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Capel North	Australien	Tungsand	cas, mon, nor	Forekomst – ingen data	
Capuia	Angola	Karbonatit	cas, mon, cap	Forekomst – ingen data	
Carb Lake	Canada	Karbonatit	cas, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Cargill	Canada	Karbonatit (with residual enrichment)	cas, mon, car	Efterforskning	
Caronlina monazite belt	USA	Tungsand, flodaflejringer	cas, mon, car	Forekomst – ingen data	
Cat Khanh	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Cataby	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Catalao I	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	pyr, gor,	Avanceret – biprodukt	
Cerro Bamba	Bolivia	Alkalin	ces, mon, bam	Forekomst – ingen data	
Cerro Impacto	Venezuela	Karbonatit (with residual enrichment)	bas, flo, mon	Efterforskning	
Cerro Manomo	Bolivia	Karbonatit	ces, mon, man	Forekomst – ingen data	
Chambe Basin	Malawi	Ingen information	chs, mon, bas	Efterforskning	
Chamberlin District	USA	Tungsand, flodaflejringer	chs, mon, dis	Forekomst – ingen data	
Champ	USA	Fosforit	chs, mon, cha	Forekomst – ingen data	
Changan	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Changit	Rusland	Karbonatit	chs, mon, cha	Forekomst – ingen data	
Changling	Kina	IA-forekomst	chs, mon, cha	Efterforskning	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd
Chao Fa Mine	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	chs, mon, min	Forekomst – ingen data	
Charley Creek	Australien	Tungsand	mon, xen	Avanceret	Enova Mining Ltd; Crossland Strategic Metals; EMMCO Mining Sdn Bhd
Charlton County (GA)	USA	Tungsand (TiO <sub>2</sub> )	chs, mon, ga)	Prospekt	Southern Ionics Minerals Inc. (ejer: Chemours)
Chatrapur	Indien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Chavara	Indien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	Indian Rare Earth Ltd (IREL)
Chenxian	Kina	IA-forekomst	chs, mon, che	Produktion	
Chernigovskii	Ukraine	Karbonatit	chs, mon, che	Forekomst – ingen data	
Cheyne Bay	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Chiembwe (Pet-auke)	Zambia	Alkalin	chs, mon, pet	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Chilwa Island	Malawi	Karbonatit (with residual enrichment)	chs, mon, isl	Forekomst – ingen data	
Chingshankang-chow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	chs, mon, chi	Forekomst – ingen data	
Chiriguelo	Paraguay	Karbonatit	chs, mon, chi	Forekomst – ingen data	
Chishan	Kina	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Chongxianaobei	Kina	IA-forekomst			
Chongzou	Kina	IA-forekomst	chs, mon, cho	Forekomst – ingen data	
Chuchinka	Canada	Ingen information	chs, mon, chu	Prospekt	International Mon- toro Resources Inc.
Chuktukun	Rusland	Ingen information		Prospekt	
Chumphon	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Churata	Venezuela	Alkalin	chs, mon, chu	Forekomst – ingen data	
Cida	Kina	Alkalin	fer	Efterforskning	
Cinder Lake	Canada	Ingen information	cis, mon, lak	Efterforskning	
Circle	USA	Tungsand, flodaflejringer	cis, mon, cir	Forekomst – ingen data	
Clay-Howells	Canada	Alkalin	cls, mon, how	Avanceret	
Clayton Vallye	USA	Ingen information		Efterforskning	Cypress Develop- ment Corp
Coldwell	Canada	Alkalin	cos, mon, col	Efterforskning	Canada Rare Earths Corporation
Coleroon-Sirka- zhi	Indien	Tungsand, kystaflejringer	cos, mon, sir	Forekomst – ingen data	
Con Negosa	Mozambique	Karbonatit (with residual enrichment)	cos, mon, neg	Forekomst – ingen data	
Congolone	Mozambique	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Coogloegong	Australien	Andet – magmatisk	ytan, gad	Avanceret – tidligere bi- produkt	
Coojarloo	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi- produkt	
Coola	Angola	Karbonatit	cos, mon, coo	Forekomst – ingen data	
Cooloola	Australien	Tungsand, kystaflejringer	cos, mon, coo	Avanceret – tidligere bi- produkt	
Cornudas Moun- tains	USA	Alkalin	cos, mon, mou	Forekomst – ingen data	
Coromandel Pe- ninsula	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	cos, mon, pen	Forekomst – ingen data	
Cowalinya	Australien	Laterit	cos, mon, cow	Prospekt	eMetals Ltd
Cox's Bazaar	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	cos, mon, baz	Efterforskning	
Crater Lake	Canada	Alkalin	crs, mon, lak	Prospekt	Imperial Mining Group
Crescent Peak	USA	Andet – magmatisk	crs, mon, pea	Forekomst – ingen data	
Cueva del Cha- cho	Argentina	Ingen information	cus, mon, cha	Efterforskning	Pacific Bay Mine- rals
Cumberland Is- land	USA	Tungsand, kystaflejringer	cus, mon, isl	Forekomst – ingen data	
Cummins Range	Australien	Karbonatit	apa, mon, bas, cra	Avanceret	RareX Ltd
Cumuruxatiba	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Curtis Island	Australien	Tungsand, kystaflejringer	cus, mon, isl	Forekomst – ingen data	
Curumbin	Australien	Tungsand, kystaflejringer	cus, mon, cur	Avanceret – tidligere bi- produkt	
Dahuzhi	Kina	Tungsand	mon, U, Th	Avanceret	
Dajti	Albanien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Dalkainie	Somalia	Karbonatit	das, mon, dal	Forekomst – ingen data	
Dalucao	Kina	Karbonatit	das, mon, dal	Produktion	Dechang Houidi Rare Earth Mining Co. Ltd
Daluhala	Kina	Karbonatit		Prospekt	
Daluxiang (Dalu- cao)	Kina	Karbonatit	bas, mon, pyr	Produktion	
Dara-Pioz	Tajikistan	Alkalin	das, mon, pio	Efterforskning	
Dardanup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Datang	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Dechang	Kina	Karbonatit	Ingen information	Mine under etablering	Ingen information

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Deep Creek	USA	Karbonatit	des, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Deep Sands	USA	Ingen information	des, mon, san	Prospekt – inaktiv	Titan Mining Group
Denegama	Sri Lanka	Andet – magmatisk	des, mon, den	Forekomst – ingen data	
Denison	Canada	Andet – uranium deposits	des, mon, den	Forekomst – ingen data	
Diamond Creek	USA	Andet – magmatisk	mon, xen	Efterforskning	US Rare Earths Inc
Dianbai	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Dingnan	Kina	IA-forekomst	dis, mon, din	Produktion	
Ditau	Botswana	Ingen information	dis, mon, dit	Prospekt	Kavango Resources ; Power Metal Resources
Ditrau	Rumænien	Alkalin	all, ba, syn, mon, xen	Prospekt	Kanango Resources ; Power Metal Resources
Dnie-prodzerzhinsk	Ukraine	Fosforit	dns, mon, dni	Forekomst – ingen data	
Donald	Australien	Tungsand	mon	Avanceret	Astron Ltd
Dong Pao	Vietnam	Karbonatit	bas, par	Mine under etablering	Dong Pao Rare Earth Develop. (JV partner Lai chau Rare Earth Co (Vimeco))
Dong Xuan	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	dos, mon, xua	Forekomst – ingen data	
Dongara	Australien	Tungsand, kystaflejringer	dos, mon, don	Efterforskning	
Dongging	Kina	Andet – uvist	dos, mon, don	Forekomst – ingen data	
Dora Bay	USA	Alkalin	dos, mon, bay	Efterforskning	
Dory Pond	Canada	Ingen information	dos, mon, pon	Prospekt	Canada Rare Earths Corporation
Dubbo	Australien	Alkalin	eud, pyr, mon, bas	Avanceret	Alkane Resources/Australian Strategic Metals Ltd
Dubbo (Toongi)	Australien	Alkalin	dus, mon, too	Efterforskning	
Durness	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Eagle Creek	USA	Andet – uranium deposits	eas, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Eco Ridge	Canada	Karbonatit (with residual enrichment)	mon	Efterforskning	Pele Mountain Resources Incl
Eden Lake	Canada	Alkalin	eds, mon, lak	Forekomst – ingen data	
El Cabrito	Chile	IA-forekomst (hydrothermal)	mon, xen	Efterforskning	Minera BioLantánidos
El Dorado Creek Area	USA	Tungsand, flodaflejringer	els, mon, are	Forekomst – ingen data	
Eldor	Canada	Karbonatit	mon	Efterforskning	Commerce Resources Corp/Sunrise Resources Ltd
Elet'ozerskii	Rusland	Karbonatit	els, mon, ele	Forekomst – ingen data	
Elisenvaara	Rusland	Alkalin	els, mon, eli	Produktion	
Eljzero	Rusland	Alkalin	els, mon, elj	Forekomst – ingen data	
Elk Creek	USA	Karbonatit	els, mon, cre	Avanceret	Nio-Corp Development Ltd.
Elk Creek	USA	Karbonatit	eis, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Elliott Lake Teasdale	Canada	Tungsand (konglomerat)	mon, xen, bran	Avanceret	Appia Rare Earths & Uranium Corp
Emilie	Canada	Ingen information	ems, mon, emi	Prospekt	Services Miniers Mecanex
Encantada-Beuna Vista	Mexico	Andet – F deposits	ens, mon, vis	Forekomst – ingen data	
Eneabba	Australien	Tungsand	mon, xen	Produktion	Iluka Resources
Eorae San	Sydkorea	Ingen information	eos, mon, san	Forekomst – ingen data	
Erdenesant	Mongoliet	Ingen information	ers, mon, erd	Prospekt	GTSO Resources; Rare Earth Exporters of Mongolia
Etanero	Namibia	Karbonatit		Forekomst	
Eureka	Namibia	Karbonatit	mon	Prospekt	E-Tech Resources/Mila Resources PLC

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Evans Head Yuraygir	Australien	Tungsand, kystaflejringer	evs, mon, yur	Forekomst – ingen data	
Fakiraghona	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	fas, mon, fak	Forekomst – ingen data	
Fanshan	Kina	Alkalin	fas, mon, fan	Avanceret – biprodukt	
Fatima	Mexico	Andet – F deposits	fas, mon, fat	Forekomst – ingen data	
Fen	Norge	Karbonatit	bas, mon, all	Efterforskning	REE Minerals AS
Fingerboards	Australien	Tungsand	mon, zir	Avanceret	Kalbar Resources Ltds
Flemington	Australien	Tungsand/laterit	goethite	Efterforskning	Australia Mines Ltd
Flora	Australien	Ingen information	fls, mon, flo	Prospekt	Consolidated Global Investments Ltd
Florida	Namibia	Ingen information	fls, mon, flo	Prospekt	Namibia Rare Earth Inc.
Flowers Bay	Canada	Alkalin	fls, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Folkston	USA	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Foreshore Beach	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	fos, mon, bea	Forekomst – ingen data	
Fort Dauphine	Madagaskar	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion	QIT Madagascar Minerals (Rio Tinto plc 80%+ Government of Madagascar 20%)
Fortymile	USA	Tungsand, flodaflejringer	fos, mon, for	Forekomst – ingen data	
Foulun	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	fos, mon, fou	Forekomst – ingen data	
Foxtrot (=Port Hope Simpson)	Canada	Alkalin	all, fer, bas, mon	Efterforskning	Search Minerals Inc
Francon Quarry	Canada	Karbonatit	frs, mon, qua	Forekomst – ingen data	
Fraser	Australien	Karbonatit / laterit	mon	Avanceret	Hastings
Fraser Island	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Fremont Butte	USA	Andet – uvist	frs, mon, but	Forekomst – ingen data	
Fujian Jinlong	Kina	IA-forekomst	fus, mon, jin	Mine under etablering	Fujian Changting Jinlong Rare Earth Co. Ltd.
Fukeng	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Fullerton	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Gakara (Karonge)	Burundi	Karbonatit (with residual enrichment)	bas, mon	Mine under etablering	Rainbow Rare Earth
Galineiro	Spanien	Alkalin	ala, bas, par	Efterforskning	Vendors of Rare Earth Int. Ltd
Gallinas Mountains	USA	Alkalin	gas, mon, mou	Forekomst – ingen data	Strategic Resources Inc.
Gambang area	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	xen, mon	Produktion – biprodukt	
Gambit West (Browns Range)	Australien	Ingen information		Avanceret	Northern Minerals Ltd
Gangkou	Kina	Andet – uvist	gas, mon, gan	Forekomst – ingen data	
Gangxia	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Gannan Mine	Kina	IA-forekomst	gas, mon, min	Forekomst – ingen data	
Ganshahenao	Kina	Hydrothermal	zir, ilm	Forekomst	
Ganzhou	Kina	IA-forekomst	gas, mon, gan	Produktion	Ganzhou Mining Group
Gardiner Complex	Grønland	Alkalin	pri, lop, apa	Forekomst	
Gatineau	Canada	Karbonatit	gas, mon, gat	Forekomst – ingen data	Critical Elements Corp
Gay and South Forty	USA	Fosforit	gas, mon, for	Forekomst – ingen data	
Gem Park	USA	Karbonatit	ges, mon, par	Forekomst – ingen data	
Geoland	Canada	Ingen information	ges, mon, geo	Prospekt	Canada Strategic Metals Inc.
Georgia	USA	Tungsand	mon	Avanceret – biprodukt	Chemours
Geotai	Thailand	Ingen information	ges, mon, geo	Prospekt	Geotai Exploration and Mining Company Ltd
Geoudini	Sydafrika	Karbonatit	ges, mon, geo	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Getengzui	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Ghurayyah	Saudi Arabien	Alkalin	ghs, mon, ghu	Forekomst – ingen data	
Gifford Creek	Australien	Karbonatit	gis, mon, cre	Prospekt	Hastings Technology Metals
Ginger M	USA	Ingen information		Prospekt	Strategic Resources Inc.
Gingin	Australien	Tungsand, kystaflejringer	gis, mon, gin	Forekomst – ingen data	
Gladstone Mainland	Australien	Tungsand, kystaflejringer	gls, mon, mai	Forekomst – ingen data	
Glenaladale	Australien	Tungsand	mon(?); xen(?)	Prospekt	Fingerbords
Glenover	Sydafrika	Karbonatit	apa, hem	Efterforskning	Glenover Pty JV /Galileo Resources
Glogova Clesnestisti	Rumænien	Tungsand, kystaflejringer	gls, mon, sis	Avanceret	
Goias	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	gos, mon, goi	Forekomst – ingen data	
Gold Coast	Australien	Tungsand, kystaflejringer	gos, mon, coa	Forekomst – ingen data	
Gomoe Ozero	Rusland	Karbonatit	gos, mon, oze	Forekomst – ingen data	
Gonghe	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Gordon	Australien	Tungsand, kystaflejringer	gos, mon, gor	Forekomst – ingen data	
Goshen	Australien	Tungsand	mon	Avanceret	WHM Ltd
Gouin East	Canada	Ingen information	gos, mon, eas	Prospekt	Fancamp Exploration
Grande-Vallee	Canada	IA-forekomst	grs, mon, val	Avanceret	Orbite Aluminae Inc.
Grass Creek area	USA	Tungsand, fossil	grs, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Grebnik	Kosovo	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Green Cove Springs	USA	Tungsand	mon	Produktion – biprodukt ophørt	
Greenville	Canada	Andet – uvist	grs, mon, gre	Forekomst – ingen data	
Greymakha-Vrymes	Rusland	Alkalin	grs, mon, vry	Forekomst – ingen data	
Grängesberg	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa, mon, xen, all	Produktion – ophørt	
Grønvedal – Ika	Grønland	Karbonatit	bas	Prospekt – naktiv	
Guandong	Kina	IA-forekomst	gus, mon, gua	Produktion	Guandong Rising NF
Guangshui	Kina	Metamorf	gus, mon, gua	Forekomst – ingen data	
Guarapari	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Guelb Zeilaga	Mauritanien	Alkalin	gus, mon, zei	Forekomst – ingen data	
Guidong	Kina	IA-forekomst	gus, mon, gui	Forekomst – ingen data	
Guilherme Group	Mozambique	Andet – magmatisk	gus, mon, gro	Forekomst – ingen data	
Guposhan	Kina	Andet – magmatisk	gus, mon, gup	Forekomst – ingen data	
Gupsehan	Kina	IA-forekomst	jjs, mon, jia	Produktion	China Minmetals Corp.
Gympie	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Gzarta-Hudag	Mongoliet	Alkalin	gzs, mon, hud	Forekomst – ingen data	
Haifengtao	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	has, mon, hai	Forekomst – ingen data	
Haikang	Kina	Tungsand, kystaflejringer	has, mon, hai	Produktion – biprodukt	
Hall Mountain Group	USA	Andet – magmatisk	has, mon, gro	Forekomst – ingen data	
Halpanen	Finland	Karbonatit		Forekomst	
Ham Tan	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	has, mon, tan	Forekomst – ingen data	
Hambantota	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	has, mon, ham	Forekomst – ingen data	
Harrington	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Hastings	Australien	Alkalin	has, mon, has	Avanceret	Hastings Rare Metals Ltd
Hawks Nest	Australien	Tungsand, kystaflejringer	has, mon, nes	Forekomst – ingen data	
Hedi	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Shenghe Resources Holding Co. Ltd
Heling	Kina	IA-forekomst		Forekomst	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Henly Harbour	Canada	Ingen information	hes, mon, har	Prospekt	Search Minerals Inc
Henry	USA	Fosforit	hes, mon, hen	Forekomst – ingen data	
Hérault	Frankrig	Laterit	bas	Prospekt	
Hezhou Jinguang	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Guangxi Hezhou Jinguang Rare Earth Con
Hiashangchow	Taiwan	Tungsand, kystaflejring	his, mon, hia	Forekomst – ingen data	
Hicks Dome	USA	Karbonatit	xen, bas, chu	Efterforskning	
Higgins	Australien	Tungsand, kystaflejring	his, mon, hig	Forekomst – ingen data	
Hilton Head Island	USA	Tungsand, kystaflejring	his, mon, isl	Efterforskning	
Hiren	Canada	Ingen information	his, mon, hir	Prospekt	Zimtu Capital Corps
Hnilcik	Slovakiet	Ingen information	hns, mon, hni	Prospekt	Empire Metals Corp
Hoanak	Bangladesh	Tungsand, kystaflejring	hos, mon, hoa	Forekomst – ingen data	
Hoarusib	Namibia	Ingen information	hos, mon, hoa	Prospekt	AVZ Minerals Ltd
Hoidas Lake (Nisikkatch)	Canada	Hydrothermal	apa; all	Avanceret	Great Western Minerals Group (bancrupt?)
Hokitika	New Zealand	Tungsand, kystaflejring	hos, mon, hok	Forekomst – ingen data	
Honeybugle	Australien	Ingen information	hos, mon, hon	Efterforskning	Scandium International Mining Corp.
Horse Creek	USA	Tungsand, flodaflejring	mon, xen	Avanceret	
Hot Springs	USA	Tungsand, flodaflejring	hos, mon, spr	Forekomst – ingen data	
Houyang Mine	Kina	Tungsand	xen, mon, zir	Produktion	
Huangshi	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Rising Nonferrous Metals Share Co. Ltd
Huaqi	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Rising Nonferrous Metals Share Co. Ltd
Huashan	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Huishan	Kina	Andet – magmatisk	hus, mon, hui	Produktion	
Hukeng	Kina	Tungsand	xen, mon, eux	Forekomst – ingen data	
Hunts Beach	New Zealand	Tungsand, kystaflejring	hus, mon, bea	Forekomst – ingen data	
Huong Dien	Vietnam	Tungsand, kystaflejring	hus, mon, die	Forekomst – ingen data	
Husky	USA	Fosforit	hus, mon, hus	Forekomst – ingen data	
Hwajinpo	Sydkorea	Tungsand, kystaflejring	hws, mon, hwa	Forekomst – ingen data	
Høgtuva	Norge	Hydrothermal	all, mon, fer	Efterforskning	
Ibis-Alpha	Australien	Tungsand, kystaflejring	ibs, mon, alp	Forekomst – ingen data	
Ice River	Canada	Ingen information	ics, mon, riv	Efterforskning	Eagle Plains Resources Ltd
Iditarod	USA	Tungsand, flodaflejring	ids, mon, idi	Forekomst – ingen data	
Idkerberget	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa	Produktion – ophørt	
Igaliko, Gardar	Grønland	Alkalin	eud, pyr, mon, bas	Prospekt – inaktiv	Czech Geological Research Group Ltd
Iivaara	Finland	Alkalin		Forekomst	
Ile (Namatuacatue)	Mozambique	Andet – magmatisk	ils, mon, nam	Forekomst – ingen data	
Ilomba	Malawi	Alkalin	ils, mon, ilo	Forekomst – ingen data	
Imotski	Kroatien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Imuruan Bay	Filippinerne	Tungsand, kystaflejring	ims, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Inani	Bangladesh	Tungsand, kystaflejring	ins, mon, ina	Forekomst – ingen data	
Indian Creek District	USA	Metamorf	ins, mon, ind	Forekomst – ingen data	
Ingischke	Uzbekistan	Metamorf	ins, mon, ing	Forekomst – ingen data	
Inuruwa	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejring	ins, mon, inu	Forekomst – ingen data	
IRC	Canada	Ingen information	irs, mon, irc	Prospekt	Zimtu Capital Corp.; Gathro Resources Corp
Iron Hill	USA	Karbonatit	irs, mon, hil	Forekomst – ingen data	US Rare Earths Inc
Itanhaem	Brasilien	Karbonatit	its, mon, ita	Forekomst – ingen data	
Itapemirim	Brasilien	Tungsand, kystaflejring	mon	Produktion – biprodukt	
Itremo	Madagaskar	Alkalin	its, mon, itr	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Iviglut	Grønland	Alkalin		Forekomst	
J6L 1	Canada	Ingen information	j6s, mon, l 1	Prospekt	Critical Elements Corp
Jabab Tawlah	Saudi Arabien	Alkalin	jas, mon, taw	Forekomst – ingen data	
Jabal Ar Rabuts	Saudi Arabien	Andet – uvist	jas, mon, rab	Forekomst – ingen data	
Jabal Archenu	Libyen	Alkalin	jas, mon, arc	Forekomst – ingen data	
Jabal Awja	Saudi Arabien	Andet – uvist	jas, mon, awj	Forekomst – ingen data	
Jabal Ebed	Saudi Arabien	Andet – uvist	jas, mon, ebe	Forekomst – ingen data	
Jabal Hamra	Saudi Arabien	Alkalin	jas, mon, ham	Forekomst – ingen data	
Jabal Kuara	Saudi Arabien	Andet – uvist	jas, mon, kua	Forekomst – ingen data	
Jabal Said	Saudi Arabien	Alkalin	jas, mon, sai	Forekomst – ingen data	
Jacupiranga	Brasilien	Alkalin	apa	Avanceret – biprodukt	
Jake Lee	Canada	Ingen information	jas, mon, lee	Prospekt	Cache Exploration Ind; Geodex Minerals
Jangardup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Janghowon	Syd Korea	Tungsand, flodaflejringer	jas, mon, jan	Forekomst – ingen data	
Jarud Wi	Kina	Alkalin		Forekomst – ingen data	
Jasimampa	Argentina	Ingen information	jas, mon, jas	Prospekt	Centenera Mining Corp.
Javorsky	Canada	Ingen information	jas, mon, jav	Prospekt	Arctic Star Exploration Corp.
Jiazhuang	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Jinqiao	Kina	IA-forekomst		Avanceret	
John Galt	Australien	Ingen information	jos, mon, gal	Prospekt	Northern Minerals Ltd
Jokinkangas	Finland	Ingen information	fer, ala, col	Forekomst – ingen data	
Jongju	Nord Korea	Ingen information	jos, mon, jon	Prospekt	Pacific Century Rare Earth Minerals Ltd.
Jos Plateau	Nigeria	Tungsand, flodaflejringer	jos, mon, pla	Forekomst – ingen data	
Junguni	Malawi	Alkalin	jus, mon, jun	Forekomst – ingen data	
Jurien Bay	Australien	Tungsand, kystaflejringer	jus, mon, bay	Produktion – biprodukt	
Kabengelwa	DRC	Tungsand, kystaflejringer	kas, mon, kab	Forekomst – ingen data	
Kachin State	Myanmar	IA-forekomst	kas, mon, kac	Produktion	
Kaikawela	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	kas, mon, kai	Produktion – biprodukt	
Kaiserstuhl	Tyskland	Karbonatit		Forekomst	
Kalkfeld	Namibia	Karbonatit	kas, mon, kal	Forekomst – ingen data	
Kalutara	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	kas, mon, kal	Efterforskning	
Kaluwe	Zambia	Karbonatit (with residual enrichment)	kas, mon, kal	Forekomst – ingen data	
Kamloops	Canada	Alkalin	kas, mon, kam	Forekomst – ingen data	
Kanbauk	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	kas, mon, kan	Forekomst – ingen data	
Kangankunde	Malawi	Karbonatit (with residual enrichment)	mon, bas, flor	Efterforskning	Lindian Resources / Lynas/Rift Valley Ressource Development Ltd
Kap Parry	Grønland	Alkalin	kas, mon, par	Prospekt	Czech Geological Research Group Ltd
Kap Simpson, Bjørnedal	Grønland	Hydrothermal	eux, sam, fer, mon, bas	Forekomst	
Kapfrugwa (Gungwa)	Zimbabwe	Karbonatit	kas, mon, gun	Forekomst – ingen data	
Kapiri	Malawi	Karbonatit (with residual enrichment)	kas, mon, kap	Forekomst – ingen data	
Karamea	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	kas, mon, kar	Forekomst – ingen data	
Karasu	Tyrkiet	Ingen information	kas, mon, kar	Prospekt	Black Sea Metals Inc.



Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Karganskii	Kirgisistan	Alkalin	kas, mon, kar	Forekomst – ingen data	
Karnasurt	Rusland	Ingen information	kas, mon, kar	Prospekt	PJSC Solikansk Mangesium Works
Karonge	Burundi	Hydrothermal		Forekomst	
Karsakpai	Kasakhstan	Alkalin	kas, mon, kar	Forekomst – ingen data	
Kasagwe	Burundi	Andet – magmatisk	kas, mon, kas	Forekomst – ingen data	
Katajakangas	Finland	Alkalin	fer, ala, col	Efterforskning	
Katete	Zimbabwe	Karbonatit	kas, mon, kat	Prospekt	Premier African Minerals Ltd
Katugino	Rusland	Ingen information		Prospekt	
Kavango	Botswana	Ingen information	kas, mon, kav	Prospekt	Kavango Resources Plc.
Ke Sung	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	kes, mon, sun	Forekomst – ingen data	
Kelani River	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	kes, mon, kel	Forekomst – ingen data	
Kembajan	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer	kes, mon, kem	Forekomst – ingen data	
Kerala	Indien	Tungsand	mon	Avanceret	Stateowned (Dep. Atomic Energy)
Kerr-McGee	USA	Tungsand, kystaflejringer	kes, mon, gee	Forekomst – ingen data	
Keshya	Zambia	Karbonatit	kes, mon, kes	Forekomst – ingen data	
Khaldzan Burgtey	Mongoliet	Karbonatit	khs, mon, bur	Forekomst	
Khamna	Rusland	Karbonatit	khs, mon, kha	Forekomst – ingen data	
Khan Bogdo	Mongoliet	Alkalin	khs, mon, bog	Forekomst – ingen data	
Khanneshin	Afghanistan	Karbonatit	khs, mon, kha	Forekomst – ingen data	Government of Islamic Republic of Afghanistan
Khibiny apatite depositi	Rusland	Alkalin	apa, eud, bur, anc	Produktion	?
Khotgor	Mongoliet	Ingen information	khs, mon, kho	Efterforskning	Khotgor Minerals LLC
Kin	Canada	Ingen information	kis, mon, kin	Prospekt	Critical Elements Corp
King Sound	Australien	Tungsand, kystaflejringer	kis, mon, sou	Efterforskning	
Kingscliff	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Kinta Kellas Batu	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	mon, xed	Produktion – biprodukt	
Kipawa (Zeus)	Canada	Alkalin	eud, mos, bri, git	Avanceret	Vital Metals Ltd/ Matamec Explorations Inc.
Kirra	Australien	Tungsand, kystaflejringer	kis, mon, kir	Forekomst – ingen data	
Kiruna	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa, mon	Avanceret – biprodukt	
Kiviniemi	Finland	Ingen information	kis, mon, kiv	Prospekt	Scandium International Mining Corp.
Kizilcaoren	Tyrkiet	Hydrothermal	bas, bro, flo, mon	Avanceret	
Kluan Tong Mine	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Kodal	Norge	Alkalin	apa	Efterforskning	
Kokkilai	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	kos, mon, kok	Forekomst – ingen data	
Koner	Rusland	Alkalin	kos, mon, kon	Forekomst – ingen data	
Kontioaho	Finland	Ingen information	fer, ala, col	Prospekt	
Koombana Bay	Australien	Tungsand, kystaflejringer	xen	Produktion – biprodukt	
Koppamurra	Australien	IA-forekomst		Prospekt	Australian Rare Earths Ltd
Koppany	Australien	Ingen information		Prospekt	Hammer Metals Ltd
Korella	Australien	Ingen information	kos, mon, kor	Efterforskning – ophørt	Australian Venus Resources Pty Ltd
Korgeredaba	Rusland	Alkalin	kos, mon, kor	Forekomst – ingen data	
Korsnas Mine	Finland	Karbonatit	apa, mon	Efterforskning	Magnus Minerals Ltd
Korsun-No-vomirovskii	Ukraine	Alkalin	kos, mon, nov	Forekomst – ingen data	
Kovdor Complex	Rusland	Alkalin	kos, mon, com	Forekomst – ingen data	
Kovela	Finland	Ingen information	mon	Prospekt	
Kpong	Ghana	Alkalin	kps, mon, kpo	Forekomst – ingen data	
Kribi	Cameroon	Alkalin	krs, mon, kri	Forekomst – ingen data	
Kringlerne	Grønland	Alkalin	eud, all	Avanceret	Rimbal Pty Ltd

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Kriumba	DRC	Karbonatit	krs, mon, kri	Forekomst – ingen data	
Krusne Hory	Tjekkiet	Alkalin		Forekomst	
Kudraimozhi	Indien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Kugda	Rusland	Karbonatit	kus, mon, kug	Forekomst – ingen data	
Kulwin	Australien	Tungsand, kystaflejringer	kus, mon, kul	Forekomst – ingen data	
Kunyang	Kina	Fosforit	kus, mon, kun	Forekomst – ingen data	
Kusipo	Sydkorea	Tungsand, kystaflejringer	kus, mon, kus	Forekomst – ingen data	
Kutessay II	Kirgisistan	Alkalin	mon, xen, Y-syn	Produktion	Neon Mining Company/Stans Energy Inc.
Kutessiask	Kirgisistan	Andet – uvist	Y-syn	Produktion	
Kutubdai Island	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	kus, mon, isl	Forekomst – ingen data	
Kutubjum	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	kus, mon, kut	Forekomst – ingen data	
Kuwn-Thong	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	kus, mon, tho	Forekomst – ingen data	
Kvanebjerg (main)	Grønland	Alkalin	ste	Avanceret (pause)	Greenland Minerals A/S
Kvanebjerg (Sørensens)	Grønland	Alkalin	ste	Avanceret (pause)	Greenland Minerals A/S
Kvanebjerg (Zone 3)	Grønland	Alkalin	ste	Avanceret (pause)	Greenland Minerals A/S
Kwangsangun	Sydkorea	Tungsand, flodaflejringer	kws, mon, kwa	Forekomst – ingen data	
Kwyjibo	Canada	Jern-oxid-kobber-guld	apa, bri, all	Avanceret	Investissement Quebec/Focus Graphite Inc.
Ky Khang	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Ky Ninh	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	kys, mon, nin	Forekomst – ingen data	
Kyan Chaung	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	kys, mon, cha	Forekomst – ingen data	
Kymi	Finland	Ingen information	mon, ala, bas, xen	Forekomst – ingen data	
Kyzul-Ompul	Kirgisistan	Alkalin	kys, mon, omp	Forekomst – ingen data	
La Llacuma	Spanien	Laterit	bastnäsit	Forekomst	
La Paz	USA	Hydrothermal	las, mon, paz	Efterforskning	American Rare Earth
Lac Arques	Canada	Ingen information	las, mon, arq	Prospekt	Critical Elements Lithium Corp
Lac Henri	Canada	Ingen information	las, mon, hen	Prospekt	Ditem Exploration Inc.
Lackner Lake (Nemegos)	Canada	Alkalin	pyr	Efterforskning	6378366 Canada Inc.
laenaya Varaka	Rusland	Karbonatit	las, mon, var	Forekomst – ingen data	
Lahat Perak	Malaysia	Tungsand	las, mon, min	Produktion – ophørt	Mentri Besar In-corp; Malaysian Rare Earth Corp.
Laishi (Luilong)	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Laivajoki	Finland	Ingen information	las, mon, lai	Efterforskning	
Lake Innes	Australien	Laterit	las, mon, inn	Forekomst – ingen data	
Lake Pythonga	Canada	Ingen information	las, mon, pyt	Efterforskning	Cavan Ventures Inc
Lalande	Canada	Ingen information	las, mon, lal	Efterforskning	Cavan Ventures Inc
Lamujärvi	Finland	Alkalin		Forekomst	
Lamwpyin Shwedu Chaung	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	las, mon, cha	Forekomst – ingen data	
Langesundfjord	Norge	Alkalin	las, mon, lan	Forekomst – ingen data	
Lanshan	Kina	IA-forekomst	las, mon, lan	Forekomst – ingen data	
Laramie Anorthosite	USA	Alkalin	las, mon, ano	Forekomst – ingen data	
Las Chasras	Argentina	Ingen information	las, mon, cha	Prospekt	Golden Santa Cruz S.A.
Launceston	Australien	IA-forekomst		Forekomst	Australian Bauxite Ltd
Lavergne-Springer	Canada	Karbonatit	las, mon, spr	Avanceret	Canada Rare Earths Corporation
Lavrent'evskii	Rusland	Alkalin	las, mon, lav	Forekomst – ingen data	
Layan	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Lemhi Pass	USA	Hydrothermal	les, mon, pas	Prospekt – inaktiv	US Rare Earths Inc

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Letitia Lake	Canada	Alkalin	les, mon, lak	Prospekt	Cornerstone Capital Resources Inc
Leveâniemi	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa	Avanceret – biprodukt	LKAB
Leviathan	Australien	Ingen information	les, mon, lev	Prospekt	Strategic Elements Ltd
Liancheng	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd
Lindsay	Canada	Ingen information	lis, mon, lin	Efterforskning	X-Terra Resources Inc
Lintang	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Linwu	Kina	IA-forekomst	lis, mon, lin	Forekomst – ingen data	
Little Friar Mountain	USA	Andet – magmatisk	all, fer	Avanceret – tidligere biprodukt	
Lizhuang	Kina	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Llano County	USA	Andet – magmatisk	all, gad, fer	Avanceret – tidlig biprodukt	
Loch Loyal	England	Alkalin		Forekomst	
Lofdal	Namibia	Karbonatit	bas, syn, par	Avanceret	Namibia Critical Metals
Lolekek	Uganda	Karbonatit	los, mon, lol	Forekomst – ingen data	
Long Hai	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	los, mon, hai	Forekomst – ingen data	
Long Valley	USA	Tungsand, flodaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Longbaoshan	Kina	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Longchuan He-ping	Kina	IA-forekomst	los, mon, hep	Produktion	
Longnan (Zudong)	Kina	IA-forekomst	los, mon, zud	Produktion	People's Republic of China
Longonjo	Angola	Karbonatit	mon, bas	Avanceret	Pensana Rare Earths
Longyan, Jiangxi	Kina	IA-forekomst		Produktion	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd
Los Archipelago	Guinea	Alkalin	los, mon, arc	Forekomst – ingen data	
Lovozero (Ioparit deposit)	Rusland	Alkalin	Ioparit	Produktion	Lovozersky GOK
Ludlow	Australien	Tungsand, kystaflejringer	Ius, mon, lud	Forekomst – ingen data	
Lugeengol	Mongoliet	Ingen information	Ius, mon, lug	Avanceret	Rare Earth Exporters of Mongolia
Lugin Gol	Mongoliet	Karbonatit	bas, syn, par	Efterforskning	
Luicuisse	Mozambique	Karbonatit (with residual enrichment)	Ius, mon, lui	Forekomst – ingen data	
Luokeng	Kina	Tungsand	xen, mon, eux	Forekomst – ingen data	
Lupongola	Angola	Karbonatit	Ius, mon, lup	Forekomst – ingen data	
Lutaia	Angola	Alkalin	Ius, mon, lut	Forekomst – ingen data	
Mabounie	Gabon	Karbonatit (with residual enrichment)	mon, xen, pyro	Efterforskning	
MacDonald Pegmatite	Canada	Andet – magmatisk	mas, mon, peg	Forekomst – ingen data	
Macotaia	Mozambique	Andet – magmatisk	mas, mon, mac	Forekomst – ingen data	
Mactaquac	Canada	Ingen information	mas, mon, mac	Prospekt	Edge Exploration
Madianhe	Kina	Tungsand, flodaflejringer	mas, mon, mad	Forekomst – ingen data	
Magang	Kina	Tungsand, flodaflejringer	mas, mon, mag	Forekomst – ingen data	
Mahgai Khuduk	Mongoliet	Karbonatit	mas, mon, khu	Forekomst – ingen data	
Maicuru	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	mas, mon, mai	Forekomst – ingen data	
Main Khao	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mas, mon, kha	Forekomst – ingen data	
Makonde	Tanzania	Karbonatit	mas, mon, mak	Forekomst – ingen data	
Makuutu	Uganda	IA-forekomst	mas, mon, mak	Efterforskning	Rwenzori Rare Metals/Ionic Rare Earth Ltd
Malilongue	Malawi	Ingen information	mas, mon, mal	Efterforskning	Great Western Mining Limitada (bankrupt?)
Malmberget	Sverige	Jern-oxid-apatit	apa	Avanceret – biprodukt	
Manavalakurichi	Indien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Mangaroon	Australien	Karbonatit/laterit			Dreadnought Resources Ltd
Manget Cove	USA	Karbonatit (with residual enrichment)	eud, mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Mangyshlak	Kasakhstan	Andet – uran		Forekomst – ingen data	
Mantoushan	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Maoniuping	Kina	Karbonatit	bas, mon, all, bri	Produktion	China Southern Rare Earth Group Co Ltd/ Sichuan Jiangtong Rare Earth Co. Ltd
Maraconai	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	mas, mon, mar	Forekomst – ingen data	
Marhuanta	Venezuela	Andet – uvist	mas, mon, mar	Forekomst – ingen data	
Marikas Quellen	Namibia	Karbonatit	mas, mon, que	Forekomst – ingen data	
Marion	USA	Tungsand, flodaflejringer	mas, mon, mar	Forekomst – ingen data	
Martison Lake	Canada	Karbonatit (with residual enrichment)	apa	Efterforskning	
Mary Kathleen	Australien	Hydrothermal	mas, mon, kat	Forekomst – ingen data	
Mashabuto	DRC	Tungsand, kystaflejringer	mas, mon, mas	Forekomst – ingen data	
Massidon	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mas, mon, mas	Forekomst – ingen data	
Matara	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	mas, mon, mat	Forekomst – ingen data	
Mataraca	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mas, mon, mat	Efterforskning	
Matchinskii	Kirgisistan	Karbonatit	mas, mon, mat	Forekomst – ingen data	
Matka Zul	Brasilien	Ingen information	mas, mon, zul	Efterforskning	Canada Rare Earths Corporation
Mato Preto	Brasilien	Karbonatit	mas, mon, pre	Forekomst – ingen data	
Matoersyanskii	Ukraine	Alkalin	mas, mon, mat	Forekomst – ingen data	
Matum	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	mas, mon, mat	Forekomst – ingen data	
Maxville	USA	Tungsand, kystaflejringer	mas, mon, max	Forekomst – ingen data	
Maybe Canyon	USA	Fosforit	mas, mon, can	Forekomst – ingen data	
Mazurivske	Ukraine	Andet – magmatisk	mas, mon, maz	Efterforskning	
Mbeya (Panda Hill)	Tanzania	Karbonatit (with residual enrichment)	bas, mon	Efterforskning	
McArthur River	Canada	Andet – uranium deposits	mcs, mon, riv	Forekomst – ingen data	
McGreath	USA	Tungsand, flodaflejringer	mcs, mon, gre	Forekomst – ingen data	
McLean Lake	Canada	Tungsand, fossil	mcs, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Megiscane Lake	Canada	Karbonatit	mes, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Mengwang	Kina	Tungsand	mes, mon, men	Forekomst – ingen data	
Meponda	Mozambique	Alkalin	mes, mon, mep	Forekomst – ingen data	
Mfouati	DRC	Andet – blyforekomst	mfs, mon, mfo	Forekomst – ingen data	
Mi Tho	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	mis, mon, tho	Forekomst – ingen data	
Mianning	Kina	Alkalin	bas, par, mon, cen	Produktion	Advanced Materials Resources
Miaoya	Kina	Karbonatit	mon,bas, par, bur	Avanceret	n.a.
Miask	Rusland	Alkalin	mis, mon, mia	Forekomst – ingen data	
Milenje Hill	Malawi	Ingen information	mis, mon, hil	Prospekt	Lotus Resources Ltd
Milne Land	Grønland	Tungsand	mon, ana, xen	Prospekt – inaktiv	Czech Geological Research Group Ltd
Milo	Australien	Jern-oxid-apatit	app	Avanceret	GBM Resources
Minacu	Brasilien	Ingen information	mis, mon, min	Prospekt	Mineracao Serra Verde
Minami-Torishima	Japan	Ingen information	mis, mon, tor	Prospekt	Japan Oil, Gas and Metals National Corporation
Mineral Hill District	USA	Metamorf	mis, mon, dis	Forekomst – ingen data	
Mineral X	USA	Andet – magmatisk		Forekomst – ingen data	
Mineville Dumps	USA	Hydrothermal jernoxid	apa	Efterforskning	
Minniup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Misværdal	Norge	Alkalin	apa	Efterforskning	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Mitre Hill	Australien	IA-forekomst		Efterforskning	Australian Rare Earths Ltd
Mit-Thawi	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Modot Uul	Mongoliet	Ingen information	mos, mon, uul	Efterforskning	Ar Erkhes
Moebase	Mozambique	Tungsand, kystaflejringer	mos, mon, moe	Forekomst – ingen data	
Mogok	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	mos, mon, mog	Forekomst – ingen data	
Mogwembo	Sierra Leone	Tungsand, kystaflejringer	mos, mon, mog	Forekomst – ingen data	
Mokunui	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	mos, mon, mok	Forekomst – ingen data	
Momi River	Indonesien	Tungsand, flodaflejringer	mos, mon, riv	Forekomst – ingen data	
Mong Kung	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	mos, mon, kun	Forekomst – ingen data	
Monte Muambe	Mozambique	Karbonatit		Forekomst	Altona Rare Earths Pls
Monte Verde	Angola	Karbonatit	mos, mon, ver	Forekomst – ingen data	
Montviel	Canada	Karbonatit	bas, mon	Efterforskning	GeoMega Resources
Monumental Summit	USA	Metamorf	mos, mon, sum	Forekomst – ingen data	
Moquiquel	Mozambique	Tungsand, kystaflejringer	mos, mon, moq	Forekomst – ingen data	
Morabisi	Guyana	Ingen information	mos, mon, mor	Forekomst – ingen data	
Moreton Island	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Morro dos Seis Lagos	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	flo	Efterforskning	
Moshikeng	Kina	Andet – uvist	mos, mon, mos	Forekomst – ingen data	
Motzfeldt	Grønland	Alkalin	mos, mon, mot	Prospekt – inaktiv	Regenxy Mines Pl
Mount Clere	Australien	Tungsand	leu	Prospekt	Krakatoa Resources Ltd
Mount Mansbridge	Australien	hydrothermal	xen	Prospekt	Red Mountain Mining Ltd
Mount Prindle	USA	Alkalin	mos, mon, pri	Forekomst – ingen data	
Mount Ridley	Australien	IA-forekomst		Efterforskning	Mount Ridley Mines
Mount St. Hilaire	Canada	Alkalin	mos, mon, hil	Forekomst – ingen data	
Mount Weld, Duncan	Australien	Karbonatit	mon, chu, xen, flor, goy	Produktion	Lynas Corporation
Mountain Fuel	USA	Fosforit	mos, mon, fue	Forekomst – ingen data	
Mountain Pass	USA	Karbonatit	bas, par, mon, sah, all	Produktion	MP Materials/ Bhang Inc
Mrima Hill	Kenya	Karbonatit	mon, gor, goy	Avanceret	Pacific Wildcat Resources Corp
Mt. Isa	Australien	Ingen information	mts, mon, isa	Avanceret	Cloncurry Exploration and Development Pty Ltd
Mt. Mansbridge/Killi-Killi	Australien	Ingen information	xen	Efterforskning	Red Mountain Mining Ltd
M'Tomototi	Mozambique	Andet – magmatisk	m's, mon, tom	Forekomst – ingen data	
Mulanje	Malawi	IA-forekomst	mus, mon, mul	Prospekt	Altona Rare Earths Plc. Akatswiri Rare Earths
Mulas	Spanien	Ingen information	mon	Prospekt	
Mullaitivu	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	mus, mon, mul	Forekomst – ingen data	
Muluo	Kina	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Muluo Diaolou Shang	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	China Southern Rare Earth Group Co Ltd
Muluo Zhengjia Liangzi	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	China Southern Rare Earth Group Co Ltd
Munmorah	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Muong Hum	Vietnam	Tungsand, flodaflejringer	mus, mon, hum	Avanceret	Government of Vietnam
Mushgia Khudug	Mongoliet	Karbonatit	mus, mon, khu	Avanceret	Mongol Group LLC (Mongolian Mining Co.)
Music Valley	USA	Metamorf	mus, mon, val	Forekomst – ingen data	
Mutum	Brasilien	Alkalin	mus, mon, mut	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Nabiac	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Naboomspruit	Sydafrika	Karbonatit	nas, mon, nab	Forekomst – ingen data	
Nagyharsany	Ungarn	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Nam Xe	Vietnam	Metamorf/laterit		Avanceret	Government of Vietnam
Nam Xe North (Mau Xe North)	Vietnam	Metamorf	nas, mon, mau	Forekomst – ingen data	
Namdaecheon River	Sydkorea	Tungsand, flodaflejringer	nas, mon, riv	Forekomst – ingen data	
Namo-Vara	Rusland	Karbonatit	nas, mon, var	Forekomst – ingen data	
Nanqiao	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Nanshanxia	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Prospekt	
Nanyang	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion	Peoples Republic of China
Naracoopa	Australien	Tungsand, kystaflejringer	nas, mon, nar	Forekomst – ingen data	
Narmgula	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Narraburra	Australien	Ingen information	nas, mon, nar	Efterforskning	Paradigm Resources Pty Ltd
Nassuttutatasia	Grønland	Ingen information		Forekomst – ingen data	
Natchez	USA	Tungsand, kystaflejringer	nas, mon, nat	Forekomst – ingen data	
Nayaru	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	nas, mon, nay	Forekomst – ingen data	
Nea Peramos	Grækenland	Tungsand	mon, all	Efterforskning	
Nechalacho (Thor Lake)	Canada	Alkalin	bas, mon, all, fer, eud	Avanceret	Avalon Advanced Materials
Nechalacho Upper	Canada	Alkalin	bas, mon, all, fer	Mine under etablering	Vital Metals Ltd
Nejoio	Angola	Alkalin	nes, mon, nej	Forekomst – ingen data	
Nemgosenda Lake	Canada	Alkalin	pyro	Efterforskning	
Nettuno	Italien	Tungsand		Forekomst	
Newcastle	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Newybar	Australien	Tungsand, kystaflejringer	nes, mon, new	Forekomst – ingen data	
Ngualla Hill	Tanzania	Karbonatit	bas, mon	Avanceret	Peak Resources Ltd
Nha Trang	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	nhs, mon, tra	Forekomst – ingen data	
Niaqornakavsak	Grønland	Metamorf	bas, mon, all	Prospekt – inaktiv	
Nijhum Dwip	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	nis, mon, dwi	Forekomst – ingen data	
Niksic	Montenegro	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Niobec	Canada	Karbonatit	nis, mon, nio	Avanceret	Magris Resources Inc; Commerce Resources
Nipissis	Canada	Andet – magmatisk	nis, mon, nip	Forekomst – ingen data	
Nisikkatch	Canada	Karbonatit		forekomst	
Niulanyong	Kina	Tungsand	mon	Forekomst – ingen data	
Nizhenesaynskii	Rusland	Karbonatit	nis, mon, niz	Forekomst – ingen data	
Nkombwa Hill	Zambia	Karbonatit	bas	Avanceret	African Consolidated Resources ?/Vast?
No. 101	Kina	Andet – uvist	nos, mon, no.	Forekomst – ingen data	
Nolans Bore	Australien	Hydrothermal/Karbonatit	all, apa, bas, mon	Avanceret	Arafura Resources
Nooitgedacht	Sydafrika	Karbonatit	nos, mon, noo	Forekomst – ingen data	
Norberg	Sverige	Hydrothermal		Efterforskning	
Norra Kärr	Sverige	Alkalin	eud	Avanceret (pause)	Leading Edge Materials Corp
North Camden	USA	Tungsand, kystaflejringer	nos, mon, cam	Forekomst – ingen data	
North Fork Area	USA	Karbonatit	nos, mon, are	Forekomst – ingen data	
North Henry	USA	Fosforit	nos, mon, hen	Forekomst – ingen data	
North Stradbroke	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Northeast Dunes	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	nos, mon, dun	Efterforskning	
Nosy Komba	Madagaskar	Alkalin	nos, mon, kom	Forekomst – ingen data	
Nsengwa	Malawi	Karbonatit	nss, mon, nse	Forekomst – ingen data	
Nungan Gilgai	Australien	Ingen information	nus, mon, gil	Avanceret	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Nurra	Italien	Laterit	bas	Forekomst	
Nuware Eliya	Sri Lanka	Andet – magmatisk	nus, mon, eli	Forekomst – ingen data	
Naantali	Finland	Karbonatit		Forekomst	
Oak Grove	USA	Tungsand, fossil	oas, mon, gro	Forekomst – ingen data	
Odegarden	Norge	Andet – magmatisk	ods, mon, ode	Forekomst – ingen data	
Oka	Canada	Karbonatit (with residual enrichment)	bri, apa	etterforskning – biprodukt	
Okarito	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	oks, mon, oka	Forekomst – ingen data	
Okurusu Complex	Namibia	Karbonatit	syn, mon, Xen	Produktion	
Old Hickory	USA	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Olety Ruchey	Rusland	Ingen information	ols, mon, ruc	Prospekt	PJSC Acron
Olserum	Sverige	Hydrothermal	ols, mon, ole	Avanceret	Leading Edge Materials Corp
Olympic Dam	Australien	Jern-oxid-kobber-guld	mon, bas, xen	Produktion – biprodukt	BHP
Ondurakorume	Namibia	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Onemile Creek	USA	Tungsand, fossil	ons, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Orissa	Indien	Tungsand	mon	Mine under etablering	Indian Rare Earths Ltd. (IREL)
Otjiwarongo	Namibia	Karbonatit	ots, mon, otj	Prospekt	Namibia Critical Metals Inc.
Owelle	Sri Lanka	Andet – uvist	ows, mon, owe	Forekomst – ingen data	
Owendale	Australien	Laterit	ows, mon, owe	Efterforskning	Platina Resources Ltd
Pajarito Mountain	USA	Alkalin	eud, mon, apa	Efterforskning	
Pang War	Myanmar	Ingen information	pas, mon, war	Prospekt	
Panichara	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	pas, mon, pan	Forekomst – ingen data	
Paranagua	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	pas, mon, par	Forekomst – ingen data	
Parnassus	Grækenland	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Pea Ridge	USA	Hydrothermal Fe-oxide	pes, mon, red	Forekomst – ingen data	
Pearsol Creek	USA	Tungsand, flodaflejringer	pes, mon, cre	Avanceret	n.a.
Pebane	Madagaskar	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Peitungshan-chow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	pes, mon, pei	Forekomst – ingen data	
Penco	Chile	IA-forekomst	pes, mon, pen	Efterforskning	Aclara / Hochschild Mining
Perak	Malaysia	Tungsand			
Petaca District	USA	Andet – magmatisk	pes, mon, dis	Forekomst – ingen data	
Petäiskoski	Finland	Karbonatit		Forekomst	
Phalabowra	Sydafrika	Karbonatit	app	Avanceret	Rainbow Rare Earth
Phan thiet	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	phs, mon, pha	Forekomst – ingen data	
Phuket	Thailand	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Pi-In	Sydkorea	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Pilanesberg Complex	Sydafrika	Alkalin	eud,fer, bri	Prospekt	n.a.
Pingyuan	Kina	IA-forekomst	pis, mon, pin	Produktion	
Pinkanba	Australien	Ingen information	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Pitinga	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	xe, Y-Nb	Avanceret - biprodukt	
Plavna	Rumænien	Ingen information	mon	Prospekt	
Ploskaya Mountain	Rusland	Andet – magmatisk	pls, mon, mou	Forekomst – ingen data	
Pocos de Caldas	Brasilien	Alkalin	all, bas, eud, cer	Prospekt	Industrias Nucleares Do Brasil SA
Poert Pirie	Australien	Andet – uranium deposits	pos, mon, pir	Forekomst – ingen data	
Polkotuwa	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Pomona Tile	USA	Andet – magmatisk	pos, mon, til	Forekomst – ingen data	
Ponoiskii	Rusland	Alkalin	pos, mon, pon	Forekomst – ingen data	
Ponton	Australien	Ingen information	pos, mon, pon	Efterforskning	
Port Clarence	USA	Tungsand, flodaflejringer	pos, mon, cla	Forekomst – ingen data	
Port Clinton	Australien	Tungsand, kystaflejringer	pos, mon, cli	Forekomst – ingen data	
Porto Sequero	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Prachuap Khiri Khan	Thailand	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Prado Area	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	prs, mon, pra	Forekomst – ingen data	
Prairie Lake	Canada	Karbonatit	apa	Prospekt	Nuinsco Resources Ltd
Prowse	Australien	Tungsand, kystaflejringer	prs, mon, pro	Forekomst – ingen data	
Pudavakattu	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	pus, mon, pud	Forekomst – ingen data	
Pulau Bangka	Indien	Ingen information	pus, mon, ban	Prospekt	Artisnal mining
Pump Lake	Canada	Ingen information	pus, mon, lak	Efterforskning	Goldstar Minerals Corp.
Putai Chow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	pus, mon, put	Forekomst – ingen data	
Puyi	Kina	Laterit		Avanceret	
Qaqarssuk	Grønland	Karbonatit	anc, bur, hua	Prospekt – inaktiv	
Qeqertaasaq	Grønland	Karbonatit	qes, mon, qeq	Prospekt – inaktiv	? Korea Resources Corp.
Qiganlaing	Kina	Alkalin	apa, all	Efterforskning	
Qingyuan	Kina	IA-forekomst	qis, mon, qin	Produktion	
Qin Zhou	Kina	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Quang Ngan	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	qus, mon, nga	Forekomst – ingen data	
Quelemane	Mozambique	Tungsand, kystaflejringer	qus, mon, que	Forekomst – ingen data	
Qui Nhon	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	qus, mon, nho	Forekomst – ingen data	
Rainbow Beach	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Ramblas de las Granatilla	Spanien	Ingen information	mon, xen	Efterforskning	
Ramey Meadows	USA	Tungsand, flodaflejringer	ras, mon, mea	Forekomst – ingen data	
Ranchi-Purulia	Indien	Tungsand, flodaflejringer	mon	Avanceret	n.a.
Ranong	Thailand	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Ravilii	USA	Karbonatit	ras, mon, rav	Forekomst – ingen data	
Red Wine	Canada	Alkalin	res, mon, win	Forekomst – ingen data	
Renju	Kina	IA-forekomst	xen, zir	Avanceret	Rising Nonferrous Metals Share Co. Ltd
Revda, Murmansk	Rusland	Alkalin	lop	Prospekt	
Rexspar	Canada	Alkalin	res, mon, rex	Forekomst – ingen data	
Richards Bay	Sydafrika	Tungsand, kystaflejringer	ris, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Riddarhyttan-Bastnäs	Sverige	Karbonatit		Forekomst	
Rio Tercero	Argentina	Tungsand, flodaflejringer	ris, mon, ter	Avanceret	n.a.
Rock Canyon Creen	Canada	Hydrothermal	ros, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Rodeo de Los Molles	Argentina	Andet – uvist	ros, mon, mol	Avanceret	Wealth Minerals Ltd
Ross	New Zealand	Tungsand, kystaflejringer	ros, mon, ros	Forekomst – ingen data	
Round Top	USA	Alkalin	bas, xen	Avanceret	USA Rare Earth (80%) JV Texas Rare Earth Resources (20%)
Ruby Meadows	USA	Tungsand, flodaflejringer	rus, mon, mea	Forekomst – ingen data	
Rudnica	Kroatien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Ruri Complex	Kenya	Karbonatit (with residual enrichment)	mon, bas, eud	Efterforskning	
Rusheng	Kina	IA-forekomst	rus, mon, rus	Forekomst – ingen data	
Sai-Chon	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	sas, mon, cho	Forekomst – ingen data	
Sai-Lao	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Saima	Kina	Alkalin	rin, mos, kop, eud	Efterforskning	
Saint Honore	Canada	Karbonatit	sas, mon, hon	Prospekt	Magris Resources Inc./Niobec Inc./Commerce Resources
Sakagyi	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	sas, mon, sak	Forekomst – ingen data	
Sakhariokskii	Rusland	Alkalin	sas, mon, sak	Forekomst – ingen data	
Salitre I	Brasilien	Karbonatit		Forekomst – ingen data	



Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Sallanlatvi	Rusland	Karbonatit (with residual enrichment)	sas, mon, sal	Forekomst – ingen data	
Salmon Bay	USA	Karbonatit	sas, mon, bay	Forekomst – ingen data	
Samcheon	Nordkorea	Ingen information	sas, mon, sam	Forekomst – ingen data	Ingen information
San Antonio	Venezuela	Andet – uvist	sas, mon, ant	Forekomst – ingen data	
San Giovanni Rotondo	Italien	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
San Venanzo	Italien	Karbonatit		Forekomst – ingen data	
Sanchahe	Kina	Karbonatit	Ingen information	Produktion	n.a.
Sandalwood	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Sangu	Tanzania	Karbonatit	sas, mon, san	Forekomst – ingen data	
Sanlangyan	Kina	Andet – uvist	sas, mon, san	Forekomst – ingen data	
Sanming	Kina	Ingen information	sas, mon, san	Prospekt	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd
Sao Goncalo do Sapucaí	Brasilien	Tungsand, flodaflejringer	sas, mon, sap	Efterforskning	
sao Joao de Barr	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	sas, mon, bar	Efterforskning	
Sao Meteus	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	sas, mon, met	Forekomst – ingen data	
Sao Sebastio de Bela Vista	Brasilien	Andet – uvist	sas, mon, vis	Forekomst – ingen data	
Sarakiniko	Grækenland	Laterit	mon, all	Efterforskning	
Sarfartoq	Grønland	Karbonatit	bas, syn, mon	Efterforskning - pause	Hudson Resources
Sarnu	Indien	Karbonatit	sas, mon, sar	Forekomst – ingen data	
Saulia	DRC	Andet – uvist	sas, mon, sau	Forekomst – ingen data	
Shevchenko	Kasakhstan	Fosforit	scs, mon, sch	Produktion – biprodukt	
SCONI	Australien	Ingen information		Efterforskning	Metallica Minerals Ltd/ Australian Mines Ltd
Scrup Oaks	USA	Hydrothermal jernoxid	scs, mon, oak	Forekomst – ingen data	
Se Petiba	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	ses, mon, pet	Forekomst – ingen data	
Sebi Yavr	Rusland	Karbonatit (with residual enrichment)	ses, mon, yav	Forekomst – ingen data	
Sedisehir	Tyrkiet	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Seligdar	Rusland	Karbonatit	apa, mon, all	Efterforskning	
Serra Jacareipe	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	ses, mon, jac	Forekomst – ingen data	
Serra Negra	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	apa, ana	Avanceret – biprodukt	
Serra Verde	Brasilien	IA-forekomst	ses, mon, ver	Efterforskning	Mining Vent ures Brasil Ltda/ Innovation Metals Corp (CND)
Shallow Lake	Canada	Alkalin	shs, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Shanghang	Kina	Ingen information	shs, mon, sha	Prospekt	Xiamen Tungsten Industry Co. Ltd
Shartolgoi	Mongoliet	Alkalin	shs, mon, sha	Forekomst – ingen data	
Shatou	Kina	IA-forekomst		Forekomst – ingen data	
Sheep Creek	USA	Metamorf	shs, mon, cre	Avanceret – tidligere biprodukt	
Shenggonzhai	Kina	Ingen information	shs, mon, she	Prospekt	Minmetals Rare Earth Co. Ltd
Shengtieling	Kina	Metamorf	shs, mon, she	Forekomst – ingen data	
Shilhali	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	shs, mon, shi	Forekomst – ingen data	
Shuitai	Kina	Andet – uvist	shs, mon, shu	Forekomst – ingen data	
Shvanidzorksi	Armenien	Alkalin	shs, mon, shv	Forekomst – ingen data	
Sichuan	Kina	Karbonatit	sis, mon, sic	Efterforskning	
Sierra de Tamulipas	Mexico	Alkalin	sis, mon, tam	Forekomst – ingen data	
Silinjarvi	Finland	Karbonatit	apa	Efterforskning	Magnus Minerals Ltd
Simon's Find	Australien	Karbonatit/laterit	mon	Efterforskning	Hastings Technology Metals
Singkep	Indonesien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen, all	Avanceret – tidligere biprodukt	
Sin-Krasom	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	sis, mon, kra	Forekomst – ingen data	
Sishui	Kina	IA-forekomst		Forekomst	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Sitaduei	Kina	Karbonatit		Forekomst	
Skjoldungen	Grønland	Alkalin		Forekomst	
Slupsk	Polen	Tungsand, kystaflejringer	sls, mon, slu	Forekomst – ingen data	
Smoky Canyon	USA	Phosphorit	sms, mon, can	Forekomst – ingen data	
Snowbird	USA	Hydrothermal	sns, mon, sno	Forekomst – ingen data	
Sofular	Tyrkiet	Karbonatit		Efterforskning	
Sokli	Finland	Karbonatit (with residual enrichment)	anc, bas, all	Avanceret	
Sokolo	Kenya	Karbonatit	sos, mon, sok	Forekomst – ingen data	
Soledad	USA	Tungsand, kystaflejringer	sos, mon, sol	Forekomst – ingen data	
Songwe Hills	Malawi	Karbonatit	bas, mon, syn, par	Efterforskning	Mkango Resources
Soroy	Norge	Karbonatit	sos, mon, sor	Forekomst – ingen data	
Soun-Miyan	Sydkorea	Tungsand, flodaflejringer	sos, mon, miy	Forekomst – ingen data	
South Ham Tam	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	sos, mon, tam	Forekomst – ingen data	
South Platte District	USA	Andet – magmatisk	sos, mon, dis	Forekomst – ingen data	
Southeast Guangdong	Kina	Ingen information	Xenotim	Forekomst – ingen data	
Southern Malayan Batu Gajah Mine	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Springer Laverne	Canada	Karbonatit	sps, mon, lav	Forekomst – ingen data	
Srednetatarskii	Rusland	Alkalin	srs, mon, sre	Forekomst – ingen data	
Srednevorogovskii	Rusland	Alkalin	srs, mon, sre	Forekomst – ingen data	
St. Honore (Niobec)	Canada	Karbonatit	bas, pyro, par, mon	Avanceret - biprodukt	IAMGOLD Ltd
Steenkampskrak	Sydafrika	Hydrothermal	mon	Avanceret	Great Western Minerals /Steenkampskraal Monazite Mine Ltd
Stepnogorsk	Kasakhstan	Uranmine – tailings	sts, mon, ste	Produktion	JV: Sumitomo + Kazatomprom
Stjernoy	Norge	Karbonatit	sts, mon, stj	Efterforskning	
Stockton	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Storkwitz (Delizsch)	Tyskland	Karbonatit	par, ron, apa	Avanceret	Deutsche Rohstoff AG
Strange Lake	Canada	Alkalin	all, bas, mon, pyr	Avanceret	Quest Rare Minerals Ltd/Tongat Metals Inc.
Stratham South	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Subrang	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	sus, mon, sub	Forekomst – ingen data	
Sucunduri	Brasilien	Alkalin	sus, mon, suc	Forekomst – ingen data	
Sudbury	Canada	Andet – uvist	sus, mon, sud	Forekomst – ingen data	
Sugar Loaf	Zambia	Alkalin	sus, mon, loa	Forekomst – ingen data	
Sukulu	Uganda	Karbonatit (with residual enrichment)	apa, mag	Efterforskning	
Swan Lake Gulch	USA	Fosforit	sws, mon, gul	Efterforskning	
Synnyr	Rusland	Alkalin	sys, mon, syn	Forekomst – ingen data	
Sæteråsen	Norge	Alkalin	eux, fer, apa	Efterforskning	
Tajno	Polen	Karbonatit		Forekomst	
Takua Pa	Thailand	Tungsand, kystaflejringer		Forekomst – ingen data	
Tamezegt	Marokko	Alkaline	tas, mon, tam	Forekomst – ingen data	
Tanami	Australien	Ingen information		Prospekt	PVW Resources Ltd
Tanmen	Kina	Andet – uvist	tas, mon, tan	Forekomst – ingen data	
Tantalus	Madagaskar	Jern-oxid-apatit	bas, syn, pa.	Avanceret	Tantalus Rare Earths AG/Reenova Investment Holding Ltd
Taohualashan	Kina	Andet – uvist	tas, mon, tao	Forekomst – ingen data	
Taohulashan	Kina	Karbonatit	tas, mon, tao	Efterforskning	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Tapira	Brasilien	Karbonatit (with residual enrichment)	ana, hap	Avanceret - biprodukt	
Tareietau	Guyana	Karbonatit (with residual enrichment)	tas, mon, tar	Forekomst – ingen data	
Tchivira	Angola	Karbonatit (with residual enrichment)	tcs, mon, tch	Forekomst – ingen data	
Teknaf	Bangladesh	Tungsand, kystaflejringer	tes, mon, tek	Forekomst – ingen data	
Teldeniya	Sri Lanka	Andet – magmatisk	tes, mon, tel	Forekomst – ingen data	
Telixlahuaca	Mexico	Andet – magmatisk	tes, mon, tel	Forekomst – ingen data	
Tezhsar	Armenien	Alkalin	tes, mon, tez	Forekomst – ingen data	
Thawi-thap	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Tianzhuping Sha'ebo	Kina	Ingen information	tis, mon, sha	Avanceret	Ganzhou Mining Group
Tie Siding	USA	Andet – magmatisk	tis, mon, sid	Forekomst – ingen data	
Tiejincun	Kina	Laterit		Forekomst	
Tigusmat el akhdar	Mauritanien	Alkalin	tis, mon, tig	Forekomst – ingen data	
Tiiembetskii	Kasakhstan	Alkalin	tis, mon, tii	Forekomst – ingen data	
Tikiusaaq	Grønland	Karbonatit	tis, mon, tik	Prospekt - inaktiv	
Tikshozerskii	Rusland	Karbonatit	tis, mon, tik	Forekomst – ingen data	
Timukkovil	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	tis, mon, tim	Forekomst – ingen data	
Tingouechow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	tis, mon, tin	Forekomst – ingen data	
Toisuk	Rusland	Karbonatit	tos, mon, toi	Forekomst – ingen data	
Tolgnaro	Madagaskar	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Tolovana	USA	Tungsand, flodaflejringer	tos, mon, tol	Forekomst – ingen data	
Tomago	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Tommot	Rusland	Alkalin	tos, mon, tom	Forekomst – ingen data	
Tomtorskoye	Rusland	Karbonatit (with residual enrichment)	flo, mon, xen, bas	Avanceret	ThreeArc Mining LLC
Tongsalin	Kina	IA-forekomst	tos, mon, ton	Produktion	
Topsails	Canada	Alkalin	tos, mon, top	Forekomst – ingen data	
Toscanni	Namibia	Tungsand, kystaflejringer	tos, mon, tos	Forekomst – ingen data	
Trail Creek	USA	Phosporite	trs, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Trail Ridge	USA	Tungsand, kystaflejringer	trs, mon, rid	Forekomst – ingen data	
TRE Project	Madagaskar	Alkalin/laterit		Efterforskning	Tantalus Rare Earths AG/Reenova Investment Holding Ltd
Trebic	Tjekkiet	Alkalin		Forekomst	
Trivandrum	Indien	Tungsand, kystaflejringer	trs, mon, tri	Forekomst – ingen data	
Tronoh Mines	Malaysia	Tungsand, flodaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Tsakhirt	Mongoliet	Alkalin	tss, mon, tsa	Forekomst – ingen data	
Tuanshuitou	Kina	Laterit		Avanceret	
Tundulu	Malawi	Karbonatit	tus, mon, tun	Forekomst – ingen data	
Tungshanchow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	tus, mon, tun	Forekomst – ingen data	
Tupertalik	Grønland	Karbonatit		Forekomst	
Tutunup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	tus, mon, tut	Forekomst – ingen data	
Two Tom (Red Wine)	Canada	Alkalin	mon; fer	Efterforskning	Canada Rare Earths Corporation
Tysfjord	Norge	Alkalin		Forekomst	
Tåsjö	Sverige	Andet – uranium	apa	Prospekt	
Ulkanshoe	Rusland	Alkalin	uls, mon, ulk	Forekomst – ingen data	
Ulug-Tanzek	Rusland	Hydrothermal		Prospekt	
Ulaan Tolgoi	Mongoliet	Alkalin	uls, mon, tol	Forekomst – ingen data	
Umgaba	Sydafrika	Andet – uvist	ums, mon, umg	Forekomst – ingen data	
Umm al Birak	Saudi Arabien	Alkalin	ums, mon, bir	Forekomst – ingen data	
Unsan	Nordkorea	Andet – uvist	uns, mon, uns	Forekomst – ingen data	
Urumqi	Kina	Andet – uvist	urs, mon, uru	Forekomst – ingen data	
Usssangoda	Sri Lanka	Tungsand, kystaflejringer	uss, mon, uss	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Uyaynah	Forenede Arabiske Emirater	Karbonatit	uys, mon, uya	Forekomst – ingen data	
Valle Fertil	Argentina	Andet – magmatisk	vas, mon, fer	Forekomst – ingen data	
Vedi-Azatskii	Armenien	Alkalin	ves, mon, aza	Forekomst – ingen data	
Vekhnesayanskii	Rusland	Karbonatit	ves, mon, vek	Forekomst – ingen data	
Venturi	Canada	Karbonatit	ves, mon, ven	Forekomst – ingen data	
Vero Beach	USA	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Vichada project	Columbia	Tungsand	n.a.	Prospekt	Auxico Resources Canada Inc.
Viney Creek	Australien	Tungsand, kystaflejringer	vis, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Vinh Cam Ranh	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	vis, mon, ran	Forekomst – ingen data	
Vinh Giat	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	vis, mon, gia	Forekomst – ingen data	
Virulundo	Angola	Karbonatit	vis, mon, vir	Forekomst – ingen data	
Vishnevye	Rusland	Karbonatit	vis, mon, vis	Forekomst – ingen data	
Vitoria District	Brasilien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Vlsenica	Bosnien-Herzegovina	Laterit	bas	Forekomst – ingen data	
Vohibarika	Madagaskar	Tungsand, kystaflejringer	vos, mon, voh	Forekomst – ingen data	
Vung Tau	Vietnam	Tungsand, kystaflejringer	vus, mon, tau	Forekomst – ingen data	
Vuoriyarvi	Rusland	Karbonatit	vus, mon, vuo	Forekomst – ingen data	
Västervik	Sverige	Tungsand		Forekomst	
Västervik	Sverige	Tungsand		Forekomst – ingen data	
Wadi el Sahm	Egypten	Andet – uvist	was, mon, sah	Forekomst – ingen data	
Waisantingchow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	was, mon, wai	Forekomst – ingen data	
Wajilitage	Kina	Karbonatit	mon, bas	Efterforskning	
Wako Bussan Co	Indien	Tungsand	mon	Mine under etablering	Toyota Tsusho Corp.
Wan Hapalam	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	was, mon, hap	Forekomst – ingen data	
Wangtzeliachow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	was, mon, wan	Forekomst – ingen data	
Wangu Hill	Sydafrika	Alkalin	was, mon, hil	Forekomst – ingen data	
Wangyehchow	Taiwan	Tungsand, kystaflejringer	was, mon, wan	Forekomst – ingen data	
Warm Spring Creek	USA	Tungsand, flodaflejringer	was, mon, cre	Forekomst – ingen data	
Waroona	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere bi-produkt	
Wedderburn	Australien	Tungsand	mon	Efterforskning	WIM Ressource Pty
Weishanhu	Kina	Alkalin	bas, par, bri, cer, mon, anc	Produktion	
Weishanhu, Shandong	Kina	Alkalin	bas	Efterforskning	
Wemen	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Weres, Seigneurie, Sophie, Reine J6L1	Canada	Ingen information		Prospekt	
Westciffe	USA	Karbonatit	wes, mon, wes	Forekomst – ingen data	
Westen Keiv	Rusland	Alkalin	wes, mon, kei	Forekomst – ingen data	
Wet Mountains	USA	Karbonatit	wes, mon, mou	Avanceret	U.S. Rare Earths Inc.
Wheeler River	Canada	Tungsand, fossil	whs, mon, riv	Forekomst – ingen data	
Whiste Tundra	Rusland	Alkalin	whs, mon, tun	Forekomst – ingen data	
Wicheeda	Canada	Karbonatit	wis, mon, wic	Efterforskning	Defense Metals Corp/Marvel Discovery Corp.
Wigu Hill	Tanzania	Karbonatit (with residual enrichment)	bas, mon, syn, par	Efterforskning	Montero Mining & Exploration /Vital Metals
Williams Lake	Canada	Tungsand, fossil	wis, mon, lak	Forekomst – ingen data	
Williamstown	Australien	Tungsand, kystaflejringer	wis, mon, wil	Forekomst – ingen data	
WIM 150	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Avanceret	Murray Zircon Pty Ltd
Wimmera	Australien	Tungsand	mon	Efterforskning	Iluka Resources
Wind Mountain	USA	Alkalin	wis, mon, mou	Forekomst – ingen data	

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Witchit	Thailand	Tungsand, flodaflejringer	wis, mon, wit	Forekomst – ingen data	
Witwatersrand	Sydafrika	Tungsand, fossil	wis, mon, wit	Forekomst – ingen data	
Wlgevonden	Sydafrika	Karbonatit	wls, mon, wlg	Forekomst – ingen data	
Wolf Mountain	USA	Andet – magmatisk	wos, mon, mou	Forekomst – ingen data	
Wolverine (Browns Range)	Australien	Hydrothermal	xen	Mine under etablering	Northern Minerals
Wonneup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	wos, mon, won	Forekomst – ingen data	
Wooley Valley	USA	Phosporite	wos, mon, val	Forekomst – ingen data	
Woonack	Australien	Tungsand, kystaflejringer	wos, mon, woo	Efterforskning	
Wufang	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Wuhe	Kina	Metamorf	wus, mon, wuh	Forekomst – ingen data	
Wuzhaung (Baoding)	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Wuzhou	Kina	Andet – uvist	wus, mon, wuz	Forekomst – ingen data	
Xiangwang	Kina	Laterit (bauxit)		Produktion ??	
Xihuashan	Kina	Andet – magmatisk	gad, fer, mon, eux	Produktion	
Xiluvo	Mozambique	Karbonatit	mon	Avanceret	Promac Lda/Southern Crown Resources JV-partner Galileo Resources ????
Xinfeng, Jiangxi	Kina	IA-forekomst		Produktion ??	
Xing'an	Kina	Andet – uvist	xis, mon, xin	Forekomst – ingen data	
Xinglong	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Xinhua	Kina	Phosporite	xis, mon, xin	Forekomst – ingen data	
Xintou	Kina	Tungsand, flodaflejringer	xis, mon, xin	Forekomst – ingen data	
Xishan	Kina	Ingen information	Ingen information	Produktion	Ingen information
Xitou	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon	Produktion – biprodukt	
Xiuwen	Kina	Laterit	xis, mon, xiu	Forekomst – ingen data	
Xuanwu 1	Kina	IA-forekomst	xus, mon, xua	Produktion	Ganzhou Mining Group
Xuanwu 2	Kina	IA-forekomst	xus, mon, xua	Produktion	Ganzhou Mining Group
Xueshan	Kina	Andet – uvist	xus, mon, xue	Forekomst – ingen data	
Xun Jiang	Kina	Tungsand, flodaflejringer	xus, mon, jia	Efterforskning	
Xunwun/Longnan	Kina	IA-forekomst	xus, mon, xun	Forekomst – ingen data	
Yadanabon Mine	Myanmar	Tungsand, flodaflejringer	yas, mon, min	Forekomst – ingen data	
Yangdun	Kina	Karbonatit	yas, mon, yan	Forekomst – ingen data	
Yangibana North	Australien	Karbonatit/laterit	bas, mon, syn, par	Avanceret	Hastings Technology Metals/Cadence Minerals Plc
Yangpokeng	Kina	IA-forekomst		Avanceret	
Yanjiang (Nanshanhai)	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Yarega	Rusland	Ingen information		Prospekt	
Yarloop	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Efterforskning	
Yarraman	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Efterforskning	
Yastrebits	Ukraine	Alkalin	yas, mon, yas	Forekomst – ingen data	
Yeehaw	Canada	Ingen information	yes, mon, yee	Prospekt	Lithium Corporation
Yen Phu	Vietnam	Tungsand	xen	Avanceret	Government of Vietnam
Yinachang	Kina	Karbonatit	yis, mon, yin	Forekomst – ingen data	
Yoganup	Australien	Tungsand, kystaflejringer	mon	Avanceret – tidligere biprodukt	
Yongfeng	Kina	IA-forekomst		forekomst	
Yongsanpo	Syd Korea	Tungsand, flodaflejringer	yos, mon, yon	Forekomst – ingen data	
Yousuobao	Kina	Alkalin	apa, all	Efterforskning	
Ytterby	Canada	Ingen information	yts, mon, ytt	Prospekt	Midland Exploration
Yueyang	Kina	Tungsand, flodaflejringer	yus, mon, yue	Forekomst – ingen data	
Yukeng	Kina	IA-forekomst			
Zandkopdrift Mineral Ressource	Sydafrika	Karbonatit	mon	Avanceret	Frontier Rare Earth Ltd /Korea Resources Corp

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	REE-mineral	Status	Licenshaver
Zhangjiang	Kina	Tungsand, kystaflejringer	mon, xen	Produktion – biprodukt	
Zhangqing (Longian)	Kina	IA-forekomst	zhs, mon, lon	Forekomst – ingen data	
Zhanjiang	Kina	Tungsand, flodaflejringer	zhs, mon, zha	Forekomst – ingen data	
Zhijin	Kina	Fosforit	zhs, mon, zhi	Forekomst – ingen data	
Zijingshan	Kina	Karbonatit	zis, mon, zij	Forekomst – ingen data	
Zixing	Kina	IA-forekomst	zis, mon, zix	Avanceret	
Zudong	Kina	IA-forekomst		Produktion ??	
Zunwu, Jiangxi ???	Kina	IA-forekomst		Forekomst	
Zuokeng	Kina	IA-forekomst		Forekomst	

# Appendiks II

## Mineralforkortelser

Forkortelser for mineraler som primært er anvendt i Appendiks I ses i nedenstående tabel.

Forkortelse	Mineralnavn
all	allanit
ana	anatas
anc	ancylit
apa	apatit
bad	baddeleyit
bas	bastnäsit
bra	brannerit
bri	britholit
bur	burbankit
cas	cassiterit
col	columbit
eud	eudialyt
eux	euxenit
fer	fergosit
flo	florencit
gad	gadolinit
ger	gerenit
goy	goyazite
hua	huanghoit
kar	karnasurtit
kas	kainosit
lop	loparit
mon	monazit
mos	mosandrit
nio	niobit
par	parisit
pyr	pyrochlor
rin	rinkit
sam	samarskit
ste	steenstrupin
syn	synchysit
xen	xenotim
zir	zirkon

## Appendiks III

### REE-lødheder for udvalgte projekter

Kilder: Diverse, indsamlet november 2021

Lokalitet	Land	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Aksu Diamas	Tyrkiet	25,3	43,7	4,5	15,5	2,2	0,6	1,4	0,2	0,9	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	4,8
Araxa	Brasilien	28,1	49,4	4,5	13,9	1,5	0,3	0,7	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	-	1,1
Ashram (Total Resource)	Canada	26,1	46,6	4,8	16,6	2,0	0,5	1,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	1,6
Bayan Obo (Main and West)	Kina	25,0	50,0	4,0	17,0	1,5	0,2	0,4	0,1	0,1	-	-	-	-	-	0,3
Bear Lodge	USA	27,0	43,0	5,0	18,0	3,0	1,0	2,0	0,0	0,0	-	0,0	-	-	-	1,0
Buckton	Canada	19,0	32,9	4,1	15,7	3,1	0,7	2,6	0,4	2,3	0,5	1,3	0,2	1,3	0,2	15,8
Canakli I	Tyrkiet	25,3	44,5	4,5	14,5	2,0	0,5	1,4	0,2	0,9	0,2	0,5	0,1	0,4	0,1	5,2
Capel North	Australien	23,9	46,0	5,0	17,4	2,5	0,1	1,5	0,0	0,7	0,1	0,2	-	0,1	-	2,4
Changling	Kina	20,9	1,8	5,6	20,5	5,0	0,9	5,6	0,8	5,0	0,9	2,4	0,3	2,1	0,3	27,8
Charley Creek	Australien	18,1	38,6	4,2	14,9	2,8	0,6	2,4	0,4	2,1	0,4	1,2	0,2	1,0	0,2	12,9
Chongzou	Kina	19,5	5,3	5,9	22,4	4,6	0,7	4,6	0,8	4,3	0,9	2,1	0,3	1,5	0,3	26,9
Clay-Howells	Canada	25,1	43,6	4,4	15,1	2,3	0,6	1,5	0,6	1,0	0,1	0,4	-	0,4	-	4,9
Cummins Range	Australien	26,9	46,8	4,8	15,7	1,9	0,4	1,1	-	0,5	-	0,0	-	-	-	2,0
Dong Pao	Vietnam	32,0	50,4	4,0	10,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
Dubbo	Australien	19,6	36,9	4,0	14,1	2,2	0,1	2,2	0,3	2,0	0,4	1,2	0,2	1,0	0,2	15,8
Eco Ridge	Canada	23,9	45,3	4,5	14,6	2,5	0,1	1,7	0,3	1,1	0,2	0,5	0,1	0,3	0,1	4,9
Eldor	Canada	26,0	46,5	4,8	16,6	2,1	0,5	1,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	1,7
Elliott Lake Teasdale	Canada	25,0	46,4	4,5	14,5	2,4	0,1	1,5	0,2	0,8	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	3,8
Fen	Norge	15,2	64,3	3,6	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6
Foxtrot (Port Hope Simpson)	Canada	18,1	38,5	4,4	15,8	2,9	0,1	2,2	0,4	2,1	0,4	1,4	0,2	1,0	0,2	12,7
Gakara (Karonge)	Burundi	30,6	48,1	4,4	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glenover	Sydafrika	16,2	44,6	5,9	22,5	3,7	0,9	2,1	0,2	0,8	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	2,6
Grande-Vallee	Canada	17,6	38,2	4,0	17,1	3,5	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	1,5	-	12,1
Green Cove Springs	USA	17,5	43,7	5,0	17,5	4,9	0,2	6,6	0,3	0,9	0,1	-	-	0,2	-	3,2
Guandong	Kina	30,4	1,9	6,6	24,4	5,2	0,7	4,8	0,6	3,6	-	1,8	-	-	-	20,0



Lokalitet	Land	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hastings	Australien	1,6	6,0	0,9	3,5	2,2	0,1	3,6	1,1	8,9	2,1	8,2	1,1	6,6	0,9	53,3
Hoidas Lake (Nisikkatch)	Canada	20,4	46,8	6,0	20,6	2,7	0,5	1,2	0,1	0,4	-	0,2	-	0,1	-	1,2
Kangankunde	Malawi	29,8	49,7	4,7	14,0	1,1	0,2	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	-	0,0	-	-
Khibiny (apatite deposit)	Rusland	25,8	46,2	4,0	14,4	1,6	0,5	0,1	1,0	0,1	0,2	-	-	-	-	6,1
Kipawa (Zeus)	Canada	14,3	29,1	3,6	13,4	3,0	0,4	2,9	0,5	3,6	0,8	2,5	0,4	2,3	0,3	23,0
Kringlerne	Grønland	17,8	33,3	3,2	12,2	2,3	0,3	2,6	0,5	2,9	0,6	2,4	0,3	2,0	0,3	19,4
Kutessay II	Kirgisistan	16,8	20,0	3,8	8,3	4,2	0,2	3,7	1,6	6,2	0,6	3,3	0,3	3,3	0,5	27,2
Kvanefjeld (main)	Grønland	26,4	44,1	4,3	13,2	1,4	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	0,5	-	0,3	-	7,3
La Paz	USA	17,2	38,3	4,4	16,4	3,1	0,8	2,7	0,4	2,1	0,4	1,1	0,2	0,9	0,1	11,9
Lavergne-Springer	Canada	26,7	46,1	4,7	15,9	1,9	0,5	1,1	0,1	0,5	0,1	0,2	-	0,1	-	2,3
Lofdal	Namibia	5,4	9,8	1,1	4,0	1,6	0,8	4,0	1,0	7,4	1,6	4,8	0,7	4,4	0,6	52,8
Longonjo	Angola	23,9	45,9	4,9	17,2	2,5	0,6	1,2	0,1	0,6	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	2,6
Longyan, Jiangxi	Kina	2,2	1,0	1,1	3,5	2,3	0,3	5,7	1,1	7,5	1,6	4,3	0,6	3,3	0,5	64,9
Lovozero (Ioparit deposit)	Rusland	28,0	57,5	3,8	8,8	1,0	0,1	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-
Makuutu	Uganda	19,4	30,3	4,8	17,0	3,6	0,6	2,4	0,4	2,4	0,5	1,2	0,2	1,2	0,1	15,8
Manavalakurichi	Indien	23,0	47,0	5,5	20,0	2,5	0,0	1,2	0,1	0,2	0,0	0,0	-	-	-	0,5
Maoniuping	Kina	29,5	47,6	4,4	15,2	1,2	0,2	0,7	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,7
Milo	Australien	24,3	42,1	3,9	13,0	2,0	0,7	1,7	0,3	1,3	0,3	0,8	0,2	1,0	0,2	8,4
Montviel	Canada	25,6	49,2	5,0	15,8	1,7	2,4	0,6	0,1	0,2	-	0,0	-	0,0	-	-
Motzfeldt	Grønland	22,0	41,0	4,0	14,0	3,0		2,0	-	2,0	1,0	-	-	-	-	11,0
Mount Weld, Duncan	Australien	23,9	47,5	5,2	18,1	2,4	0,5	1,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	-	0,8
Mountain Pass, CA	USA	34,0	48,8	4,2	11,7	0,8	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Mrima Hill	Kenya	27,5	43,2	4,5	14,9	2,0	0,5	1,4	0,2	0,8	0,1	0,3	-	0,2	-	4,2
Nanyang	Kina	23,0	42,7	4,1	17,5	3,5	0,1	2,0	0,7	0,8	0,1	0,3	-	2,4	0,1	2,4
Nechalacho (Thor Lake)	Canada	15,3	34,0	4,3	17,0	3,9	0,5	3,5	0,7	1,7	0,2	1,7	0,2	1,4	0,2	15,5
Ngualla Hill	Tanzania	27,6	48,3	4,8	16,5	1,6	0,3	0,6	0,1	0,1	0,0	0,0	-	0,0	-	0,2
Niobec	Canada	24,5	47,9	5,3	18,5	2,1	0,4	1,0	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-
Nolans Bore	Australien	19,1	48,7	5,9	20,6	2,3	0,4	1,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,4
Norra Kärr	Sverige	9,5	21,2	2,8	11,0	3,0	0,4	3,3	0,7	4,5	1,0	3,1	0,5	2,8	0,4	36,0
North Stradbroke	Australien	21,5	45,5	5,3	18,6	3,1	0,8	1,8	0,3	0,6	0,1	0,2	-	0,1	0,0	2,6
Olserum	Sverige	13,5	30,7	3,8	14,6	3,4	0,2	3,5	0,7	3,5	0,7	2,0	0,3	1,8	0,3	21,0
Penco	Chile	16,0	-	4,0	19,0	3,0	-	5,0	1,0	5,0	1,0	3,0	-	2,0	-	41,0

Lokalitet	Land	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Phalabowra	Sydafrika	18,5	40,0	5,8	23,5	4,4	0,9	3,2	-	1,1	0,1	0,2	-	-	-	2,0
Revda, Murmansk	Rusland	25,0	50,5	5,0	15,0	0,7	0,1	0,6	-	0,6	0,7	0,8	0,1	0,2	0,2	1,3
Round Top	USA	3,8	15,0	2,0	5,4	2,0	0,0	1,9	0,7	5,9	1,5	6,2	1,4	10,9	1,7	41,8
Sarfartog	Grønland	19,5	51,5	5,9	19,2	1,9	0,4	1,1	0,1	0,2	-	-	-	-	-	0,4
Serra Verde	Brasilien	22,6	32,9	4,1	13,4	2,4	0,2	2,2	0,4	2,4	0,5	1,6	0,2	1,6	0,2	15,3
Sichuan	Kina	29,0	47,0	5,0	13,0	1,7	0,4	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	0,8
Songwe Hills	Malawi	24,6	44,6	4,8	16,4	2,4	0,6	1,4	0,2	0,8	0,1	0,3	0,0	0,2	0,0	3,7
Southeast Guangdong	Kina	1,2	3,0	0,6	3,5	2,2	0,2	5,0	1,2	9,1	2,6	5,6	1,3	6,0	1,8	57,3
Steenkampskrak	Sydafrika	20,8	45,2	5,1	18,0	2,9	0,1	2,0	0,2	1,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	4,1
Storkwitz (Delizsch)	Tyskland	27,4	48,7	5,1	14,2	1,4	0,3	1,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	1,2
Strange Lake	Canada	12,1	28,0	3,1	11,2	2,6	0,1	2,7	0,6	4,0	0,9	2,9	0,5	3,0	0,4	28,2
Tantalus	Madagaskar	7,0	1,0	19,0	33,0	-	7,0	2,0	5,0	16,0	-	1,0	1,0	1,0	-	7,0
Two Tom (Red Wine)	Canada	24,4	46,0	4,7	15,9	2,7	0,3	1,6	0,2	0,7	0,1	0,2	-	0,1	-	3,2
Vichada Project	Columbia	16,6	54,7	4,3	16,7	3,2	-	1,3	-	1,3	-	0,4	-	0,7	-	0,9
Weishanhu, Shandong	Kina	35,5	47,8	4,0	10,9	0,8	0,1	0,5	0,1	-	-	-	-	0,0	-	0,8
Weres, Seigneurie, Sophie, Reine J6L1	Canada	32,0	49,0	4,0	11,5	1,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
Wicheeda	Canada	36,9	48,8	3,8	10,8	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wigu Hill	Tanzania	39,0	47,5	3,6	9,0	0,5	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	-	-	-	0,2
Wolverine (Browns Range)	Australien	2,5	6,0	0,8	3,8	2,1	0,4	5,5	1,2	8,4	1,8	5,2	0,7	4,3	0,6	56,7
Xiluvo	Mozambique	22,0	46,0	4,9	17,0	2,4	0,7	1,7	0,2	0,9	0,1	0,3	0,0	0,2	0,0	4,0
Xinfeng, Jiangxi	Kina	27,3	3,2	5,6	17,6	4,5	0,9	6,0	0,7	3,7	0,7	2,5	0,3	1,1	0,2	24,3
Xuanwu 1	Kina	35,0	3,5	7,4	30,2	5,3	0,5	4,2	0,5	1,8	0,3	0,9	0,1	0,6	0,1	10,1
Xuanwu 2	Kina	29,8	7,2	7,1	30,2	6,3	0,5	4,2	0,5	1,8	0,3	0,8	0,1	0,6	0,1	10,1
Yangibana North	Australien	11,7	43,9	7,8	32,4	3,6	0,1	0,2	0,2	0,1	-	0,0	0,0	-	-	0,1
Zandkopdrift Mineral Resource	Sydafrika	26,2	44,1	4,6	15,7	2,2	0,6	1,3	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	3,7
Zunwu, Jiangxi?	Kina	38,0	3,5	7,4	27,2	5,3	0,5	4,2	0,5	1,8	0,3	0,9	0,1	0,6	0,1	10,1

## Appendiks IV

### Ressourcevolumener for udvalgte projekter med sjældne jord- artsmetaller

Kilder: Diverse, indsamlet november 2021

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	Sikre (measured/proven) ton TREO	Sandsynlige (indicated) ton TREO	Mulige (inferred) ton TREO
Aksu Diamas	Tyrkiet	Tungsand	-	-	350.000
Alces Lake	Canada	Ingen information	-	-	20.000
Amba Dongar	Indien	Karbonatit	-	3.150.000	-
Araxa	Brasilien	Karbonatit	30.000	530.000	880.000
Ashram (Total Resource)	Canada	Karbonatit	30.000	530.000	4.130.000
Bayan Obo (Main and West)	Kina	Karbonatit	3.440.000	-	-
Bayan Obo (surrounding)	Kina	Karbonatit	330.000	-	-
Bayan Obo (West)	Kina	Karbonatit	1.210.000	-	-
Bear Lodge	USA	Karbonatit	110.000	450.000	-
Belaya Zima	Rusland	Ingen information	-	10.000	-
Bokan Mountain	USA	Alkalin/hydrothermal?/alkalin?	-	30.000	30.000
Brockmans	Australien	Alkalin	-	70.000	-
Buckton	Canada	Karbonatit	-	-	150.000
Canakli I	Tyrkiet	Tungsand	-	-	350.000
Charley Creek	Australien	Tungsand	-	240.000	-
Chuktukun	Rusland	Ingen information	-	40.000	-
Clay-Howells	Canada	Alkalin	-	-	60.000
Cummins Range	Australien	Karbonatit	-	150.000	90.000
Daluhala	Kina	Karbonatit	-	220.000	-
Dubbo	Australien	Alkalin	140.000	650.000	-
Eco Ridge	Canada	Karbonatit (with residual enrichment)	-	40.000	90.000
Elliott Lake Teasdale	Canada	Tungsand (konglo.)	-	480.000	-
Fen	Norge	Karbonatit	-	-	910.000
Foxtrot (=Port Hope Simpson)	Canada	Alkalin	-	50.000	60.000
Gakara (Karonge)	Burundi	Karbonatit (with residual enrichment)	-	-	30.000
Glover	Sydafrika	Karbonatit	-	240.000	120.000
Grande-Vallee	Canada	IA-forekomst	-	610.000	-
Gupsehan	Kina	IA-forekomst	-	-	-
Hastings	Australien	Alkalin	-	60.000	20.000
Hoidas Lake (Nisikatch)	Canada	Hydrothermal	20.000	70.000	10.000
Høgtuva	Norge	Hydrothermal	-	-	-
Jongju	Nordkorea	Ingen information	-	-	59.840.000
Kangankunde	Malawi	Karbonatit (with residual enrichment)	-	110.000	-
Katajakangas	Finland	Alkalin	-	-	10.000
Katugino	Rusland	Ingen information	-	-	-
Khaldzan Burgtey	Mongoliet	Karbonatit	-	-	290.000
Khibiny apatite deposit	Rusland	Alkalin	40.000	-	-
Khotgor	Mongoliet	Ingen information	-	-	490.000

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	Sikre (measured/proven) ton TREO	Sandsynlige (indicated) ton TREO	Mulige (inferred) ton TREO
Kipawa (Zeus)	Canada	Alkalin	-	80.000	-
Kiruna	Sverige	Jern-oxid-apatit	-	-	19.800.000
Kizilcaoren	Tyrkiet	Hydrothermal	-	-	10.000
Kodal	Norge	Alkalin	-	-	60.000
Kontioaho	Finland	Ingen information	-	-	30.000
Korsnas Mine	Finland	Karbonatit	-	-	10.000
Kovela	Finland	Ingen information	-	-	90.000
Kringlerne	Grønland	Alkalin	-	27.950.000	-
Kutessay II	Kirgisistan	Alkalin	40.000	50.000	-
Kvanefjeld (main)	Grønland	Alkalin	1.590.000	3.610.000	810.000
Kwyjibo	Canada	IOCG	70.000	120.000	-
La Paz	USA	Hydrothermal	-	300.000	-
Lavergne-Springer	Canada	Karbonatit	-	50.000	150.000
Leveäniemi	Sverige	Jern-oxid-apatit	-	-	1.950.000
Lizhuang	Kina	Karbonatit	-	-	-
Lofdal	Namibia	Karbonatit	-	10.000	10.000
Longonjo	Angola	Karbonatit	-	1.110.000	2.220.000
Lovozero (Ioparit de- posti)	Rusland	Alkalin	60.000	10.000.000	-
Lugin Gol	Mongoliet	Karbonatit	-	-	10.000
Makuutu	Uganda	IA-forekomst	-	50.000	150.000
Malmberget	Sverige	Jern-oxid-apatit	-	-	7.980.000
Maoniuping	Kina	Karbonatit	1.430.000	2.120.000	940.000
Miaoya	Kina	Karbonatit	-	10.000	1.220.000
Milo	Australien	Jern-oxid-apatit	-	110.000	110.000
Misværdal	Norge	Alkalin	-	-	20.000
Montviel	Canada	Karbonatit	-	1.240.000	2.630.000
Moreton Island	Australien	Tungsand, kystaflejringer	-	-	30.000
Motzfeldt	Grønland	Alkalin	-	-	880.000
Mount Weld, Duncan	Australien	Karbonatit	1.400.000	660.000	-
Mountain Pass, CA	USA	Karbonatit	1.330.000	-	-
Mrima Hill	Kenya	Karbonatit	-	2.140.000	4.000.000
Mushgia Khudug	Mongoliet	Karbonatit	-	3.150.000	-
Nam Xe	Vietnam	Metamorf/laterit	-	7.800.000	-
Narraburra	Australien	Ingen information	-	-	30.000
Nechalacho (Thor Lake)	Canada	Alkalin	60.000	250.000	-
Nechalacho Upper	Canada	Alkalin	20.000	120.000	-
Ngualla Hill	Tanzania	Karbonatit	900.000	90.000	20.000
Niaqornakavsak	Grønland	Metamorf	-	-	240.000
Niobec	Canada	Karbonatit	-	18.320.000	-
Nkombwa Hill	Zambia	Karbonatit	-	-	260.000
Nolans Bore	Australien	Hydrothermal/karbonatit	140.000	550.000	530.000
Norra Kärr	Sverige	Alkalin	-	190.000	190.000
Olserum	Sverige	Hydrothermal	-	-	50.000
Phalabowra	Sydafrika	Karbonatit	-	160.000	-
Round Top	USA	Alkalin	-	-	-
Sarfartoq	Grønland	Karbonatit	-	100.000	40.000
Seligdar	Rusland	Karbonatit	20.000	-	-
Serra Verde	Brasilien	IA-forekomst	50.000	550.000	450.000
Simon's Find	Australien	Karbonatit/laterit	-	-	10.000
Songwe Hills	Malawi	Karbonatit	-	210.000	140.000
Steenkampskral	Sydafrika	Hydrothermal	90.000	70.000	-
Storkwitz (Delizsch)	Tyskland	Karbonatit	-	-	20.000

Lokalitet/projekt	Land	REE-type	Sikre (measured/proven) ton TREO	Sandsynlige (indicated) ton TREO	Mulige (inferred) ton TREO
Strange Lake	Canada	Alkalin	-	2.590.000	1.820.000
Tantalus	Madagaskar	Jern-oxid-apatit	40.000	-	-
Tomtorskoye	Rusland	Karbonatit (with residual enrichment)	920.000	-	-
Two Tom (Red Wine)	Canada	Alkalin	-	-	480.000
Tåsjö	Sverige	Andet - uran	-	-	110.000
Ulug-Tanzek	Rusland	Hydrothermal	-	-	-
Wicheeda	Canada	Karbonatit	-	150.000	350.000
Wigu Hill	Tanzania	Karbonatit (with residual enrichment)	-	-	50.000
Wolverine (Browns Range)	Australien	Hydrothermal	-	20.000	20.000
Xiluvo	Mozambique	Karbonatit	-	20.000	-
Yangibana North	Australien	Karbonatit/laterit	10.000	30.000	10.000
Yarega	Rusland	Ingen information	-	-	-
Zandkopdrift Mineral Resource	Sydafrika	Karbonatit	480.000	330.000	20.000
<b>Total</b>			<b>14.000.000</b>	<b>92.010.000</b>	<b>115.870.000</b>

## Appendiks V

### The Big Six og datterselskaber

Datterselskabsstruktur for "The Big Six", listen er ikke komplet.

Kilder: Diverse, indsamlet november 2021

<b>China Northern Rare Earth Group</b>	<b>China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co. Ltd</b>	
Gansu		Baogang Rare Earth Metallurgical Factory
Inner Mogolia		Baogang Rare Earth Separation Factory
Shandong		Baotou Feida Rare Earth Co. Ltd
		Baotou Hontianyu Rare Earth Magnet Company
		Baotou Huamei Rare Earth Hi-Tech Comp.
		Baotou JinMeng Rare Earth Co. Ltd.
		Baotou Rare Magnet Materials
		Baotou Zinyuan Rare Earth Hi-tech Newly-material Co. Ltd
		Beijing Sanjili New Materials
		Gansu Rare Earth New Material Co. Ltd
		Inner Mongolia Aerospace Kinxia Chemical Industry Co. Ltd
		Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth (Group) Hi-Tech Co. Ltd.
		Jiangxi Xinfeng Baogangxinli Rare Earth Co. Ltd
		Quannan Baogang Jinghuan Rare Earth Comp.
		Wuyan Runze Rare Earth Co. Ltd
		Zibo BaoSteel Lingzhi Rare Earth Hi-tech Co. Ltd
<b>China Southern Rare Earth Group (CSREG)</b>	<b>China Southern Rare Earth Group Co. Ltd</b>	Udgøres af Ganzhou Rare Earth Group (60 %) + Jiangxi Copper Group (35 %) + Jiannxi Rare Earth & Rare Metal Tungsten Group Comp. (5 %)
Sichuan		Ganzhou Rare Earth Longnan Smelting Separation Com
Jiangxi		Ganzhou Rare Earth Minerals Industry Co. Ltd
		Jiangxi Golden Century Advanced Materials Co. Ltd
		Longnan Longyi Heavy Rare-Earth Technology Co. Ltd
		Quannan New Ressource Rare Earth Co. Ltd
		Sichuan Jiangxi Copper Rare Earth Co. Ltd
		Sichuan Mianning County Fangxing Rare Earth Co. Ltd
		Wan'an Jiangwu REE Mineral Co. Ltd.
<b>China Aluminium Group (Chinalco)</b>	<b>China Xiyou Rare Earths Corp. (China Aluminium)</b>	Central Iron & Steel Research Institute
Sichuan		China Steel Research Technology Group Co. Ltd
Guangxi		China Guangxi Hezhou Rare Earth Development Co. Ltd
Jiangsu		China Guangxi Nonferrous Metals Chongzuo Rare Earth Development Co. Ltd
Shandong		China Guangxi Wuxhou Rare Earth Development Co. Ltd
		Chinalco Guangxi Nonferrous Rare-Earth Development Co Ltd
		Chinalco Sichuan Rare Earth Co. Ltd
		Chinalco Rare Earth (Chanzhou) Co. Ltd
		Dechang Houdi Rare Earth Mining Co. Ltd
		Hunan Research Institute of Rare Earth Metals
		Jiangsu Guosheng Rare Erath Co. Ltd
		Jiangyin Jiahua Advanced Material Resources Co. Ltd
		Leshan Shenghe Rare Earth Co. Ltd
		MianNing MianLi Rare Earth Mineral Co Ltd

		Shandong Weishan Lake Rare Earth Co. Ltd
		Shandong Zhongkai Rare Earth Material Co. Ltd
		Sichuan Hanxin Mineral Development Co. Ltd
		Xian Xijun New Material Co. Ltd
		Zibo Jiua Advanced Materials Resources Co. Ltd
<b>Xiamen Tungsten Co. Ltd</b>	<b>Mining Division</b>	Louyang Yulu Tungsten Mining Co. Ltd
		Ningshua Xingluckeng Tungsten Mining Co. Ltd
		Jiangxi Duchang Jinding Tungsten Molybdenum Mining Co. Ltd
		Xiamen Tungsten Co. Ltd. Haicang Branch
		Xiamen Minglu International Trading Comp.
		Xiamen Tungsten (H.C.) Co. Ltd
		Malipo Haiyu Tungsten (H.C.) Co. Ltd
		Xiamen Golden Egret Special Alloy Co. Ltd
		Jiujang Golden Egret Hard Metal Co. Ltd
		Luoyang Golden Egret Geotools co. Ltd
		Bestool Co. Ltd
		Xiamen Honglu Tungsten & Molybdenum Industry Co. Ltd
		Chengdu Hongbo Industrial Co. Lt
		Ganzhou Hongei Tungsten & Molybdenum Material Co. Ltd
	<b>Rare Earth Division</b>	Changting Jinlong Rare-Earth Co. Ltd
		Longyan Rare-Earth Development Co. Ltd
		Guangzhou Zhujang Photoelectric Materials Co. Ltd
		Sanming Rare-Earth Development Co. Ltd
		Rare-Earth Magnetic Materials Research Centre
		Longyan Rare-Earth Industrial Zone Development
		Suzhou Aizh Gaosi electric Machinery Co. Ltd
		Baotou Rare-Earth Products Exchange Co. Ltd
		Beijing Huixi Zhiding consulting co. Ltd
		Xiamen Ousilo Technology Co Ltd
		Xiamen Townowner Real Estate Co. Ltd
<b>Guangong Rare Earth Group (omtaltes også: Guangsheng Nonferrous Metals Group)</b>	<b>Guangdon Rare Earth Industry Co Ltd</b>	
Guangdong		Bading Huabao Rare Earth Co. Ltd
		Baotou Xinyuan Rare Earth Hi-Tech and New Material Co. Ltd
		China Nonferrous Metals Construction Co. Ltd
		Dapu Xinchengji Industry Co
		Deqing Xingbang Rare Earth New Materials Co. Ltd
		Guangdon Fuyuan Rare Earth New Material Co. Ltd
		Jintan Hailin Rare Earth Co. Ltd
		Longnan County Heli Rare Earth Smelting Co. Ltd
		Pingyuan Huaqi Rare Earth Industrial Co. Ltd
		Qinggyuan Jiahe Rare Metal Co. Ltd
		Varda Group Heyuan City Dongyuan Guyun Rare Earth Ore Mining Ltd.
		Yunnan Aosi Dilong Mineral Development Co. Ltd.

<b>China Minmetals</b>	<b>Minmetals Rare Earth Group Co. Ltd</b>	
Yunnan		China Minmetals Rare Earth Jianghua Co. Ltd
Guangzi		China Steel Research Technology Group Co. Ltd
Guangdong		Conghua Jiangeng Rare Earth Co. Ltd.
Hunan		Dingnan Dahua New Materials Resources Co. Ltd
Fujian		Dingnan Southern Rare Earth Co. Ltd
Jiangxi		Fujian SanMing Rare Earth Co. Ltd
		Ganxian Hongjin Rare Earth Co. Ltd
		Jianghua Rare Earths facility (started 2020)
		Jianghua Yao Nationality Autonomous County Xinghua Rare Earth Co. Ltd
		Shenggongzhai Rare Earth Mine (ny mine under etablering)
		Xunwu South Rare Earth Co. Ltd



## Appendiks VI

### Medlemmer af Rare Earth Industry Association (REIA)

Kilde: [www.global-reia.org](http://www.global-reia.org), december 2021

Medlemsorganisation	Land	Aktivitet
Appia Energy Corp.	Canada	Efterforskning (Elliot Lake, Canada (REE+U))
Arafura	Australien	Efterforskning (Nolans Bore, Australien)
Auxico Resources	Canada	Mineralefterforskning (fokus på niobium, tantal) i Mexico (Zamora)
B&C Speakers	Spanien	Forbruger (højtalerproducent)
BEC Gesellschaft für Produktmanagement	Tyskland	Produktion (magneter)
British Geological Survey	Storbritannien	Forskning og udvikling (ressourcer)
Brugger Magnetsysteme	Tyskland	Udvikling og produktion (magneter)
Carester	Frankrig	Rådgivning (produktion fra minedrift til processering)
Central America Nickel	Canada	Malmprocessering
E-TECH Resources	Canada	Efterforskning (Eurika, Namibia)
Fraunhofer IWKS	Tyskland	Forskning, udvikling og rådgivning
Greenland Minerals Ltd.	Australien	Efterforskning, minedrift, mineralkoncentrat (Kvanefjeld, Grønland)
Grundfos	Danmark	Forbruger (pumpeproducent)
HS PF	Tyskland	Undervisning
Institute of Urban Environment (IUE)	Kina	Forskning og udvikling
Ionic Rare Earths	Australien	Efterforskning, udvinding, koncentrat (Makuutu, Uganda)
JL MAG Rare-Earth Co Ltd	Kina	Produktion (af NdFeB-magneter)
JOGMEC	Japan	Efterforskning, minedrift, handel
Jozef Stefan Institute	Slovenien	Forskning, udvikling og rådgivning (på funktionel keramik, sensorer m.m.)
JSNM Japan	Japan	Produktion (magneter, fluorescerende materialer, keramiske kondensatorer, katalysatorer)
KU Leuven	Belgien	Forskning
Leading Edge Materials	Canada	Efterforskning, udvinding, koncentrat (Norra Kärr, Sverige)
Medallion Resources	Canada	Efterforskning, udvinding, processering (fra monazit)
MINVIRO	Storbritannien	Konsulent – Life Cycle Analysis
Mkango Resources	Canada	Efterforskning (Songwe Hill, Malawi), minedrift, separation, raffinering, legering, genanvendelse
MTC rare earths solutions	Storbritannien	Handel (uklart hvor i værdikæden)
Namibia Critical Metals Inc.	Canada	Efterforskning (Namibia)
Natural Resources Canada	Canada	Forskning og udvikling (efterforskning, minedrift, produktion)
Pensana Plc	Storbritannien	Efterforskning (Longonjo, Angola) + planer om separation, raffinering og magnetfremstilling
Peak Rare Earths	Australien	Efterforskning (Ngualla, Tanzania), malmprocessering (Storbritannien)
Phoenix Tailings	USA	Minedrift af tailings
Rare Earths Norway	Norge	Minedrift (industrimineraler)
REE Minerals	Norge	Efterforskning (Fen, Norge)
Rock Link Rare Metals Recycling	Tyskland	Handel (kemikalier og metaller) samt genanvendelse
Roskill	Storbritannien	Udbud- og efterspørgselsanalyser
Saskatchewan Research Council	Canada	Forskning og udvikling

Ucore Rare Metal	USA	Efterforskning, udvinding, separation (rettighed til RapidSX™-metoden). Udvikler forekomsten Bokan, Alaska, USA.
UMAG	Kina	Produktion (magnetproducent)
University of Exeter	Storbritannien	Forskning og udvikling

## Appendiks VII

### Medlemmer af European Raw Material Alliance (ERMA)

Kilde: www.erma.eu, september 2021

Virksomhed	Land
<a href="#">Alligator Energy</a>	Australien
<a href="#">Alta Zinc Limited</a>	Australien
<a href="#">Arafura Resources</a>	Australien
<a href="#">Argosy Minerals Limited</a>	Australien
<a href="#">Australian Trade and Investment Commission (Austrade)</a>	Australien
<a href="#">Core Lithium Limited</a>	Australien
<a href="#">Diversified Asset Holdings Pty Ltd</a>	Australien
<a href="#">Essential Metals Limited</a>	Australien
<a href="#">Government of Western Australien</a>	Australien
<a href="#">Greenfields Exploration Limited</a>	Australien
<a href="#">Hastings Technology Metals</a>	Australien
<a href="#">International Graphite Limited</a>	Australien
<a href="#">Ionic Rare Earths Limited</a>	Australien
<a href="#">Mineral Commodities</a>	Australien
<a href="#">Neometals Ltd.</a>	Australien
<a href="#">Renascor Resources Limited</a>	Australien
<a href="#">Speciality Metals International Ltd</a>	Australien
<a href="#">Syrah Resources</a>	Australien
<a href="#">University of Adelaide</a>	Australien
<a href="#">Volt Resources Limited</a>	Australien
<a href="#">Walkabout Resources LTD</a>	Australien
<a href="#">Behault Mining BV</a>	Belgien
<a href="#">Centre for Research in Metallurgy (CRM Group)</a>	Belgien
<a href="#">Cobalt Institute</a>	Belgien
<a href="#">CTP</a>	Belgien
<a href="#">DEME Group</a>	Belgien
<a href="#">EuroGeoSurveys</a>	Belgien
<a href="#">European Association for Coal and Lignite AISBL (EURACOAL)</a>	Belgien
<a href="#">European Lithium Institute eLi</a>	Belgien
<a href="#">Ghent University</a>	Belgien
<a href="#">industriAll European Trade Union</a>	Belgien
<a href="#">Minister of Economy, Research and Innovation</a>	Belgien
<a href="#">Prayon</a>	Belgien
<a href="#">SoilWatch</a>	Belgien
<a href="#">Solvay</a>	Belgien
<a href="#">SQM Europe NV</a>	Belgien
<a href="#">Umicore</a>	Belgien
<a href="#">WalZinc srl</a>	Belgien
<a href="#">CBMM</a>	Brasilien
<a href="#">Smartway Brasil Minerio de Ferro</a>	Brasilien
<a href="#">KCM 2000 Group</a>	Bulgarien
<a href="#">Adamas Intelligence</a>	Canada
<a href="#">Canada EU Trade and Investment Association</a>	Canada
<a href="#">Commerce Resources Corp.</a>	Canada
<a href="#">Euro Lithium</a>	Canada
<a href="#">Fortune Minerals Limited</a>	Canada
<a href="#">Global Energy Metals Corporation</a>	Canada

Virksomhed	Land
<a href="#">Greenland Resources Inc.</a>	Canada
<a href="#">Innovation Metals Corp.</a>	Canada
<a href="#">Leading Edge Materials</a>	Canada
<a href="#">Lundin Mining</a>	Canada
<a href="#">Mkango Resources</a>	Canada
<a href="#">Natural Resources Canada</a>	Canada
<a href="#">Neo Performance Materials</a>	Canada
<a href="#">NextSource Materials Inc.</a>	Canada
<a href="#">Québec Ministry of Energy and Natural Resources</a>	Canada
<a href="#">Rock Tech Lithium</a>	Canada
<a href="#">Search Minerals Inc.</a>	Canada
<a href="#">Sherritt International Corporation</a>	Canada
<a href="#">The Metals Company</a>	Canada
<a href="#">Torngat Metals</a>	Canada
<a href="#">Trinity Management Ltd.</a>	Canada
<a href="#">WT&amp;C Innovates Inc.</a>	Canada
<a href="#">BioLantanidos</a>	Chile
<a href="#">Hellenic Minerals</a>	Cypern
<a href="#">Confederation of Danish Industry</a>	Danmark
<a href="#">FLSmidth</a>	Danmark
<a href="#">Geological Survey of Denmark and Greenland</a>	Danmark
<a href="#">Ministry of Climate, Energy and Utilities</a>	Danmark
<a href="#">BiotaTec</a>	Estland
<a href="#">Geological Survey of Estonia</a>	Estland
<a href="#">UP Catalyst</a>	Estland
<a href="#">Critical Raw Materials Alliance</a>	EU
<a href="#">CSR Europe</a>	EU
<a href="#">ECGA - European Carbon and Graphite Association</a>	EU
<a href="#">EFG - European Federation of Geologists</a>	EU
<a href="#">EPMF - European Precious Metals Federation</a>	EU
<a href="#">EUMICON</a>	EU
<a href="#">Euroalliances - Association of European ferro-alloy producers</a>	EU
<a href="#">EUROGYPSUM</a>	EU
<a href="#">Eurometaux – European Association of Metals</a>	EU
<a href="#">Euromines - European Association of Mining Industries, Metal Ores &amp; Industrial Minerals</a>	EU
<a href="#">European Aluminium</a>	EU
<a href="#">European Copper Institute</a>	EU
<a href="#">European Geothermal Energy Council</a>	EU
<a href="#">European Industrial Hemp Association</a>	EU
<a href="#">European Technology Platform on Sustainable Mineral Resources</a>	EU

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<a href="#">Industrial Minerals Association Europe</a>	EU
<a href="#">PERC - Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee</a>	EU
<a href="#">PROMETIA</a>	EU
<a href="#">TECHNIP Energies</a>	EU
<a href="#">UEPG - European Aggregates Association</a>	EU
<a href="#">FinnAust Mining Finland</a>	Finland
<a href="#">Finnish Minerals Group</a>	Finland
<a href="#">Finnish Mining Association (Finn-Min)</a>	Finland
<a href="#">Geological Survey of Finland</a>	Finland
<a href="#">Keliber</a>	Finland
<a href="#">Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT</a>	Finland
<a href="#">Mawson</a>	Finland
<a href="#">Metso Outotec</a>	Finland
<a href="#">Rovio</a>	Finland
<a href="#">S3P Mining Industries and global value chain</a>	Finland
<a href="#">University of Lapland</a>	Finland
<a href="#">University of Oulu</a>	Finland
<a href="#">Aalto University</a>	Finland
<a href="#">45-8 Energy</a>	Frankrig
<a href="#">A3M - Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux</a>	Frankrig
<a href="#">Adionics</a>	Frankrig
<a href="#">AT-IPIC</a>	Frankrig
<a href="#">BRGM</a>	Frankrig
<a href="#">Carester</a>	Frankrig
<a href="#">CEA</a>	Frankrig
<a href="#">DCX Chrome</a>	Frankrig
<a href="#">Eramet</a>	Frankrig
<a href="#">Extracthiv</a>	Frankrig
<a href="#">Fonroche Géothermie</a>	Frankrig
<a href="#">France Industrie</a>	Frankrig
<a href="#">French Ministry for the Economy and Finance</a>	Frankrig
<a href="#">GEOLITH</a>	Frankrig
<a href="#">Géosciences Conseils Catura Geoprojects</a>	Frankrig
<a href="#">Grenoble INP Institute of Engineering and Management</a>	Frankrig
<a href="#">IFREMER</a>	Frankrig
<a href="#">Imerys</a>	Frankrig
<a href="#">International Chromium Development Association</a>	Frankrig
<a href="#">iUMTEK</a>	Frankrig
<a href="#">MagREEsource</a>	Frankrig
<a href="#">Orano</a>	Frankrig
<a href="#">pôle AVENIA</a>	Frankrig
<a href="#">Polymeris</a>	Frankrig
<a href="#">PREDICT</a>	Frankrig
<a href="#">Rare Earth Advisory</a>	Frankrig
<a href="#">Sudmine</a>	Frankrig
<a href="#">TERREMYS</a>	Frankrig
<a href="#">Tokai COBEX Savoie SAS</a>	Frankrig
<a href="#">Université de Lorraine</a>	Frankrig
<a href="#">Vermilion REP SAS</a>	Frankrig

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<a href="#">WEEECycling</a>	Frankrig
<a href="#">Ecoresources IKE</a>	Grækenland
<a href="#">GRawMat Innovation Cluster</a>	Grækenland
<a href="#">Hellas Gold</a>	Grækenland
<a href="#">Hellenic Survey of Geology and Mineral Exploration</a>	Grækenland
<a href="#">Metallon Ecosystems IKE</a>	Grækenland
<a href="#">Mytilineos</a>	Grækenland
<a href="#">National Technical University of Athens</a>	Grækenland
<a href="#">ORYKTON Consulting MON.I.K.E</a>	Grækenland
<a href="#">Vlysis</a>	Grækenland
<a href="#">Dundas Titanium</a>	Grønland
<a href="#">Greenland Minerals A/S</a>	Grønland
<a href="#">Hudson Resources Inc.</a>	Grønland
<a href="#">Ministry of Mineral Resources</a>	Grønland
<a href="#">Tanbreez</a>	Grønland
<a href="#">Delf University of Technology</a>	Holland
<a href="#">Durapower Technology Group B.V.</a>	Holland
<a href="#">Elewaut@efm</a>	Holland
<a href="#">IHC Mining B.V.</a>	Holland
<a href="#">JLMAG Rare Earth Co Europe BV</a>	Holland
<a href="#">Nyrstar</a>	Holland
<a href="#">Spectral Industries</a>	Holland
<a href="#">WMC Energy</a>	Holland
<a href="#">Epsilon Advanced Materials</a>	Indien
<a href="#">i2a - International Antimony Association</a>	International
<a href="#">International Platinum Group Metals Association</a>	International
<a href="#">INTRAW, International Raw Materials Observatory</a>	International
<a href="#">Nickel Institute</a>	International
<a href="#">REIA - Global Rare Earth Industry Association</a>	International
<a href="#">Vanitec</a>	International
<a href="#">Zircon Industry Association (ZIA)</a>	International
<a href="#">Geoscience Ireland</a>	Irland
<a href="#">Institute of Geologists of Ireland</a>	Irland
<a href="#">Irish Centre for Research in Applied Geosciences (iCRAG)</a>	Irland
<a href="#">LONGFORD ZINC MINING LIMITED</a>	Irland
<a href="#">Minco Exploration</a>	Irland
<a href="#">Resource 500 Fevti</a>	Irland
<a href="#">TechMet Limited</a>	Irland
<a href="#">TH Consulting and Training</a>	Irland
<a href="#">Adaci Ass. It. Acquisti e Supply Management</a>	Italien
<a href="#">Consorzio SPRING - Strategic Partnership for Research based Innovative and Networked Growth</a>	Italien
<a href="#">Contento Trade S.r.l.</a>	Italien
<a href="#">Fondazione Bruno Kessler</a>	Italien
<a href="#">La Mia Energia Scarl</a>	Italien
<a href="#">MINERARIA GERREI SRL</a>	Italien
<a href="#">Politecnico di Milano</a>	Italien
<a href="#">SERENGEIO S.R.L.</a>	Italien
<a href="#">Spacearth Technology Srl</a>	Italien
<a href="#">STAM S.R.L.</a>	Italien

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<u>University of Milano Bicocca</u>	Italien
<u>University of Padua</u>	Italien
<u>Veneta Mineraria</u>	Italien
<u>National Mining Company Tau-Ken Samruk JSC</u>	Kasakhstan
<u>Geological Survey of Croatia</u>	Kroatien
<u>Adianano</u>	Letland
<u>ArcelorMittal</u>	Luxembourg
<u>Eco-Connections Sàrl</u>	Luxembourg
<u>Euronickel Industries</u>	Makedonien
<u>Lynas Corporation</u>	Malaysia
<u>Suricate Minerals</u>	Mauretanien
<u>Managem</u>	Marokko
<u>Metalex Commodities Inc</u>	Nigeria
<u>Arctic Economic Council</u>	Norge
<u>Battery Norge</u>	Norge
<u>Federation of Norwegian Industries (Norsk Industri)</u>	Norge
<u>Geological Survey of Norge</u>	Norge
<u>Hydro</u>	Norge
<u>Institute for Energy Technology (IFE)</u>	Norge
<u>Metamorphic AS</u>	Norge
<u>Nordic Mining ASA</u>	Norge
<u>Norge Mining PLC</u>	Norge
<u>Rare Earth Norge (REN) AS</u>	Norge
<u>REEtec</u>	Norge
<u>SINTEF AS</u>	Norge
<u>ABC A HEAD</u>	Polen
<u>AGH University of Science and Technology in Cracow</u>	Polen
<u>Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla</u>	Polen
<u>Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.</u>	Polen
<u>KGHM Cuprum Research and Development Centre</u>	Polen
<u>KGHM Polska Miedź S.A</u>	Polen
<u>Ministry of Climate and Environment</u>	Polen
<u>Polish Geological Institute-National Research Institute</u>	Polen
<u>SGPR.TECH</u>	Polen
<u>Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych</u>	Polen
<u>Wroclaw University of Science and Technology (WUST)</u>	Polen
<u>Cluster Portugal Mineral Resources</u>	Portugal
<u>Institute for Systems and Computer Engineering, Technology and Science</u>	Portugal
<u>Lusorecursos Portugal Lithium</u>	Portugal
<u>Pegmatítica Sociedade Mineira de Pegmatites</u>	Portugal
<u>Quercus - ANCN</u>	Portugal
<u>ALRO</u>	Rumænien
<u>AMV Beta</u>	Rumænien
<u>AMV Magnum</u>	Rumænien
<u>MINISTERUL ECONOMIEI, ANTREPRENORIATULUI ŞI TURISMULU</u>	Rumænien

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<u>National Research&amp;Development Institute for Non-ferrous and Rare Metals - IMNR</u>	Rumænien
<u>LuNa Smelter Ltd.</u>	Rwanda
<u>Euro Lithium Balkan</u>	Serbien
<u>Ekolive s.r.o.</u>	Slovakiet
<u>grantUP</u>	Slovakiet
<u>OFZ</u>	Slovakiet
<u>Technical University of Kosice - Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies</u>	Slovakiet
<u>Geological Survey of Slovenia</u>	Slovenien
<u>Acuvet Biotech SL</u>	Spanien
<u>AEDIVE</u>	Spanien
<u>ALS</u>	Spanien
<u>ANCADE - Spanish Lime Manufacturers Association</u>	Spanien
<u>ANEFA, Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos</u>	Spanien
<u>Arcillas Refractarias S.A.</u>	Spanien
<u>Atlantic Copper</u>	Spanien
<u>CEINNMAT (INNCEINNNAT SL)</u>	Spanien
<u>CETIM</u>	Spanien
<u>CIC energiGUNE</u>	Spanien
<u>Cobalt and Nickel Mines</u>	Spanien
<u>Cobre Las Cruces</u>	Spanien
<u>COMINROC - Confederación Española de Industrias Extractivas de Rocas y Minerales Industriales</u>	Spanien
<u>Confedem - CONFEDERACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE LA MINERÍA Y DE LA METALURGIA</u>	Spanien
<u>CRS Ingeniería</u>	Spanien
<u>Economía Recursos Naturales, S.L. (ecoNatura)</u>	Spanien
<u>EURECAT</u>	Spanien
<u>FdA - Federación de Áridos</u>	Spanien
<u>FUNDACION GOMEZ PARDO</u>	Spanien
<u>Fundación TECNALIA Research &amp; Innovation</u>	Spanien
<u>Ilustre Colegio Oficial de Geólogo</u>	Spanien
<u>IMDEA Nanociencia</u>	Spanien
<u>Infinity Lithium Corporation Limited</u>	Spanien
<u>Ingenieria Magnetica Aplicada S.L.</u>	Spanien
<u>ISMC - Iberian Sustainable Mining Cluster</u>	Spanien
<u>MAGES - Asociación Española de Fabricantes de Magnesita</u>	Spanien
<u>Magnesitas Navarras</u>	Spanien
<u>MATSA</u>	Spanien
<u>OFICEMEN - Agrupación de Fabricantes de Cemento de España</u>	Spanien
<u>Orovalle Minerals, S.L.</u>	Spanien
<u>Pasek</u>	Spanien
<u>PRIMIGEA - Confederación Española de las Industrias de las Materias Primas Minerales</u>	Spanien
<u>QBIS Resources S.L.</u>	Spanien

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<a href="#">Quantum Minería</a>	Spanien
<a href="#">Rio Tinto Proyectos y Desarrollos, S.L.</a>	Spanien
<a href="#">Spanish Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge</a>	Spanien
<a href="#">Strategic Minerals Spanien, S.L.</a>	Spanien
<a href="#">Tharsis Mining</a>	Spanien
<a href="#">Worldsensing</a>	Spanien
<a href="#">Anglo American</a>	Storbritannien
<a href="#">Bluejay Mining</a>	Storbritannien
<a href="#">British Geological Survey</a>	Storbritannien
<a href="#">Disko Exploration</a>	Storbritannien
<a href="#">European Bank for Reconstruction and Development</a>	Storbritannien
<a href="#">Everledger</a>	Storbritannien
<a href="#">Fauna &amp; Flora International</a>	Storbritannien
<a href="#">Ferrexpo PLC</a>	Storbritannien
<a href="#">Ferroglobe</a>	Storbritannien
<a href="#">Fibre Technologies Ltd</a>	Storbritannien
<a href="#">Hypromag</a>	Storbritannien
<a href="#">ICD Europe, LTD</a>	Storbritannien
<a href="#">International Lithium Association (ILiA)</a>	Storbritannien
<a href="#">Less Common Metals</a>	Storbritannien
<a href="#">Minexx</a>	Storbritannien
<a href="#">Mining &amp; Sustainable Development Ltd</a>	Storbritannien
<a href="#">Mitsui &amp; Co Europe Plc</a>	Storbritannien
<a href="#">nmcn</a>	Storbritannien
<a href="#">One Cycle Ltd.</a>	Storbritannien
<a href="#">Pensana Plc</a>	Storbritannien
<a href="#">Polar Research and Policy Initiative</a>	Storbritannien
<a href="#">Rainbow Rare Earths</a>	Storbritannien
<a href="#">Resources Computing International Ltd</a>	Storbritannien
<a href="#">Rio Tinto</a>	Storbritannien
<a href="#">Rockmate</a>	Storbritannien
<a href="#">Savannah Resources</a>	Storbritannien
<a href="#">Sazani Associates</a>	Storbritannien
<a href="#">Strategic Materials Advisors Ltd.</a>	Storbritannien
<a href="#">University College London</a>	Storbritannien
<a href="#">Epiroc Rock Drills</a>	Sverige
<a href="#">Eurobattery Minerals</a>	Sverige
<a href="#">FAMMP – Fennoscandian Association for Metals and Minerals</a>	Sverige
<a href="#">Geological Survey of Sverige</a>	Sverige
<a href="#">Holmasjön Prospektering AB</a>	Sverige
<a href="#">LKAB</a>	Sverige
<a href="#">LTU Business</a>	Sverige
<a href="#">Luleå University of Technology</a>	Sverige
<a href="#">Sencept AB</a>	Sverige
<a href="#">Sotkamo Silver</a>	Sverige
<a href="#">Svemin</a>	Sverige
<a href="#">Talga AB</a>	Sverige
<a href="#">Vargön Alloys</a>	Sverige
<a href="#">Vinnova</a>	Sverige
<a href="#">Volvo Group</a>	Sverige
<a href="#">Woxna Graphite</a>	Sverige
<a href="#">Zinkgruvan Mining</a>	Sverige

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<a href="#">Boliden</a>	Sverige
<a href="#">ARCORE Ltd.</a>	Schweiz
<a href="#">Belenos Clean Power Holding</a>	Schweiz
<a href="#">gaiffi international GmbH</a>	Schweiz
<a href="#">Glencore</a>	Schweiz
<a href="#">Minespider AG</a>	Schweiz
<a href="#">MTO AG - Nornickel Group</a>	Schweiz
<a href="#">Responsible Mining Foundation</a>	Schweiz
<a href="#">Swatch Group Research and Development Ltd – Division CDNP</a>	Schweiz
<a href="#">Manganese Metal Company</a>	Sydafrika
<a href="#">ČEZ</a>	Tjekkiet
<a href="#">Geomet s.r.o.</a>	Tjekkiet
<a href="#">Kutahya Dummlupinar University</a>	Tyrkiet
<a href="#">Meta Nikel Kobalt Madencilik ve San. ve Tic. A.Ş.</a>	Tyrkiet
<a href="#">AMG Lithium GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Aurubis</a>	Tyskland
<a href="#">Ayni Verein für Ressourcengerechtigkeit e. V.</a>	Tyskland
<a href="#">Beak Consultants GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Coftech GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Cronimet Holding</a>	Tyskland
<a href="#">DeepSea Mining Alliance (DSMA)</a>	Tyskland
<a href="#">Deutsche Lithium</a>	Tyskland
<a href="#">DGWA GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">DMT Group</a>	Tyskland
<a href="#">ECTerra</a>	Tyskland
<a href="#">Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE</a>	Tyskland
<a href="#">Fraunhofer-Gesellschaft</a>	Tyskland
<a href="#">G.E.O.S. ingenieurgesellschaft</a>	Tyskland
<a href="#">German Mining and Minerals (GM2)</a>	Tyskland
<a href="#">Graphit Kropfmühl GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf</a>	Tyskland
<a href="#">HESSE &amp; ASSOCIATES</a>	Tyskland
<a href="#">HiTech Materials Advisory</a>	Tyskland
<a href="#">Indurad GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Iphigenie Bergbau GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">J&amp;C Bachmann GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Karlsruhe Institute of Technology</a>	Tyskland
<a href="#">Metalshub</a>	Tyskland
<a href="#">Projekt-Consult GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Quarzwirke GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">Saxore Bergbau GmbH</a>	Tyskland
<a href="#">SBI Sons of Bavaria Investment AG</a>	Tyskland
<a href="#">TRIMET Aluminium</a>	Tyskland
<a href="#">TU Bergakademie Freiberg</a>	Tyskland
<a href="#">TU Darmstadt</a>	Tyskland
<a href="#">Vulcan Energy Resources</a>	Tyskland
<a href="#">Wirtschaftsvereinigung Metalle</a>	Tyskland
<a href="#">BGV Group Management</a>	Ukraine
<a href="#">Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv</a>	Ukraine
<a href="#">Mine Extraction LLC</a>	Ukraine
<a href="#">National Extractive Industry Association of Ukraine (NEIAU)</a>	Ukraine

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<u>Nonferrous Metals of Ukraine LLC</u>	Ukraine
<u>RM Minings LLC</u>	Ukraine
<u>State Service for Geology and Subsoil of Ukraine</u>	Ukraine
<u>Ukrainian Association of Geologists</u>	Ukraine
<u>UkrLithiumMining LLC</u>	Ukraine
<u>Albemarle Corporation</u>	USA
<u>Amerocap Mining Ventures</u>	USA
<u>Asbury Carbons</u>	USA
<u>Controlled Thermal Resources</u>	USA

<b>Virksomhed</b>	<b>Land</b>
<u>Emerson Electric</u>	USA
<u>Piedmont Lithium Limited</u>	USA
<u>USA Rare Earth, LLC</u>	USA
<u>Prospect Resources Ltd.</u>	Zimbabwe
<u>3GSM GmbH</u>	Østrig
<u>euroMinerals</u>	Østrig
<u>Montanuniversität Leoben</u>	Østrig
<u>Østrign Mining and Steel Association</u>	Østrig
<u>Østrign Non-Ferrous Metals Federation</u>	Østrig

*Geocenter Danmark er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet og Geologisk Museum under Statens Naturhistoriske Museum.*

9 788778 715562

*Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) er et rådgivende center under De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). MiMa formidler viden om mineralske ressourcers værdikæde fra efterforskning og udvinding til forbrug, genanvendelse og udviklingen af nye teknologier.*