
Der er nok mineraler til en massiv udbygning af vind og sol i Europa

En nødvendig og massiv udbygning af vind og sol i Europa, herunder også havvind i Danmark, øger efterspørgslen på mineraler, især aluminium, kobber, zink og silicium. Udbygningen gør dog i de fleste tilfælde kun krav på en brøkdel af verdens nuværende udvinding og reserver af mineraler. Selve mængden af mineraler, der skal udvindes, er ikke en barriere for et dekarboniseret Europa. Men hvis resten af verden skal følge trop, og efterspørgslen på mineraler også stiger i andre sektorer, bliver krav til genanvendelse og energieffektivisering uomgængelige, da en øget udvinding ikke er uproblematisk.

En fuld dekarbonisering af Europas elproduktion frem mod 2035 vil lægge beslag på 5% af de mineraler, der bliver udvundet globalt. Til sammenligning udgør Europas befolkning 10% af verdens befolkning med lidt over 15% af verdens elforbrug. Det er med et forsigtigt skøn 2-3 gange så mange mineraler i dette årti, i forhold til hvad den europæiske energisektor ellers ville lægge beslag på, hvilket derfor skaber en øget konkurrence i forhold til andre sektors adgang til disse mineraler.

Det er konklusionen på baggrund af vores beregninger af et fremtidigt mineralforbrug til vind og sol i Europa. Vi har taget udgangspunkt i energitænk tanken Embers modeller, som viser hvor meget vind- og solkapaciteten skal vokse i Europa for at levere 80% af elektriciteten i 2035. Det er koblet med det gennemsnitlige mineralforbrug for solceller, landvind og havvind, baseret på tal fra IEA og [Wang et al \(2023\)](#).

Introduktion

Den hurtige udbygning af vindmøller og solceller verden over kræver ressourcer. IEA, [Wang et al \(2023\)](#) mfl., er enige om, at efterspørgslen efter mineraler og materialer stiger jo mere ambitiøse mål, der er for den grønne omstilling. I [IEAs nettonul-scenarie](#) skildres en vej til at sænke globale emissioner til nul i 2050 og holde temperaturstigningen under 1,5 °C. I det scenarie firedobles det globale behov for mineraler til vind og sol i 2030 sammenlignet med 2021.

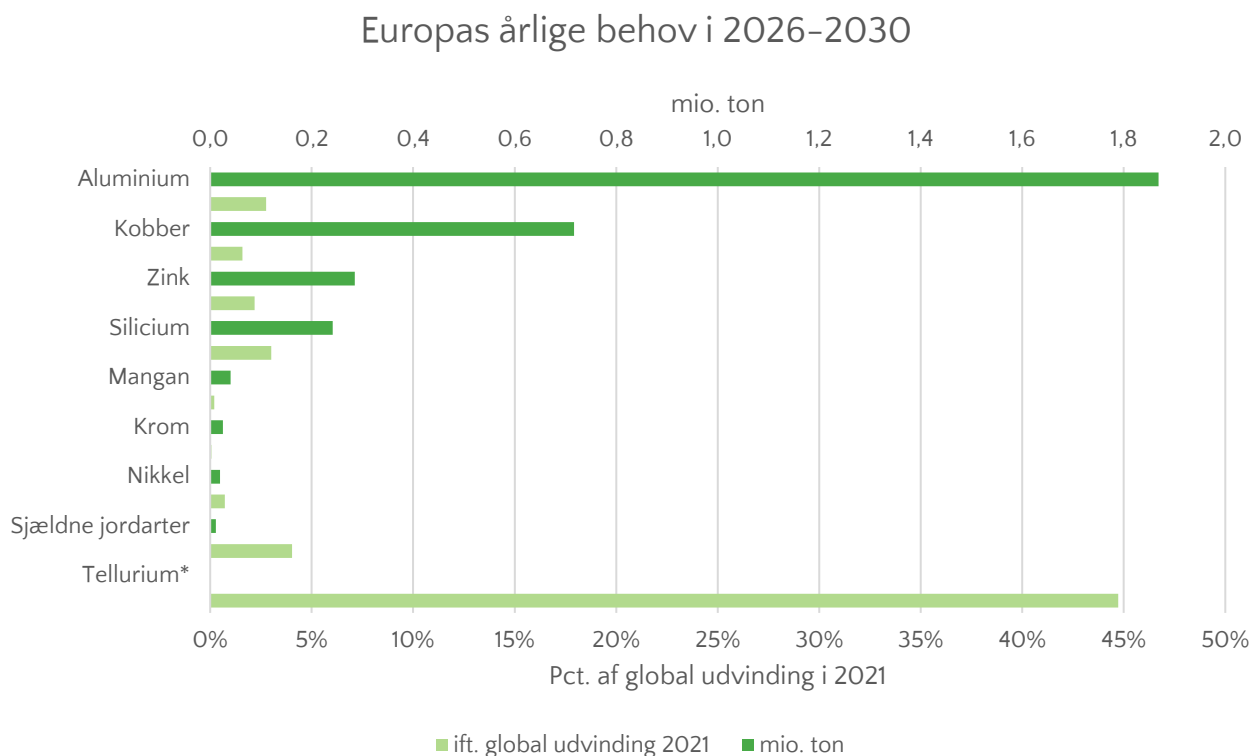
Ser man på Europa, vil en [næsten fuldstændig dekarbonisering af energisektoren i 2035](#), hvor vind og sol står for 70-80% af elektriciteten, kræve en tredobling af det årlige mineralforbrug i perioden 2026-2030 sammenlignet med 2021-2025. I Danmark vil en stor havvindsudbygning også medføre en markant stigning i efterspørgslen på mineraler. Dette er dog kun en meget lille del af det samlede mineralforbrug i Europa.

Der er problemer, særligt miljørelaterede, forbundet med øget udvinding af mineraler, men selve mængden, der vil blive efterspurgt til vedvarende energi, er håndterbar. I perioden 2026 til 2030, hvor den største udbygning bør finde sted, skal der gennemsnitligt udbygges med næsten 130 GW vind og sol om året. Sådant en udbygning vil kræve ca. 3 mio. ton mineraler om året. Det er en omfattende mængde, men der blev i 2021 udvundet knap 200 mio. ton af de mineraler, der undersøges her. Der er naturligvis forskel på, hvor store mængder, der skal bruges af forskellige mineraler, og

nogle er mere tilgængelige end andre. Men for de mineraler, der skal bruges mest af, svarer det årlige forbrug til vind og sol til 2-3% af et års samlede udvinding.

Til sammenligning svarer det årlige globale mineralbehov til vind og sol, baseret på IEAs nettonul-scenarie i 2021-30, til 10-20% af et års udvinding, for de samme mineraler. Selvom der i dag i princippet bliver udvundet nok mineraler, og reserverne ikke er i fare for at blive udtømt, bør der stilles krav til genanvendelse og energieffektivisering, da minedrift ikke er uproblematisk. Det er energiintensivt og trækker på naturens ressourcer. Desuden stiger behovet for mineraler også i andre sektorer, f.eks. til batteriproduktion og transport.

Figur 1: Europas årlige behov i 2026-2030 i mio. ton og ift. global udvinding i 2021.



Kilde: egne beregninger baseret på teknologiers mineralforbrug fra [Wang et al \(2023\)](#) og [IEA](#) og udbygning fra [Ember](#). Europa er EU27 + UK, Norge, Schweiz, Vestbalkan. *Udvinding af tellurium fra kobber.

Notatets konklusioner

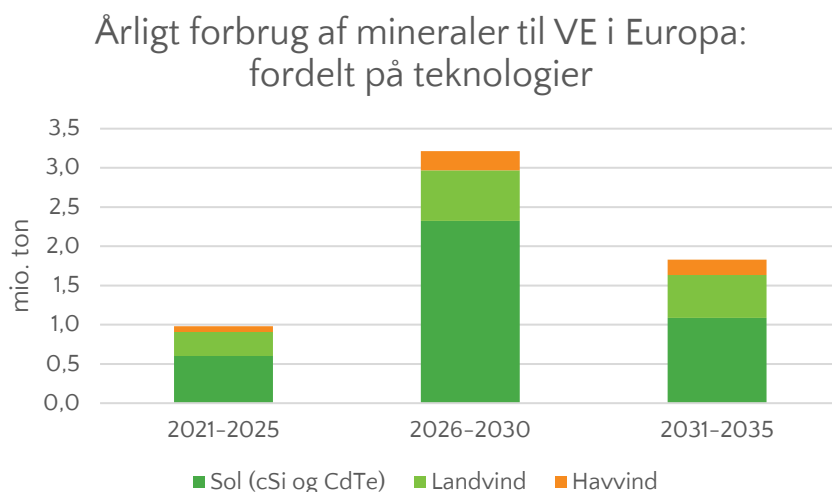
- 1) Det øgede mineralforbrug til udbygning af vind og sol i Europa er ikke en uvæsentlig udfordring, men det udgør kun en brøkdel af verdens samlede udvinding. Der er nok mineraler.
- 2) Hvis energisektoren i Europa skal dekarbonisere, hvor vind og sol leverer op mod 80% af elektriciteten, svarer det årlige forbrug af de mineraler, der skal bruges, til 2-3 % af et års globale udvinding.
- 3) Mineralforbruget afhænger i høj grad af valg af teknologi, især for solceller. Her kan der i nogle tilfælde være udfordringer med udvindingen af enkelte, men essentielle, mineraler, f.eks. tellurium.
- 4) I takt med en global udbygning af vind og sol, samt stigende mineralforbrug i andre sektorer, må der stilles krav til bl.a. genanvendelse og energieffektivisering.

Udbygning af analyse og budskaber

Energitænkertanken Ember har i deres [modellering af Europas energisystem](#) undersøgt en række mulige veje, der kan lede til en næsten fuldstændig dekarbonisering af energisektoren i 2035. Det vil sige en energisektor, hvor vind og sol leverer størstedelen af elektriciteten, mens gas står for 5% og kul for under 1%. Det kan opnås uden at gå på kompromis med forsyningsikkerhed, og ved at udnytte de tekniske muligheder vi allerede har.

Det kræver, at den årlige vækst i vind- og solkapacitet i Europa firedobles i 2025 sammenlignet med de sidste 10 år, hvilket selvsagt øger mineralforbruget. Den største udbygning skal finde sted i perioden 2026-2030, hvilket hvert år kræver 3,2 mio. ton mineraler i perioden.

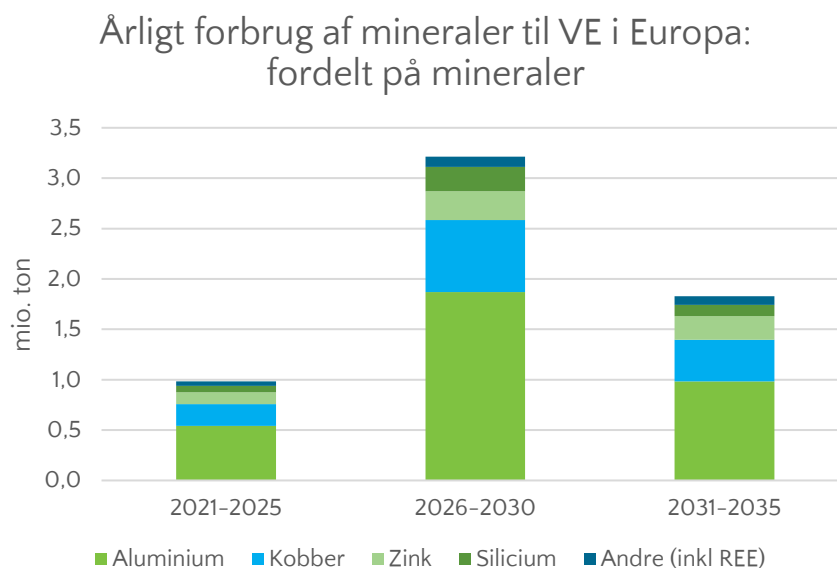
Figur 2: Årligt forbrug af mineraler til VE i Europa: fordelt på teknologier



Kilde: egne beregninger baseret på teknologiers mineralforbrug fra [Wang et al \(2023\)](#) og [IEA](#) og udbygning fra [Ember](#). Ekskl. stål, fiberglas og cement. Solkapaciteten antages at bestå af 95% cSi og 5% CdTe.

Hele udbygningen fra 2021 til 2035 kræver samlet set 30 mio. ton mineraler, hvoraf næsten halvdelen er aluminium, efterfulgt af kobber, zink og silicium. I 2021 blev der samlet set udvundet 200 mio. ton af de mineraler, der undersøges her. Mineralforbruget til hele udbygningen fra 2021 til 2035 svarer derfor til 15% af, hvad der bliver udvundet på et år.

Figur 3: Årligt forbrug af mineraler til VE i Europa: fordelt på mineraler



Kilde: egne beregninger baseret på mineralforbrug fra [Wang et al \(2023\)](#) og IEA og udbygning fra [Ember](#). Ekskl. stål, fiber-glas og cement. Andre: Ag, Cd, Dy, Nd, Ni, Mn, Cr, Mo, Te.

De fire primære mineraler

Ud af de mineraler der undersøges her, er aluminiumforbruget suverænt størst. Der skal bruges 1,9 mio. ton om året til vind og sol i Europa i perioden 2026–2030. Det er 2,7% af et års global udvinding af aluminium. I dag bruges [aluminium primært i transportsektoren](#) (27%) og til bygningskonstruktion (25%). Den globale energisektor står for [13% af det samlede forbrug](#), hvilket svarer til knap 9 mio. ton, hvis man ser på hvor meget det udgør af et års udvinding og ikke tager højde for genanvendelse. Selvom der i princippet er nok aluminium, udgør behovet til vind og sol i Europa en ikke uvæsentlig del af, hvad der samlet set bruges i energisektoren.

For kobber [står bygningskonstruktion for 46% af forbruget](#), efterfulgt af kobber til elektricitet og elektronikprodukter (21%), og transport (16%). IEA vurderer at kobber til [grøn energi¹ udgør 25%](#) af det globale forbrug. Det svarer til 11 mio. ton, hvis det ses ift. et års udvinding af kobber. Europas behov til vind og sol er 0,7 mio. ton kobber om året, og er derfor ikke umiddelbart en stor udfordring. Kobber kan desuden i [mange tilfælde erstattes af aluminium](#), som både er billigere, vejer mindre, og der er på verdensplan mere af det.

Både zink og silicium bruges primært til legering, hhv. af stål og aluminium, for at øge holdbarheden af materialerne. Det er derfor vanskeligt at dele forbruget op på sektorer. Silicium bruges i de fleste solceller, og zink bruges primært i vindturbiner men også solceller for at beskytte mod rust. Mineralerne kan i flere tilfælde [substitueres af aluminium, magnesium eller mangan](#), afhængigt af formålet.

I beregningerne af hvor stor en del Europas mineralbehov udgør af nuværende udvinding, er der ikke taget højde for genanvendelse af mineraler. Der er især [potentiale for at genanvende materialer fra solceller](#), og f.eks. stammer [en tredjedel af aluminium- og kobberforbruget i USA fra genanvendt materiale](#). Det er derfor ikke et urealistisk krav, at mineraler skal genanvendes i højere grad. En højere genanvendelsesgrad kan bl.a. sikres ved, at komponenterne er lettere at adskille. Energieffektivitet spiller også en væsentlig rolle for mineralforbruget. Jo færre TWh der skal bruges, jo mindre en energiproduktion er der behov for.

De sjældne mineraler

Der skal bruges store mængder aluminium, kobber, zink og silicium, men der bliver også udvundet meget af det i dag, og reserverne er endnu større (se tabel 1). For de sjældne jordarter neodym og dysprosium, der bl.a. bruges til vindmøller, samt tellurium, hvis primære brug er i CdTe-solceller, er udbuddet en anelse mere usikkert. I en undersøgelse af fremtidig global efterspørgsel på mineraler til elektricitetsproduktion vurderer [Wang et al \(2023\)](#), at produktionen af de tre mineraler skal stige for at for at følge med fremtidig udbygning. De vurderer dog også, at globale reserver og ressourcer for alle mineraler ikke er i fare for at blive udtømt, og godt kan holde til efterspørgslen de næste 30 år. Dog med tellurium som eneste mulige undtagelse, der desuden ikke udvindes separat, men som biprodukt af kobber, og derfor afhænger af kobberproduktionen.

Selvom der ikke skal bruges store mængder tellurium udgør forbruget en relativt stor del af nuværende udvinding. Det fremtidige forbrug er dog også forbundet med en del usikkerhed, da [tellurium bruges primært i CdTe-solceller \(40%\)](#). Mineralforbruget afhænger derfor i høj grad af, hvilke solcelleteknologier, der udbredes. I dag er krystallinsilicium (cSi) den mest udbredte type af solceller og udgør [85% af verdens solcellemarked](#). Det er efterfulgt af CdTe solceller, som [ifølge US Department of](#)

¹ Herunder sol, vind, hydro, geotermisk, elbiler og batterier, atomkraft og bioenergi.

Energy står for 5%, mens Wang et al (2023) antager, at det vil være 8% i fremtiden. Afhængigt af udbredelsen kan CdTe-solceller presse efterspørgslen af tellurium.

Tabel 1: Globale ressourcer, reserver og udvinding sammenlignet med Europas behov (ton)

Mineral	Ressourcer	Reserver	Udvinding 2021	Europas behov: årligt mineralforbrug til vind og sol (2026-30)	Europas behov ift. udvinding 2021
Aluminium	65.000.000.000	-	68.000.000	1.869.000	2,7%
Kobber	5.600.000.000	870.000.000	45.000.000	717.000	1,6%
Zink	1.900.000.000	250.000.000	13.000.000	285.000	2,2%
Silicium	"abundant"	"adequate to supply world requirements for many decades"	8.000.000	241.000	3,0%
Mangan	"large but irregularly distributed"	1.500.000.000	20.000.000	40.300	0,2%
Krom	12.000.000.000	570.000.000	41.000.000	25.100	0,1%
Nikkel	300.000.000	95.000.000	2.700.000	19.500	0,7%
Tellurium i kobber reserver	48.000	31.000	580	259	44,7%
Sjældne jordarter (REE)	-	120.000.000	280.000	11.300	4,0%
- Heraf Neodym	23.000.000	12.800.000	-	10.300	
- Heraf Dysprosium	1.980.000	1.100.000	-	1.000	

Kilde: USGS og Wang et al (2023) og IEA. Ressourcer er den samlede kendte eller estimerede mængde, mens reserver er den del der i dag kan udvindes med en profit. Ressourcer og reserver med "-" er ukendte.