

Wolfram (Tungsten)

Wolfram (W), også kendt som tungsten, er et sølvskinnende metal, som er karakteriseret ved sin hårdhed, tyngde, stabilitet og høje smeltepunkt. Siden begyndelsen af det 20. århundrede er wolfram blevet brugt i fremstillingen af glødetråde til elpærer, og i dag er metallet afgørende for mange tekniske produkter (fx elektroder) og indgår i stållegeringer og hårdmetaller. I den kuriøse ende indgår wolfram som balancevægt i dartpile og i spidsen på kuglepenne. Med mere end 80% af verdensproduktionen spiller Kina en afgørende rolle for den globale wolframforsyning, og landet har også de største geologiske reserver. Trods store geologiske reserver vurderes forsyningssikkerheden som lav, fordi Kina fra tid til anden har udnyttet sin dominerende stilling på markedet og for eksempel indført restriktioner i form af kvoter på eksport af wolframprodukter.

Anvendelse og forbrug

Navnet wolfram stammer fra den tyske mineralog Agricola, der i 1546 beskrev et stof, der forekom sammen med tinmalm som "spuma lupi", som oversat til tysk blev "wolf rahm", altså "ulveskum". Det alternative navn "tungsten" stammer fra den svenske kemiker C. W. Scheele, der i 1781 beskrev et stof fundet i en "tung sten". Stoffet var CaWO_4 , der siden blev kendt som mineralet scheelit.

Med en densitet på 19,3 g/cm³ er wolfram lige så tungt som guld. Herudover er wolfram hårdt, modstandsdygtigt over for iltning og de fleste syrer, og W har det højeste smelte- og kogepunkt af alle metaller (henholdsvis 3.410°C og 5.660°C). Wolfram bevarer sine mekaniske og fysiske egenskaber selv ved høje temperaturer og har derudover gode elektriske og termiske ledningsevner. Derfor anvendes wolfram meget bredt. Det største anvendelsesområde for wolfram er til fremstilling af hårdmetaller (eng. 'cemented carbides'), herunder wolframkarbid (WC). Disse legeringer er tre gange så stive som stål, og med en hårdhed 8,5-9 på Mohs' hårdhedsskala bruges de til en række skære- og boreopgaver af hårde materialer, særligt indenfor byggeri, metalbearbejdning, minedrift samt i olie- og gasindustrien.

I værktøjsstål og hurtigstål (HSS), øger wolfram slidstyrke og varmebestandighed. Traditionelt har wolfram været brugt til glødetråde i elektriske pærer, men da nye teknologier nu erstatter glødepærer, er denne anvendelse under udfasning.

Wolframs modstandsdygtighed over for varme gør, at det også anvendes til fremstilling af modstandstråde i elovne, elektroder, filamenter, diverse svejseprodukter og ikke mindst i moderne, elektroniske chips. Her er wolfram en af de vigtigste komponenter. Wolfram anvendes også til legeringer med høj densitet (massetæthed), der bruges fx i forsvarsindustrien til panserbrydende ammunition og til missiler. En mindre del bruges i kemikalieindustrien til forskellige former for katalysatorer, olieraffinerer m.m. Kina er verdens største forbruger af wolfram og står alene for mere end halvdelen af det samlede forbrug. Andre store aftagere af wolframmalm og koncenterater er USA, Tyskland, Japan, Sydkorea, Holland, Østrig og England. Europa står samlet set kun for 15% af den globale efterspørgsel.

Geologi og ressourcer

Wolfram er et relativt sjældent grundstof i jordskorpen (nummer 58 i rækken af hyppighed), som i gennemsnit kun

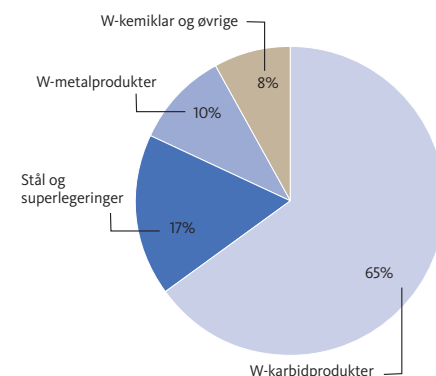
H																	He						
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	W											
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg													
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb													
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk													

NØGLETAL 2023	
Pris (for WO ₃)	20.000 kr./ton
Årlig metalproduktion	84.000. ton
Opmålte reserver	4,4 mio. ton (52 års forbrug)
Estimerede ressourcer	7 mio. ton
Genanvendelse (globalt)	24-30 %
Forsyningssikkerhed	Lav



Wolfram er nok især kendt for sin anvendelse til glødetråde i traditionelle glødepærer, men denne del udgør kun 1% af det globale marked

(foto: Shutterstock).



Anvendelsesområder for wolfram.
Kilde: Zeiler, Bartl og Schubert (2021).



Karbonat-breccie med wolframmineralisering fra Ymer Ø, Østgrønland. Foto: 21st North.

indeholder 1,5 ppm W (dvs. 1,5 g W/1 ton bjergart). Så lave koncentrationer er uøkonomiske at udvinde. For at det kan betale sig at udvinde metallet, skal lødigheden af en wolframforekomst typisk være 0,1 til 1%. Mineralogisk passer W-grundstoffet dårligt ind i krystalstrukturen på de fleste mineraler og opkoncentreres derfor i sene smelter og i sene vandige opløsninger (hydrotermale fluider), hvor der kan dannes et selvstændigt wolframholdigt mineral – typisk i mineralerne scheelit (CaWO_4) og wolframit ($[\text{Fe}, \text{Mn}]\text{WO}_4$). Disse to wolframmineraler findes typisk i granitter og metamorfe bjergarter i områder med subduktionszoner, hvor tektoniske plader mødes og danner bjergkæder som fx Andesbjergene. Wolframmineraliseringer findes i flere forskellige geologiske miljøer, men de to vigtigste er 1) åre-/stokværkstypen og 2) skarntypen. Åre-/stokværkstypen består af sprækkeudfyldninger med wolframit som det primære mineral, oftest i kvartsårer og tit sammen med tin. Skarnmineraliseringer dannes

i områder, hvor magma trænger ind i kalksten, hvorved hydrotermale fluider reagerer med kalkstenen (såkaldt metasomatose). Ved disse processer dannes der forskellige mineraler, bl.a. mineralet scheelit, samt kalksilikater, jernoxider og karbonater. Normalt har skarntypen lavere indhold af wolfram end åre-/stokværkstypen, men tonnagerne er større.

Verdens største wolframreserver findes i Kina (52%). Herudover findes der betydelige geologiske reserver af wolfram i Australien, Rusland og Spanien. I Grønland kendes der flere områder med forhøjet wolframindhold, som måske en dag kan vise sig at være interessante i et økonomisk perspektiv. Særligt lovende er forekomsten på Ymer Ø i Østgrønland, hvor wolfram findes som mineralet scheelit i metamorfoserede, sedimentære bjergarter.

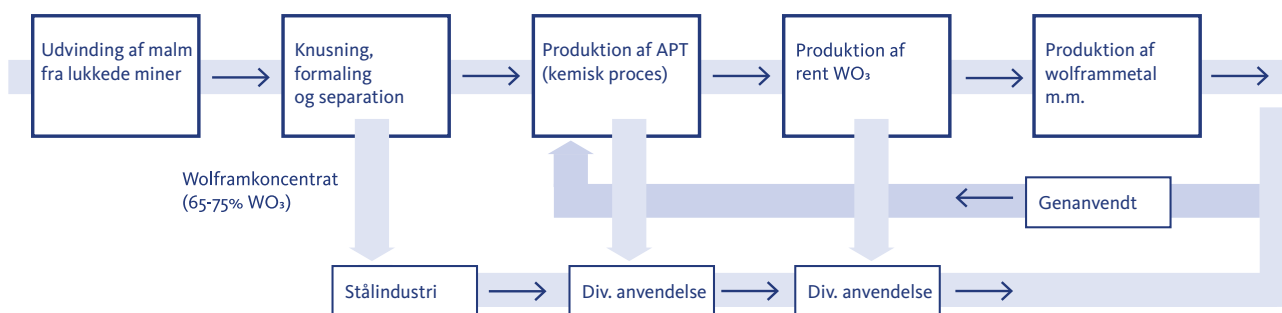
Produktion

Da wolframforekomster typisk findes i årer, foregår udvinding mest i underjor-

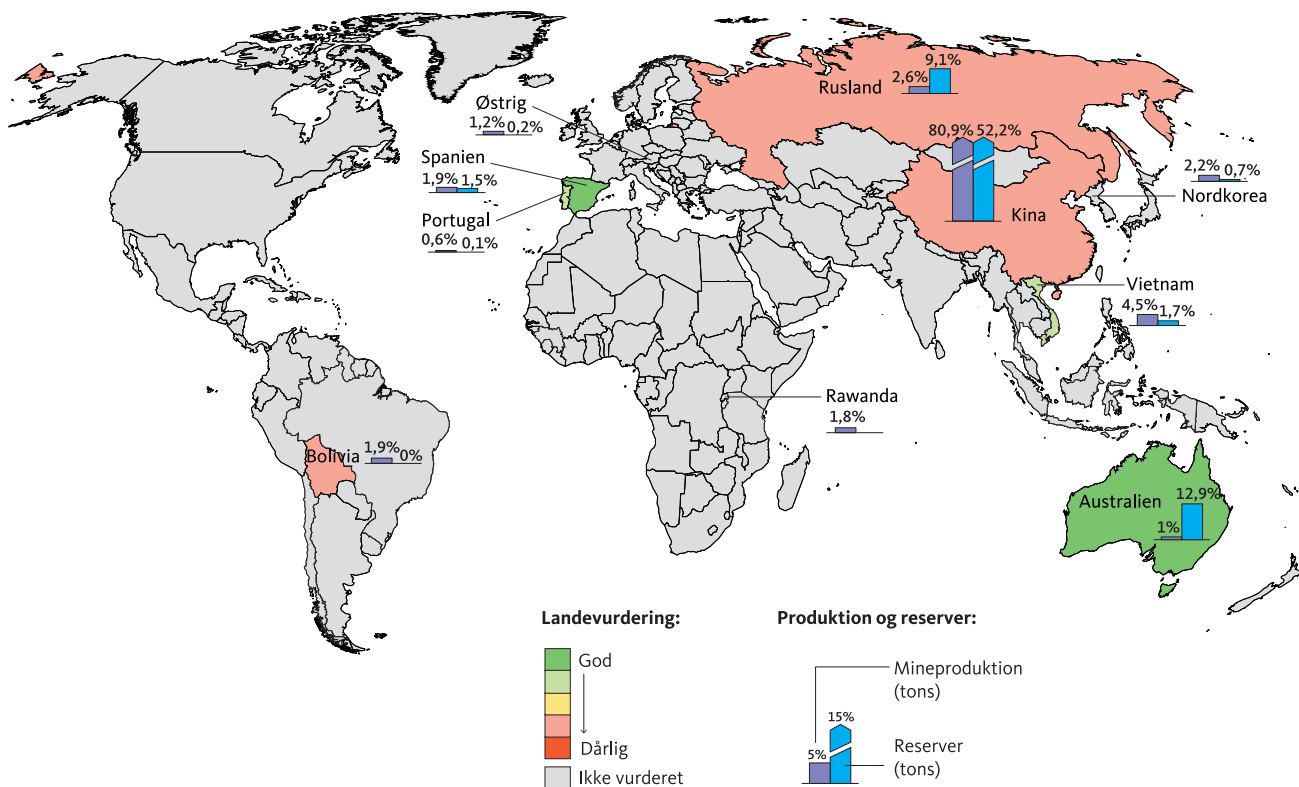
diske miner, som almindeligvis er relativt små med en daglig malmproduktion på 2.000 ton eller mindre.

For at begrænse transportudgifterne oparbejdes wolframmalmen gerne i eller tæt på minen. Her knuses og formales malmen, og der fremstilles et mineral-koncentrat af wolframmineralerne (med omkring 65-75% WO_3) under anvendelse af forskellige adskillelsmetoder, som afhænger af wolframalmens sammensætning. I reglen benyttes tyngdeseparation, som udnytter wolframmineralernes høje massefylde. Metoden kombineres ofte med flotation, hvor de wolframholdige mineraler separeres fra de ikke-økonomiske mineraler vha. mineralernes forskellige evne til at reagere på overfladespænding i væsker. Undertiden benyttes også magnetisk separation til at opkoncentrere wolframit, da dette mineral er svagt magnetisk.

Wolframitkoncentrater kan anvendes direkte i stålframstilling ved smeltning med kul eller koks i ovne til produktion af ferrowolfram, der anvendes som legeringsmateriale i stål. Scheelitmalm kan tilsættes direkte til smeltet stål under fremstilling af diverse ståltypen. Størstedelen af malmen bearbejdes dog yderligere. Dette sker først gennem en kemisk proces ved behandling med koncentreret NaOH -opløsning. Denne opløsning oprenses ved udfældning og filtrering, og giver ammoniumparatungstat (APT) af høj renhed. Dette er et vigtigt mellemprodukt, som dels forhandles og dels viderebearbejdes. Yderligere metallurgisk raffinering benyttes til fremstilling af WO_3 ved at APT, under oxiderende forhold i roterende ovne og ved temperaturer på 500-700°C, omdannes til WO_3 . Wolfram-metalpulver fremstilles af WO_3 ved reduktion med brint i ovne ved 1.200°C. Metalpulveret kan derefter omdannes til massivt metal



Produktionskæde for Wolfram som illustrerer de vigtigste trin, metallet gennemgår fra udvinding til slutbrug.



Lande med de største wolframreserver og produktion i 2023. Landevurderingen viser de lande, som efterforsknings- og mineselskaber vurderer som mere eller mindre ideelle for minedrift; vurderingen er baseret på udvalgte faktorer (retssystemet, handelsbarrierer og politisk stabilitet) fra Fraser Institute (2023).

ved sintring (dvs. ved høj temperatur og under kompression, men uden smeltning).

Genanvendelse og substitution

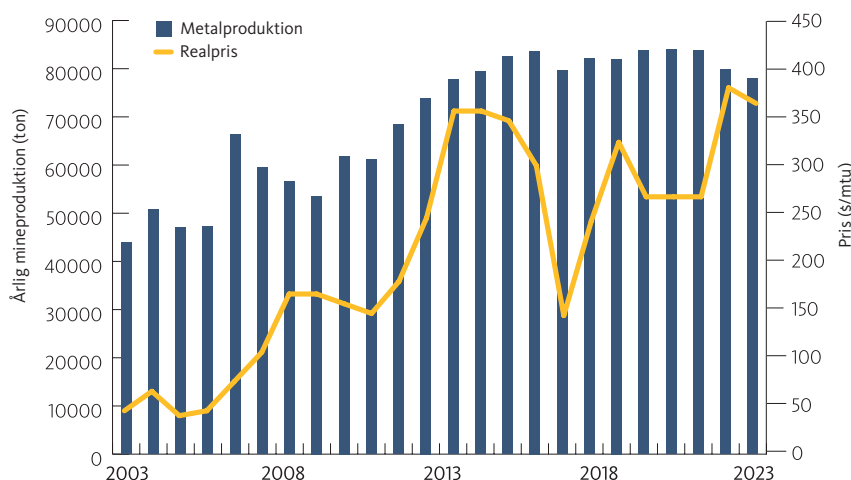
Wolfram genanvendes i stort omfang. Omkring halvdelen af Europas forbrug af wolfram dækkes ved genanvendelse, mens estimater af genanvendelsesandelen på globalt plan er 24-30%. På grund af wolframs helt særlige egenskaber er der kun begrænsede muligheder for substitution med andre materialer, da erstatninger ofte vil øge omkostningerne betydeligt eller gå ud over produktkvaliteten. Dette gælder især for produkter, hvor optimal ydeevne ved høje temperaturer, eksempelvis i rumfarts- og forsvarsindustrien, er påkrævet. Molybdæn kan dog i begrænset omfang substituere wolfram på visse områder inden for hård- og legeringsmetaller m.m.

Marked og priser

Wolfram handles i en lang række forskellige former, bl.a. ammoniumparatungstat (APT), ammoniummetatungstat (ATM), wolframtrioxid (WO₃), tungsten blue oxide (TBO), ferrowolfram (FeW og Fe₂W), wolframmetalpulver (W) og wolframcarbide (WC). Variationen i produkttyper afspejles i komplekse handelsmønstre. Wolfram-

produkter omsættes enten via bilaterale aftaler direkte mellem de primære producenter, sekundære forarbejdningsvirksomheder og tertiære producenter eller via forhandlere. Kinas dominerende rolle ses også tydeligt på producentsiden, hvor ikke-kinesiske firmaer maksimalt udgør 3% af det globale marked. Den kinesiske pris for APT er pejlemærket i wolframmarkedet, men alle de vigtigste typer wolframpro-

dukter viser samme generelle udvikling. Oftest opgives prisen for wolfram med prisen for WO₃. Der har været kraftige stigninger fra 2003 til 2006 som følge af kinesiske eksportrestriktioner, reduktion af eksportincitament samt globalt stigende efterspørgsel. I perioden 2010 til 2013 steg prisen kraftigt som følge af opsvinget efter finanskrisen, hvor efterspørgslen på wolfram steg yderligere.



Pris- og produktionsudvikling for wolfram fra 2003 til 2023. Prisen er angivet i US\$/mtu, der er den gængse vægtangivelse for wolfram. Enheden mtu (eng. 'metric ton unit') er 1% af et ton altså 10 kg. En mtu WO₃ indeholder 7,93 kg wolfram.



Wolframmine i Spanien (foto: Shutterstock).

Forsyningsikkerhed

Selvom der fra en geologisk betragtning ikke er knaphed på wolfram, optræder metallet på EU's liste over kritiske mineraler for 2023. Listen omfatter 34 mineralske råstoffer, der har afgørende betydning for den europæiske industri, og hvor der ikke umiddelbart kan findes erstatningsmaterialer, samtidig med at der er stor risiko for forsyningsknaphed. I EU er wolfram vurderet som et kritisk metal pga. Kinas dominerende rolle i wolframproduktionen, landets store geologiske forekomster og ikke mindst Kinas lejlighedsvis indgriben i wolframmarkedet i form af forskellige restriktioner på eksport og import, kvoter og afgifter. Disse forhold har også været genstand for behandling i verdenshandelsorganisationen WTO.

Kilder og videre læsning

21st North:
<https://www.21stnorth.com/>

Kalvig, Per og Keiding, Jakob Kløve 2023: Dansk industris brug af mineralske råstoffer - beskrivelse af udvalgte forsyningskæder. MiMa rapport 2023/4.

DERA Rohstoffinformation 19. Rohstoffrisikobewertung – Wolfram
<http://www.deutsche-rohstoffagentur.de>

Fraser Institute Annual: Survey of Mining Companies 2023
<https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2023>

International Tungsten Industry Association
www.itia.info/

European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Grohol, M. and Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report, Publications Office of the European Union, 2023,
<https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

Tungsten potential in Greenland. Geology and Ore 25/2014
<https://eng.geus.dk/products-services-facilities/publications/minerals-ingreenland/geology-and-ore/geology-and-ore-25>

Tungsten – U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries
<https://www.usgs.gov/centers/nmic/tungsten-statistics-and-information>

Wolfram Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe
<https://www.deutsche-rohstoffagentur.de>

Recycling of tungsten: Current share, economic limitations, technologies and future potential
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263436821000780>

WTO Dispute DS 431: China — Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum
www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds431_e.htm