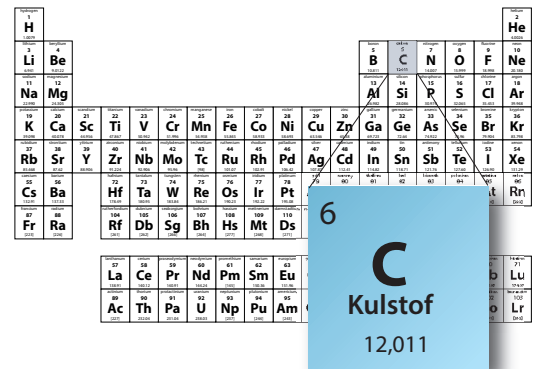


Grafit



Grafit har været kendt fra 4.000 år før vor tidsregning, hvor det blev brugt som farvestof. Siden 1700-tallet har grafit været brugt til blyanter – og tegnekunsten blev til ordet grafik. Grafit er kendetegnet ved at være meget let, varmebestandigt og en god elektrisk leder. Derfor bruges grafit især til fx støbeforme i metalindustrien og isolerende ovnfliser i smelteovne. De elektriske egenskaber betyder desuden, at grafit er meget efterspurgt i batteri- og elektronikindustrierne. I naturen findes grafit i kulstofbærende bjergarter, som har været udsat for højt tryk og temperatur (metamorfose). Det forekommer både som små glimmerlignende flager og som finkornet masse af grafit (betegnet amorf grafit). Grafits evne til at danne mikroskopiske flager gør det meget anvendeligt i smøremidler, eksempelvis låseolie og til en lang række højteknologiske kulfibermaterialer. Et nyt anvendelsesområde er det højteknologiske materiale grafen, som forventes at få stor udbredelse, bl.a. fordi det er ti gange bedre til at lede varme end kobber. De vigtigste producenter er Kina, Indien og Brasilien, men grafit er meget udbredt og er geologisk set ikke kritisk.

Nøgletal (2013)	
Pris:	3.000-17.000 kr./ton (afhængig af kvalitet)
Årlig grafitproduktion:	1,2 mio. ton
Opmålte reserver:	77 mio. ton (~60 års forbrug)
Estimerede ressourcer:	800 mio. ton (~650 års forbrug)
Genbrug (globalt):	Stærkt begrænset og ikke kendt
Forsyningsikkerhed:	GOD

Anvendelse og forbrug

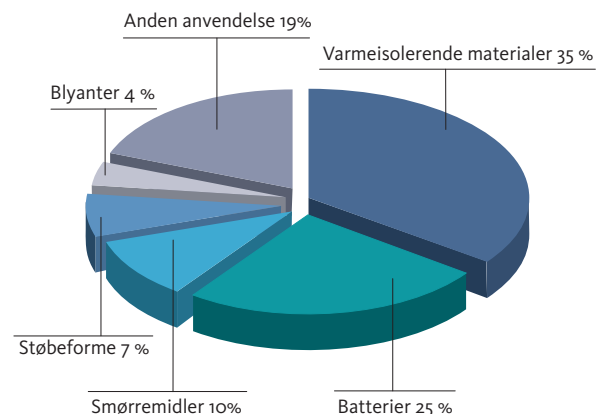
Grafit er et mineral, som kun består af kulstof (C). Det har en lav massefylde (2,3 g/cm³), er meget blødt (1 på Mohs' hårdhedsskala), kan nemt formes og har et meget højt smeltepunkt (3.390 °C). De to sidste egenskaber gør grafit meget velegnet til brug i støbeforme, ildfaste foringer til støbeforme og ildfaste beklædninger i metalsmelteovne, der samlet er de største forbrugsområder for grafit. Grafit bruges dernæst som tilsætning til jernsmelte under fremstilling af stål. Derudover spiller grafit en vigtig rolle i batteri- og elektronikindustrierne, idet mineralet indgår i de fleste batterityper, og udbredelsen af bærbare elektroniske enheder øger forbruget på dette område. Især er grafit vigtig til genopladelige litium-ionbatterier (Li-ion-batterier), som udover grundstoffet litium bl.a. indeholder en positiv elektrode af kulstof. Denne batteritype benyttes bl.a. til batterier i elbiler. Smøremidler, blyanter og mange andre anvendelser dækker det resterende forbrug.

Grafits lave massefylde har medført, at der er særlig fokus på mulighederne for at anvende stoffet som kom-

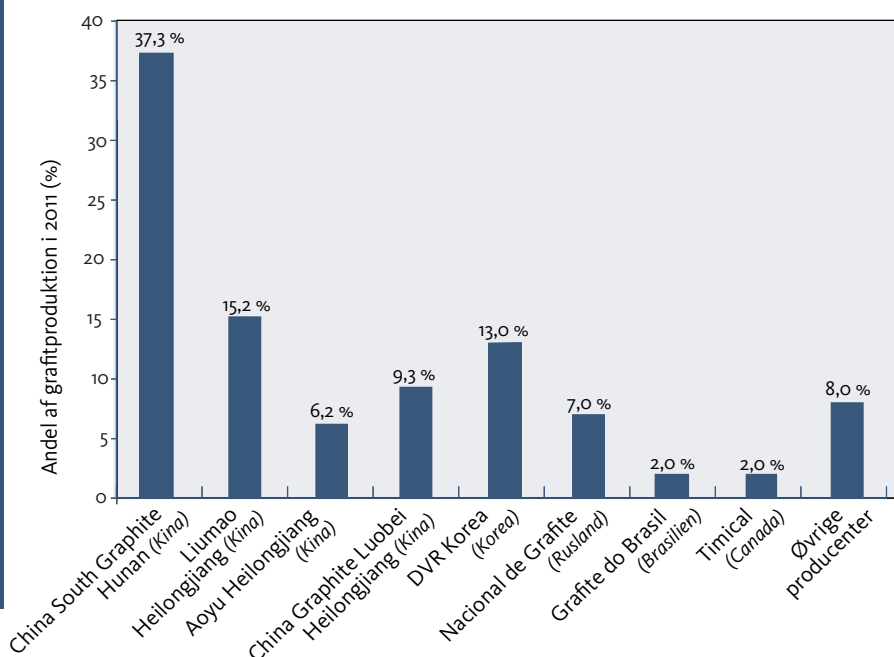


Grafit spiller en afgørende rolle i litium-ion-batterier, som benyttes til en lang række formål, bl.a. i moderne elbiler. Det forventes, at den fremtidige efterspørgsel af grafit til bilbatterier vil stige betydeligt. Der anvendes typisk 40-70 kg grafit til ét batteri til elbiler (foto: Shutterstock).

ponent i nye højteknologiske materialer, fx kulfiber. Fiskestænger lavet af kulfiber kender de fleste, men markedet og udbuddet af materialer, som indeholder kulfibre i en eller anden form er stort, og nye materialer er under



Anvendelsesområder for grafit.



Andel af den globale produktion af grafit i 2011 for verdens otte største producenter. Kinas dominerende rolle er markant med de fire største producenter.

udvikling, herunder det nye materiale grafen, som både er meget stærkt og har god elektrisk ledesevne. Udstrakt brug af kulstof-baserede komposit-materialer gør flyvemaskiner, biler og et utal af andre konstruktioner, meget lettere, sparer materialer og dermed energi.

Da ca. 40 % af al grafit bruges til ovnforinger og støbeforme (smeltedigler) i stål- og metalindustrien, varierer grafitforbruget med de økonomiske konjunkturer i jern- og stålindustrien. I perioden 2010 til 2013 varerede det globale forbrug mellem 1-1,2 mio. ton/år, men da forbruget til højteknologiske materialer og i batteri- og elektronikin-dustrierne forventes at stige, forventes der også en væsentlig stigning i efterspørgslen af grafit. Af særlig betydning i denne sammenhæng er ønsket om at reducere CO₂-udledningen fra transportmidler i bestræbelserne på at begrænse den globale opvarmning. Fremtidens biler forventes primært at være eldrevne, og der vil derfor være behov for at udvikle nye og lettere batterityper med større kapacitet. Her vil grafit og det afledte materiale grafen være væsentlige bestanddele. En sådan udvikling vil sætte grafitmarkedet under et voldsomt

pres, hvilket kan medføre markante prisstigning.

Geologi og ressourcer

Grafit, som i lighed med diamant kun består af kulstofatomer, er et almindeligt forekommende mineral, som dannes, når kulstof udsættes for højt tryk og temperatur i jordskorpen. Grafit dannes derfor i kulstofbærende bjergarter og findes især i gamle metamorfoserede og foldede aflejringsbjergarter, også kaldet suprakrustaler fra den Proterozoiske periode (2.500-600 mio. år siden). Sådanne bjergarter findes i mange lande også i Grønland.

Naturligt forekommende grafit kan opdeles i klump-grafit (eng. 'lump graphite'), flagede og finkornede (ofte betegnet amorf) forekomster. Klump-grafit forekommer i årer og er kendetegnet ved sin massive karakter, mens flaget grafit består af små individuelle grafitflager, der kan være op til flere centimeter i diameter. Amorf grafit består af små, meget tætte krystaller og har meget varierende grafitindhold, men normalt lavere renhed end de to øvrige typer.

Flaget grafit er efterspurgt, bl.a. fordi det kan renses til et meget rent slutprodukt. Derfor kan bjergarter med få procent grafit udnyttes, hvis grafitkrystallerne har en tilstrækkelig størrelse og kvalitet, og man kan opnå en høj pris. Af samme grund er der ikke tal for, hvor meget grafit der skal være i en bjergart, for at den kan udnyttes i kommerciel sammenhæng.

Kun de bedste kvaliteter kan bruges industrielt, og derfor vil mange grafitforekomster ikke komme i produktion. I disse år er der stor interesse for at finde nye grafitforekomster af en kvalitet, som opfylder de industrielle krav. De senere år har vist et markant skift mod et højere forbrug af den væsentligt dyrere flagede grafit. Flaget grafit kendes fra flere undersøgte og beskrevne forekomster i Grønland, bl.a. Amitsøq-forekomsten i Sydgrønland, hvor man brød grafit i perioden 1915-1925.

Produktion

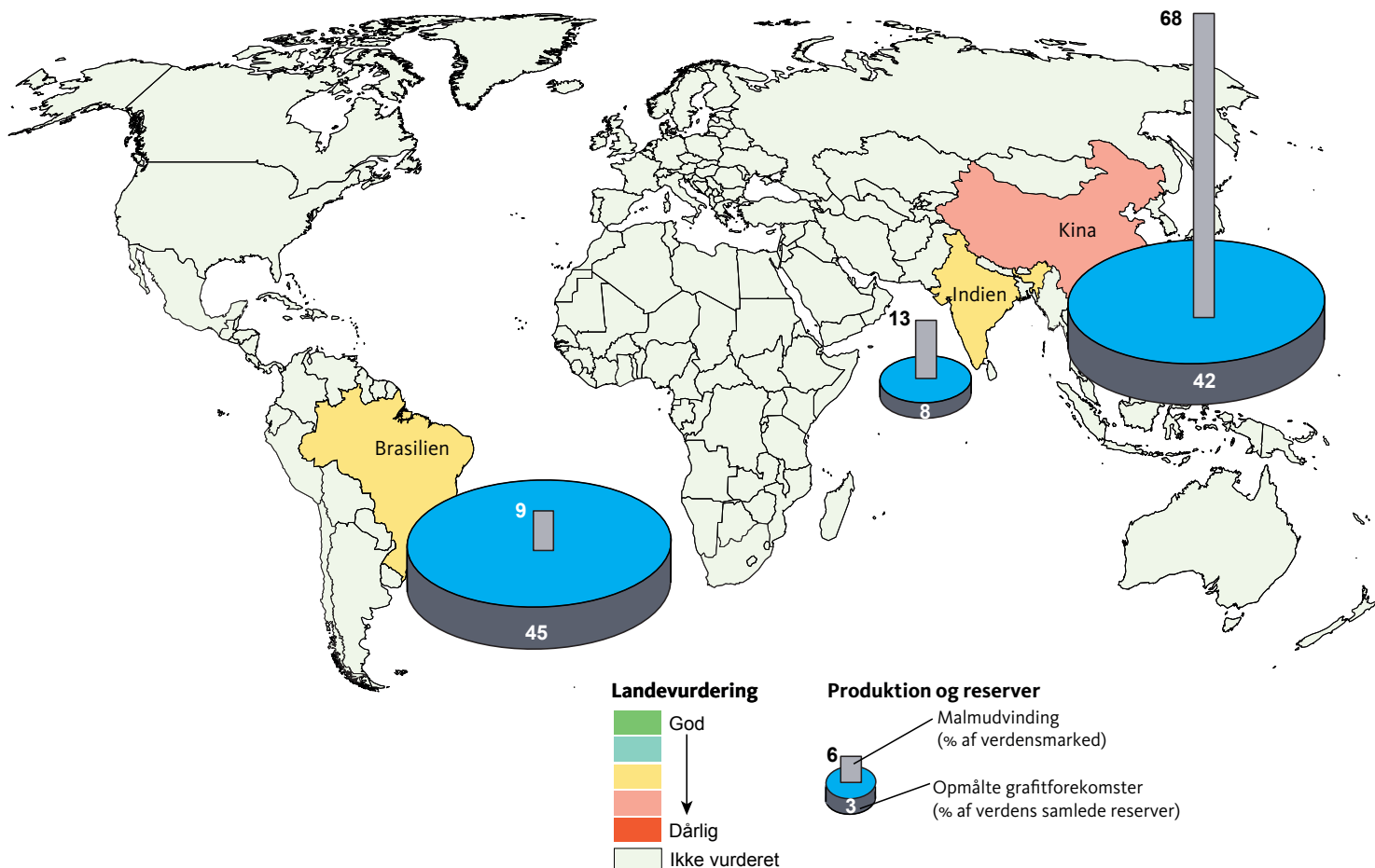
Grafitførende bjergarter brydes oftest fra overfladenære forekomster i åbne miner, hvor grafitindholdet typisk er på 5-15 %. Efter udsprængning af grafitmalmen transporteres den til et processeringsanlæg, som ofte ligger tæt på forekomsten.

Typen af grafit, hvilke andre mineraler malmen indeholder, samt mineralernes egenskaber afgør normalt, hvilke processer malmen skal gennemgå fra råmalm til koncentrat. Typisk knuses og formales malmen, hvorefter grafiten udvindes ved flotation. Her udnyttes man, at grafitflagerne separeres fra de øvrige mineraler, da de på grund af deres lave massefylde flyder ovenpå væsken og dermed kan 'skummes' fra de øvrige mineraler. Herefter fremstilles der, efter et antal tørrings- og sorteringstrin, forskellige kvaliteter af grafit efter størrelse af korn (flager) og renhed.

Efter denne behandling indeholder koncentratet 90-98 % grafit. Hvis der er behov for grafitkoncentrater med mere end 99 % kulstof, skal koncentratet gennemgå en kemisk behandling.



Produktionskæde for grafit som illustrerer de vigtigste trin, som metallet gennemgår fra udvinning til slutbrug.



Lande med de største grafitreserver og produktion i 2013. Lande og produktionsmængder med mindre end 2 % af det globale marked er udeladt. 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 (2013).

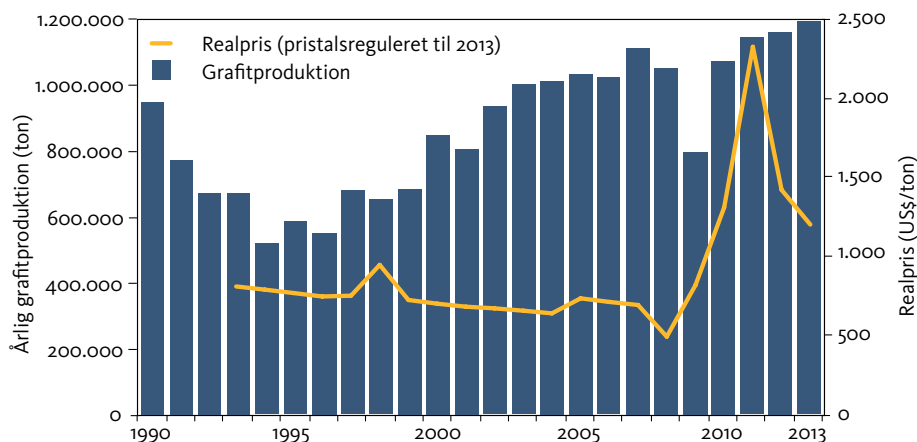
Klump-grafit udvindes hovedsagelig i Sri Lanka ved brydning af værtsbjergarten efterfulgt af håndsortering af en meget ren og efterspurgt grafit. Flaget grafit brydes i mange lande; efter brydning renses grafitmalmen inden videresalg og forarbejdning. Den bedste pris opnås for store flager og rene koncentrat.

De finkornede (amorfe) grafitmalme kan have et højt kulstofindhold (30-90 %), men på grund af deres karakter kan de være svære at oparbejde til meget rene grafitprodukter. Kina producerer store mængder finkornet grafit, oftest fra meget rene malmlegemer, og de malme gennemgår en mere simpel proces, ofte kun baseret på eksempelvis håndsortering og knusning.

I 2013 var Kina den største producent af grafit (ca. 800.000 ton/år) efterfulgt af Indien og Brasilien; de tre lande står tilsammen for 90 % af verdens grafitproduktion. De største importører af grafit var i 2013 Kina, USA, Canada, Tyskland og Sydkorea.

Genbrug og substitution

Der findes ingen præcise tal for genanvendelsesandelen for grafit, men kun en meget



Pris- og produktionsudvikling for grafit fra 1990 til 2013. Prisen for grafit afhænger stærkt af, hvilken kvalitet og type det drejer sig om. Her er prisen for naturlig storflaget grafit angivet.

lille del af den grafit, der anvendes til varmeisolerende formål, langt det største område, kan genanvendes. Det samme gælder for en række andre forbrugsområder. Der arbejdes på at øge genbrugsandelen fra batterier, men dette er fortsat på forsøgsstadiet.

Flaget grafit bruges ofte som tørt smøremiddel og kan delvist erstattes af molybdæn. Naturlig grafit kan også erstattes af syntetisk grafit, dvs. grafit udvundet af

affaldsprodukter fra anden industri eller andre kulstofbærende materialer. Syntetisk grafit fremstilles bl.a. fra 'calcined petroleum cake', et affaldsprodukt fra olieraffinerier og ved afbrænding af siliciumcarbide (SiC) ved høje temperaturer. Syntetisk grafit er ofte billigere end naturlig grafit og kan på visse områder erstatte naturlig grafit. Der er eksempler på meget høj kvalitet af syntetisk grafit, som kan opnå priser på helt op til 55.000 kr./ton og dermed flere gange højere end naturlig højkvalitet grafit.



Grafrit fra Tasiilaq-området i Østgrønland. Grafritstykket på billedet er ca. 20 cm i diameter. (foto: GEUS).

Marked og priser

For grafrit er det almindeligt, at en mine med tilhørende processeringsanlæg producerer mange forskellige grafritprodukter. Herved skabes der en betydelig værditilvækst ved minen, da det produkt, der sælges, ikke skal viderebearbejdes yderligere, før det kan bruges af industrien. Handlen med grafritprodukter er ofte bilateral, dvs. fra producent til aftager uden om råstofbørser. Markedet er velkonsolideret og stærkt konkurrencepræget for de enkelte producenter, men domineret af China South Graphite Hunan som i 2011 alene udgjorde 37 % af det samlede marked.

Priserne på naturlig grafrit afhænger af renhed og størrelserne på flager og korn. Der findes mange forskellige grafritprodukter, men overordnet er markedet domineret af de tidligere nævnte tre typer; klumpgrafrit, flaget grafrit og finkornet (amorft) grafrit. Den amorfe type er billigst (3.000 kr./ton i 2013), mens flaget og klumpgrafrit af højeste kvalitet var 14-17.000 kr./ton. i 2013. Set over tid varierer priserne noget i forhold til hin-

anden, hvilket afspejler ændringer i udbud og efterspørgsel. Grafritpriserne har haft kraftige udsving gennem de seneste 10 år. Prisen var lav og generelt faldende fra 1990'erne og frem til 2008 pga. overproduktion i Kina. Modsat mange andre mineralske råstoffer steg prisen markant efter 2008, hvilket primært skyldes efterspørgsel inden for nye anvendelsesområder samt bekymring over Kinas daværende aftagende produktion og eksport. Efterfølgende har afmatningen i Kina og manglende vækst i Japan, Europa og USA resulteret i, at prisen er halveret i løbet af de sidste to år.



Grafrit er nok mest kendt for anvendelsen til blyanter. Minerallet har en laggitstruktur, der nemt bryder op langs særlige planer. Denne afsmittende effekt er blevet anvendt i årtusinder som farvestof. Ordet grafrit stammer fra græsk 'graphein' som betyder at skrive (foto: Shutterstock).

Forsyningsikkerhed

De globale grafritressourcer er meget store og tilstrækkelige til at dække markedet i lang tid. De kortlagte reserver er koncentreret i Kina, Brasilien og Indien, men grafritforekomster findes i mange lande. Selv med en forventet stigning i forbruget til bl.a. batterier til elbiler og andre højteknologiske materialer vil behovet kunne dækkes med nye miner, eventuelt kombineret med brug af syntetisk grafrit. Der kan dog blive flaskehalse i forhold til særlige

grafrittyper, især storflaget grafrit (>0,85 mm i diameter), ligesom der trods spredte reserver er risiko for at få lande dominerer markedet, hvorved grafrit kan blive et kritisk råstof i andre lande. Grafrit har stor økonomisk betydning og produceres i øjeblikket i få lande. Alene derfor er grafrit af EU karakteriseret som et kritisk råstof.

Kilder og videre læsning

Fraser Institute Annual: Survey of Mining Companies 2013:

www.fraserinstitute.org/uploadedFiles/fraser-ca/Content/research-news/research/publications/mining-survey-2013.pdf

Graphene Flagship: www.graphenea.com

Graphit Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe:

www.deutscherohstoffagentur.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoff-steckbrief_c.pdf?jsessionid=BB02EF2E5CC958751C50BDFB5996DFCD.1_cid284?__blob=publicationFile&v=6

Graphite Statistics and Information USGS: minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite/index.html#myb

Northern graphite: northerngraphite.com

Report on Critical Raw Materials for the EU - Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. May 2014: www.ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf

Report on Critical Raw Materials for the EU - Critical raw material profiles: www.ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-critical-material-profiles_en.pdf

World Mineral Statistics data - British Geological Survey: <http://bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/world-Statistics.html>



GEUS

Adresse
Videncenter for Mineralske
Råstoffer og Materialer

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

E-post: info@mima.dk
Internet: mima.geus.dk

Kontakt
Per Kalvig, centerleder
Telefon: 91 33 38 64
E-post: pka@geus.dk

ISSN: 2246-7246

Mi
Ma

VIDENCENTER
FOR MINERALSKE
RÅSTOFFER OG
MATERIALER