

KAPITEL 18

FIGUR 137. Kobber udvundet og lavet til kobbertråd til verdensmarkedet er et vigtigt mineralsk råstof. Shutterstock.

MINERALSKE RÅSTOFFER

FORSKELLIGE TYPER AF MINERALSKE RÅSTOFFER

Begrebet mineralske råstoffer er fællesbetegnelsen for de bjergarter, mineraler og grundstoffer, som samfundet udnytter til alt fra smykker og sølvpapir til stål, glas og mursten. De mineralske råstoffer er karakteriseret ved, at de er dannet over millioner af år og ikke gendannes inden for overskuelig tid. I modsætning hertil er råstoffer fra planteriget, der kan dyrkes. Man kan ofte ud af sammenhængen forstå, hvilke typer råstoffer der hentydes til, og derfor bruger vi i denne bog ofte bare begrebet råstoffer om de mineralske råstoffer.

Men for at noget er et råstof, skal det have en værdi for nogen. I løbet af historien har mennesker fundet ud af at udnytte flere og flere mineraler, og dermed øges både antallet og mængden af råstoffer der anvendes, selvom nogle enkelte udgår. Industrien søger hele tiden efter nye egenskaber i materialerne, og i dette arbejde er der derfor behov for at finde mineraler, som tilfører netop disse egenskaber. Fra tid til anden bringer dette mineraler i spil, som ikke tidligere har været brugt. Trods den kendsgerning, at hoved-

Mineralklasser		
Mineralgruppe	Almindelige mineraler	Kemisk sammensætning
Silikater	Kvarts Alkalifeldspat Biotit Pyroxen Amfibol Olivin Muskovit Plagioklas	SiO_2 $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$ $(\text{Na}, \text{K})\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}2(\text{OH})$ $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ $\text{KAl}_2(\text{Si}_3, \text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$
Karbonater	Kalcit Dolomit	CaCO_3 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Oxider	Hæmatit Magnetit Korund	Fe_2O_3 Fe_3O_4 Al_2O_3
Sulfider	Galena Pyrit Sphalerit	PbS FeS_2 ZnS
Sulfater	Gips Anhydrite	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ CaSO_4
Halider	Stensalt Fluorit	NaCl CaF_2
Grundstoffer	Sølv Guld Graft/diamanter	Ag Au C

FIGUR 138. Klassifikation af mineraler. Af MiMa (2019).

parten af grundstofferne i det periodiske system anvendes til industrielle formål, kan langt størstedelen af verdens bjergarter ikke umiddelbart bruges med de teknologier, vi har til rådighed i dag. Disse bjergarter kan derfor opfattes som potentielle råstoffer, da de måske en dag bliver fremtidens råstoffer.

POTENTIELLE RÅSTOFFER

Som eksempel på et råstof, som måske kan få betydning i fremtiden, kan nævnes mineralet feldspat. Det er et af de mest almindelige mineraler i jordens skorpe og består af grundstofferne silicium, aluminium, natrium, kalium og oxygen. I dag er feldspat et af råstofferne til fremstilling af porcelæn. I Grønland åbnede der i 2019 en feldspatmine, hvor feldspatten skal bruges til fremstilling af glasfiber. Man håber, at man i fremtiden kan finde energivenlige metoder til at udnytte feldspats indhold af aluminium. Hvis det er tilfældet vil verden få tilført en kæmpe aluminiumsressource, som i dag ikke kan udnyttes. Tilsvarende findes der mange mineraler, som indeholder grundstoffet jern, som måske en dag vil kunne udnyttes. Med dagens teknologi er det ikke bæredygtigt at udvinde jern fra sådanne mineraler, og

derfor omtales denne gruppe mineraler ikke som jernråstoffer. Med andre ord, begreberne jernmineraler, kobbermineraler, aluminiummineraler osv. bruges kun om de mineraler, som man i dag er i stand til at udvinde disse metaller fra.

Der er også eksempler på at mineraler, som tidligere har været anvendt, ikke anvendes længere, dvs. at de er taget ud af brug. Det gælder særligt for nogle af de råstoffer, som har vist sig at være miljø- eller sundhedsskadelige. For eksempel har det vist sig, at mineralet asbest kan forårsage lungekræft, og råstoffer, som består af miljøgifte, fx kviksølv og cadmium, søger både industrien og myndighederne ligeledes at udfase.

De mineralske råstoffer kan inddeles i tre grupper, alt efter hvilke dele af bjergarten der anvendes:

- Hele bjergarten anvendes.
- Kun bestemte mineraler fra en bjergart anvendes.
- Ét eller flere af de grundstoffer som udgør et mineral anvendes.

Disse grupper beskrives i det følgende.

BJERGARTER SOM RÅSTOF

I denne råstofgruppe udgør sten og skærver, som bruges til beton, langt den største gruppe. Skærver er sten, som sprænges ud i et stenbrud og efterfølgende knuses og sorteres, så de har den til formålet rigtige størrelse. Sten og grus graves ud af grusgrave. Både sten og skærver bruges sammen med sand til beton til fremstilling af huse, broer og veje. Alene i Europa bliver der brugt omkring 3 mia. ton sand, grus og skærver om året. Målt i vægt er disse råstoffer de vigtigste. En lille del af bjergarterne bliver brugt til brosten, kantsten til fortove, stenbordplader, beklædning af bygningsfacader, sten til trappetrin, skulpturer og sokler, ofte omtalt som facadesten.

Kalk består næsten kun af et enkelt mineral og er et andet eksempel på en bjergart, som udnyttes uden at bjergartens bestanddele adskilles. En meget stor del tilsættes landbrugsjorden for at hæve jordens pH-værdi, hvilket forbedrer tilgængeligheden af plantenæringsstoffer. Kalk som bjergart bruges også som råstof til cementfremstilling og som fyldstof i asfalt, plastik, maling og papir. Der er store forekomster af kalk i Danmark.

A



B



E



FIGUR 139. Mineraler i billeder.

A. Mineraliet kalifeldspat.

B. Grafit som det kan forekomme i naturen. På grund af mineralets krystalstruktur gnides de enkelte lag let fra hinanden, en egenskab der udnyttes i blyanter.

C. Ubehandlet diamant fundet i en kimberlit-bjergart. For at blive til et smykke skal den slibes i facetter. Værdien afhænger af størrelsen, gennemsigtigheden, farven og slibningen.

D. Guld nugget er betegnelsen for guldkorn, som er større end ca. 1 mm. Guld nuggets findes kun i sedimentære guldforekomster. Det er meget sjældent, at der findes så store guld nuggets som her, langt hovedparten af det guld der produceres i minerne er $<0,3$ mm.

E. Mineraliet kromit er det vigtigste mineral til udvinding af krom og ses som mørke pletter i bjergarten. Kromit kan bl.a. identificeres ved at det har brun stregfarve.

F. Magnetit er, som det fremgår af navnet, et af de mest magnetiske mineraler.

G. Rosenkvarts er en af den mange varianter af kvarts. Farven skyldes sporstofferne mangan, titan og jern.

Fotos fra Shutterstock.

C



F



D



G



I 2018 blev der ifølge Danmarks Statistik udvundet 2,8 mio. ton fra danske forekomster.

MINERALER SOM RÅSTOF

Mineralerne kan opdeles i syv grupper, som underinddeles i tre grupper.

Den vigtigste gruppe er de mineraler, som har et højt indhold af eftertragtede grundstoffer, fx metaller. De omtales ofte som malmmineraler. Et eksempel fra denne gruppe er mineralet sphalerit, som består af zink (Zn) og svovl (S), der kan adskilles ved en ristningsproces så begge grundstofferne kan bruges industrielt. Et andet eksempel er mineralerne hæmatit og magnetit, som begge består af jern (Fe) og oxygen (O), hvor grundstoffet jern udnyttes.

Den anden gruppe omfatter mineraler, som har kemiske eller fysiske egenskaber, der gør mineralet interessant til bestemte formål. Det kan fx være mineralets kemiske sammensætning, vægtfylden eller hårdheden, der gør mineralet brugbart til formålet. Eksempler på dette er:

- Mineralet feldspat (figur 139. a) der på grund af sin kemiske sammensætning bru-

ges til keramiske produkter, som eksempelvis håndvaske og toiletter.

- Mineralet granat der bl.a. bruges til sandblæsning, fordi det er tungt og hårdt og ikke nemt går i stykker, når det rammer den overflade, der skal sandblæses.
- Mineralet korund der bruges som slibemiddel, fordi det er næsten lige så hårdt som diamant, men langt billigere.
- Mineralet talk der er så blødt, at det går i stykker ved blot den mindste berøring og derfor bruges til talkum, som smøremiddel og til kosmetik.
- Mineralet grafit der også er meget blødt, og som let spalter i flagede krystallag, så når grafit i en blyant gnides mod en overflade, farver det sort, fordi krystallagene overføres til overfladen (figur 139. e).

Den sidste gruppe mineraler bruges på grund af deres sjældenhed eller skønhed. Gruppen omfatter ædelsten som fx rubiner, safirer, smaragder og diamanter. Ud over at være sjældne er ædelstenene typisk karakteriseret ved, at de er gennemsigtige, har høj hårdhed, høj glans og ofte stærke farver. Én af smykkestenene, diamant, består kun af grundstoffet kul og er derfor både et mineral

og et grundstof (figur 139. c).

GRUNDSTOFFER SOM RÅSTOF

Enkelte grundstoffer optræder i naturen som 'sig selv', dvs. de ikke danner kemiske forbindelser med andre grundstoffer. Det gælder bl.a. for guld (Au), kviksølv (Hg), grafit (C) og diamant (C). Denne gruppe råstoffer bruges både til små eksklusive nichemarkeder (ædelstenene) og som råstoffer til store industriområder. Eksempelvis bruges grafit til Li-ion-batterier, i støberier og som smøremiddel; kviksølv har været meget brugt til at oprense guldalm, men bruges ikke længere fordi det er en farlig miljøgift.

De mineraler, som indeholder metaller, som udnyttes, kaldes som nævnt ofte for malmmineraler. Når de brydes i en mine, omtaler man de mineraler, som indeholder de værdifulde grundstoffer som malmen; fx kobbermalm, zinkmalm og guldalm.

Metallerne i malmmineralerne kan ikke umiddelbart udnyttes; de skal først adskilles fra mineralets øvrige grundstoffer. Det kan gøres på mange forskellige måder, og valget af metode afgøres af mineralernes kemiske sammensætning. De frigjorte metaller skal

derefter yderligere behandles; de skal oprenses/raffineres, inden man har de rene metalprodukter.

GRUNDSTOFFER

De grundstoffer som mineralerne er opbygget af, er de mineralske råstoffer industrien anvender. Kun meget få grundstoffer danner deres egne mineraler, som eksempelvis guld og diamant. Så når geologerne skal finde metallerne i naturen, leder de efter de mineraler, som de ved, at metallerne findes i. Mineralernes fysiske og kemiske egenskaber er bestemt af de grundstoffer, som opbygger mineralernes krystalstruktur, og som også fremgår af mineralets kemiske formel. Både de fysiske og kemiske egenskaber har betydning for, om de kan anvendes af industrien, og dermed om mineralet også er et mineralsk råstof.

MINERALGRUPPER

Mineraler er naturligt forekommende, faste og uorganiske stoffer med en defineret kemisk sammensætning og kystalstruktur. Nogle er meget simple og består af ét grundstof (som grafit og diamant, som begge kun

FIGUR 140. 14 almindelige mineralers egenskaber. Af MiMa (2019).

Plagioklas Hvid, grå To spalteretninger næsten vinkelret på hinanden Hårdhed 6-6,5 $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	Muskovit Farveløs Spalter i tynde, bøjelige blade Hårdhed 2,5-3 $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	Hæmatit Sort, mørk Røddbrun stregfarve Hårdhed 6 Fe_2O_3
Kvarts Farveløs, hvidlig Glasglans og muslet (ujævn) brudflade Hårdhed 7 SiO_2	Biotit Sort Spalter i tynde, bøjelige blade Hårdhed 2,5-3 $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	Gips Hvid, grå eller brunlig Hvid stregfarve To spalteretninger (66° og 114°) Hårdhed 2 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Alkalifeldspat Rødlig To spalteretninger næsten vinkelret på hinanden Hårdhed 6 $(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	Olivin Grøn, glasglans Svag spaltelighed Hårdhed 6,5-7 $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	Stensalt (halit) Farveløs Tre spalteretninger Saltsmag Hårdhed 2,5 NaCl
Amfibol Mørk, sort To spalteretninger 60° og 120° på hinanden Hårdhed 5-6 $(\text{Na,K})\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})$	Calcit Farveløs, hvid. Reagerer med syre Tre spalteretninger Hårdhed 3 CaCO_3	Galena Blygrå med metalglans blygrå stregfarve Spalter i terningform Hårdhed 2,5 Høj massefylde: $7,6 \text{ g/cm}^3$ PbS
Pyroxen Sort eller grøn To spalteretninger vinkelret på hinanden Hårdhed 5-6 $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$	Magnetit Sort Sort stregfarve Magnetisk Hårdhed 6 Fe_3O_4	

består af grundstoffet C) eller få grundstoffer (som fx almindeligt salt, NaCl); andre er meget komplekse, også selvom mineralerne er meget almindelige. Det gælder fx hornblende, som har formlen $(K,Na)_{0-1}(Ca,Na,-Fe,Mg)_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$ og feldspat $((Na,K,Ca,Ba)(Al,Si)_4O_8)$, som begge er meget almindelige mineraler. Stofferne i parentes betyder, at disse stoffer kan indgå i varierende mængder i mineralerne, hvilket betyder, at der kan være små variationer i hornblende og feldspats egenskaber.

Der er registreret mere end 5.000 forskellige mineraler, som opdeles i forskellige hovedgrupper: silikater, oxider, karbonater, sulfider og halider baseret på deres anion. Hvert af disse mineraler har nogle veldefinerede egenskaber, fx hårdhed, magnetiske egenskaber, vægt, farve og glans (figur 140).

MINERALERS KEMISKE SAMMENSÆTNING

Fra et råstofsynspunkt er mineralernes kemi særligt interessant, eftersom det er kemien der bestemmer, hvilke grundstoffer der eventuelt kan adskilles fra mineralet og bruges. Ofte kan mineralernes grundstoffer dog ikke frigøres på en økonomisk rentabel

måde. Derfor leder geologerne efter de mineraler, som kemisk set er simple. For at få grundstofferne i mineraler ud, må de løsrives fra de mineraler, de er bygget ind i. Enkelte mineraler er vandopløselige, og mineralets grundstoffer kommer på ionform, hvis mineralet kommer i vand. Dette kender vi fra køkkesalt, NaCl, som består af natrium og klor. Andre kan opløses i syrer eller baser, men de fleste mineraler skal behandles under høje temperaturer for at nedbryde mineralet og frigøre grundstofferne. Når et mineral opløses, indeholder koncentratet også små mængder af andre grundstoffer, og derfor skal koncentratet oftest oprenses/raffineres efterfølgende. Raffineringen kan fx foretages ved hjælp af elektrolyse, hvor grundstofferne separeres på baggrund af deres ionladning. Det er en energikrævende proces at frigøre råstoffer og raffinere dem til rene råstoffer, der kan bruges i industrien.

MINERALERS HÅRDHED

Hvert mineral har en given hårdhed, som er et af de kendetegn geologer bruger, når de skal bestemme et mineral. Hårdheden defineres på Mohs hårdhedsskala (figur 141), som viser, hvordan man kan vurdere hård-

FIGUR 141. Mohs hårdhedsskala. Ti forskellige mineraler definerer hårdhedstrin fra 1-10. Efter Johnsen (2000).

Mineral	Hårdhed på skala	
Diamant	10	
Korund	9	
Topas	8	← Murbor
Kvarts	7	
Feldspat	6	← Stålsøm
Apatit	5	← Knivblad eller glasplade
Fluorit	4	
Kalcit	3	← Kobbermønt
Gips	2	← Fingernegl
Talk	1	

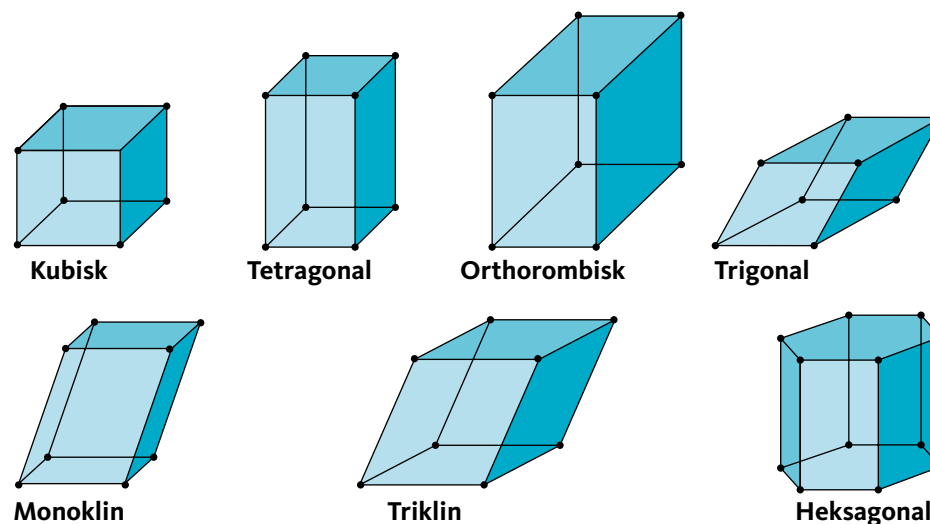
heden. Princippet er, at et mineral kan ridse de mineraler, der er blødere, end dem selv. På denne måde er ti mineraler fastlagt til at have hårdhed 1-10. Diamant er med hårdhed ti det hårdeste mineral. Diamant består af grundstoffet karbon (C) og dannes under høje tryk og temperaturforhold. Diamanter kan næsten ikke ridses, men kan derimod selv bruges som skæreværktøj og som slibemiddel, når man fx skal slibe i andre mine-

raler. I den bløde ende af hårdhedsskalaen findes mineralerne talk og grafit med hårdheden 1. Grafit er opbygget af tynde kulstoflag, som har meget lille sammenhængskraft. Ved let berøring går de enkelte krystallag fra hinanden.

Interessant nok består både det hårdeste og et af de blødeste mineraler kemisk alene af grundstoffet kulstof, nemlig diamant og grafit, men de har til gengæld helt forskellige krystalstrukturer.

MAGNETISKE MINERALER

Nogle mineraler er så magnetiske, at de tiltrækkes af en magnet. Denne egenskab gælder for visse af de jernholdige mineraler, men langt fra for dem alle. Mineralen magnetit er et af de mest magnetiske mineraler og bruges til fremstilling af jern. Men også jern-nikkelmineraler og jern-titanmineraler er ofte svagt magnetiske. Mineralernes magnetiske egenskaber udnyttes bl.a., når man skal adskille en bjergarts forskellige mineraler, fx magnetit- og siliciummineraler fra en jernmine. Du kan selv afprøve med en magnet på stranden, hvor man kan sortere de mørke magnetitkorn fra de lyse kvartskorn.



FIGUR 142. Oversigt over de syv krystalformer. Efter Johnsen (2000).

Mineralernes magnetiske egenskaber bruges også til mineralefterforskning, når man skal finde en ny jern- eller nikkelmine. Her kan man ved geofysiske metoder fra fly måle, hvor der er områder med forhøjede magnetiske egenskaber, hvilket kan være tegn på en jern- eller nikkelforekomst.

DENSITET

Hvor tunge mineralerne er, bestemmes især af hvilke grundstoffer, der indgår i mineralet; tunge grundstoffer giver tunge mineraler. Et meget almindeligt tungt mineral er minera-

let galena, som består af grundstofferne bly og svovl. Galena er et af de vigtigste blymineraler. Også wolfram, som på engelsk hedder tungsten, er et mineral med meget høj vægtylde. Et andet mineral, baryt (BaSO_4), kaldes tungspat på grund af dets høje densitet.

FARVER OG GLANS

Mineralers farve og glans kan også bruges til at identificere et mineral. Det er mineralernes kemiske sammensætning, der bestemmer deres farve. Farven på mine-

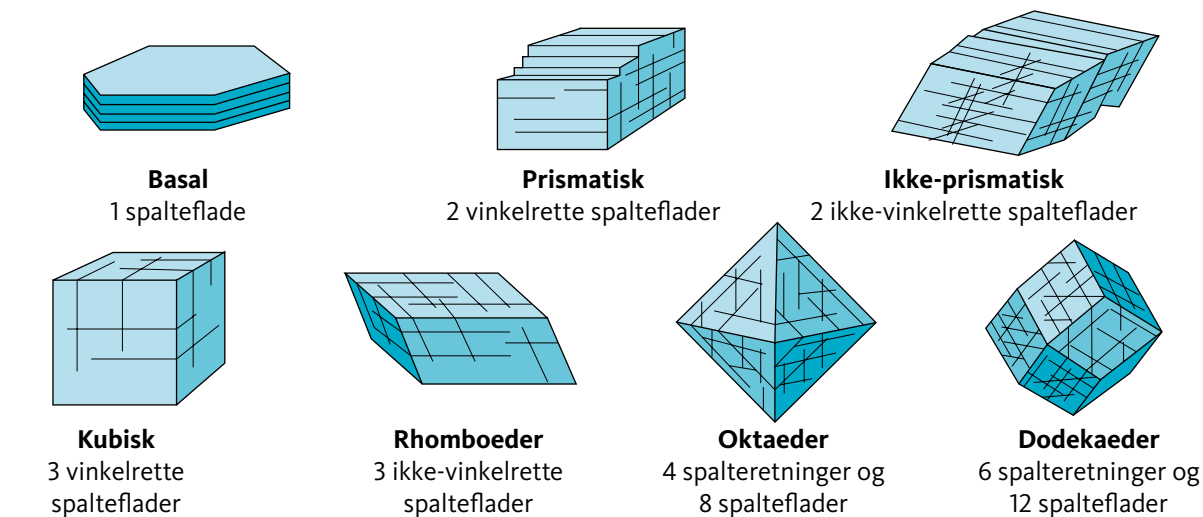
raler afhænger af, hvilke grundstoffer der findes i dem. Selv meget små mængder af et grundstof kan ændre farven på et mineral. Kvarts findes fx i en klar udgave, som lyserød rosakvarts (figur 139. g), som den violette ametyst og i form af en grålig røgvarts. De enkelte grundstoffer kan også give forskellige mineraler forskellig farve alt efter oxidationstrin. Jern kan oxideres til både Fe^{2+} og Fe^{3+} , som giver henholdsvis grønne og røde farver. Nu om dage produceres farvepigment til maling og lignende ofte syntetisk, men pigmenterne findes som mineraler i naturen.

Den måde, et minerals overflade reflekterer lys, giver mineralet en særlig glans. Glansen opdeles i forskellige beskrivende grupper: glasglans, perlemorsglans, fedtglans, silkeglans og diamantglans. De uigennemsigtige mineraler kan have metalglans, som så kan have forskellige farvetoner.

STREGFARVE

Man taler også om et minerals stregfarve. Man finder stregfarven ved at tegne med mineralet på en uglaseret, hvid keramisk plade.

Hvis mineralet afsætter en stregfarve, er det mineralets farve i pulveriseret form, man ser.



For nogle mineraler kan denne afvige betydeligt fra mineralets egen farve. Mange af sulfiderne og oxiderne har en karakteristisk stregfarve. Stregfarvemethoden kan kun lade sig gøre med mineraler, der er blødere end porcelæn. Porcelæn har hårdhed 7, så de fleste (hårde) silikatmineraler har derfor ingen stregfarve.

KRYSTALFORM

Grundstofferne i mineralerne arrangerer sig i et krystalgitter, som giver mineralet sin krystalform. Krystallografi er en hel videnskab

FIGUR 143. Mineralers spaltelighed. Mineralerne har en tendens til at brydes langs særlige spalteflader. Det er derfor et af kendetegnene man kan bruge til bestemmelse af mineralet. Efter Johnsen (2000).

for sig, som beskriver de symmetrielementer, som mineralet er opbygget af (figur 142). Der er syv krystalklasser og 32 former inden for disse. Der er krystaller der gror i tynde flager, der er mineraler der gror i aflange 8-kanter og nogle, der danner kuber. Ofte kan mineralerne ikke udvikle deres perfekte krystalform i en bjergart, fordi de ikke har plads og tid til at udvikle krystalformerne før de størkner. Krystalformen er årsagen til, at diamanter og grafit er så forskellige, selvom de jo begge kun består af kulstof (C).

SPALTELIGHED

Krystalgitteret gør også, at mineraler har nogle flader, de især vil dele sig/bryde efter; det er krystallets spalteflader (figur 143). Det betyder, at hvis et mineral slås i stykker, vil det gå i stykker langs disse flader. Vinklerne mellem spalteflader er vigtige indikatorer, der kan hjælpe med at bestemme mineralerne. For eksempel kan mineralerne amfibol og pyroxen, som i nogle udgaver kan være meget ens mht. farve og glans, adskilles ved, at pyroxen har to på hinanden vinkelrette spalteflader, mens amfibol har 120° og 60° mellem spaltefladerne.

NØGLEBEGREBER

- Mineralgrupper
- Mohs hårdhedsskala
- Magnetisme
- Krystalform
- Densitet
- Glans
- Farve
- Stregfarve
- Spaltelighed og spalteflader
- Mineralsymmetri

REFERENCER

Johnsen, O. (2000). *Mineralernes verden*. Gyldendal A/S.