

Hard tegen hard:

over de hardheid van mineralen

door J.G. Schilthuizen

Bij het determineren van mineralen met eenvoudige hulpmiddelen is het bepalen van de hardheid nog steeds van groot belang. In dit geval wordt de krashardheid bedoeld, de weerstand tegen krassen met andere materialen. Er zijn namelijk nog verscheidene andere methoden (slijpen, boren en indrukken), waarmee wordt getracht de hardheid van een mineraal te bepalen.

Reeds in 1784 wees A.G. Werner op het belang van de hardheid bij de determinatie van mineralen. Zijn methodiek was vooral op de toenmalige mijnbouwer afgestemd. Die placht niet met een hardheidssetje op zak te lopen. Er werden dan ook slechts zes hardheidsgraden onderscheiden, die men kon vergelijken met de hardheid van een mes, een vijl en andere gereedschappen.

De 10-delige schaal die wij nu nog steeds gebruiken, werd omstreeks 1820 door Friedrich Mohs samengesteld en gepubliceerd: de "Schaal van Mohs", met talk (H=1) als zachtste mineraal en

diamant (H=10) als hardste (zie de tabel van afb. 1). De waarden van 1 t/m 10 op deze schaal zijn relatief en geen maat voor de absolute hardheid. Toch kunnen wij thans vaststellen, dat Mohs indertijd bij de keuze van zijn testmineralen bijzonder gelukkig is geweest. Enerzijds streefde hij ernaar zoveel mogelijk gelijke stappen in de schaal aan te brengen en anderzijds testmineralen te kiezen, die vrij gemakkelijk verkrijgbaar waren. Met moderne meetmethoden is aangetoond, dat elk materiaal in de schaal van Mohs tot hardheid 9 (korund) ongeveer eenzelfde factor harder is dan het voorgaande. Van 1 tot 9, het gebied dat vrijwel alle mineralen bestrijkt, is de schaal bijna logaritmisch. Bij de stap van 9 naar 10 houdt de regelmaat echter op en wordt een sprong gemaakt, die veel groter is dan de voorgaande.

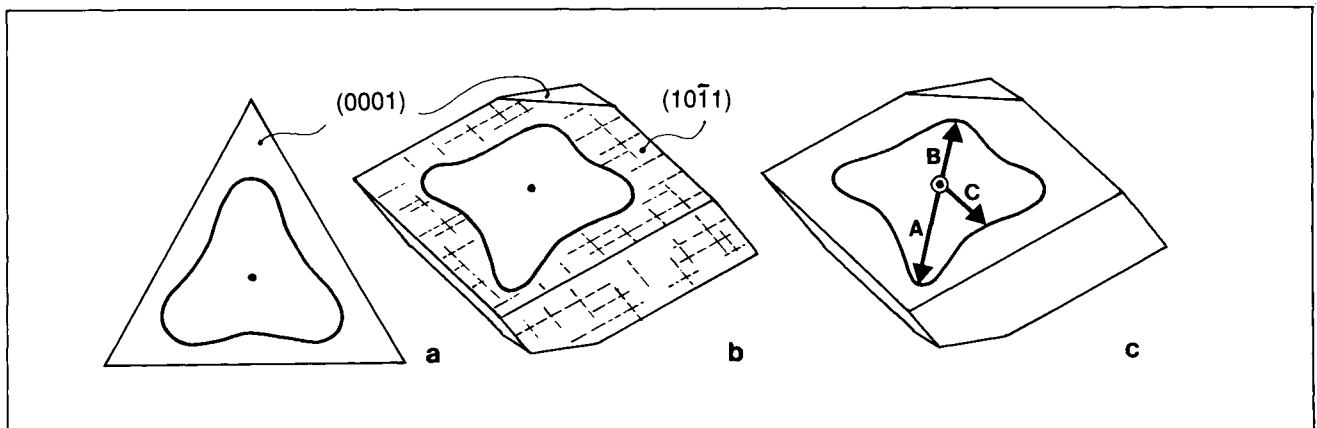
Mohs heeft voor de toepassing van zijn schaal een aantal voorschriften gegeven, waar men zich tegenwoordig niet meer aan houdt. Zo heeft hij de eerste twee testmineralen, talk en gips, vrij nauwkeurig gedefinieerd. Als talk gebruikte hij "Veronees krijt", een dichte talkschist. Ook voor gips koos hij een dichte variëteit en geen kristallen, wegens de verschillen in hardheid die in een gipskristal voorkomen. Hij was er ook tegen om door wederkerig krassen van mineralen de hardheid te bepalen. Hij gaf de voorkeur aan schaven aan de randen, om de belastingsverschillen te vermijden die bij gelijke druk op een scherpe punt en een vlak ontstaan. Tegelijk integreerde hij daarmee de hardheidsverschillen (hardheidsanisotropie) in de verschillende richtingen van een kristal.

Voor de dagelijkse praktijk gebruikte Mohs overigens tot hardheid 7,5 à 8 geen testmineralen, maar het traditionele mes en de vijl. Tot hardheid 6 gebruikte hij een mes om aan de randen van een monster te schaven en tot ca. hardheid 8 een vijl. Uit de hoeveelheid afgeschaafd poeder en de klank van de vijl leidde hij dan de hardheid af. Hij beroemde zich er op, zo de hardheid van een monster tot op tienden nauwkeurig te kunnen bepalen.

Als we nu een mes gebruiken voor een hardheidsbepaling, dan moeten we wel bedenken dat goed messenstaal tegenwoordig veel harder is dan toentertijd. Doordat oude tabellen soms zonder meer worden overgenomen kunnen gemakkelijk afwijkingen ontstaan tussen een tabel en de eigen waarneming. Zo kan kwarts (H=7) met een scalpel nog net worden gekrast, maar met een goedkoop zakmes lukt dat beslist niet. Zelfs een ouderwetse

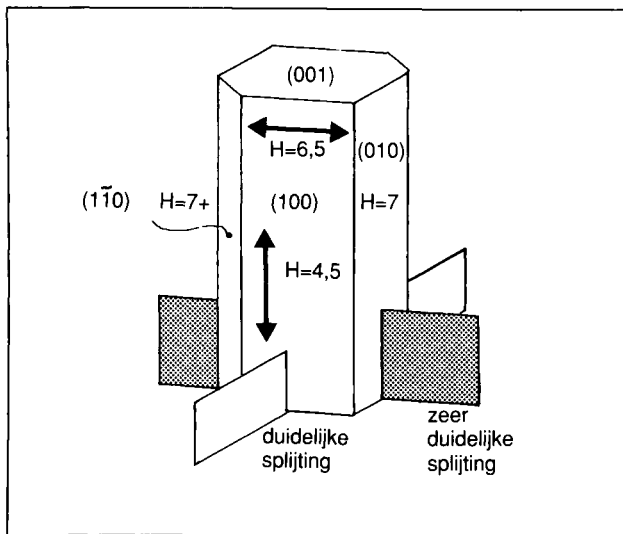
materiaal	Mohs	Vickers	Mohs-Wooddell
talk	1	2.4	1
gips	2	35	2
calciet	3	109	3
fluoriet	4	189	4
apatiet	5	53	5
veldspaat	6	79	6
kwarts	7	1120	7
topaas	8	1427	8
korund	9	2060	9
diamant	10	~10000	42.5

Afb. 1. Hardheidsschalen volgens drie verschillende meetmethoden. Mohs deelt de mineralen in volgens een relatieve "krasrangorde". De schaal van Vickers vermeldt de druk in kg/mm^2 die nodig is om een materiaal permanent te vervormen. De Mohs-Wooddell-schaal vermeldt de relatieve weerstand tegen afslijpen.



Afb. 2. De hardheidscurven van calciet.

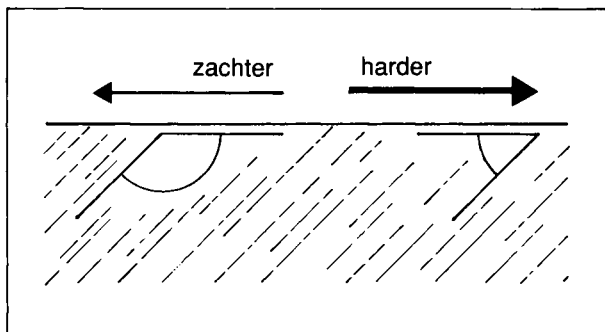
Afb. 3. Distheen, met zijn slijtrichtingen en de invloed daarvan op de hardheid van verschillende vlakken.



stalen grammofoonnaald, waarvan men zou verwachten dat die van het beste materiaal werd gemaakt, komt niet verder dan H=6. Een gewone stopnaald haalt dat zelfs niet.

(Overigens is het gebruik van naalden met verschillende hardheid wellicht een geschikte techniek om onder de microscoop nog de hardheid van zeer kleine stukjes mineraal te kunnen meten. Voor andere technieken om de krashardheid te bepalen mogen wij verwijzen naar het Gea-nummer "Mineralen-determinatie" van sept. 1984.)

Velen vonden de aanpak van Mohs te weinig accuraat en zochten naar nauwkeuriger methoden. Zo is o.a. de "sclerometer" ontwikkeld. Daarbij wordt het mineraal op een beweegbare tafel aangebracht, met het te onderzoeken vlak horizontaal. Daarop rust een diamantpunt, die met verschillende gewichten kan worden verzwaard. Bepaald wordt welk gewicht juist voldoende is om een kras te veroorzaken als het mineraal onder de diamantpunt wordt weggetrokken. Met dit apparaat werd ontdekt dat verschillende vlakken van eenzelfde kristal in hardheid kunnen verschillen en ook dat één vlak hardheidsverschillen kan vertonen, afhankelijk van de richting waarin het wordt gekrast (hardheidsanisotropie). In afb. 2a en 2b worden de hardheidscurven op twee vlakken van calciet getoond. Dergelijke curven worden gelezen vanuit het aangegeven middelpunt. Uit afb. 2c kan men afleiden dat het betreffende kristalvlak in richting A een grotere krashardheid vertoont dan in de tegenovergestelde richting B. Omdat in dergelijke curven terwille van de duidelijkheid de verschillen meestal worden overdreven, mag men uit afb. 2c vooral niet afleiden dat de hard-



Afb. 4. Verschillende grootten van de krashardheid op een enkel kristalvlak, afhankelijk van de hoek die de slijtrichting vormt met de richting van de kras.

heid in richting A ca. 2x zo groot is als in richting C!

De hardste vlakken van een kristal zijn die, welke worden doorsneden door het vlak van de meest duidelijke slijping (afb. 3). Op één enkel kristalvlak treden hardheidsverschillen op als twee tegengestelde krasrichtingen (de pijlen in doorsnedetekening 4) ongelijke hoeken met een slijtrichting vormen. Gewoonlijk zijn deze hardheidsverschillen erg klein en merkt men er bij het doen van krasproeven niets van. Een uitzondering hierop vormt het mineraal distheen of kyaniet. Op het (100)-vlak, evenwijdig aan de c-as, is de hardheid 4,5 en dwars daarop, evenwijdig aan de b-as, 6,5. Op (010) is de hardheid gemiddeld 7 en op vlak (110) nog iets groter (afb. 3). De hardheidscurven van drie bekende mineralen (haliet, fluoriet en diamant) zijn in de afb. 5 en 6 gegeven. Het is van groot belang dat de hardheid van diamant zo richtingsafhankelijk is, want als dat niet zo was konden we diamant niet met zijn eigen poeder slijpen.

Tot betrekkelijk kort geleden werden de hardste materialen alleen in de natuur gevonden. Tegenwoordig kan men verscheidene daarvan, inclusief diamant, synthetisch maken. Daarnaast maakt men harde materialen die niet in de natuur voorkomen, zoals carborundum en kubisch boriumnitride voor industriële toepassingen. Vrij recent is kubisch zirkoniumoxyde er als siersteen bijgekomen.

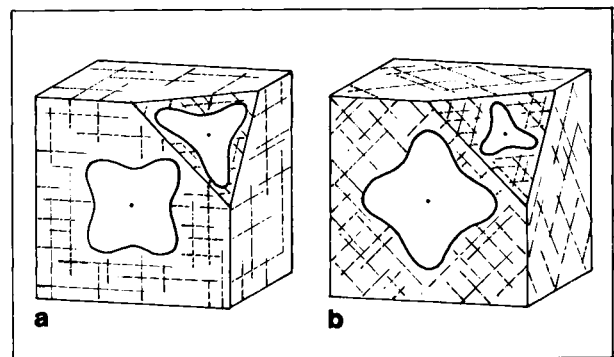
Zirkoniumoxyde (ZrO_2) komt onder de naam baddeleyiet in de natuur voor als monokliene kristallen met $H=6,5$. Van kubisch zirkoniumoxyde, tazheraniet (Zr, Ca, Ti) O_2 , met $H=7,5$, worden minuscule kristalletjes gevonden in het Tazheran-massief in Siberië.

Omdat de kubische vorm van ZrO_2 niet stabiel is, moet men bij de synthese daarvan een stabilisator in de vorm van CaO of Y_2O_3 toevoegen. Synthetisch kubisch zirkoniumoxyde, dat onder de namen zirkonia, djevaliet of phianiet in de handel is, heeft $H=8,5$ en is daarmee dus veel harder dan zijn natuurlijke broertjes. Door de relatief grote hardheid en vooral door de optische eigenschappen, wordt zirkonia als de tot nu toe beste diamantimitatie beschouwd.

Bij het onderzoek naar de eigenschappen en het gedrag van natuurlijke en synthetische superharde materialen is er behoefte aan een goede kwantitatieve maat voor de hardheid; de schaal van Mohs is daarvoor te grof. Meer recent ontwikkelde hardheidschalen geven een accurater indicatie voor het gebied in het bovenste deel van de schaal van Mohs.

De schaal van Vickers bijv. meet de hardheid van een materiaal door het persen van een putje in het oppervlak. Een piramidevormige punt van diamant wordt met toenemende druk in het te onderzoeken oppervlak geperst. De hardheid wordt berekend aan de hand van de druk in kg per mm^2 die nodig is om een permanente vervorming te veroorzaken. Bij korund is dat b.v. $2.060 kg/mm^2$ (afb. 1).

Een relatieve schaal, die door C.E. Wooddell is ingevoerd, is gebaseerd op het gewichtsverlies van een monster, als dat onder standaardcondities gedurende een bepaalde tijd wordt geslepen.



Afb. 5. Hardheidscurven van a. haliet (steenzout) en b. fluoriet, op de vlakken (100) en (111). Door de verschillen in slijtrichting liggen de maximale krashardheden ook in verschillende richtingen.

Nog harder?

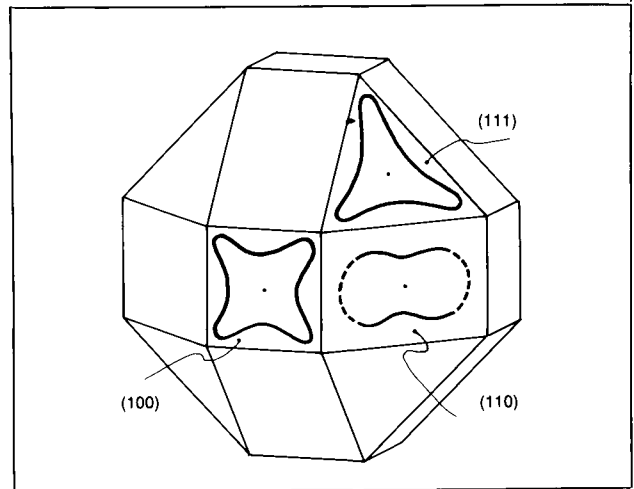
De hardheid van een kristal is afhankelijk van de weerstand die de atomen daarin bieden tegen verplaatsing ten opzichte van elkaar. Deze weerstand is weer afhankelijk van de sterkte en ruimtelijke verdeling van de krachten die het atoom in het kristal op zijn plaats houden.

Men kan zich afvragen of ooit een materiaal ontdekt of gemaakt zal kunnen worden, dat nog harder is dan diamant. In principe is dat mogelijk. Men hoeft "alleen maar" een materiaal te vinden, waarin de atomen in een symmetrisch rooster zijn gebonden met een grotere bindingsenergie per volume-eenheid dan de koolstofatomen in diamant. Echter, met de huidige kennis kan een materiaal in deze vorm niet worden voorspeld. Omdat de elementen uit het periodiek systeem thans zeer goed bekend zijn, is de kans op zo'n ontdekking wel erg klein, tenzij men misschien diep in de aardmantel op zoek zou kunnen gaan.

Geraadpleegde literatuur

F.B. Bundy (1974): Superhard materials; Scientific American.
S. Koritnig (1984): Die Härte der Minerale - Der Aufschluss, jg. 35, juni 1984.
P.C. Zwaan F.G.A. (1984): Diamantimitaties.

Afb. 6. Hardheidscurven op verschillende vlakken van diamant. Dankzij de kleine verschillen in hardheid is het mogelijk om een diamant met zijn eigen poeder te slijpen.



GEOLOGIE VOOR IEDEREEN

Mineralen verzamelen, hoe doe je dat? (deel III)

door H. van Dennebroek

Verzamelen of ... "verzamelen"

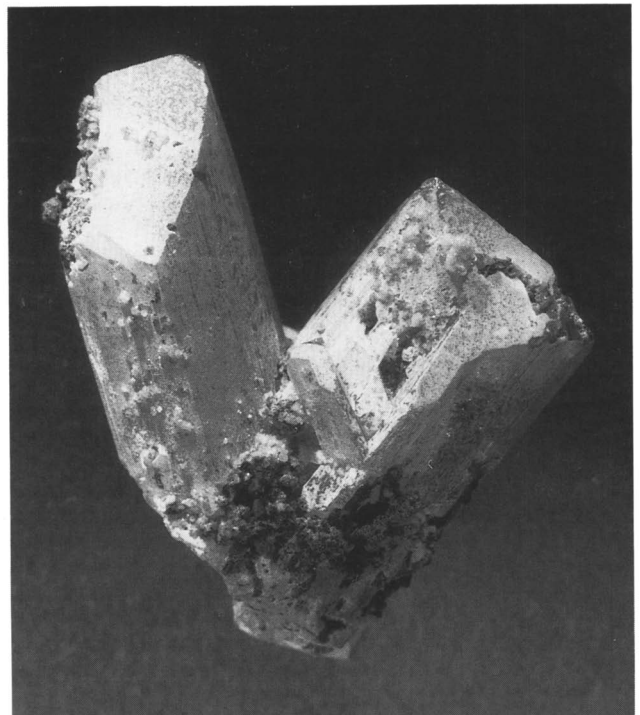
Heeft u zich wel eens afgevraagd wat u eigenlijk verzamelt? Een rare vraag zult u denken. Het antwoord ligt immers voor de hand: mineralen. Ja, maar ... welke mineralen? U kunt alle mineralen verzamelen die u toevallig tegenkomt of mooi vindt, maar u kunt het verzamelen ook systematisch aanpakken.

In de mineralogie zijn alle mineralen, en dat zijn er meer dan 3500, ingedeeld in groepen gebaseerd op de kristalchemie. De volgende groepen (klassen) worden onderscheiden:

- I elementen
- II sulfiden
- III halogeniden
- IV oxiden en hydroxiden
- V nitraten, carbonaten, boraten
- VI sulfaten, chromaten, molybdaten, wolframaten
- VII fosfaten, arsenaten, vanadaten
- VIII silicaten
- IX organische verbindingen

Indien u systematisch verzamelt kunt u uit elk van de hierboven genoemde groepen, mineralen in uw collectie opnemen. De systematische indeling is bovendien handig bij het opbergen van uw verzameling. Hierover straks meer. Het zal duidelijk zijn, dat bij deze manier van verzamelen de grootte van uw collectie oneindig is.

Er zijn vele andere mogelijkheden voor de opbouw van een collectie. Wat te denken van een z.g. regionale verzameling. Stel, u komt vaak in een bepaald gebied waar veel mijnen of steengroeven zijn. Probeer in dat geval zoveel mogelijk verschillende mineralen van de verschillende mijnen/groeven te pakken te krijgen. U krijgt dan een collectie die een fraai beeld geeft van de mineralenrijkdom van het betreffende gebied. Bekende voorbeelden van streekverzamelingen zijn: Eifelmineralen, Alpine mineralen. Soms is het mineralenaanbod van een mijn of groeve zo groot dat een verzameling van die ene mijn al een schitterende collectie-opbouw geeft. De koper-lood-zinkmijn van Tsumeb in



Afb. 1. Cerussiet-veelling, met witte overkorsting van waarschijnlijk hydrocerussiet. Vindplaats: Tsumeb, Namibië. Begeleidende mineralen: dolomiet, malachiet en duftiet.