

De Miller-indices van kristalvlakken

Drs. E.A.J. Burke
 Instituut voor Aardwetenschappen
 Vrije Universiteit, Amsterdam

[Het nu volgende hoofdstuk is grotendeels reeds gepubliceerd in *Gea*, vol. 10 (1978), pp. 34-38; ter wille van de volledigheid van dit nummer over kristalvormen wordt het hier, met enige wijzigingen, herhaald.]

Engelse mineraloog **Miller** genoemd, omdat deze in 1839 een boek over kristallografie schreef waarin hij de methode van Whewell populariseerde.

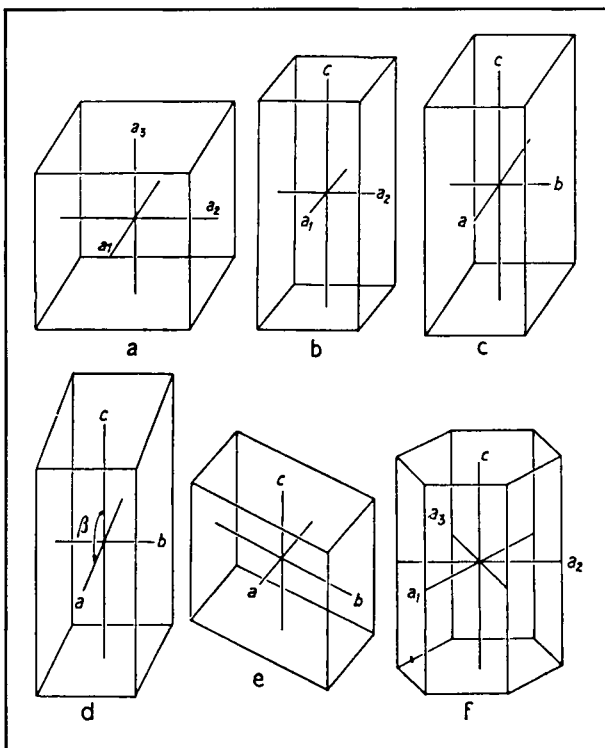
Inleiding

In bijna alle publicaties over kristallen en mineralen komt men bij de beschrijving van de kristalvormen vreemd aandoende groepen van tussen haakjes geplaatste cijfers tegen, bv. (210), (111), (010), ($11\bar{2}1$); zo ook eerder in dit nummer (afb. 15-B en 26). Deze getallen worden gebruikt om de vlakken van een kristal op een eenvoudige en trefzekere wijze aan te duiden. Net zoals iedere positie op de wereldbol feilloos weergegeven kan worden met lengte- en breedtegraden, kan de plaats van ieder vlak aan een kristal met een getallencombinatie aangeduid worden. De methode die daarvoor nu algemeen gebruikt wordt is in 1825 door de Engelse mineraloog Whewell in Cambridge ontworpen; die methode wordt echter naar de

Kristalsystemen, eenheidscellen en assenstelsels

In het vorige hoofdstuk is uitgelegd dat alle kristallen en kristallijne stoffen tot één van de 7 kristalsystemen behoren (zie ook afb. 30). Ieder van de zeven verschillende kristalsystemen heeft een eigen type eenheidscel met karakteristieke verhoudingen tussen de lengte van de ribben en met bepaalde hoeken tussen de ribben. De ribben van de eenheidscellen vertegenwoordigen belangrijke richtingen in kristallen. Als men in kristallen met richtingen wil werken in plaats van met eenheidscellen, doet men dat met behulp van de kristallografische assen; deze laat men samenvallen met de richtingen van de ribben van de eenheidscellen en van de belangrijkste symmetrie-assen. De 3 (of 4) kristallografische assen snijden elkaar in het centrum van het kristal; deze alinea is beeldend weergegeven in afb. 30. Voor alle duidelijkheid worden hier nog een paar dingen herhaald: 1) in afb. 30 staan maar 6 eenheidscellen voor 7 kristalsystemen: dat vindt zijn oorzaak in het feit dat het hexagonale systeem en het trigonale systeem dezelfde kristallografische assen hebben, maar dat de talligheid van de verticale c-as 6 of 3 kan zijn; 2) de naamgeving van de assen (met de letters a, b en c) is een vaste afspraak; verschillende letters worden gebruikt als de lengte van de assen niet gelijk is; dezelfde letter wordt gebruikt met cijferaanwijzingen als de lengte van de assen wel gelijk is; 3) assen hebben een positieve en een negatieve richting vanuit het middelpunt van het kristal; in afb. 30 zijn de assenaanduidingen geplaatst bij de **positieve** richting; de onbenoemde tegenovergestelde richting van dezelfde as is de **negatieve** richting.

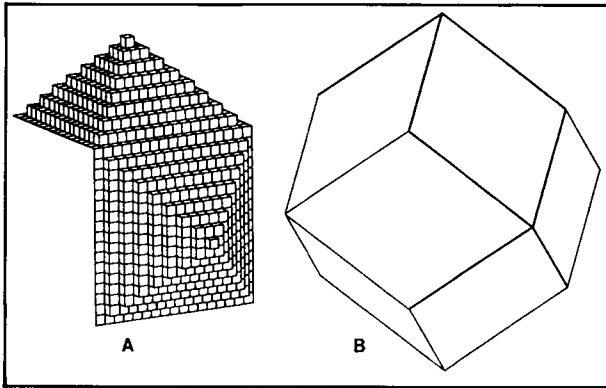
Afb. 30. De eenheidscellen van de zeven kristalsystemen en hun assenkruisen. De letteraanduidingen van de assen staan bij hun positieve richting. a: kubisch systeem; b: tetragonaal systeem; c: orthorhombisch systeem; d: monoklien systeem; e: triklien systeem; f: hexagonaal en trigonaal systeem.



Verband tussen assen en vlakken

De basis-bouwsteen van ieder kristal, de eenheidscel, bepaalt de uiteindelijke vorm en symmetrie van het kristal (afb. 31-A). Omdat de eenheidscel in werkelijkheid zeer klein is (de ribben hebben een lengte in de orde van grootte van een paar Ångström) kan men de uitstekende hoeken en ribben in afb. 31-A niet zien: we zien gladde, platte vlakken (afb. 31-B). De wijze van op elkaar stapelen van eenheidscellen bepaalt dus de ligging van de vlakken aan een kristal, en ook de hoeken die deze vlakken onderling met elkaar maken.

In afb. 32 wordt in twee dimensies het verband tussen stapeling van cellen en de kristalvlakken getoond. Kubische eenheidscellen (in twee dimensies uiteraard voorgesteld als een vierkant) worden op verschillende manieren (A, B, C en D) gestapeld. In het kubische kristalsysteem en assenstelsel (vgl. afb. 30-a) kijken we van boven af langs de verticale $+a_3$ -as naar beneden neer op het hori-

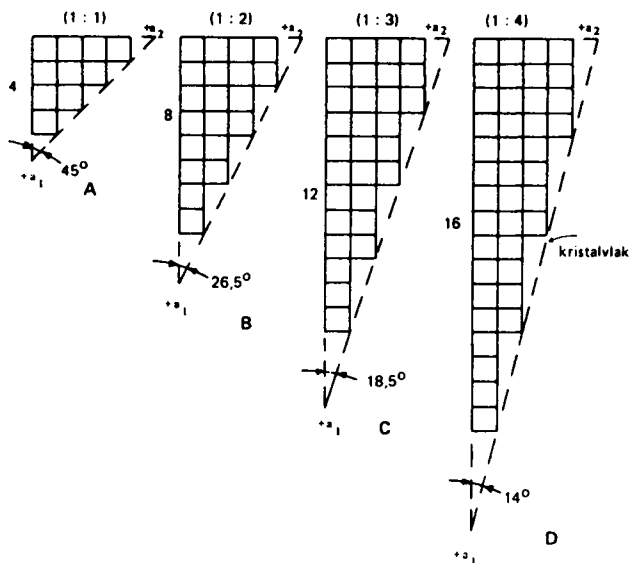


Afb. 31. Met kubische eenheidscellen kan men niet alleen kubusvormen maken, maar ook kristalvormen met schuine vlakken (A): de "trapjes" zijn in werkelijkheid zo klein dat men het geheel als gladde vlakken ziet (B).

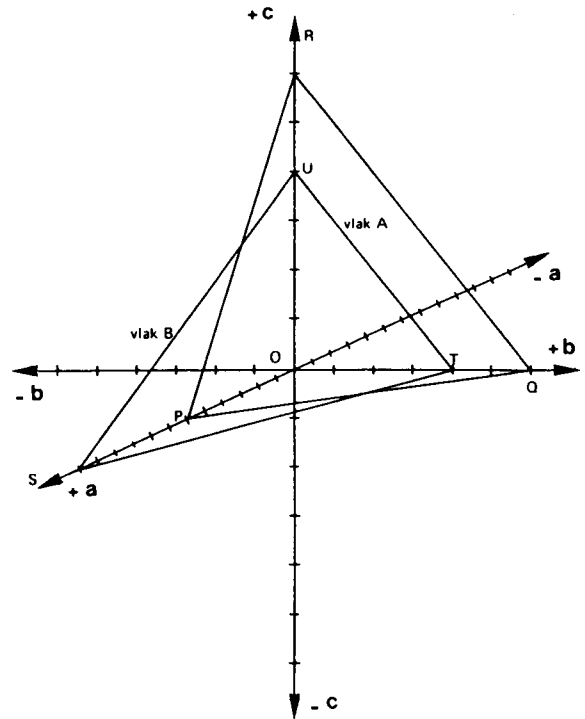
zontale vlak waarin de a_1 - en de a_2 -assen liggen. In afb. 32 zien we dan de afbeelding van een kwart van een aantal dwarsdoorsneden door kristallen; in de vier gevallen zijn dezelfde eenheidscellen gestapeld, maar door de verschillende verhouding van stapeling langs de assen ontstaan er verschillende vlakken, die als streepjeslijnen getekend zijn. In afb. 32-A zijn 4 cellen gestapeld langs de ene as ($+a_1$) en 4 cellen langs de andere as ($+a_2$). Omdat er langs iedere as 4 cellen gestapeld zijn, is de verhouding 4:4, of vereenvoudigd, 1:1. Als wij, zoals Haüy het als eerste deed, een streepjeslijn tekenen langs de punten van de uitstekende cellen, zien wij dat de lijn een kristalvlak kan voorstellen; dit vlak maakt een bepaalde hoek (45° in afb. 32-A) met de kristallografische as $+a_1$.

In afb. 32-B wordt het aantal cellen langs één as ($+a_1$) verdubbeld: de verhouding van de cellen langs de twee assen wordt dan 4:8, of 1:2. In afb. 32-C en 32-D wordt de verhouding respectievelijk 1:3 en 1:4. Let er op dat met deze gewijzigde verhoudingen de hoek van het resulterende vlak met de $+a_2$ -as ook verandert. De hoeken die een kristalvlak maakt met de assen (of met andere vlak-

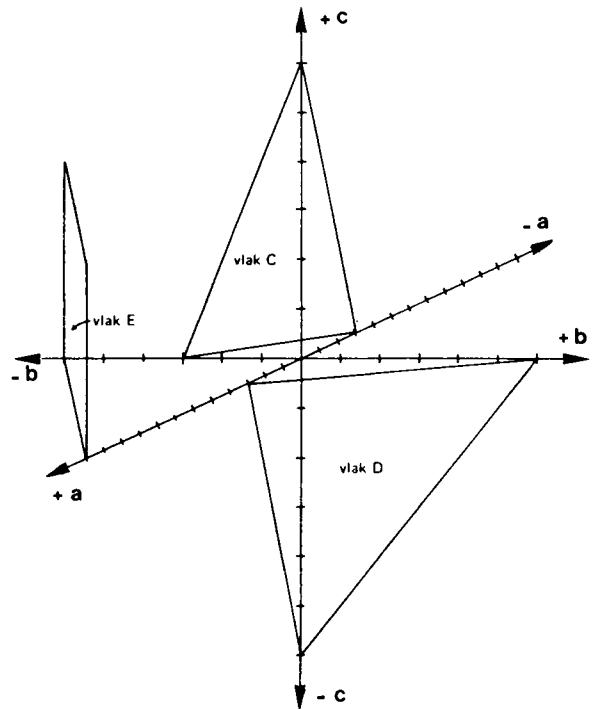
Afb. 32. Verschil in de verhouding van stapelen van eenheidscellen leidt tot verschillende kristalvlakken.



ken) zijn duidelijk afhankelijk van het aantal eenheidscellen dat langs de verschillende assen gestapeld is, of beter gezegd, van de verhouding tussen het aantal cellen.



Afb. 33. Orthorhombisch assenkruis met de vlakken A (PQR) en B (STU).



Afb. 34. Orthorhombisch assenkruis met de vlakken C, D en E.

Het benoemen van kristalvlakken: de Weiss-parameters

In kristallen zijn de eenheidscellen niet in slechts twee, maar in drie dimensies gestapeld langs de drie (of vier) kristallografische assen. Ieder kristalvlak kan men dan zien als het resultaat van een bepaalde verhouding van stapelen van eenheidscellen langs de drie (of vier) assen. Het benoemen van kristalvlakken met cijfers is direct afgeleid van deze stapelingsverhoudingen.

Voordat Miller in 1839 het in 1825 door Whewell ontworpen systeem populariseerde, werd er sinds 1808 een ander systeem gebruikt, dat van de Duitse kristallograaf Weiss.

Om het systeem van Miller snel te kunnen begrijpen, moet men eerst een inzicht in het systeem van Weiss hebben.

Afb. 33 stelt een orthorhombisch assenkruis voor (vgl. afb. 30-c), waarop langs ieder van de assen een aantal lengtes van de ribben van de eenheidscel is aangegeven. Het kristalvlak A in afb. 33 (snijpunten van de assen: PQR) snijdt van de +a-as, van de +b-as, en van de +c-as ieder 6 eenheden af, geteld vanaf het middelpunt O, of anders gezegd: langs ieder van de 3 assen zijn 6 eenheidscellen gestapeld om het vlak A te vormen. Met Weiss-parameters (zoals de getallen in dat systeem genoemd worden) wordt het vlak A daarom 6a:6b:6c genoemd, of vereenvoudigd door er de gemeenschappelijke factor uit te halen: 1a:1b:1c. Voluit kan men zeggen: het vlak A snijdt van ieder van de 3 assen een gelijk aantal eenheden af. Het absolute aantal eenheden is niet belangrijk, wel de onderlinge verhouding: het vlak A zal immers dezelfde hoek met de assen maken, ongeacht of er langs ieder van de 3 assen nu 6, 10, 100 of 1000 eenheidscellen gestapeld zijn. Zoals in het voorbeeld in twee dimensies (afb. 32) zijn namelijk alleen de relatieve verhoudingen van belang. Het vlak B (snijpunten van de assen: STU) snijdt van de +a-, +b- en +c-assen respectievelijk 12, 4 en 4 eenheden af, geteld vanaf het middelpunt O; de Weiss-parameters van vlak B zijn dus 12a:4b:4c, of vereenvoudigd door deling met de gemeenschappelijke factor 4, 3a:1b:1c; deze parameters betekenen dat het vlak B driemaal zoveel eenheden afsnijdt van de +a-as als van de +b- en +c-assen. Snijdt een kristalvlak een as aan zijn negatieve zijde, dan wordt er bij de betreffende parameter een min-teken geplaatst. Vlak C in afb. 34 snijdt 6 eenheden af van de +c-as, en 3 eenheden van zowel de -a-as als van de -b-as: de Weiss-parameters van vlak C zijn dus -3a:-3b:6c, vereenvoudigd tot -1a:-1b:2c. Vlak D wordt op dezelfde manier (tel zelf maar in afb. 34) 3a:6b:-6c, vereenvoudigd tot 1a:2b:-2c.

Als een vlak evenwijdig loopt aan een as, zoals bv. vlak E in afb. 34, dan wordt in de parameters het oneindig-teken

∞ bij de betreffende as geplaatst omdat het vlak deze as niet snijdt; de Weiss-parameters van vlak E zijn dan 12a:-6b:∞c, vereenvoudigd tot 2a:-1b:∞c.

Het benoemen van vlakken: de Miller-indices

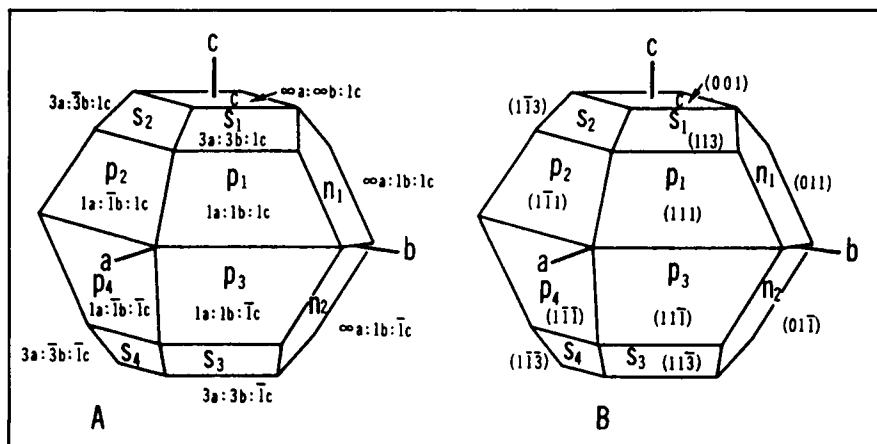
In 1839 populariseerde Miller een systeem van benoemen van kristalvlakken dat veel voordelen had (althans voor kristallografen) t.o.v. de Weiss-parameters, en dat sindsdien bij voorkeur gebruikt wordt. De Miller-indices, zoals zij eigenlijk ten onrechte genoemd worden, zijn eenvoudigweg de reciproken (= de omgekeerde getallen) van de Weiss-parameters; het zijn in feite aanduidingen van de richtingen loodrecht op de kristalvlakken (= vlakken-normalen), vandaar dat ze voor kristallografen zo handig zijn. In die reciproke getallen worden verder de breuken weggewerkt en worden ook de letters van de assen wegge laten, want we kunnen immers een bepaalde volgorde afspreken.

Een paar voorbeelden van omrekening: vlak B in afb. 33 heeft de Weiss-parameters 3a:1b:1c; de reciproke getallen zijn daarvan in volgorde: 1/3, 1/1, 1/1; ieder van die getallen moeten we nu met 3 vermenigvuldigen om de breuken weg te werken: 1/3 x 3, 1/1 x 3, 1/1 x 3, met als resultaat 1, 3, 3. Miller plaatste deze drie getallen tussen haakjes, liet de komma's weg en ook de letters van de assen, zodat het resultaat er uiteindelijk als volgt uitzag: (133), uit te spreken als "één, drie, drie".

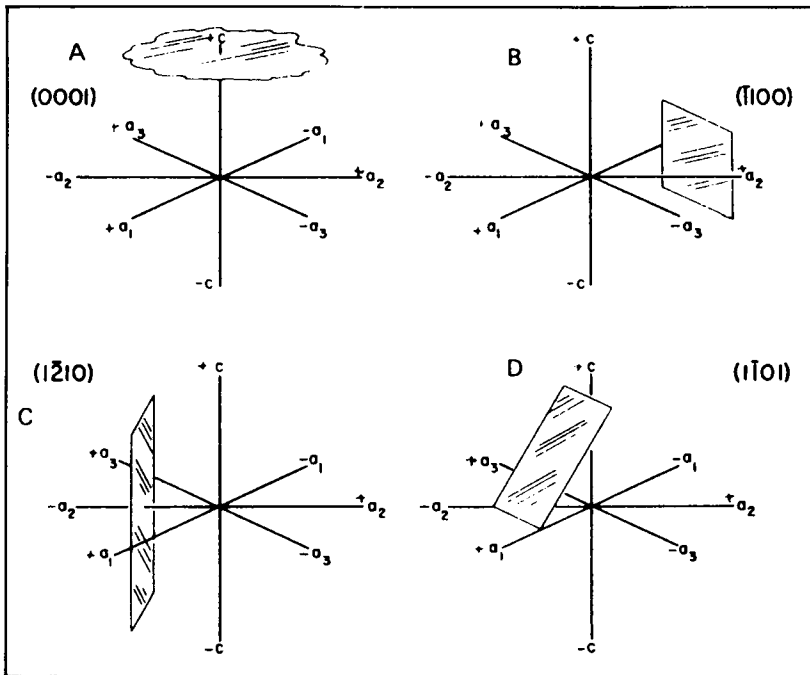
De Weiss-parameters van vlak A in afb. 33, 1a:1b:1c, krijgen na omrekening vanzelfsprekend de vorm (111). Vlak C in afb. 34, -1a:-1b:2c, wordt aldus omgerekend: -1/1, -1/1, 1/2; vermenigvuldiging met 2 geeft als resultaat -2, -2, 1; de Miller-indices van vlak C zijn dan (2̄2̄1) omdat de min-tekens in Miller-indices boven het cijfer geplaatst worden in plaats van ervoor. Vlak D wordt na omrekening (21̄1̄). Het reciproke getal voor oneindig, dus 1/∞, is 0, zodat vlak E van afb. 34 de Miller-indices (120) krijgt.

De Miller-indices (110) worden uitgesproken als "één, één, nul", en niet als "honderdentien", en de indices (2̄2̄1) als "min twee, min twee, één".

In afb. 35 kan men een vergelijking zien tussen Weiss-parameters en Miller-indices van de vlakken van eenzelfde zwavel-kristal, dat een orthorhombische symmetrie heeft, dezelfde symmetrie overigens als eerder in dit nummer voor het luciferdoosje besproken. De indices van het vlak (001) betekenen dat dit vlak evenwijdig loopt aan zowel de a-as als aan de b-as, vergelijk dit met de Weiss-parameters van hetzelfde vlak.



Afb. 35. Weiss-parameters (A) en Miller-indices (B) voor identieke vlakken aan een orthorhombisch zwavel-kristal.



Afb. 36. Enkele voorbeelden van Miller-indices in het hexagonale systeem.

Omdat Miller in zijn indices de letters van de betreffende assen weglief, zijn er afspraken gemaakt over de volgorde van de cijfers en de assen waarvan ze afgeleid zijn. In de trikliene, monokliene en orthorhombische systemen heeft het eerste cijfer betrekking op de a-as, het tweede op de b-as, en het derde op de verticale c-as (zie de voorbeelden in de afb. 33, 34 en 35). In het tetragonale systeem heeft het eerste cijfer betrekking op de a_1 -as, het tweede op de a_2 -as, en het derde op de verticale c-as. In het kubische systeem heeft het eerste cijfer betrekking op de a_1 -as, het tweede op de a_2 -as, en het derde op de verticale a_3 -as. De juiste ligging van de assen in de verschillende systemen is in afb. 30 te zien.

Indices in de trigonale en hexagonale systemen

De kristalssystemen en de erbij horende assenkruisen zijn door Weiss ontdekt, behalve de trigonale en hexagonale systemen, die later door Bravais beschreven zijn. Door de eigenaardige symmetrie van deze systemen worden er vier assen gebruikt (afb. 30-f, afb. 36). Dit stel van vier assen wordt het Bravais-assenstelsel genoemd. Bravais volgde de methode van Miller om de vlakken indices te geven, vandaar de benoeming Miller-Bravais-indices in deze systemen. Deze bestaan uit vier getallen (er zijn immers vier assen), die opeenvolgend betrekking hebben op a_1 -as, a_2 -as, a_3 -as en de verticale c-as. De drie horizontale a-assen (vgl. afb. 36) liggen met hun positieve kanten 120° uit elkaar, en hun negatieve kanten zijn dus beurtelings de bissectrice van de hoek tussen de positieve kanten van de andere a-assen. Vlak A in afb. 36 loopt evenwijdig aan de drie a-assen en snijdt enkel de c-as, en krijgt dus de Miller-Bravais-indices (0001). Vlak B loopt evenwijdig aan de a_3 -as en aan de c-as, en krijgt dus de indices $(\bar{1}100)$ omdat het gelijke stukken afsnijdt van de $-a_1$ -as en de $+a_2$ -as. Vlak C loopt evenwijdig aan de c-as, snijdt gelijke stukken af van de $+a_1$ -as en de $+a_3$ -as, en de helft daarvan van de $-a_2$ -as: de Miller-Bravais-indices zijn dus $(1\bar{2}10)$, omdat in reciproke getallen de helft van afgesneden stukken vertaald wordt in het **dubbele**. Vlak D loopt

evenwijdig aan de a_3 -as, snijdt gelijke stukken af van de $+a_1$ -as en van de $-a_2$ -as, en snijdt ook de c-as (waarvan de eenheden een andere lengte hebben dan die van de a-assen): het vlak D heeft de Miller-Bravais-indices $(1\bar{1}01)$. De Miller-Bravais-indices van de trigonale en hexagonale systemen hebben een belangrijk kenmerk: de som van de eerste drie cijfers (die betrekking hebben op de a-assen) is altijd gelijk aan nul.

Miller-indices: nomenclatuur

Na omrekening van de Weiss-parameters naar Miller-indices werden de komma's dus weggelaten. Maar er is één geval waarin we die komma weer nodig hebben, namelijk als een Miller-index hoger wordt dan 9! Stelt dat we een vlak hebben met de Miller-indices "tien, min één, nul", en we schrijven dat neer als $(10\bar{1}0)$, dan begrijpt u meteen door de voorgaande alinea dat we dan wel in één fout doorgaan naar een volledig ander kristalstelsel. Om dus vergissingen te vermijden worden Miller-indices waarvan minstens één getal hoger dan 9 is met komma's geschreven, in voorgaand voorbeeld dus $(10,\bar{1},0)$.

Voor een vlak met een willekeurige oriëntatie t.o.v. de kristallografische assen, en waarvan men niet de precieze getallen kent, gebruikt men de algemene indices (hkl) , spreek uit als "ha, ka, el". De indices $(0kl)$, uit te spreken als "nul, ka, el", $(h0l)$ en $(hk0)$ geven weer dat die vlakken evenwijdig zijn aan respectievelijk a-, b- en c-as, maar een willekeurige oriëntatie hebben t.o.v. de twee andere assen. In gevallen waarin die vlakken gelijke aantallen eenheden van de twee andere assen afsnijden, worden zij niet aangeduid als $(0kk)$, $(h0h)$ of $(hh0)$: omdat Miller-indices altijd door een gemeenschappelijke factor gedeeld moeten worden, in deze gevallen dus h of k, worden zij aangeduid als (011) , (101) of (110) .

De algemene Miller-indices (hhl) en (hll) duiden vlakken aan die van twee assen gelijke stukken afsnijden, en van de derde as een ander aantal eenheden. Een vlak dat van de drie assen een gelijk aantal eenheden afsnijdt is dan (111) , en niet (hhh) !

Vlakken die evenwijdig zijn aan twee van de drie assen hebben de indices (001), (010) en (100), en dus niet (00l), (0k0) of (h00), want vreemd genoeg zijn ook hier h, k en l dan gemeenschappelijke factor.

De Miller-Bravais-indices van de trigonale en hexagonale systemen hebben vier cijfers omdat de assenkruisen vier assen hebben. Een vlak met willekeurige oriëntatie in deze systemen wordt aangeduid met de vier letters (hkil); zoals eerder gezegd is de som van de eerste drie cijfers altijd nul, wat betekent dat $h + k + \bar{l} = 0$: vandaar dat de letter i in de algemene vorm met een min-teken voorzien wordt. De andere vlakken in deze systemen krijgen de volgende indices, met een in toenemende mate minder willekeurige oriëntatie t.o.v. de assen: (hh $\bar{2}$ h l), (h0h $\bar{1}$ l), (hk $\bar{1}$ 0), (11 $\bar{2}$ 0), (10 $\bar{1}$ 0) en (0001). Vergelijk deze indices met die van de andere systemen die net hierboven gegeven zijn.

Wet van de natuurlijke indices

Dit is de **tweede hoofdwet van de kristalmorfologie** (de 1e is die van Steno, zie eerder in dit nummer). Deze wet wordt meestal aan Haüy toegeschreven, maar de eerder genoemde Weiss is de geestelijke vader ervan omdat hij het systeem van stapelen van cellen langs de assen ingevoerd had, de aanzet van die wet.

Wat houdt die wet van de natuurlijke indices in? Als men de verhouding van de stapeling van de eenheidscellen langs de assen bepaald heeft, en men heeft de gemeenschappelijke factor weggewerkt, dan ziet men dat zowel de Weiss-parameters als de Miller-indices alleen natuurlijke getallen zijn, en bovendien meestal laag: kleiner dan 5. Vele jaren was die wet niets meer dan een vaststelling van waargenomen feiten. De juistheid van deze wet blijkt duidelijk als men de inwendige structuur van kristallen begrijpt. De oorzaak ligt uiteraard in het begrip eenheidscel (afb. 31): een kristal bestaat uit een stapeling van **gehele** cellen, en niet uit onderdelen daarvan. Langs de assen van een kristal krijgt men dus altijd verhoudingen van gehele getallen, en dus indices met gehele getallen (zie bv. afb. 32). Dat die getallen meestal laag zijn (kleiner dan 5) ligt aan het feit dat kristalvlakken gevormd worden evenwijdig aan de hoofdrichtingen van een rooster, dus niet extreem schuin door alles heen; de verhouding 1:4 in

afb. 32-D is eigenlijk al behoorlijk schuin door een rooster heen: voor nog grotere verhoudingen zijn al buitengewone groei-omstandigheden nodig.

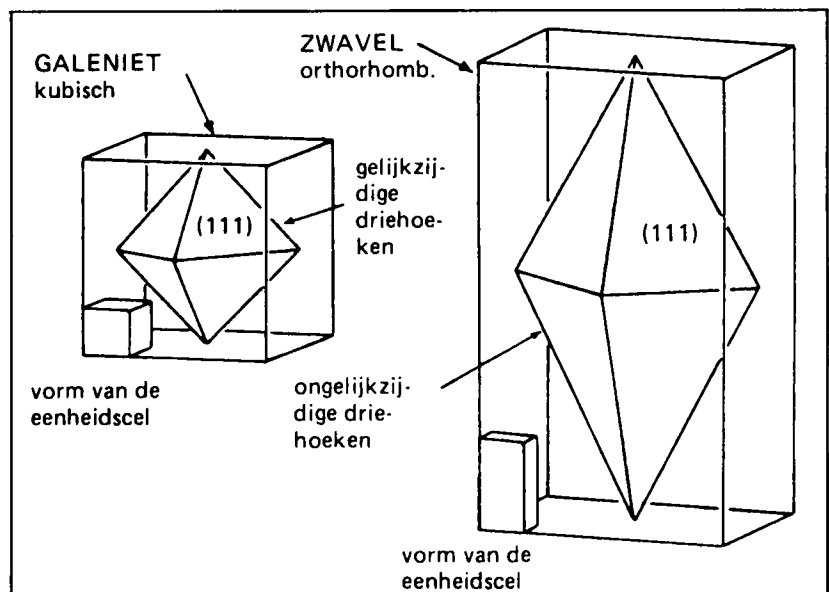
Identieke Miller-indices in verschillende kristal-systemen

Door die eenvoudigheid van de getallen in de Miller-indices kan de volgende verwarring ontstaan: men zou kunnen denken dat vlakken met dezelfde indices ook altijd dezelfde vorm hebben. Dat is echter niet zo. In afb. 37 zijn twee kristallen getekend die op het eerste gezicht sterk op elkaar lijken, maar die in detail veel van elkaar verschillen. Beide kristallen hebben driehoekige vlakken met dezelfde Miller-indices (111). Maar het galeniet-kristal heeft gelijkzijdige driehoeken als vlakken en het zwavelkristal niet. Bovendien zouden de dwarsdoorsneden door het galeniet-kristal vierkant zijn, en die door het zwavelkristal ruitvormig. Waarom hebben deze vlakken van verschillende vorm en met een verschillende hoek t.o.v. de kristallografische assen dan toch identieke Miller-indices? De oorzaak daarvan ligt in de vorm van de eenheidscellen. In galeniet is de eenheidscel kubisch: iedere ribbe van deze cel heeft dezelfde lengte; kristalvormen die van deze cel afgeleid worden moeten dan ook gelijke hoeken langs alle ribben hebben. In de afgebeelde galeniet-oktaëder (= achtvlak) houdt dat in dat alle driehoekige vlakken gelijkzijdig moeten zijn.

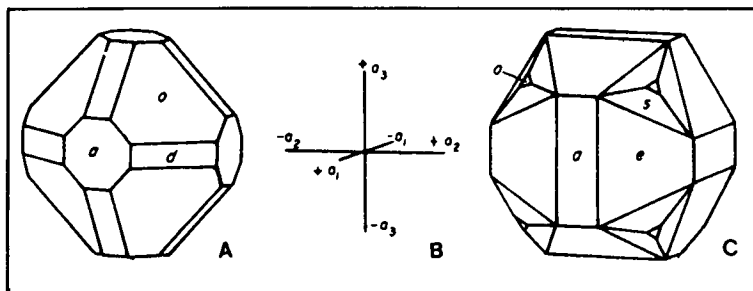
De driehoekige vlakken van het zwavelkristal **kunnen niet** gelijkzijdig zijn omdat de eenheidscel van zwavel rechtehoekig is (als een luciferdoosje).

Omdat de eenheidscellen van beide mineralen verschillende verhoudingen tussen hun ribben hebben, zullen de afgeleide kristallen eveneens verschillende verhoudingen in de vlakken vertonen, ook al zijn de Miller-indices gelijk.

De indices (111) betekenen dat het stuk, dat door dit vlak van ieder van de drie assen wordt afgesneden, bestaat uit een gelijk aantal eenheidscellen (verhouding 1:1:1). Als de eenheidscel in drie richtingen gelijk is (zoals de kubische), krijgt men voor het vlak (111) een gelijkzijdige driehoek. Omdat de orthorhombische eenheidscel van zwavel in drie richtingen verschillend van lengte is, krijgt men voor het vlak (111) een driehoek waarvan de drie zijden verschil-



Afb. 37. Identieke Miller-indices in verschillende kristal-systemen.



Afb. 38. Kristallen van galeniet (A) en pyriet (C) met het kubische assenkruis (B).

lengte van lengte zijn. Door de gelijke verhoudingen krijgen de twee vlakken wel dezelfde indices.

Het terugvinden van vlakken met bekende Miller-indices

Als men zich een voorstelling wil maken van de ligging van een vlak met bekende Miller-indices t.o.v. de kristallografische assen van een kristal, dan kan men het best eerst de Miller-indices terugrekenen naar de overeenkomstige Weiss-parameters. Men krijgt daardoor immers de verhouding tussen het aantal eenheidscellen die voor het verkrijgen van dit vlak langs ieder van de assen gestapeld zijn. Een voorbeeld: is in afb. 38-A het vlak met de Miller-indices (110) nu vlak a, vlak d of vlak o van het galeniet-kristal?

De reciproken zijn in dit geval eenvoudig: $1a_1:1a_2:\infty a_3$ (het reciproke getal van 0 is ∞); het vlak snijdt dus gelijke stukken af van de $+a_1$ -as en van de $+a_2$ -as, en loopt evenwijdig aan de a_3 -as. Hoe het vlak dan ligt kan men zich voorstellen met behulp van het kubische assenkruis (galeniet is kubisch) in afb. 38-B. Het vlak (110) moet dus

het vlak d zijn in afb. 38-A; het vlak o heeft als indices (111), en vlak a is (100).

Een ander voorbeeld: van het eveneens kubische mineraal pyriet wordt vaak het vlak (210) beschreven; is dit het vlak a, e, s of o in afb. 38-C? De reciproken van (210) zijn respectievelijk $1/2, 1/1, 1/0$; vermenigvuldigen met 2 om de breuken weg te werken, en het bijvoegen van de letters van de assen in de juiste volgorde geeft $1a_1:2a_2:\infty a_3$. Volgens deze Weiss-parameters ligt het vlak dus evenwijdig aan de a_3 -as, en snijdt het tweemaal zoveel eenheden af van de $+a_2$ -as als van de $+a_1$ -as. Als men zich dat voorstelt aan de hand van het assenkruis in afb. 38-B moet men tot de conclusie komen dat het vlak (210) van pyriet overeenkomt met het vlak e in afb. 38-C: dit is een vlak van de pentagondodekaëder (zie ook afb. 29, en de voorplaat: daarop staat het vlak echter 90° gedraaid!). De andere vlakken in afb. 38-C zijn: a = (100), o = ($1\bar{1}1$), en s = (321).

Men moet er dus altijd aan blijven denken dat de getallen in de Miller-indices reciproken zijn van het relatieve aantal eenheden dat een vlak van de assen afsnijdt: in het voorbeeld betekent (210) dat dit vlak van de $+a_1$ -as het halve aantal eenheden afsnijdt van dat van de $+a_2$ -as!

Kristalvormen en de vorm van kristallen

Drs. E.A.J. Burke
 Instituut voor Aardwetenschappen
 Vrije Universiteit, Amsterdam

Inleiding

Een kristalvorm is een verzameling vlakken die gelijkwaardig zijn ten opzichte van de symmetrie-elementen van een kristal. Dit houdt in dat in een kristalvorm alle vlakken dezelfde positie en oriëntatie innemen t.o.v. die symmetrie-elementen, en dat in ideale kristallen alle vlakken van een kristalvorm dezelfde afmetingen en vorm hebben. De vier schuine driehoekige vlakken van de piramiden in Egypte zijn samen één kristalvorm, omdat zij eenzelfde hoek maken met de verticale 4-tallige as, en omdat zij dezelfde vorm en afmetingen hebben (afb. 39). Het basisvlak van de piramide hoort **niet** tot deze kristalvorm: het vlak maakt immers een totaal andere hoek met de as en het heeft een totaal andere vorm. In een vierzijdige piramide maakt het basisvlak deel uit van een andere, aparte kristalvorm!

Afb. 39. De vier schuine vlakken van een piramide maken deel uit van één enkele kristalvorm; het basisvlak is een andere, aparte kristalvorm.

