

CHEMISCH WEEKBLAD

ORGAAN VAN DE NEDERLANDSE CHEMISCHE VERENIGING

INHOUD

	Blz.		Blz.
Verhandelingen, Overzichten, Verslagen	297	Verenigingsnieuws	306
Prof. Dr. R. Hooykaas, Kristalsplijting en kristalstructuur van kalkspaat I. (Torbern Bergman).		Mededelingen van het Secretariaat. — Examens voor Analyst. — Commissies.	
Laboratoriummededelingen.	303	Mededelingen van verschillende aard.	306
Ir. J. H. Förch, De explosiepijpet.		Wij ontvingen.	307
Handel en economie.	304	Vraag en aanbod	308
Dr. E. L. Krugers Dagneaux, De chemische industrie in Frankrijk.		Aangeboden betrekkingen	308
Boekbesprekingen.	304	Gevraagde betrekkingen	308
Allerlei nieuws op chemisch en aanverwant gebied	305	Agenda van vergaderingen	308
Personalia	306		

Verhandelingen, Overzichten, VerslagenKristalsplijting en Kristalstructuur van Kalkspaat I
(Torbern Bergman)

door R. Hooykaas

548 : 549.742.111

Bergman (1773; 1780) derives secondary forms of calx spar as well as forms of garnet, staurolite, pyrites, tourmaline and hyacinth from the cleavage form of calx spar by applying thin lamels to it. Because of the neglect of measurements he let himself be misled by superficial resemblances. Only the development of the calcite scalenohedron may be regarded as to a certain extent satisfactory. He is too eclectic in his explanation (lamel theory, needle theory, pyramid theory, truncations). His final attitude is to leave crystallographic characteristics aside and to put his confidence into chemistry alone.

In this paper his results are critically compared with those of modern crystallography.

1. *Kristalvormen afgeleid van de kalkspaatrhomboëder.*

De Zweedse scheikundige en mineraloog *Torbern Bergman* (1735—1784) publiceerde in 1773 een ver-

Fig. 1. *Torbern Bergman* (1735—1784).

handeling over de „Verschillende kristalvormen, welke van het spaat afgeleid worden”¹⁾. Met enige paragrafen uitgebreid werd dit stuk ook opgenomen in zijn *Opuscula* van 1780²⁾.

Deze verhandeling is van zeer grote betekenis voor de ontwikkeling der structuurtheorie. *Bergman* stelt daarin vast, dat de kristalwereld zulk een oneindige verscheidenheid van vormen vertoont, dat het wel lijkt alsof de natuur met ons speelt. Door nadere bestudering en onderlinge vergelijking is hij er echter in geslaagd deze verscheidenheid af te leiden van een klein aantal eenvoudige vormen, die hij „primitieve vormen” (*formae primitivae*) noemt³⁾. Als men deze primitieve vormen buiten beschouwing laat, zou de leer der kristallen slechts een chaotische massa zijn, waarvan elke systematische beschrijving onmogelijk zou zijn⁴⁾. Hij wil zich nu beperken tot de primitieve vorm van het kalkspaat en haar afgeleiden.

Hij gaat dus uit van het „scheve parallelpipetum” (rhomboëder!), begrensd door vlakken met hoeken van $101\frac{1}{2}^\circ$ en $78\frac{1}{2}^\circ$ en stelt deze rhomboëder (afb. 2, fig. 1, ACBOFGED), met de drietallige as (afb. 2, fig. 1, HI) in verticale stand, op. Door daarna

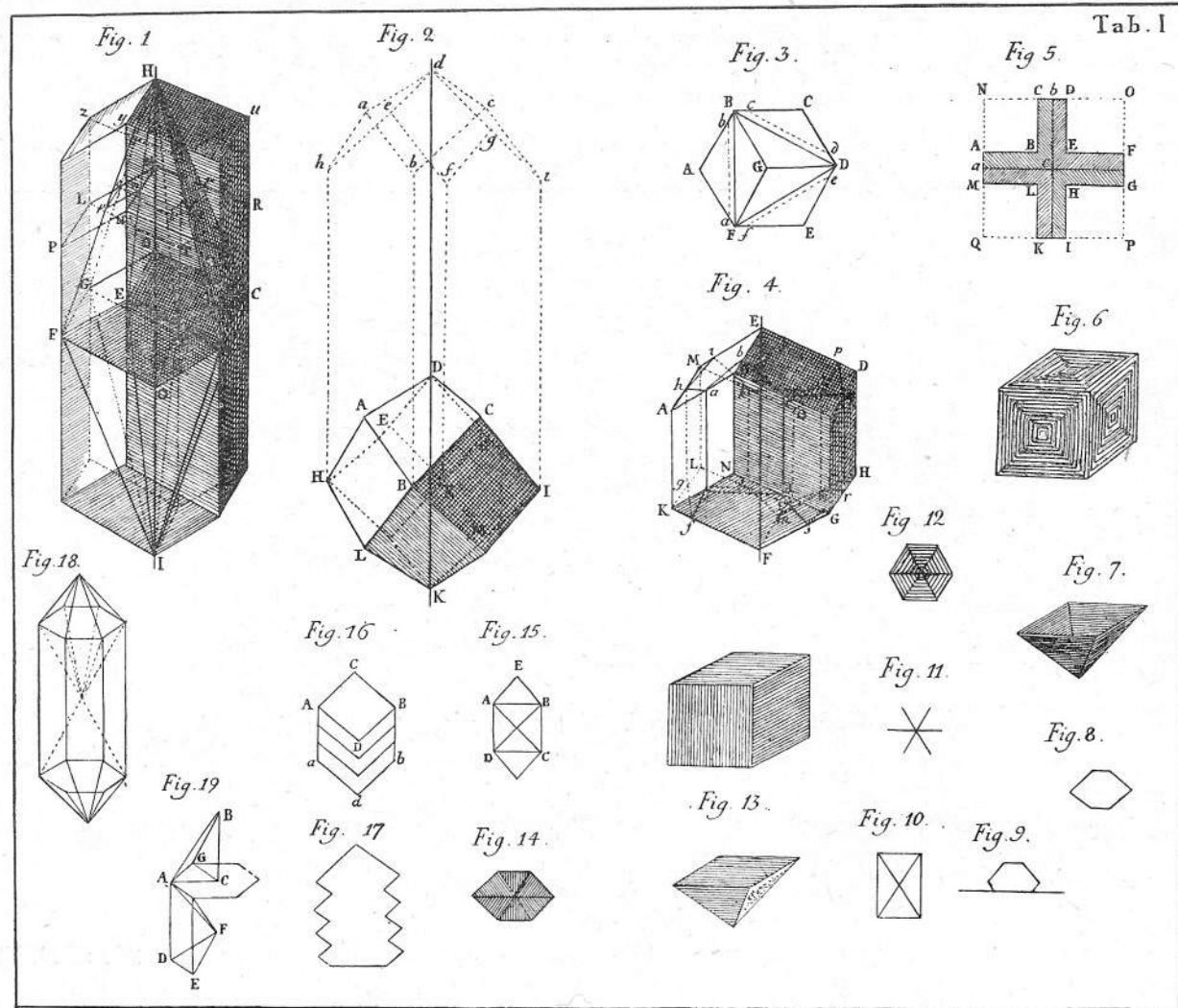


Fig. 2. Afleiding der kristalvormen van kalkspaat e.a. naar Bergman (1780).

op de rhomboëdervlakken dunne lamellen van gelijke vorm te stapelen tracht Bergman nu zeer uiteenlopende kristalvormen af te leiden. In de eerste plaats door lamellen te gebruiken, die niet alleen *gelijkvormig*, maar ook *gelijk* zijn aan de rhomboëdervlakken. Op de „kern” (nucleus spathaceus) worden dus ruitvormige plaatjes gelegd, die „gelijk, gelijkvormig en evenwijdig” (aequales, similes, et paralleli) zijn aan de vlakken van de kern en zo ontstaat een lichaam, dat als zijvlakken 6 gelijke parallelogrammen heeft en aan beide uiteinden door drie ruiten begrensd wordt⁵⁾ (afb. 2, fig. 1 in haar geheel; vergelijk fig. 3 no. 3)⁶⁾.

Deze vorm bezitten enige „kalkachtige” kristallen en verscheidene „basaltachtige” kristallen (In 1780 gebruikt hij de term „Schoerlacea”, schörlachtigen).⁷⁾

Houdt de stapeling echter op, zodra de zijvlakken de vorm van een ruit hebben (dus gelijk zijn aan de eindvlakken), dan is er een ruitentwaalfvlak ontstaan, zoals de granaatsoorten dat bezitten (fig. 1 FGBCAOPLTRQNM; ook fig. 4 no. 1). De tekening toont de granaat met een drietallige as (afb. 2 fig. 1: MO; afb. 2, fig. 4: EF) in verticale stand.

Stelt men het granaatkristal met een viertallige as (DK) vertikaal en stapelt dan aan de tegenover elkaar liggende, ieder uit 4 vlakken bestaande, „anguli solidi” bij D en K weer ruitvormige lamellen,

dan krijgt men een kristal, dat de vorm van *hyacinth* heeft (afb. 2 fig. 2).⁸⁾

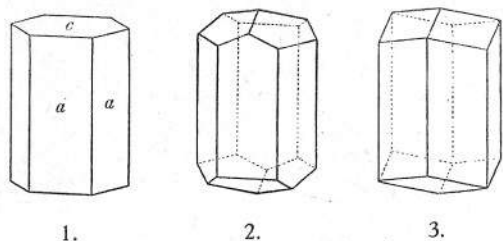
In 1780 maakt Bergman de opmerking, dat de vorm van de granaat dus terecht als een rudiment van de vorm van de hyacinth opgevat kan worden¹⁰⁾. De granaat zelf kan men ook wel opvatten als te bestaan uit 4 spaatachtige rhomboëders, die met de toppen bijeenkomen¹¹⁾.

Wel heel wonderlijk is, dat Bergman meent, dat het in afb. 2, fig. 5 afgebeelde „kruisvormige kristal” (crystalli crucis praediti forma) een „defecte” hyacinthvorm heeft. Hij spreekt hier kennelijk over een doorkruisings-tweeling van *stauroliet*, maar beweert toch uitdrukkelijk, dat ABCbca één vlak is (Figura ABCbca est tota in eodem plano inclinato, idemque valet de tribus reliquis homologis¹²⁾), terwijl toch inderdaad ABac en BCbc in verschillende vlakken liggen (zie fig. 4 No. 3). Bergman echter zegt, dat als de ruiten CN, enz. geheel gevuld waren, we het bovenaanzicht van de hyacinth zouden hebben (met c als top). Hij heeft er dus volstrekt geen besef van met een tweelingkristal te doen te hebben.

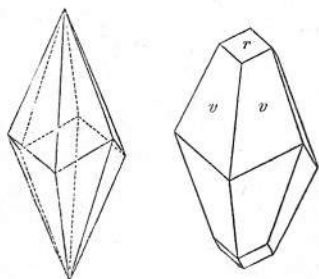
Vervolgens houdt Bergman zich bezig met vormen, die verkregen worden door op de centrale kern (nucleo centrali) vlakken te leggen, die wel of niet gelijken op de fundamentele vlakken, maar met een zekere regelmaat geleidelijk *in grootte afnemen*.

Nonnunquam plana adhibentur, fundamentalibus vel similia vel dissimilia, certa tamen lege decrescentia... Nucleo centrali adponantur plana similia, sed continue decrescentia...¹³⁾.

Gaat men dóór met dit opstapelen van ruiten, die met hun ene top de as raken en die in grootte



1. 2. 3.



4. 5.

Fig. 3. Kalkspaatvormen.

No. 1. hexagonaal prisma 1e soort $\{10\bar{1}0\}$ en basis $\{0001\}$.

No. 2. hexagonaal prisma 1e soort $a \{10\bar{1}0\}$ en spijkerkop-rhomboëder $\{01\bar{1}2\}$.

No. 3. hexagonaal prisma 2e soort $b \{11\bar{2}0\}$ en spijkerkop-rhomboëder $c \{01\bar{1}2\}$.

No. 4. skalenoëder $v \{21\bar{3}1\}$.

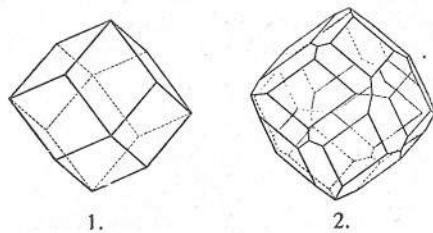
No. 5. skalenoëder $v \{21\bar{3}1\}$ en splijtingsrhomboëder $r \{10\bar{1}1\}$.

afnemen totdat hun afmeting tenslotte nihil is, dan ontstaat in plaats van een „basaltrisma” (zoals hij een hexagonaal prisma noemt) een dubbele pyramide, welke veel voorkomt bij de „kalkachtige” kristallen die als „varkenstanden” (dentes suilli) aangeduid worden (afb. 2, fig. 1: GFEACHI; kalkspaat-skalenoëder! vgl. fig. 3, no. 4). Deze zijn spitsers naarmate de decrescentie zwakker is. Houdt de decrescentie op vóórdat de vlakjes verdwenen zijn, dan ontstaan de veel voorkomende stompe toppen (apices obtinentur truncati, quorum non raro occurrent exempla).¹⁴⁾ (vgl. fig. 3, no. 5). Op de oorzaak der decrescentie gaat hij niet diep in; het lijkt hem het waarschijnlijkst, dat zij in gebrek aan materie ligt.¹⁵⁾

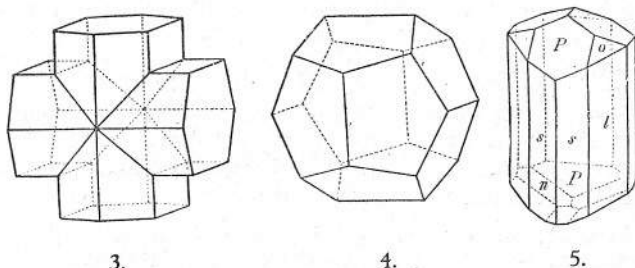
Bij de tot nog toe gegeven voorbeelden heeft *Bergman* ruitvormige lamellen gebruikt, die dezelfde vorm heten te hebben als de fundamentele. Nu gaat hij echter over tot een fundamenteel andere beschouwingwijze als hij „niet-gelijkende” lamellen gaat opstapelen òf op de primitieve kern òf op een verminkte, dus onvolledige, primitieve vorm. Hij gaat dus de lamellen, en meestal ook de primitieve vorm, afstompen (truncare).

Saepe etiam ipsa fundamentalia plana sunt manca¹⁶⁾.

Eigenlijk komt het er op neer, dat hij niet langer tracht een structuurtheorie te geven, maar een zuiver formeel wiskundig verband legt tussen eenvoudige en gecompliceerde vormen door van de eerstgenoemde stukken af te kappen. In afb. 2, fig. 4 worden defecte lamellen opgestapeld, die uit de oorspronkelijke verkregen zijn door drie van de vier hoeken af te stompen (bijv. Eihab). Dit komt dan volgens *Bergman* op hetzelfde neer als wanneer men de verticale ribben afstompt (truncare). Er ontstaat dan een lichaam door vijfhoeken (met kleine letters aange-



1. 2.



3. 4. 5.

Fig. 4. Vormen, welke *Bergman* van kalkspaat afleidt.

No. 1. rhombendodekaëder $\{110\}$.

No. 2. combinatie van $\{110\}$ en $\{211\}$.

No. 3. Doorkruisingstweeling van stauroliet.

No. 4. Pentagoondodekaëder (pyrietoëder).

No. 5. Tourmalijnkristal.

duid in de fig.) begrensd, zoals bij kalkkristallen veel voorkomt (vgl. fig. 3, no. 2).

Soms echter zijn de verticale ribben (ae, cd, enz.) zo kort, dat die zijvlakken bijna driehoeken geworden zijn.¹⁷⁾

Ook bij *pyriet* komen volgens *Bergman* de laatst besproken vormen dikwijls voor.¹⁸⁾

Daarbij ziet hij over het hoofd, dat de verticale vijfhoeken in de tekening niet gelijkwaardig zijn aan de eindstandige, dus dat er geen „pyrietoëder” (pentagoondodekaëder van het regelmatige stelsel, fig. 4, no. 4) ontstaan kan. In 1780 herhaalt hij dit dan ook niet. Hij voegt dan wel nog een andere truncatiemogelijkheid toe, die in 1773 slechts zeer vluchtig was vermeld¹⁹⁾: in fig. 3 van afb. 2 zij G de top van een „schörl-achtig” kristal (van het type van fig. 4). Er worden nu verticale sneden aangebracht volgens vlakken, die de topvlakken snijden volgens ab , enz.; er ontstaat dan een onregelmatige negenhoekige doorsnede, dus een kristal met 9 zijden, waarvan de top uit drie onregelmatige vijfhoeken (abBGF, enz.) bestaat. Dergelijke kristallen komen volgens *Bergman* zowel bij de kalk- als bij de schörl-soorten voor en ook de toermalijnen uit Tyrol en Ceylon hebben deze vorm dikwijls (vgl. fig. 4 No. 5, P ontbrekend gedacht). Verdere truncatie doet driezijdige prisma's (doorsnede FBD) ontstaan²⁰⁾. *Bergman* brengt hier dus slechts drie in plaats van zes verticale truncaties aan.

In 1780 voegt *Bergman* een voorbeeld toe van een secundaire vorm van kalkspaat welke uit de ongeschonden primitieve vorm afgeleid wordt door er defecte (afgestompte) lamellen op te leggen. Dit betreft de kalkspaatprisma's met horizontaal afgestompte top (dus de combinatie van hexagonaal prisma en pinakoïde (fig. 3, no. 1)). Hij geeft toe, dat dit geval hem grote moeilijkheden baart en dat hij deze prisma's niet uit spaatdeeltjes op de tevoren beschreven wijze kan afleiden. Hij ziet geen andere uitweg, dan dat er lamellen opgelegd worden, die steeds verdere decrescentie vertonen rondom de as (dus niet aan de buitenkant, zoals bij de afleiding van de skalenoëder). Dit is ongewoon en dat er hier iets ongewoons plaatsvindt, blijkt volgens *Bergman* wel uit het feit, dat het afgestompte uiteinde (dus de pinakoïde-vlakken 0001) ondoorzichtig is, ook al is het prisma verder doorzichtig. Toch constateert hij, dat het eindvlak glad is en dat verbaast hem

blijkbaar, omdat het oppervlak uit *zijanten* van lamellen bestaat. Hij vergeet echter, dat dit ook geldt voor de „pyramidevlakken” van de varkenstandkristallen.

Tales interdum occurrunt et e particulis spathaceis, modo antea descripto, oriri nequeunt, nulloque alio prismata hexagona generari possunt. Quae igitur causa in hisce apices obliterat? Eandem me penitus ignorare fateor, nisi accumulationem adsumere liceat planorum, magis magisque circa axem deficientium. Insoliti quidquam heic locum habere vel inde colligi potest, quod extremum truncatum sit opacum, etsi reliquum prisma perluceat²¹).

Niet geheel juist is dus de opmerking door *Groth*²²) en onlangs weer door *Mauguin* gemaakt, dat *Bergman* zou toegeven de oorsprong van het door horizontale vlakken begrensde prisma niet te hebben kunnen vinden.

Häüy ... montre en particulier comment se produit le prisme hexagonal terminé par des faces plans, dont *Bergman* avoue n'avoir pu trouver l'origine²³).

Bergman zegt niet: „ik ken de oorzaak niet”, maar hij zegt: „ik ken de oorzaak niet, tenzij ...”

2. De fysische grondslag der theorie.

Tot hier toe heeft *Bergman* slechts een meetkundig verband gelegd tussen verschillende vormen, maar hij wil nu ook bewijzen leveren tegenover hen, die zijn theorie „louter meetkundig en speculatief” (doctrinam mere geometricam et speculativam)²⁴) zouden achten. Bij voorzichtige *splijting* openbaren de „pyramidale” kalkspaatkristallen de inwendige structuur. Zijn leerling *J. G. Gahn*²⁵) (1745—1818) was de eerste, die de centrale kern (de splijtings-rhomboëder dus!) bij de „pyramides” (de skalenoeëders dus!) waarnam.²⁶)

Dit verklaart volgens *Bergman* ook een ander merkwaardig verschijnsel, namelijk dat de „pyramidale kristallen” (zoals hij de skalenoeëders steeds noemt) bij een slag op sommige opgaande ribben (AH, BH, FH) splijten in „tesseras spathaceas” (dus in splijtrhomboëders, die de vorm van het IJslandse spaat hebben), terwijl ze op andere ribben (CH, EH, GH) weerstand bieden. De verklaring van dit feit is, dat alleen in het eerste geval de uitgeoefende druk evenwijdig is aan de opeengestapelde vlakken. Bij de onderste pyramiden zijn het juist EI, enz., waar de splijting goed verloopt.

Bergman moet echter erkennen, dat bij „stevigere kristalsoorten” die dergelijke vormen bezitten geen duidelijke splijting optreedt, vanwege de vaste samenhang der deeltjes. Toch meent hij, dat ook voor hen de lamellaire opbouw wel bewezen is: „De basaltachtigen²⁷) (in 1780: de schörlachtigen)²⁸) evenwel tonen de spaatstructuur heel duidelijk en het staat zonder twijfel vast, dat de granaatachtigen uit lamellen samengesteld zijn”.

Basalticae tamen texturam spathaceam haud obscure produunt, et quin lamellis sint compositae ipsae granaticae, minime est dubium²⁹).

Dit laatste beweert hij naar aanleiding van oppervlakteverschijnselen aan de granaat.³⁰)

Bergman besluit met de opmerking, dat vergelijking van de verkregen gegevens met de vorming van kunstmatige zouten de zeer moeilijke theorie der kristallisatie in sterke mate zal verhelderen en hij belooft dit bij een andere gelegenheid te zullen doen.

3. Kritiek op *Bergman's* theorie.

We hebben reeds gezien, dat hij deze belofte ingelost heeft bij de herdruk van deze verhandeling in 1780 onder de titel „Over de vormen der kristallen, in het bijzonder die welke van het spaat afgeleid worden”. De eerste twee paragrafen („Kristalvormen veranderen op velerlei wijze” en „Verschillende vormen afgeleid van het spaat”) geven het artikel van 1773 met kleine wijzigingen en aanvullingen weer; de derde paragraaf („Structuur der kleinste deeltjes”) knoopt geheel aan bij de vezeltheorie van *Dortous de Mairan* en is reeds besproken;³¹) de vierde behandelt de wijze van ontstaan van kristallen (uit oplossingen, door sublimatie, enz.) en bevat o.a. ook de theorie van de opbouw der kristallen uit pyramiden en de vijfde houdt zich bezig met de vraag of de kristalvorm een *chemische* oorzaak heeft en aan bijmengsels van zouten te danken is.

Het blijkt, dat het nieuwe en het oude gedeelte sterk uiteenlopende opvattingen weergeven. In de eerste paragrafen van de verhandeling uit 1780 wordt evenals in 1773 de lamellaire opbouw der kristallen geleerd: de secundaire vormen worden afgeleid door lamellen te stapelen op een primaire vorm. Deze theorie heeft een fysische basis in het verschijnsel van de *splijting*. Als deze methode faalt, worden plotseling „defecte” lamellen ingevoerd. Eigenlijk wordt daarmee tot een zuiver meetkundige theorie overgegaan; de secundaire vormen worden door tamelijk willekeurige afstompingen uit de primaire afgeleid.

Voor de *zouten* wordt in 1780 echter, in aansluiting bij *Dortous de Mairan*, uitgegaan van een geheel ander verschijnsel nl. van de *streping*. De kristallen worden nu niet uit lamellen, maar uit vezels opgebouwd.³²) Ook hier gaat hij echter over tot een geheel andere en veel minder fysische beschouwingswijze als hij tracht de kristalvormen als combinaties van pyramiden te verklaren.³³)

De eenheid is in *Bergman's* theorie dus geheel zoek. Eigenlijk zijn er vier wijzen van benadering van het probleem der kristalstructuur: twee die berusten op directe waarnemingen (*splijting*, *streping*) en twee die een formeel wiskundig verband leggen (*truncatie*, *pyramidencombinatie*).

Tekenend voor het gebrek aan eenheid in *Bergman's* werk is, dat hij in 1780 eerst het oude stuk (1773), geheel op splijtingslamellen gegrond, weergeeft. De *oppervlakteverschijnselen* bij granaat en toermalijn laat hij dan ook de richting der *lamellen* aanduiden. In het nieuwe gedeelte, dat op de vezeltheorie van *de Mairan* geïnspireerd is, wordt elke *streping* echter als aanduiding van *vezels* geïnterpreteerd, óók als het kalkspaat betreft.

Majores tesserae spathosae accurate consideratae haud raro strias secundum diagonales monstrant, quae etiam in crystallis non numquam salinis comparent, ut mox videbimus, earumque product internam structuram³⁴).

Bergman doet echter geen verdere poging deze strepen (tweelingsstreping en combinatiestreping) in verband te brengen met de splijtingslijnen.

Voor de historische ontwikkeling van de kristalkunde is de *lamellentheorie van 1773*, die vooral het *kalkspaat en zijn derivaten* betreft, verreweg het belangrijkste en we zullen haar nog nader moeten beschouwen. Ongetwijfeld is het een grote verdienste van *Bergman*, dat hij gepoogd heeft zeer uiteenlopende kristalvormen uit één primitieve vorm (de

splijtingsrhomboëder van kalkspaat) af te leiden. *Guglielmini* had de secundaire vormen verwaarloosd; *La Hire* had zijn aandacht wel wat heel sterk beperkt tot bepaalde tweelingkristallen van gips. *Bergman's* pogingen gaan veel verder en *Mauguin's* kritiek, dat

„*Bergman* se borne à de simples constatations géométriques concernant le passage d'une forme à l'autre sans essayer d'en expliquer l'origine" ³⁵⁾,

is o.i. te streng uitgevallen.

Teleurstellend is echter, dat hij aan de ene kant de afleiding wél probeert met behulp van een structuurtheorie, aan de andere kant inderdaad zuiver morphologisch te werk gaat en eenvoudig de secundaire vormen afleidt door de ribben van primitieve vormen af te stompen. Het feit, dat hij met *lamellen* en niet met *integrerende moleculen* werkte, maakte zijn structuurtheorie niet soepel genoeg en dwong hem tot deze radicale afwijking van de aanvankelijk gevolgde structuurtheoretische methode zijn toevlucht te nemen.

Toch geloofde hij wel, dat de kalkspaatmoleculen dezelfde vorm hebben als de splijtingsrhomboëder, maar hij maakte volstrekt geen gebruik van dit inzicht.

Si moléculas, quas aqua calcis, libero exposita aëri, secernit, oculo armato inspicimus, eadem spathaceae repiriuntur ³⁶⁾.

Aan de andere kant is zijn structuurtheorie echter weer veel te soepel: de „*wet der decrescentie*” die hij ons belooft, blijft in het kwalitatieve steken. Wél is naar zijn mening de kalkspaat„*pyramide*” spitser naarmate de decrescentie der lamellen trager verloopt, maar deze algemene opmerking voorkomt niet, dat eigenlijk oneindig veel verschillende kalkspaat„*pyramiden*” mogelijk zijn, daar de decrescentie *continu* veranderen kan. Er is geen *quantitatief* bepaald verband tussen de verschillende skalenoëders. De hele theorie wordt dan ook ontwikkeld *zonder enige meting*. De wet der constante hoeken komt in zijn betoog niet voor, past er ook niet in als de helling der vlakken *continu* kan veranderen, als dus oneindig veel hellingen mogelijk zijn.

De symmetrierelaties heeft hij niet opgemerkt. Hij wéét, dat bij granaat soms 24 langwerpige zeshoeken als extra vlakken optreden ³⁷⁾ (zie fig. 4, no. 2), maar het ontgaat hem, dat dit toch wel heel zonderling is voor een kristal, dat hij blijkbaar als een uitgegroeid trigonaal kristal (nl. een in één richting uitgegroeide kalkspaatrhomboëder, zie afb. 2, fig. 1) of als een verkort tetragonaal kristal (een niet geheel uitgegroeid hyacinthkristal, zie afb. 2 fig. 2) opvat.

Doordat hij slechts steunt op een vrij grove oppervlakkige waarneming en geen metingen verricht, ontstaan de wonderlijkste resultaten: de rhombendodekaëder van granaat (welke regulair is), de vierzijdige pyramide van hyacinth (die tetragonaal is) en de zeszijdige skalenoëder van kalkspaat (dat rhomboëdrisch is) worden door één „*wet*” verbonden. Dit kon slechts als hij de hoeken niet gemeten had, want het twaalfvlak (afb. 2, fig. 4), dat uit het kalkspaatkristal (afb. 2, fig. 1) ontwikkeld wordt, is in werkelijkheid niet de regulaire rhombendodekaëder; de hyacinth heeft bij zijn viervlakkige „*angle solide*” (afb. 2, fig. 2 d) in werkelijkheid andere hoeken dan de granaat (afb. 2, fig. 2 D) en de hoeken tussen de prismavlakken van toermalijn zijn niet gelijk aan die van de negenhoek uit afb. 2, fig. 3.

Bovendien worden dan nog de vormen van toer-

malijn (ditrigonaal pyramidaal), pyriet (regulaire pentagoondodekaëder), stauroliet (rhombische tweelingkristallen) en basalt (zeszijdige zuilen van een uit verschillende mineralen bestaand gesteente) alleen op grond van overeenkomstige *habitus*, verward met secundaire vormen van kalkspaat en er zelfs direct uit „afgeleid”. „*We* zagen dus prisma's met drie, vier, zes of negen zijvlakken voorzien, naar omstandigheden door verschillende toppen begrensd, *we* zagen pyramidale, dodekaëdrische, kruisvormige en andere onderling zeer verschillende vormen uit dezelfde spaatvorm ontstaan”, zo beroemt hij zich.

Vidimus igitur prismata tribus, quatuor, sex vel novem instructa lateribus, variisque pro re nata apicibus terminata; vidimus pyramidales, dodecaëdras, cruciformes, aliasque inter se diversissimas figuras, ab eadem spathacea oriri ³⁸⁾.

De weg naar de ontdekking van de symmetrieklassen wordt door deze vermeende afleidbaarheid van geheel verschillende vormen uit een zelfde grondvorm echter geheel afgesneden.

Ook de kalkspaatvormen onderling zijn niet in juist verband gebracht. Alleen de varkenstandkristallen (zie fig. 3, no. 4 en 5) staan in de juiste relatie tot de splijtingsrhomboëder. Het hexagonale prisma 2e soort {1120} en het splijtingsrhomboëder {0111} zouden volgens hem de vorm afb. 2, fig. 1 samenstellen. Inderdaad echter moet van de toenmaals bekende vormen hem de combinatie van het hexagonale prisma 2e soort {1120} met de rhomboëder {0112} (zie fig. 3, no. 3) voor ogen gestaan hebben, dat dus niet volgens de rhomboëdervlakken splijt en ook veel stompere hoeken bezit, zoals *Hauy* reeds in 1784 opmerkte ³⁹⁾.

De door vijfhoeken begrensde vorm, die uit afb. 2, fig. 4 verkregen wordt, is een combinatie van het hexagonale prisma 1e soort {1010} met dezelfde stompe „*spijkerkop*”-rhomboëder {0112} (zie fig. 3, no. 2); *Bergman* houdt het echter voor een combinatie van het hexagonale prisma 1e soort met de splijtingsrhomboëder. Hij verwacht dus voortdurend de splijtingsrhomboëder {1011} met de z.g. spijkerkoprhomboëder {0112}, een fout, die hij vermeden zou hebben als hij aandacht aan de hoeken geschenken had en de splijting geprobeerd had.

Ongetwijfeld is *Bergman's* poging de eerste om de zeer grote verscheidenheid der kristalvormen uit zeer weinige primitieve „*kern*”-vormen af te leiden. Geheel onjuist is het om deze verdienste (natuurlijk weer) aan *Steno* toe te schrijven, zoals *G. F. Kunz* doet ⁴⁰⁾. *Bergman* is hierin geheel origineel: noch *Dortous de Mairan* (die hij trouwens pas in 1780 schijnt te kennen), noch *Cappeler* (die hij in 1780 vermeldt) ⁴¹⁾ geven enige aanleiding tot deze theorie. Geslaagd is *Bergman's* poging evenwel niet: zij overtuigt niet, daar zij niet op exacte meting berust en *Bergman* haar zelf niet trouw blijft, maar op andere methodes overspringt. Toch is het verband, dat hij gelegd heeft tussen de kalkspaatrhomboëder en de kalkspaatskalenoëder het directe uitgangspunt geworden voor de gehele moderne structuurtheorie!

4. *Bergman's* kristalchemie.

Uit *Bergman's* verhandeling van 1773 blijkt wel, dat hij er volstrekt geen bezwaar tegen heeft direct verband te leggen tussen kristalvormen van chemisch

totaal verschillende stoffen. De „basalt“- of „schörl“-achtigen worden even vlot van de kalkspaatrhomboëder afgeleid als de kalkspaatvormen zelf. Van de hyacinth en de stauroliet (die hij kennelijk voor een hyacinthvariëteit houdt) zegt hij nadrukkelijk, dat de kristallen niet „kalkachtig“ maar „kiezelachtig“ zijn, hoewel ze wèl de vorm van kalkachtige kristallen vertonen⁴²⁾. *Bergman* aanvaardt dus de onbepaalde mogelijkheid, dat dezelfde vormen bij verschillende stoffen optreden; het herkennen van een stof aan zijn kristalvorm, een der doeleinden der chemische kristallografie, is bij zijn opvatting onuitvoerbaar, daar nu iets, dat in werkelijkheid alleen binnen het regelmatige stelsel mogelijk is, voor alle stoffen aangenomen wordt.

Maar niet alleen hebben verschillende stoffen dezelfde uitwendige vorm, omgekeerd heeft ook dezelfde stof zeer verschillende vormen, „wat ons zeer duidelijk vermaant, dat we niet te veel geloof moeten hechten aan de vormen“. Wel is, volgens *Bergman*, „van de uitwendige kenmerken de vorm ongetwijfeld het belangrijkste, maar als dit reeds zo onzeker is, wat zijn dan de andere uitwendige kenmerken waard?“ „En met welk gevolg zou dan de gehele mineralogie op hen gebouwd worden? Zeker mogen uitwendige kenmerken niet verwaarloosd worden, maar wie ze voldoende acht, bedriegt zichzelf: zij steunen het ervaren oog, maar overtuigen niet“⁴³⁾.

Aldus *Bergman* en daaruit wordt wel duidelijk, dat hij een voorstander is van de juist opgekomen classificatiemethode in de mineralogie: de chemische, die, in tegenstelling tot de oude natuurhistorische methode⁴⁴⁾, bij de indeling meer let op de stoichiometrische samenstelling dan op het uiterlijk der mineralen. Tot de ontwikkeling der mineraalanalyse hebben juist de Zweedse mineralogen (*Cronstedt, Gahn, Bergman*, e.a.) veel bijgedragen. Voorlopig echter was de chemische analyse nog zeer gebrekkig:

niet alleen de kwantitatieve maar ook de kwalitatieve analyse liet veel te wensen over. Zo lang de elementenleer nog een vermenging was van grieks-wijsgerige vooroordelen met de resultaten der chemische empirie, zo lang een groot deel der eenvoudige stoffen nog niet ontdekt was en de chemische theorie nog in haar kinderschoenen stond, zo lang kon het resultaat der chemische analyse niet anders dan vaag zijn. De vaagheid der kristallografische methode van *Bergman* kon dus niet gecompenseerd worden door een chemische methode, die niet veel betere resultaten kon opleveren, althans niet waar het de voor de chemische analyse zo „moeilijke“ siliciumhoudende mineralen betreft⁴⁵⁾.

Bergman's scepticisme aangaande het verband tussen kristalvorm en chemische samenstelling heeft ook een goed gevolg gehad. Het was een in zijn dagen algemeen verspreide opvatting, dat alle kristallen hun vorm danken aan een kleine hoeveelheid bijgemengd zout. *Bergman* is van mening⁴⁶⁾, dat kristallisatie door aantrekking van materiedeeltjes ontstaat, iets dat bij elke stof en niet alleen bij zouten voorkomt⁴⁷⁾. Het feit, dat zeer verschillende stoffen in octaëders kristalliseren en dat daartegenover een stof bij dezelfde samenstelling kubi, octaëders, dodekaëders en ikosaëders vertoont (bijv. pyriet), en ook het feit dat mica uit zeshoekige lamellen opgebouwd is, hoewel de chemische analyse er volstrekt geen zout uit kan halen, bewijst volgens *Bergman* de onjuistheid van deze opvatting, dat de vormen door bepaalde zouten veroorzaakt worden. Hij weet echter wel, dat de voorstanders van deze leer zich dan op een „verborgen zout“, dat er niet uit gehaald kan worden, zullen beroepen. Daarom zullen zijn argumenten „voldoende zijn voor hen, die begeren hun kennis te bouwen op duidelijke experimenten, terwijl zij, die zich overgeven aan hypothesen, door een leger van de helderste bewijzen nog niet overtuigd zullen worden“⁴⁸⁾.

1) *Variae crystallorum formae a spatho ortae*; Nova Acta Reg. Soc. Scient. Upsaliensis, vol. I, p. 150; Upsaliae 1773.
 2) *Bergman, T.*, Opuscula physica et chemica, pleraque seorsim antea edita, jam ab auctore collecta, revisa et aucta. vol. II, p. 1; Upsaliae 1780. Commentatio XII: De formis crystallorum, praesertim e spatho ortis.
 3) N. Acta Reg. Soc. Ups. I, p. 150—151.
 4) Opusc. II, p. 1.
 5) Acta Ups. I, 151.
 6) De plaat van 1780 bevat de figuren van de plaat uit 1773 plus enige nieuwe figuren, die gedeeltelijk uit de verhandeling van *Dortous de Mairan* overgenomen zijn. Fig. 1 van 1773 is fig. 1 van 1780; fig. 2 van 1773 is fig. 2 van 1780; fig. 3 van 1773 is fig. 4 van 1780; fig. 4 van 1773 is vervangen door fig. 3 van 1780.
 7) *Basalt* werd vroeger als een afzonderlijk mineraal beschouwd, dat, o.a. op grond van het feit, dat het in zeshoekige zuilen voorkomt, bij de „schörl-achtigen“ ingedeeld werd. *Schörl* is de naam, waarmede oudtijds zeer uiteenlopende mineralen aangeduid werden. De naam wordt nu vrijwel uitsluitend voor zwarte toermalijn gebruikt. „Groene schörl“ is actinoliet of straalsteen en ook wel epidoot; „witte schörl“ is albiet; „rode schörl“ is pykniet. Verder vielen nog stauroliet, distheen, anataas en amphibolen en pyroxenen onder deze groep, dus stoffen, die zowel in kristalklasse als in chemische samenstelling sterk verschillen. *Haiiy* zegt over deze verwarde groep: „L'Histoire naturelle ne présente nulle part une association aussi nombreuse d'êtres mal assortis et étrangers les uns aux autres. On dirait que les minéralogistes s'étaient proposés de résoudre le problème de resserrer le plus grand nombre d'erreurs dans le minimum d'espace“ (Minéralogie . . .). Dat overigens *Bergman's* samenvatting tot schörl-achtigen van toermalijn, stauroliet en granaat nog niet zo dwaas is,

blijkt wel uit het feit, dat nog *Tschermak* alle drie in dezelfde groep plaatst („Granatgruppe“; *Tschermak*, Lehrb. d. Min. 2. Aufl., Wien 1885, p. 476, 479). Granaat werd tot voor kort ook nog dikwijls „hyacinth“ genoemd (*Tschermak*, op. cit. p. 480).
 8) Act. Ups. I, p. 152.
 9) Opusc. II, p. 7 G.
 10) Opusc. II, p. 6 F.
 11) Opusc. II, p. 7 G.
 12) Act. Ups. I, 152.
 13) Act. Ups. I, 153.
 14) Act. Ups. I, 152.
 15) Act. Ups. I, 153.
 16) Act. Ups. I, 153.
 17) Act. Ups. I, 153.
 18) Act. Ups. I, 153.
 19) Act. Ups. I, 154.
 20) Opusc. II, 6. Zie ook Comment. XVI.
 21) Opusc. II, p. 9 K.
 22) *Groth, P.*, Entwicklungsgesch. d. mineral. Wiss., Berlin 1926, p. 18.
 23) *Mauguin, Ch.*, Bull. Soc. fr. de Minéralogie, T. 67, p. 261.
 24) Act. Ups. p. 154.
 25) *Gahn, J. G.*, een der belangrijkste Zweedse mineraalchemici, was werkzaam in Falun en heeft naar men vermoedt, zeer grote invloed uitgeoefend op *Bergman's* opvattingen (*Groth*, op. cit. p. 14).
 26) Act. Ups. I, 154 noot a.
 27) Act. Ups. I, 154.
 28) Opusc. II, 9.
 29) Act. Ups. I, 154, 155.
 30) Granaat bezit onvolkomen, toermalijn zeer onvolkomen spijthbaarheid, waarvan slechts zwakke sporen aan het oppervlak te vinden zijn (*Tschermak*, op. cit. p. 128).
 31) *Hooykaas, R.*, „Kristalstreping en kristalstructuur“, Chem. Weekblad 47, 5—7 (1951).

- 32) Opusc. II, XII, par. 3.
33) Opusc. II; XII, par. 4.
34) Opusc. II, p. 11 B.
35) *Mauguin*, loc. cit. p. 259.
36) Opusc. II, p. 10.
37) Act. Ups. p. 153.
38) Opusc. II, p. 9 L.
39) *Haüy*, Essai (1784), p. 91.
04) "The theory of the upbuilding of a crystal about a definite and constant nucleus is also enunciated by him (Steno scil.)". The American Mineralogist, vol. 3 (1918), no. 6, p. 77.
41) Opusc. II, p. 20.
42) Opusc. II, p. 7 G.
43) Opusc. II, p. 9 L.
44) *Hooykaas*, R., De natuurlijke klassificatie der chemische substanties, Chem. Weekblad 33, 599—610 (1936).
45) Zeoliet was volgens *Haüy*, die grote waarde hechtte aan de constante samenstelling der delfstoffen, „argile unie à la terre siliceuse, formant la moitié du poids, quelquefois davantage, et à un peu de chaux”; veldspaat: „terre siliceuse, unie à l'argile et à un peu de magnésie”. Veel scherper dan het kenmerk „kristalvorm” was dus het kenmerk „chemische samenstelling”, zelfs lang ná *Bergman*, niet en daarom hielden, ondanks *Bergman*, velen aan de natuurhistorische methode vast.
46) Opusc. II; XII, par. 5.
47) Opusc. II, p. 22.
48) Opusc. II, p. 24.