

# Kristallen - Een handleiding voor leerkrachten

Elizabeth A. Wood, 1972

(vertaald uit het engels door Luc Van Meervelt, oktober 2002)

Geschreven voor de Commissie Kristallografie-onderwijs van de Internationale Vereniging voor Kristallografie

## Inleiding

### Aan alle leerkrachten van jonge kinderen:

Deze handleiding werd geschreven voor de Commissie voor Kristallografie-onderwijs van de Internationale Vereniging voor Kristallografie, een organisatie ter bevordering van de kristallografie in de wereld. Het is geen vakbond, maar een groep van mensen uit alle landen met speciale interesse in kristallen.

Vele leerkrachten hebben ondervonden dat kinderen interesse vertonen in kristallen. Er zijn goede redenen om deze interesse nog verder te stimuleren. Kinderen kunnen eenvoudige experimenten uitvoeren met kristallen, zodat ze het gevoel krijgen zelf aan wetenschappen te doen en tevens leren waarnemen tijdens eigen experimenten. Kristallen zijn van belang voor chemici, fysici, geologen, biologen en wiskundigen. Kristallen bestuderen is een onderdeel van al deze wetenschappen, waarbij men bewust wordt dat de natuur niet opgedeeld is in chemie, fysica, geologie en biologie.

De meeste leerkrachten zullen tijdens hun opleiding niet zoveel geleerd hebben over kristallen. Het doel van deze handleiding is hen achtergrondinformatie te geven over kristallen, zodat ze enthousiast kunnen inspelen op de interesse van kinderen in kristallen. Het is dus geen systematische cursus in kristallografie. Een dergelijke cursus is hier niet op zijn plaats, maar voor leerlingen die meer willen weten over kristallografie zijn er wel cursussen aan onze universiteiten. Dit is een handleiding om te genieten van kristallen.

In deze handleiding worden technische termen zoveel mogelijk vermeden, niet om het geheel gemakkelijker te maken, maar om te vermijden dat kinderen alleen termen leren in plaats van na te denken over wat er gebeurt. Zo denken kinderen te weten waarom een appel naar beneden valt wanneer ze het woord 'zwaartekracht' geleerd hebben, maar zelfs onze meest competente wetenschappers zijn nog steeds verwonderd over de manier waarop een appel en de aarde elkaar aantrekken.

De meeste boeken over kristallografie, de wetenschap die kristallen bestudeert, benadrukken het belang van symmetrie bij de indeling van kristallen. Vele kristallen die kinderen zelf kunnen groeien of in de natuur vinden, vertonen echter deze perfecte symmetrie niet omdat de

groeicondities rondom het kristal niet overal gelijk zijn. Het vereist dan ook heel wat ervaring met perfecte kristallen en verbeeldingskracht om zich voor te stellen hoe een kristal er zou uitzien bij uniforme groeicondities.

Tenzij leerlingen tijdens hun eigen waarnemingen overtuigd zijn dat symmetrie nuttig is bij de indeling van kristallen, is er dus geen behoefte hen aspecten van symmetrie bij te brengen, vermits deze zonder betekenis blijven voor hen. De essentie van wetenschap is waarnemen, vragen stellen, nieuwsgierigheid en moeite doen om hierop antwoorden te vinden. Leren wat anderen reeds gevonden hebben is een onderdeel van leren over wetenschappen, maar eerst moeten we inzien hoe wetenschappers hun kennis over de natuur vergaren, zodat we overtuigd zijn dat hun resultaten steunen op herhaalbare experimenten.

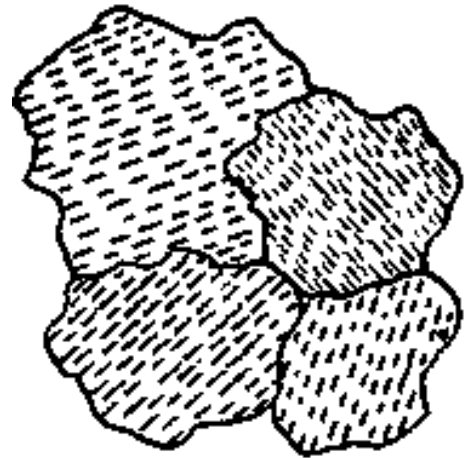
Om deze redenen behandelt de handleiding dus niet de systematische kristallografie, of de kristalindeling volgens hun symmetrie. Ze tracht eerder een stevige basis te leggen voor latere verdieping in de kristallografie door eerst waarnemen en experimenteren aan te moedigen. Na verloop van tijd zullen de waarnemingen van de leerlingen hen waarschijnlijk tot de volgende conclusies leiden:

1. Onder de geschikte voorwaarden vormen sommige vaste stoffen **kristallen**.
2. Kristallen groeien aan hun buitenkant door het toevoegen van bijkomende lagen bestaande uit vaste stof.
3. In een oplossing worden kristallen gevormd door het verdampen van het solvent. Kristallen kunnen zich ook vormen tijdens het afkoelen van een gesmolten toestand. Kristallen vormen zich tevens wanneer een warme onzichtbare damp een koel oppervlak ontmoet.
4. Kristallen van verschillende verbindingen hebben een verschillende vorm.
5. Kristallen van verschillende verbindingen hebben verschillende eigenschappen; sommige zijn gekleurd, andere niet; sommige groeien gemakkelijk, andere niet; sommige splijten (zie verder), andere niet; sommige zijn helder onder gekruiste polarisatoren (zie sectie II-D), andere niet.
6. (voor oudere leerlingen) Tijdens het groeien van een kristal moet een zekere ordening ontstaan die verantwoordelijk is voor de karakteristieke vorm en vlakken van het kristal, en voor de manier waarop het kristal met licht interageert. Deze ordening moet verschillend zijn voor verschillende verbindingen. Leerlingen die op basis van hun waarnemingen overtuigd zijn van deze conclusies hebben een stevige basis voor de wetenschap kristallografie.

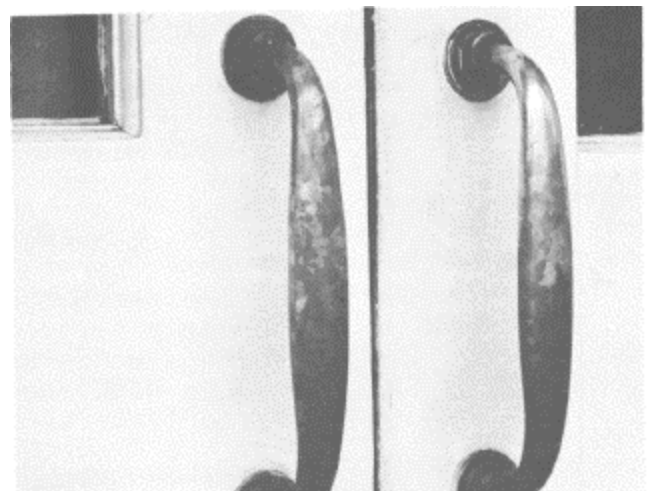
\* \* \*

Een kristal van een gegeven verbinding of materiaal vertoont uitwendige vlakken die onderling steeds dezelfde hoeken maken. Het bekomt zijn eigenschappen door de inwendige regelmatige ordening van atomen, ionen of moleculen. Deze regelmatige ordening wordt in ongeveer elke vast stof teruggevonden, alhoewel sommige verbindingen meer regelmaat vertonen dan andere. Zelfs in hout zijn de moleculen in de richting van de vezels geïndend, maar deze ordening gaat verloren van de ene vezel naar de andere. Is hout dan een kristal ? Het vertoont geen glanzende vlakken ! Sommige kristallografen (wetenschappers die kristallen bestuderen) zullen beweren dat deze vezels kristallen zijn, anderen niet.

Een verbinding die bestaat uit kristallen wordt kristallijn genoemd. Soms verwijst het woord **polykristallijn** naar een verbinding die bestaat uit vele kristallen. In een enkelkristal is de ordening van rijen atomen niet onderbroken en verandert deze niet van richting. Wanneer twee kristallen echter tegen elkaar groeien, dan wordt ter hoogte van de onderlinge grens de richting van geordende rijen veranderd. Een doorsnede doorheen vier kristallen met zulke grenzen is schematisch voorgesteld in de tekening. De volle lijnen stellen de grenzen tussen de kristallen voor (soms de korrelgrenzen genoemd), de streeplijnen de lagen van atomen, ionen of moleculen.



Vele dagdagelijkse verbindingen bestaan uit geordende kristallen die toch geen glanzende kristalvlakken vertonen, omdat naburige kristallen tegen elkaar groeiden met grillige korrelgrenzen tot gevolg. Bijna alle rotsen bestaan uit kristallen en de verschillende soorten kristallen kunnen hierin gemakkelijk onderscheiden worden. Metalen voorwerpen bestaan uit kristallen die in elkaar vernesteld zijn. Soms zijn de grenzen te zien, zoals bij de zinken deklaag op gegalvaniseerd staal gebruikt bij emmers of drankblikken. Ook bij een handvat uit messing zie je de grenzen tussen de kristallen meestal heel duidelijk.



Een verbinding waarin de atomen, ionen of moleculen volledig ongeordend zijn, wordt een glas genoemd. Vensterglas is een gekend voorbeeld. Vulkanisch glas, en sommige vulkanische assen, zijn ook glasachtig of niet-kristallijn. Verder bestaat er een soort glasachtig snoepgoed dat zeer knapperig is en meestal noten bevat. Het wordt bereid door gesmolten suiker zeer snel af te koelen. Kristallen krijgen dan geen kans om te groeien vóór het vast worden van de vloeistof: de beweeglijkheid van de moleculen wordt te klein om de regelmatige posities in het kristal nog in te nemen. Dit suggereert dat andere glazen ook gevormd worden door snelle afkoeling. Dit is zo voor vulkanisch glas en bepaalde industriële glassoorten, maar glasfabrikanten hebben inmiddels mengsels gevonden die ook bij een tragere afkoeling niet kristalliseren. In bepaalde zeer oude glassoorten, daterend uit de periode dat deze technieken nog niet ontwikkeld waren, hebben zich over de jaren heen kristallen gevormd doordat de door elkaar aangetrokken atomen traag naar

geordende posities migreerden. Geologisch gezien zijn er geen zeer oude vulkanische glazen. In honderdduizend jaar hebben de atomen de tijd gehad om samen kristallen te vormen.

Jongeren leren best al doende: de beste manier om een kind iets over kristallen bij te brengen is door er mee te experimenteren, en niet door erover te vertellen. Laat de kinderen waarnemen en vragen stellen, en dan kan je misschien helpen bij het zoeken van de antwoorden. We zullen zelfs niet trachten het woord **kristal** te definiëren vooraleer we ermee enige ervaring hebben. Het is belangrijk dat de leerkracht ook diezelfde ervaringen heeft, zodat je vreugde beleeft aan de ontdekkingen van je leerlingen.

Het vervolg van deze handleiding is geschreven voor de leerlingen zelf. Wanneer je hier iets leert dat je in feite reeds wist, herinner je dan dat dit geschreven is voor gelijk welke school in de wereld.

## I. Materiaal en produkten

### A. Essentiëel

Produkten	Materiaal
Zout (keukenzout, natriumchloride, NaCl)	Tas, glas or andere pot
Suiker (sucrose of sacharose, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	Maatbeker (ongeveer 250 mL)
Water	Koffielepel
	Dunne draad of garen

### B. Wenselijk

Produkten	Materiaal
Borax (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	Vergrootglas
Aluin (ammonium aluin NH <sub>4</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O of kalium aluin, KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O)	Pincet of tangetje
Kopersulfaat (CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O)	Draagglasjes microscoop (of ander stukje glasplaat)
Epsomzout (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	Vlam kaars of lucifer
Salol (fenylsalicylaat, HOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> )	Warmtebron om water te koken
Bismut (Bi)	Koelkast of temperatuur onder 0° C
Naftaleen (mottenballen, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )	Twee stukken polarisatiefilm, zoals Polaroid

## II. Kristallen in de klas en thuis

### A. Kristalliseren vanuit een oplossing

#### 1. Zout (keukenzout, natriumchloride, NaCl)

We beginnen met keukenzout omdat iedereen het heeft. Tijdens dit experiment kan je het nodige materiaal voor de verdere experimenten verzamelen.

##### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Doe 3 koffielepels zout in een beker met ongeveer 80 mL water. Roer goed. Het meeste zout zal in het water oplossen, waardoor we een oplossing van zout in water vormen. Een deel blijft onopgelost op de bodem van de beker liggen en de oplossing lijkt troebel. Sommige zoutfabrikanten omhullen de zoutkorrels met een onschadelijke, onoplosbare verbinding om te beletten dat de zoutkorrels aan elkaar kleven bij vochtig weer. De volgende procedure wordt gebruikt voor de scheiding van de niet-opgeloste stof en de zoutoplossing. Laat het mengsel overnacht staan. De volgende morgen is de oplossing helder. Giet de heldere oplossing voorzichtig over in een andere beker of glas, zonder dat het materiaal op de bodem omhoog komt. (Dit scheidingsproces van een vloeistof en een vaste stof door het eenvoudig afgieten van de vloeistof wordt 'decanteren' genoemd.)

Verwijder het vaste materiaal. Laat de heldere oplossing enkele dagen onafgedekt staan. Om het stof eruit te houden, kan je er best een omgekeerde doos over zetten.

Een bepaalde hoeveelheid van elk **solvent**, zoals bijvoorbeeld water, kan een zekere hoeveelheid van een vaste verbinding in oplossing houden. Wanneer deze hoeveelheid in de oplossing aanwezig is, spreken we over een **verzadigde oplossing** van deze verbinding. Indien minder dan deze hoeveelheid opgelost is, hebben we een **onderverzadigde oplossing**. In bepaalde gevallen heeft de verbinding een kiem (nucleus) - een zeer klein stukje kristal van dezelfde soort - nodig om de kristallisatie te doen starten. In dergelijke gevallen, wanneer de verzadigde oplossing blijft staan en het solvent verdampt, wordt de oplossing **oververzadigd** genoemd. Deze oplossing bevat nu meer **opgeloste stof** in vergelijking met oplossing die in contact is met kristallijn materiaal van dezelfde opgeloste stof. Toevoegen van het kleinste fragment van de opgeloste stof veroorzaakt **neerslag** van de overmaat opgeloste stof op de bodem van de beker.

Wanneer op de bodem van je zoutoplossing de eerste vaste deeltjes verschijnen, bekijk je ze met een vergrootglas. Tracht telkens op één bepaald deeltje te letten en kijk hoe het van dag tot dag verandert. Wanneer je een glazen beker gebruikt, kan je deze op een stuk papier zetten waarop je met een cirkeltje de plaats aangeeft van het deeltje dat je observeert. (Er kan er zich een witte korst vormen aan de rand van de oplossing, waar de verdamping snel is. We zullen dit later verder behandelen.) Een sterke lichtbundel van opzij kan je waarnemingen vergemakkelijken.

De deeltjes die zich gelijk aan vormen in de oplossing zijn zoutkristallen. Wanneer je ze in het prille begin van hun vorming bekijkt, zien ze er vierkantig uit. Van opzij, lijken ze ook vierkantig, of soms rechthoekig. Deze vlakken staan precies loodrecht op elkaar en dit blijft zo tijdens de verdere groei.

Een doordenkertje! Uit de vormloze oplossing komen deze perfect gevormde vaste deeltjes, of je deze oplossing nu laat verdampen in Spanje of Siberië, in Afrika, Amerika of Australië, in een onderzeeër of in een vliegtuig. De vaste stof die uit de zoutoplossing ontstaat, vormt kleine kristallen met blinkende zijvlakken die onderling loodrecht op elkaar staan. Hoe denk je dat dit gebeurt?

Neem met een pincetje één van de kleine kristallen uit de oplossing en droog het af. Je kan het in een doosje leggen en zo bewaren. Het zal niet veranderen, tenzij het weer **zeer** vochtig is. Bij extreme vochtigheid zal water uit de omringende lucht het kristal oplossen. De kristallen in de beker blijven groeien doordat het water verdampt. Het opgeloste zout blijft niet langer in oplossing, maar wordt toegevoegd aan de kleine zoutkristalletjes waardoor ze groter worden. Aangezien laag na laag toegevoegd wordt, zoals verflagen op een geschilderde doos, zal elk vlak naar buiten groeien, waarbij de onderlinge rechte hoeken tussen de vlakken behouden blijven.

Wat gebeurt er wanneer twee kristallen die naast elkaar liggen door het groeien elkaar raken? Observeer zorgvuldig. In de meeste gevallen blijven ze samen groeien: onregelmatig waar ze elkaar raken, terwijl aan de vrije kanten hun mooie vlakken blijven groeien. Neem met behulp van een pincet enkele kristallen die reeds een tijdje aan elkaar gegroeid zijn. Kan je zeggen waar het ene kristal eindigt en het andere begint? In bepaalde gevallen is dit eenvoudig, in andere niet. Kan je ze van elkaar trekken?

Terwijl je oplossing verder verdampt, zullen verschillende kristallen op de bodem van de beker verder blijven groeien. De witte korst aan de zijkant bestaat uit net dezelfde kristallen, alleen zijn ze zeer klein. Waar de verdamping heel snel gaat, groeien vele kristallen gelijktijdig en ontmoeten ze snel naburige kristallen zodat ze niet groot kunnen worden.

In de kleine ruimte tussen sommige van deze kristallen en tussen de witte korst en de beker zorgt de capillaire kracht ervoor dat vloeistof tegen de bekerwand opgezogen wordt. Deze vloeistof verdampt snel zodat nog meer witte korst gevormd wordt.

Hoe kunnen we nu een groter kristal doen groeien dat nog steeds die perfecte vorm heeft omdat het niet in contact komt met een naburig kristal? Tracht deze vraag te beantwoorden vooraleer verder te lezen.

Hier zijn twee methoden die we kunnen uitproberen:

1. Een snelle verdamping zorgt ervoor dat, dicht bij elkaar, vele kristallen gelijktijdig beginnen te groeien. Door deze snelle verdamping te verhinderen, kunnen we misschien minder kristallen vormen, die verder van elkaar liggen. Een dekseltje op de beker leggen, zonder de beker volledig af te sluiten en de verdamping compleet te stoppen, is in elk geval reeds beter

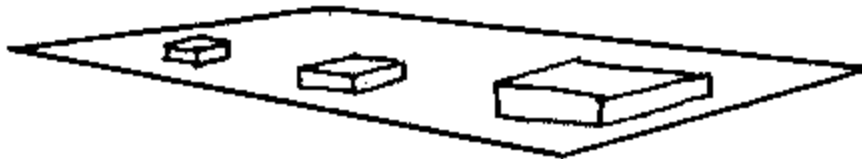
dan een omgekeerde doos over de beker te plaatsen. Een stuk papier of vod, vast gemaakt met een elastiek zal de verdamping heel wat trager doen verlopen.

2. We kunnen ook één goed gevormd kristal selecteren, de verzadigde oplossing in een andere beker gieten en het kristal hierin terug leggen. Hopelijk vormen er zich geen andere kristallen in de beker. Een dergelijk kristal noemen we een kiemkristal. (Opgelet: de oplossing die aan je kristal, pincet of vingers hangt, is verzadigd. Bij verdampen vormen zich snel heel kleine kristalletjes in deze oplossing, en dus bijkomende kiemetjes die net als het eigenlijke kristal ook willen groeien. Daarom is het wenselijk het kristal snel en zorgvuldig droog te maken met een absorberend doekje of propere zakdoek, en pincet en vingers te spoelen en drogen.)

Wanneer kristallen die op de bodem liggen groeien, zal het gedeelte dat in contact is met de bodem niet verder kunnen ontwikkelen omdat het geen bijkomend materiaal kan opnemen. Om alle zijden gelijkmatig te laten ontwikkelen moeten we het kristal in de oplossing hangen met behulp van een draadje. De draad rond het kristal knopen is niet eenvoudig. Een goed alternatief is de draad aan het kristal kleven met een klein beetje (super)lijm.

## b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

1. Vooreerst kunnen we een leerrijk overzicht maken van de verschillende stadia van de kristalgroei. Neem een aantal kristallen van verschillende grootte (met pincet) en kleef ze op een hard karton (best zwart of donker gekleurd). De volgorde, van klein naar groot, toont aan dat de kristallen dezelfde vorm behouden tijdens hun groei.



Vermijd kristallen te nemen die uit meerdere fragmenten bestaan. Vergelijking van vorm en grootte wordt hierdoor moeilijker.



2. Breek de kristallen. Klop lichtjes op een kristal met een kleine hamer, lepel of handvat van een schroevendraaier. Het kristal breekt langs vlakken die parallel zijn aan de uitwendige vlakken van het kristal.



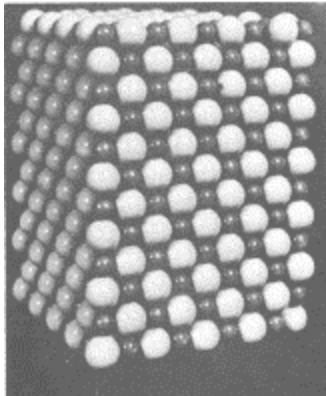
Dit kristal breekt in ...



Deze fragmenten kunnen in nog kleinere stukjes gebroken worden, weerom met uitwendige vlakken (die schitteren in een sterke lichtbundel) parallel aan de oorspronkelijke. De eigenschap van een kristal om te fragmenteren volgens vlakken in bepaalde richtingen noemen we **splijting**. Niet alle kristallen vertonen splijting. Sommige breken zoals een stuk glas. In zout zijn de splijtvlakken parallel aan de groeivlakken (de uitwendige vlakken van het kristal). Bij kristallen van andere verbindingen zijn de splijtvlakken soms niet parallel aan de groeivlakken.

Hoe komt het dat natriumchloride kristallen steeds als kubusvormige kristallen groeien met uitwendige vlakken die telkens loodrecht op elkaar staan? Kristallografen speculeerden reeds vele jaren over deze vraag. Slechts in de twintigste eeuw is met behulp van röntgendiffractie duidelijk geworden hoe de rangschikking van atomen, ionen of moleculen in een kristal bepaalt hoe kristallen groeien en splijten, en aan de basis ligt van tal van andere eigenschappen. De röntgenstralen leveren geen schaduw op van de atomen, zoals bij de beenderen van een lichaam. Daarvoor zijn de atomen te klein. De röntgenstralen worden verstrooid of afgebogen door de atomen, en door de richtingen van de afbuiging te bestuderen kunnen kristallografen aantonen hoe kristallen opgebouwd zijn.

In natriumchloride, gewoon keukenzout, vonden ze dat natrium en chloride ionen elkaar afwisselen zoals in onderstaande figuur is weergegeven.



Je hebt  $10^{17}$  van dergelijke blokken nodig om een kubusvormig korreltje zout op te bouwen met een zijde van 1 mm. Dat is 100.000.000.000.000.000 of honderd miljoen maal duizend miljoen. Van een dergelijke opbouw kan je inderdaad de vorming van kubusvormige kristallen verwachten, en lijkt het ook logisch dat de splijting gebeurt langs de lagen van natrium en chloride ionen.

Elk kristal heeft zijn eigen karakteristieke rangschikking van atomen, ionen, of moleculen die verantwoordelijk is voor de vorm en andere eigenschappen.

3. Bewaar enkele van de beste kristallen in een klein doosje, potje of omslag voor experimenten later. (Zie experimenten met gepolariseerd licht, Sectie II-D.)
4. Plaats een kristal op een glasplaatje of een ander zuiver oppervlak en laat er een grote druppel water op vallen. Kijk met een vergrootglas hoe het kristal oplost in het water. De hoeken worden snel afgerond omdat daar drie vlakken blootgesteld zijn aan het water. De ribben worden iets minder snel afgerond, ze hebben slechts twee vlakken blootgesteld aan het solvent. Wanneer je het kristal uit het water redt vooraleer het volledig opgelost is, mooi



droogmaakt met een doekje en terugplaatst in de verzadigde oplossing, zal het opnieuw beginnen groeien en de hoeken en ribben terug opvullen tot de originele vorm!

5. Je kan gelijk welk kristal gebruiken als kiem om grotere kristallen te groeien vanuit een verzadigde oplossing van de zelfde verbinding, maar de kleinste kristallen zijn wel de beste kiemen.
6. Gebruik je bekomen kristallen als startmateriaal voor een nieuwe kristallisatie. Ze bestaan nu uit puur keukenzout, zonder de onoplosbare deklaag.

### c. Wat hebben we geleerd?

Een belangrijke les tijdens het experimenteren met keukenzout is dat zoutkristallen groeien door het toevoegen van zout onttrokken uit de omringende zoutoplossing. Hierbij ontwikkelen zich uitwendige vlakken die onderling loodrecht staan, op voorwaarde dat de groei niet verhinderd wordt. Het feit dat deze kristallen splijten toont aan dat, **binnen het kristal**, één richting niet dezelfde is als gelijk welke andere. De soort en de rangschikking van de atomen, ionen of moleculen in een kristal bepalen zijn vorm en andere eigenschappen.

Decanteren hebben we gebruikt als methode om een vloeistof te scheiden van een vaste stof. Kiemen werden gebruikt als methode om grotere enkelkristallen te groeien.

In de witte korst aan de rand van de vloeistof zagen we dat kristallen die groeien uit kiemen die zich dicht bij elkaar bevinden niet zeer groot kunnen worden. Deze witte korst vergroot nog doordat de oplossing door capillaire krachten erin opgezogen wordt.

De manier waarop een kubusvormig zoutkristal oplost werd geobserveerd.

## 2. Borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) in water

Alhoewel de derde verbinding, suiker, gemakkelijker beschikbaar is dan borax, hebben we borax als tweede verbinding gekozen omdat het zo snel zeer mooie kristallen vormt. Borax wordt gebruikt als schoonmaakmiddel, bij het wassen van kleren, en wordt net als waspoeder verkocht in kartonnen dozen. Bij inname is het schadelijk.

Borax is beter oplosbaar in warm water dan in koud water. Dit is niet waar voor alle verbindingen. Keukenzout bijvoorbeeld is bijna even oplosbaar in koud of warm water.

### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Voeg één koffielepel borax toe aan 120 mL zeer warm water, en roer de oplossing tot de borax volledig is opgelost. Na afkoelen vormen zich zeer mooie kleine kristallen.

## b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

De voorgestelde activiteiten bij natriumchloride (zout) zijn ook bruikbaar voor borax. Men kan een overzicht maken van de verschillende stadia van de groei of we kunnen de splijting van de kristallen testen. Een goed afgedroogd kristal, opgehangen aan een touwtje in de verzadigde oplossing, kan als kiem gebruikt worden. Een oplossing die in contact is met groeiende kristallen is verzadigd, anders zouden de kristallen opnieuw oplossen. Daarom zal de oplossing bij overgieten in een andere beker, bij gelijke temperatuur, zeker borax afzetten op de opgehangen kiem (bij het overgieten worden de andere kleine groeiende kristallen verwijderd).

Het is beter de kiem iets dichter bij de bodem te hangen. De rede hiervoor is eenvoudig: de dichtheid van een verzadigde oplossing van bijna elke verbinding is groter dan deze van een onverzadigde oplossing. Wanneer borax afgezet wordt op het kristal, wordt de oplossing waaruit dit borax is afgezet minder zwaar en stijgt dus. De zwaardere, verzadigde oplossing (weegt meer per volume eenheid) neemt de plaats in en brengt nieuw materiaal naar het kristal. Wanneer het kristal zich dicht bij het oppervlak van de oplossing bevindt, omgeeft de lichtere, onverzadigde oplossing de top van het kristal. Natuurlijk, net aan het oppervlak, waar de oplossing in contact is met lucht, geeft de verdamping aanleiding tot kristallisatie. Kiemen worden daar regelmatig gevormd, maar kunnen slecht langs één zijde verder ontwikkelen en zijn dus steeds vervormd.

Vergelijk de vorm van de boraxkristallen met deze van de zoutkristallen.

Bekijk met een vergrootglas een zeer klein zoutkristal en een zeer klein boraxkristal tussen gekruiste polarisatoren (zie sectie II-D). Het effect kan minder duidelijk zijn bij grotere kristallen omwille van hun schitterende vlakken of insluitsels die licht weerkaatsen.

Water moleculen behoren tot de onzichtbare deeltjes waaruit boraxkristallen zijn opgebouwd. Wanneer we boraxkristallen gedurende een lange tijd in een warme, droge plaats bewaren, kan een deel van dit water ontsnappen. Het gedeelte van het kristal dat water verliest, valt dan uiteen als een poeder. De kleine poederdeeltjes verstrooien het licht en hebben dus een wit uitzicht. Dit verlies van water noemen we **dehydratie**.

## c. Wat hebben we geleerd?

Sommige kristallen zoals borax, hebben vlakken die onderling niet loodrecht staan ten opzichte van elkaar. Borax en zout hebben verschillende vormen. Borax en zout hebben een verschillende effect op licht, zoals we aantoonde met de gekruiste polarisatoren. De twee verbindingen kunnen van elkaar onderscheiden worden door hun verschillende **eigenschappen**: oplosbaarheid, kristalvorm, splijting, en effecten met licht. Het is daarom duidelijk dat wanneer borax uit de oplossing neerslaat, deze boraxkristallen zich op een verschillende manier opbouwen in vergelijking met het neerslaan van zout.

### 3. Suiker (sucrose of sacharose, $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) in water

#### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Goede suikerkristallen groeien is moeilijk. Suiker in water vormt een zeer visceuse vloeistof (siroop) en de suikermoleculen kunnen er niet snel doorheen bewegen om elkaar te treffen en een geordende rooster of kristal te vormen.

Het geheim van het succes is de oplossing warm genoeg te houden om de beweeglijkheid van de moleculen te bevorderen, maar gelijktijdig geen te snelle verdamping aan het oppervlak en dus korstvorming te veroorzaken. Om dit te bereiken, moet je als volgt tewerk gaan.

Verwarm voorzichtig 200 gram suiker en 120 mL water, onder constant roeren, tot alle suiker opgelost is en de oplossing helder is. Doe deze in een glazen bokaal met deksel (confituurpot bijvoorbeeld), maar schroef het deksel niet te vast. Plaats de bokaal voor enkele dagen op een warme plaats (nabij kachel bijvoorbeeld). Water dat van het oppervlak verdampt, condenseert op het deksel en druppelt terug naar het oppervlak, waardoor de korstvorming vermeden wordt. Om een beetje water te laten verdampen, mag het deksel niet volledig vastgeschroefd zijn. Eventueel zullen er er zich nu kristallen vormen met een zeer mooie, karakteristieke vorm, en dit gedurende een zeer lange tijd.

De suikeroplossing heeft de interessante eigenschap dat ze het vlak van het gepolariseerd licht doet draaien (zie sectie II-D). Deze draaiing is verschillend voor verschillende lichtkleuren. Wanneer men de bokaal met suikeroplossing tussen gekruiste polarisatoren houdt en tegen het licht in door de oplossing en polarisatoren kijkt, ziet men dat de oplossing niet zwart is zoals een zoutoplossing, maar gekleurd. Bij het draaien van één van beide polarisatoren (in zijn eigen vlak, zoals de wijzers van een klok draaien), terwijl de andere onveranderd blijft, verandert de kleur.

#### b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

Alle suggesties beschreven bij keukenzout en borax zijn ook hier van toepassing. Vergelijk ook de vorm van een suikerkristal met deze van een borax- en zoutkristal.

#### c. Wat hebben we geleerd?

Suikerkristallen verschillen van vorm en gemak om te groeien van keukenzout, een ander veel gebruikte verbinding aan tafel. Ze verschillen ook met borax in vorm en gemak om te groeien. Wanneer suiker uit oplossing gaat, bouwt het op een andere manier een suikerkristal dan bij zout- of boraxkristallen. Elke verbinding heeft zijn eigen manier om de deeltjes te rangschikken in een kristalrooster.

De deeltjes waaruit een kristal is opgebouwd moeten tijdens de kristalgroei vrij kunnen bewegen. De suikeroplossing is zo visceus (siroop) dat de beweging van de suikermoleculen afgeremd wordt, zodat suikerkristallen moeilijker te bekomen zijn dan zout- of boraxkristallen.

Een waterige oplossing van suiker, in tegenstelling tot deze van zout of borax, roteert het vlak van het gepolariseerd licht (zie sectie II-D).

#### **4. Aluin [ammonium aluin, $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ of kalium aluin, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ] in water**

Aluinkristallen zijn gemakkelijker te bekomen dan zoutkristallen, en heel wat gemakkelijker dan suikerkristallen. Ze hebben zeer heldere vlakken en de kleinste kristallen glinsteren enorm. In poedervorm is aluin gemakkelijk te bekomen bij de apotheker of drogist. Het wordt gebruikt als bloedstelpend middel bij kleine wonden.

##### **a. Kristallen groeien en observatie van de groei**

Doe 4 koffielepels aluinpoeder in ongeveer 120 mL warm water en roer goed om het oplossen te bevorderen. Na een tijdje wordt de oplossing helder en is alle poeder opgelost.

Dek de beker af met bijvoorbeeld een stuk papier of karton om invallend stof te vermijden. Tijdens het verdampen van het water vormen zich zeer mooie aluinkristallen.

Observeer de kristallen en vergelijk hun vorm met deze van de andere verbindingen. Zijn de aluinkristallen meer of minder helder dan de zoutkristallen? Noteer dat aluin, net als borax, ook water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) bevat. Interessant is het een vergelijking te maken tussen de kristalgroei (vorm, gemakkelijke) uit waterige oplossing van kristallen die al dan niet watermoleculen bevatten.

##### **b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?**

1. Maak zoals bij zout een overzicht van de verschillende groeistadia van de aluinkristallen.
2. Breek de kristallen. Je zal bemerken dat, in tegenstelling tot zout, de aluinkristallen geen splijtingsvlakken hebben, net zoals de suikerkristallen.
3. Bewaar enkele kristallen met het gepaste label in een doosje of omslag voor latere experimenten.
4. Los een aluinkristal gedeeltelijk op en start de groei opnieuw, zoals bij zoutexperiment b4.
5. Hang een klein kiemkristal in een verzadigde aluinoplossing en groei een prachtexemplaar.
6. Bekijk een aluinkristal tussen gekruiste polarisatoren (sectie II-D2).

### c. Wat hebben we geleerd?

Aluinkristallen verschillen op diverse manieren van zout- of suikerkristallen: het is gemakkelijker om grote exemplaren te bekomen, en hun vorm is verschillend. Net zoals suikerkristallen (maar niet zoutkristallen) vertonen ze geen slijting, maar breken onregelmatig. Tussen gekruiste polarisatoren zijn ze donker gekleurd zoals zoutkristallen (maar niet suiker- of boraxkristallen).

## 5. Kopersulfaat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) in water

### GIFTIG

Kopersulfaat is te bekomen bij de apotheker of drogist, en wordt soms gebruikt bij het onderhoud van zwembaden om algengroei te vermijden. Het is giftig en leerlingen mogen het in geen geval mee naar huis nemen. Gebruik handschoenen, was je handen grondig na het werken met kopersulfaatpoeder, -oplossing of -kristallen. Voorkom lozing. (Het poeder bestaat uit zeer kleine kristallen van hoofdzakelijk watervrij kopersulfaat.)

### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Doe vier koffielepels kopersulfaatpoeder in 120 mL warm water en roer tot al het poeder opgelost is. Bij het verdampen van de oplossing zal zich een kopersulfaatkorst vormen die langs de wand omhoog kruipt tot zelfs over de bekerrand. Deze korsvorming is bij kopersulfaat heel wat erger dan bij keukenzout, zodat het een goed idee is de beker op een bord te zetten.

Wanneer voldoende oplossing verdampt is, start de groei van lichtblauwe kristallen. Observeer hun vorm en bekijk dag na dag hoe ze ontwikkelen.

Een mooi experiment is het gelijktijdig groeien van aluin- en kopersulfaatkristallen door twee koffielepels van elk te mengen in ongeveer 125 mL water. Het resultaat is dat de aluinkristallen groeien zoals voorheen, kleurloos en met hun kenmerkende vorm; en de kopersulfaatkristallen eveneens, maar dan met hun karakteristieke blauwe kleur en vorm. Wanneer ze elkaar ontmoeten, groeien ze rondom elkaar, maar **mengen** doen ze niet. De regelmatige rangschikking bij aluin is niet dezelfde als bij kopersulfaat zodat elke verbinding zijn eigen soort kristal bouwt.

### b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

**VERGEET NIET DAT KOPERSULFAAT GIFTIG IS.** Geef het niet aan jonge kinderen. Ouderen kinderen moeten regelmatig gewaarschuwd worden de handen te wassen na het werken met kopersulfaat.

1. Maak een tentoonstelling van kristallen met verschillende grootte.

2. Bekijk hun vorm en vergelijk die met deze van de kristallen van aluin, suiker, borax en zout.
3. Teken de kristallen nauwkeurig, tekenen helpt het observeren.
4. Probeer de kristallen te splijten. (Kopersulfaat vertoont geen splijting.)
5. Kristallen gedurende lange tijd op een warme plaats bewaard, verliezen soms water (deshydrateren, ook geldig voor aluin en borax).
6. De korst gevormd op de wand van de beker bestaat hoofdzakelijk uit watervrij kopersulfaat. Men kan het verzamelen en hergebruiken net zoals het originele poeder.

### **c. Wat hebben we geleerd?**

Door de nieuwe kristallen te vergelijken met de vorige zien we duidelijk dat elke verbinding zijn kenmerkende vorm en eigenschappen heeft. Deze maal werd een nieuwe eigenschap - kleur - toegevoegd.

Wanneer we een mengsel van aluin en kopersulfaat uitkristalliseren, merken we dat elke verbinding enkel de eigen kristallen doet groeien door toevoegen van de gepaste deeltjes. Een groeiend kristal aanvaardt geen deeltjes van een andere verbinding die ook aanwezig is in de oplossing.

## **6. Epsomzout ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) in water**

Epsomzout wordt als laxerend middel verkocht en tevens voor het maken van een vochtig verband te gebruiken bij de verzorging van kneuzingen, verstuikingen en insectenbeten. Het is verkrijgbaar bij de apotheker of drogist. Vermijd aanraking met ogen en huid.

### **a. Kristallen groeien en observatie van de groei**

Epsomzout is zeer oplosbaar in water. Je kan ongeveer zes koffielepels oplossen in 60 mL warm water. Roer de oplossing gedurende enkele minuten. Wanneer het zout niet allemaal oplost, voeg dan een heel kleine hoeveelheid water en roer tot de oplossing helder is.

De kristallen groeien als lange naalden, een heel verschillende vorm in vergelijking met keukenzout, borax, suiker, aluin of kopersulfaat. Omdat de verbinding zo oplosbaar is, bevat een druppeltje verzadigde oplossing voldoende materiaal om bij verdamping een groepje kleine kristallen achter te laten. Wanneer we de druppel op een niet-absorberend oppervlak leggen, zoals glas, dan zal het oppervlak van de druppel snel uit kristallen bestaan waardoor verdere verdamping belemmerd wordt. Het is dus beter de druppel op een absorberend oppervlak te plaatsen, zoals een stuk karon of papier. Observeer het groepje kleine kristallen met een vergrootglas.

## b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

De naaldvorm van een klein kristal van epsomzout maakt het gemakkelijk om er een draadje rond te knopen. Een klein naaldje opgehangen in een verzadigde oplossing van epsomzout zal uitgroeien tot een staafvormig kristal.

Epsomzout deshydrateert sneller dan de andere waterbevattende kristallen die we tot nu toe gegroeid hebben. De kristallen behouden hun vorm, maar het oppervlak zal eruit zien alsof het beschilderd is met een matte witte verf. Je kan het gedehydrateerde materiaal van het oppervlak afschrapen, waardoor opnieuw een helder kristal (dat nog geen water verloren heeft) te voorschijn komt. Overtuig jezelf dat het witte poeder enkel water verloren heeft. Los het poeder op in een beetje water en laat verdampen om opnieuw gelijkaardige kristallen te bekomen.

Van alle waterbevattende kristallen die je reeds gegroeid hebt, behoudt aluin best het kristalwater. Maar elk van deze kristallen zal zijn kristalwater afgeven in de warmte van een brandende lucifer. Plaats van elke verbinding een klein kristal op een microscoopglasje of een stukje aluminiumfolie. Houd er telkens een brandende lucifer onder. Elke verbinding zal snel zijn water vrijgeven en hevig bruisen of koken in de warmte van de lucifer. Wanneer er nog water aanwezig is, zullen er zich bij het stoppen met verwarmen opnieuw veel kleine kristallen van de oorspronkelijke verbinding vormen. Wanneer we verwarmen tot het koken stopt (en dus alle water weg is), vormt zich een witte, gedehydrateerde verbinding.

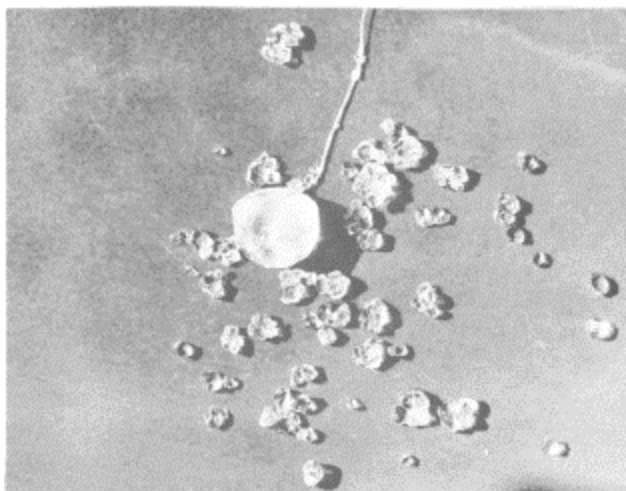
## c. Wat hebben we geleerd?

Epsomzout is zeer oplosbaar in water.

Net zoals borax, aluin en kopersulfaat bestaat epsomzout gedeeltelijk uit water en kan het deshydrateren.

Wanneer een verbinding zeer oplosbaar is in water bevat een druppel verzadigde oplossing zeer veel van deze verbinding.

Nu je kristallen van een reeks verschillende verbindingen hebt, kan je een leuke tentoonstelling samenstellen. Hiernaast zie je een foto van een serie aluinkristallen die op de eerder beschreven manier gegroeid werden.



## 7. Wat nog?

Er zijn nog heel wat andere verbindingen die je kan oplossen in water. Zullen ze bij verdampen van het water allen kristallen vormen? Neen, maar je bent meestal pas zeker nadat je dit uitgeprobeerd hebt. 'Hypo', een verbinding die door fotografen als fixeermiddel gebruikt wordt na de ontwikkeling van een film, vormt goede kristallen vanuit oplossing. Hetzelfde geldt voor Rochelle zout. Een recept om grote kristallen van Rochelle zout te groeien en enkele suggesties voor interessante experimenten met deze kristallen zijn beschreven in het boek *Crystals and Crystal Growing* geschreven door Holden en Singer (zie lijst aanbevolen literatuur achteraan).

## B. Kristalliseren vanuit de smelt (gesmolten toestand)

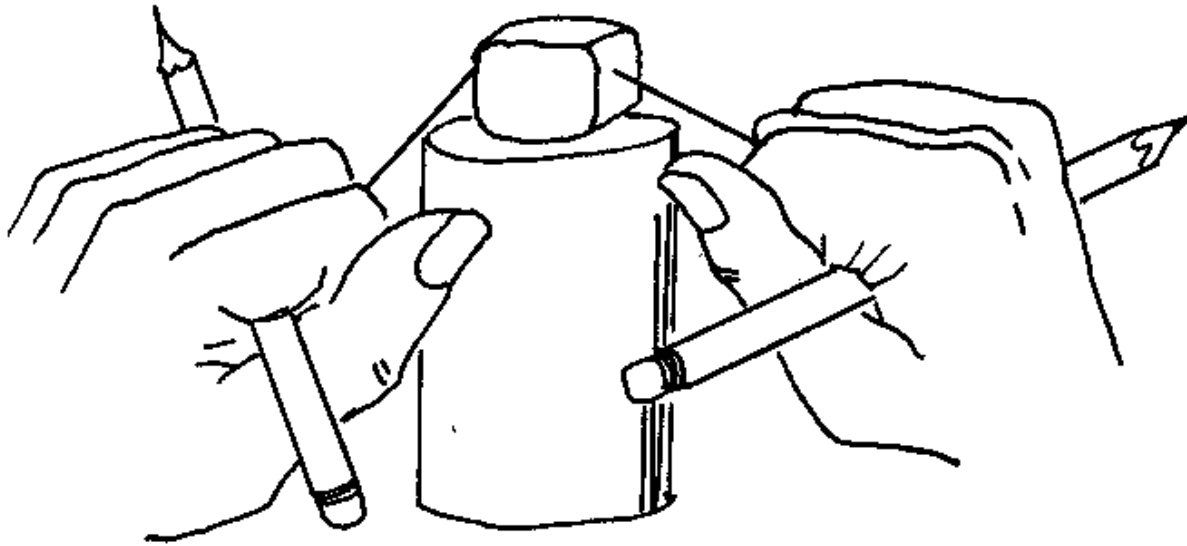
### 1. Ijs (vast water, H<sub>2</sub>O)

Ijs is één van de weinige verbindingen die van naam verandert wanneer ze smelt. Water komt zo veelvuldig voor dat het gebruikelijk is afzonderlijke namen te geven aan deze verschillende vormen: ijs, sneeuw, rijm, dauw, regen, stoom, mist, wolken.

Ijs is ook één van de weinige verbindingen die krimpt wanneer ze smelt. Een bepaalde hoeveelheid (massa) ijs neemt als ijs meer volume in dan wanneer het gesmolten is in water. Of anders gezegd: een gegeven volume ijs weegt minder dan hetzelfde volume water. De dichtheid van ijs is dus kleiner dan deze van water, waardoor ijs drijft op water. Wanneer water bevriest in een recipiënt dat deze uitzetting niet toelaat, zal het recipiënt breken.

Aangezien water minder plaats inneemt dan ijs, kan je ijs in water omzetten door er druk op uit te oefenen. Dit is één van de redenen waarom ijs zo glad is wanneer je erop staat, en je kan schaatsen. De druk produceert een dunne waterfilm tussen jezelf en het ijs, die als een soort smeermiddel fungeert. Je kan het smelten van ijs door het aanbrengen van druk en het opnieuw bevriezen door het verminderen van de druk demonstreren door het volgende experiment. Plaats een ijsblokje op een omgekeerd drinkglas. Knoop aan elk uiteinde van een kort stukje touw een potlood. Leg het touwtje bovenop het ijs en trek het touw aan beide uiteinden naar omlaag zoals aangeduid op de tekening. De draad beweegt door het ijs. Net onder de draad smelt het ijs door de druk, terwijl het boven de draad opnieuw bevriest omdat de druk er opgeheven is.





### **a. Kristallen groeien**

Een manier om ijskristallen te groeien is een pannetje met water in het vriesvak van de koelkast of in de diepvries te plaatsen, of eventueel buiten wanneer de temperatuur flink onder  $0^{\circ}\text{C}$  is. In ongeveer twee uur (wanneer de temperatuur  $-10^{\circ}\text{C}$  is) zal een deel van het water in ijs omgezet zijn. Sommige kristallen zullen een lange dunne vorm hebben en misschien zijn meerdere kristallen aan elkaar gevroren. Licht ze uit de pan en bekijk ze. Een goede manier om de grens tussen naburige kristallen te bepalen is ze te bekijken tussen gekruiste polarisatoren (zie sectie b, verder).

Een ander manier om ijskristallen te groeien is een druppel water op een microscoopglasje of een ander vlak oppervlak in het vriesvak of de diepvriezer te plaatsen.

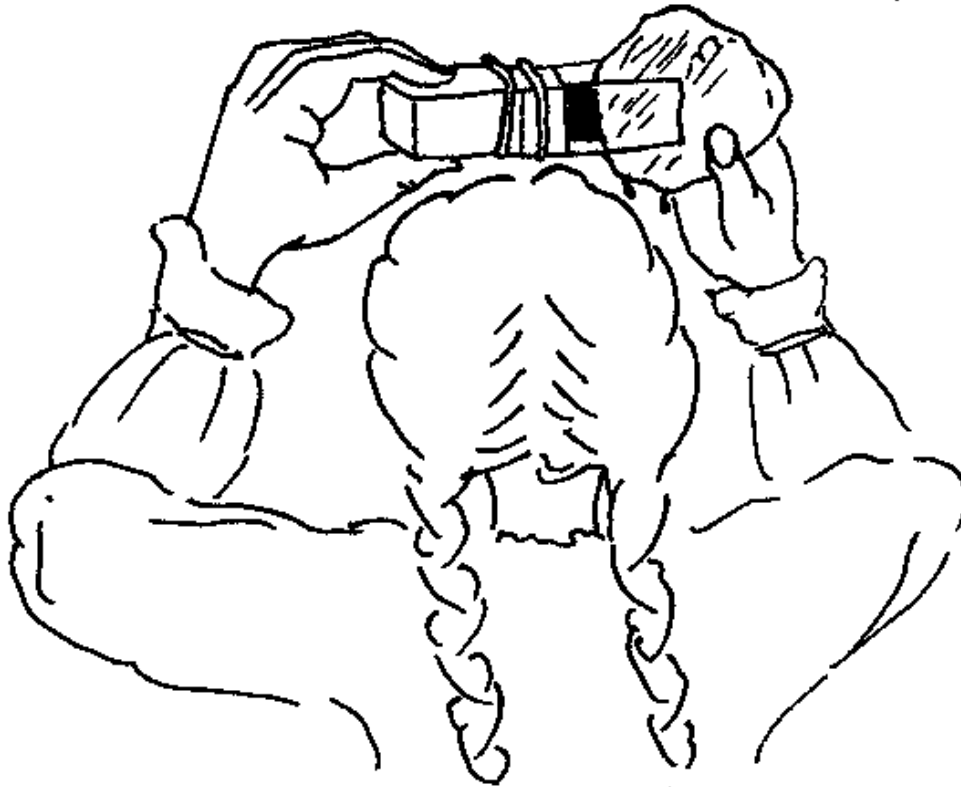
### **b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?**

Bekijk de kristallen onder gekruiste polarisatoren, zoals verder beschreven in sectie II-D. Wanneer je een kleine druppel water hebt die bevroren is op een microscoopglasje, houd het glasje dan horizontaal tussen de polarisatoren met de lichtbron komende van onderaan. Bekijk de kleurveranderingen tijdens het dunner worden of smelten van de kristallen.

Draai het glasje in het horizontale vlak in wijzerzin tussen de polarisatoren. Noteer dat de kristallen donker zijn in sommige posities en in andere helder. Een deel dat zich op dezelfde manier gedraagt, behoort tot hetzelfde kristal. Tussen dit gedeelte en andere delen die zich verschillend gedragen is er een kristalgrens. Mogelijks is er een gedeelte dat bij het draaien in alle posities donker blijft. Voor dit gedeelte bevindt de optische as zich in de kijkrichting (zie

referentie 3, sectie IV). Wanneer je het microscopglaasje uit het horizontale vlak draait, zal dit deel ook helder worden.

Indien je een stuk ijs hebt van twee tot drie millimeter dik, kan je iets heel speciaal zien tussen de gekruiste polarisatoren. Houd de polarisatoren ditmaal vertikaal om te verhinderen dat ze nat worden (zie tekening).



Zoek een groot gedeeltje van het stuk ijs dat bij draaien in zijn eigen vlak donker blijft tussen de gekruiste polarisatoren. Houd het stuk dicht bij de polarisator die zich het dichtst bij jezelf bevindt en breng je oog zo dicht als mogelijk bij de polarisator. Je zal nu een zwart kruis zien op een grijze achtergrond en als het ijs dik genoeg is ook een gele ring rond het kruis en daarrond nog een rode ring. Optische kristallografen kennen dit fenomeen als een **interferentiefiguur** (zie referentie 3, sectie IV).

### c. Wat hebben we geleerd?

Ijskristallen kan je bekomen vanuit gesmolten ijs (dit is water).

De grenzen van de kristallen in een dun laagje ijs kan je bepalen tussen gekruiste polarisatoren.

Aangezien water dichter is dan ijs, kan ijs omgezet worden in water door het aanbrengen van druk. Indien de temperatuur onder  $0^{\circ}\text{C}$  is, zal het water opnieuw bevrozen wanneer de druk

opgeheven wordt. (Noteer dat ijs, zoals elke vast stof, kouder kan zijn dan zijn smelttemperatuur. Vele mensen denken dat de temperatuur van ijs steeds 0° C moet zijn. Wanneer ijs ontstaat door het bevriezen van water en er nog steeds water aanwezig is, bedraagt de temperatuur inderdaad 0° C.)

## 2. Salol (fenylsalicylaat, $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COOC}_6\text{H}_5$ )

Salol (handelsnaam voor fenylsalicylaat) is te koop bij de drogist of apotheker en wordt als medicijn gebruikt bij darmstoornissen. Het is niet oplosbaar in zuiver water, maar wel in ethanol. Het smelt bij 42° C. Vermijd aanraking met ogen en huid.

### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Plaats een beetje salolpoeder op een oppervlak dat verhit mag worden door middel van een brandende lucifer. Een microscoopglasje, of ander stukje glas is het meest aangewezen, maar ook een stukje aluminiumfolie kan dienst doen. De hoeveelheid poeder moet klein zijn, ongeveer de grootte van een erwt. Verwarm het glasje langs de onderkant met een brandende lucifer, en houd de lucifer ver genoeg van het glasje om te verhinderen dat het zwart wordt van niet-verbrande koolstof. Stop het verwarmen van zodra de salol smelt.

Men zou verwachten dat salol opnieuw vast wordt van zodra de smelt afkoelt tot 42° C. Dit gebeurt niet tenzij een kiemkristal aanwezig is. Aangezien het salolpoeder bestaat uit kleine kristalfragmenten, kan een klein korreltje dienst doen als kiem om de kristallisatie te starten wanneer de vloeistof voldoende afgekoeld is.

Wanneer teveel poeder aan de vloeistof toegevoegd wordt, zullen teveel kristallen beginnen groeien en dus snel interfereren met elkaars groei. De mooie kristalgrenzen die zich normaal ontwikkelen wanneer een salolkristal ongehinderd kan groeien zijn dan niet meer zichtbaar. De vorm van de salolkristallen lijkt sterk op de ruit bij speelkaarten. Als je de kristalgroei met een vergrootglas observeert, zie je dergelijke platen verschijnen en groter worden waarbij ze steeds dezelfde vorm behouden. Laag na laag wordt salol aan het kristal toegevoegd en dit met een snelheid van duizenden lagen per seconde. Door de geordende wijze waarop de lagen aangroeien blijven de kristalvlakken perfect recht met onderlinge hoeken tussen naburige vlakken die tijdens de groei constant blijven.

Bekijk de kristal massa zorgvuldig met een vergrootglas wanneer de kristalgroei gestopt is. De meeste kristallen vertonen niet de typische ruitvorm omdat ze naburige kristallen ontmoet hebben en daardoor rondom elkaar groeien. Wanneer je de kristal massa onder een helder licht ronddraait, zie je het licht weerkaatsen door de perfect vlakke kristalvlakken. De kristalvlakken, die opgebouwd zijn de kleinste bouwstenen van de materie, zijn de meest perfecte vlakke oppervlakken die fysisch mogelijk zijn - vlakker dan gelijk welk oppervlak bekomen door polijsten. Het salol kan herhaardelijk gesmolten en gekristalliseerd worden.

## b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

Salol is niet kleverig, corrosief, giftig of schadelijk voor kledij zodat je een microscoopglasje met daarop salolkristallen gewoon in zakje kan bewaren. Bereid een microscoopglasje met aan de ene kant een grotere hoeveelheid kristallen dan aan de andere kant (hier slechts een kleine hoeveelheid). Je kan de grotere hoeveelheid nu smelten terwijl je de kleine hoeveelheid koel en vast houdt. Gebruik nu een klein fragmentje uit het vaste gedeelte als kristallisatiekiem voor het vloeibare gedeelte. Een dergelijk glasje kan je gemakkelijk meenemen om kristalgroei te demonstreren aan je vrienden.

Tracht een dunne film van gesmolten salol te bekomen tussen twee microscoopglasjes en duw de twee glasjes stevig tegen elkaar tot het salol vast geworden is (je kleeft de twee glasjes dus aan elkaar). Hiermee kan je nu een boeiend fenomeen observeren. Bekijk vooreerst het glas-salol-glas sandwich-glasje tussen gekruiste polarisatoren (zie sectie II-D). Draai het glasje in wijzerzin tussen de gekruiste polarisatoren (de polarisatoren blijven gekruist). Indien je nu geen kleuren ziet in de salolkristallen is de salolfilm te dik. Hersmelt de film en laat opnieuw afkoelen terwijl je de beide glasjes nog steviger tegen elkaar drukt.

Vervolgens smelt je een klein gedeelte van de salolfilm in het midden van het sandwich-glasje. Stop het verwarmen direct als het smelten start, zoniet zal de volledige salollaag smelten en komen de glasjes los. Bekijk het sandwich-glasje nu opnieuw tussen de gekruiste polarisatoren. (**OPGELET**: de polarisatiefilm wordt beschadigd door warmte. Houd de film voldoende verwijderd van het warme glasje. De houder beschreven in sectie II-D helpt je hierbij.) Het vloeibare gedeelte is tussen de gekruiste polarisatoren zwart, maar de salolkristallen zijn helder. Bekijk met een vergrootglas hoe de heldere laagjes van kristallen, die bestaan uit geordende saloldeeltjes, vergroeiën met de donkere delen, die bestaan uit ongeordende saloldeeltjes in de vloeistof.

## c. Wat hebben we geleerd?

Warmte kan een geordende vaste stof omzetten in een ongeordende vloeistof. De vloeistof ziet eruit als water, maar is het natuurlijk niet! De vloeistof kookt niet in de warmte van een brandende lucifer en stolt opnieuw bij een temperatuur die hoger is dan deze waarbij water vast wordt en ijs vormt.

Een kristal behoudt zijn perfecte vorm en glanzende kristalvlakken tijdens het toevoegen van duizenden lagen per seconde van onzichtbare deeltjes.

Vloeibaar salol is net zoals glas of water zwart of donker tussen gekruiste polarisatoren, terwijl salolkristallen helder zijn en verschillende kleuren kunnen vertonen als de kristallen dun genoeg zijn.

Vloeibaar salol vormt geen kristallen (dat is, keert niet terug tot vast salol) tenzij een kiemkristal toegevoegd wordt, waarop de kristalgroei start.

### 3. Bismut (metaal, Bi)

Het metaal bismut smelt bij  $271^{\circ}\text{C}$ . Net zoals water, heeft het de zeldzame eigenschap uit te zetten bij vast worden of kristalliseren. Bismut is te bekomen via een leverancier van chemische produkten of een departement chemie aan de universiteit.

#### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Smelt bismut in een open pan. Verwijder de pan van de warmtebron wanneer alle bismut gesmolten is. Bismut is licht ontvlambaar, gebruik dus best geen directe vlam als warmtebron. Bij het afkoelen van de pan vormen zich bismutkristallen in de smelt. Mogelijks zie je de kristallen niet, maar met een groot pincet of een tang kan je ze voelen net onder het oppervlak van de ondoorschijnende vloeistof. Neem ze met een pincet uit de hete vloeistof en schud voorzichtig de overmaat vloeistof van de kristallen. Het oppervlak van de bismutkristallen bestaat uit vele kleine trapjes.

#### b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

Draai de kristallen heen en weer in een sterke lichtbundel die bij voorkeur vanop grote afstand op de kristallen valt. Verschillende oppervlakken van de vele treden weerkaatsen gelijktijdig het licht. Hiervoor dienen ze dezelfde hoek te maken met het invallende licht, of anders gezegd, ze moeten onderling evenwijdig zijn me elkaar. Ze worden gevormd door geordende en evenwijdige lagen van bouwstenen voor het bismutkristal. Dit vertelt je dat de treden niet verschillende kristallen zijn, maar allen behoren tot hetzelfde kristal. In een naburig kristal is een andere set van parallelle treden aanwezig die het licht zullen weerkaatsen onder een andere hoek.

Wanneer je de bismutkristallen zorgvuldig bekijkt, zie je een kleurspel op de oppervlakken, net zoals bij de veren van een pauw of bij zeepbellen. Hiervoor is de aanwezigheid van een dunne laag bismutoxide verantwoordelijk die gevormd wordt op de kristalvlakken wanneer het kristal afkoelt. De film is zodanig dun dat het licht er grotendeels doorgaat en weerkaatst op het oppervlak van het bismutkristal. Op de terugweg verenigt het weerkaatste licht met het licht weerkaatst door de dunne oxidefilm. De twee lichtbundels interfereren dus met elkaar. Hierbij zullen enkele kleuren uit de witte lichtbundel (infeite een mengsel van alle kleuren van de regenboog) verdwijnen. Wanneer één kleur verdwijnt, is het licht niet langer wit, maar gekleurd. Hierdoor lijkt het alsof het oppervlak van de bismutkristallen gekleurd is. Een dunne oliefilm op water vertoont een gelijkaardig kleureffect. Hetzelfde interferentieverschijnsel vinden we terug bij de veren van een pauw of bij zeepbellen. De kleuren die op deze manier ontstaan noemen we interferentiekleuren.

### **c. Wat hebben we geleerd?**

Een kristalvlak kan onderbroken zijn door een trede en behoort aan beide zijden van de trede tot hetzelfde kristal. De constante oriëntatie van de set vlakken laat toe de vlakken toe te wijzen aan hetzelfde kristal.

Witte lichtbundels die weerkaatsen op de twee oppervlakken van een dunne film interfereren en geven aanleiding tot gekleurd licht.

## **C. Kristalliseren vanuit de damp (gasfase)**

### **1. Ijs**

Ijs wordt buiten soms rechtstreeks vanuit de dampfase gevormd. Bij zeer koud en vochtig weer vormt zich rijm of ijs op bomen (op hoge hoogte zelfs vederachtige ijsvorming). Binnenshuis kan ijsvorming optreden op een zeer koud raam doordat de aanwezige waterdamp bevroert.

#### **a. Kristallen groeien en observatie van de groei**

Indien de atmosfeer in de kamer voldoende vochtig is, kan de vorming van ijskristallen vanuit de dampfase geïnduceerd worden op de buitenwand van een glazen of metalen doos of beker door die te vullen met een ijs-alkohol-mengsel. Schud het mengsel regelmatig hevig. De kristallen vertonen geen fijne kristalvlakken, maar wanneer je het bevroren oppervlak met een helder lichtbundel verlicht zie je misschien een klein vlakje fonkelen.

#### **b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?**

Ledig de glazen of metalen doos of beker en zie hoe het ijs opnieuw smelt. Alhoewel het ijs niet gevormd is vanuit water (vloeistof), maar vanuit waterdamp (gas), wordt bij opwarmen toch water gevormd. Indien je de doos of beker gedurende een lange tijd laat staan, zal het water toch verdampen of naar de gasfase terugkeren.

### **c. Wat hebben we geleerd?**

Waterdamp, in feite water in de onzichtbare gasfase, is aanwezig in de omringende lucht. Op zeer koude oppervlakken vormt zich ijs vanuit de gasfase (bij minder koude oppervlakken vormt zich water).

## 2. Naftaleen (mottenballen, $C_{10}H_8$ )

### OPGELET: ONTVLAMBAAR

Deze verbinding, gedurende lange tijd gebruikt om wollen kledingstukken te beschermen tegen motten, mag niet verward worden met verschillende andere verbindingen die recent gebruikt worden voor dezelfde doeleinden (zoals bijvoorbeeld para-dichloorbenzeen). Naftaleen wordt meestal verkocht in papieren doosjes en dit onder de vorm van witte vlokken. Draag handschoenen tijdens het werken met naftaleen, en vermijd inademing of aanraking.

### a. Kristallen groeien en observatie van de groei

Wanneer naftaleen zacht verwarmd wordt, gaat het direct over in de gasfase (het smeltpunt is  $80^\circ C$ ). Deze eigenschap maakt naftaleen geschikt bij het beschermen van kledij tegen motten.

### **NAFTALEEN IS ZEER BRANDBAAR EN JE MAG HET IN GEEN GEVAL VERWARMEN DICHTBIJ EEN OPEN VLAM!**

Een geschikte methode om naftaleenkristallen te groeien gaat als volgt: plaats een aantal naftaleenvlokken (halve koffielepel) op de bodem van een smalle glazen beker. Leg bovenop de beker een dekseltje dat iets te groot is. Een stukje aluminiumfolie of zelfs papier is prima. Schroef **geen** deksel op de beker, dit zou de gevormde damp gevangen houden in de beker en tot een explosie kunnen leiden.

Plaats de bodem van de beker op een brandende lamp van bijvoorbeeld 100 watt. Zeer snel vormen zich kleine kristallen in het bovenste gedeelte van de beker waar de warme, onzichtbare, naftaleendampen afkoelen. De onderlinge aantrekking tussen de onzichtbare naftaleendeeltjes brengt hen tesamen in de geordende stapeling van een naftaleenkristal.

Door vertakking vormen sommige kristallen vederachtige structuren die je ook kon waarnemen bij de ijsvorming op vensterglas. Sommige vormen zeer dunne plaatjes die interferentiekleuren vertonen doordat licht gereflecteerd wordt door beide oppervlakken, net zoals bij een oliefilm of zeepbellen (zie ook bij bismut).

Naftaleen is niet oplosbaar in water of alcohol. De binnenkant van je beker kan je reinigen met een gepast solvent zoals dissolvant (om nagellak te verwijderen, bevat aceton). Opgelet dit is zeer ontvlambaar, zorg ook voor een goede ventilatie!

### b. Wat kunnen we met deze kristallen doen?

De kleine, dunne naftaleenplaatjes zijn zeer mooi wanneer je ze bekijkt met een vergrootglas tussen gekruiste polarisatoren. De kleuren die sommige kristallen vertonen tussen gekruiste

polarisatoren komen niet tot stand door weerkaatsing van licht door twee dicht bij elkaar gelegen oppervlakken, zoals bij de kleuren van een zeepbel. Ze zijn het resultaat van het opsplitsen van het licht in twee bundels die zich met een verschillende snelheid in het kristal voortbewegen. De interferentie tussen deze twee verschillende bundels veroorzaakt de kleuren.

### c. Wat hebben we geleerd?

Naast water bestaan er ook andere verbindingen die je kan kristalliseren vanuit de dampfase.

## D. Experimenten met gepolariseerd licht

### 1. De natuur en produktie van gepolariseerd licht

Licht heeft zowel een deeltjes- als een golfkarakter. In de verdere beschrijving is het golfkarakter meest geschikt. Net zoals bij de zeegolven beweegt een storing zich verder volgens een oscillerende beweging. Maar de lichtgolven zijn zeer klein: de afstand tussen twee naburige schuimkoppen is ongeveer 0,0005 millimeter.

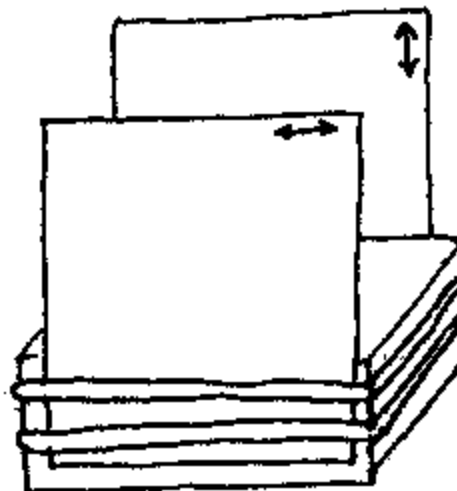
In tegenstelling tot zeegolven, oscilleren lichtgolven niet enkel op en neer. Ze oscilleren in alle richtingen loodrecht op de voortplantingsrichting van het licht. Toch bestaan er materialen die enkel licht doorlaten dat trilt in één welbepaald vlak. Licht dat slechts oscilleert in één vlak noemen we **vlak-gepolariseerd licht** of eenvoudigweg **gepolariseerd licht**. Het materiaal dat de **polarisatie** van het licht veroorzaakt, noemen we een **polarisator**. Er bestaan verschillende soorten polarisatoren. Elk glad, niet-metallisch oppervlak dat licht reflecteert, polariseert het licht gedeeltelijk. Het gepolariseerd licht afkomstig van een dergelijk oppervlak oscilleert evenwijdig aan het oppervlak (en natuurlijk steeds loodrecht op de voortplantingsrichting van het licht). De meest aangewezen polarisator die we hier ook voor de studie van kristallen gebruiken, is de polarisatiefilm. Een bekend merk dat dergelijke filmen gedurende vele jaren vervaardigde is Polaroid, naar er zijn vele andere merken beschikbaar.

Een dergelijke film laat meestal licht door dat oscilleert in een bepaalde richting in het vlak van de film. Je kan deze richting zelf bepalen: kijk door de film naar het licht dat weerkaatst wordt door een niet-metallisch effen oppervlak, zoals bijvoorbeeld een horizontale, geschilderde vensterbank. Draai nu de film rond (de film blijft in het zelfde verticale vlak). Wanneer de vensterbank er het meest donker uitziet, staat de toegelaten oscillatierichting van het licht dat door de film gaat vertikaal (het licht dat weerkaatst wordt door de vensterbank is immers gepolariseerd in het horizontale vlak).



## 2. Kristallen tussen gekruiste polarisatoren

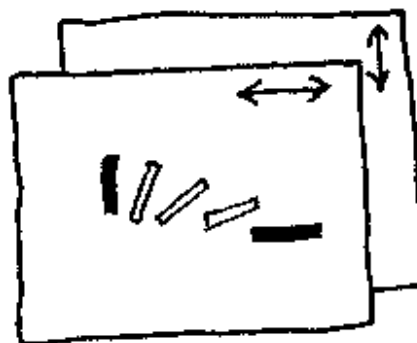
De figuur toont een geschikte manier om de twee polarisatoren in de goede positie te houden om kristallen te onderzoeken. Bevestig de polarisatoren aan beide zijden van een klein doosje door middel van een elastiek. De twee dubbele pijlen geven de toegelaten oscillatierichting aan van het doorgelaten licht. Wanneer beide richtingen loodrecht op elkaar staan, zeggen we dat de polarisatoren gekruist zijn. Indien beide polarisatoren perfect zijn, wordt er dan geen licht doorgelaten (uitdoving). Zonder de toegelaten richting te kennen, kan je de gekruiste positie gemakkelijk vinden door de onderlinge oriëntatie te zoeken waarbij het doorgelaten licht uitdooft.



Een volledige discussie over kristallen in gepolariseerd licht is hier niet aangewezen, maar is wel te vinden in de referentielijst. We beperken ons hier tot enkele specifieke waarnemingen met de kristallen beschreven in dit handboek. Deze kristallen kunnen ingedeeld worden in twee groepen naargelang hun gedrag tussen gekruiste polarisatoren:

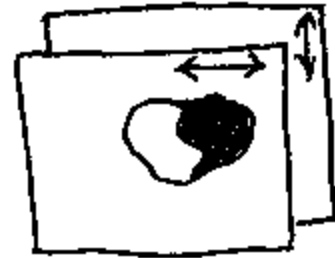
<b>Kristallen die donker zijn in elke oriëntatie</b>	<b>Kristallen die helder zijn in de meeste oriëntaties</b>
keukenzout aluin	borax suiker kopersulfaat Epsomzout ijs salol naftaleen

Je zal ondervinden dat de kristallen die helder zijn in de meeste oriëntaties, toch soms donker zijn in sommige oriëntaties. Naalden van epsomzout, bijvoorbeeld, zijn donker wanneer de naaldrichting parallel is aan de toegelaten richting van één van beide polarisatoren.



Elk kristal dat tussen gekruiste polarisatoren oplicht, is gekleurd indien het dun genoeg is. Wanneer licht doorheen zulk kristal gaat, wordt het in twee bundels opgesplitst die loodrecht op elkaar oscilleren. Eén van deze bundels heeft een grotere snelheid dan de andere. Wanneer de bundels het kristal verlaten en doorheen de tweede polarisator gaan, interfereren ze met elkaar op een manier gelijkaardig aan deze beschreven bij het gedeelte over bismutkristallen. Alhoewel de rede voor de interferentie verschillend is in dit geval, noemt men deze kleuren ook interferentiekleuren.

Polarisatoren zijn zeer geschikt om uit te maken of een stukje materiaal bestaat uit een enkelkristal of uit meerdere kristallen. Een half-gesmolten stukje ijs vertoont geen grenzen in gewoon licht, maar tussen gekruiste polarisatoren kan je bijvoorbeeld zien dat in een bepaalde positie een gedeelte donker is, terwijl het andere gedeelte uitdooft in een andere positie. In een dergelijk geval bestaat het duidelijk uit twee kristallen.



### 3. Ijs en mica

In het gedeelte over ijs werd een **interferentiefiguur** beschreven voor een zogenaamd éénassig kristal: onder de geschikte voorwaarden wordt een zwart kruis op een grijze achtergrond zichtbaar (niet eenvoudig te zien!). We hebben hiervoor een tamelijk dik stuk ijs nodig, met effen oppervlakken, en een gebied dat donker is in alle oriëntaties van het stuk wanneer dit evenwijdig ligt met het vlak van de polarisatoren.

Een verschillende interferentiefiguur (voor een zogenaamd tweeassig kristal) treft men aan bij een groot stuk mica tussen gekruiste polarisatoren. Men ziet een dubbel stel van gekleurde ringen (het geheel lijkt op twee 'ogen'). Vanuit het midden van beide ringen vertrekken twee rechthoekige bogen (de twee helften van het zwart kruis liggen op een afstand van elkaar). Het oog van de waarnemer moet zich zo dicht mogelijk bij de mica bevinden. Aangezien mica de polarisatoren niet kan beschadigen (is wel het geval bij nat ijs) mag je de polarisatoren langs beide zijden zeer dicht bij de mica houden. Wanneer je het geheel nu kantelt zodat je de mica steeds vanonder een andere invalhoek bekijkt, zal je de twee 'ogen' waarnemen. Een volledige discussie over interferentiefiguren wordt gegeven in het boek *Crystals and Light* (zie referenties).

### 4. Suikeroplossingen

Het feit dat een kristal helder lijkt tussen gekruiste polarisatoren wil niet zeggen dat het kristal het vlak van het gepolariseerd licht verdraait. Indien je het kristal in een bepaalde positie kan draaien dat het toch donker is, is het niet **optisch actief**. Een suikeroplossing is optisch actief en verdraait het vlak van het gepolariseerd licht. Dit betekent dat de oscillatierichting van het licht

geleidelijk verandert, en als het ware een schroefbeweging volgt naarmate het licht doorheen de oplossing voortbeweegt.

Indien de suikeroplossing het vlak van het gepolariseerd licht voor alle kleuren evenveel verdraait, dan kan men eenvoudig weg de dichtste (tot het oog) polarisator verdraaien tot de oplossing weerom donker lijkt. Echter, voor elke verschillende kleur wordt het vlak van het gepolariseerd licht voor een gegeven weglengte doorheen de oplossing telkens over een verschillende hoeveelheid gedraaid. Bijgevolg zullen bij uitdoving of gekruiste polarisatoren voor éénbepaalde kleur, de andere kleuren toch nog doorkomen. Met een lichtbron die slechts één bepaalde kleur voortbrengt, kan men wel totale uitdoving bekomen. Met behulp van een stukje rood, blauw of geel glas of plastic kan je dit experimenteel nagaan.

## III. Kristallen buiten de klas en thuis

### A. In musea

#### 1. Tentoonstellingen van mineralen en gesteenten

De meeste musea hebben mooie tentoonstellingen van mineralen en gesteenten. **Mineralen** zijn kristallen die van nature uit voorkomen in de aardkorst. Een uitstap naar een museum is dan meestal ook een goede inleiding op de verschillende soorten kristallen die je in de natuur kan vinden.

#### 2. Het museumpersoneel (suggesties voor veldtrips)

Het museumpersoneel kan doorgaans goede tips geven voor interessante collecties en vindplaatsen van kristallen en mineralen. De kristallen in gesteenten groeien meestal tegen elkaar aan en vormen dus onregelmatige grenzen, maar het zijn desondanks kristallen. Vertel hen dat je zowel gesteentevormende mineralen (zonder de mooie kristalvlakken) wil verzamelen als kristallen met een meer perfecte uitwendige vorm.

### B. In de natuur (veldtrips)

In de natuur vinden we drie verschillende soorten gesteenten: stollingsgesteenten (gekrystalliseerd vanuit de gesmolten toestand), sedimentaire gesteenten (afgezet uit water), en metamorfe gesteenten (ontstaan uit de eerste twee soorten gesteenten door inwerking van temperatuur en druk).

1. **Stollingsgesteenten** die traag afkoelden bevatten grote mineraalkorrels: slechts enkele kristallen starten gelijktijdig met groeien, zodat elk kristal groter kan worden vooraleer het een buur bereikt. Stollingsgesteenten worden diep onder het aardoppervlak gevormd.

(Reuzekristallen vormen zich soms wanneer een waterrijke smelt geïnjecteerd wordt in een gesteente aan de oppervlakte. De grote hoeveelheid water veroorzaakt een trage kristallisatie met grote kristallen tot gevolg.) Mineralen die in deze gesteenten veel voorkomen zijn: kwarts (grijs, glasachtig, geen splijting); veldspaat (roos, wit, of grijs, mat, met splijting); mica (kleurloos, grijs, of zwart, perfecte splijting, pelt af in lagen); hoornblende of amfibool (zwart, vaak stengelvormig of vezelig, onopvallende splijting, kleine korrels). Wanneer een gesmolten gesteente snel afkoelt, zijn de mineraalkorrels kleiner en soms moeilijk te onderscheiden, alhoewel het gesteente dezelfde mineralen bevat.

2. **Sedimentaire gesteenten** worden gevormd wanneer materiaal afkomstig van de zee door stromen en rivieren afgezet wordt in lagen die uiteindelijk verhardten tot gesteenten. Dit materiaal is in feite oorspronkelijk afkomstig van stollingsgesteenten, zodat je zou verwachten dezelfde mineralen terug te vinden in sedimentaire gesteenten. Echter, veldspaat en mica breken gemakkelijk in stukken door de inwerking van het water en kunnen ook chemisch gemakkelijk verweren. Kwarts is harder en splijt niet, waardoor het beter tegen de inwerking van water bestand is. Het is ook chemisch resistent, waardoor het overwint en het meestvoorkomende mineraal is in sedimentaire gesteenten zoals zandsteen en schalie. Rivieren kunnen ook materiaal in oplossing vervoeren. Eén van de meest voorkomende verbindingen die vanuit oplossing afgezet wordt is calciumcarbonaat. Bij verharden ontstaat een witgrijze, fijnkorrelige kalksteen. Het mineraal waaruit kalksteen bestaat, noemt men calciet. Afzettingen van calciet uit water vinden we ook terug in kleine, witte aders bij verschillende gesteenten. Calciet is gemakkelijk te determineren door zijn perfecte splijting in de drie richtingen, die er ook voor zorgt dat het breekt in kleine blokjes. De wanden van deze blokjes zijn geen vierkanten zoals bij zout, maar ruitvormig (rombisch).

3. **Metamorfe gesteenten** worden door inwerking van druk of hitte diep in de Aarde gevormd uit zowel stollings- als sedimentaire gesteenten. Soms helpen vloeistoffen die door de gesteenten migreren ook bij de vorming. Marmer wordt op deze manier gevormd uit kalksteen. De calcietkristallen worden groter doordat sommige groeien ten koste van andere. Metamorfisme van schalie geeft aanleiding tot de vorming van leisteen en verder tot schist, een gesteente vol mica dat fel glinstert in het zonlicht.

4. **Keien, kiezelstenen en zand.** Wanneer je in je omgeving niet direct veel gesteenten aan het oppervlak vindt die je kan bestuderen, verzamel dan enkele kleinere stukken. Meestal zijn ze aan de buitenkant vuil of verweerd door inwerking van het weer. Breek ze open om een vers oppervlak te vinden. Behalve wanneer je aan de kant van een vulkaan leeft, zullen alle stukken bestaan uit kristallijn materiaal, dus samengesteld uit kristallen, die soms klein zijn en onregelmatige kristalgrenzen hebben.

Bij het bestuderen van gesteenten is het determineren van de verschillende mineralen die aanwezig zijn in een gesteente slechts een deel van het werk. De relaties tussen de verschillende mineralen is meestal belangrijker: je kan ermee bepalen of een gesteente van oorsprong vulkanisch, sedimentair of metamorf is. Tracht bij een stollingsgesteente te bepalen welke mineraalkorrels eerst uitkristalliseerden, en welke andere mineralen nadien de vrije ruimtes tussen de korrels innamen.

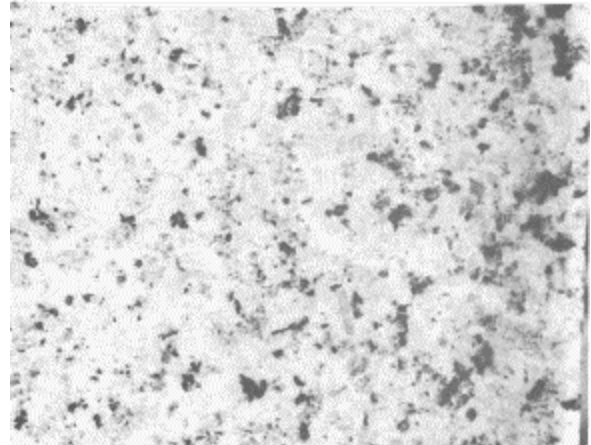
5. **Ijs** is een kristallijne vaste stof die ook in de natuur voorkomt, en is dus in feite ook als mineraal te beschouwen. De vorst op een vensterglas lijkt sterk op de vedervormige naftaleenkristallen. Een ijskegel bestaat soms volledig uit één enkel kristal. Bekijk een heldere ijskegel tussen gekruiste polarisatoren!

Het meest leuke onder de natuurlijke kristallen hebben we als laatste gehouden: het sneeuwkristal. Bekijk wanneer het sneeuwt een sneeuwvlok met een vergrootglas. Elke vlok is meestal één enkelkristal. (Grote vlokken zijn een bundel van vele kristallen.) De grote verscheidenheid in de patronen bij sneeuwvlokken heeft reeds vele mensen geboeid die graag de omgevende natuur observeren. De enorme gevoeligheid van de habitus of groeivorm van het kristal bij kleine veranderingen in vochtigheid en temperatuur leidt tot deze grote verscheidenheid. Een groot onderzoeker van sneeuwvlokken, Ukichiro Nakaya, kon in zijn laboratorium de voorwaarden van temperatuur en vochtigheid zodanig onder controle houden dat het mogelijk werd verschillende vormen van ijskristallen te reproduceren. In de turbulentie van een sneeuwstorm ondervindt elk kristal tijdens de verdere groei vele veranderingen in temperatuur en vochtigheid. Twee kristallen die gedurende enkele seconden onder dezelfde voorwaarden groeien, worden korte tijd nadien uit elkaar geblazen en groeien verder onder verschillende omstandigheden. De constant variërende omgeving, en de gevoeligheid daaraan, geeft aanleiding tot de grote verscheidenheid en pracht van sneeuwkristallen.

## C. In kleine en grote winkels

### 1. Decoratie bij gebouwen en toonbanken

Vele grote gebouwen gebruiken als gevelementen (en soms ook binnenin) grote gepolijste stenen wanden. In deze gepolijste oppervlakken zie je op verschillende plaatsen doorsneden kristallen van de mineralen waaruit het gesteente opgebouwd is. De grenzen tussen de verschillende kristallen zijn gemakkelijk te herkennen. Gewoonlijk bestaat een gesteente uit niet meer dan drie mineralen, maar soms uit slechts één. Marmer bijvoorbeeld bestaat bijna uitsluitend uit calciet. De meest decoratieve marmervariëteiten bevatten echter insluitsels van andere materialen, die zorgen voor een bijkomende kleur.



Gepolijst stollingsgesteente met witte veldspaat, grijze kwarts en zwarte mica

Wanneer het gepolijste oppervlak een kristal doorsnijdt in een oriëntatie die niet veel verschilt van de oriëntatie van de splijtvlakken, dan zal dit kristal het zonlicht weerkaatsen indien je vanonder de geschikte hoek kijkt. Bekijk de fonkelende splijtvlakken van kristallen wanneer je een dergelijke gevel voorbijgaat. Alle gedeelten die vanonder een bepaalde hoek het licht gelijktijdig oplichten behoren tot een enkelkristal.

## 2. Juweliers

Bijna alle edelstenen zijn enkelkristallen. Uitzonderingen zijn jade en katoog, die polykristallijn zijn, en opaal, dat helemaal niet kristallijn is. De meeste edelstenen worden geslepen met vele facetvlakken aan zowel de boven- als onderkant. Licht weerkaatst op de bovenste facetvlakken, maar dringt ook binnen in de edelsteen en weerkaatst op de onderste facetvlakken terug naar buiten. Dit geeft de edelsteen zijn schittering. De onderlinge hoeken tussen de facetvlakken moeten met grote nauwkeurigheid geslepen worden om de optimale schittering te bekomen.

## 3. Apotheker of drogist

Verschillende verbindingen die vermeld worden in dit handboek zijn te verkrijgen bij de apotheker of drogist. Wanneer je hem vertelt dat je interesse hebt in het groeien van kristallen, kan hij je misschien nog andere verbindingen bezorgen. Vergewis je steeds of het werken met een bepaalde verbinding geen gevaar inhoudt.

## 4. Referenties voor verdere informatie

De ervaring die je opdoet door zelf kristallen te groeien of te zoeken in gesteenten leidt misschien tot verdere nieuwsgierigheid om er nog meer over te weten. Honderden boeken werden reeds geschreven over kristallografische onderwerpen en misschien bezit je bibliotheek wel enkele exemplaren. Maar een beginner wordt soms overwelmd door al deze informatie. De volgende boekenlijst bevat een boek over het groeien van kristallen, één over mineralen en gesteenten en één over kristallen tussen gekruiste polarisatoren. Deze drie boeken bevatten informatie over de uitwendige symmetrie van perfect gevormde kristallen, een symmetrie die het resultaat is van de inwendig geordende structuur. Elk kristal vertoont deze ordening. Voor de meeste kristallen kan je wel de geschikte voorwaarden vinden zodat ze groeien met prachtige vormen en schitterende vlakken.

1. Holden, A. and Singer, P. *Crystals and Crystal Growing*, Doubleday-Anchor, Garden City, NY, USA 1960.
2. Pough, Frederick H. *A Field Guide to Rocks and Minerals*, Houghton Mifflin, Boston, USA, 1960.
3. Wood, Elizabeth A. *Crystals and Light, an Introduction to Optical Crystallography*, Van Nostrand, Princeton, NJ, USA, 1964.

Copyright © 1972, 2002 International Union of Crystallography