

Kristallografie op de kleuterschool?

door Theo Kloprogge

Als je, net als ik, kinderen hebt in de kleuterleeftijd, dan ben je geneigd om wat meer aandacht te schenken aan wat je kind eigenlijk leert op de kleuterschool. Zo kwam ik onverwacht een bekende naam tegen: Friedrich Fröbel (1782-1852). Uitvinder van de kleuterschool en heilig overtuigd van de opvoedkundige waarde van kristalsystemen voor de ontwikkeling van jonge hersenen.

De ontwikkeling van de kleuterschool was een direct gevolg van Fröbels ervaring als assistent van de beroemde mineraloog en kristallograaf Christian Samuel Weiss (1780-1856), de bedenker van het concept van de kristallografische systemen. Fröbel raakte ervan overtuigd dat jonge hersenen zich optimaal konden ontwikkelen door training in de grondbeginselen van de punt- en translatiesymmetrie. Enigszins aangepast, zouden kinderen via een diversiteit aan polyhedra leren om 'natuurlijke harmonieën' te herkennen en te leren appreciëren. En daarmee kon je het best beginnen als ze nog in de luiers rondkropen.

Fröbels jeugd

Friedrich Wilhelm Fröbel (afb. 1) werd geboren op 21 april 1782 in Oberweißbach in Thüringen (Midden-Duitsland). Zijn moeder stierf, nog voor hij een jaar oud was. Zijn vader, een Lutheriaanse dominee, besteedde weinig aandacht aan hem. Toen hij tien jaar oud was, ging hij wonen bij zijn oom, de broer van zijn moeder. Hij ging daar in opleiding bij een houtbewerker die in het gelukkige bezit was van een kleine bibliotheek. Fröbel maakte daar dankbaar gebruik van en las alles over botanie en geometrie. Na twee jaren bezig met houtbewerken, kon hij zijn vader ervan overtuigen hem ook, net als zijn jongere halfbroer, te laten studeren aan de Universiteit van Jena. Hij volgde er colleges in mineralogie, scheikunde, natuurkunde, biologie,



Afb. 2. Een kleuterklas rond de vorige eeuwwisseling in Atlanta (Georgia, V.S.) spelend met blokken onder een portret van de 19de-eeuwse Duitse kristallograaf (The library of Congress, Washington, DC, © 2002 Harry N. Abrams)

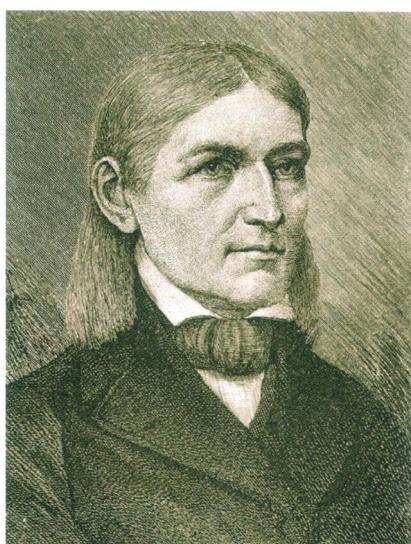
wiskunde, talen, architectuur en landmeetkunde. Helaas heeft Fröbel ook enkele maanden in de gevangenis doorgebracht omdat hij een huurschuld had. Met tegenzin ging Fröbel daarna, op aandrang van zijn vader, een praktijkopleiding tot boer volgen. Na het sterven van zijn vader, zei Fröbel het beroep van boer vaarwel. Hij probeerde carrière te maken als landmeetkundige in Frankfurt-am-Main, hoevel hij eigenlijk meer zag in een toekomst als architect.

Fröbels loopbaan nam weer een nieuwe wending toen hij als onderwijzer ging werken aan de Frankfurt Model School in 1805. Dit was een bijzondere school gesticht door een volgeling van Johann Pestalozzi, een revolutionaire Zwitserse onderwijzer die de nadruk legde op het belang van actief leren door observeren en zelf experimenteren in plaats van stil zitten en luisteren en het ondergaan van lichamelijke straffen. In 1808 ging Fröbel naar Yverdon om bij Pestalozzi te gaan werken.

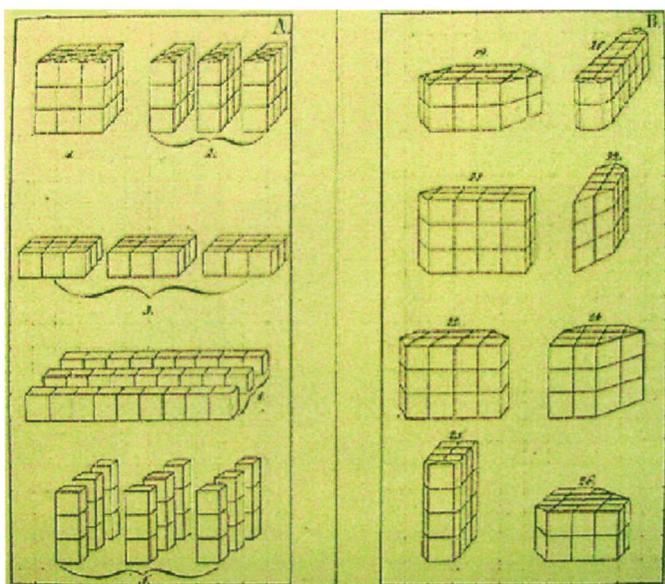
Rusteloos als hij was, ging hij daarna naar de universiteit in Göttingen om natuurkunde, scheikunde en mineralogie te studeren. Mogelijk is hij daar geïnspireerd geraakt door een serie openbare lessen van John Dalton en Joseph Gay-Lussac over de atoomtheorie. Weer onderbrak hij zijn studie, deze keer om in dienst te gaan bij het Pruisische leger. Zijn diensttijd eindigde met de nederlaag van Napoleon in 1814.

Fröbels stage in Berlijn

Onbekende 'invloedrijke vrienden' bezorgden Fröbel na de oorlog een baan bij professor Weiss van het Mineralogisch Museum van de Universiteit van Berlijn. Weiss heeft een belangrijke bijgedrage geleverd aan de classificatie van kristallen door niet uit te gaan van splijting bij kristalvormen, maar van groeirichtingen. Hij ontwikkelde het idee om kristalsystemen te beschrijven op grond van verschillende assensystemen en de vlakken die deze assen doorsnijden. Hij ontwierp daarmee de voorloper van het systeem van Miller dat we tegenwoordig nog steeds gebruiken. Weiss maakte echter de fout door te veel de nadruk te leggen op de orthogonale assen; hij beschouwde de monokliene en trikliene systemen als hemiëdrische manifestaties (is verlaagde, gehalveerde symmetrie) van het orthorombische systeem. Verder stond hij er op dat de verhoudingen tussen de assen gelijk waren aan het omgekeerde van de wortels



Afb. 1. Friedrich Fröbel op een Duitse postzegel.



Afb. 3. De bouwstenen (F. Fröbel, Ein Sonntagsblatt für Gleichgesinnte, 1838-1840, © 2002 Harry N. Abrams).

van de sommen van de kwadrate van gehele getallen. Kunt u het nog volgen? Deze noodzaak kwam voort uit een of ander mystiek of romantisch geloof in numerologie; niet uit experimenten.

In Berlijn bracht Fröbel zijn dagen door met het catalogiseren van mineralen. Hij schrijft lyrisch over zijn werk:

“Terwijl ik aan het werk ben, bewijs ik mijzelf steeds weer wat ik allang had aangevoeld: namelijk dat zelfs in deze levenloze stenen en gesteentefragmenten, gerukt uit hun oorspronkelijke omgeving, kernen liggen van transformatie, ontwikkelende energie en activiteit. Te midden van al deze vormen rondom mij, herken ik, tussen al deze modificaties, een wet van ontwikkeling.... En daarna fungeerden deze gesteentes en kristallen als een spiegel, waarin ik de geschiedenis en ontwikkeling van de mensheid gewaar werd... Geologie en kristallografie openbaarden voor mij niet alleen een hoger niveau van kennis en inzicht, maar zij toonden mij ook een hoger

doel voor mijn zoektocht, mijn speculatie en mijn inspanningen. De natuur en de mensheid leken het mij elkaar wederkerig uit te leggen door de oneindige variatie aan ontwikkelingsstadia”.

Fröbel was, toen hij bij Weiss werkte, tot de overtuiging gekomen dat er een innerlijk aantoonbaar verband bestond tussen alle kosmische ontwikkelingen. Mocht u de indruk krijgen dat Fröbel's filosofie van spirituele kristallografie soms onsaamhangend was, dan heeft u gelijk. Leest u de volgende passage maar:

“Er is een opzienbarende analogie tussen de ontwikkeling van kristallijne vormen in de natuur en de menselijke intelligentie en het gevoel. Net als het kristal, hoewel het een vitale uniekheid bij zich draagt, toont de mens in eerste instantie een eenzijdigheid in zijn acties en individualiteit; pas later ontwikelt hij zich tot harmonie en compleetheid. De herkenning van deze overeenkomst komt goed van pas en leidt tot een betere kennis van zichzelf en cultiveert de wilskracht en het zelfvertrouwen, op deze manier zowel zichzelf als anderen onderwijszend. Net als in de wereld van intelligentie en gevoel, is de wereld van de kristallijne vormen een glorieuze en instructieve wereld. Het toont een naar buiten gerichte gedaante van wat in de vorige gedaante alleen open lag voor de spirituele aanstaring.”

De kleuterschool

Fröbel geloofde dat dezelfde natuurwetten golden voor de groei van kristallen, bloemen, kinderen en gemeenschappen. De meest effectieve methode om de logica van de creatie in te zien, was voor hem door kristallen te manipuleren en te kopiëren: de simpelste van alle vormen, makkelijk te begrijpen en in relatief simpele wiskundige termen te beschrijven. Hij schreef het zo op:

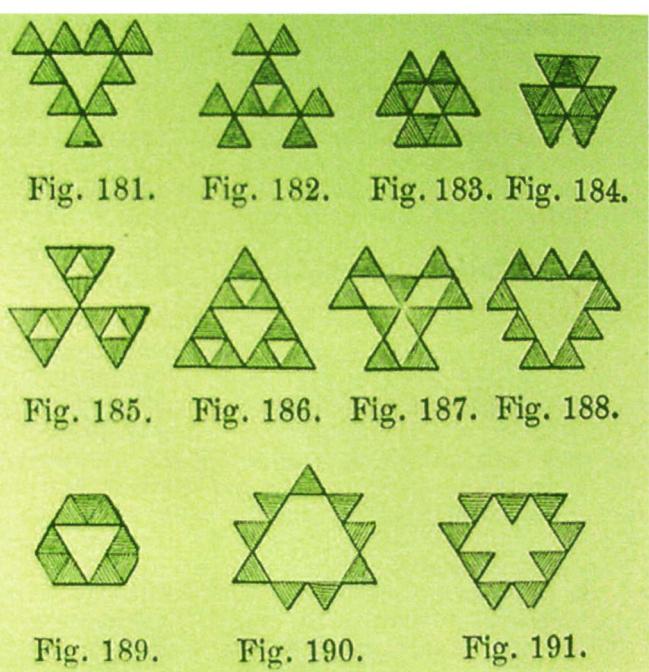
“De simpelste vormen, die de grondslag vormen voor het maaksel van de wereld, liggen ook aan de voeten van het kinderverstand voor het begrijpen van deze wereld, welke Gods denken weergeeft. Deze simpele en onuitgesproken vormen zijn de fundamentele vormen van kristallisatie.”

In 1816 kreeg Fröbel een professoraat aangeboden in Stockholm. Hij zal contact gehad hebben met de grootste Zweedse wetenschapper toen, Jöns Jakob Berzelius, voorzitter van de Zweedse Academie van Wetenschappen, een man die een enorme bijdrage geleverd heeft aan de classificatie van kristallen die gebaseerd was op samenstelling. Er is maar weinig bekend over dit aanbod, maar wij weten wel dat Fröbel het heeft afgeslagen. In de periode in Berlijn bij professor Weiss (1814 tot 1816) kwamen Fröbel's belangrijkste interesses – de natuur en het onderwijs – uiteindelijk samen in een samenhangende en makkelijk aantoonbare filosofie die jaren later zou resulteren in de creatie van de eerste kleuterschool.

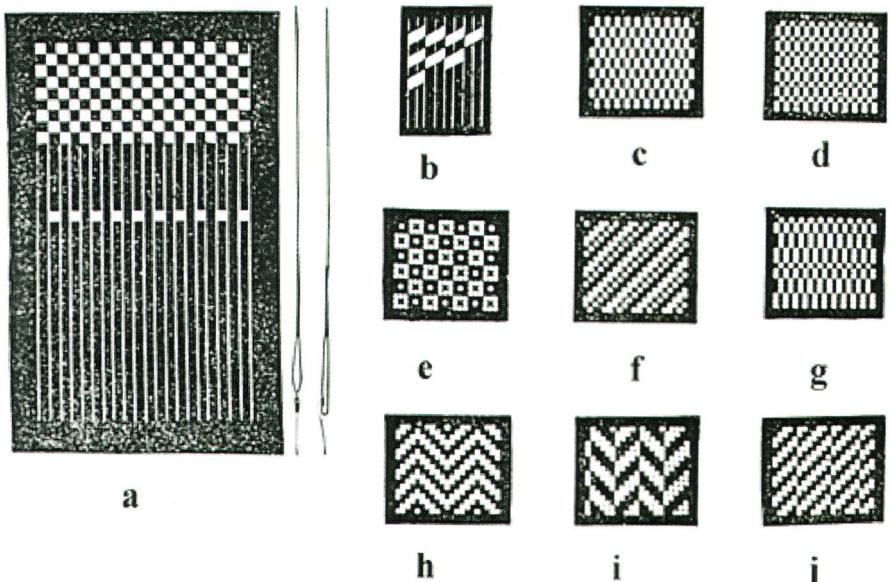
Fröbel ging dus niet naar Stockholm, maar stichtte een school voor kleine kinderen; een school die tot 1831 zou bestaan: het Universele Duitse Onderwijs Instituut. Het was geen echte kleuterschool; er werden leerlingen ingeschreven van zeven jaar oud, iets wat heel gebruikelijk was in Pruisen in die tijd. Ook begon Fröbel met het structureren van zijn onderwijsfilosofie. Hij schreef in 1826 ‘Die Menschenerziehung’ (Education of Man), een boek dat veel waardering kreeg in het onderwijsveld.

‘20 gifts’

In 1837 opende Fröbel zijn eerste school voor nog jongere kinderen. Twee jaar later werd dat de Kindergarten (kleu-



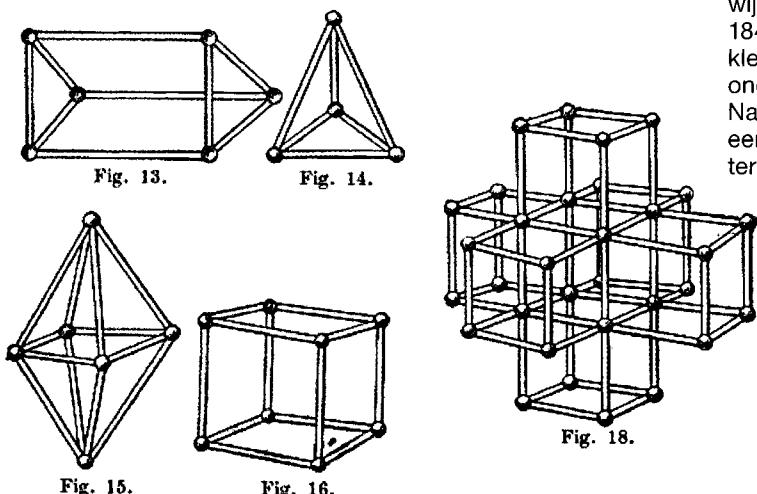
Afb. 4. Verschillende vormen samengesteld uit negen gelijkvormige driehoeken.



Afb. 5. Voorbeelden van vlechten met twee kleuren.

terschool), een welkom vervanging van de 'Kleinkinderbeschäftigunganstalt'. Hij introduceerde een onderwijsprogramma dat gebaseerd was op de '20 gifts', een set van geometrisch speelgoed dat bestond uit speciale bollen, blokken, staven en papier.

De eerste *gift* bestond uit een set fel gekleurde wollen ballen met een draad eraan. De tweede set bestond uit drie geometrische vormen van esdoornhout: een bol, een cylinder en een kubus. De vorm was opgebouwd uit losse delen die met houten pennen in elkaar staken, zodat de vorm veranderd kon worden door aan de pennen te draaien. De kubus bijvoorbeeld had gaten in de tegenovergestelde zijden, hoeken en randen, waardoor er een intuïtief gevoel zou moeten ontstaan voor het verschil tussen 2-, 3- en 4-



Afb. 6. Erwtenwerk.

voudige rotatie-assen en de toename in symmetrie door deze dynamische 'draai'processen. De derde set bevatte een groep bouwstenen. Een kubus was door drie loodrecht op elkaar staande vlakken verdeeld in acht gelijke kleinere kubussen.

De vierde set bestond uit een groep van acht rechthoekige blokken met zijden in een verhouding van 1:2:4. Door te stapelen konden daar ook kubussen uit gevormd worden. De vijfde en zesde set introduceerden kubussen die via de zijkantsdiagonalen verdeeld konden worden in halven en

kwartens (afb. 3). De zevende set bestond uit gekleurde vierkante en driehoekige tegels (rechthoekig, gelijkzijdig en gelijkbenig), die uitnodigden tot het vullen van vlakken (afb. 4).

In totaal zijn er twintig sets. De veertiende set – stroken papier om mee te vlechten – zijn bijzonder belangrijk voor de kristallografie omdat het de leerlingen kennis laat maken met vlakgroepen (symmetriepatronen in twee dimensies) en zelfs kleursymmetrie. Afbilding 5 laat vlechtschema's zien, gebruikt door Fröbel. Dit is de simpelste vlechtvorm, die overeenkomt met de vlakgroep $p4mm$, als we ervan uitgaan dat de witte vlakken leeg zijn. Als de witte vlakken tegengesteld worden gezien aan de zwarte vlakken, dan is dit te classificeren als een tweekleurensymmetriegroep $p4'm'm'm$ waarin elke fundamentele symmetrie-operatie de witte en zwarte vlakken verwisselt.

De voorlaatste set bestond uit het zogenaamde 'erwtenwerk', een voorloper van de modellensets van moleculen (afb. 6). Hier werden geweekte erwten of kurk voor gebruikt en tandenstokers als verbindingsstukken in zowel abstracte als bestaande constructies. De sets werden vergezeld van kaarten met illustraties van bruggen, gebouwen en kristallijne polyhedra. De laatste set bestond uit modelklei. Het kind kon een bol omvormen zodat een kubus ontstond. Door het continue vervormen van randen door vlakken en vlakken door hoeken was het mogelijk om de belangrijkste regelmatige kristallisatievormen te produceren.

Wereldwijd

In 1847 bestierde Fröbel zeven kleuterscholen. In 1851, toen Fröbels kleuterschoolprogramma net begon aan te slaan, verbood de Pruisische rechbank het kleuterschoolonderwijs. Verontrust door de pro-democratische opkomst in 1848 vond de overheid de kleuterscholen, waar Fröbel de kleuters veel vrijheid gaf om zelf dingen te ontdekken en te onderzoeken, verdacht.

Na zijn dood in 1852, veroverde Fröbels vorm van onderwijs een plaats in de rest van de wereld. De eerste Engelse kleuterschool werd in 1851 geopend en de eerste school in de VS verscheen in 1856 in Waterton, Wisconsin, dichtbij het huis van Anna Lloyd Jones, de moeder van Frank Lloyd Wright. In 1885 waren er al 545 Amerikaanse kleuterscholen (afb. 7). In 1879 bezocht 65% van de kleuters in Parijs Fröbels klassen.

Er kwamen kleuterscholen in Wenen (1857), Amsterdam (1858), Neuchâtel (1862) en Venetië (rond 1865) om er maar een paar te noemen. In 1875 had Nederland al 2222 kleuterschoolonderwijzers en -onderwijzeressen. In 1883 had Genève 55 Fröbelkleuterscholen; St.-Petersburg had er 26 in 1890. In 1911 waren er meer dan 45.000 kleuterscholen in Japan. Zelfs in Duitsland bloeiden de kleuterscholen, ondanks de tegenslag door het tijdelijke verbod uit 1851. Er waren er zo'n 2000 in 1887. Er werden uitzonderlijk goede tekstboeken gepubliceerd in de 19de eeuw, die bijdroegen aan de verspreiding van Fröbels filosofie en methodes. Van bijzonder grote invloed was het boek 'Paradise of Childhood' door Wiebé.

Tot slot

En hoe kwam ik nu tot het idee van dit verhaal? Op een zondag niet zo lang geleden was ik bezig met het uitzoeken van foto's met daarop kristal tweelingen van mineralen. Mijn vijf jaar oude zoon Andrew keek over mijn schouders mee

naar de foto's en zei:
 "Pap, zijn dit kristallen?"
 "Ja, inderdaad, deze foto's heb ik van een vriend gekregen voor mijn website."
 "Heeft hij die zelf gemaakt?"
 "Niet de kristallen, wel de foto's"
 Diep nadenkend: "Ik kan die allemaal zelf maken!"
 "Werkelijk?"
 "Je kunt gewoon gekleurde driehoeken uitknippen en met plakband aan elkaar plakken"

En zo kwam het. Ik weet nu zeker dat Fröbel iets op het spoor was. De kristallografen zijn niet zo van de buitenwereld afgesloten als wel eens wordt gedacht.

Literatuur

- Brosterman, N.(2002). Inventing Kindergarten, Harry N. Abrams, New York.
 Rubin, J.S. (1989). J. Soc. Architect. Hist., 48, 24-37.
 Rubin, J.S. (2003). Intimate Triangle: Architecture of Crystals. Frank Lloyd Wright and the Fröbel Kindergarten. Polycrystal Book Service, Huntsville, Alabama.
 Holser, W.T. (1972). In: Gillespie, C.C., editor, Dictionary of Scientific Biography. Scribner's, New York, pp. 239-243.
 Lima-de-Faria, J., editor (1990). Historical Atlas of Crystallography. The International Union of Crystallography. Dordrecht.
 Fröbel, F. (1956). Autobiography of Friedrich Fröbel. Vertaald door Michaelis, E., Moore, K.H. Swan Sonnenschein, London.
 Snider, D.J. (1900). The Life of Frederick Fröbel, Founder of the Kindergarten. Sigma Publishing, Chicago.



Afb. 7. St. Louis, Missouri kleuterschool, circa 1875. Onder het portret in de Fröbel gedenkplaats aan de linkerkant is het motto "Let us live for the children" te lezen (foto geëxposeerd door Susan Blow op de 1876 Philadelphia Centennial Exposition, © 2002 Harry N. Abrams).

- Fröbel, F. The Education of Man. Vertaald door Hailmann, W.N. Sidney Appleton, London.
 Wolfe, J. (2002). Learning from the Past: Historical Voices in Early Childhood Education. Piney Branch Press, Alberta, p 82.
 Wiebé, E. (1910). Golden Jubilee Editions. Paradise of Childhood: A Practical Guide to Kindergartners. Milton Bradley, Springfield, MA.