

De naam opaal is vermoedelijk afkomstig uit het oude India. In het Sanskrit betekent *upala*: steen of edelsteen. De lange historie van opaal kent vele lotswisselingen. De oudste kunstvoorwerpen waarin opaal is verwerkt stammen uit de 4e eeuw voor Christus. Keizer Marcus Aurelius liet senator Nonius verbannen, toen deze weigerde zijn prachtig bewerkte opaal af te staan. Tot in het begin van de 17e eeuw bleef opaal een zeer geliefde edelsteen, maar gedurende de 18e en 19e eeuw viel het gebruik van opaal in ongenade, vermoedelijk door een Teutoons bijgeloof. Anderen beweren, dat de plotselinge terugval in populariteit te wijten is aan Sir Walter Scotts roman "Anne of Geierstein", waarin opaal een kwaadaardige rol speelt. Het is echter waarschijnlijker, dat Scott zich door een al bestaand bijgeloof heeft laten inspireren.

Opaal is beroemd om zijn prachtige, flitsende kleuren. Zonder deze kleurenrijkdom is opaal maar een saai en weinig kostbaar mineraal, zonder enige betekenis als edelsteen. Van de verschillende soorten opaal zijn drie typen het populairst. Ten eerste is er de zwarte opaal, met een zwarte, donkerblauwe of donkergroene basiskleur en een intens kleurenspeel. Ten tweede is er witte opaal, met een lichtgekleurde tot witte basiskleur en een zeer fijn kleurenspeel. Het derde type is vuurpaal, een doorzichtige tot doorschijnende steen met een oranje-rode tot rode basiskleur en slechts zelden een kleurenspeel. Het omslag van dit Gea-nummer en afb. 1 geven een indruk van opaal.

Bestudering met het blote oog of met de loep (10x)

Bij het bestuderen van opaal met het blote oog, of met een 10x vergrotende loep, is het mogelijk inzicht te krijgen in het mechanisme dat binnen opaal het kleurenspeel veroorzaakt. Het meest ideaal is dit te doen onder een kleine, helderwitte lichtbron. Wit licht bevat immers alle golflengten van het zichtbare licht. Tabel I toont het spectrum van zichtbaar licht.

Tabel I. Het kleurenspectrum met bijbehorende golflengten

kleur van het licht	golflengten in nanometers (1 nm = 0,000001 mm = 10 ⁻⁹ m)
violet	380 - 420
blauw - violet	420 - 450
blauw	450 - 480
blauw - groen	480 - 510
groen	510 - 550
geel - groen	550 - 570
geel	570 - 590
oranje	590 - 600
oranje - rood	600 - 630
rood	630 - 750

De kleuren in een opaal komen voor in kleine veldjes. Binnen één klein veldje is de kleur tamelijk homogeen - zie de voorplaat. Voor zo'n veldje van gelijke kleur gebruiken we de naam *kleurdomein*. Kleurdomeinen zijn meestal onregelmatig van vorm, maar binnen één opaal is hun vorm min of meer gelijk. In de "pinfire"-variëteit van opaal hebben deze kleurdomeinen doorsneden tot maximaal 1 mm, maar in de meer gangbare typen zijn de domeinen een paar mm groot. Er zijn opalen bekend met kleurdomeinen van wel een cm. In zo'n geval lichten binnen een opaal-cabochon maar één of twee kleuren op, wat minder attractief is. Het karakter en de waarde van een opaal worden in grote mate bepaald door afmeting en rangschikking van de kleurdomeinen. Een ander belangrijk kenmerk is de manier waarop de kleuren binnen een kleurdomein veranderen als de *oriëntatie* van de steen



Afb. 1. Voorbeelden van geslepen Australische opaal met kleurenspeel. De doorsnee van de ronde opaal is 1 cm.

verandert ten opzichte van de lichtbron en de waarnemer. De verschillende domeinen kunnen in een bepaalde stand een kleur hebben, maar in een andere oriëntatie niet. Bovendien kan eenzelfde domein bij verschillende oriëntaties verschillende kleuren krijgen. Dit effect wordt het *kleurenspeel* van opaal genoemd.

De meeste opalen vertonen geen kleurenspeel als zij met doorvallend licht worden bekeken. Het sprankelende kleurenspeel is pas zichtbaar als de opaal met opvallend licht wordt bekeken. Het kleureffect is optimaal bij een puntvormige lichtbron net boven de waarnemer. Dan vertoont een opaal meestal de kleuren van de langste golflengten die bij die bepaalde opaal mogelijk zijn. In opalen van de hoogste kwaliteit zijn dat de golflengten van een diep rode kleur. Alle andere kleuren van het zichtbare spectrum komen tevoorschijn als de steen wordt gedraaid. In laboratoria zijn dunne doorsneden van opaal gemaakt van 30 µm dik (0,03 mm), die nog steeds een kleurenspeel toonden. Wanneer deze dunne doorsneden bij doorvallend licht bekeken worden, laten zij de complementaire kleuren in het kleurenspeel zien.

Nog een belangrijk kenmerk van het kleurenspeel is, dat de kleuren meestal *spectraal zuiver* zijn: voor iedere kijkrichting is in elk enkel domein slechts een klein deel van het kleurenspectrum zichtbaar. Mengkleuren van verschillende golflengten ziet men in opaal maar zelden.

Onderzoek heeft aangetoond, dat opaal ongeveer dezelfde chemische samenstelling heeft als kwarts, namelijk SiO₂. Het enige verschil is dat opaal voor een zeker percentage uit water (H₂O) bestaat. Men schrijft de chemische formule van opaal daarom als SiO₂.nH₂O.

Fysische eigenschappen van opaal

Chemische samenstelling: SiO₂ . nH₂O, met 1-21 % H₂O (6-10% in edelopaal)

Hardheid: 5,6 - 6,5 op de schaal van Mohs

Dichtheid: 1,98 - 2,20 g/cm³ (2,1-2,2 g/cm³ in edelopaal)

Brekingsindex: 1,44 tot 1,46

Streepkleur: wit

Breuk: schelpvormig

Doorzichtigheid: transparant / translucent / opaak

Glans: glasglans tot harsglans

Natuurlijk wilde men graag weten wat het verschil is tussen opaal met kleurenspeel (edelopaal) en opaal zonder kleurenspeel, die *potch* wordt genoemd. Analyses naar chemische of fysische afwijkingen leverden geen resultaat op. Beide vormen van opaal blijken dezelfde eigenschappen te hebben. Het kleurenspeel wordt dus niet veroorzaakt door "vreemde" elementen, die als verontreiniging in opaal zouden kunnen voorkomen. Bij röntgenanalyses blijkt opaal over het algemeen amorf. In een enkel geval verschijnt een zwak kristalpatroon. Voor zover er hier al sprake is van een kristalstructuur, dan is deze in edelopaal altijd zwakker dan in potch.

De bouw van opaal

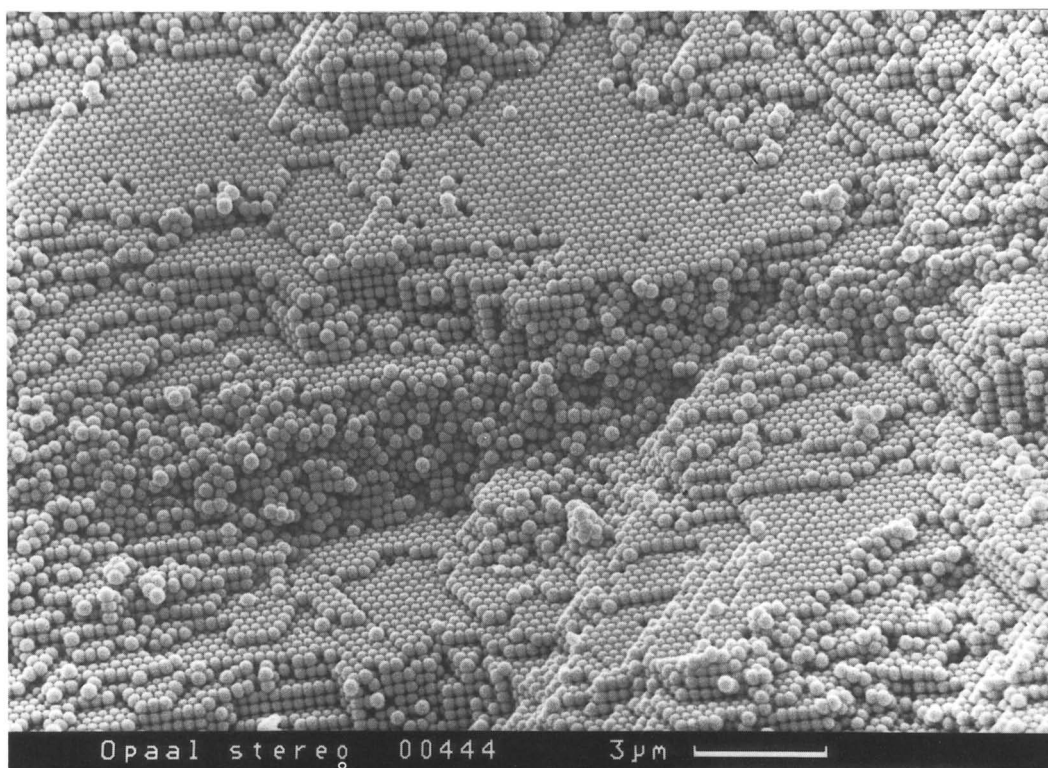
Op grond van de verschillende kenmerken is een vorm van diffractie het meest aannemelijke mechanisme van het kleurenspeel. (Diffractie is buiging van lichtgolven die een hindernis treffen.) Omdat opaal zijn geheim nog niet prijs geeft bij onderzoek onder de gewone microscoop, duurde het tot het midden van de jaren '60 voor de sluier van het geheim werd opgelicht. Toen werd opaal voor het eerst onder de elektronenmicroscoop onderzocht. Met deze techniek kan men 10.000 tot 80.000x vergroten. Toen een breukvlak van opaal 20.000x vergroot werd, zag men een regelmatig patroon van kleine holten. Bij nader onderzoek bleek dat ieder willekeurig breukvlak deze holten bevat. Bij het bestuderen van breukvlakken van verschillende opalen zag men, dat de opeenvolging en de vorm van deze holten per opaal varieerden. Het regelmatige patroon, dat zich dus in de interne structuur van iedere opaal bevindt, is de basis voor het mechanisme dat gestalte geeft aan het karakteristieke kleurenspeel van de steen. Dit mechanisme noemen we *diffractie* en het regelmatige patroon dat voor diffractie zorgt is een *diffractierooster*.

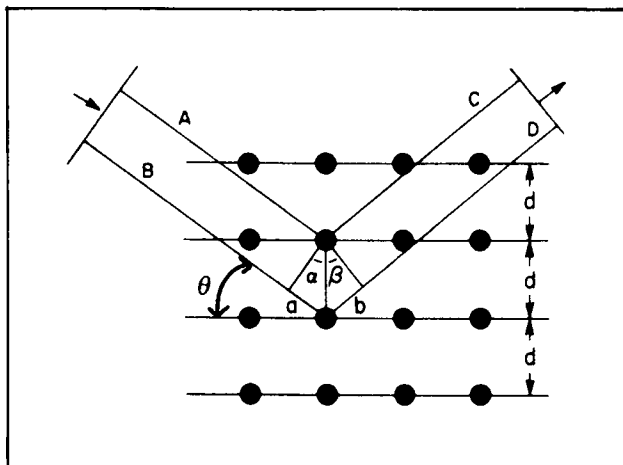
Na chemische etsing van een breukvlak van opaal is met de elektronenmicroscoop zichtbaar dat opaal uit bolletjes is opgebouwd. Opaal bestaat uit een dichtste bolstapeling van sferische deeltjes van doorgaans amorf siliciumoxide. De waargenomen holten zijn dus de ruimten tussen deze bolletjes. Zie afb. 2. Opalen met een sterk kleurenspeel bestaan uit bolletjes die opvallend uniform van grootte zijn, zodat ook de holten zeer regelmatig voorkomen. In de verschillende edelopalen variëren de bolletjes wel in grootte, nl. van 150 tot 300 nanometer. In uitzonderlijke exemplaren zijn bolletjes waargenomen die wel 30x groter zijn (tot 0,01 mm in diameter).

Kleurvormend mechanisme

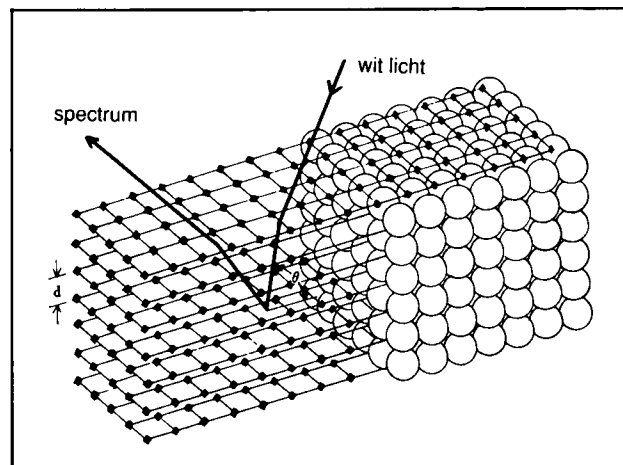
De transparante bolvormige partikeltjes van amorf siliciumoxide zijn dicht op elkaar gestapeld in een goed optisch contact. Opaal is zodoende transparant en heeft de brekingsindex van amorf SiO_2 : tussen 1,435 en 1,455, afhankelijk van de hoeveelheid H_2O die in de structuur van opaal is opgenomen. Op de grensvlakken tussen bolletjes en holten wordt het licht gebroken, omdat de holten voornamelijk lucht, water of waterdamp bevatten en dus een lagere brekingsindex dan de bolletjes hebben. De bolletjes vormen een regelmatig driedimensionaal patroon, waarin verschillende golflengten van licht onder verschillende hoeken teruggekaatst worden: een invallende straal van wit licht wordt daardoor opgesplitst in de verschillende kleuren van het spectrum (afb. 1). Het lichtdiffractiesysteem kan het best vergeleken worden met een grootschalige vorm van het bekende fenomeen van de diffractie van röntgenstraling door regelmatig gerangschikte atomen in een kristal. Röntgenstralen hebben een golflengte van ongeveer 0,1 nanometer, ongeveer dezelfde orde van grootte als de afstand tussen de atomen in een kristalrooster. Omdat de golflengten van zichtbaar licht tussen de 400 - 700 nanometer liggen, moet de ruimte tussen de bolletjes in opaal in die orde van grootte liggen. In afb. 3 zien we dat twee evenwijdige lichtstralen A en B op een regelmatig patroon van verstrooiingspunten vallen, die in lagen liggen met een onderlinge afstand d . In opaal is iedere overgang van een bolletje naar een holte te beschouwen als zo'n verstrooiingspunt. Licht zal vanuit ieder punt in alle richtingen verstrooid worden. Straal A volgt een kortere weg dan straal B. Het verschil in afstand is het wegverschil. Stel dat de lichtstralen A en B monochromatisch zijn (d.w.z. van één kleur en dus van één golflengte). Als zij de opaal verlaten (C en D) en vervolgens in een verzameling op een punt geprojecteerd worden (bijvoorbeeld in het oog), dan kunnen zij als volgt met elkaar interfereren. Of zij versterken elkaar (het wegverschil is dan een geheel aantal golflengten), of zij doven elkaar uit (het wegverschil is nu ongelijk aan een geheel aantal golflengten). Wit licht bevat alle golflengten van het spectrum. Deze versterken elkaar of doven elkaar uit afhankelijk van de afstand d (bepaald door de diameter van de bolletjes) en de invalshoek θ (spreek uit: theëta). Uit de wisseling van invalshoek en bolletjesgrootte ontstaat het kleurenspeel van opaal. Afb. 4.

Afb. 2. Scanning elektronenmicroscopische opname van opaal. Het maatstreepje is 3 μm (0,003 mm).





Afb. 3. Twee lichtstralen A en B vallen op een regelmatig patroon van verstrooiingscentra. Het patroon is te verdelen in lagen met gelijke afstand d .



Afb. 4. Edelopaal vertoont een kleurspel dat bestaat uit kleuren van het spectrum. Dit komt omdat invallende lichtstralen gediffracteerd (afgebogen) worden door een ordelijk patroon van holten. De golflengte van de gediffracteerde spectrumkleur wordt bepaald door de waarde van d en de hoek θ .

Opalen die uit te kleine bolletjes bestaan tonen geen zichtbare kleuren. Violet licht komt voor als de ruimte tussen de bolletjes ongeveer 150 nanometer is. Opaal met een hogere waarde van d toont een grotere variëteit aan kleuren, nl. van violet en blauw bij een kleinere invalshoek tot groen en geel bij loodrecht invallend licht. Een rode kleur wordt zichtbaar bij bolletjes vanaf circa 250 nanometer. Opaal-cabochoons die in hun kleurspel als maximale kleur een diep rood laten zien hebben de mogelijkheid bij een kleinere hoek van invallend licht andere kleuren van het spectrum te tonen. Deze opalen worden door opaalkenners hoog gewaardeerd. Opaal met bolletjes van grotere diameter geeft geen kleurspel meer te zien.

Uit onderzoek met de elektronenmicroscopie is gebleken, dat de bolletjes binnen één opaal opvallend uniform zijn. Dit geldt zeker voor edelopaal. Het is echter mogelijk, dat er binnen een groot stuk edelopaal variatie in de doorsneden van de bolletjes is. Er treedt dan een variatie van de maximale golflengte op, en dus verandert het kleurspel.

Het diffractie-effect is het duidelijkst in opalen waarin de bolletjes mooi rond zijn en de holten dus duidelijk ontwikkeld. De kleuren worden minder intens als de holten kleiner worden, bijvoorbeeld als er een hoeveelheid secundair siliciumoxide tussen de bolletjes werd afgezet. In materiaal dat jelly-opaal genoemd wordt zijn de bolletjes onduidelijk gedefinieerd. In opaal uit vulkanische afzettingen, zoals Mexicaanse opaal, is de opvulling van de holten zo compleet, dat deze holten niet langer met de elektronenmicroscopie zichtbaar zijn. Het secundair siliciumoxide dat de holten opvult heeft echter een andere brekingsindex dan de bolletjes, zodat de opaal nog steeds het diffractie-effect bezit. Onregelmatige reeksen van holten geven een reflectie van wit licht. Dit geeft opaal een melkachtig aanzien, dat ook wel *opalescentie* wordt genoemd. Fijne deeltjes lichtabsorberend materiaal, zoals koolstof, ijzer- of titaanoxiden geven de steen een donker uiterlijk. De meest waardevolle opaal, de zwarte opaal, bevat dit lichtabsorberende materiaal. Het resultaat is dat de intense diffractiekleuren in sterk contrast staan met de donkere basiskleur van de steen, omdat het niet-gediffracteerde strooielicht wordt geabsorbeerd.

Ordelijke bolstapeling

De essentiële optische eigenschappen van edelopaal zijn afhankelijk van het bestaan van ordelijke reeksen kleine discontinuïteiten met regelmatige tussenafstanden van ± 150 tot 300 nanometer (afb. 3). Wil diffractie plaatsvinden, dan moeten de bolletjes niet alleen dezelfde vorm en grootte hebben, maar moeten zij ook in een regelmatig systeem gestapeld zijn, vergelijkbaar met atomen in een kristal. Foto's met de elektronenmicroscopie hebben aangetoond, dat de bolletjes in opaal gestapeld

liggen volgens twee soorten van dichtste bolstapeling en wel in een willekeurige afwisseling van beide typen. Als de stapeling van bolletjes verandert van de ene regelmaat in de andere dan is er sprake van kleurdomeinwijziging. In een Australische opaal ziet men met de elektronenmicroscopie in ieder kleurdomein een aantal van deze fouten. Bovendien hebben de aan elkaar grenzende domeinen hun fouten in vlakken van verschillende oriëntatie. Beide factoren versterken het kleurenpatroon in een opaal en intensiveren de kleurscheiding. Opalen met grote domeinen zonder fouten zijn zeldzaam en bezitten weinig interessante kleureffecten.

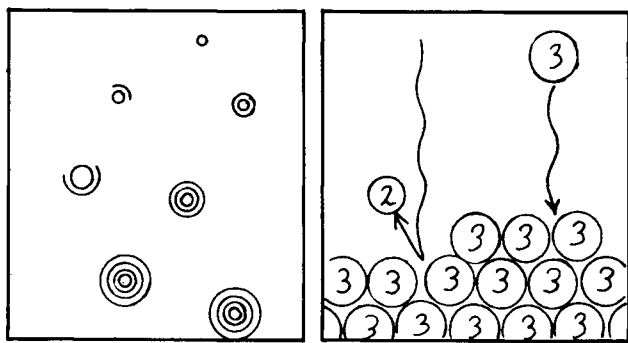
Vorming van de bolletjes

Hoe vindt de rangschikking van de bolletjes in de natuur plaats? Het is een zeldzaam verschijnsel dat bolletjes van exact dezelfde grootte ontstaan en tot neerslag komen. Zij de bolletjes niet perfect van vorm, slecht gestapeld of van verschillende grootte, dan vervalt de kans op kleureffecten en spreekt men van *potch* (Eng.). Er zijn op de wereld geweldige hoeveelheden potch bekend, terwijl edelopaal maar moeizaam te vinden is. Het is bekend, dat opaal wordt gevormd door het langzaam neerslaan van SiO_2 uit een waterige oplossing. De bolletjes worden gevormd door aggregatie van heel kleine primaire SiO_2 -deeltjes (colloïden), wanneer een SiO_2 -houdende oplossing geconcentreerd wordt door afname van het aanwezige water. De eerstgevormde deeltjes hebben al een bolvorm en zijn niet groter dan 30 tot 40 nanometer in diameter. Deze primaire deeltjes groeien niet verder. Zij klonten samen met andere deeltjes tot een groter bolletje. Dit klonten gaat als volgt (afb. 5). Een of enkele primaire deeltjes vormen een kern (nucleus). Enkele andere deeltjes voegen zich rond deze kern tot een schil is ontstaan. De uiteindelijke grootte van een bolletje wordt bepaald door het aantal schillen (zie afb. 6). De elektronenmicroscopie toont aan, dat de kleinste bolletjes uit een nucleus en één schil bestaan. In opalen met als maximale kleur groen bestaan de bolletjes uit een nucleus en twee schillen, en in opalen met rood als maximale kleur is er sprake van een nucleus en drie schillen. Het grootste aantal tot nu toe waargenomen schillen rond een nucleus is vijf.

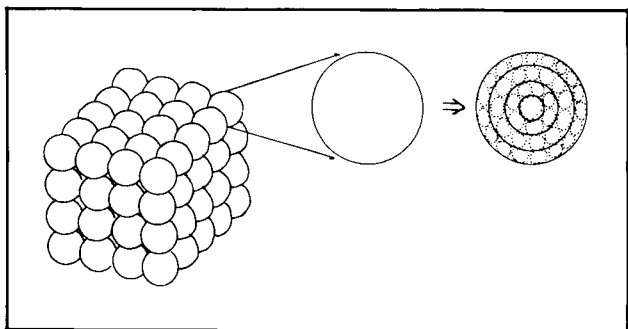
Deze structuur met goed onderscheiden schillen is een karakteristiek verschijnsel voor Australische opaal van sedimentaire oorsprong. In opalen van vulkanische oorsprong is in de bolletjes geen schillenstructuur waar te nemen. Deze zijn weliswaar ook opgebouwd uit primaire deeltjes, maar hun aggregatie gebeurt niet in schillen. Breukoppervlakken door deze opalen tonen de primaire deeltjes als oppervlaktestructuur, maar zij zijn niet regelmatig gestapeld en zij hebben geen holten. Na etsing is wel een regelmatig patroon van lijnen zichtbaar, omdat de centra van de deeltjes gemakkelijker oplossen. De totale afwezigheid van holten

in dit materiaal verklaart het feit, dat de diffractiekleuren in opaal van vulkanische oorsprong minder intens zijn dan die van sedimentaire oorsprong.

Voor het ontwikkelen van perfect ronde bolletjes met dezelfde hoeveelheid schillen zijn een paar voorwaarden aan te wijzen. De eerste vereiste is wel een geologische formatie waarin gedurende lange tijd stabiele omstandigheden heersen. Bovendien moet het deel waarin afzetting van opaal plaatsvindt vrij zijn van colloïden, zoals kleien en opgeloste zouten. Deze zouden de primaire deeltjes nl. doen uitvlokken in een gel-achtige massa, of de bolletjes zouden in een te vroeg stadium samenklonteren. Het is belangrijk dat de bolletjes tot aan het moment van neerslag als vrije eenheden kunnen blijven bestaan. Zij blijven in suspensie door Brownse beweging, tot zij ordelijk accumuleren tot bolletjes van dezelfde grootte als onderin het systeem. (Een Brownse beweging is een voortdurende, wanordelijke beweging van deeltjes ter grootte van enkele micrometers of kleiner in een vloeistof - een gevolg van onregelmatige botsingen met omringende moleculen onder invloed van warmte.) De snelheid waarmee de bolletjes zich afzetten is erg klein.



Afb. 5. Als een oplossing van siliciumoxide geconcentreerd wordt door voortgaande verdamping van water, dan verschijnen er primaire deeltjes die min of meer een bolvorm hebben bij een doorsnede van 30 tot 40 nanometer. Als zij samenklonteren, zodat er een groter bolletje ontstaat, dan kunnen zij bij een bepaalde grootte tot afzetting komen. (In de afbeelding is dit grootte 3). Kleinere bolletjes blijven door Brownse beweging in suspensie.



Afb. 6. Bolletjes van SiO_2 bestaan uit een kern, ook wel nucleus genoemd, die is opgebouwd uit een of enkele primaire deeltjes, met daaromheen een of enkele schillen.

Geologie

Een natuurlijke omgeving waar boven beschreven omstandigheden heersen en opaal zich kan vormen, is bijvoorbeeld een holte in een gesteente, waar uit een zuivere siliciumoxide-oplossing heel langzaam water verdwijnt, over een periode die wel duizenden jaren lang kan zijn. In het Andamooka-veld in Zuid-Australië was een ideale situatie voor de afzetting van opaal aanwezig in de vrije ruimten tussen de afgeronde stenen van een conglomeraat. Direct onder dit conglomeraat bevindt zich een laag benthonische klei. De

formatie bevindt zich 10 tot 40 meter onder een droog aardoppervlak. Het gesteente boven het conglomeraat is een zacht, waterdoorlaatbaar mengsel van kwarts- en veldspaatfragmenten. Dit gesteente verweert naar boven toe tot kaolien en voorziet naar beneden toe het grondwater van siliciumoxide. De gehele formatie is uitgedroogd gedurende een periode van toenemende ariditeit. De colloïdale siliciumoxide-bolletjes konden in deze periode tot optimale afzetting komen. Kanaaltjes door de formatie zorgden voor een continue doorstroming van de SiO_2 -oplossing en de verdamping zorgde voor de concentratie. Uiteindelijk ontstonden hierdoor holte-opvullingen met opaal en werd het oorspronkelijk poreuze conglomeraat een harde, betonachtige laag. De ontstaanswijze van opaal uit andere vindplaatsen in Australië vertoont eenzelfde patroon. Materiaal zoals fossielen, schelpen, gebeenten of zoutkristallen werd opgelost door percolerend grondwater, waardoor open ruimten ontstonden die nodig zijn voor de neerslag van opaal.

Holten van een heel ander type zijn gevonden in Queensland, eveneens in Australië. Deze zijn ontstaan in een gelei-achtig mengsel van ijzeroxide en siliciumoxide, dat door het uitdrogen is gekrompen. Uiteindelijk ontstonden uit dit materiaal keien, die door de krimp van binnen hol zijn geworden en vele krimp-scheurtjes vertonen. Enkele van deze keien (boulders) werden later met opaal opgevuld, zodat boulder-opaal werd gevormd.

In andere delen van de wereld wordt opaal gevonden in vulkanisch gesteente. In de lava ingesloten gasbellen zorgden bij het stollen van de lava voor holten. In enkele van deze holten is opaal afgezet. Het water dat voor de aanvoer van siliciumoxide zorgde was daarmee aangerijkt door oplossing van gesteentevormende silicaatmineralen. Veel van deze opaal is anders van uiterlijk dan de opaal die gevormd is in sedimentair gesteente, vermoedelijk deels door een veel snellere afzetting. De kleine bolletjes hebben geen schilstructuur en hebben een dichtste bolstapeling waarin vrijwel geen holruimten voorkomen. Hierdoor heeft het materiaal een transparant uiterlijk en ontbreekt het kleurdomein-karakter. Het toont alleen een diffuse kleurband die beweegt bij rotatie van de steen. De meeste Mexicaanse vuuropaal is van dit type. Opalen afkomstig uit vulkanische gebieden van Hongarije, Idaho en Indonesië komen weliswaar in vulkanisch gesteente voor, maar zijn gevormd onder koele sedimentaire omstandigheden en bezitten wel een goed korrelpatroon.

Alle edelopaal is geologisch jong. Het materiaal is niet bestand tegen de temperatuur- en drukeffecten die langdurige geologische processen met zich mee brengen, zeker als het om formaties van aanzienlijke diepte gaat. Bovendien verweert opaal gemakkelijk als het aan de oppervlakte komt. Onder deze omstandigheden verliest opaal zijn water, komt vol met scheurtjes en krijgt het een ondoorzichtig uiterlijk. Bij langdurig waterverlies zet opaal om naar chalcedoon.

Opaalvariëteiten

Vrijwel iedere vindplaats kent zijn eigen variëteiten. De werkers op een vindplaats zijn meestal trots genoeg om aan iedere variëteit een lokale naam te verbinden. De handel neemt op zijn beurt maar enkele van deze namen over. De consument komt meestal maar met een deel van deze benamingen in aanraking.

Bij de meest waardevolle opalen lichten alle kleuren van het spectrum op van violet tot rood. Vooral het voorkomen van rood en het maar zelden geziene purper-violet (pauwblauw) geeft de opaal veel extra waarde. De opaal heet "volkomen" als het hele spectrum in één stand zichtbaar is.

Opaal waarin het kleurenspeel in een zeer regelmatig patroon van kleurdomeinen verdeeld is wordt harlekijnopaal genoemd (denk aan het patroon van een harlekijnkostuum). De meest ideale verdeling van het kleurenspeel komt voor in pinfire-opaal, waarin alle spectrumkleuren zich in kleine, dicht opeen liggende veldjes presenteren. In vlammenopaal lichten rode, oranje en gele kleuren op in langwerpige kleurdomeinen. Het kleurenspeel bij het bewegen van de steen tegen de donkere achtergrond geeft een vlammeffect.

Zwarte opaal. Dit is de kostbaarste opaal. De heldere spectrale kleuren steken sterk af tegen de zwarte, donkerblauwe, -bruine, of -groene ondergrond. Welke "donkere" achtergrond opaal ook heeft, de opaal krijgt het voorvoegsel "zwart". Hoe donkerder de ondergrond, hoe sterker dit effect. Lightning Ridge (Nieuw-Zuid-Wales, Australië) is de beroemdste vindplaats van zwarte opaal. De donkere kleur schrijft men toe aan koolachtig materiaal dat fijn verdeeld in de opaal voorkomt.

Witte opaal. De basiskleur van deze opaal is voornamelijk wit. Ook bij de witte opaal zijn de stenen die het complete spectrum kunnen tonen het meest waardevol. Een kleurenspeel van voornamelijk blauw is minder gewild.

Grijze opaal. Ongeveer gelijk aan de witte opaal, maar minder kostbaar.

Vuuropaal. Deze translucente tot transparante opaalvariëteit heeft een rijke variatie aan basiskleuren, echter zelden in combinatie met een kleurenspeel. Wijngel tot harsgeel wordt sherry-opaal genoemd, oranje tot hyacint noemt men vuuropaal. Deze voornamelijk uit Mexico afkomstige opalen hebben hun kleur te danken aan het ijzergehalte.

Groene opaal (ook wel praasopaal). Deze opaal lijkt op chrysopraas en dankt zijn groene kleur aan nikkel. Zeer zelden wordt kleurenspeel gezien.

Matrixopaal. Letterlijk betekent dit "het moedergesteente van opaal". In de handel staat deze naam voor stenen die een mengsel zijn van opaal en matrix, bijv. de rolstenen in Australië. De waarde van de matrixopaal is dan ook afhankelijk van het percentage opaal en de rangschikking van de aanwezige matrix.

Kristalopaal. Doorschijnende opaalvariant met kleurloze, witte of heldergrijze basiskleur. Is de basiskleur niet uitgesproken troebel dan komt dit de waarde van kristalopaal ten goede. De duurste exemplaren vertonen een kleurenspeel met daarin het primair rood.

Boulderopaal. Een variant van opaal met een meestal donkere basiskleur en een levendig kleurenspeel, als dooradering van een door ijzer verkleurde zandsteen.

Jelly-opaal. Deze opaal is weinig spectaculair. Een kleurloze basis, gecombineerd met een zwak kleurenspeel. Dit kleurenspeel, dat beter een schimmenspeel genoemd kan worden, is in de goedkoopste exemplaren blauw en in de duurder exemplaren groen, oranje, tot een enkele maal rood toe.

Potch. Deze naam staat voor de algemene, ondoorzichtige opaal. Deze is verre van zeldzaam, toont absoluut geen kleurenspeel en komt voor in tinten als melkachtig wit, blauwachtig, licht- tot donkergrijs of zwart. Sneeuwvlak-potch is zwart-wit gevlekt of gestreept.

Hyaliet of Muller-glas. Kleurloze tot gele pseudo-opaal, met glasachtig uiterlijk. Dit materiaal, dat ook wel de naam **wateropaal** draagt, bestaat uit siliciumoxide, dat maar zelden kogeltjes bevat. Het heeft een amorphe, glasachtige structuur. Een zwak schimmenspeel kan oplichten, maar een echt kleurenspeel ontbreekt volledig. De naam is afkomstig van het Griekse woord "hyalos" dat glas betekent. Het wordt in de natuur gevonden als glasheldere aggregaten, die een druiventros- of druipsteenvorm hebben.

Hydrofaan. Lichtgekleurde, zeer transparante opaal. Toont diffractiekleuren bij onderdompeling in water. Boven water zorgt de sterke porositeit voor snel waterverlies en zodoende snel verlies van het kleurenspeel.

Cacholong. Krijtwitte opaal, vermengd met chalcedoon.

Geopaliseerde fossielen. Zoetwater- en mariene schelpen, belemnieten en beenderen van prehistorische dieren zijn voorbeelden van met opaal doortrokken fossielen, die o.a. in Australië gevonden zijn.

Opaal-pseudomorfen. Opaal als pseudomorfose naar gips, glauuberiet, calciëet, etc. Pseudomorfen van kristalaggregaten van vooral glauuberiet staan bekend als ananas-opalen.

Herkomstgebieden

Enkele belangrijke herkomstgebieden zijn terloops al genoemd. De opalen die bekend zijn uit de Romeinse tijd en zo ook de opaal die aan de vinger van senator Nonius heeft gezeten, zijn afkomstig uit het Tsjechoslowaakse Cevernico. Vroeger behoorde dit aan Hongarije en droeg het de naam Vorosvagas. Kenners spreken dan ook nog van "Hongaarse opaal". Deze opaal vormde nesten in een grijsbruine, andesitische lava. Tot de 14e eeuw werd opaal er in dagbouw gewonnen, nadien ook in schachtbouw. De opaal uit dit gebied heeft een melkwitte basiskleur en een harlekijn-

kleurenspeel met kleine kleurdomeinen. Totdat de Australische opaal ontdekt werd was dit de beroemdste vindplaats van edelopaal.

Mexico is al sinds eeuwen de bekendste vindplaats van vuuropaal. De Azteken gebruikten in de 13e eeuw al vuuropaal. Het mineraal wordt gevonden in holten van zure (SiO₂-rijke) vulkanieten. Ook wateropaal en andere opaalvariëteiten worden hier gevonden, zij het dat de kwaliteit minder goed is dan die van de Australische variëteiten.

In Honduras wordt opaal aangetroffen in aders en bandjes van donkerrode trachyt. Hoewel de opbrengst van de mijnbouw laag is en commercieel nauwelijks interessant, zijn de stenen die er gedolven worden van goede kwaliteit. De opaalwinning in Honduras begon in de eerste helft van de 19e eeuw.

Het geologische aspect van de Australische opaal is reeds aangestipt. Het verhaal gaat, dat een Duitse geoloog er omstreeks de helft van de vorige eeuw voor het eerst opaal vond.

In de Verenigde Staten (Humboldt County, Nevada) wordt een goede kwaliteit edelopaal gevonden. Deze komt voor in barsten en spleten van geopaliseerd hout.

In Polen wordt de groene praasopaal gevonden.

In een volgend Gea-nummer zullen o.a. de produktie van synthetisch opaal, de "verbetering" van opaal en opaaldoubletten aan de orde komen.

Dankbetuiging

Graag wil ik hier Drs. E.A.J. Burke van harte bedanken voor zijn opbouwende kritiek en correcties. Zijn bijdrage aan het leesbaar maken van het artikel maakte het mogelijk, dat dit tijdig voor publicatie gereed kwam. Ook Ing. J. Pieters van het Laboratorium voor moleculaire celbiologie, Rijksuniversiteit Utrecht, die de SEM-foto afstond, ben ik zeer erkentelijk.

LITERATUUR

J.V. Sanders en P.J. Darragh (1971): The microstructure of precious opal; Mineralogical Record, vol. 2, p. 261-268.

P.J. Darragh, A.J. Gaskin en J.V. Sanders (1976): Opals; Scientific American, vol. 234, april, p. 84 e.v.



Opaal op de foto

De voorplaat

In de verzameling van Wilfred Moorer ontdekten we een stuk opaal, dat geschapen leek om het artikel over opaal te illustreren. Ruim 30 mm lang, terwijl het omslag van Gea 300 mm is; dat is een makkie. Zoiets kan achterop de tram! Het pakte anders uit. Opaal bevat water. Zetten we zo maar fotolampen op de opaal, dan kan de temperatuur zo hoog oplopen, dat de opaal "ontwatert". Het donkerbruine gesteente - de matrix - waar de opaal op zit helpt mee aan die ongewenste temperatuurstijging. Na inwinnen van advies van Coomans en Moorer bleek er maar één safe methode: constant nat houden en de lampen behoorlijk dimmen. Tijdens het bestuderen bleek de opaal een **venster** te hebben. Dit venster was glashelder en probleemloos kon de donkere matrix waargenomen worden. Zetten we nu de lampen op dit venster en draaiden we de opaal rond, dan ontstond er tegen de donkere achtergrond een kleurenspeel zoals ik nog nimmer aanschouwde. Dit deel was mooier dan het geheel, maar het haalde nauwelijks de 2,6 mm, waardoor de eindvergroting in Gea op 115x komt. Om aan zo'n vergroting te komen moet er wat gebeuren. De balg werd uitgerekt tot een 35 cm, waardoor de instabiliteit van de apparatuur zo groot werd dat er een **loopverbod** was tijdens het opnemen. Het matglas vangt dan zo weinig licht dat bestudering van het onderwerp niet lukt (gezien het dimgebod!) en dan is er maar één oplossing: een serie opnamen. Technische gegevens: Zeiss Luminar 16 mm, camerahuis Mamiya 645, Canonbalg plus zelfbouw, Ektachrome professional Tungsten 50 ASA, belichtingstijd 2 seconden, verlichting één Philips halogeen lamp 12 V zoals elders in dit nummer besproken.

Piet Stemvers