Invloed van entmateriaal op waterontharding in korrelreactoren, een kristallografische benadering van kiemvorming en kristallisatie

Samenvatting

Bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam is de heterogene kiemvorming (nucleatie) en kristallisatie van calciet ($CaCO_3$) tijdens de hardheidsreductie onderzocht. Als entmateriaal zijn *kwartszand* (SiO_2), *calciet* ($CaCO_3$), in de vorm van gebroken onthardingskorrels en *granaat* (een Fe-, Mg-, Al-houdend silicaat) gebruikt.

De eerste, ongeoriënteerde aangroei van calciet vindt bij voorkeur plaats in komvormige holten op het oppervlak van de ent. Een klein gedeelte van de kristallen, die daarvoor de juiste oriëntatie bezitten, groeit hierna uit tot loodrecht op het oppervlak georiënteerde naalden. Het ruwe en onregelmatige gevormde oppervlak van *granaat* is bij uitstek geschikt voor snelle kiemvorming en aangroei van kristallijn calciet.

Een tweede reden voor de betere eigenschappen van *granaat* als entmateriaal is gelegen in de hogere soortelijke massa. Het specifieke oppervlak geschikt voor de aangroei met kristallijn calciet ligt in een met *granaat* enten geladen reactor veel hoger.

Het samengaan van een groot specifiek oppervlak met een hoge graad van onregelmatig gevormd (ruw) oppervlak maakt dat in een korrelreactor gevuld met een gefluïdiseerd bed van *granaat* de laagst mogelijk waarde voor het Theoretisch Afzetbare Calciumcarbonaat (TACC) van het effluent wordt bereikt.

Inleiding

Hard water heeft verschillende nadelen. Ten eerste is door de lage evenwichts-pH het metaaloplossend vermogen groot, waardoor zware metalen zoals lood, koper en cadmium uit de leidingen in het drinkwater kunnen worden opgelost. Ten tweede hebben huishoudelijke en industriële apparatuur, waarin water wordt verwarmd, door kalkafzetting op de wand een hoog energieverbruik en hoge onderhoudskosten.



P. J. DIRKEN
Instituut voor
Aardwetenschappen



A. GRAVELAND
Gemeentewaterleidingen
Amsterdam



E. T. BAARS
Gemeentewaterleidingen
Amsterdam



C. F. WOENSDREGT
Instituut voor
Aardwetenschappen

Verder kan hard water voor een verhoogd gebruik van wasmiddelen zorgen, waardoor excessieve groei van algen (eutrofiëring) van het oppervlaktewater kan optreden.

Vooral vanwege de eerstgenoemde reden heeft de gemeente Amsterdam ertoe besloten tot centrale hardheidsreductie van haar drinkwater over te gaan [1].

Een centrale deelontharding van drinkwater in korrelreactoren wordt nu op vele plaatsen in Nederland toegepast. Deze vorm van ontharden berust op heterogene kiemvorming (nucleatie) van kristallijn calciet op entmateriaal gevolgd door aangroei tot korrels met een doorsnede van enkele mm. De invloed van het soort entmateriaal op deze ontharding en de wijze waarop aangroei hierop plaatsvindt, staan in dit artikel centraal.

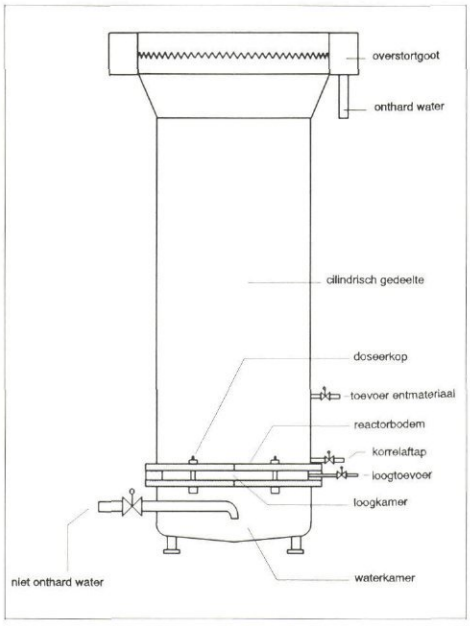
Hiervoor is van een aantal technieken gebruik gemaakt, die bij het bestuderen van aardse materialen door geochemici worden benut [2,3].

De Amsterdamse reductor

Gemeentewaterleidingen Amsterdam ontwikkelde voor de hardheidsreductie een eigen korrelreactor [4]. Deze Amsterdamse reductor heeft een diameter van drie meter en is zes meter hoog. Het belangrijkste verschil van deze reductor met andere praktijkreactoren vormt de bodem, die is uitgerust met speciaal ontworpen water-loogdoseerkoppen (aantal koppen: 30-35/m^2) [5]. Een speciaal ontwerp van gescheiden aanvoerkanalen voor loog en te ontharden water zorgt voor een zeer goede homogene menging. Daardoor wordt spontane kristallisatie in de waterfase in de vorm van waterrijke vlokken of als aankorsting op onderdelen van de reactor zoveel mogelijk vermeden. In het homogeen gefluïdiseerd bed heersen over de gehele doorsnede van de cilinder gelijke stroomsnelheden ('propstroming'), waardoor een duidelijke classificatie van de korrels in het gefluïdiseerde bed wordt verkregen [6]. Bicarbonaat wordt door het toevoegen van natronloog omgezet in carbonaat met als gevolg dat kristallijn calciet ($CaCO_3$) op de korrels van het gefluïdiseerde bed uitkristalliseert. Beneden in de reductor bevindt zich een ongeveer één meter dikke laag met aangegroeide korrels. Daarbovenop rust een tweede laag entmateriaal met uitsluitend kleinere korrels. Het entmateriaal bestaat uit korrels met een doorsnede van 0,2-0,6 mm. In de reactor groeien zij aan tot korrels met een diameter van 1-2 mm. Hierdoor daalt tijdens het onthardingsproces het specifieke oppervlak van de aangroeiende korrels. De oververzadiging aan $CaCO_3$ zou hierdoor zo hoog kunnen worden, dat in plaats van kristallisatie op de aangegroeide korrels, spontane kiemvorming in de waterfase zou kunnen optreden. Door deze kiemvorming buiten het al aangegroeide entmateriaal om, zou troebeling van het effluent op kunnen treden. Om dit te voorkomen wordt een deel van de korrels periodiek onderuit de reductor afgetapt en nieuw entmateriaal toegevoegd. De op deze wijze verkregen onthardingskorrels kunnen voor allerlei doeleinden worden gebruikt, onder andere voor het neutraliseren van afvalzuren, in de veevoederindustrie en als toeslagmateriaal in de bouw.

Kiemvorming en kristallisatie

In de onthardingsliteratuur worden vaak verschillende termen gebruikt voor de vorming van kristallijn calciumcarbonaat. Aangroei op enten wordt kristallisatie genoemd. Deze kristallisatie wordt vooraf-gegaan door een duidelijke vorm van heterogene kiemvorming (nucleatie). De kiemvorming wordt heterogeen genoemd, omdat zij plaatsvindt op een hiervoor geschikte ondergrond (substraat). Spontane nucleatie in de waterfase wordt meestal precipitatie genoemd, waarbij in principe homogene kiemvorming plaatsvindt. Strikt genomen is dit laatste alleen waar, als geen verontreinigingen in de vorm van zwevende kleideeltjes, stofdeeltjes, gasbellen, etcetera, als enten hebben gediend. Een speciale plaats in de literatuur nemen de zogenaamde microkristallen in [7]. Zij zijn zonder tussenkomst van entmateriaal ontstaan door spontane nucleatie en vormen een duidelijke aanwijzing voor een plaatselijk hoge oververzadiging. Deze micro-kristallen zijn zo klein, dat zij met het effluent meegevoerd worden. Bij het verhitten van



Afb. 1 - Amsterdam reductor.

het drinkwater wordt de hardheid opnieuw verlaagd en dienen deze kristallen daarbij als enten. Zij groeien dan vaak zo ver uit, dat zij een zichtbare witte troebeling van het drinkwater of een hinderlijke kalkaanslag in warmwatertoestellen veroorzaken.
De kristallisatie van $CaCO_3$ met natronloog kan als volgt worden weergegeven:

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^- \quad (1)$$

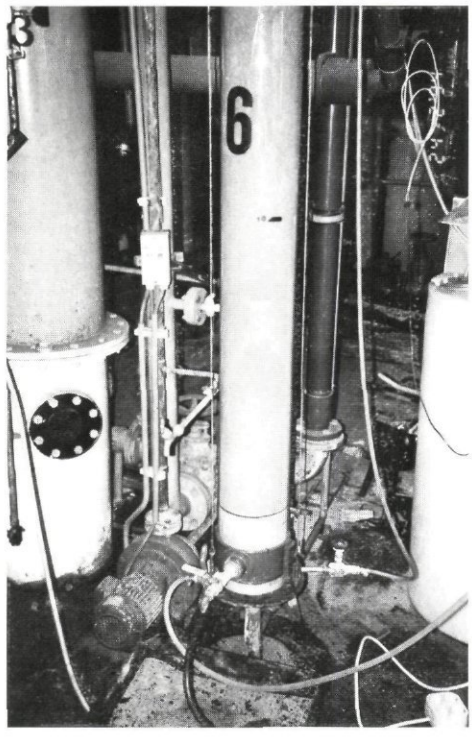
$$OH^- + HCO_3^- \leftrightarrow H_2O + CO_3^{2-} \quad (2)$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3\downarrow \quad (3)$$

In de proefinstallatie van het drinkwaterproduktiebedrijf Weesperkarspel van Gemeentewaterleidingen Amsterdam is de kristallisatie van calciumcarbonaat bestudeerd. Uit poederröntgendiffractometrisch (XRD) onderzoek van de onthardingskorrels blijkt dat calciumcarbonaat altijd als calciet uitkristalliseert. Dit is niet alleen het geval in Weesperkarspel, maar ook in een groot aantal andere Nederlandse onthardingsinstallaties [8]. Andere modificaties, zoals vateriet of aragoniet, zijn nooit waargenomen.

Experimentele condities
De drie experimentele reactoren, elk zes meter hoog, met een binnendiameter van 18 cm, hebben elk één water-loog-doseerkop (afb. 2). Zij zijn in perspex uitgevoerd, zodat het hierin optredende stromingspatroon duidelijk waarneembaar is. Het influent is water afkomstig uit de ten noorden van Utrecht gelegen Bethunepolder, dat na een voorcoagulatie enige maanden in de Waterleidingplas verblijft, om vervolgens na een snelfiltratie getransporteerd te worden naar Weesperkarspel. Voordat het water wordt onthard, vindt eerst nog een ozonbehandeling plaats in het drinkwaterproduktiebedrijf Weesperkarspel. In de reactoren bedraagt de lineaire stroomsnelheid 70 m/h. De experimenten zijn in de zomer uitgevoerd met een watertemperatuur van 17-20 °C en in de winter met een watertemperatuur van 5-7°C. Tijdens de proefnemingen wordt het water met een totale hardheid van 2,3 mmol/l (13 °D), een pH van 7.8-8.0 en een bicarbonaatgehalte van 2 mmol/l onthard met natronloog tot een hardheid van 1,1 mmol/l (6 °D).

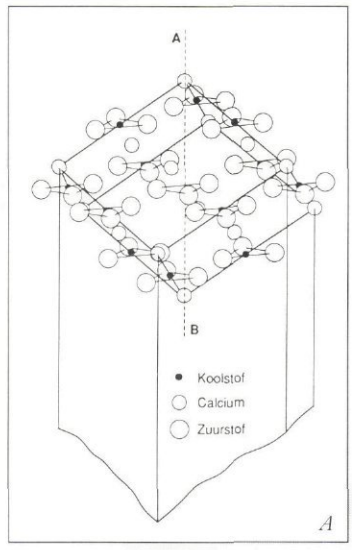
Afb. 2 - De experimentele reactor in Weesperkarspel.

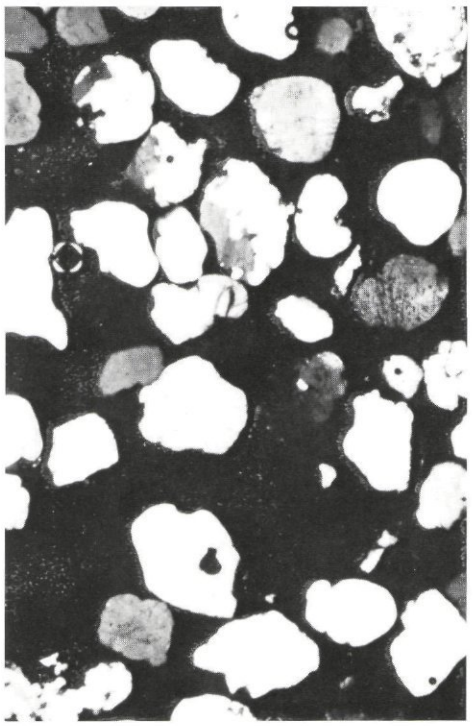


In de praktijk wordt als entmateriaal voornamelijk kwartszand (SiO_2) gebruikt. Kwartszand, dat vaak in de onthardingsliteratuur als zand wordt beschreven, is afkomstig uit rivierzandafzettingen en bestaat uit goed afgeronde korrels (afb. 3). Behalve kwartszand zijn ook calcietkorrels afkomstig van gebroken onthardingskorrels (afb. 4) en granaat (afb. 5, een Fe-, Mg- en Al-houdend silicaat) als entmateriaal gebruikt. De granaat-enten zijn hoekig van vorm en vertonen vele komvormige holten op het oppervlak.

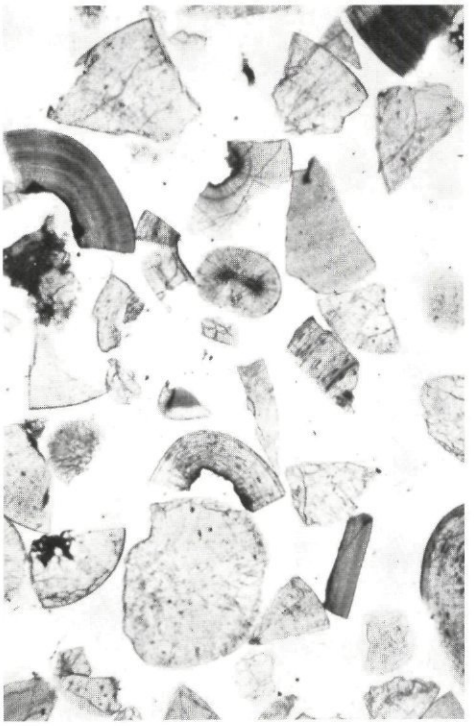
De calciet-enten zijn eerst gedurende 24 uur in een experimentele reactor gewassen. Hiermee wordt voorkomen dat zeer fijn calcietstof tijdens de ontharding aangroeit en troebeling van het effluent zou kunnen veroorzaken. Dit calcietstof ontstaat tijdens het breken van de onthardingskorrels door de aanwezigheid van een perfecte splijting in calciet. De soortelijke massa van kwarts en calciet zijn vrijwel gelijk (2.700 kg/m³), terwijl die van granaat aanzienlijk hoger ligt (4.100 kg/m³). Het kwartsbed classificeerde bij de opstart niet, maar het calcietbed en dat van granaat daarentegen wel.

Calciet: kristal en structuur
Calciumcarbonaat ($CaCO_3$) kan in drie verschillende kristallijne vormen kristalliseren: calciet, vateriet en aragoniet. Naast deze drie vormen bestaat er een calciumcarbonaathydraat, $CaCO_3.6H_2O$, ikaiet genaamd. Dit mineraal komt alleen voor bij watertemperaturen beneden de 4 °C. Hoewel de chemische samenstelling van alle vormen gelijk is, verschillen zij wat de inwendige kristalstructuur betreft. Hierdoor zijn hun chemische en fysische eigenschappen zeer verschillend. Calciet kristalliseert bij lage oververzadigingen uit in de vorm van rhomboëders. Deze rhomboëders zijn als driedimensionale parallelepipida te beschrijven waarvan de zes ruitvormige vlakken niet loodrecht op elkaar staan. Deze rhomboëdervorm is gemakkelijk te herkennen in afbeelding A. Evenwijdig aan deze rhomboëdervlakken splijten de calcietkristallen gemakkelijk in kleine splijtstukken met opnieuw een rhombo ëdervorm. De inwendige kristalstructuur van calciet is opgebouwd uit een afwisseling van uit Ca^{2+} en CO_3^{2-} bestaande lagen. De lichaamsdiagonaal AB, die loodrecht op deze lagen staat, is eveneens de lengterichting van de naaldvormige calcietkristallen.
Deze rhomboëders kristalliseren bij hoge oververzadiging verder uit in kristallijn calciet. Dit is goed te zien in afbeelding A, waarin de kopbegrenzing van de naald wordt gevormd door drie rhomboëdervlakken.
Aangroei in de naaldrichting betekent voor calciet dat afwisselend positief geladen calcium- en negatief geladen carbonaat-ionen worden ingebouwd. De aangroei loodrecht op deze richting verloopt veel moeizamer waardoor de naalden niet snel dikker zullen worden. In afbeelding 10 zijn deze naaldvormige kristallen met hun rhomboëderkopvlakken en karakteristieke splijting goed te zien.





Afb. 3 - Entmateriaal bestaande uit goed afgeronde kwartszandkorrels.



Afb. 4 - Entmateriaal bestaande uit gebroken onthardingskorrels grotendeels bestaande uit calciet ($CaCO_3$).



Afb. 5 - Entmateriaal bestaande uit hoekige granaatkorrels.

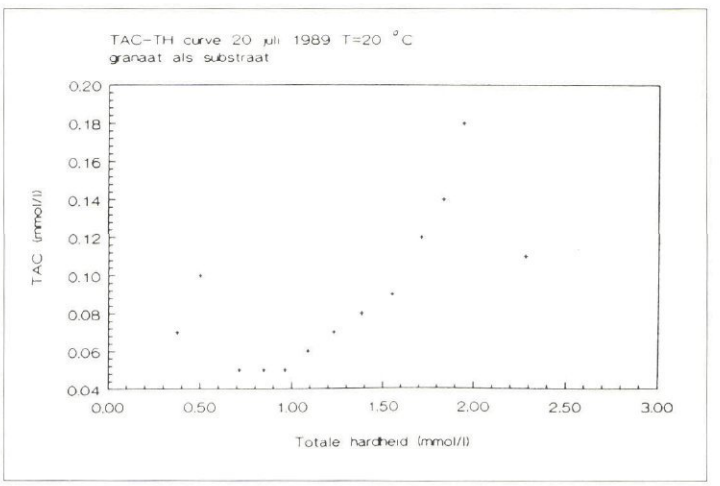
Het granaatbed classificeert ondanks de turbulente stroming onderin de proefreactor. Hoewel de soortelijke massa's van de aangegroeide kwarts- en calcietenten steeds constant blijven, classificeren de calcietenten zich toch in het gefluïdiseerde bed. Het onderlinge verschil tussen zand en calciet is te verklaren door het feit dat de calcietenten voor een deel uit kleine ongebroken onthardingskorrels bestaan, die zich bij voorkeur onder in het bed verzamelen. In de drie reactoren is steeds gekozen voor een *gefluïdiseerd* bed van 325 cm bij een lineaire snelheid van 70 m/h, ongeacht de aard van het entmateriaal.

Gedurende twee maanden in de winter en in de zomer zijn op gezette tijden na de opstart en op verschillende hoogten van het gefluïdiseerde bed monsters genomen. De monsters bestaan, afhankelijk van de tijd waarop de monsters zijn genomen en hun plaats in de reactor, uit entmateriaal in verschillende stadia van aangroei met calciet. Hierdoor kan het verloop van de kristallisatie als functie van de aangroeitijd en de hoogte in de kolom bestudeerd worden. Voor dat doel zijn preparaten in de vorm van dunne doorsneden van in kunsthars gebedde korrels gemaakt. Deze preparaten zijn zo dun (30 μm), dat zij onder een microscoop doorzichtig zijn. Door gebruik te maken van een polarisatiemicroscoop zijn de richtingsgevoelige optische eigenschappen van het entmateriaal en de calciet bepaald om de verschillende componenten te kunnen identificeren. Daarnaast kan ook de aangroeirichting van de calcietnaalden worden vastgesteld. Met behulp van een Raster Elektronen Microscoop (REM, in het Engels Scanning Electron Microscope of SEM genoemd), is de oppervlaktestructuur van de onthardingskorrels bestudeerd. Door de korrels te breken kan ook de inwendige structuur van deze korrels met een REM geanalyseerd worden.

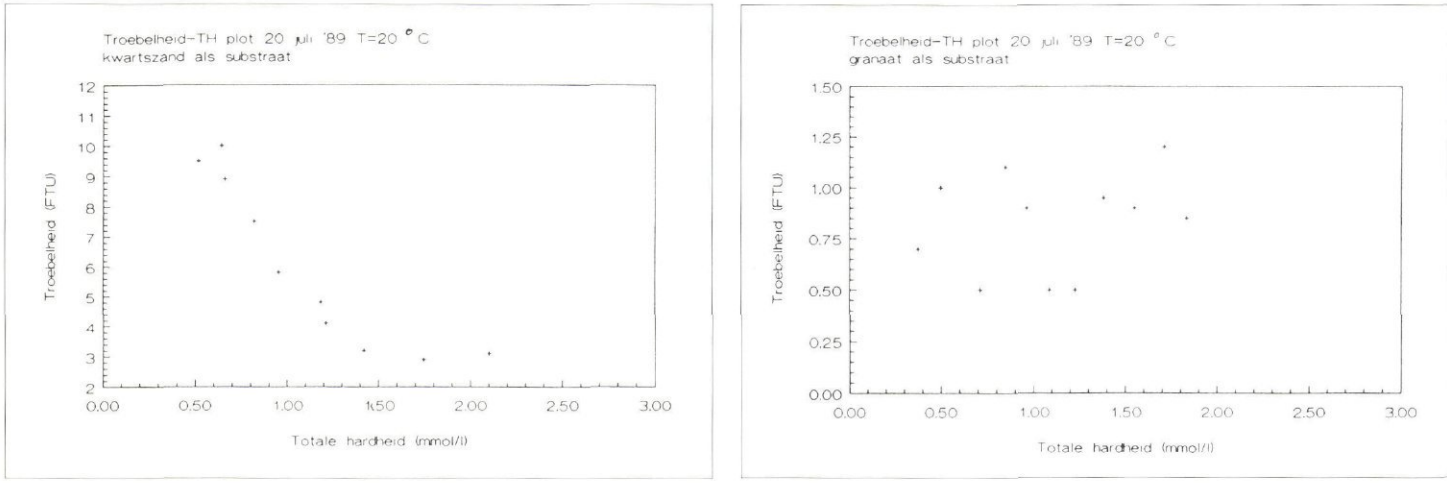
Ook zijn over de totale hoogte van de reactorkolom watermonsters genomen, waarvan de pH, het m-getal (= $[HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H_3O^+]$), ionsterkte, totale hardheid en de temperatuur zijn bepaald. Met deze gegevens is het Theoretisch Afzetbare Calciumcarbonaatgehalte (TACC) berekend.

Theoretisch Afzetbare Calciumcarbonaatgehalte (TACC)

Het Theoretisch Afzetbare Calciumcarbonaatgehalte (TACC) is een maat voor de oververzadiging aan calciumcarbonaat van het watermonster. De TACC geeft de totale hoeveelheid calciumcarbonaat weer, die onder evenwichtscondities uit zou kunnen kristalliseren. Het DOH computerprogramma [1] bepaalt iteratief de TACC-waarde. Om de optimale condities van een reactor goed te kunnen definiëren, wordt de TACC van het effluent in een diagram



Afb. 6 - TACC-TH diagram.



Afb. 7 - Troebelheid (in FTU)-TH (in mmol/l) diagram. a) substraat: kwartszand, temperatuur: 20° b) substraat: granaat, temperatuur: 20°C

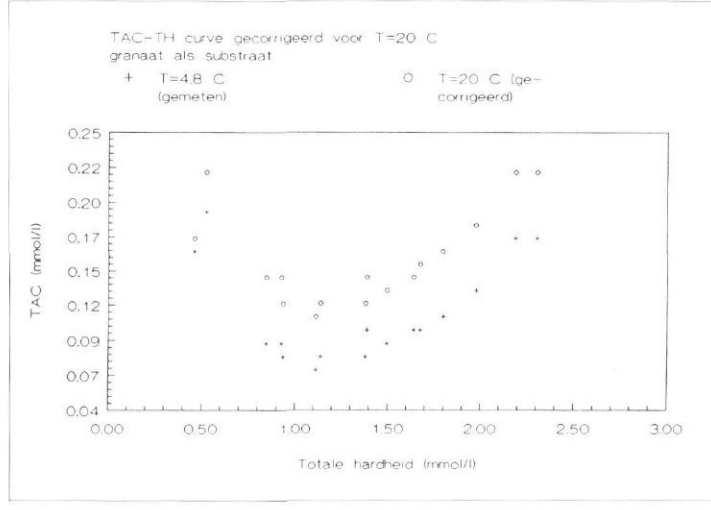
uitgezet tegen de totale hardheid (TH) van het effluent. In afbeelding 6 is de relatie weergegeven tussen de TACC en TH van het effluent voor reactoren met een gefluïdiseerd bed van kwarts of granaat onder zomerse condities. Langs de horizontale as is de TH van het effluent van een hardheidsreductor uitgezet. Een toenemende loogtoevoer komt overeen met een afnemende hardheid van het effluent. De TACC-TH-curves vertoont één minimum. Het minimum vertegenwoordigt de optimale omstandigheden voor het ontharden van drinkwater. Door het sturen van de loogtoevoer kan zich de minimale TACC-waarde voor het effluent instellen.
Uitgaande van ruw water met een bepaalde TACC, zal bij een beginnende loogdosering in eerste instantie een TACC stijging van het effluent plaatsvinden. Dit kan het gevolg zijn van het feit dat eerst een activeringsenergie voor de kiemvorming moet worden overwonnen.
Na deze loogdosering blijkt de TACC-waarde van het effluent niet verder meer toe te nemen, maar een te verwachten daling te vertonen.
Deze daling zet zich door totdat een minimum wordt bereikt, waarna een opmerkelijke stijging van de TACC plaatsvindt.
Een mogelijke verklaring voor de stijging in de curve kan zijn dat hier een oppervlaktebepalend proces een rol speelt.
Gedacht kan worden aan:
- kristallisatie van andere $CaCO_3$ modificaties (aragoniet, ikaiet, vateriet)
- diffusie/concentratie effecten
- vorming en weer verwijdering van de watermantel om Ca^{2+}-ionen.

De stijging van de TACC na het minimum kan ook als volgt verklaard worden. Het effectief beschikbare oppervlak van het entmateriaal is niet groot genoeg meer om plaats te bieden aan de totale uitkristallisatie van calciet uit de oververzadigde waterfase. Met als gevolg, dat spontane, wellicht homogene, nucleatie van secundaire calcietkiemen kan optreden. Deze kiemen kunnen uitgroeien tot zeer kleine kristallen ('micro-kristallen' [7]), waarvan de aanwezigheid slechts door de door hen veroorzaakte troebeling van het effluent kan worden vastgesteld (afb. 7a en b). Een deel van deze kleine kristallen in het effluent zal door de titrimetrische bepaling van het m-getal mede bijdragen aan de bepaling van de TACC-waarde. Hoewel de calciet al is uitgekristalliseerd, zullen deze fijne deeltjes opnieuw door het aanzuren tijdens de analyse worden opgelost en tot de afzetbare calciumcarbonaat worden gerekend.

Onze waarnemingen laten zien, dat het effluent van de reactor met het gefluïdiseerde bed van granaatenten de laagste TACC-waarden bereikt. Het effluent uit een reactor met een gefluïdiseerd bed van calciet heeft hogere TACC-waarden. Hierdoor heeft de laatste reactor minder gunstige onthardingseigenschappen dan de reactor geladen met granaatenten. De reactor met een gefluïdiseerd bed van kwartszand heeft echter nog hogere waarden voor de TACC dan die met calciet als entmateriaal. De verschillen tussen de reactoren zijn kleiner in de winter dan in de zomer. De lagere oplosbaarheid van calciet bij hogere temperaturen zorgt ervoor, dat de TACC-waarden hoger zijn tijdens de zomer dan tijdens de winter. Dit kan worden aangetoond door eerst metingen die in de winter bij een watertemperatuur van 4,8 °C zijn verricht om te rekenen tot TH-TACC-waarden (+ in afb. 8). Dezelfde metingen worden vervolgens gebruikt in combinatie met een veronderstelde zomertemperatuur van 20 °C. De met deze gegevens berekende TACC-TH-waarden zijn eveneens in afbeelding 8 opgenomen (△). Hieruit valt nu duidelijk te zien dat het optimale minimum voor deze theoretische zomerwaarden bij hogere TACC-waarden ligt.

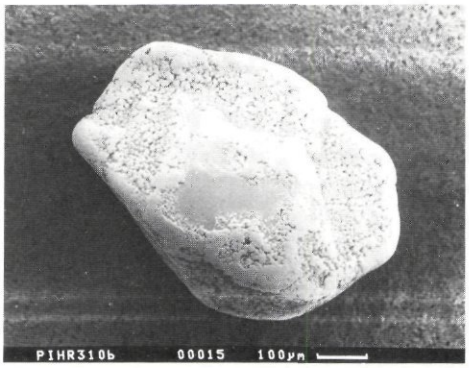
Het kristallisatie mechanisme

Het onthardingsproces van drinkwater is in wezen een kristallisatieproces, dat niet



Afb. 8 - In dit TACC-TH diagram voor een met granaat gevulde reactor geven de + symbolen de waarden aan gebaseerd op metingen in de winter (watertemperatuur: 4,8°C). De o symbolen laten de uitkomsten zien van de berekeningen met dezelfde metingen, maar dan met een theoretische watertemperatuur van 20°C.

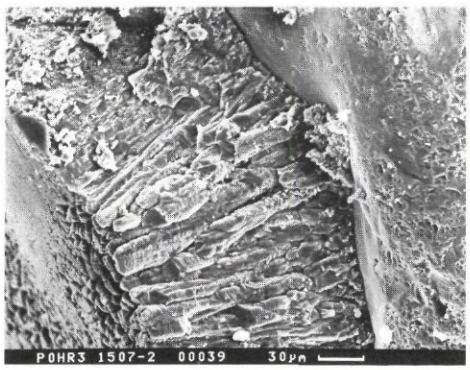
alleen afhangt van de temperatuur en de relatieve oververzadiging in het systeem $CaCO_3$ - HCO_3^- - CO_2, maar ook van de aard van het entmateriaal.
Uit het polarisatiemicroscopisch onderzoek blijkt dat de granaatenten een hoekige vorm hebben met vele komvormige holten (afb. 9).



Afb. 9 - De eerste aangroei van calciet op een granaatent.

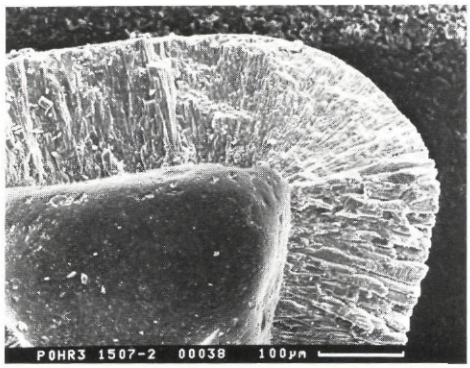
Hierin vindt de eerste aangroei van calcietkristallen plaats. Zij zijn willekeurig georiënteerd en relatief groot en helder in vergelijking met de latere aangroei van calciet op convexe oppervlakken van de granaatent. Een klein percentage van de in de concave depressies gevormde kristallen zijn zodanig georiënteerd dat hun naaldrichting loodrecht op het oppervlak staat.

Alleen deze kristallen kunnen als naalden ongestoord uitgroeien. In alle andere oriëntaties komen zij vroeg of laat in contact met een van de naburige wel gunstig georiënteerde kristallen en zullen zij niet verder kunnen uitgroeien. Een dergelijk selectieproces wordt in de Duitse mineralogische literatuur 'Auslese' genoemd (afb. 10).



Afb. 10 - Groei van calcietnaalden in een depressie op het granaatoppervlak. Alleen de naalden loodrecht op het oppervlak groeien uit.

Als de aangroei tijdelijk stopt, doordat de korrel in een zone verblijft met een relatief lage oververzadiging, vormen zich op het korreloppervlak opeenhopingen van Mn-houdende verbindingen of andere verontreinigingen. Bij hernieuwde aangroei worden deze verontreinigingen ingesloten en tezamen met eventuele vloeistofinsluitsels vormen zij dan de duidelijk zichtbare, gekleurde concentrische ringen in de korrels.



Afb. 11 - Groei van concentrische lagen van calciet rond een ent.

De kristallisatie op de calciet-ent, bestaande uit de gebroken onthardingskorrels, kan naar de aard van het oppervlak worden ingedeeld. Er bestaan twee verschillende oppervlakken, het ene is het voormalige oppervlak van de onthardingskorrel, en het andere een onregelmatig oppervlak gevormd door het breken van de korrel. De aangroei op het ongebroken gladde oppervlak, dat wordt gevormd door de punten van de calcietnaalden, is niets anders dan de voortzetting van de aangroei van de korrel na een periode van stilstand. De groei op de gebroken oppervlakken moet voorafgegaan worden door kiemvorming op de zijkanten van de naaldvormige calcietkristallen. De groei op het gebroken oppervlak verloopt ongeveer 30% langzamer dan die op het gladde oppervlak. De aangroei op het gebroken oppervlak onderscheidt zich eigenlijk niet veel van die op een ondergrond van kwartszand of granaat.

De afgeronde kwartszandkorrels hebben veel minder concave depressies dan de granaatenten. De kiemvorming en eerste aangroei zal door dit lage aantal depressies minder gemakkelijk verlopen. De traagheid van kiemvorming op de kwartszandenten wordt mede bevestigd door de hoge troebelheids- en TACC-waarden van het effluent, vooral tijdens de opstartfase van het onthardingsproces (afb. 7a en b).

Conclusies

De beheersing van het kiemvormingsproces speelt een grote rol bij het bedrijven van de ontharding in een korrelreactor. Bij een optimale ontharding vindt de kiemvorming altijd op het entmateriaal plaats. Tijdens het opstarten van de proefreactoren was dit alleen het geval in de met calciet als entmateriaal geladen reactoren. In deze reactoren behoeft immers geen nucleatie plaats te vinden, aangezien de kristallisatie direct op het ongebroken oppervlak van de onthardingskorrels wordt voortgezet. De in de praktijk vaak waargenomen troebeling in een met calcietenten geladen reactor moet dan ook te wijten zijn aan het bijna onvermijdelijke calcietstof, dat calcietkristallen altijd aankleeft. In onze experimenten hadden wij hier geen last van, daar immers de gebroken onthardingskorrels eerst gedurende 24 uur waren gespoeld.

Vooral in de met gebroken calciet- en met kwartszand-enten werkende reactor trad gedurende de eerste 24 uur na de opstart troebeling van het effluent op. De gedachte, dat gebroken onthardingskorrels uiterst geschikt zouden zijn als entmateriaal, geldt alleen voor hun ongebroken oppervlakken. In dat geval behoeft er geen kiemvorming plaats te vinden. De aangroei op de gebroken oppervlakken verschilt niet van die op granaat of kwartszand. De lage troebelheidswaarden wijzen erop, dat de kristallisatiesnelheid van calciet op de enten hoog is. De TACC-waarden van het effluent zijn echter nog steeds hoger dan die uit een reactor met granaatenten.

De TACC- en troebelheidswaarden van de reactor met een gefluïdiseerd bed van kwartszand zijn nog hoger dan die met een granaatbed. Wel is kwartszand gemakkelijk te krijgen en goedkoop. Het wordt dan ook in het merendeel van de Nederlandse industriële reactoren gebruikt.

De korrelreactor gevuld met een gefluïdiseerd bed van granaat heeft de beste eigenschappen voor het onthardingsproces. Granaat heeft een hoge soortelijke massa, waardoor de in de reactor gebruikte granaatenten een kleinere diameter kunnen hebben dan de kwartszand- en calcietenten. Met andere woorden, het specifieke oppervlak geschikt voor de aangroei met calciet ligt in een met granaatenten geladen reactor veel hoger. Nucleatie van calciet wordt op het oppervlak van granaat bevorderd door zijn onregelmatig gevormd oppervlak. De eerste ongeoriënteerde kristallen groeien in de concave depressies op het oppervlak van de granaatkorrels. Daarna kristalliseert de calciet in de vorm van naaldvormige kristallen uit, waarbij slechts de toevallig loodrecht op het oppervlak

genucleëerde kristallen verder kunnen uitgroeien. Net als bij de andere soorten van entmateriaal ontstaat hierdoor uiteindelijk een concentrische gelaagdheid van calciet rondom de granaatkorrel. Een belangrijke conclusie van onze studie is, dat niet zo zeer de chemische samenstelling of de atomaire oppervlaktestructuur van het entmateriaal belangrijk zijn voor een optimaal onthardingsproces. Het is veeleer een samengaan van een groot specifiek oppervlak met een hoge graad van onregelmatig gevormd (ruw) oppervlak. Deze combinatie van factoren wordt in hoge mate door de granaatenten bereikt.

Om het onthardingsproces verder te kunnen optimaliseren is de kennis van het kiemvormings- en kristallisatieproces van $CaCO_3$ van groot belang. Het moet bovenal voorkomen worden, dat de calciet anders dan op het entmateriaal wordt afgezet. In dat geval zal het drinkwater troebel kunnen worden en is het niet uitgesloten dat in het leidingnet of bij de consument kalkafzetting zal optreden.

Literatuur

1. Kostense, A. (1998). *Ontharding in korrelreactoren.* KIWA Mededeling 102.
2. Dirken, P. J. (1990). *Onderzoek naar kristalgroei tijdens ontharding in een korrelreactor. Afstudeerverslag Kristallografie.* Instituut voor Aardwetenschappen Utrecht, Vakgroep Geochemie, Sectie Kristallografie.
3. Dirken, P. J., Baars, E. T., Graveland, A. and Woensdregt, C. F. (1990). *On the crystallization of calcite ($CaCO_3$) during the softening process of drinking water in a pellet reactor with fluidized beds of quartz, garnet and calcite seeds in: 11th Symposium on Industrial Crystallization:* Ed. A. Mersmann., Garmisch Partenkirchen, 95-100.
4. Graveland, A., Dijk, J. C. van, Moel, P. J. de; and Oomen, J. H. C. M. (1983). *Developments in water softening by means of pellet reactors. J. Amer.* Water Works Ass., 75, 619-625.
5. Prinsen Geerligs, W. L. (1987). *De onthardingsinstallaties van Gemeentewaterleidingen te Leiduin en Weesperkarspel.* H_2O, 295-300.
6. Ammers, M. van, Dijk, J. C. van, Graveland, A. and Nuhn, P. A. N. M. (1986). *State of the art of pellet softening in the Netherlands.* Wat. Supply, 4,223-235.
7. Graveland, A. (1987). *Amsterdam, van hard naar zacht water.* H_2O, 290-294.
8. Boom, A. M. M. van den, Woensdregt, C. F. en Hartman, P. (1985). *Vorming van calciet ($CaCO_3$) tijdens de ontharding van drinkwater in een korrelreactor: een kristallografische analyse.* Intern rapport in opdracht van BV Nekami te Gouda, Instituut voor Aardwetenschappen Utrecht.

• • •

Nieuws van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne

Symposium RIVM

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) organiseert een symposium 'Parasitaire protozoa in water'. Het symposium vindt plaats op 5 september 1995 bij het RIVM, Zaal T, Bilthoven.
Nadere inlichtingen: RIVM/LWL (Postbak 63), mevrouw I. van Harten, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon 030-749111.

Wateropleidingen



Cursus Hydro-ecologische effectvoorspelling

In september start voor de tweede keer de cursus *Hydro-ecologische effectvoorspelling:* probleemanalyse, effectvoorspellingsmethoden, beheers-/inrichtingsmaatregelen. Aan de eerste cursus, die in februari van dit jaar werd gehouden, deden 30 deelnemers mee. Zij waren afkomstig uit onder meer de waterleidingbedrijven, waterschappen, provincies, gemeenten en ingenieursbureaus. Tien geïnteresseerden konden helaas niet aan de cursus deelnemen vanwege de enorme belangstelling. Besloten is de cursus voor de tweede keer te organiseren. Wederom in Nieuwegein.

Hydro-ecologisch beheer
Door waterleidingbedrijven, waterschappen, boeren en natuurbeheerders wordt ingegrepen in de waterhuishouding. Dat heeft de nodige effecten. In bepaalde gevallen verdroging. De verdrogingsproblematiek noopt tot het vastleggen van hydro-ecologische relaties en vraagt om effectvoorspelling ten behoeve van natuurbehoud, -herstel en -ontwikkeling. Met behulp van effectvoorspelling kan maatwerk worden geleverd op het gebied van anti-verdrogingsmaatregelen, die leiden tot een optimaal hydrologisch en ecologisch beheer van natuurterreinen.

Waarom een cursus
Om waterbeheer, natuurbeheer, -herstel en -ontwikkeling een zinvolle inhoud te geven is gedegen kennis nodig van de hydrochemie, hydrologie, bodemkunde en ecologie. Deze vakgebieden vormen dan ook het uitgangspunt van de cursus Hydro-ecologische effectvoorspelling. Vervolgens wordt onder meer ingegaan op de hydro-chemische processen, de transportmodellen, de stroombanen, het gedrag van nutriënten, de vegetatiekunde en de indicatorsoorten. Deze kennis wordt geïntegreerd in de hydro-ecologische effectvoorspelling en de mogelijk te nemen beheers- en inrichtingsmaatregelen. Om de vertaling te maken van de theorie die in de cursus wordt aangeboden naar de praktijk wordt in de diverse workshops onder meer geoefend met de interpretatie van vegetatiegegevens, het uitvoeren van een systeemanalyse, het maken van een reconstructie van de vroegere situatie en het uitvoeren en beoordelen van een hydro-ecologische effectvoorspelling.

Voor wie is de cursus belangrijk?
De cursus is bedoeld voor een ieder die in aanraking komt met de raakvlakken van hydrologie en ecologie in het kader van bijvoorbeeld MER-studies, terreinbeheer, verdrogingsstudies, natuurbeheer, -ontwikkeling en waterkwaliteits- en kwantiteitsbeheer. Te denken valt aan (geo)hydrologen, milieukundigen en ecologen.

Docenten
De cursus wordt gegeven door specialisten werkzaam bij Kiwa NV Onderzoek en Advies, Staatsbosbeheer en NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. De cursusleiding is in handen van drs. A. J. M. Jansen, senior ecoloog bij Kiwa NV Onderzoek en Advies.

Informatie
Nadere informatie over de cursusinhoud, kosten en aanmeldingsprocedure is te verkrijgen bij Geoplan, Karin van der Wel, telefoon 020-6716121 of Wateropleidingen, Willy van Middelaar, telefoon 030-984781.

Nederlandse Vereniging voor Waterbeheer NVA

RIONED en NVA roepen kandidaten op voor rioleringsprijs 1995

Stichting RIONED en de Nederlandse Vereniging voor Waterbeheer NVA roepen riolerend Nederland op kandidaten voor te dragen voor toekenning van de RIONED/NVA