

KWR 08.017
April 2008

Tips voor het ontwerpen en verbeteren van korrelreactoren

Aangepaste versie 2008

KWR 08.017
April 2008

Tips voor het ontwerpen en verbeteren van korrelreactoren

Aangepaste versie 2008

© 2008 Kiwa Water Research
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Kiwa Water Research
Groningehaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel. 030 606 95 11
Fax 030 606 11 65
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Tips voor het ontwerpen en verbeteren van korrelreactoren

Projectnummer

A307628

Projectmanager

Anneke Abrahamse

Opdrachtgever

Contactgroep Ontharding

Kwaliteitsborger(s)

Contactgroep Ontharding

Auteur(s)

Gert Reijnen, Wolter Siegers

Verzonden aan

Contactgroep Ontharding

DHV, Haskoning, Witteveen en Bos, Grontmij

Dit rapport is openbaar en wordt op verzoek toegezonden, ook aan adviesbureaus en bedrijven. Het is een 'groei-document', dat wordt aangepast en aangevuld met nieuwe ervaringen.

Voor u ligt de herziene versie van 2008. Om de inhoud beter te omschrijven is de titel aangepast door het verbeteren van korrelreactoren ook te vermelden.

De eerste versie uit 2003 was getiteld: "Ontwerptips voor ontharden in korelreactoren". De eindredactie werd in 2003 verzorgd door Henk Brink en Gert Reijnen.

Inhoud

	Inhoud	2
1	Inleiding	4
1.1	Opmerkingen bij versie 2008	4
1.2	Lever een bijdrage	4
1.3	Opbouw van de checklist	4
1.4	De Contactgroep Ontharding	5
2	Chemicaliekeuze	6
2.1	Chemische reacties	6
2.2	Chemicalie keuze	6
2.3	Voor- en nadelen kalkmelk	8
2.4	Voor en nadelen natronloog	8
3	Kalkmelk	10
4	Natronloog	14
5	Reactorontwerp	16
5.1	Cylindrische reactor	16
5.2	Tangentiele invoer reactor	17
5.3	Diffusor reactor of spiractor	18
5.4	Tips voor alle typen reactoren	18
6	Entzand toevoer, aftap, opslag en afvoer van korrels	22
6.1	Entzand: opslag, dosering, spoeling en desinfectie	22
6.2	Nat transport entzand en korrels	23
6.3	Korrelbunkers	24
7	pH correctie, vlokmiddel dosering en nafiltratie	26
8	Procesregeling	30
9	Hygiëne en beveiliging	32
10	Literatuur	34

1 Inleiding

Kiwa rapport KWR 02.087 “Overzicht van de korrelreactoren in Nederland” bevat relevante gegevens van alle installaties in Nederland. Het is een veel geraadpleegd overzicht om te zien “hoe anderen het hebben aangepakt”.

Opvallend is het grote aantal mogelijkheden voor het inrichten van korrelreactoren. Daardoor ontstaat de vraag: “Wat werkt goed, minder goed of niet?”

Om ontwerpers te ondersteunen heeft de Contactgroep Ontharding in 2003 het rapport “Ontwerptips voor ontharden in korrelreactoren” geschreven (Kiwa KWR 03.073), met de kennis en ervaring van de leden.

In 2007 is door de Contactgroep een brainstorm gehouden als basis voor een aangepaste tweede versie. De wenselijkheid van aanpassingen door voortschrijdend inzicht was al voorzien in de eerste versie.

1.1 Opmerkingen bij versie 2008

- Eigen deskundigheid van waterbedrijven is een vereiste voor het realiseren van een goede functionerende onthardings installatie;
- Er is een nuancering aangebracht. Voor een aantal aspecten is aangegeven wat men het beste kan doen of niet doen;
- Waar mogelijk is aangegeven welke aspecten belangrijk zijn voor een bepaalde keuze (slijtage, snel mengen, korrel erosie etc.);
- Bij bezoek aan installaties, in aanwezigheid van ontwerpers en bedrijfsvoerders, blijkt (uiteraard!) dat er persoonlijke voorkeuren zijn. In voorliggend rapport is geprobeerd deze te vertalen naar objectieve adviezen¹.
- Omdat in Nederland het verbeteren en renoveren van installaties belangrijk is, is verbeteren toegevoegd aan de titel. Wij hopen dat het rapport ook daarvoor bruikbaar zal zijn.

1.2 Lever een bijdrage

Verder wordt iedereen aangemoedigd om een bijdrage te leveren aan de verdere verbetering van de check list, door aanvullingen of reacties te melden bij Wolter Siegers, secretaris van de Contactgroep Ontharding.

1.3 Opbouw van de checklist

Per thema, bijvoorbeeld ‘kalkmelk’ of ‘entzandtoevoer, korrelaftap,- opslag en afvoer’, wordt een opsomming gegeven van ontwerp-tips. Deze tips worden

¹ Als voorbeeld het volgende: transport van entzand en korrels door HDPE of RVS leidingen kan vele jaren zonder vervangen van leidingen, mits de transportsnelheid laag is. Bij hoge snelheden kan vervangen van onderdelen na één of enkele jaren al nodig zijn.

zoveel mogelijk toegelicht. In voorliggende versie zijn waar mogelijk voor- en nadelen van mogelijkheden genoemd, om ontwerpers te ondersteunen bij hun keuzen

1.4 De Contactgroep Ontharding

De deelnemers aan de Contactgroep Ontharden hebben de kennis geleverd en gezamenlijk gewogen. De samenstelling van de Contactgroep verandert in de loop van de jaren. In 2007 bestond de Contactgroep Ontharding uit de volgende deelnemers:

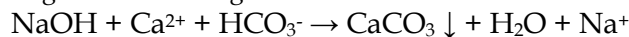
Jan Bahlman	Evides
Jantinus Bruins	WLN
Rolf Cuijpers	WML
William de Goey	Waternet
Jan Hofman	Kiwa WR
Jos Hooft	Waternet
Koen Huysman	Pidpa
Joost Kappelhof	Kiwa WR
Leo Keltjens	WLZ
Eric Kokshoorn	DZH
Ruud Kolpa	Oasen
Onno Kramer	Waternet
Monique Lampe	PWN
Math Meuleners	WML
Wim Oorthuizen	DZH
Gert Reijnen	WML
Harry Scheerman	PWN
Frank Schoonenberg	Vitens
Wolter Siegers	Kiwa WR, secretaris
Clemy van der Steen	DZH
Karin Stemgee	VMW
Jo Thomma	WML
Stephan van de Wetering	Brabant Water
Gerrit Jan Zweere	Vitens Midden Nederland

2 Chemicaliekeuze

2.1 Chemische reacties

Chemische ontharding vindt plaats door de pH van het water sterk te verhogen door het doseren van natronloog (NaOH) of kalkmelk (Ca(OH)₂). De hoge pH leidt tot oververzadiging van kalksteen (CaCO₃)² in het water. In een korrelreactor wordt het grootste deel van deze kalksteen afgezet op de zwevende korrels.

Ontharding met natronloog



- De concentraties calcium en waterstof carbonaat nemen in gelijke (molaire) verhouding af
- De hoeveelheid afgezette kalksteen is in molaire verhouding gelijk aan de afname van calcium
- De gedoseerde 25% oplossing van natronloog levert zeer snel een pH verhoging, waardoor de ontharding voor een groot deel onderin de reactor plaatsvindt.

Ontharding met kalkmelk



- De concentraties calcium en waterstofcarbonaat nemen af in de molaire verhouding 1 : 2;
- Omdat het toegevoegde calcium ook moet worden verwijderd, worden tweemaal zoveel calciumcarbonaat/kalksteen gevormd als met natronloog.

Strippen CO₂

Wanneer het te ontharden water nog CO₂ bevat, reageert dat eerst met de natronloog of de kalkmelk onder vorming van waterstofcarbonaat en calcium (alleen bij kalkmelk). Dat verhoogt de te doseren hoeveelheid en verandert de watersamenstelling ongunstig. Zeker bij hogere concentraties CO₂ is het gunstig eerst het CO₂ fysisch te verwijderen door een ontgassing met een beluchtings en ontgassings toren (BOT) of door versproeiing.

2.2 Chemicalie keuze

De ruwwater samenstelling en de gewenste reinwater samenstelling bepalen of NaOH dan wel Ca(OH)₂ chemisch geschikt is. Berekend kan ook worden welk verschil CO₂ verwijdering door ontgassen oplevert. Het reken

² De naam kalk wordt zowel voor gebrande gebluste kalk(Ca(OH)₂) als voor niet behandelde kalk (CaCO₃) gebruikt. Dat is verwarrend. Voor calcium carbonaat wordt ook wel het woord kalksteen (Engels limestone) en ketelsteen gebruikt.

programma Aquacalc maakt dit eenvoudig mogelijk. Lees eventueel Kiwa mededeling 102 "Ontharden in korrelreactoren" voor de selectie criteria.

- 1) De gewenste waarden voor de hardheid, de concentratie waterstof carbonaat en de pH na ontharding hangen samen met de kalkafzettende en metaaloplossende eigenschappen van het water. Het is aan te bevelen die eigenschappen proefondervindelijk vast te stellen. Met name het koper oplossend vermogen, bepaald met de koperen buizen proef, wijkt meestal sterk (en vaak naar beneden) af van de rekenwaarden van Aquacalc³. De meetwaarden van de random daytime monsters (RDT) aan de tap zijn meestal significant lager dan die van de koperen buizen proef. Hoewel de normwaarde is verlaagd van 3 mg/l (na 16 uren in een koperen buis) naar 2 mg/l (uit de tap (RDT)), voldoet het drinkwater van een groter aantal pompstations aan de nieuwe norm.
- 2) De kookproef waarde voor het meten van de werkelijke mate van kalkafzetting bij verwarmen ($PACC_K$) kan sterk afwijken van de berekende theoretische waarde ($TACC_{90}$), van de helft tot 1,5 maal zo hoog:
 - De $TACC_{90}$ is gebaseerd op een thermodynamisch gesloten systeem terwijl de $PACC_K$ een open systeem betreft;
 - Verondersteld wordt dat verlaging van de $PACC_K$ op kan treden door de inhiberende werking van organische stoffen en fosfaat;
 - Zeker is dat verhoging van de $PACC_K$ kan optreden door carry over⁴;
 - Verhoging t.o.v. een gesloten systeem kan ook optreden door ontwijken van CO_2 naar de lucht.
- 3) *Tip:* Verlaag met beluchten de concentratie CO_2 van het te ontharden water. Daarmee wordt de dosering van de onthardings chemicalie verminderd en wordt toename van het HCO_3 gehalte door de reactie van CO_2 met natronloog of kalkmelk voorkomen. Bereken met Aquacalc of dit "lonend" is (kosten baten analyse).
Doen: Gebruik CO_2 gehalten van een titratie ter plaatse, met gebruik van een enzym⁵. De REWAB analyses betreffen berekende CO_2 concentraties.
- 4) Wanneer natronloog en kalkmelk beiden chemisch geschikt zijn, kies dan op basis van de voor- en nadelen van beide chemicaliën.

³ Een oorzaak is dat de dataset die destijds werd gebruikt voor het bepalen van de formule voor het koper oplossend vermogen niet meer representatief is voor de huidige situatie, waarin ca 40% van het Nederlandse water wordt onthard. Uiteraard spelen ook onbekende invloeden een rol.

⁴ In de praktijk is op meerdere locaties gemeten dat na ontharden de $PACC_K$ waarde niet lager werd.

⁵ De meetonzekerheid bij de pH-bepaling bedraagt 0,2 eenheden. De daardoor ontstane afwijking in de berekende CO_2 concentratie kan aanzienlijk zijn (praktijk voorbeeld: berekend 30, getitreerd 40 mg/l). Het is beter het CO_2 te meten met titratie onder toevoeging van een enzym, in plaats van te berekenen.

2.3 Voor- en nadelen kalkmelk

Voordelen kalkmelk:

- Goedkoper dan natronloog;
- Het HCO_3 gehalte neemt twee maal zoveel af als met een gelijke hardheidsverlaging met natronloog;
- Het laagste koper oplossend vermogen is daarmee te realiseren, omdat de evenwichts pH hoger ligt door de lagere HCO_3 concentratie. Dat maakt distribueren met een hogere pH mogelijk, en dat is gunstig voor een laag koper oplossend vermogen.
- De gevormde carry over is doorgaans goed te filtreren zonder dosering van ijzerchloride.

Nadelen kalkmelk:

- Het blussen (bij gebruik CaO), oplossen en verdunnen is storingsgevoelig en vergt veel preventief onderhoud;
- De vrij grote hoeveelheid carry over verhoogt het zuurverbruik. Oorzaak is dat een deel van de carry over oplost bij het aanzuren na de ontharding;
- Tweemaal zoveel gevormd calciumcarbonaat als met natronloog, omdat het toegevoegde calcium moet worden verwijderd, samen met het in het water reeds aanwezige calcium.
- Hogere reactoren met een dikker zwevend bed zijn nodig omdat het oplossen van de kalkmelk deeltjes snelheidsbeperkend is voor de ontharding.

2.4 Voor en nadelen natronloog

Voordelen natronloog:

- Lage gevoeligheid voor storingen: wordt vloeibaar geleverd als 50%-oplossing; verdunnen tot 25% en doseren is weinig gevoelig voor storingen;
- Lagere productie onthardingskorrels, omdat niet eerst Ca wordt toegevoegd, zoals bij ontharden met kalkmelk gebeurt.

Nadelen natronloog:

- Relatief duur;
- Kans op toename kostprijs door de trend dat het chloorverbruik afneemt. NaOH is een nevenproduct van chloorproductie;
- Slechtere score in een duurzaamheids rapportage volgens het "Global Reporting Initiative" (GRI)
- Concentratie natrium neemt toe in drink- en afvalwater:
 - Door de hoge normwaarde voor natrium (150 mg/l) is dat wettelijk meestal geen probleem;

- Toegevoegd natrium levert wel een ongewenste extra belasting van het oppervlaktewater⁶;
- Voor tuinders is een hoge natrium concentratie nadelig, mede door concentreren als gevolg van het verplichte hergebruik van gietwater in kassen.
- Er wordt zeer fijne carry over gevormd (< 0,05 µm)⁷:
 - Zonder dosering van ijzerchloride is deze niet te verwijderen met nafilts;
 - Ze verhogen de kookproef waarde PACC_k door het versnellen van de kalkafzetting bij verwarmen;
 - Ook bij lage waarden voor de troebelheid kan de PACC-k waarde aanzienlijk hoger zijn dan de TACC90. Een mogelijke oorzaak is dat de zeer kleine deeltjes minder bijdragen aan de meetwaarde van de troebelheid (ervaring De Beitel).

Voorbeeld: op 2 locaties wordt water met een nagenoeg gelijke samenstelling onthard. Op de ene met kalkmelk, de andere met natronloog. Met kalkmelk wordt onthard tot tH = 1,8 mmol/l om niet onder de aanbevolen HCO₃ concentratie van 2 mmol/l (122 mg/l) te komen. Met natronloog wordt onthard tot 1,5 mol/l. Het HCO₃ gehalte is echter 210-230 mg/l. Gevolg is dat zowel de TACC90 als de PACC-k waarde na natronloog ontharding veel hoger zijn.

De klant is hier het beste gediend met kalkmelk ontharding, blijkt uit klachten registratie. Publicitair is wel lastig uit te leggen dat iets harder water gunstig is voor de klant. Goede voorlichting is hier gewenst.

⁶ In een Maasmemorandum hebben deelnemende partijen verklaard te streven naar Na concentratie < 40 mg/l)

⁷ De hoeveelheid carry over is te verminderen door procesinstellingen te gebruiken waarbij het natronloog maximaal wordt benut voor hardheidsverlaging (hoog kalkrendement)

3 Kalkmelk

Kalkmelk is een suspensie van gebrande en gebluste kalk in water. Door het op hoge temperatuur verwarmen van kalksteen (CaCO_3) wordt CaO gevormd. Dit materiaal is zeer hygroscopisch. Om kalkmelk te kunnen maken moet het eerst reageren met water tot Ca(OH)_2 . Dat wordt blussen genoemd, door de grote hoeveelheid warmte die hierbij vrijkomt. Tot enkele jaren geleden werd de gebluste kalk verdund met water tot een suspensie van 1-4 %, voor het werd gedoseerd. Nu worden ook concentraties van 20 en 30% gedoseerd.

Gekozen kan worden uit het kopen van ongebluste kalk (CaO poeder), gebuste kalk (Ca(OH)_2 poeder) en aangemaakte kalkmelk 20 of 30%. N.B. Dosereren van volledig opgeloste kalkmelk (kalkwater) gebeurt niet, omdat de concentratie maximaal 0,1% is en er dan een zeer grote volumestroom moet worden gedoseerd.

- 1) *Doen:* Gebruik gebluste of ongebluste (CaO of Ca(OH)_2) met een hoog percentage calcium, zeer kleine deeltjes en een ATA.
 - Als kalk (relatief veel) zand bevat leidt dat tot extra slijtage van pompen, afsluiters en leidingen en tot meer storingen;
 - Fijne kalk lost sneller op waardoor de ontharding sneller verloopt en dus de onthardingsreactie verder afloopt in de reactoren. Het kalkrendement is hoger en de zuurdosering zal lager zijn;
 - Een ATA is wettelijk verplicht om te voorkomen dat voor de gezondheid ongewenste stoffen in een te hoge concentratie zijn toegevoegd voor het malen van de kalksteen en bij stabiele kalkmelk voor het stabiliseren⁸.

- 2) *Overwegen bij laag kalkmelk gebruik:* Gebruik bij een relatief laag kalkverbruik "hoog reactieve stabiele 20%" kant-en-klare kalkmelk⁹. Bij een hoger verbruik is op locatie aanmaken van gebluste kalk gunstig. Voor een zeer hoog verbruik is op locatie blussen en aanmaken vanuit ongebluste kalk aantrekkelijk. Houdt bij *eigen aanmaak* er rekening mee dat er tijd nodig is voor preventief onderhoud, bedrijfsvoering en het verhelpen van storingen. De kalk aanmaak installatie is zeer storingsgevoelig (zie punt 6).
 - Harde richtlijnen voor de kosten effectiviteit van ongebluste kalk, gebluste kalk en stabiele kalkmelk zijn niet beschikbaar;

⁸ Voor behandeling van afvalwater is bijvoorbeeld stabiele kalkmelk met een hoger percentage kalk beschikbaar, met emulgatoren om uitzakken te voorkomen.

⁹ 20% stabiele kalkmelk (praktijk ca 18-20 %) bestaat uit zeer kleine deeltjes en reageert daardoor snel. 30% stabiele kalkmelk bestaat uit grovere deeltjes, reageert daardoor minder snel en leidt tot meer carry over (factor 4 gemeten in praktijk). Bij een van de soorten stabiele kalkmelk 20% wordt vermoed dat bacteriegroei wordt bevorderd. De vermoedelijke oorzaak is het toevoegen van een polysaccharide voor het stabiliseren van de kalkmelk

- Een oorzaak is dat berekeningen aannamen vergen voor de onderhoudsinspanning, die weer afhankelijk is van de storingsgevoeligheid van de installatie;
 - De transportkosten voor stabiele kalkmelk zijn hoger bij grotere afstanden¹⁰;
 - Voordeel van CaO is dat de hoge temperatuur bij het blussen (70°C) een zeer goede dispersie van de kalkdeeltjes oplevert.
- 3) *Doen*: Gebruik bij het zelf aanmaken van kalkmelk *gedecarboniseerd* water. Dit is water waaruit het anorganisch koolstof (TAC: som van waterstofcarbonaat, carbonaat en koolstofdioxide) vergaand is verwijderd. De meest gebruikte bereidingswijze voor dit water is alle TAC omzetten in CO₂ door dosering van zoutzuur tot een pH van < 4, gevolgd door strippen van CO₂ door intensieve ontgassing met tegenstroom beluchting in een ontgassings toren (wordt ook wel BOT = beluchtungs- en ontgassings- toren genoemd).
- Dimensionering striptoren*
- Q water 80-100 (à 120 m/h);
 - Vulling Pall ringen PE 25 - 50 mm;
 - Verhouding afmeting pakking tot doorsnede toren < 1 : 20;
 - Pakking hoogte minimaal 3 meter (mits waterverdeling over pakking gelijkmatig is);
 - Lucht water verhouding 20 in tegenstroom.
- Niet doen*: Zwavelzuur gebruiken (H₂SO₄), want SO₄²⁻ regeert met Ca²⁺ tot het slecht oplosbare gips (CaSO₄). Dat is niet uit de apparatuur te verwijderen!
- 4) *Praktijk ervaring*: Bij gebruik van de *doseerster* wordt in de praktijk *verdunde* kalkmelk gedoseerd, in een concentratie in de range van 1 tot 4 gewicht %. Het verdunnen gebeurt met gedecarboniseerd water uit de striptoren. Bij een *tangentiele invoer* kan ook onverdunde stabiele kalkmelk (20%) worden gedoseerd, omdat er veel mengenergie beschikbaar is door de hoge watersnelheid in de invoerpot. Onderzoek met kookproeven moet nog uitwijzen of onverdunde kalkmelk niet leidt tot een hogere kalkafzettendheid bij verwarmen.
- 5) *Doen*: Plaats minimaal twee kalksilo's van elk 30 ton, en niet 1 van 60 ton. Daarmee is er tijd voor onderhoud en kwaliteitscontrole van het geleverde product, voor het wordt gebruikt¹¹.
- 6) *Beperk storings*: De kalkaanmaak installatie is het meest storingsgevoelige onderdeel van een onthardings installatie.

¹⁰ In Drenthe en Groningen gaat men een gezamenlijke locale aanmaakinstallatie gebruiken met een patent van de leverancier. Ook in Kooigem wordt een dergelijke installatie geplaatst.

¹¹ Te natte kalk kan grote problemen geven in de silo en in de droge onderdelen van de doseerinstallatie.

Aanbeveling: De aanmaak van kalkmelk kan het beste batch gewijs uitgevoerd worden. Dat geeft absolute controle over de verblijftijd, en daarmee over de kwaliteit van de kalkmelk. Verder biedt het de mogelijkheid de vervuilinggevoelige niveau sensoren bij elke batch automatisch schoon te spuiten.

Opmerking: De continue aanmaak installatie op PS IJzeren Kuilen werkt na optimalisering inmiddels ook goed. Doel van de continue aanmaak was het beperken van de omvang van de installatie vanwege een hoge water productie én een groot onthardings traject.

7) *Doen bij stabiele kalkmelk:*

- Pomp de kalkmelk rechtsreeks uit het voorraadvat naar de individuele reactoren;
- Gebruik een verdringerpomp (monopomp). Een slangenpomp werkt ook goed, maar vergt meer onderhoud (slangen vervangen);
- Een snelheid van 2 m/s in de doseerleiding werkt goed en geeft geen uitzakking van kalkdeeltjes;
- Pas een langzaam draaiend roerwerk toe in het voorraadvat, om uitzakken te voorkomen¹². Enkele minuten roeren per uur is genoeg. Constant roeren is minder gewenst omdat daardoor meer CO₂ uit de lucht oplost. Deze toename van anorganisch koolstof leidt tot kalkafzetting en een lagere kalkmelk concentratie;
- Maak leidingen die goed schoon te maken zijn (demontabel; het komt voor dat er een “worst van deeltjes” vast zit).

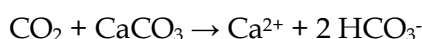
8) *Geen eerste keus bij stabiele kalkmelk*

- Pas bij voorkeur geen recirculatieleiding voor de stabiele kalkmelk toe;
 - Omdat stabiele kalkmelk voor kleine producties gunstig is, is de afstand van het voorraadvat naar de reactoren meestal kort en is daardoor recirculatie niet nodig;
 - Door de val in het voorraadvat van de terugstromende kalkmelk lost meer CO₂ op, waardoor CaCO₃ wordt gevormd. De concentratie van de kalkmelk neemt daardoor af. In de praktijk is gebleken dat de kalkmelk dosering na een week al 10% hoger moet worden ingesteld.

¹² Producenten stellen dat het uitzakken van 20% kalkmelk niet meer gebeurt en roerders niet nodig zijn. De praktijk moet uitwijzen of dat zo is.

4 Natronloog

Natronloog wordt vloeibaar geleverd als 50% oplossing. Om kristalliseren bij een temperatuur onder 12 °C te voorkomen, kan worden verwarmd of verdund tot 25% (kristallisatie bij -18 °C). Voor doseren wordt de vloeistof niet verder verdund. Gevolg is dat bij de doseerpunten plaatselijk hoge pH waarden voorkomen. Het niet volledig te voorkómen nadeel is dat daardoor spontane nucleatie optreedt, waardoor veel microkristallen ontstaan. Die zijn zeer klein (< 0,05 µm), kleiner dan bij kalkmelk, komen boven uit de reactor ("carry-over") en zijn niet zonder hulpmiddelen filtreerbaar. Ze verhogen de kookproef waarde (PACC_K) en reageren met gedoseerd zuur:



Gevolg: de concentraties Ca²⁺ en HCO₃⁻ nemen weer toe in de molaire verhouding 1 : 2 . De mate van kalkafzetting (PACC_K en TACC₉₀) wordt daardoor hoger.

1) Verdunnen

- *Doen:* Verdun natronloog op locatie van 50 naar 25% met *volledig onthard* water (via RO of ionenwisseling alle Ca én Mg verwijderen). Aanleveren van 50% is goedkoper en beperkt het aantal leveringen per vrachtauto tot de helft. Voordeel van verdunning van de natronloog tot 25% is dat de kristallisatietemperatuur daalt van +12 °C naar -18 °C.
- *Let op:* voeg natronloog toe aan water en dus niet andersom. Bij het verdunnen komt veel warmte vrij en kan de temperatuur oplopen tot boven 70°C.

2) Niet doen: Gebruik géén gedecarboniseerd water voor verdunning van natronloog. Dat heeft geen zin. In gedecarboniseerd water zit namelijk nog calcium, waardoor calciumhydroxide deeltjes ('kalkmelk') ontstaan.

3) Ontluchting:

- *Doen:* maak de ontluchting van de loogtanks groot genoeg. De luchtafvoer moet minimaal gelijk zijn aan de loog- en verdunningswater toevoer. Een indicatie voor de luchtsnelheid in de ontluchtungsleiding: 10 m/s is goed, boven 20 m/s is de drukval zo groot dat de ontluchting gaat fluiten.

4) Lekkage loogtank(s)

- *Doen:* Loogtanks moeten volgens de daarvoor geldende voorschriften worden opgesteld in een deugdelijke opvangbak met een inhoud van één loogtank vermeerderd met 10% van de opslagcapaciteit.

5) *Doen:* Plaats reserve loogpompen voor redundantie.

6) *Veiligheid:*

- *Doen:* De aanmaak- en doseerinstallatie van natronloog dient in een afgescheiden ruimte te zijn opgesteld.
- *Doen:* Scherm het doseerpaneel af met plexiglas.
- *Doen:* Plaats in de bedrijfsruimte oogdouche(s) en plensdouche(s). Markeer de plaats daarvan met een gekleurd licht.
- *Niet doen:* Risico op contact tussen natronloog en zuur door vulfouten of lekkage! Zet ze nooit in dezelfde lekbak.
Doen: Leg dubbelwandige loogleidingen met lekdetectie.

7) *Looglekkage koppelingen*

Loog komt gemakkelijk door koppelingen heen en kristalliseert aan de buitenkant ("zweten").

- *Doen:* pas zo weinig mogelijk koppelingen toe;
- *Aan te bevelen:* gebruik RVS en conische schroefdraad, verpakt met Loctite 577 of 5331;
- *Niet doen:* knelfittingen toepassen.

8) *Looglekkage leidingen*

- *Doen:* gebruik dubbelwandige leidingen;
- Plaats lekdetectie op de laagste plek;
- Leg een afvoerleiding voor lekkend natronloog naar de lekbak van de loogtank.

9) *Loogpompen:*

- *Voorkeur:* Plaats de natronloogpompen lager dan het laagste niveau dat in de voorraadtanks kan optreden, zodat luchtinsluiting in de zuigleiding van de pompen wordt voorkomen;
- Leg een afvoerleiding van de lekbak onder de doseerpompen naar de lekbak van de loogtanks.

5 Reactorontwerp

Een goed ontwerp van reactoren, met onderdelen waarvan bewezen is dat ze goed werken, levert lagere kosten op voor bediening, onderhoud en vervanging. Het valt op dat er zoveel verschillen zijn tussen installaties én persoonlijke voorkeuren. In voorliggend hoofdstuk is geprobeerd zo volledig mogelijk aan te geven en toe te lichten wat het doel is van een advies.

Er worden in nieuwe installaties drie hoofd typen reactor vormen toegepast, die onder specifieke voorwaarden goed functioneren.

5.1 Cilindrische reactor

Zie voor een afbeelding Kiwa mededeling 102 blz. 63-66

- Van onder af verticale reactorwand;
- Vlakke valse bodem met doppen voor de waterverdeling;
 - Apart ontwikkelde kunststof doppen die weinig gevoelig voor slijtage zijn, of filter spoeldoppen die gevoelig zijn voor slijtage (jaarlijks vervangen)
- Invoer kalkmelk of natronloog met:
 - Doseerlansen door de valse bodem of doseerdoppen op de valse bodem;
 - Een van boven af in te brengen doseerkruis;
 - Invoer van natronloog met een gecombineerde water/loog dop, gemonteerd op een dubbele valse bodem. Tussen de valse bodems bevindt zich natronloog. Vormgeving en positie van de water en loog toevoer gaten is vergaand ontwikkeld door GWA (nu Waternet).

Voordelen cilindrische reactor:

- Kenmerkend is een opwaartse waterstroom met weinig werveling;
- De ontharding verloopt grotendeels onderin de reactor;
- Een geringere beddikte (minimaal 4 meter) en bouwhoogte (minimaal ca 7 m) zijn mogelijk;
- Er vindt een goede stratificatie plaats, de onder uit de reactor afgevoerde korrels zijn daardoor de grootste uit het bed en verschillen onderling weinig in grootte (lage uniformiteits coefficient en dus hoge uniformiteit). Naar boven toe neemt de gemiddelde korrelgrootte af. Ook daar zijn de onderlinge verschillen in korrelgrootte relatief klein;
- Het aandeel van het entmateriaal in de (grote) afgelaten korrels is laag, hetgeen resulteert in een relatief laag entzand verbruik en een hoog percentage kalksteen in de korrels.
- *Let op:* bij lage aantallen loog-doseerpunten worden de voordelen van dit type reactor (voor een deel) teniet gedaan. Oorzaak is de minder gelijkmatige horizontale verdeling van natronloog over het oppervlak, waardoor plaatselijk de ontharding hoger in het bed

plaatsvindt en dus ook hoger in het bed korrels sneller aangroeien. De uniformiteit van de korrels neemt daardoor af.

Nadelen cilindrische reactor:

- Door veel minder turbulentie bij de water invoerdoppen, verloopt het mengen van kalkmelk of loog minder snel. Er is geen praktijk ervaring bekend, maar aangenomen wordt dat dit systeem niet geschikt is voor het doseren van onverdunde stabiele kalkmelk.

5.2 Tangentiele invoer reactor

Zie voor een afbeelding Kiwa mededeling 102 blz. 63

- Onderaan een smalle water en kalkmelk invoer- en mengpot met daarboven een conisch uitlopend gedeelte en daarboven een cilindrisch deel;
- Tangentiële invoer van water in de invoerpot, met in de invoerpot een geleideschot dat aan boven- en onderkant met een plaat is afgesloten;
- Het geleideschot heeft een welving en eindigt in een versmalling, waardoor de intredesnelheid van het water ca 3 m/s is.

Opmerking: het geleideschot heeft een welving, waardoor eerst de watersnelheid afneemt en vervolgens weer toeneemt tot voornoemde 3 m/s. De functie van de welving is niet bekend. Het systeem werkt, maar is nog niet hydraulisch doorgerekend met CFD.

- Toevoer van kalkmelk met doseerleiding in de invoerpot die de kalkmelk een stukje na de uitstroomopening van het water brengt;
 - De hoge watersnelheid levert een snelle menging op;
 - De afstand na de uitstroomopening maakt deze toegankelijk voor onderhoud én voorkomt kalkafzetting aan de buitenkant van de instroom opening door met neren terugstromende kalkmelk.
- Toegepast voor kalkmelk ("vroeger" ook voor natronloog).

Voordelen tangentiële invoer:

- Geringe gevoeligheid voor vervuiling waterinvoer en dus geschikt voor ijzerhoudend water;
- Hoge mengenergie beschikbaar, waardoor ook onverdunde stabiele kalkmelk kan worden gedoseerd. Daardoor ook geschikt voor ontharden anaeroob grondwater, omdat geen zuurstof houdend verdunningwater nodig is;
- Weinig tot geen kalkafzetting in de invoerpot en de conische verbreding (niet bekend is of dat komt door de Linatex of de stroomsnelheid).

Nadelen tangentiële invoer:

- Hogere mate van slijtage/erosie van korrels;
- Geen of slechte stratificatie, waardoor hoger gehalte entzand in de afgetapte korrels en een hoger verbruik van entmateriaal;
- Grotere bedhoogte (minimaal ca 6 m) en bouwhoogte (minimaal ca 10 m) nodig;
- Meer slijtage van de wand van de invoerpot en het conische gedeelte.

5.3 Diffusor reactor of spiractor

- Over de gehele hoogte neemt de doorsnede toe met een tophoek van 7° ¹³⁾
- Dosering natronloog met doseerlansen door de bodem of de wand

Voordelen spiractor:

- De korrels zweven dicht bij elkaar, waardoor het specifieke oppervlak groot is. Voor de ontharding is een relatief dun bed nodig (praktijk: op 2 locaties 4,5 m), waardoor de bouwhoogte het laagst is van de drie typen reactoren (Hengelo 7,8 m)

Nadelen spiractor:

- Korrelbed beheer kritischer door risico op stoorlagen in het zwevend bed.

5.4 Tips voor alle typen reactoren

1) Waterdoppen

- *Doen:* Waterdoppen moeten in een vlakke bodem een drukval van minimaal ca 1 mWk (10 kPa) hebben voor een goede waterverdeling. Deze waarde is ontleend aan dictaat snelfiltratie van prof. Huisman.
Noot: bij een zwevend bed (korrelreactor en een met expansie gespoeld filter) is een gelijkmatige waterverdeling belangrijker dan bij het spoelen van een filterbed zonder expansie. Daar dempt het vaste bed de snelheidverschillen van het water.
- *Doen:* *pas geen hoge drukval toe over de waterdoppen (zo weinig mogelijk hoger dan 1 mWk).* Bij toenemende drukval nemen de wervelingen bij de intrede van water toe, met als gevolg het schuren van korrels langs elkaar en slijtage (korrelerosie). De hoeveelheid carry over en de troebelheid nemen toe door deze "korrelerosie" (vastgesteld op PS de Beitel). Bij waterverdeling met spoeldoppen moeten deze jaarlijks vanwege de slijtage worden vervangen.
Test: als korrelerosie optreedt bij uitschakelen van de dosering van kalkmelk of natronloog, is de troebelheid van het reactoreffluent hoger dan van het influent.

2) Doseerlansen: Waterdoppen geven neren¹⁴, omdat het uitstromende water van opzij water aanzuigt. Als (koud-) kalkafzettend water wordt aangezogen, vervuilen de waterdoppen door kalkafzetting.

- *Doen:* zorg dat de doseernippels enkele decimeters boven de waterdoppen uit komen.
- *Doen:* maak verticale doseerlansen of een in hoogte verstelbare doseerster, zodat in de praktijk de goede hoogte kan worden bepaald en ingesteld.

¹³ Ook de naam spiractor wordt gebruikt. Dit type reactor is niet nieuw, maar wel vrij recent weer in Nederland "herontdekt". De tophoek van 7° is nodig om wervelingen aan de reactorwand te voorkomen.

¹⁴ Neren zijn circulatiestromen. De inkomende waterstraal trekt water van opzij aan. Dat wordt weer aangevuld door water van iets verder van de waterinvoer. Daardoor ontstaat een circulatiestroming zoals je die ziet bij kribben in een rivier.

- *Doen:* zorg bij doseerlansen die door de bodem worden gestoken voor voldoende ruimte onder de reactor voor het inbrengen van langere lansen;
 - *Doen:* maak de uitstroomopening zo klein dat er geen pellets in kunnen komen.
 - *Doen:* Maak doseer lansen demontabel tijdens bedrijf t.b.v. ontkalken. Werkbare oplossingen zijn beschikbaar (o.a. De Beitel).
- 3) *Doseerlansen voor diffusor reactoren:* Bij diffusor reactoren is de doorsnede onderin gering.
- *Tip:* steek de natronloog-doseerlansen horizontaal door de zijwand naar binnen, met behoud van een goede horizontale loog verdeling (Ervaring Eibergen). Nadeel van doseerlansen van onderen insteken is dat de lengte van de lansen wordt beperkt door de afstand tussen de vloer en de reactorbodem.
- 4) *Het doseren van kalkmelk met vlakke bodem:*
- Goed werkt een percentage van 1-4 % inbrengen met een doseerster; het aantal en de uitvoering wordt nog verder ontwikkeld (WML, IJzeren Kuilen).
 - *Aandachtspunt uitvoering:* voorkom verstopping met korrels tijdens stilstand.
 - *Belang aantal invoerpunten:* Het aantal doseerpunten beïnvloedt de aangroei van de korrels over de bedhoogte. Bij een lager aantal invoerpunten wordt de kalkmelk niet gelijkmatig toegevoerd over de doorsnede. Het gevolg is dat de ontharding plaatselijk tot een grotere hoogte in het zwevende bed verloopt. Dat geeft 2 effecten: (i) Er ontstaat een bed waarvan de korrels over de bedhoogte niet verschillen in grootte (ii) Het aflopen van de onthardingsreactie vergt een grotere bedhoogte. Als de bedhoogte onvoldoende is, meet men pH verschillen op verschillende plaatsen boven het bed, of varieert de pH in de afvoerleiding (ervaring WML IJzeren Kuilen bij 0,5 doseerpunten per m²).
- Huidige praktijk:* In Sint-Jansklooster werkt men met 3 doseerpunten (0,84 per m²), op PS. IJzeren Kuilen met 24 (4,2 per m²; lager aantal wordt getest).
- 5) *Doseren van kalkmelk met tangentiële invoer:*
- Tangentiële invoer: naast verdunde kan ook onverdunde stabiele kalkmelk 20-30% worden gedoseerd.
- Doen:* maak een tijdens productie demontabele doseerlans, die uitkomt in de zone met hoge watersnelheid net na de water uitstroom opening. De lans dient ter hoogte van het midden en de bovenrand van de uitstroomopening uit te komen en verstelbaar te zijn in diepte. Zo kan de optimale insteek diepte voor het mengen worden opgezocht en ingesteld.

Onzekerheid: kookproef metingen ($PACC_K$) laten relatief hoge waarden zien t.o.v. de berekende $TACC_{90}$ waarden¹⁵. Verondersteld wordt dat een relatief grote hoeveelheid carry over dit veroorzaakt. Niet bekend is of de hoeveelheid carry over het gevolg is van erosie van de korrels door de sterke werveling bij de waterinvoer, of door het doseren van stabiele kalkmelk. In de tweede helft van 2007 zal een enquête hierover mogelijk meer inzicht geven.

N.B.: ook zuurdosering na ontharding kan de $PACC_K$ waarde verlagen, door het oplossen van een deel van de carry over. Ook dit aspect wordt in de enquête meegenomen.

- 6) *Hoogte zwevend bed*: De hoogte die beschikbaar moet zijn voor het zwevend bed hangt af van:
- De maximale watersnelheid: hogere snelheid, dikker bed
 - Het onthardings traject: groter traject, dikker bed
 - Type waterinbreng:
 - Vlakke boden, lager bed; praktijk: minimaal 4 m;
 - Tangentiele invoer, dikker bed (turbulentie zet door tot grotere hoogte, stabiel bovenste zwevend deel is belangrijk voor voorkomen voorkeurstromen); praktijk: minimaal 6 m;
 - Conische reactor, dunner zwevend bed dan tangentielle reactor (de korrels zweven dicht op elkaar, waardoor het beschikbare korrel oppervlak per m^3 zwevend bed hoger is dan bij niet-conische reactoren; wervelingen zullen zeker onderin het bed optreden); praktijk: 4,5 m
 - Onthardings chemicalie:
 - Bij het gebruik van kalkmelk is een dikker zwevend bed nodig dan bij het gebruik van natronloog als onthardings chemicalie, als gevolg van het feit dat kalkmelk eerst moet oplossen voor het de pH verhoogt. Bij gebruik van natronloog is echter een goede snelle menging cruciaal voor een lager zwevend bed.
- 7) *Mangaten*: Zorg voor toegankelijkheid van de bodem, door toepassen van mangaten ($\geq DN 500$) juist onder en boven de bodem en een demontabele invoerpot.
- 8) *Mangatdeksels*:
- Monteer mangatdeksels met een scharnierconstructie t.b.v. handeling bij gebruik c.q. openen en sluiten van het mangat.
- 9) *Kijkglazen*:
- *Niet doen*: Neem geen kijkglazen op in de reactorwand, ter hoogte van het scheidingsvlak korrelbed-water. Door kalkafzetting zijn ze al snel

¹⁵ Op enkele locaties is door deze vorm van ontharden de kookproef waarde na ontharden gelijk gebleven aan de waarde voor ontharding. Op deze installaties wordt geen pH correctie met een zuur toegepast.

onbruikbaar en voor het meten van de bedhoogte zijn goed werkende spiegelbed meters beschikbaar.

10) *Aftappunt onthardingskorrels* onderin de bodem van de reactor.

- Bij tangentiële reactor midden onderin de bodem.
- Bij cilindrische- en diffusor reactoren: verdeeld over de bodem aantal (bijv. 4) aftappunten; e.e.a. afhankelijk van de diameter. Toelichting: Vooral bij een groter bodemoppervlak is 1 pellet aftappunt ongewenst, omdat langer uit één aftap pellets afvoeren leidt tot aantrekken van kleinere korrels van grotere hoogte uit het zwevend bed. Meer aftappunten geven de mogelijkheid uit elk punt kortere tijd af te tappen en dan over te schakelen naar een volgend aftappunt.

11) *Monsterneming korrels over bedhoogte*

- *Doen:* Gebruik een hevel voor monsterneming over de bedhoogte (voor bepalen korrelgrootte);
- *Niet doen:* monteer geen monsterkranen hiervoor.

12) *Bescherming reactorwand tegen slijtage*

Vooral bij reactoren met een invoerpot met geringe doorsnede vindt slijtage van de reactorwand plaats. Voor de bescherming wordt een 10 mm dikke laag rode Linatex (food approval, nog geen ATA), toegepast. Ook wordt bij cilindrische reactoren wel een PVC plaat op de bodem en een RVS plaat op de wand van het onderste deel van de reactorwand aangebracht.

- *Risico:* Linatex is op zich een goed materiaal voor bescherming tegen slijtage. Het kent twee nadelen: (1) het laat soms los. *Doen:* goed laten aansluiten en zorgen voor glad oppervlak. (2) na het plakken van Linatex kan nog weken lang oplosmiddel uit de lijm vrijkomen. *Doen:* tijdig aanbrengen en goed geventileerd laten drogen (weken!).

6 Entzand toevoer, aftap, opslag en afvoer van korrels

Entzand en korrels worden getransporteerd met water. Het mengsel kan veel slijtage veroorzaken en geeft vaak een hogere drukval in de leidingen dan verwacht. Een goede combinatie van snelheid, constructie materiaal en vormgeving beperkt storingen en onderhoud en verlaagt daardoor exploitatie kosten.

6.1 Entzand: opslag, dosering, spoeling en desinfectie

- 1) *Entzandbuffer*. Zilverzand, rivierzand of granaatzand worden met lucht ingeblazen. Er komt veel stof vrij en er moet lucht worden afgevoerd.
Doen:
 - Gebruik een rubberen vulslang, zoals die ook voor zand en gritstralen wordt gebruikt;
 - Zorg voor een voldoende grote ontluchting: volumestroom compressielucht omrekenen naar 1 bar, luchtsnelheid door ontluchtingsleiding ca 10 m/s (zeker < 20 m/s);
 - Filtreer de af te voeren lucht met een stoffilter. Buitenopstelling (dak) kan. Schoonblazen stoffilter met droge perslucht.

- 2) *Dosering entzand*.
Doen: Pas een trilzeef met instelbare tijd en amplitude toe;
Voordeel: bedrijfszeker
Nadeel: geen separate controle op werkelijke hoeveelheid
 - *Tip:* Een doorzichtig weegvat maakt automatische (niveau meting) en visuele controle mogelijk. (Vitens Druten)
 - *Tip:* maak zandwasser weegbaar en weeg deze leeg en na zandtoevoer. Werkt goed bij DZH.

- 3) *Zandwasser*. Spoel het entzand voor het in de reactoren komt, om fijne deeltjes en bacteriën te verwijderen.
 - *Doen:* pas een watersnelheid toe, 10% hoger dan de maximale watersnelheid in de reactor. Toelichting: uit de reactor wordt dan onder reguliere omstandigheden geen fijn materiaal meer uitgespoeld.

- 4) *Entzand desinfectie*: eventuele desinfectie van entzand kan met natronloog, circa 15 minuten bij pH van circa 11. Toevoer natronloog via aparte leiding (van bovenaf) naar het spoelvat;
 - *Feit:* Desinfectie met natronloog blijkt niet effectief voor het doden van sporen van sulfiet reducerende Clostridia. Veel bedrijven zien daarom af van desinfectie. Opmerking t.b.v. afweging: Deze sporen zijn een indicatie voor een faecale besmetting. Ongewenste bacteriën, die niet worden bepaald, kunnen mogelijk wel met natronloog worden gedood. Enkele bedrijven gaan daarom voorlopig door met natronloog desinfectie.

- *Ontwikkeling*: De bacteriologische kwaliteit van entzand en granaatzand, en mogelijkheden de bacteriologische kwaliteit te garanderen, zijn in onderzoek. Doel: bacteriologische kwaliteit mee certificeren in BRL (in 2007 gestart door Kiwa WR i.o.v. Kiwa C&K).

6.2 Nat transport entzand en korrels

5) Afsluiters voor nat transport korrels en entzand.

Belangrijkste aspect is dat veel slijtage optreedt door plaatselijk hoge snelheden in afsluiters tijdens openen en sluiten. Afsluiters die relatief langzaam openen en sluiten slijten daarom sneller.

- *Doen*: kies slangafsluiters (slang wordt dichtgedrukt door perslucht), zeker als de toevoer van zand en afvoer van pellets met een hogere frequentie gebeurt;
 - Doen*: zorg voor apart drukvat dat de slangafsluiter op druk houdt, voor het geval door een storing de druk wegvalt. Daarmee wordt wegstromen van korrels en water, en verstopping van de leidingen, voorkomen;
- *Niet doen tenzij*: membraanafsluiters slijten snel. Ze werken wel goed, maar vergen meerdere malen per jaar vervanging (vergt ca 10 minuten). Membranen hoeven minder frequent te worden vervangen als de stroming van de slurrie door een andere afsluiter in het systeem wordt gestopt¹⁶.

6) Leidingen voor nat transport korrels en entzand.

- *Doen*: pas stroombochten toe;
- *Doen*: pas snelheid 1 m/s toe (ervaring Waternet). Dat geeft keuzevrijheid voor de gebruikelijke constructiematerialen HDPE, RVS en rubber. Kans: HDPE leidingen (meest slijtage gevoelig) met elektrolas verbindingen en stroombochten gaan jaren mee. Voordeel: goedkoop en snel te vervangen/repareren.
- Meest slijtvast, ook bij hogere snelheden (stel > 2 m/s) is rubber. WML gebruikt met succes Semperit type Sigma FS 3320. Overwogen kan worden de bochten van rubber te maken en eventueel ook horizontale leidingstukken. De gehele leiding van rubber is het meest duurzaam. "Nadelen": minder mooi en kans op loslaten stukjes rubber.
- Ook bruikbaar en "mooi": neem bij niet te hoge snelheden (stel 1-2 m/s) RVS leidingen met stroombochten. Voorkom oneffenheden aan de binnenkant. Die slijten zeer snel met mogelijk lekkage als gevolg.

7) Verpompen entzand en korrels. Dat kan met een venturie (ejecteur) of een pomp.

- Meest bedrijfszeker en duurzaam is een verrubberde verdringerpomp (goede ervaring Vitens met fabrikaat Rodelta);
 - Nadeel*: hoge aanschafkosten.

¹⁶ Slijtage van het membraan treedt vooral op als bij vernauwde doorvoeropening zand en korrels er langs schuren.

Voordeel: duurzaam en weinig storingsgevoelig.

- Een venturiepomp of ejecteur kan toegepast worden als er bedrijfswater met veel voordruk beschikbaar is (indicatie 7 à 8 bar, uiteraard afhankelijk van watersnelheid in leidingen, aantal bochten en opvoerhoogte naar korrelsilo). *Doen:* bekleden met rubber (beter geen Linatex). Uitvoering: nozzle en venturi afdraaien, rubber plaatsen en dat op de draaibank op maat draaien. (specialistisch werk; ervaring WML De Beitel. *Doen:* Vacuüm meter plaatsen voor het testen van de ejecteur).

6.3 Korrelbunkers

8) Korrelbunkers.

- *Doen:* Plaats de korrelbunkers bij voorkeur zo hoog, dat een vrachtauto eronder kan rijden.
Voordelen:
 - Snel lossen;
 - Geen eigen personeel nodig;
 - Geen wormschroef nodig.
- *Doen:* Zorg dat de losklep door de chauffeur éénmaal kan worden bediend, na vrijgegeven door een operator. Dat voorkomt lossen van de verkeerde bunkers;
- *Niet optimaal:* Containerbakken zijn bruikbaar, zeker als een reservecontainer wordt geplaatst. Ongunstig is:
 - Weinig inhoud en daardoor hogere transportkosten;
 - Naar buiten uitlopend lekwater kan bevriezen;
 - Bij lossen moet een medewerker van het waterbedrijf aanwezig zijn.
- *Tip laag opgestelde bunker:* Transport met een wormschroef werkt, maar kost extra lostijd. *Doen:* zorg dat de wormschroef naar buiten toe oploopt, zodat water terugstroomt tijdens stilstand. Dat voorkomt bevriezen.
- *Doen:* Zorg voor afvoer lekwater uit korrels;
- *Doen:* Voorkom bevriezen van water in de bunker of containerbak door binnenopstelling. Eventuele buitenwand isoleren.

9) Tijdelijke korrelopslag

Eenmaal per 1-2 jaren worden reactoren geïnspecteerd en onderhouden. In de praktijk worden diverse voorzieningen ingezet voor tijdelijke opslag van de korrels (afgedekte containers buiten, verspreiden over andere reactoren etc.).

Doen:

- Maak een binnenopslag voor een volledige korrelinhoud van 1 reactor;
- Maak een aansluiting en (demontabel) leidingwerk voor retour pompen van korrels uit een korrelbunker naar de reactoren
- Gebruik de beschikbare korreelpomp.

Mogelijkheden:

- Een aparte korrelbunker (kan voor grotere installaties met meerdere bunkers);
- Een tijdelijk vrijgemaakte korrelbunker (meer dan 2 bunkers);
- Een apart deel van een korrelbunker (kleinere met 2 bunkers).

7 pH correctie, vlokmiddel dosering en nafiltratie

pH verlagen is effectief voor het stoppen van de ontharding, zodat er geen kalkafzetting plaatsvindt in de afvoerleidingen van de korrelreactoren, de verdeel- en toevoerleidingen naar de filters, de filterbedden en de spoeldoppen. Dosereren van een zuur voor pH verlaging kan effectief zijn voor het verlagen van de meetwaarde voor kalkafzetting bij koken, omdat de carry over oplost.

Nafiltratie is meestal noodzakelijk om fijne kalkdeeltjes uit het water te verwijderen¹⁷. Een goede verwijdering van carry over door filtratie verlaagt de kalkafzettendheid bij verwarmen. Een grote vuilberging in het filterbed bespaart spoelwater. Omdat dit proces "eenvoudig en bekend" is, bestaat het risico op onderschatting.

1) pH verlagen

Doen: stop de onthardingsreactie na de reactoren door de pH te verlagen, tenzij aangetoond is dat dit niet noodzakelijk is (toon met proeven aan dat een SI = 0 wordt benaderd). Er zijn meerdere mogelijkheden:

- Dosereren van CO₂.
 - *Voordeel:* minder gevoelige regeling, omdat het effect van over- en onderdosering gering is;
 - *Nadeel t.o.v. sterk zuur:* door de reactie van CO₂ met carry over neemt het gehalte HCO₃ gehalte weer toen. De TACC₉₀ neemt daardoor ook toe, maar de PACC_K neemt wellicht af.
- Dosereren van HCl of H₂SO₄
 - *Voordeel:* er wordt geen HCO₃⁻ gevormd, waardoor de TACC₉₀ minder toeneemt.
 - *Nadelen:*
 - de regeling is gevoeliger, omdat sneller over of onderdosering optreedt;
 - doseren van sterke zuren geeft meer risico's voor de operators;
 - H₂SO₄ heeft geen ATA
- Mengen met niet onthard water bij deelstroom ontharding.
- Let op: De pH kan ook voldoende afnemen door nitrificatie in de carry-over filters. Nadeel is dat kalkafzetting in de toevoerleidingen naar de filters niet wordt voorkomen.

2) Uitvoering CO₂ dosering

¹⁷ Bij een kleiner onthardings traject, een goed ontwikkeld reactorontwerp én een optimaal ingestelde bedrijfsvoering is de hoeveelheid carry over beperkt. Voor de installaties in Leiduin en Weesperkarspel geldt dat bijvoorbeeld. Daar zijn geen aparte carry over filters gebouwd. Wel vindt nafiltratie plaats in de actieve kool filters en de langzame zandfilters.

Doen: doseer CO₂ met een gasdeken op de reactoren. Noodzakelijk zijn:

- Een nagenoeg gasdichte afdekking van de reactoren;
- Een geringe onderdruk, door de gas zuigende werking van het af te voeren water (artikel Spannenburg H₂O nr 24, 2004).

Alternatief: CO₂ kan ook in een saturator onder hoge druk in bedrijfswater worden opgelost en met dit water worden gedoseerd.

Let op: mengen van verzadigd CO₂ -water met een open cascade geeft CO₂ verlies.

3) Troebelheid en kookproef waarde

Signaal: de carry over van natronloog ontharding is voor een deel zo fijn (<0,05 µm), dat een troebelheidsmeter deze kleine deeltjes niet signaleert. Water met een zeer lage troebelheid kan een relatief hoge kookproef waarde geven (PACC_K; ervaring WML De Beitel).

4) Vlokmiddel:

Een vlokmiddel maakt niet filtreerbare carry over deeltjes filtreerbaar. Nadeel kan zijn een snellere toename van de filtratieweerstand.

- *Doen na natronloog ontharding:* doseer 0,5-2 mg/l ijzerchloride in het effluent van onthardingsreactoren. Dat is in de praktijk effectief gebleken;
- *Doen:* zorg voor snel mengen van ijzer chloride in een overstort met een flinke valhoogte (stel minimaal 1 m), of met een watervalmenger;
- Dosering van een geringe hoeveelheid poly electroliet werkt in België goed (Pidpa)¹⁸. In Nederland wordt dit middel niet toegepast, omdat het biologisch afbreekbaar is en een bijdrage aan nagroei geeft. *Niet doen:* doseer geen aluminiumhoudend vlokmiddel. De pH is daarvoor na ontharden te hoog.

5) Grind en antraciet fracties nafiltratie.

- *Doen:* bepaal de grind- en antraciet fracties en de filtratiesnelheid met een proeffilter op locatie¹⁹.

Feiten: De belasting van de nafilts is hoger bij:

- IJzer in het ontharde water, na anaerobe ontijzering van ijzerhoudend grondwater;
- Dosering van ijzerchloride;
- Gebruik van 30% kalkmelk (hoeveelheid carry-over is 4 maal zo groot als met kalkmelk 20%);
- Gebruik van inferieure kalkmelk geeft carry over.

6) Filtratiesnelheden.

¹⁸ Pidpa doseert poly electroliet type: FL 4440 SEP van de firma Clarfloc. Het noemen van dit middel betekent geen aanbeveling boven gelijkwaardige middelen.

¹⁹ Voor filters na een kalkmelk ontharding werd grind 0,4-0,8 mm met antraciet 0,8-1,6 mm ingezet. Aangenomen werd een looptijd van 48 uren. In de praktijk werden het 500 uren. Gerealiseerde voorzieningen voor spoelwater hergebruik bleken niet nodig.

De beste combinatie van dosering van vlokmiddel, korrelfracties en filtratiesnelheden wordt met een experiment bepaald. Voor locaties waar dat niet kan, of ten behoeve van een goede opzet van experimenten, zijn er wel indicaties te geven. Ze zijn bedoeld voor dubbellaags filters na kalkmelk ontharding en na natronloog ontharding met ijzerchloride dosering²⁰:

- Een veilige reguliere filtratiesnelheid is circa 6 m/h met een maximum van 8 m/h bij korter durende hoge productie.
- Als de nafiltraat ook nodig is voor het verwijderen van ijzer, moet gerekend worden met een kortere looptijd;
- Als ook mangaan en ammonium moeten worden verwijderd, dan kunnen lagere filtratiesnelheden nodig zijn (proefonderzoek noodzakelijk!).

7) *Spoelen:*

Doen: spoel dubbellaags filters na met een waterspoeling met bedexpansie²¹.

Tip: afvoer van eerste filtraat is dan niet noodzakelijk. Meet wel of dat echt zo is.

N.B. Leidingwerk voor eerste filtraat afvoer blijft gewenst.

Tip: als de filtratieweerstand na spoelen hoger is dan na het vullen van antraciet, is het effectief een zeer dunne bovenlaag (hooguit enkele cm) van het antraciet af te scheppen. Oorzaak van de extra weerstand is ophoping van kleine afgebroken stukjes antraciet in de bovenlaag. Ze worden wel met bedexpansie uit het bed gespoeld, maar kleine deeltjes blijven boven het bed zweven en bezinken na het spoelen op het filterbed.

²⁰ Snelfilters na natronloog ontharding, waarvoor geen vlokmiddel wordt gedoseerd, bouwen nauwelijks filtratie weerstand op. Een looptijd van honderden uren wordt dan gehaald. Oorzaak is dat feitelijk bijna geen carry over wordt verwijderd.

²¹ Door het bewegen/draaien van alle korrels blijft er geen of zeer weinig los materiaal in het filterbed

8 Procesregeling

Met de huidige mogelijkheden voor automatisering is in principe “alles te regelen”. Bedenk dat het beheersen van de installatie lastiger is bij meer en ingewikkelder automatisering. En, vroeg of laat komt er een storing. Wilt u weinig zorgen: Bouw een eenvoudige en robuuste installatie.

1) *Productie schakelingen:*

Het meest eenvoudig is een over een etmaal vaste volumestroom per reactor en geen wisseling van putten. Optimaal is het aantal ingeschakelde reactoren te bepalen aan de hand van de optimale waterbelasting van de reactoren.

- *Doen:* maak echt effectieve dagaccumulatie mogelijk met een reinwaterkelder bij de zuivering met voldoende netto inhoud.
- *Doen:* regel met een vraag prognose een gelijke productie over het etmaal^{22 23}.

2) *Regelen dosering loog:*

Regel de dosering “vooruit” met de gemeten volumestroom per reactor (feed forward). Regel de dosering “achteraf” bij met EGV, pH of hardheid (feed backward).

- Voorkeur:
 - Grotere variatie in hardheid ruwe water: feed backward met hardheid monitor;
 - Kleinere variatie hardheid ruwe water: feed backward met *inductieve* EGV meting²⁴, bij significante variatie in de hardheid met verschilmeting ruw en onthard
 - Controle: pH meting²⁵.
- Voor automatische regeling is een sturende en een aparte controlerende meting noodzakelijk. De controlerende meting kan een andere zijn als de sturende.
- *Doen:* gebruik, als een toevoerleiding naar een meting noodzakelijk is, een korte leiding. Dat voorkomt een te grote traagheid van de regeling, een variabele responstijd door verschillen in de instelling van de doorstroming van de monsterleiding.

3) *Concentratie chemicaliën:*

²² Het is opvallend dat dit ideaal zelden wordt bereikt, terwijl bouwen van dagaccumulatie zeer waarschijnlijk goedkoper is dan een installatie die pieken op moet vangen. Oorzaken? : men wil de kelder vol hebben en houden; als de kelder een keer leeg is, wil men voldoende productie capaciteit hebben; berging in het net wordt graag meegerekend als productie berging. Dat is meestal niet juist!

²³ Bij WML zijn uitgangspunten voor de grootte van de reinwater berging vastgesteld in overleg tussen ontwerpers en bedrijfsvoerders/operators.

²⁴ Inductieve meting is niet gevoelig voor vervuiling door kalkafzetting. Capacitieve EGV meting wel!

²⁵ pH electrodes zijn gevoelig voor vervuiling en moeten regelmatig worden geijkt.

- *Waarschuwing:* Indien wordt gewerkt met vaste instelling van doseervolumes, houdt er dan rekening mee dat batches kalkmelk en natronloog kunnen verschillen in concentratie en de concentratie van stabiele kalkmelk tijdens de opslag afneemt. Na een week kan al een 10% hoger doseervolume stabiele kalkmelk nodig zijn.
- 4) Start en stop de afvoer van pellets uit de reactoren na bereiken van een vastgestelde drukval. Dat kan ook bij een variërende volumestroom water, omdat de drukval bij een zwevend bed weinig varieert met de snelheidsverandering.

9 Hygiëne en beveiliging

- 1) De korrelreactoren worden afgedekt met beplating om het risico van contaminatie te minimaliseren.
- 2) Bij het extern reinigen van kalkmelk kruizen moet een werkwijze worden toegepast die besmetting voorkomt.
- 3) In principe kan entzand leiden tot een besmetting met micro organismen. Er wordt gewerkt aan aparte eisen hiervoor in het kader van de BRL verlening. Desinfecteren van entzand met natronloog doodt niet alle ongewenste sporen.
- 4) Voor beveiligen van de toevoer van entzand en chemicaliën is het effectief bij de koppelingen voor de losslangen een afsluiter te plaatsen die pas éénmaal bediend kunnen worden *na vrijgave door een operator* vanuit de regelkamer.

10 Literatuur

Brink H. en Reijnen G.R. (2003): Ontwerp tips voor ontharden in korrelreactoren. Kiwa Water Research, KWR 03.073

Hoven, Th.J.J. van den, en Eekeren, M.W.M. van (1988): Optimale samenstelling van drinkwater. Kiwa N.V. Mededeling 100.

Kostense A. (1988): Ontharden in korrelreactoren. Kiwa N.V., Mededeling 102.

Merks, C.W.A.M., Eekeren, M.W.M. van, en Jagt, H. van der (1992): Voorschrift kwaliteitstest kalkmelk. Kiwa N.V. SWE 92.012.

Siegers W.G. (2002): Overzicht van de korrelreactoren in Nederland. Kiwa Water Research, KWR 02.087