



KWR PCD 14-3 | oktober 2020

Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater

*Deel 3: Verwijdering van kooldioxide
door middel van filtratie over
calciumcarbonaat houdende
materialen niet zijnde dolomiet*

Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater

Deel 3: Verwijdering van kooldioxide door middel van filtratie over calciumcarbonaat houdende materialen niet zijnde dolomiet

KWR | PCD PCD 14-3 | oktober 2020

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

M.A. Meerkerk en W.G. Siegers

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
ing. Martin Meerkerk
T (030)60 69 566
E Martin.Meerkerk@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

KWR PCD 14-3 | oktober 2020 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - 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.

Praktijkcode Drinkwater

Status

De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken in de dagelijkse bedrijfsvoering gebruik van richtlijnen met als doel het (hoge) kwaliteitsniveau van de bedrijfsvoering te handhaven en waar mogelijk verder te verbeteren, en/of de efficiëntie van de bedrijfsvoering te verhogen en bij te dragen aan het verder uniformeren van de werkwijzen binnen de drinkwatersector. Deze richtlijnen hebben doorgaans het karakter van een ‘aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze’ en niet van een ‘bindend voorschrift’¹. Het gaat om privaatrechtelijke richtlijnen voor de ondersteuning in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsvoering (‘best practices’) in het gehele traject van bron tot tap. De richtlijnen (soms ook aangeduid als ‘leidraad’) worden sinds 2008 opgesteld en hebben in 2015 de aanduiding ‘Praktijkcode Drinkwater’ (PCD) gekregen.

Verantwoording

Praktijkcodes worden opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Dit Platform heeft het beheer van praktijkcodes gedelegeerd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes, die de ‘eigenaarsrol’ vervult. Ook in die groep participeert in beginsel één vertegenwoordiger per bedrijf. De voorzittersrol wordt vervuld door een van deze vertegenwoordigers, terwijl KWR Water Research Institute dat doet ten aanzien van de rol van secretaris.

Totstandkoming en kwaliteitsborging

Een specifieke praktijkcode of een revisie daarvan (zie onder) komt met inhoudelijke bijdragen van deskundigen van drinkwaterbedrijven en onderzoekers van KWR Water Research Institute interactief tot stand onder begeleiding van een projectgroep bestaande uit deskundigen van de drinkwaterbedrijven en/of –laboratoria. De leden van die projectgroep worden aangezocht vanwege hun specifieke kennis en/of vaardigheden die noodzakelijk is/zijn voor het betreffende onderwerp. Het voorzitterschap wordt in beginsel waargenomen door een vertegenwoordiger van de drinkwaterbedrijven; KWR Water Research Institute vervult het secretariaat en rapporteert de voortgang aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes. Soms maken drinkwaterbedrijven gebruik van de mogelijkheid om zich als agendalid van een projectgroep te laten registreren.

Na vaststelling van een praktijkcode door de begeleidende projectgroep wordt die ter formele vaststelling voorgelegd aan de Begeleidingsgroep Praktijkcodes.

Openbaarheid

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar. Een actueel overzicht van alle praktijkcodes is te vinden op en zijn te vinden op de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl.

Periodieke actualisatie

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een ‘vijfjaarsrevisie’: primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit ‘Van Dale’.

Voorwoord

Deze praktijkcode maakt onderdeel uit van een serie van in totaal vier delen. Een en ander is beschreven in het 'Voorwoord' van het eerste deel, waarnaar wordt verwezen (zie PCD 14-1 [6]). Daarin is ook een korte introductie opgenomen.

Voor wat betreft dit derde deel van de serie praktijkcodes worden vooraf de volgende opmerkingen gemaakt:

- **Editie**
Dit is de eerste editie van een praktijkcode op het gebied van het ontzuren van water door de verwijdering van kooldioxide door middel van filtratie over calciumcarbonaat bevattende materialen (zie verder) ten behoeve van de drinkwaterbereiding.
- **Bronmateriaal**
Als uitgangspunt voor de totstandkoming van deze praktijkcode zijn vooral genomen:
 - Hoofdstuk 4 en 5 en de paragrafen 2.2.2 en 2.2.3 van de Kiwa-Mededeling 101 'Ontzuren van grondwater' [3];
 - KIWA-Mededeling 47 'Ontzuren van water met behulp van dolomitisch filtermateriaal' [4];
 - Nederlandse vertaling van het Duitse werkblad W 214-2 'Entsäuerung von Wasser – Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen' [5];
 - Het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [14], paragraaf 4.7 van het deel 'Grondwater', pagina's 300 – 302;
 - Verder is gebruik gemaakt van relevante documenten zoals KWR-rapporten en documenten ((beleids)voorschriften) van de drinkwaterbedrijven die in de projectgroep participeerden. Relevante kennis daaruit is aan dit document toegevoegd of er wordt naar verwezen. Ook ervaringen met de verwijdering van kooldioxide door middel van filtratie van drinkwaterbedrijven zijn in deze praktijkcode verwerkt.
- **Begrippen**
De in deze praktijkcode gehanteerde begrippen met hun bijbehorende omschrijving zijn opgenomen in bijlage I. In de subtitel van deze praktijkcode worden als filtermaterialen 'calciumcarbonaat houdende materialen' genoemd. Het gaat om producten op basis van de Europese norm NEN-EN 1018:2013+A1:2015 'Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Calciumcarbonaat', zie bijlage II. Dergelijke materialen werden en worden in de drinkwatersector soms aangeduid als 'marmer', 'kalksteen' of 'calciet'. In deze praktijkcode wordt om praktische redenen uitsluitend 'calciumcarbonaat' gehanteerd, tenzij er sprake is van een citaat of een titel. Tegenwoordig worden onthardingspellets steeds vaker genoemd of zelfs al gebruikt voor het opharden of ontzuren van water. Bij drinkwaterbedrijf Vitens worden op twee locaties reeds onthardingspellets gebruikt en het is de bedoeling dit op meer locaties te gaan toepassen.
- **Filtermaterialen**
In het verleden werd in Nederland en Vlaanderen voor de ontzuring ook 'dolomitisch materiaal' of '(halfgebrande) dolomiet' toegepast. Dat betrof producten op basis van de Europese norm NEN-EN 1017:2014+A1:2017 'Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Dolomiet (half gebrand)', zie bijlage II. Aangezien dergelijke materialen bij de drinkwaterbereiding in Nederland en Vlaanderen tegenwoordig niet meer worden toegepast, zijn die in deze praktijkcode buiten beschouwing gelaten. In citaten of titels komen die soms wel voor en mede om die reden zijn literatuurreferenties op het gebied van dolomitische filtermaterialen hierin wel opgenomen. De belangrijkste reden voor het niet meer toepassen van dolomitische materialen is dat ontzuring met calciumcarbonaat bedrijfsvoerings-technisch (veel) eenvoudiger is.
- **Benaming**
In de subtitel van deze praktijkcode is de benaming van de zuiveringsstap volledig geschreven: verwijdering van

kooldioxide door middel van filtratie over calciumcarbonaat houdende materialen niet zijnde dolomiet. In het verdere van dit document zal vrijwel uitsluitend 'filtratie over calciumcarbonaat' worden gehanteerd, waarbij deze verwijdering wordt bedoeld. Als een andere zuiveringsstap wordt bedoeld voor de verwijdering van kooldioxide of een andere vorm van filtratie, dan wordt dit als zodanig omschreven.

- Normen
Nationale en internationale normen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd, zijn niet opgenomen in het hoofdstuk 'Literatuur' van deze praktijkcode, maar zijn overzichtelijk weergegeven in bijlage II.

Samenstelling projectgroep

De samenstelling van de projectgroep die de totstandkoming van deze praktijkcode heeft begeleid, is hieronder weergegeven. De deelnemers zijn per bedrijf in alfabetische volgorde vermeld.

Drinkwaterbedrijf of –laboratorium

Brabant Water

Dunea

Evides Waterbedrijf

KWR Water Research Institute

Oasen

Pidpa

PWN

Vitens

Waterbedrijf Groningen

Waternet

WMD Drinkwater

WML

Vertegenwoordiger(s)

Stephan van de Wetering

geen

Edwin Poulus

Martin Meerkerk (secretaris)

Wolter Siegers

Ruud Kolpa

David Geysen

geen

Gerrit Jan Zweere

Jantinus Bruins (WLN)

geen

Simon Dost

Alexander Roling (voorzitter)

Vaststelling praktijkcode

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkcodes in de vergadering van 8 oktober 2020.

Inhoud

Inhoud	6
1 Inleiding	7
1.1 Introductie ontzuring door filtratie	7
1.2 Theorie van ontzuring door filtratie	7
1.3 Toepassingsgebied en doel	7
1.4 Leeswijzer	8
2 Introductie ontzuren door filtratie	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Praktijkgegevens	10
3 Ontwerpeisen	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Eisen	11
4 Realisatie	13
5 Bedrijfsvoering	14
5.1 Algemeen	14
5.2 Controles	14
5.2.1 In het kader van de reguliere bedrijfsvoering	14
5.2.2 Controle van de installatie door deskundigen	15
5.3 Filterlooptijd en filterspoeling	15
5.4 Praktijkervaringen	15
5.5 Het vullen van filters	16
5.5.1 De eerste vulling	16
5.5.2 Navullen	16
6 Onderhoud	17
6.1 Praktijkervaringen	17
7 Literatuur	18
I Begrippen en definities	20
II Voor deze praktijkcode relevante normen	21
III Praktijkgegevens voor filtratie bij enkele Nederlandse drinkwaterbedrijven en Pidpa	22
IV Samenvatting thesis Sara Ghanbari (Oasen)	23

1 Inleiding

1.1 Introductie ontzuring door filtratie

Bij filtratie over calciumcarbonaat stroomt (agressief) kooldioxide bevattend water door een filterbed gevuld met korrels van dit materiaal. Het filterbed werkt hierbij op dezelfde wijze als een zandfilter, maar in dit geval lossen de korrels hierbij langzaam op. Als de korrels heel klein zijn geworden, zullen ze bij het terugspoelen worden uitgespoeld. Regelmatig wordt het filterbed daarom bijgevuld met nieuw korrelmateriaal [14]. In hoofdstuk 2 is dit ontzuren door filtratie over calciumcarbonaat verder uitgewerkt.

1.2 Theorie van ontzuring door filtratie

De meer diepgaande theoretische aspecten op het gebied van de filtratie zijn (in het verleden) gedetailleerd beschreven, zodat wordt volstaan met daarnaar te verwijzen. Het betreft de volgende documenten (en onderdelen daarvan):

- De KIWA-Mededeling 101 'Ontzuren van grondwater' [3], de hoofdstukken 4 en 5, en de subparagrafen 2.2.2 en 2.2.3;
- Het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [14]:
 - Paragraaf 4.7 van het onderdeel "Grondwater", pagina's 300-302, waaronder een voorbeeld berekening op pagina 302;
- Overige te gebruiken literatuur in willekeurige volgorde:
 - 'Conditioning of aggressive water' [12]
Hierin wordt ingegaan op de praktijk van ontzuring bij Vitens en mogelijke oplossingen voor de toekomst. Onder andere is ook het doseren van microkristallen calciumcarbonaat als alternatief voor filtratie onderzocht. Vanwege het nogal langzame oplossen van deze kristallen werd deze techniek niet als een goed alternatief beoordeeld. Van deze thesis is een H₂O-Platform-artikel verschenen: 'Wordt ons drinkwater minder agressief?' [15] en een Engelstalige publicatie. Beide zijn te vinden in de afstudeerscriptie.
 - 'Advies met betrekking tot een nieuw zuiveringsproces op pompstation Wezep' [13]. Het enigszins gedateerde rapport gaat over het vervangen van kalkdosering door filtratie over calciumcarbonaat en dosering van een base.
 - 'Kalksteenfiltratie pompstation Heumensoord (NUON water)' [18];
 - 'Ontzuren met kalksteen op pompstation Epe' [19];
 - 'Marmerontzuring, een oud proces met nieuwe perspectieven' [21];
 - 'Conditionering van water door middel van filtratie over marmer' [22];
 - 'Het vergelijken van de ontzuringssnelheid van enige kalksteensoorten en onthardingspellets' [23];
 - 'Pilot study and modeling of remineralization of low-temperature desalinated water by calcite filtration' [25];
 - 'Eindrapport Onderzoek naar terugspoelregime calcielfilter' [26].

1.3 Toepassingsgebied en doel

Deze praktijkcode is van toepassing op het ontzuren van zacht water door middel van filtratie voor het verwijderen van kooldioxide en het verhogen van de concentratie aan waterstofcarbonaat tot boven de wettelijke normwaarde van 60 mg/l en om te voldoen aan de eisen die in Nederland worden gesteld aan de parameters zuurgraad en Saturatie Index (SI) van respectievelijk $7,0 < \text{pH} < 9,5$ pH-eenheden en $> -0,2$ pH-eenheden [28]. De basale gegevens in deze praktijkcode kunnen ook worden gebruikt wanneer er met het ontzuren een ander doel wordt nagestreefd, bijvoorbeeld de gedeeltelijke ontzuring in het behandelingsproces.

Installatietechnische details die geen of slechts een indirecte invloed hebben op de filtratie worden niet beschreven in deze praktijkcode.

Deze praktijkcode is bedoeld als naslagwerk ten behoeve van het ontwerp (met inbegrip van de uitvoeringsvorm), de realisatie, de bedrijfsvoering en het onderhoud van de zuiveringsstap filtratie.

1.4 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk komt eerst een hoofdstuk over de technische uitvoeringsvorm (installatie) van filtratie van water aan de orde (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt vervolgens ingegaan op het ontwerpen van voor filtratie bedoelde installaties. Hoofdstuk 4 gaat in op de realisatie daarvan met inbegrip van de inbedrijfneming. De bedrijfsvoering van installaties voor filtratie van water is het onderwerp van hoofdstuk 5. Ten slotte komt in hoofdstuk 6 het onderhoud van deze installaties aan de orde. Hoofdstuk 7 bevat een overzicht met literatuurbronnen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd.

2 Introductie ontzuren door filtratie

2.1 Inleiding

In het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [14] en dan vooral in § 4.7 'Ontzuring' van het onderdeel 'Grondwater' wordt ontzuren door filtratie kort beschreven. In Nederland worden volgens deze referentie twee materialen toegepast in de praktijk van de bereiding van drinkwater uit grondwater: kalksteen en dolomitische materialen. Voor het laatstgenoemde materiaal is dat volgens het Voorwoord van deze praktijkcode inmiddels niet meer het geval. In deze paragraaf wordt daarom uitsluitend op de filtratie met calciumcarbonaat ingegaan. In de volgende paragraaf zijn gegevens uit de praktijk vermeld.

Het te behandelen water wordt bij ontzuren door filtratie over calciumcarbonaat bevattende korrels gevoerd. De oplosbaarheid van calciumcarbonaat in het water wordt bepaald door de ligging van het dissociatie-evenwicht (reactie 1). De ontzuring berust op de reactie van het (agressief) kooldioxide met calciumcarbonaat (reactie 2).



Het evenwicht (reactie 2) verschuift hierdoor naar rechts, waardoor de concentratie aan kooldioxide afneemt en de concentratie aan calcium- en waterstofcarbonaat-ionen toeneemt. Omdat de concentratie kooldioxide afneemt, zal de pH hoger worden. Het water wordt hierdoor minder agressief. Bij deze wijze van ontzuren kan nooit kalkafzettend water ontstaan.

De methode is echter om praktische redenen niet altijd toepasbaar. Bij een toenemende concentratie waterstofcarbonaat in het water neemt de reactiesnelheid af, waardoor extreem lange reactietijden noodzakelijk kunnen worden om de evenwichts-pH te bereiken. Tevens wordt een pH van 8,0 niet meer bereikt. Met dit verschijnsel moet rekening worden gehouden als de concentratie aan waterstofcarbonaat na ontzuring boven 1,5 mmol/l gaat komen [28].

Uit [25] blijkt dat met kleinere korrels een kortere contacttijd nodig is. Met een korrelgrootte van 0,5 – 1,2 mm is het evenwicht in 15 min bereikt, terwijl voor 1 – 2 mm 25 min nodig waren. Daarnaast blijkt dat ook de temperatuur invloed heeft op de snelheid van oplossen: hoe lager de temperatuur hoe langzamer het calciumcarbonaat oplost.

Voor ontzuring en opharden van heel zachte watersoorten is filtratie over calciumcarbonaat een geschikt proces en ook economisch. Dat is het geval als de ontzuring wordt gecombineerd met homogene (colloïdale) ontijzering, ontmanganing en nitrificatie in een filter [3]. Voor wat betreft de ontijzering wordt opgemerkt dat filtratie dat proces weliswaar kan verbeteren, maar niet altijd de gewenste methode is.

Wanneer er voldoende zuurstof in het ruwwater aanwezig is, is er geen beluchting nodig. Toch kan zuurstofinbreng nodig zijn voor het geval er nog omzetting van ijzer en mangaan moet plaatsvinden en als er nog ammonium aanwezig is (persoonlijke mededeling drinkwaterbedrijf Vitens).

Bij drinkwaterbedrijf Oasen is filtratie over calciumcarbonaat onderzocht voor het opharden van RO-permeaat, uiteindelijk voor gebruik als drinkwater [29].

2.2 Praktijkgegevens

In III is een overzicht opgenomen van de toegepaste filtratie met calciumcarbonaat houdende materialen in Nederland en Vlaanderen.

Calciumcarbonaat biedt bedrijfsmatige voordelen wat betreft gebruik en controle. Een overschrijding van de pH van de calciumverzadiging is bij calciumcarbonaat uitgesloten. Bij kleinere installaties of installaties die niet continu door deskundig personeel worden bediend, biedt het gebruik van calciumcarbonaat hierom voordelen.

In het geval er gebruik wordt gemaakt van poreus calciumcarbonaat moet er rekening worden gehouden met aanvullende kwaliteitseisen.

Bij een proefinstallatieonderzoek [26] is het (in twee stappen) spoelen van een filter met calciumcarbonaat onderzocht. Eerst werd 3 min gespoeld met lucht (0,6 bar) en vervolgens 15 min met water. Hierbij werd gevarieerd met de watersnelheid. Uit de resultaten bleek dat de meest optimale terugspoelsnelheid lag op 25 m/h. Het bleek tevens dat de spoelfrequentie > 32 dagen is met een spoelwaterverlies van 0,14% met een bedexpansie van 7%. Wanneer een hoge troebelheid (≥ 1.500 NTU) tijdens de luchtspoeling werd gerealiseerd, kon de terugspoelsnelheid worden verlaagd met een factor 2,5. Hierdoor konden bij een lagere terugspoelsnelheid ongeveer dezelfde resultaten worden behaald en werd het waterverlies vele malen lager.

Bij de keuze van het filtermateriaal kan in enkele gevallen ook de gedifferentieerde verhoging van de concentratie aan calcium en magnesium, en de zuurcapaciteit van het water van belang zijn. De vermindering van de basecapaciteit met 1 mmol/l komt bij calciumcarbonaat overeen met een verhoging van 1 mmol/l Ca en 2 mmol/l aan zuurcapaciteit.

De methode van ontzuring wordt gekozen op grond van eisen voor de gewenste ontzuring en waterkwaliteit. Er moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- Concentratie calcium < 0,75 mmol/l (tevens afhankelijk van de door het drinkwaterbedrijf gewenste hardheid);
- IJzer, mangaan, aluminium en eventuele andere stoffen die in het water voorkomen, mogen niet leiden tot de vorming van een storende afzetting op het filtermateriaal (dit zou in de praktijk nooit voorkomen). In het DVGW-werkblad [5] wordt geadviseerd om in het influent van de filterinstallatie de volgende concentraties niet te overschrijden: 0,20 mg/l aan ijzer, 0,05 mg/l aan mangaan en 0,05 mg/l aan aluminium. Drinkwaterbedrijf Vitens heeft de ervaring dat overschrijding van deze waarden geen problemen oplevert voor de kwaliteit van het effluent. Bovendien wordt in § 5.4 gesteld dat ontzuring met calciumcarbonaat goed kan worden gecombineerd met ontijzering, ontmanganing en nitrificatie.
- De noodzakelijke volumestroom aan spoelwater moet zijn gegarandeerd (de filters worden normaliter gespoeld zoals een zandfilter), Zie § 3.2.

3 Ontwerpeisen

3.1 Inleiding

Het ontwerp van iedere zuiveringsstap dient ‘hygiënisch ontwerpen’ als uitgangspunt te hebben. Voor die manier van ontwerpen is eerder de praktijkcode PCD 1-8 ‘Hygiënerichtlijnen ontwerp, bouw en renovatie van installaties voor de drinkwaterbereiding’ [7] opgesteld. Die praktijkcode is nauw verwant aan de ‘Hygiëncode Drinkwater; Drinkwaterbereiding’ [24], die (i) zich richt op de hygiënische aspecten in het traject van het ontwerp, de bouw en de ingebruikneming van nieuwe en gerenoveerde (onderdelen van) zuiveringen en (ii) tot stand is gekomen door input van (werktuig)bouwkundigen, beheerders van productiebedrijven en procestechnologen van alle drinkwaterbedrijven. Hygiënisch ontwerpen en bouwen betaalt zich terug bij de ingebruikneming en de bedrijfsvoering van een zuivering. Een en ander is reden om voor de ontwerpeisen van de zuiveringsstap filtratie primair naar genoemde PCD 1-8 [7] te verwijzen. Hoofdstuk 2 van die praktijkcode heeft als titel ‘Algemene richtlijnen en functionele aspecten bij het ontwerp’ en hoofdstuk 3 ‘Richtlijnen specifiek voor zuiveringsonderdelen’. Bij dit laatste hoofdstuk wordt vooral gewezen op de paragrafen 3.2 ‘Algemene richtlijnen voor onderdelen’ en 3.3 ‘Zand- en marmerfilters’.

Sommige drinkwaterbedrijven beschikken over een model voor de filtratie. Zo heeft Vitens een model in Python/PHREEQC geprogrammeerd.

3.2 Eisen

Het ontwerp van de filters gebeurt op grond van het noodzakelijke volume van de filterlaag en het verbruiksvolume (te behandelen water). Het ontwerp van de filters houdt in wezen de berekening respectievelijk de vaststelling in van het soort filter (open of gesloten), het aantal filters, het filteroppervlak, de hoogte van de filterlaag en de navulling van filtermateriaal (tijd tussen de navullingen van filtermateriaal, volume respectievelijk massa van na te vullen filtermateriaal). Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de uitwerking op compressoren, spoelwaterpompen en de omleiding en behandeling van slibhoudend water.

De installatie kan meerdere filters bevatten, maar ook één enkele filtratie stap kan voldoende zijn om drinkwater te bereiden.

Beproefde hoogtes van de filterlaag zijn 2,0 – 2,5 m. Bij drinkwaterbedrijf Vitens wordt 2 – 3 m toegepast. Bij Brabant Water hebben de filters standaard een bedhoogte van 2 m en worden bijgevuld na een verbruik van 25 cm calciumcarbonaat (voor de andere bedrijven zie ook III). De verdere inrichting is zoals een normaal snelfilter met zand.

Er moeten snelfilters worden gebruikt die kunnen worden gespoeld (zie verder) conform de praktijkcode PCD 10 [27], waarbij er sprake is van een gelijkmatige verdeling van het spoelmedium over het gehele filteroppervlak. Dit wordt gegarandeerd door het gebruik van filterdoppen. Die filterdoppen en de spoelvoorwaarden zijn afhankelijk van het filtermateriaal en de gebruikte korrelgrootte.

Het niveau van het filtermateriaal moet van buiten visueel kunnen worden waargenomen. Als dit niet mogelijk is, moet er een voorziening voor het meten van dat niveau zijn.

Bij gesloten filters moeten de installaties voor het navullen van het filtermateriaal goed toegankelijk en eenvoudig zijn te bedienen.

Bij Brabant Water (met als voorbeeld drinkwaterproductielocatie Luyksgestel) wordt een filter gevuld door middel van een ejecteur, waarbij droog filtermateriaal uit een silo in een waterstroom wordt gezogen en in het filterbed wordt gebracht. Het filter voor ontzuring is qua inrichting vergelijkbaar met een snelfilter. Bij drinkwaterbedrijf Vitens is de opslag van calciumcarbonaat in silo's en vindt het vullen van de filters plaats met (i) een doseerschroef tot in het filter of (ii) met een ejecteur met water. Ook kan bijvullen direct vanuit de vrachtwagen plaatsvinden.

Om de noodzakelijke contacttijd te garanderen, moet de filterinstallatie zo worden gebruikt dat de totale volumestroom aan te behandelen water gelijkmatig over de afzonderlijke filters wordt verdeeld.

De filterspoeling moet worden uitgevoerd met achtereenvolgens (i) lucht, (ii) lucht-water en (iii) water. De compressoren en de spoelwaterpompen of de regelventielen voor de instelling van de spoelwatersnelheid moeten worden bepaald. Daarbij moet rekening worden gehouden met de informatie die is verstrekt door de leverancier van het filtermateriaal (zie ook § 2.2). Bij drinkwaterbedrijf Oasen werd via een proefinstallatieonderzoek een optimale snelheid van 25 m/h vastgesteld bij een korrelgrootte tussen 0,5 – 1,2 mm.

Slibhoudend water uit de filterspoeling bevat erosiemateriaal en kleine deeltjes van het filtermateriaal, alsmede eventueel tijdens de filtratie tegengehouden stoffen die in het water voorkomen. Het gaat vooral om stoffen op basis van ijzer, mangaan en aluminium, en om andere neerslaande stoffen.

De afvoer van (slibhoudend) spoelwater dient te gebeuren overeenkomstig de van toepassing zijnde wet- en regelgeving. Eventueel kan voor hergebruik van het slib (in relatie tot de circulaire economie) de firma AquaMinerals B.V. worden benaderd.

Vanwege de robuustheid van het proces behoeft de contacttijd voor het filtermateriaal calciumcarbonaat niet persé constant te zijn. De activiteit van het calciumcarbonaat vermindert niet gedurende de standtijd. De bedhoogte en/of snelheid mag redelijkerwijs veranderen zonder dat dit effect heeft op de eindkwaliteit. Er moet voor worden gezorgd dat er voldoende (overmaat) filtermateriaal of eigenlijk een langere dan gewenste 'leegbed contacttijd' wordt toegepast en dat het filter tijdig wordt bijgevuld.

Er moeten voldoende geschikte monsterkranen zijn aangebracht ten behoeve van waterkwaliteitsbeoordeling.

De volgende bedrijfsparameters moeten worden gemeten en eventueel met de overeenkomstige streef- en interventiewaardes worden geïntegreerd in een procesbesturingssysteem:

- De zuurgraad van het effluent van de installatie
Deze is in principe constant, maar bij putschakelingen en verandering van de filtratiesnelheid en/of afnemende bedhoogte kan de zuurgraad mogelijk enigszins veranderen.
- De volumestroom aan te behandelen water van de installatie;
- Bedhoogte;
- De bedrijfsstaat van de bedrijfslucht compressor en luchtfilter (aan/uit, energieverbruik, druk, drukverschil, eventueel frequentie) wanneer lucht wordt gedoseerd om het zuurstofgehalte in het water op peil te brengen/houden;
- Indien luchtverversing van de ruimte plaatsvindt: de bedrijfsstaat van de ventilator (aan/uit, energieverbruik, eventueel frequentie), de druk aan de drukzijde van de ventilator en de verschildruk van het luchtfilter;
- Eventueel het niveau (waterpeil) in de installatie, bijvoorbeeld door middel van een radarsensor.

4 Realisatie

Het behoeft geen betoog dat installaties moeten worden gerealiseerd volgens de ontwerpeisen zoals die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven. Bij de realisatie dient verder rekening te worden gehouden met het volgende:

- Hoofdstuk 4 'Richtlijnen bij bouw en renovatie' van de PCD 1-8 'Hygiënerichtlijnen ontwerp, bouw en renovatie van installaties voor de drinkwaterbereiding' [7];
- Hoofdstuk 5 'Realisatie van reservoirs' van de PCD 4-1 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 1: Algemeen*' [7];
- Hoofdstuk 3 'Realisatie van constructies' van de PCD 4-2 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 2: Beton*' [8] en/of hoofdstuk 3 'Realisatie van constructies' van de PCD 4-3 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 3: Metalen en kunststoffen*' [9] (afhankelijk van het materiaal of de materialen waarmee het te behandelen water in contact komt);
- Checklist 2 'Opslag en vervoer van leidingmaterialen en zuiveringsonderdelen' van de PCD 1-6 'Hygiëne bij werkzaamheden in de zuivering; *Werkboekje bij de 'Hygiëncode Drinkwater; Drinkwaterbereiding'*' [10].

De onder de drie eerste bullets genoemde hoofdstukken gaan in op de realisatie van reservoirs en andere constructies voor (drink)water overeenkomstig de in eerdere hoofdstukken omschreven programma's van eisen voor hygiënisch ontwerpen. De onder de laatste bullet genoemde checklist uit het werkboekje is bedoeld voor operators en monteurs van aannemers, en is ook voor de realisatie relevant.

Materialen ten behoeve van de installatie dienen te beschikken over een 'erkende kwaliteitsverklaring' volgens de 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' [2], zie § 2.2 'Publiekrechtelijke regelgeving: gezondheidkundige aspecten' van hoofdstuk 2 'Regelgeving' van PCD 14-1 [6].

5 Bedrijfsvoering

5.1 Algemeen

Voor de installatie moet een bedieningsinstructie worden opgesteld. Die moet onder meer streef- en interventiewaardes bevatten voor de bedrijfsparameters die moeten worden gecontroleerd, zoals is beschreven onder 'Bedrijfscontrole' (zie onder).

Alle bedrijfshandelingen en controles die in de volgende paragrafen worden beschreven, moeten worden vastgelegd.

De in het vorige hoofdstuk genoemde 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' [2] is ook van toepassing op de filtermaterialen. Voor gecertificeerde producten, zie <https://www.praktijkcodesdrinkwater.nl/certificatie/gecertificeerde-producten-en-processen/overzicht/#C> (calciumcarbonaat)².

5.2 Controles

5.2.1 In het kader van de reguliere bedrijfsvoering

De werking van de installatie kan worden gecontroleerd door continue meting van de pH in het effluent en de vergelijking van de gemeten waarde met de gewenste waarde van die parameter. Daarbij moet worden gelet op de verandering van de gewenste waarde voor de pH bij verschillende kwaliteiten van het ongezuiverde water. Bij enkele drinkwaterbedrijven wordt de pH gecontroleerd op het gezamenlijke filtraat of het uitgaande reinwater. Daar worden ook periodiek monsters genomen door het laboratorium voor de reguliere analyse op andere parameters. Bij gebruik van dicht calciumcarbonaat of poreus calciumcarbonaat van schelpkalk kan eventueel worden afgezien van een continue meting van de pH, omdat dit een stabiele pH oplevert.

Afhankelijk van de grootte en de mate van automatisering van de installatie moet regelmatig en bij voorkeur op het moment van filterspoelingen een controle ter plaatse worden uitgevoerd van alle onderdelen van de installatie met de volgende minimale frequenties:

- Wekelijks:
 - Controle van de pH-elektrode met bufferoplossing en eventueel kalibratie. Hierbij dient te worden opgemerkt dat moderne pH meters (op basis van KCl) veel minder verlopen. Bij drinkwaterbedrijf Vitens is standaard een pH sensor op het uitgaande reinwater beschikbaar, niet persé direct na de filtratie.
 - Controle van de volumestroom aan te behandelen water en het totale volume aan te behandelen water van de filterinstallatie en de afzonderlijke filters;
- Maandelijks:
 - Bepalen van het verbruikte filtermateriaal (de meting moet altijd onder vergelijkbare omstandigheden worden uitgevoerd) en dus de hoogte van het filterbed;
- Elk kwartaal:
 - Controle van de pH en de volumestroom van het te behandelen water, en de druk voor en na de filterspoeling;

² Ondanks het feit dat dolomiet in Nederland niet meer wordt toegepast, blijken er toch nog gecertificeerde producten van dit filtermateriaal te zijn, zie <https://www.praktijkcodesdrinkwater.nl/certificatie/gecertificeerde-producten-en-processen/overzicht/#D>

- Controle van de filterontluchting;
- Controle van de filterspoeling: compressoren (geluid), spoelwaterpomp (geluid, volumestroom, druk);
- Controle van de installatie op residuen uit de filterspoeling;
- Controle van de werking van de sputterpijp (bij droogfiltratie onder druk).

5.2.2 Controle van de installatie door deskundigen

Jaarlijks moet de installatie door deskundigen worden gecontroleerd. De controle omvat de handelingen van de reguliere bedrijfsvoering (zie boven) en tevens:

- Een analyse van resultaten van de controles in het kader van de reguliere bedrijfsvoering en de wateranalyses voor de controleperiode;
- Vaststelling van de pH, zuurcapaciteit tot pH 4,3 en basecapaciteit tot pH 8,2 in het in- en effluent van de installatie en van de evenwichts-pH en de SI in het effluent van de installatie, alsmede de pH in de effluenten van de installaties bij alle relevante bedrijfssituaties;
- De functie van meetinstrumenten, armaturen, compressoren, besturing en regeling, en overdracht van storingssignalen.

Bij afwijking moet worden onderzocht wat de oorzaak is en welke maatregelen moeten worden getroffen om die op te lossen. De controleresultaten en gevolgtrekkingen moeten in een protocol worden vastgelegd en bij de bedrijfsdocumentatie worden bewaard.

5.3 Filterlooptijd en filterspoeling

De filters worden afhankelijk van de voorkeur en ervaringen van het bedrijf gespoeld op volume, tijd of weerstand van het bed. Zie ook § 2.2 voor de ervaringen van drinkwaterbedrijf Oasen met de optimalisatie van het terugspoelprogramma in een proefinstallatie.

Als voorbeeld kan het volgende spoelprogramma worden toegepast:

- 1 – 2 min lucht;
- 5 min lucht-water;
- Schoonspoelen met water (eventueel met recirculatie van het eerste filtraat).

Tijdens de inbedrijfneming wordt het proces geoptimaliseerd. Daarbij wordt de contacttijd, looptijd en benodigde spoelfase vastgesteld. Daarnaast kan de noodzaak en de duur van de recirculatie van het filtraat voor inbedrijfneming worden vastgesteld.

5.4 Praktijkervaringen

Ontzuring met calciumcarbonaat levert een constante watersamenstelling op. De pH kan niet te hoog oplopen. Filters kunnen daardoor intermitterend worden belast en er hoeven geen speciale maatregelen te worden genomen voor het vullen en bijvullen van filters. Doorgaans wordt met calciumcarbonaat bijgevoerd als circa 10% van het filterbed is verbruikt. De pH verandert dan nauwelijks. Er is weinig toezicht en onderhoud nodig en evenmin zijn er ingewikkelde regelprocessen nodig.

In filters met calciumcarbonaat kan ontzuring goed worden gecombineerd met ontijzering, ontmanganing en nitrificatie.

Calciumcarbonaat wordt het meest toegepast in de korrelmaat 1 – 3 mm. Drinkwaterbedrijf Vitens past vaak een korrelgrootte van 2 – 3 mm toe, terwijl bijvoorbeeld Brabant Water en WMD Drinkwater wel meestal 1 – 2 mm toepassen (zie ook III). De diameter van de korrels neemt tijdens het filterproces af en kleinere korrels ontzuren sneller dan grotere. Desondanks verdient het aanbeveling om bij de zeefmaat 1,2 – 1,8 mm de eis te stellen dat het

gewicht aan korrels met de ondermaat < 1,2 mm niet meer dan 5% mag bedragen, wat overigens meestal al de standaard is. Fijnere delen worden gemakkelijk uitgespoeld en verhogen het spoelverlies [23].

Vanwege de verschillen in materiaalkwaliteit valt te overwegen bij levering direct een korrelgrootte-analyse uit te voeren. Bij zacht calciumcarbonaat kan door transport veel stof ontstaan.

Calciumcarbonaat wordt doorgaans in bulkwagens aangevoerd en opgeslagen in een voorraadsilo. Omdat bij het vullen van de silo veel stof vrijkomt, is een stoffilter op de ontluuchting noodzakelijk.

De filters worden bijgevuld door de calciumcarbonaat met water te transporteren door een vulleiding. Dit voorkomt stofvorming boven de filters [3].

Op drinkwaterproductielocatie Valtherbos (WMD Drinkwater) wordt na een instelbaar aantal spoelingen het calciumcarbonaat automatisch tijdens de volgende spoeling ingebracht. Zo gaat er geen extra spoelwater verloren en blijft het niveau van het filterbed redelijk constant.

5.5 Het vullen van filters

5.5.1 De eerste vulling

Zie ook subparagraaf 5.2.2 'Het vullen van een filter' van de praktijkcode PCD 10 op het gebied van de snelfiltratie [27].

De eerste vulling van het filter moet worden gedaan onder toezicht van deskundigen.

Vóór het vullen van het filter moet worden gecontroleerd of de filtervloer waterpas ligt (eventueel te controleren met een laagje water) en moet het functioneren van de filterdoppen worden gecontroleerd. Hiervoor wordt de filtervloer bedekt met circa 30 cm water en met spoellucht in beweging gezet. De luchtbellen moeten over het gehele filteroppervlak gelijkmatig zijn verdeeld.

Het filtermateriaal moet met drinkwater als transportmedium van bovenaf in het filter worden gebracht. Het filter moet dan al voor twee derde met water zijn gevuld.

Calciumcarbonaat moet in twee batches worden gevuld. Na het vullen van elke batch moet het filter worden gespoeld ten behoeve van het uitspoelen van calciumcarbonaat-stof.

5.5.2 Navullen

Het navullen van filtermateriaal moet worden uitgevoerd, voordat de gewenste mate van ontzuring niet meer wordt gerealiseerd. Het bij het ontwerp geraamde verbruiksvolume moet tijdens gebruik worden gecontroleerd en eventueel zodanig worden gecorrigeerd dat voor het navullen de gewenste mate van ontzuring kan worden aangehouden.

6 Onderhoud

De installatie moet regelmatig worden onderhouden volgens voorschriften van de fabrikant.

6.1 Praktijkervaringen

WMD Drinkwater heeft vier pompstations waar calciumcarbonaat wordt ingezet. De drinkwaterproductielocaties Valtherbos, Kruidhaars en Gasselte hebben dit materiaal in het voorfilter. Dit zijn onder druk bedreven droogfilters, waarbij de ingebrachte lucht bovenin het filter door het filterbed aan de onderkant wordt afgevoerd via een sputterpijp. Doel van dit calciumcarbonaat is om een verbeterde ontijzering te bewerkstelligen. Het calciumcarbonaat in Valtherbos wordt automatisch twee keer per maand aangevuld tijdens een reguliere terugspoeling. Het calciumcarbonaat in Gasselte en Kruidhaars wordt iedere zes weken handmatig bijgevuld. Het materiaal wordt aangevoerd via een leiding bovenin het filter en wordt middels een plaat verdeeld over het oppervlak. Belangrijk is dat de afsluiters goed afdichten. Bij een kleine lekkage van deze afsluiters wordt het luchtkussen van de filters verstoord, waardoor er meer natfiltratie ontstaat dan de gewenste droogfiltratie. Een aandachtspunt is het controleren van het niveau van het filterbed. Deze wordt bepaald door vanaf buiten een meetlat in het filter te steken. Dit gaat via een vastgelegde procedure, maar een kans op verontreiniging is aanwezig, zeker bij filters die buiten staan opgesteld. Tot nu toe zijn er geen problemen mee geweest. Het bijvullen met calciumcarbonaat gebeurt vanuit een voorraadsilo. Van hieruit wordt batchgewijs een kleine buffer gevuld en vervolgens met water naar de filters getransporteerd.

Drinkwaterproductielocatie Dalen (WMD Drinkwater) heeft calciumcarbonaat in het nafilter om vooral de concentratie aan waterstofcarbonaat te verhogen (SI). Op deze locatie wordt het calciumcarbonaat vanuit een vrachtwagen in een silo gebracht op hoog niveau. Ongeveer vier keer per jaar worden vanuit deze silo de nafilts onder gravitatie bijgevuld.

Bij drinkwaterbedrijf Vitens betreft het onderhoud uitsluitend het bijvullen van de filters met calciumcarbonaat. Bij de toepassing van onthardingskorrels blijft uiteindelijk wel entzand boven in het filter achter. Uiteindelijk zou dit na opspoelen moeten worden afgeschept.

De bedrijfsvoering is erg robuust en behoeft hetzelfde onderhoud als bij een zandfilter. Dit is met name afhankelijk van de watermatrix (vooral ijzer). Het enige verschil met zand is dat periodiek calciumcarbonaat moet worden bijgevuld.

7 Literatuur

- [1] Staatsblad 2011: 'Drinkwaterbesluit' van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011
vigerende versie: Drinkwaterbesluit
- [2] Staatscourant van 29 juni 2011: 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening', nr. 11911, 18 juli 2011
Staatscourant van 21 april 2017: 'technische aanpassingen 2017', 1 juli 2017
vigerende versie: Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening
- [3] Reijnen, G.K. (1988): 'Ontzuren van grondwater', Mededeling 101, KIWA, Nieuwegein
- [4] Reijnen, G.K. (1976): 'Ontzuren van water met behulp van dolomitisch filtermateriaal', Mededeling 47, KIWA, Rijswijk
- [5] DVGW (2019): 'Entsäuerung von Wasser – Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen', Arbeitsblatt W 214-2, juli 2019, Bonn
- [6] Meerkerk, M.A., en Siegers, W.G. (2019): 'Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater; *Deel 1: Algemeen*', praktijkcode PCD 14-1, KWR Water Research Institute, Nieuwegein (in voorbereiding)
- [7] Oosterholt, F.I.M.H., en Meerkerk, M.A. (2015): 'Hygiënerichtlijnen ontwerp, bouw en renovatie van installaties voor de drinkwaterbereiding', praktijkcode PCD 1-8, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [8] Meerkerk, M.A. (2019): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 1: Algemeen*', praktijkcode PCD 4-1, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [9] Meerkerk, M.A. (2019): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 2: Beton*', praktijkcode PCD 4-2, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [10] Meerkerk, M.A. (2018): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 3: Metalen en kunststoffen*', praktijkcode PCD 4-3, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [11] Oosterholt, F.I.M.H., en Meerkerk, M.A. (2018): 'Hygiëne bij werkzaamheden in de zuivering; *Werkboekje bij de 'Hygiëncode Drinkwater; Drinkwaterbereiding'*', praktijkcode PCD 1-6, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [12] Gude, J.C.J. (2010): 'Conditioning of Aggressive Water', afstudeerscriptie, TU Delft, Delft
- [13] Reijnen G.K. (1978): 'Advies met betrekking tot een nieuw zuiveringsproces op pompstation Wezep'. KIWA adviesrapport, archief KWR.
- [14] Moel, P.J., Verberk, J.Q.J.C., en Dijk, J.C. van (2012): 'Drinkwater – principes en praktijk', Water Management Academic Press, Delft
- [15] Gude, Jink, Schoonenberg-Kegel, Frank, Dijk, Hans van, en Moel, Peter de (2011): 'Wordt ons drinkwater minder agressief?', H₂O, 2011-08, p 33-36

- [16] Vogel, A.N.G. de (1975): 'Ontzuring van water met dolomitisch filtermateriaal', rapport SW-137, KIWA, Rijswijk
- [17] Reijnen, G.K. (1975): 'Ontzuring van water met dolomitisch filtermateriaal', rapport SW-146, KIWA, Rijswijk
- [18] Reijnen, G.K., Brink, H. (1997): 'Kalksteenfiltratie pompstation Heumensoord (NUON water)', rapport KOA 97.100, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein
- [19] Reijnen, G.K. (1984): 'Ontzuren met kalksteen op pompstation Epe', rapport SWI 84.195, Kiwa, Nieuwegein
- [20] Stichting Wateropleidingen (2020): 'Actuele Zuiveringstechnieken bij Drinkwaterbereiding', cursusboek, versie 5.2, Nieuwegein
- [21] Reijnen, G.K. (1979): 'Marmerontzuring, een oud proces met nieuwe perspectieven', rapport SWI 215, KIWA, Rijswijk
- [22] Reijnen, G.K. (1980): 'Conditionering van water door middel van filtratie over marmer', H₂O, 13^e jaargang, nummer 25, pagina 618 – 621
- [23] Paassen, J.A.M. van, en Reijnen, G.K. (1981): 'Het vergelijken van de ontzuringssnelheid van enige kalksteensoorten en onthardingspellets', rapport SWI 372 Kiwa, Nieuwegein
- [24] Oosterholt, F.I.M.H. en Meerkerk, M.A. (2018): 'Hygiënecode Drinkwater; *Drinkwaterbereiding*', praktijkcode PCD 1-3:2018, **KWR Water Research Institute**, Nieuwegein
- [25] Ghanbari S. (2018): 'Pilot study and modeling of remineralization of low-temperature desalinated water by calcite filtration', afstudeerscriptie, Technische Universiteit Delft, Delft
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A358ae86f-6dd7-4f35-aa79-7e0eef41bad0>
- [26] Rijnbach, J. van (2020): 'Onderzoek naar terugspoelregime calcielfilter. Ten behoeve van een nieuwe drinkwaterzuivering Kamerik', stageverslag Hogeschool Utrecht, archief Oasen, Gouda
https://hbo-kennisbank.nl/details/sharekit_hu:oai:surfsharekit.nl:7a0a53b3-a5eb-4539-b7c7-096a251520e3?q=Calcielfilter&has-link=yes&c=0
- [27] Meerkerk, M.A., en Siegers, W.G. (2018): 'Snelfiltratie in open filters; *Snelfilters onder atmosferische druk in gesloten gebouwen*', praktijkcode PCD 10:2018, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [28] Slaats, P.G.G., Meerkerk, M.A., en Hofman-Caris, C.H.M. (2013): 'Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater; Kiwa-Mededeeling 100 – Update 2013', rapport KWR 2013.069, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [29] Houwelingen, G. van, Laan, H. van der, Cornelisse, E., en Harmsen, D. (2019): 'Onderzoek naar remineralisatie; Remineralisatie en remineralisatietechnieken', TKI-rapport KWR 2019.049, KWR Water Research Institute, Nieuwegein

I Begrippen en definities

Noodzakelijke contacttijd

De noodzakelijke contacttijd (min) is de contacttijd die nodig is om de gewenste mate van ontzuring te bereiken. Een opmerking hierbij is dat die tijd mede afhankelijk is van de temperatuur.

De noodzakelijke contacttijd is nodig voor het berekenen van het noodzakelijke (minimale) volume van de filterbed. De contacttijd moet minstens 5 min zijn. De daadwerkelijke contacttijd mag en kan langer zijn dan de noodzakelijke contacttijd. Wanneer de noodzakelijke contacttijd niet wordt gehaald, wordt de gewenste mate van ontzuring niet bereikt.

Noodzakelijke volume

Het noodzakelijke volume is het volume van de filterlaag (m^3) dat nodig is om het ontzuringsdoel te bereiken in de noodzakelijke contacttijd.

Specifiek praktisch verbruiksvolume

Het specifiek praktisch verbruiksvolume is het volume van de filterlaag (cm^3/m^3) dat in de praktijk door $1 m^3$ water wordt verbruikt voor het bereiken van het ontzuringsdoel.

Het specifieke praktische verbruiksvolume houdt rekening met:

- Het stoichiometrische verbruik door chemische reactie;
- Het materiaalverlies bij filterspoeling (fijnkorrelig);
- Onoplosbare bestanddelen van het filtermateriaal die bij de spoeling meekomen.

Specifiek stoichiometrische verbruiksvolume

Het specifiek stoichiometrische verbruiksvolume is het volume van de filterlaag V_{stoich} (cm^3/m^3) dat door $1 m^3$ water wordt verbruikt voor het bereiken van het ontzuringsdoel door de chemische reactie.

Verbruiksvolume

Het verbruiksvolume is het volume van de filterlaag V_{verbr} in m^3 dat wordt verbruikt tussen twee navullingen bij nakoming van het ontzuringsdoel.

II Voor deze praktijkcode relevante normen

NEN-EN 1017:2014+A1:2017: 'Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Dolomiet (half gebrand)' d.d. 1 juli 2017

NEN-EN 1018:2013+A1:2015: 'Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Calciumcarbonaat' d.d. 1 maart 2015

NEN-EN 12485:2017: 'Chemicaliën voor behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie – Calciumcarbonaat, zuiver kalksteen met extreem hoog calciumgehalte en halfgebrande dolomiet – Beproevingmethoden' d.d. 1 augustus 2017

III Praktijkgegevens voor filtratie bij enkele Nederlandse drinkwaterbedrijven en Pidpa

Zie de navolgende tabel. Daarbij wordt erop gewezen dat de concentraties ijzer en mangaan volgens de laatste twee kolommen concentraties in het influent van een filter betreffen.

Vitens locatie	Plaats in de zuivering	CaCO ₃ (type)	diameter (mm)	bedhoogte (m)	Vf (m/h)	ijzer (mg/l)	mangaan (mg/l)
Amersfoortseweg	SB-MF	gebroken marmer	2-3 mm	2	2-6	0,3-1,2	0,06-0,20
Boele	MF	gebroken marmer	2-3 mm	3	4-6	0,4-0,8	0,04-0,07
Driebergen	O2-MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	2,2	3-7	0,03-0,1	0,02-0,11
Ellecom 1	MF-ND	gebroken marmer	2-3 mm	2	5-14	0,2-1,3	0,15-0,25
Ellecom 2	ND						
Havelterberg	ND-SB-MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	2,3	6-12	1-2,2	0,10-0,13
Heumensoord	SB-MF	gebroken marmer	2-3 mm	3	4-10	1,8-2,5	0,10-0,25
Hoenderloo	SB-MF	gebroken marmer	2-3 mm	3	2-5	0,01-0,20	0,1
La Cabine	MF	gebroken marmer	2-3 mm	3	4-15	0,02-0,10	0,02-0,04
Leersum	MF	onthardingskorrels	ca. 1,2 mm	2	15-20	0,14-0,5	0,02-0,05
Nijverdal	SB-MF	onthardingskorrels	ca. 1,2 mm		5-27	0,05-0,4	0,02-0,04
Oosterbeek	MF	gebroken marmer	2-3 mm	2,5	2-9	0,08-0,12	0,05-0,07
Pinkenberg	MF	gebroken marmer	2-3 mm	3	4-20	0,01-0,03	0,01
Rhenen	SB-MF	gebroken marmer	1-2 mm	2	3-5	1-2,5	0,11-0,22
Schalterberg	SB-MF	gebroken marmer	2-3 mm	2,3	2-8	0,07-0,13	0,07-0,16
Zeist	TB-MF-KF	gebroken marmer	1-2 mm	2	6-11	1-1,5	0,3-0,45
WMD locatie							
Dalen**	CB-VF-TB _R -MF	gebroken marmer	1,2 - 1,8 mm	2	2,5 - 6,3	< 0,01 - 1	0,3 - 0,5
Gasselte***	CB/SB-MF-SB-NF	gebroken marmer	1,2 - 1,8 mm	2 / 1,3	15,3 / 6	5 - 9,5	0,2 - 0,5
Kruidhaars****	CB-MF-ONZ-NF	gebroken marmer	1,2 - 1,7 mm	2	12 - 16	9 - 14	0,3 - 0,45
Valtherbos****	CB-MF-AS-NF	gebroken marmer	1,2 - 1,7 mm	2,5	11	11 - 25	0,4 - 0,9
Brabant Water locatie							
Budel	TB - MF	gebroken marmer	1-2 mm	2,4	3,5 - 7	2,5	0,055
Luyksgestel	VB - FD - MF	gebroken marmer	1-2 mm	2,5	3,5 - 8	2,5	0,05
Vessem	SB - MF - MF	gebroken marmer	1-2 mm	2	3,5 - 6	12,3	0,33
		gebroken marmer	1-2 mm	1,5	4,2 - 7,2	< 0,015	< 0,001
WML locatie							
Plasmolen	Cascade - MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	2	2-6	0,66	0,006
Schinveld	SB- MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	3	4-8	0,5	0,005
Groote heide	SB- MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	1,5- 2	4-6	3,3	0,15
Bergen	SB- SF-SB-MF-SB-MF	gebroken marmer	1,4-2,0 mm	1,5- 2	3-5	15	0,824
	SB = sproeibeluchting						
	O2 = zuurstofdosing						
	TB = torenbeluchting						
	MF = marmerfiltratie						
	ND = NaOH-dosing						
	KF = koelfiltratie						
	CB = compressorbeluchting						
	TB _R = torenbeluchting met instelbare by pass CO ₂						
	ONZ = ontzuring						
	AS = Airstrippers						
	¹⁾ het betreft hier de gegevens van het marmerfilter (en Fe en Mn = concentratie die op het marmerfilter komt)						
	**de marmer(na)filters van Dalen zijn atmosferische nafilts						
	***de marmer(voor)filters van Gasselte zijn deels drukfilters en deels atmosferische filters						
	****) Kruidhaars en Valtherbos; druk, droog marmerfiltratie						

IV Samenvatting thesis Sara Ghanbari (Oasen)

Titel thesis: Pilot study and modeling of remineralization of low-temperature desalinated water by calcite filtration

The possible increase of organic micropollutants in source water, including traces of medicines, pesticides, and industrial by-products, poses several challenges. It is expected that the conventional treatment of drinking water will not ensure a reliable enough quality in the future. Because of this, Oasen has started to research a new treatment concept in the past few years. Based on 100% reverse osmosis (RO) membrane filtration, it aims to provide an excellent barrier for organic micropollutants. However, the water produced by the RO membranes, called permeate, is corrosive, bitter in taste, and does not comply with the drinking water regulation standards in the Netherlands. To solve these problems and to improve the water quality, a certain degree of remineralization is crucial. A commonly used remineralization process is to filter the desalinated water through a calcite contactor, which adds the right amount of bicarbonate and calcium to the water. In order to properly design and operate the calcite filters as well as to predict the final water quality, it is essential to understand the processes that occurs within the filter. The aim of this study was to find the best kinetic calcite dissolution model to understand the behavior of the calcite grain dissolution inside the filter and subsequently to adequately design and operate a calcite filter. Therefore, an extensive pilot study was conducted to investigate the effects of various parameters on calcite dissolution, such as the calcite grain size, velocity, and carbon dioxide concentration. On top of that, the dissolution was modeled based on a successful empirical expression by Yamauchi et al. (1987). However, it was found that the effect of the flow rate on the diffusion boundary layer encompassing the calcite grains had not been taken into account in the study by Yamauchi et al. (1987). Therefore, the effect of velocity on the calcite dissolution coefficient was investigated at five different velocities: 5, 10, 15, 20, and 30 m/h. A function was then developed to describe the correlation between the flow rate and the dissolution rate coefficient. In order to calculate the equilibrium concentration, the chemical reactions were simulated using PhreeqPython (Phreeqc built in Python). The main difference of this study compared to previous studies is the lower temperature of the water (12 °C vs. 22-40 °C) and the smaller sizes of the calcite grains (0.5-1.2 mm and 1-2 vs. 2-3 mm) that were tested. Besides this, a broad range of CO₂ dosing (1.45-9.5 mmol/l) was tested. As relevant theories gave reason to expect, the dissolution rates were strongly affected by the various parameters. A conclusion can be drawn: the smaller grain size of 0.5-1.2 mm reduces the required empty bed contact time (EBCT) to 15 minutes, whereas operating the filter with the larger grain size of 1-2 mm requires a minimum EBCT of 25 minutes to reach calcite equilibrium. The CO₂ dosing is recommended to be less than 3 mmol/l, since the CO₂ efficiency will drop below the desired 60% at higher concentrations of CO₂. Eventually, the optimal design will be introduced for the remineralization process at Oasen treatment plant "De Hooge Boom" located in Kamerik. For this purpose, various operational scenarios were compared on their capital and operational costs. The overall cost, including both Capital Expenditure (CAPEX) and Operational Expenditure (OPEX), was estimated to be between € 0.048 and € 0.064/m³ for different scenarios. 71% of this amount consists of investment costs. The total treatment cost of this design is €0.057/m³ while the investment cost was found to be € 1,351,000 or 32% less than the price estimated by a previous study done by Oasen.