

KWR PCD 14-2 | oktober 2020

Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater

*Deel 2: Verwijdering van kooldioxide
door middel van beluchting*

Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater

Deel 2: Verwijdering van kooldioxide door middel van beluchting

KWR | PCD PCD 14-2 | 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 14-2 | 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 (PCD 14-1 [5]), waarnaar wordt verwezen. Daarin is ook een korte introductie opgenomen.

Voor wat betreft dit tweede 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 beluchting ten behoeve van de bereiding van drinkwater.
- **Bronmateriaal**
Als uitgangspunt voor de totstandkoming van deze praktijkcode zijn vooral genomen:
 - Hoofdstuk 3 'Ontzuren door ontgassen' van de Kiwa-Mededeling 101 'Ontzuren van grondwater' [3];
 - De Nederlandse vertaling van het Duitse werkblad W 214-3 'Entsäuerung von Wasser; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur Ausgasung von Kohlenstoffdioxid' [4];
 - Het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [13];
 - Het afstudeerverslag 'Modellering van intensieve gasuitwisselingssystemen' [14].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 beluchting van drinkwaterbedrijven zijn in deze praktijkcode verwerkt.
- **Begrippen**
In deze praktijkcode gehanteerde specifieke begrippen met hun bijbehorende omschrijving zijn opgenomen in bijlage I.
- **Benaming**
In de subtitel van deze praktijkcode is de benaming van de zuiveringsstap volledig geschreven: verwijdering van kooldioxide door middel van beluchting. In het verdere van dit document zal vrijwel uitsluitend 'beluchting' worden gehanteerd, waarbij deze verwijdering wordt bedoeld. Als een andere zuiveringsstap wordt bedoeld voor de verwijdering van kooldioxide, dan wordt dit als zodanig omschreven.

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

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)

Waternet

geen

WMD Drinkwater

Simon Dost

WML

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	8
1.1 Introductie beluchting	8
1.2 Theorie van beluchting	8
1.3 Toepassingsgebied en doel	9
1.4 Leeswijzer	9
2 Uitvoeringsvormen beluchting	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Beschrijving	10
2.2.1 Torenbeluchting	10
2.2.2 Versproeiing	16
2.2.3 Cascade- of watervalbeluchting	18
2.3 Keuze van een uitvoeringsvorm	20
2.3.1 Bepalende factoren	20
2.3.2 Experimenten	20
2.3.3 Keuze van het beluchtingssysteem	20
3 Ontwerpeisen	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Eisen	23
3.2.1 Algemeen	23
3.2.2 Methodespecifiek	24
3.2.3 Luchtbehandeling	25
3.2.4 Meet- en regelapparatuur	25
3.3 Proefinstallatieonderzoek	26
4 Realisatie	27
5 Bedrijfsvoering	28
5.1 Algemeen	28
5.2 Controle	28
5.2.1 Bedrijfscontrole	28
5.2.2 Controle van de installatie door deskundigen	28
5.2.3 Bedrijfservaringen	28
6 Onderhoud	30
6.1 Torenbeluchting	30
6.2 Versproeiing	31
6.3 Cascade- of watervalbeluchting	31
7 Literatuur	32
I Begrippen en definities, en afkortingen	34

II	Praktijkgegevens van BOTs bij enkele Nederlandse drinkwaterbedrijven en Pidpa	35
III	Onderzoek op Fledite naar de verwijdering van kooldioxide bij verschillende pH-waarden	41
IV	Gestandaardiseerde BOT Brabant Water	42

1 Inleiding

1.1 Introductie beluchting

Voor het ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater is een drietal methoden of zuiveringsstappen beschikbaar, die zijn beschreven in het eerste deel van de serie praktijkcodes PCD 14-1 'Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater; Deel 1: Algemeen' [5]. Dit tweede deel heeft betrekking op de verwijdering van kooldioxide door middel van beluchting. Voor de relevante regelgeving op het gebied van ontzuren en de selectie van een methode wordt verwezen naar het genoemde eerste deel van de serie (respectievelijk de hoofdstukken 2 en 3).

Voor een algemene beschrijving van de beluchting ten behoeve van de ontzuring wordt verwezen naar het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [13] en dan in het bijzonder de onderdelen § 4.5 'Beluchting en ontgassing' en § 4.7 'Ontzuring' van hoofdstuk 4 'Zuivering van grondwater' van de module 'Grondwater' (pagina 263 en verder). Voor een introductie daarop wordt § 2.4 'Intensieve gasuitwisselingssystemen' van hoofdstuk 2 'Gassen in water' van [14] genoemd.

1.2 Theorie van beluchting

De theoretische aspecten op het gebied van de beluchting 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]
Hoofdstuk 3 'Ontzuren door ontgassen' en dan vooral de paragrafen 3.1 'Inleiding' en 3.2 'Theorie van de ontgassing'. In laatstgenoemde paragraaf wordt weer doorverwezen naar andere bronnen: [17, 19, 16].
- Het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [13]:
 - De paragrafen 3.4 'Gassen in water', 3.5 'Zuur-base reacties in water', 3.6 'Kalk-koolzuur evenwichten in water' en 3.7 'Redox-reacties in water' van hoofdstuk 3 'Water – fysisch, chemisch' van de module 'Waterkwaliteit' (pagina 238 – 244);
 - § 4.5 'Beluchting en ontgassing' van hoofdstuk 4 'Zuivering van grondwater van de module 'Grondwater' (pagina 285 – 292);
- Het afstudeerverslag 'Modellering van intensieve gasuitwisselingssystemen' [14]:
 - Hoofdstuk 3 'Theorie van de gasoverdracht' (pagina 11 – 21);
 - Hoofdstuk 4 'Modellering van gasuitwisselingssystemen' (pagina 22 – 42);
 - Bijlage 1: 'Theorie van de pH verandering door gasuitwisseling';
 - Bijlage 2: 'Lineaire interpolatie voor de bepaling van k_D waarden';
 - Bijlage 3: 'De constante van Henry';
 - Bijlage 4: 'Ableiding van de uitdrukking voor de gasmassastroom in water';
 - Bijlage 5: 'Normaal debiet';
 - Bijlage 6: 'Het specifiek oppervlak'.
- Overige te gebruiken literatuur:
 - Dictaat 'Aeration and Gas transfer' [18];
 - Meerdere praktijk artikelen, zie hoofdstuk 7 'Literatuur'.

1.3 Toepassingsgebied en doel

Deze praktijkcode is van toepassing op het ontzuren van water door middel van beluchting voor de verwijdering van kooldioxide, om te voldoen aan de eisen die in Nederland worden gesteld aan de parameters zuurgraad en Saturatie Index (SI): $7,0 < \text{pH} < 9,5$ pH-eenheden respectievelijk $> -0,2$ pH-eenheden. 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 of de ontzuring van hard water tot boven de evenwichts-pH. In deze praktijkcode wordt niet ingegaan op andere processen die vaak parallel aan de verwijdering van kooldioxide door middel van beluchting plaatsvinden (bijvoorbeeld het verwijderen van waterstofsulfide, methaan, vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen en het toevoegen van zuurstof).

Installatietechnische details die geen of slechts een indirecte invloed hebben op de zuiveringsstap beluchting (verwijdering van kooldioxide) 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 beluchting.

1.4 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk komt eerst een hoofdstuk over de technische uitvoeringsvorm (installatie) van de beluchting van water aan de orde (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt vervolgens ingegaan op het ontwerpen van beluchtinstallaties. Hoofdstuk 4 gaat in op de realisatie daarvan met inbegrip van de inbedrijfneming. De bedrijfsvoering van installaties voor de beluchting 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 Uitvoeringsvormen beluchting

2.1 Inleiding

In praktisch alle installaties voor het zuiveren van grondwater wordt water in contact gebracht met lucht om er zuurstof in te brengen. Deze beluchting heeft meestal tot gevolg dat ook een deel van het daarin aanwezige kooldioxide wordt verwijderd. De verwijdering is doorgaans gewenst, omdat dankzij de daardoor veroorzaakte pH-verhoging de verschillende zuiveringsprocessen (waaronder oxidatieprocessen) sneller verlopen. Wanneer een lage restconcentratie kooldioxide van belang is om de zuurgraad van het drinkwater zo dicht mogelijk op de gewenste waarde te brengen (de optimale samenstelling van het te bereiden drinkwater), is een intensieve beluchting nodig. Algemeen wordt gesteld dat het verwijderingsrendement voor in water opgelost kooldioxide afhankelijk is van het kalk-koolzuurevenwicht. Daarnaast kan er nalevering van kooldioxide plaatsvinden door de oxidatie van ijzer in het geval van grondwater. In dit hoofdstuk worden enkele systemen besproken die gangbaar zijn in de praktijk van de bereiding van drinkwater uit grondwater in Nederland en Vlaanderen. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de systeemkeuze (uitvoeringsvorm).

2.2 Beschrijving

Met name § 4.5 'Beluchting en ontgassing' van hoofdstuk 4 'Zuivering van grondwater' van de module 'Grondwater' (pagina 285 – 292) in het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' [13] gaat over het verhogen van de concentratie zuurstof en het verwijderen van opgelost(e) kooldioxide, methaan, waterstofsulfide en vluchtige organische stoffen. De verschillende technische mogelijkheden van de aeratie passeren de revue. De uitvoeringsvorm van de beluchting wordt voor een belangrijk deel bepaald door de aard en hoeveelheid van de gassen die moeten worden verwijderd. Voor kooldioxide gaat het om:

- Torenbeluchting (pagina 291) bij de verwijdering van een relatief grote hoeveelheid kooldioxide;
- Versproeiing (pagina 287) bij de verwijdering van een relatief matige hoeveelheid kooldioxide;
- Cascade- of watervalbeluchting (pagina 288) bij de verwijdering van relatief weinig kooldioxide.

Plaatbeluchting wordt niet specifiek toegepast voor de verwijdering van kooldioxide en wordt derhalve niet behandeld.

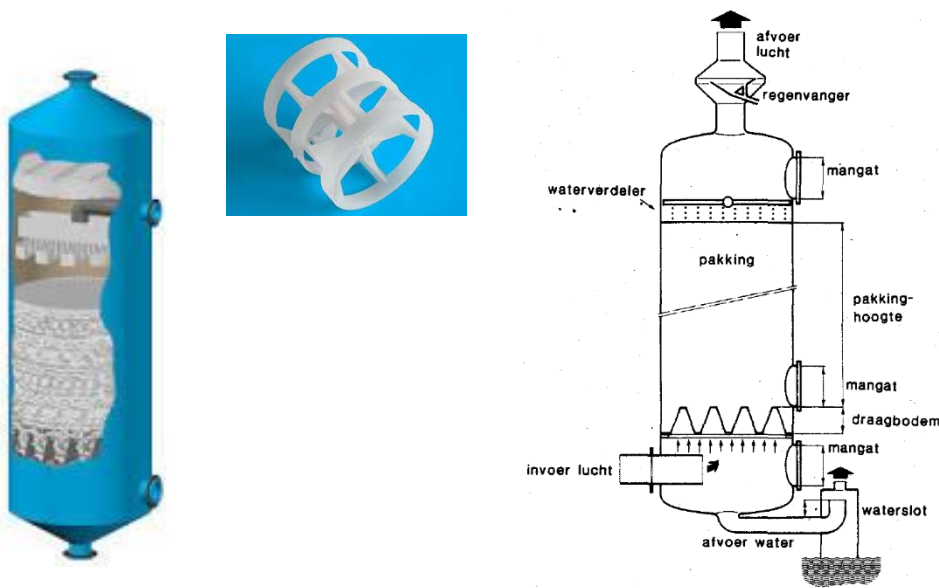
In de navolgende subparagrafen wordt volstaan met een korte technische beschrijving en fotomateriaal. Voor achtergrondinformatie en de voor- en nadelen van de drie methoden wordt verwezen naar de vermelde bronnen.

2.2.1 Toreneluchting

Een beluchtingstoren (afgekort als 'BOT', Beluchting- en OntgassingsToren) bestaat uit een toren van staal of kunststof materiaal, die is gevuld met een pakking. Deze pakking kan bestaan uit speciaal materiaal zoals 'Pall-ringen', 'bed saddles' of alternatief materiaal zoals grind of stukken PVC buis². Boven in de toren wordt het water via een waterverdeler verdeeld over de pakking, waarna het over het oppervlak van het pakkingmateriaal naar beneden stroomt (zie **Error! Reference source not found.**). Door de stroming van het water over dat oppervlak ontstaat een groot contactoppervlak tussen lucht en water voor de uitwisseling van gassen. Tevens druppelt het water van het ene onderdeel van de pakking naar het volgende, zodat continu nieuwe druppels worden gevormd en het uitwisselingsoppervlak wordt vernieuwd. De lucht kan worden ververst door natuurlijke of geforceerde ventilatie (met behulp van een ventilator). Als er een ventilator wordt gebruikt, kan de lucht door de toren worden gevoerd in mee-, tegen- of (minder gebruikelijk) kruisstroom [14].

² Zo wordt bijvoorbeeld door drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater het handelsproduct 'LANPAC-XL[®]' toegepast.

In **Error! Reference source not found.** wordt een voorbeeld gegeven van een BOT met Pall-ringen, met een schematische weergave (zie bijlage IV voor een technische tekening van een gestandaardiseerde BOT zoals drinkwaterbedrijf Brabant Water deze toepast). Voor de verschillen tussen de mogelijke pakkingmaterialen van de BOT wordt verwezen naar genoemde literatuurbron [14].



Figuur 2-1 Voorbeeld van een vulling van een beluchtingstoren met Pall-ringen [Pallrings.co.uk] en een schematische weergave van een BOT [3].

Voor de bouwhoogte van een BOT geldt over het algemeen dat deze om praktische redenen ongeveer 2 m hoger is dan de bedhoogte door inbeslagneming van ruimte door mangaten, toevoerleidingen, verdeelplaat enzovoort (zie Figuur 2-1). Verder wordt het bed door een bodemplaat ondersteund, die tegelijkertijd voor luchtverdeling zorgt. De bedhoogte wordt bij het ontwerp bepaald door de minimale EBCT (Empty Bed Contact Time) en maximale filtratiesnelheid. Het hoger maken van het bed kan mogelijk nadelig zijn vanwege de kans op verstopping van de Pall-ringen door biologische methaanvervuiling. In principe wordt de benodigde hoogte voor de juiste verwijdering van tevoren berekend. Er wordt aangenomen dat voor een BOT die wordt belast met ruwwater een pompfase na de BOT niet wenselijk is in verband met het stuk slaan van de gevormde ijzervlokken door de pomp [14]. Bij voorkeur wordt de koppeling met de nafilts uitgevoerd met een zo kort mogelijke leiding. Deze leiding groeit namelijk aan met ijzer wat leidt tot extra onderhoud. Drinkwaterbedrijf WML heeft metingen gedaan met en zonder pomp en vond geen meetbare verandering van het ontijzeringsproces (mondelijke mededeling WML). De BOT zou bij gebruik zonder pompfase in dit geval boven de voorfilters moeten zijn geplaatst. Het probleem van het stukslaan van vlokken is niet aanwezig bij BOTs die specifiek worden gebruikt voor de verwijdering van kooldioxide ten behoeve van een ontharding of wanneer die uitsluitend worden ingezet voor de verwijdering van vluchtige koolwaterstoffen, zoals trihalomethanen [14].

Voor een efficiënte werking van de BOT is een goede waterverdeling over de volledige doorsnede van het bed belangrijk. Door de grote open structuur zorgen de meeste pakkingmaterialen zelf voor een horizontale waterverdeling. In het geval van tegenstroombeluchting vindt er bovendien door de tegendruk van de lucht een spreiding van het water in horizontale richting plaats. Dit effect treedt niet op bij meestroombeluchting. De belangrijkste factor voor een goede waterverdeling is de manier waarop het water op het gepakte bed wordt gebracht. Dit wordt gedaan met behulp van een waterverdeler. Er zijn verschillende onderzoeken geweest naar de

invloed van het aantal stralen op het verwijderingsrendement. Uit die onderzoeken is naar voren gekomen dat er een goede waterverdeling in het bed ontstaat bij 40 tot 100 stralen per vierkante meter [14]. Verder bleek dat bij een kolomdiameter kleiner dan 1,2 m het aantal stralen per vierkante meter groter moet zijn. Bij een kleiner aantal stralen komt het water met teveel kracht en snelheid op het pakkingmateriaal zodat het niet direct wordt verdeeld, maar eerst in stralen in het bed verder valt. In praktijkinstallaties zijn tot enige tientallen centimeters in het gepakte bed doorvallende stralen waargenomen. Het gevolg hiervan is dat het bovenste stuk van het bed veel minder bijdraagt aan de gasuitwisseling dan de rest. Een waterverdelers die het totale debiet in meer stralen opdeelt, zou dus leiden tot een hoger verwijderingsrendement of tot verlaging van het gepakte bed bij gelijkblijvend verwijderingsrendement.

BOT's zijn uitgerust met een ventilator die de lucht door de toren blaast of door de toren zuigt. De ventilator die de lucht in de toren blaast, kan zo worden geplaatst dat er een situatie van meestroom of tegenstroom ontstaat. Er is altijd aangenomen dat lucht in tegenstroom een hoger verwijderingsrendement geeft dan lucht in meestroom. Bij drinkwaterbedrijf Brabant Water is dit nooit als zodanig vastgesteld. Bij meestroombeluchting kunnen grotere oppervlaktebelastingen worden toegepast tot wel enkele honderden m^3 water per m^2 per uur (ook wel uitgedrukt in snelheid, in m/h)³. Bij tegenstroombeluchting is dit niet mogelijk, omdat er dan in de toren een waterkolom zou kunnen ontstaan ('flooding'). Een ordegrootte van de maximale belasting is lastig aan te geven. Die hangt ook af van de luchtstroom naar boven (bij verwijdering van trihalomethanen is meer lucht nodig (1:50) en daardoor is uitsluitend een lagere belasting mogelijk vanwege de kans op flooding). Het rekenprogramma RAPSODY™ geeft aan als er flooding zou ontstaan. Bij meestroom kan meestal een kleinere en dus goedkopere ventilator worden geïnstalleerd vanwege de lagere weerstand van de lucht door de kolom. Mogelijk kan de verwijdering van kooldioxide te hoog zijn bij tegenstroombeluchting, waardoor in dat geval beter kan worden gekozen voor meestroombeluchting. Door toepassing van meestroombeluchting zal het verwijderingsrendement voor methaan en zuurstof niet sterk worden beïnvloed, maar voor het verwijderingsrendement voor kooldioxide is dat wel het geval.

In een BOT kan vervuiling optreden als gevolg van afzettingen van ijzerhydroxide en biomassa, maar dat is afhankelijk van de waterkwaliteit. Als dit fenomeen optreedt, is afhankelijk van de kwaliteit van het ruwe water een terugspoelbare BOT gewenst. Dit kan met water en/of met water en lucht. Naast het spoelen kan het pakkingmateriaal eventueel extern worden gereinigd.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de BOT en overwegingen voor de keuzes wordt verwezen naar [14] en [13].

2.2.1.1 Procesgegevens en eigenschappen: meestroom

Procesgegevens

De oppervlaktebelasting kan worden toegepast tot enkele honderden $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. In de praktijk varieert de toegepaste oppervlaktebelasting tussen 80 – 120 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Dit is afhankelijk van de lucht-waterverhouding en de daarbij optredende luchtweerstand. De lucht-waterverhouding varieert tussen 20 – 40 Nm^3 lucht/ m^3 water (drinkwaterbedrijf Brabant Water houdt hiervoor maximaal 10 Nm^3/m^3 aan). De lucht-waterverhouding wordt berekend of op basis van ervaring bepaald en is afhankelijk van de bedhoogte en van de aard en concentratie van de stof die moet worden verwijderd. Cis-1,2-dichlooretheen vraagt bijvoorbeeld een andere lucht-waterverhouding dan methaan. Bij drinkwaterbedrijf Vitens wordt uitsluitend voor de verwijdering van kooldioxide een waarde iets boven 10 Nm^3/m^3 gehanteerd (zie tabel in II), bij een combinatie met de verwijdering van trichlooretheen ligt deze waarde duidelijk hoger.

Eigenschappen

³ Ter informatie: Brabant Water ontwerpt op een maximum snelheid van 100 - 120 m/h , bij Oasen is dit meer in de orde grootte van 60 – 80 m/h en bij Vitens gaat het bij de verwijdering van kooldioxide om 100 – 125 m/h .

Wanneer relatief snel vervuiling van het gepakte bed optreedt, is een grof en goed te verwijderen pakkingmateriaal aan te bevelen. In het geval ook bacterieslib wordt gevormd (methaan), is reiniging moeilijk te realiseren. Vervangen of verwijderen en extern reinigen van het pakkingmateriaal kan dan nodig zijn. De vervuiling is wellicht te beperken door frequent spoelen met lucht en water. Een betrekkelijk 'open' pakkingmateriaal zoals Pall-ringen heeft minder luchtweerstand dan bijvoorbeeld buisstukken.

De verwijdering van kooldioxide is te verbeteren door:

- Het verhogen van de lucht-waterverhouding (tot 80% verwijdering)
Ook een verwijdering tot juist 90% onder optimale omstandigheden is realiseerbaar (bijvoorbeeld air stripper van drinkwaterproductielocatie Leggeloo van drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater). Deze heeft weliswaar een extreem hoge lucht-waterverhouding (maximaal 120), maar bij een lucht-waterverhouding van 40 (de grens die hierboven is aangegeven) bedraagt de verwijdering van kooldioxide circa 90% (zie Figuur 2-2). Daarin is te zien dat de verwijdering boven een lucht-waterverhouding van 35 – 40 snel afvlakt.
- Het verhogen van de bedhoogte tot 3 m
Verdere verhoging heeft doorgaans weinig effect, omdat de lucht-waterverhouding de beperkende factor is. Het verminderen van de verwijdering van kooldioxide bij gelijkblijvende verwijdering van methaan kan worden gerealiseerd door het verlagen van de lucht-waterverhouding. Ook de toepassing van recirculatie van een groot deel van de lucht is een mogelijkheid [3].

2.2.1.2 Procesgegevens en eigenschappen: tegenstroom

Procesgegevens

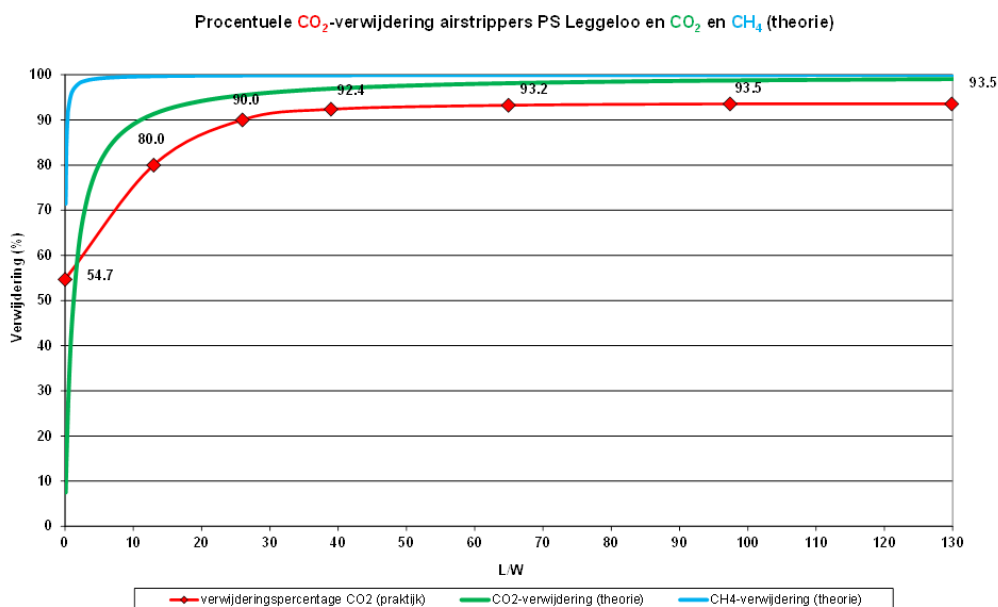
De oppervlaktebelasting is mogelijk tot circa $140 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Dit is afhankelijk van de lucht-waterverhouding en de daarbij optredende luchtweerstand. De lucht-waterverhouding is mogelijk tot ongeveer $20 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$. Hierbij wordt opgemerkt dat het bij drinkwaterbedrijf Brabant Water de ervaring is dat een dergelijke lucht-waterverhouding niet wordt ingezet voor kooldioxide, want in dat geval zou een hogere bedhoogte beter werken. Bij een andere waterkwaliteit of als er ook andere stoffen moeten worden verwijderd, kan wel worden overwogen de lucht-waterverhouding te verhogen. De bedhoogte kan 3 – 5 m bedragen: voor de verwijdering van vluchtige stoffen is 5 m nodig en voor de verwijdering van kooldioxide bedraagt die hoogte maximaal 3 m. Het verwijderingsrendement voor kooldioxide en methaan kan oplopen tot 99%.

Eigenschappen

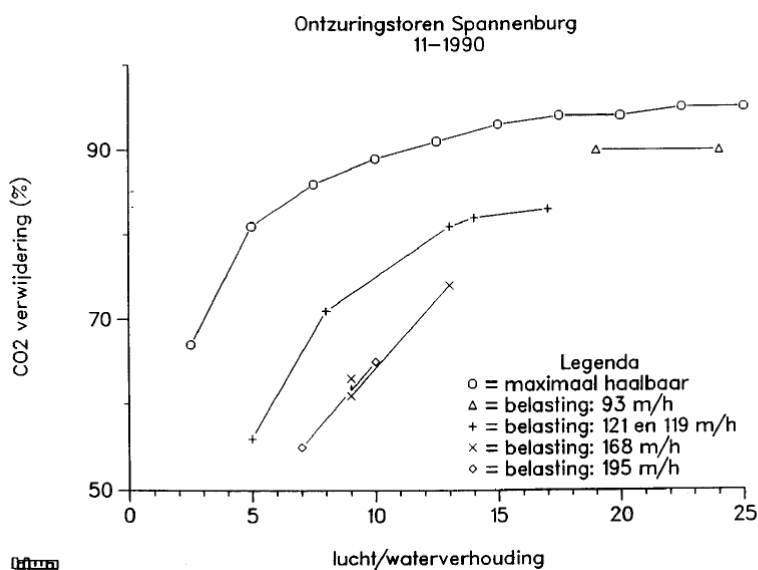
Als vervuiling geen rol speelt, gaat de voorkeur uit naar een pakking met een groot specifiek oppervlak en een lage luchtweerstand.

De verwijdering van kooldioxide is te verbeteren door:

- De lucht-waterverhouding te verhogen tot maximaal $20 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ (verdere verhoging heeft geen zin). Bij tegenstroom wordt dit al bereikt bij een lucht-waterverhouding van $5 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$, zie Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Verwijdering van methaan en kooldioxide in tegenstroom (theorie) en kooldioxide in de praktijk bij drinkwaterproductielocatie ‘Leggeloo’ (WMD Drinkwater).



Figuur 2-3 Verwijderingsrendement voor kooldioxide- in relatie tot de lucht-waterverhouding [12].

- Het verhogen van de bedhoogte tot 3 – 5 m. Vooral wanneer naleveren van kooldioxide de beperkende factor is, heeft verdere verhoging dan 3 m een relatief gering effect op de verwijdering (absoluut), maar wel een duidelijke invloed op de pH (maximaal haalbaar 7,8 – 8,2).

2.2.1.3 Ervaringen van drinkwaterbedrijven

Bij drinkwaterbedrijf Vitens zijn in het kader van de verwijdering van kooldioxide uit water met behulp van torenbeluchting verschillende onderzoeken uitgevoerd, zie hiervoor bijlage II en III. Het betreft onderzoek naar:

- Het naleveren van kooldioxide uit waterstofcarbonaat, zowel theorie als praktijk [24]
Bij dit onderzoek is niet aangetoond dat er enige nalevering van kooldioxide optreedt (er is in het effluent van

de BOT's van de drinkwaterproductielocaties Fledite en Harderbroek geen pH-verlaging in de tijd vastgesteld). Het gaat hier om concentraties aan kooldioxide van circa 4 mg/l in het influent en circa 2 mg/l in het effluent.

- Een onderzoek op drinkwaterproductielocatie Fledite naar de verwijdering van kooldioxide bij verschillende pH-waarden, zie bijlage III en [25]

Uit het onderzoek blijkt dat de verwijdering van kooldioxide in het lage concentratiebereik in de praktijk lager is dan in theorie. Bij influent met een concentratie aan kooldioxide van circa 1,5 mg/l verwijdert de toren helemaal geen kooldioxide meer. Ook bij de hoge torens van drinkwaterproductielocatie Loosdrecht van 5,5 m en hoge lucht-waterverhoudingen voor hoge verwijdering van vluchtige organochloorverbindingen (VOCI) blijft de concentratie aan kooldioxide na de toren steken op 1,7 mg/l.

Bij drinkwaterbedrijf Brabant Water is de optie getest waarbij lucht kan worden gerecirculeerd waarmee de pH kan worden gestuurd. Dit is nooit bij een praktijkinstallatie toegepast [28]. Recirculatie kan worden toegepast om een bepaalde pH-verlaging te realiseren en daarbij wordt de verwijdering van kooldioxide beperkt, zodat de kalkafzetting lager wordt. De proeven met recirculatie van lucht resulteerden in een verminderde verwijdering van kooldioxide, tot 20% bij een bestaande installatie voor tegenstroombeluchting. Theoretisch gezien is het echter niet zinvol om bij nieuwbouw luchtrecirculatie toe te passen bij een BOT met tegenstroombeluchting voor vermindering van het verwijderingsrendement voor kooldioxide, omdat hetzelfde resultaat namelijk wordt bereikt door gebruik te maken van meestroombeluchting, waarbij de totale lucht-waterverhouding gelijk is aan de toepaste verhouding bij recirculatie [20].

Bij drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater zijn drie uitvoeringsvormen toegepast, te weten beton, gecoat staal en kunststof (PP)⁴. Op vier van de drinkwaterproductielocaties is de ontzuring direct geplaatst op het nafilter waarbij de BOT als meestroom wordt bedreven. De overige stations hebben een toren met een voorziening voor tegenstroombeluchting. Normaliter wordt een BOT ontworpen op een verhouding tussen straal en debiet van 20 à 30. In het geval het nodig is om dichloorpropan te strippen, loopt die verhouding op tot maximaal 100. Het drinkwaterbedrijf past zowel 'buis ventilatoren' als 'centrifugaal ventilatoren' toe voor het creëren van de luchtstroom. Drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater heeft op productielocatie Dalen een BOT met bypass met instelbaar debiet tussen het voor- en nafilter opgenomen. Hiermee kan op maat kooldioxide worden verwijderd. Dit is voor deze locatie nuttig, omdat er een filter met marmer is nageschakeld.

Bij drinkwaterbedrijf WML wordt grind toegepast als pakkingmateriaal. De fractie van het zand van de nafiltsers op drinkwaterproductielocatie Susteren (die tevens als tegenstroom BOT kan worden gebruikt) is 4 tot 8 mm.

Bij waterbedrijf Pidpa is onderzocht welke beluchtingstechniek het meest geschikt was voor het ontwerp van een nieuwe zuivering [20]. De belangrijkste redenen voor het toepassen zijn (i) het inbrengen van zuurstof in het ruwe water (voldoende voor ontijzing en biologische omzetting van de overblijvende hoeveelheid methaan) en (ii) de verwijdering van opgeloste gassen als methaan en waterstofsulfide. Bij het toepassen van een biologisch-adsorptieve ontijzing is de verwijdering van het opgeloste kooldioxide bij voorkeur zo beperkt mogelijk (om de pH zo laag mogelijk te houden). Het onderzoek is gebaseerd op bestaande literatuur en ervaringen en gegevens van andere drinkwaterbedrijven.

Uit het onderzoek van waterbedrijf Pidpa [20] kwam naar voren dat lagedruk-sproeiers of cascade beluchting de voorkeur hadden boven de andere onderzochte technieken zoals een BOT.

⁴ Voor de keuze van een materiaal zouden geen speciale redenen zijn. Het zou afhankelijk zijn van het ontwerp en dan met name vanuit de vraag hoe een en ander past in het gebouw.



Figuur 2-4 Een tegenstroom-beluchtingstoren op drinkwaterproductielocatie 'Veghel' van drinkwaterbedrijf Brabant Water (foto Brabant Water).

2.2.1.4 Overzicht beluchtingstorens in Nederland en België (voorzieningsgebied Pidpa)

Voor een overzicht van alle BOT's met alle bijbehorende praktijkgegevens bij de drinkwaterbedrijven in Nederland en een deel van België, zie bijlage II.

2.2.2 Versproeiing

Bij versproeiing wordt het water over een groot oppervlak verdeeld door het met grote snelheid tegen een vast lichaam dan wel een andere waterstraal te spuiten. Er zijn hiervoor verschillende typen sproeiërs ontwikkeld. Voor de zuivering van grondwater worden de systemen onderscheiden in opwaarts en neerwaarts. Er wordt versproeid in een afzonderlijke ruimte dan wel boven een zandfilter [13]. In *Figuur 2-5* is een voorbeeld gegeven van opwaarts sproeien op drinkwaterproductielocatie Someren van Brabant Water.

Versproeiing is effectief voor de inbreng van zuurstof en de verwijdering van methaan (rendement beiden 80 – 90%). Methaan komt zelden onder 0,2 mg/l bij een ingangconcentratie van 1 mg/l. Versproeiing is minder effectief voor de verwijdering van kooldioxide (verwijderingsrendement 40 – 50%). Het inbrengen van zuurstof leidt vrijwel direct tot de oxidatie van ijzer(II) en de vorming van ijzer(III)hydroxiden die zich vrij gemakkelijk afzetten op wanden en in leidingen. Bij voorkeur wordt dan ook een neerwaartse versproeiing toegepast vlak boven een zandfilterbed. Dit geeft bovendien een goede verdeling over het oppervlak van de filters. Desondanks is regelmatige reiniging van de sproeiërs noodzakelijk. Daarnaast moet de ruimte van de versproeiing goed worden geventileerd met gefiltreerde lucht om de ontweken gassen te verwijderen. De lucht moet worden gefilterd om microbiologische verontreiniging van het water te voorkomen en moet met een voldoende hoeveelheid worden aangevoerd. Van belang is dat de lucht onder de 'paraplu' wordt afgezogen, omdat kooldioxide zwaarder is dan lucht.

m³/h. De in dit onderzoek gevonden range komt wel overeen met de in de literatuur vermelde optima voor versproeiing van water via zogeheten Dresdener sproeiers.

- De gasuitwisseling door middel van versproeiing in Onnen ondervindt grote invloed van de valhoogte. Bij een hogere valhoogte neemt de verwijdering van methaan en kooldioxide toe en wordt de concentratie zuurstof aanzienlijk hoger. Bij een valhoogte lager dan 1,5 m wordt met name de inbreng van zuurstof verlaagd. Gezien de lage concentraties methaan, ijzer, ammonium en mangaan in het water na versproeiing, is de inbreng van zuurstof bij een valhoogte van 1,5 m nog voldoende. Er wordt aangeraden om deze valhoogte niet verder te beperken.
- In tegenstelling tot de gevonden informatie in de literatuur lijkt in Onnen een lucht-waterverhouding kleiner dan 5 de gasuitwisseling niet of nauwelijks te beïnvloeden. Tijdens dit experiment is getest tot en met een lucht-waterverhouding van 2. Omdat in dit onderzoek niet op alle mogelijke scenario's kon worden getest, is het aan te raden om een veiligheidsmarge in acht te nemen en bij een maximale productie een minimale lucht-waterverhouding van 3 of hoger aan te houden. Met deze veiligheidsmarge wordt een buffer gecreëerd om onder andere meetonauwkeurigheden (bijvoorbeeld in de luchtdebiet metingen) in dit onderzoek op te vangen. Tevens worden op deze wijze andere afwijkingen opgevangen die kunnen ontstaan tijdens de drinkwaterproductie (bijvoorbeeld afname in luchtverversing door verandering in waterdebiet en veranderende concentraties in ruwwater).
- De piekbelasting voor de voorfilters in filtergebouw 1 is vastgesteld op 400 m³/h. Om bij deze belasting nog goed water te kunnen produceren, moet er minimaal 1.200 m³/h aan luchtverversing plaatsvinden. Dit komt overeen een lucht-waterverhouding van 3. Onder normale omstandigheden loopt de productie in Onnen op tot maximaal 250 m³/h. Er wordt dan een lucht-waterverhouding van 4,8 behaald.
- De in dit onderzoek gevonden gegevens zijn locatie specifiek gebleken en zijn daardoor niet direct te vertalen naar andere drinkwaterproductielocaties.

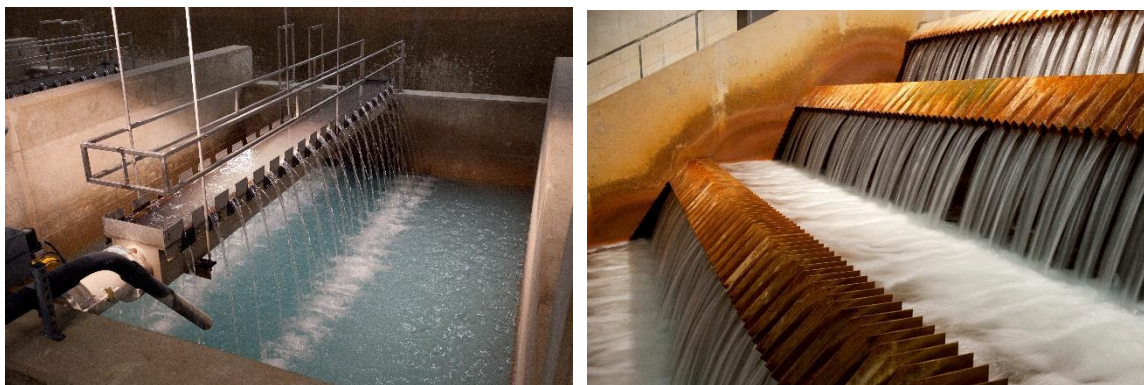
2.2.3 Cascade- of watervalbeluchting

Bij een cascade of waterval valt het water in stralen uit een verdeelbak in een lager gelegen cascadebak. Dergelijke bakken kunnen trapsgewijs of boven elkaar worden geplaatst, zie Figuur 2-6 en

Figuur 2-7.



Figuur 2-6 Een cascadebeluchting op drinkwaterproductielocatie 'Prinsenbosch' van drinkwaterbedrijf Brabant Water (foto's Brabant Water).



Figuur 2-7 Cascadebeluchtingen op respectievelijk drinkwaterproductielocatie 'IJzeren Kuilen' en 'Heel' van drinkwaterbedrijf WML (foto's WML).

De vallende waterstraal sleurt lucht mee in het water van de onderstaande cascadebak, zodat er luchtbellen in het water worden gevormd. Door de neerwaartse stroming worden deze bellen tot een diepte getransporteerd die afhangt van de valhoogte van de straal. Tijdens het verblijf van de luchtbel in het water vindt het grootste gedeelte van de gasoverdracht plaats [14]. De totale valhoogte hangt af van de gewenste verwijdering. De beluchting wordt nauwelijks beïnvloed door variaties in de volumestroom, de valhoogte is bepalend. Er vindt ook gasoverdracht plaats tussen de waterstraal en de langsstromende lucht. De grootte daarvan ten opzichte van de gasoverdracht in de bak is relatief gering. Afhankelijk van de inrichting en het gebruik van het gebouw moet in een cascaderuimte een lichte onder- of overdruk aanwezig zijn. Voor een uitgebreide beschrijving van de van invloed zijnde factoren en het verwijderingsrendement van cascade- of watervalbeluchting wordt verwezen naar [14]. Daarnaast wordt voor een gedetailleerde beschrijving verwezen naar [13].

2.2.3.1 Procesgegevens en eigenschappen

Procesgegevens

De gewenste verwijdering van kooldioxide en methaan wordt bepaald door zowel de totale valhoogte als het toegepaste aantal bakken. De oppervlaktebelasting bedraagt circa $45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. De bakken zijn hierbij boven elkaar geplaatst.

Eigenschappen

Het systeem blijft voldoende goed functioneren ondanks vervuiling en is tevens goed te reinigen. Een eventueel gewenste verbetering van de verwijdering van kooldioxide is mogelijk door (i) het plaatsen van meer bakken, (ii) het optimaliseren van de verhouding tussen valhoogte en bakdiepte en (iii) het aanbrengen van een geprofileerde overstortrand waardoor 'mooie' stralen ontstaan of het aanbrengen van een duikschot in de bakken waardoor de verblijftijdspreading wordt beperkt. Het vergroten van de hoeveelheid lucht heeft doorgaans weinig invloed, omdat het uitwisselingsoppervlak en de verblijftijd de bepalende factoren zijn [3].

2.2.3.2 Ervaringen van de drinkwaterbedrijven

Brabant Water

Brabant Water gebruikt uitsluitend beton en staal voor de bouw van de cascades.

Vitens

Buiten de filters wordt beton toegepast, in de cascades en in de filterketels wordt staal toegepast (overstortbak(ken)).

WMD Drinkwater

Drinkwaterbedrijf WMD Drinkwater past in de nieuwbouw te Beilen een drietraps cascadebak toe die direct in het

voorfilter boven het filterzandpakket is geplaatst. Het doel daarvan is beluchting en verwijdering van methaan tot 0,1 mg/l.

Vanwege de afvoer van onder andere methaan en waterstofsulfide wordt de lucht in de ruimte ververst door middel van het inblazen van gefiltreerde (filterklasse F9) en tegelijkertijd afgezogen lucht (met behulp van ventilatoren) om enige onderdruk (circa 50 tot 100 Pa) te forceren. Luchtverversinggraad is circa 20 keer per uur.

2.3 Keuze van een uitvoeringsvorm

2.3.1 Bepalende factoren

De volgende factoren spelen een rol bij het kiezen van het meest geschikte systeem voor het beluchten:

- Het gewenste verwijderingsrendement;
- De beschikbare bouwhoogte;
- De beschikbare opvoerhoogte van het water;
- De waterkwaliteit (matrix);
- Het gewenste type ontijzering;
- De vraag of andere gassen moeten worden verwijderd, zoals bijvoorbeeld methaan;
- De mate van vervuiling die kan optreden door afzetting van ijzer, mangaan, kalksteen of bacterieslib.

2.3.2 Experimenten

In veel gevallen zijn verschillende systemen te gebruiken. Bedrijfsvoorkeur (-ervaring) en de kosten bepalen dan de keuze. Meestal is een experiment met een of meer systemen nodig, om vast te stellen of en zo ja, hoe het gewenste resultaat haalbaar is. Ook verdient het aanbeveling de invloed van de beluchting op daarna volgende processen, zoals ontijzering, ontmanganing en nitrificatie voor de nieuwbouw of verandering vast te stellen. Vooral de ontijzering kan nadelig worden beïnvloed, wanneer slecht filtreerbare ijzervlokken of colloïden worden gevormd. Als met beluchting van het ruwe water de gewenste pH wordt gerealiseerd, dan kan deze weer verlagen door de vorming van kooldioxide als gevolg van de ontijzering, ontmanganing en nitrificatie.

2.3.3 Keuze van het beluchtingssysteem

Aan de hand van

Tabel 1 is globaal vast te stellen welke systemen in een bepaalde situatie de voorkeur hebben. De voor het verwijderen van kooldioxide aanbevolen beluchtingssystemen zijn (in de laatste kolom) onderstreept weergegeven. Er is daarbij van uitgegaan dat de verwijdering van kooldioxide door cascadebakken en de BOT is te verminderen tot $\leq 60\%$, door de verblijftijd van het water sterk te beperken en/of de lucht-water-verhouding (uitsluitend BOT) te verlagen.

Tabel 1 Keuzetabel voor te kiezen beluchting [3].

Samenstelling te behandelen water		Gewenst verwijderingsrendement kooldioxide (%)	Mogelijke uitvoeringsvorm(en)*
Concentratie ijzer (mg/l)	Concentratie methaan (mg/l)		
< 1	< 1	≤ 60	<u>Cascadebakken</u> <u>Sproeiers</u> Beluchtingstoren, meestroom Beluchtingstoren, tegenstroom
		60 – 80	<u>Cascadebakken</u> <u>Beluchtingstoren, meestroom</u> <u>Beluchtingstoren, tegenstroom</u>
		80 – 99	<u>Beluchtingstoren, tegenstroom</u>
1 – 5	Aan- of afwezig	≤ 60	<u>Cascadebakken</u> <u>Sproeiers</u>
		60 – 80	<u>Cascadebakken</u> <i>Beluchtingstoren, meestroom</i> <i>Beluchtingstoren, tegenstroom</i>
		80 – 99	geen
> 5	Aan- of afwezig	≤ 60	<u>Cascadebakken</u> <u>Sproeiers</u>
		60 – 80	<u>Cascadebakken</u>
		80 – 99	geen
*) De <u>onderstreepte uitvoeringsvormen</u> worden aanbevolen. Voor de <i> cursief weergegeven uitvoeringsvormen</i> geldt dat die uitsluitend kunnen worden toegepast met een grove, gemakkelijk te reinigen pakking.			

Bij schommelingen in de waterkwaliteit van het influent die leiden tot veranderingen van het gewenste niveau van ontzuring, moet een installatie worden gekozen waarvan de mate van uitwisseling evenredig kan worden gevarieerd. De minimaal te realiseren concentratie aan kooldioxide na de installatie moet hierbij onder de waarde liggen die noodzakelijk is voor het bereiken van het gewenste niveau van ontzuring.

De keuze van de installatie is afhankelijk van de benodigde capaciteit van stofoverdracht en houdt rekening met de bouwkundige en hydraulische verhoudingen die voortkomen uit het totale ontwerp van een zuivering. Voor de belangrijkste parameters in verband met de keuze van een installatie wordt verwezen naar de informatieve bijlage B 'Orientierungswerte für Parameter von Gasaustauschapparaten für die Ausgasung von Kohlenstoffoxid' van het DVGW-werkblad W 214-3 [4].

Het ontwerp van de installatie gebeurt door de ontwerper respectievelijk de installatiebouwer, rekening houdend met de noodzakelijke uitwisselingsgraad voor het realiseren van de mate van de ontzuring.

2.3.3.1 Ervaringen van de drinkwaterbedrijven

Brabant Water

De keuze voor Dresdener sproeiers, BOT of cascade is puur afhankelijk van de ruwwaterkwaliteit en de gewenste vorm van ontijzering. Als methaan in storende hoeveelheden aanwezig is, wordt er gekozen voor een cascade of een BOT.

Pidpa

Bij biologisch adsorptieve ontijzering wordt er bij de beluchting naar gestreefd de concentratie kooldioxide zo min mogelijk te verlagen en methaan maximaal te verwijderen. Zo kiest waterbedrijf Pidpa voor sproeiers bovenop de filterbakken voor het ontwerp van de nieuwe drinkwaterproductielocatie te Oud-Turnhout om (i) kooldioxide zo min mogelijk te verlagen voor een optimale biologisch-adsorptieve ontijzering (en de daaraan gekoppelde verwijdering van arseen) en om (ii) toch zoveel mogelijk methaan te verwijderen. Daarbij wordt opgemerkt dat (i) kooldioxide en het daaraan gekoppelde arseen prioritair zijn en (ii) dat dit ontwerpkeuzes zijn waarmee (dus) nog geen praktijkervaringen zijn.

Vitens

Drinkwaterbedrijf Vitens kiest vergelijkbaar zoals Brabant Water de keuzes maakt, vooral afhankelijk van de ruwwaterkwaliteit. Bij de aanwezigheid van meer dan 1 mg/l methaan wordt bij Vitens voor plaatbeluchting gekozen.

Bij de toepassing van ontharding op aerob water (na een voorfiltratiestap) kan er voor worden gekozen om het water voor de ontharding over een BOT te ontzuren om het verbruik van chemicaliën te beperken. In Kiwa-Mededeling 123 [26] is hierover veel te vinden.

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' [6] opgesteld. Die praktijkcode is nauw verwant aan de 'Hygiëncode Drinkwater; Drinkwaterbereiding' [4], 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 beluchting primair naar genoemde PCD 1-8 [6] 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 in het kader van voorliggende praktijkcode vooral gewezen op de paragrafen 3.7 en 3.8 getiteld 'Beluchting' respectievelijk 'Luchtbehandeling'.

3.2 Eisen

3.2.1 Algemeen

De locatie van de installatie moet zo worden gekozen dat de luchttoevoer niet negatief wordt beïnvloed. Bij voorkeur moet de installatie in een gebouw worden geplaatst. Bij plaatsing in de buitenlucht moeten extra maatregelen worden getroffen voor wat betreft bescherming tegen weersinvloeden. Er moet worden voldaan aan de geldende eisen op het gebied van geluid en eventueel de technische richtlijnen voor lucht ten behoeve van de bereiding van drinkwater [29]. De toelaatbare geluidsemissie van relevante onderdelen van de installatie moet bekend zijn. De van toepassing zijnde grenswaarden op het gebied van geluid mogen niet worden overschreden.

Alle onderdelen van de installatie moeten goed toegankelijk zijn voor controle en onderhoud.

De materialen voor de installatie moeten zo worden gekozen dat er geen ontoelaatbare beïnvloeding van de waterkwaliteit plaatsvindt, dat de bescherming tegen corrosie is gegarandeerd en dat de installatie bestand is tegen de beoogde manier van reinigen (bijvoorbeeld zuur, hoge druk).

De installatie moet zo worden ingericht en geplaatst dat de onderdelen relatief eenvoudig kunnen worden gedemonteerd (bijvoorbeeld voor het reinigen). De aanbeveling wordt gedaan om minstens twee installaties parallel te plaatsen in verband met onderhoud.

De volgende waterkwaliteitsgegevens moeten vooraf bekend zijn:

- De waterkwaliteit vóór de beluchting, rekening houdend met tijdelijke schommelingen respectievelijk verschillende samenstellingen bij gemengd water en dan vooral ten aanzien van de parameters temperatuur, geleidbaarheid, zuurcapaciteit tot pH 4,3, basecapaciteit tot pH 8,2, zuurgraad, SI, calcium, magnesium, natrium, kalium, chloride, nitraat, sulfaat, zuurstof, ammonium, ijzer, mangaan, kooldioxide en waterstofcarbonaat;
- De waterkwaliteit ná de beluchting (berekening, rekening houdend met het doel van de ontzuring, vooral de basecapaciteit tot pH 8,2, de zuurgraad en de SI);
- De stoffen die met de kooldioxide kunnen meekomen, bijvoorbeeld radon, waterstofsulfide en methaan.

Daarnaast moet het mechanisme en de mate van de te realiseren ontijzering (door middel van coagulatie, adsorptie of microbiologisch) vooraf bekend zijn.

De benodigde capaciteit van stofoverdracht van de installatie moet bekend zijn, zie de informatieve bijlage A 'Berechnungen zur physikalischen Entsäuerung' van het DVGW-werkblad W 214-3 [4].

De volumestroom van het te behandelen water moet bekend zijn, met inbegrip van de variaties daarin.

De volumestroom van het te behandelen water moet per installatie zo constant en gelijkmatig mogelijk over de verschillende apparaten zijn verdeeld. Bij een niet-constante volumestroom moet de volumestroom voor de lucht instelbaar zijn, zodat het gewenste niveau van ontzuring wordt behaald. Dit leidt tevens tot enige energiebesparing.

Een betonnen cascade kan worden 'aangevreten' door agressief water, zie Figuur 3-1. Een kanttekening hierbij is dat deze casus proceswater betreft, waarbij uitsluitend naar de parameters ijzer, natrium, waterstofcarbonaat en zuurgraad is gekeken, dat wil zeggen zonder pH-correctie na voorfiltratie. Desondanks is ook de cascade van het ruwwater serieus aangetast. Door de combinatie van agressiviteit en beweging van het water is het beton in korte tijd sterk aangetast.



Figuur 3-1 Voorbeeld van aangetast beton als gevolg van het toepassen van verkeerde kalksteen.

3.2.2 Methodespecifiek

Door de juiste aanleg van de afvoerleidingen of door andere maatregelen moet worden gegarandeerd dat er verderop uit de installatie geen storende lucht wordt meegenomen.

Bij het ontwerp van een beluchtungs- en ontgassingstoren (BOT):

- dienen er voorzieningen te zijn getroffen voor het inbrengen en het uithalen van Pall-ringen in het geval van een pakking;
- moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid om de pakking te kunnen spoelen met water en lucht;
- kan (net als bij een onthardingsreactor) worden overwogen om in het ontwerp een automatisch hoge druk reinigingssysteem mee te nemen dat van bovenaf in de reactor kan worden neergelaten, zodat het onderdeel niet hoeft te worden betreden;
- is het raadzaam om rekening te houden met een inspectieluik voor het inspecteren van de pakking op aangroei en slijtage;

- kan het programma RAPSODY™ worden toegepast voor gepakte kolommen (ervaring drinkwaterbedrijf Vitens).

3.2.3 Luchtbehandeling

Voor de aanvoer van lucht wordt een geluiddempend rooster in de gevel aanbevolen.

Een meting van de volumestroom van de lucht of een controle op de stroming van lucht wordt aanbevolen.

Het gehele luchtgedeelte moet zo worden gemaakt dat de waterkwaliteit niet van buiten kan worden beïnvloed.

Voor de filtratie van de voor de beluchting noodzakelijke lucht wordt verwezen naar de in voorbereiding zijnde praktijkcode PCD 16:2020 'Luchtfiltratie ten behoeve van de drinkwatervoorziening' [29] (mede op basis van [23]).

De controle van de filters gebeurt door het meten van de verschildruk. Bij het bereiken van het maximaal toelaatbare drukverschil moeten de filterelementen worden vervangen. De filterelementen moeten uit voorzorg, onafhankelijk van het verschildruk, ten minste jaarlijks worden vervangen.

De luchttoevoerleiding en het filter moeten aan de buitenkant worden geïsoleerd om condensatie en ijsafzetting te verminderen.

De uitgang van de luchtafvoer moet zo worden ingericht dat kortsluiting tussen luchttoevoer en -afvoer is uitgesloten. Er moet worden gecontroleerd of in de luchtafvoerleiding waterafscheiders noodzakelijk zijn. Afscheiden water mag niet terug in de installatie komen.

Een controle conform de technische richtlijnen voor het schoonhouden van de lucht moet uitwijzen of de luchtafvoer schade aan het milieu kan veroorzaken. Maatregelen zijn noodzakelijk als bijvoorbeeld voor waterstofsulfide een massastroom van 15 g/h of een concentratie in de afgevoerde lucht van 3 mg/m³ wordt overschreden.

Ventilator

De ventilator⁶ dient te allen tijde droog te blijven. De luchtstroom door de ventilator dient regelbaar te zijn.

3.2.4 Meet- en regelapparatuur

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

- De volumestroom aan water en lucht door de installatie;
- De bedrijfsstaat van ventilator (aan/uit, energieverbruik, eventueel frequentie);
- De druk aan de perszijde van de ventilator;
- De verschildruk over het luchtfilter;
- Eventueel het niveau (waterpeil) in de installatie.

De zuurgraad wordt niet continu gemeten (en geregeld). Deze parameter wordt wel gemonitord door middel van periodieke waterkwaliteitsbeoordeling.

In de opstartperiode wordt de volumestroom voor de lucht per installatie ingesteld op het gewenste niveau van ontzuring. Wanneer een installatie met wisselende volumestromen voor het te behandelen water moet worden gebruikt, is een besturing van de volumestroom voor de lucht afhankelijk van de volumestroom voor het water noodzakelijk. Als de installatie moet functioneren met water van wisselende kwaliteit zijn extra besturings- en regelingsmechanismes noodzakelijk.

⁶ Het gaat om de toepassing van 'centrifugaal ventilatoren' (bij hogere drukken) of 'buisventilatoren' (bij lagere drukken).

3.3 Proefinstallatieonderzoek

Voor het optimale begrip van een installatie kunnen proeven op pilot schaal zinvol zijn. In het kader van zulke proeven kunnen ook aanwijzingen worden verzameld voor mogelijke storingen in het behandelingsproces en voor de reiniging. Mogelijke storingen zijn bijvoorbeeld de eventuele vorming van calciumcarbonaat, ijzer- of mangaanhoudende afzettingen, overmatige schuimhoeveelheden en overmatige microbiologische groei (vooral bij de aanwezigheid van methaan).

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' [6];
- 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]; dit is 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 [5].

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 onderdeel 5.2.1).

Alle bedrijfshandelingen en controles moeten worden vastgelegd.

5.2 Controle

5.2.1 Bedrijfscontrole

Voor het meten van de waterkwaliteitsparameters dienen monsterkranen zodanig te worden geplaatst dat er na monsterneming geen invloed van de processen (meer) plaatsvindt op de te meten parameters. Afhankelijk van de grootte en de automatisering van de installatie moet minstens wekelijks een controle ter plaatse worden uitgevoerd van alle onderdelen van de installatie. Deze controle omvat ten minste:

- De controle van bedrijfsparameters (behandelingsvolumestroom per installatie, druk op de zuig- en drukzijde van de ventilatoren, energieverbruik van de ventilatoren, pH-waarde en vergelijking met de gewenste pH-waarde, eventueel bepaling van andere stoffen die in het water voorkomen);
- De eventuele controle van de pH-elektrode afhankelijk van de plaats van die elektrode;
- De controle van de luchttoevoer (beschermroosters tegen weersinvloeden, ijsafzetting);
- De controle van de luchtfilters (vuil, verschildruk);
- De controle van de ventilatoren (geluid, temperatuur, energieverbruik);
- De controle van het luchtafvoerkanaal (beschermroosters tegen weersinvloeden, ijsafzetting);
- De controle op neerslag en vervuiling.

Bij de keuze van het meetpunt voor de pH moet er rekening mee worden gehouden dat na het verwijderen van de kooldioxide de fysisch-chemische processen voor het instellen van het chemische evenwicht in het water tijd nodig hebben en dat daardoor de uiteindelijke pH wordt bereikt met een vertraging van ongeveer 2 min.

5.2.2 Controle van de installatie door deskundigen

Jaarlijks moet de installatie door deskundigen worden gecontroleerd. De controle omvat de handelingen die bij de bedrijfscontrole horen (zie boven) en tevens:

- De analyse van resultaten van de bedrijfscontroles en de wateranalyses voor de controleperiode;
- Vaststelling van de pH, zuurcapaciteit tot pH 4,3 en basecapaciteit tot pH 8,2 in de toe- en afvoer van de installatie en van de evenwichts-pH en de SI in de afvoer van de installatie, alsmede de zuurgraad in de afvoeren van de installaties bij alle relevante bedrijfssituaties;
- De functie van meetinstrumenten, armaturen, ventilatoren, besturing en regeling, overdracht van storingssignalen.

Bij afwijking van nagestreefde toestanden moet grondig 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.

5.2.3 Bedrijfservaringen

Pidpa

De pH en SI worden ter hoogte van HD-ingang elke week gemeten. De kwaliteit van het drinkwater wordt gemeten

nadat het de UV-installaties en de pompen is gepasseerd, het water bevindt zich dan reeds in het leidingnet (monsterneming op het pompstation). Indien er zich ongewenste wijzigingen voordoen, wordt nader onderzocht wat de oorzaak kan zijn (zuivering technisch, ruwwaterbronnen of anderszijds).

WMD Drinkwater

Een aandachtspunt is het tijdig vervangen van de filterdoeken. Zeker bij buisventilatoren die weinig druk kunnen leveren, is er vaak een behoorlijke terugloop van het luchtdebiet bij vervuiling van de filterdoeken. Bij gezamenlijke luchtfilter aanzuigsystemen ten behoeve van meerdere beluchtingstorens in parallel bedrijf moet worden voorkomen dat er lucht wordt aangezogen via stilstaande beluchtingstorens. WMD Drinkwater past daarom lamellen afsluiters toe in de luchtkanalen. Deze lopen dicht zodra de BOT uit bedrijf gaat. De luchtfilters slaan soms dicht onder bijzonder weersomstandigheden, bijvoorbeeld bij vorst plus mist. In de praktijk wordt dan wel eens een luchtfilter verwijderd.

6 Onderhoud

6.1 Torenbeluchting

Een installatie moet regelmatig worden onderhouden volgens aanwijzingen van de fabrikant.

Installaties voor de beluchting worden met een frequentie van eens per drie tot vijf jaar onderhouden.

Het volgende onderhoud wordt uitgevoerd:

- Ten minste vijfjaarlijks:
 - Inwendige inspectie en indien nodig reinigen van de BOT;
 - Inspectie toestand pakking in de BOT en zo nodig het reinigen of vervangen daarvan. De vervuiling van Pall-ringen is minimaal.
- Ten minste jaarlijks: inspectie en reinigen uitblaas van de BOT;
- Ten minste driemaandelijks: kalibreren van de pH-meting (indien van toepassing);
- Toestand afhankelijk:
 - Vervangen van aanwezige filtercassettes bij vervuiling op basis van drukverschil of op basis van bedrijfstijd volgens aanwijzingen van de fabrikant. Tegelijkertijd filterkast reinigen. De luchtfilters worden in de praktijk één keer per één à twee jaar (curatief) vervangen.
 - Op sommige stations vervuilen de leidingen voor de waterverdeling bovenin de torens. Meestal wordt gewacht met reinigen tot er twijfel rijst bij het functioneren daarvan via een slechte verdeling of oplopende drukken.

Brabant Water

Bij het proces van ruwwater naar BOT naar snelfilter worden eenmaal per drie tot vijf jaar (afhankelijk van hoeveelheid ijzer en de watermatrix) de Pall-ringen extern gereinigd en wordt de BOT schoongemaakt.

Vitens

Het huidige onderhoud per locatie is verschillend en wordt veroorzaakt door verschil in waterkwaliteiten. Er is een proces-technische standaard gemaakt voor het ontwerp van een nieuw te bouwen intensieve beluchtingsstap.

Hierin zijn de volgende aandachtspunten voor onderhoud opgenomen:

- Routematige controles:
 - Controle vervuiling verdeelinrichting influent van de BOT;
 - Controle vervuiling pakkingmateriaal;
 - Controle vervuiling van de luchtfiltratie unit(s) van de actieve proceslucht;
- Periodiek onderhoud:
 - Schoonmaken verdeelinrichting;
 - Verwijderen, (extern) schoonmaken en vullen pakking;
 - Controle werking 'levelswitch' waterniveau onder de bodem;
 - Vervangen filters actieve proceslucht op basis van de vervuilingsgraadmeting;
 - Controle lekkage afsluiters en werking regelafsluiters.

Pidpa

Minimaal vijfjaarlijks:

- Inwendige inspectie en indien nodig reinigen van de ontzuringstoren;
- Inspectie toestand pakkingmateriaal in de ontzuringstoren en indien nodig reinigen of vervangen.

Minimaal jaarlijks: inspectie en reinigen uitblaas van de ontzuringstoren.

Minimaal driemaandelijks: kalibreren van de pH-meting.

Vervangen van aanwezige filtercassettes bij vervuiling op basis van drukverschil of op basis van bedrijfstijd volgens aanwijzing van de fabrikant. Tegelijkertijd wordt de filterkast gereinigd.

6.2 Versproeiing

Pidpa

Hiermee zijn nog geen ervaringen. Drinkwaterproductielocaties met versproeiing zijn in aanbouw.

6.3 Cascade- of watervalbeluchting

Brabant Water

Bij het proces van ruwwater naar cascade naar pelletontharding naar carry-over filter is het onderhoud van de cascade eenmaal per jaar reinigen met een hogedrukspuit.

Pidpa

Het onderhoud van de cascade vindt eenmaal per jaar plaats met een hogedrukspuit.

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] DVGW (2018): 'Entsäuerung von Wasser; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur Ausgasung von Kohlenstoffdioxid', Arbeitsblatt W 214-3, september 2018, Bonn
- [5] Meerkerk, M.A., en Siegers, W.G. (2020): 'Ontzuren van water ten behoeve van de bereiding van drinkwater; *Deel 1: Algemeen*', praktijkcode PCD 14-1, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [6] 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 Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [7] Meerkerk, M.A. (2019): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 1: Algemeen*', praktijkcode PCD 4-1, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
- [8] Meerkerk, M.A. (2019): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 2: Beton*', praktijkcode PCD 4-2, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [9] Meerkerk, M.A. (2018): 'Reservoirs en andere constructies voor drinkwater(bereiding); *Deel 3: Metalen en kunststoffen*', praktijkcode PCD 4-3, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [10] 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 Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [11] Reijnen, G.K. (1989): 'Koolstofdioxide verwijderen met beluchtingstorens', vakblad H₂O, 22^e jaargang, nummer 23
- [12] Reijnen, G.K., en Meulen, J. van der (1990): 'Ontzuren van vijftientig miljoen cubieke meter grondwater op pompstation Spannenburg; eindrapport van de projectgroep optimalisatie ontzuringstorens Spannenburg', Kiwa Hoofdafdeling Speurwerk in opdracht van N.V. Waterleiding Friesland
- [13] Moel, P.J., Verberk, J.Q.J.C., en Dijk, J.C. van (2012): 'Drinkwater – principes en praktijk', Water Management Academic Press, Delft Nederland
- [14] Helm, A.W.C. van der (1998): 'Modellering van intensieve gasuitwisselingssystemen', afstudeerverslag, TU Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Gezondheidstechniek, Delft
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1cd73271-6b82-450c-b470-3b817fbbca37/datastream/OBJ/download>

- [15] Haasnoot, A., Hendriks, L.J.W., en Reijnen, G.K. (1994): 'Kwaliteitsverbetering ZS De Laak door plaatbeluchting', H₂O, nummer 26, 27^e jaargang, pagina 768 – 772
- [16] Huisman, L. (1968): 'Praktijk van de aeratie', vakblad H₂O, pagina 2 – 14
- [17] Commissie Leerprogramma's Waterleidingtechniek (1982): 'Beluchting en Ontgassing', cursusmap Hogere Waterleidingtechniek, VEWIN, Rijswijk
- [18] Pöpel H.J. (1995): 'Aeration and Gas Transfer', dictaat, Technische Universiteit Delft, Delft
- [19] Stichting Wateropleidingen (2020): 'Actuele Zuiveringstechnieken Drinkwaterbereiding', cursusmap, hoofdstuk over beluchting en ontgassing, Nieuwegein
- [20] Joris, K. (2018): 'WPC OT overzicht technieken voor ontgassing & beluchting', interne notitie van 18 juni 2018, Pidpa, Antwerpen
- [21] Vollenbroek, R. (2014): 'Gasuitwisseling door sproeiers voorfilters PS Onnen', notitie, WLN in opdracht van Waterbedrijf Groningen, Glimmen
- [22] Leerdam, R. van (2011): 'Risico's luchtgebruik in de drinkwaterzuivering', BTO 2011.054, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [23] Bakker, G. (2019): 'Beleid voor de toepassing van luchtfiltratie tijdens de drinkwaterbereiding', notitie, Vitens, Zwolle
- [24] Zweere, G.J. (2005): 'Metingen nalevering CO₂', notitie, memorandum, november 2005, Hydron Advies & Diensten, Utrecht
- [25] Zweere, G.J., en Pol, E. van der (2006): 'Onderzoek werking beluchtingstorens bij lage kooldioxidegehalten', memorandum, augustus 2006, Hydron Advies & Diensten, Utrecht
- [26] Reijnen, G.K. (1994): 'Behandeling van methaanhoudend grondwater; effecten van het voorkomen en de verwijdering van methaan op de fysisch-chemische en biologische kwaliteit van het drinkwater', Mededeling 123, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein
- [27] Houtepen, F.A.P. (1987): 'Methaanverwijdering op het pompstation Altena', vakblad H₂O, 20^e jaargang, nummer 24, pagina 600 – 603
- [28] Brabant Water (1994): 'Onderzoek recirculatie proceslucht BOT WPB Lieshout', rapport Brabant Water, 's-Hertogenbosch
- [29] Meerkerk, M.A. (2020): 'Luchtfiltratie ten behoeve van de drinkwatervoorziening', praktijkcode PCD 16:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein (in voorbereiding)

I Begrippen en definities, en afkortingen

Beluchting: Ontzuring conform PCD 14-1 [5], waarbij de vermindering van de concentratie aan kooldioxide in het water plaatsvindt door intensief contact van het water met lucht [W 214-3, aangepast]

Installatie: installatie voor het verwijderen van kooldioxide (installatie met reiniging door luchttoevoer, afvoer van afgewerkte lucht, ventilatoren, verbonden lucht- en waterleidingen)

EBCT: Empty Bed Contact Time

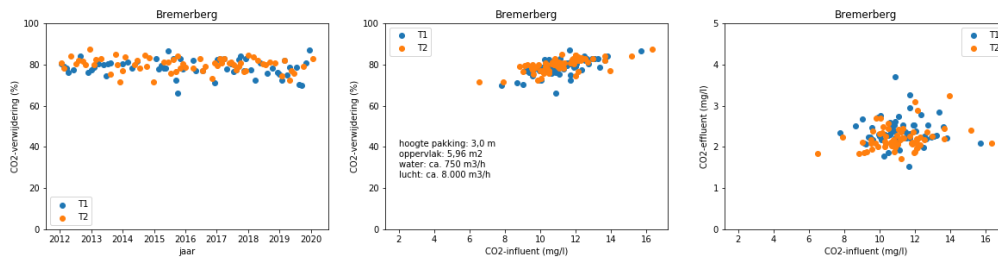
BOT: Beluchting- en OntgassingsToren

II Praktijkgegevens van BOTs bij enkele Nederlandse drinkwaterbedrijven en Pidpa

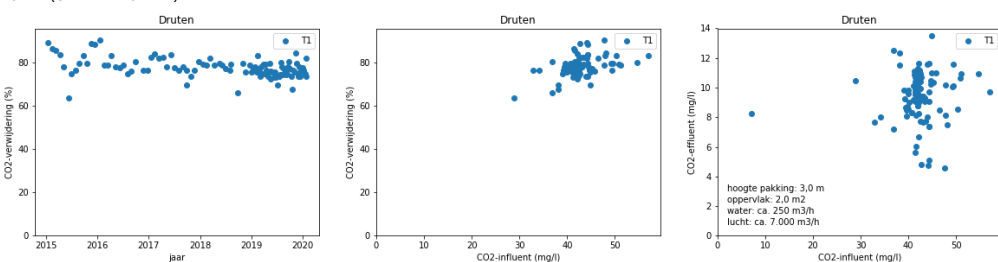
Zie onder

Bedrijfsgegevens Vitens per locatie:

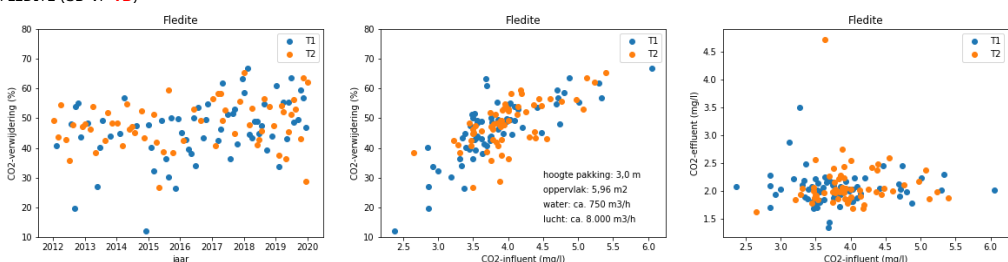
BREMERBERG (CB-VF-TB)



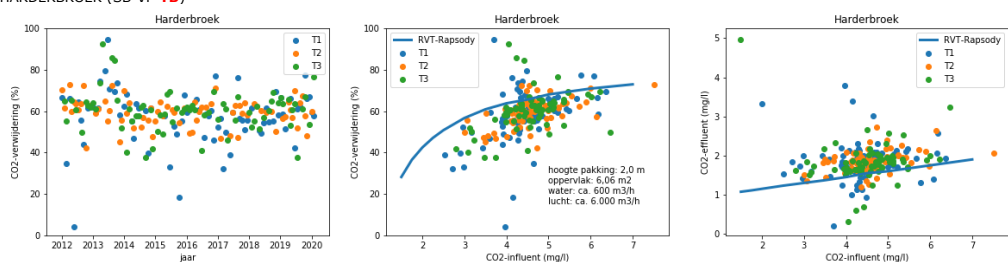
DRUTEN (SB-VF-TB-OH-NF)



FLEDITE (SB-VF-TB)

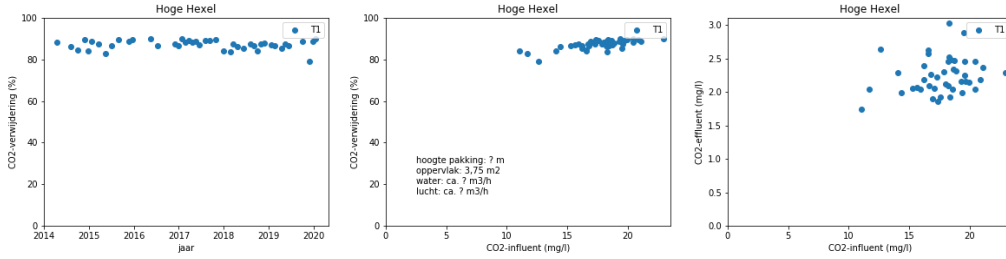


HARDERBROEK (SB-VF-TB)

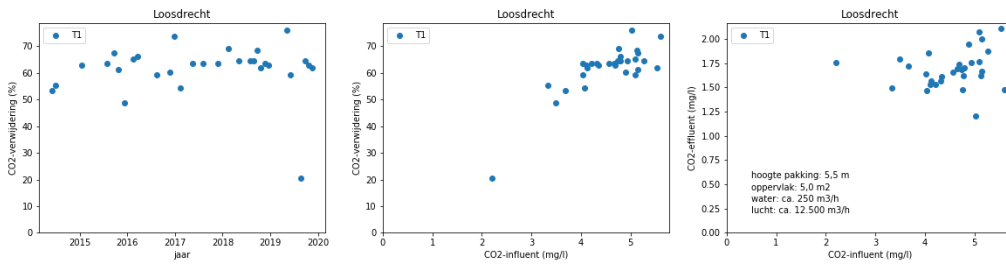


HOLTEN

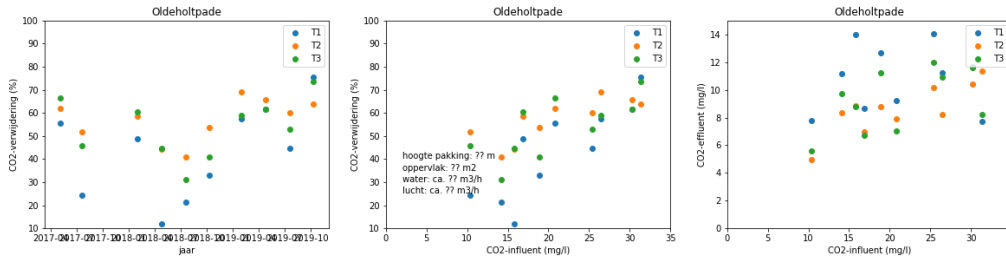
HOGHE HEXEL (SB-VF-TB)



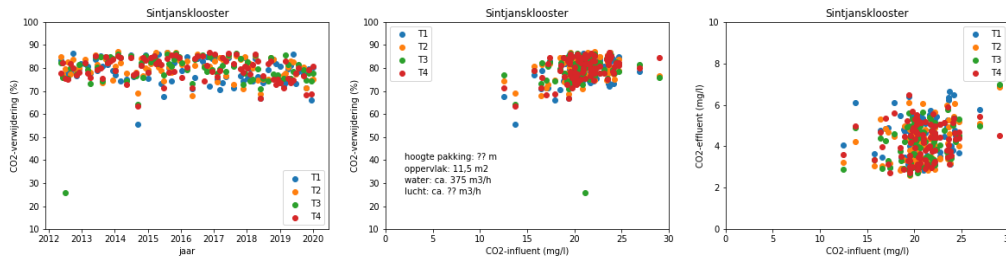
LOOSDRECHT (SB-VF-TB-NF)



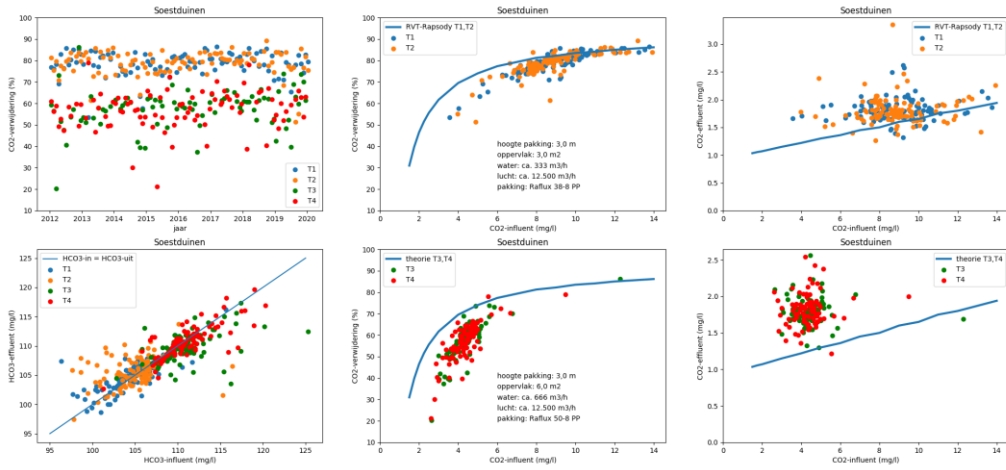
OLDEHOLTPADE (PB-VF-TB-OH-NF-OK)



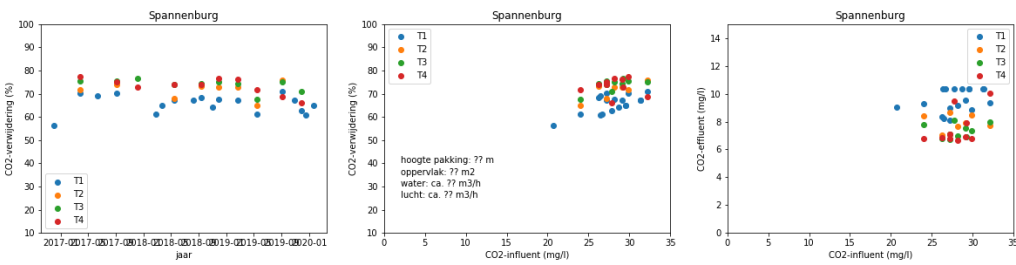
SINTJANSKLOOSTER (PB-VF-TB-OH-NF)



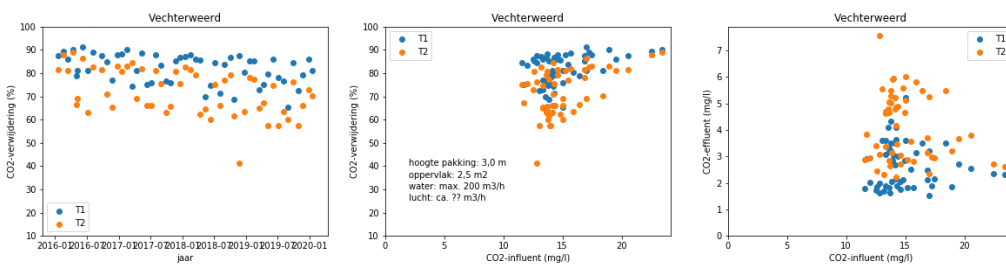
SOESTDUINEN (TB)



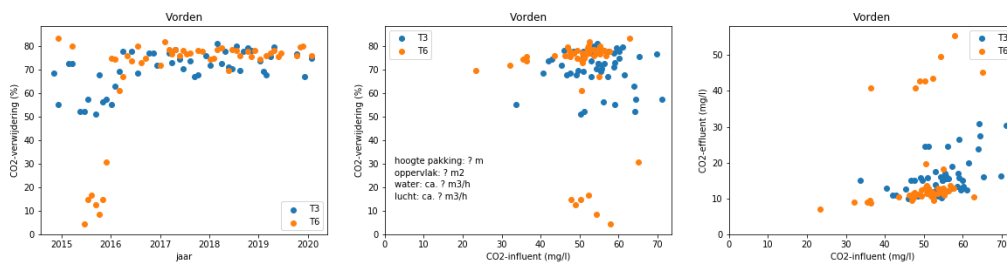
SPANNENBURG (VO-PB-VF-TB-OH-NF-OK)



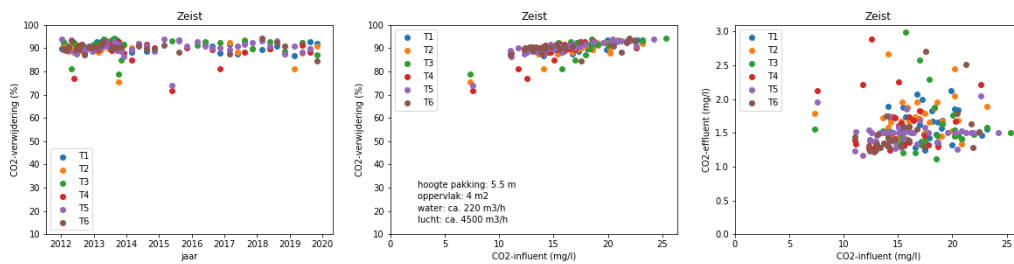
VECHTERWEERD (SB-VF-NF-KF-TB)



VORDEN (OO-SB-VF-TB-PO-NF)

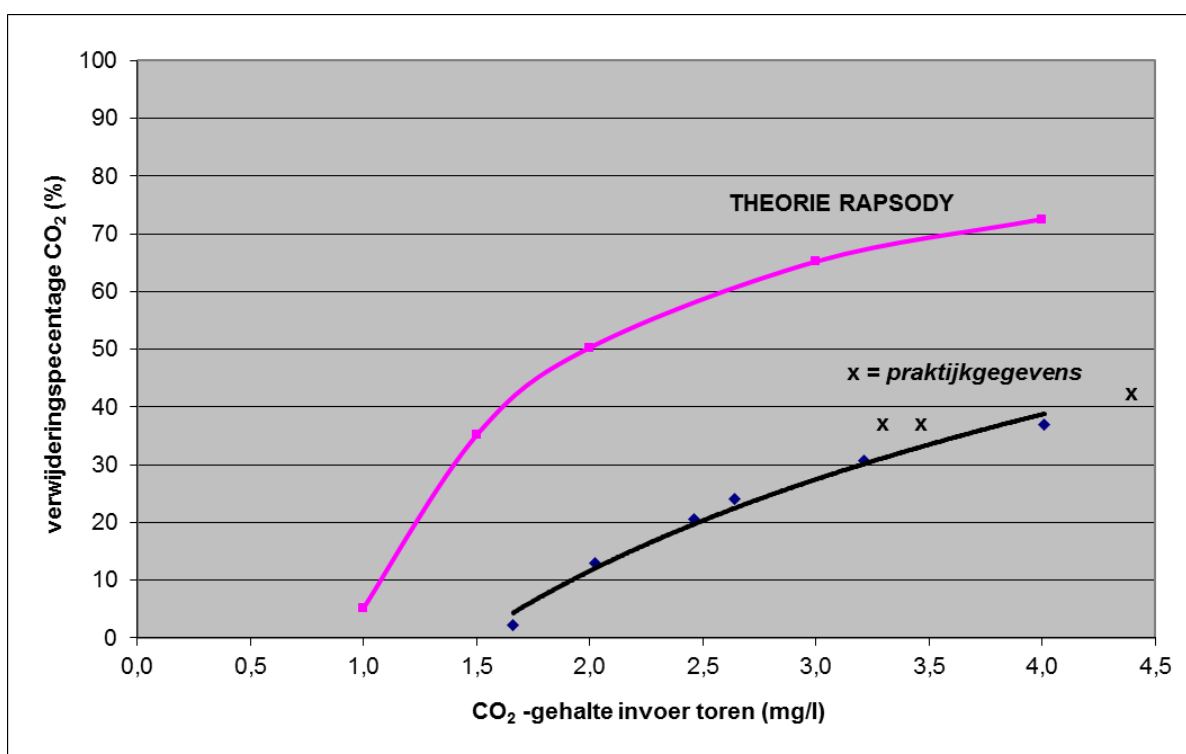


ZEIST (TB-MF-KF)



III Onderzoek op Fledite naar de verwijdering van kooldioxide bij verschillende pH-waarden

In het verleden had Vitens op verschillende productielocaties in het voorzieningsgebied van het voormalige Hydron problemen om de concentratie aan kooldioxide met intensieve beluchting voldoende ver te kunnen verlagen om te voldoen aan de norm voor de SI van $-0,2$. Op Fledite is toen een onderzoek uitgevoerd naar de verwijdering van kooldioxide in de beluchtingstorens bij lagere concentraties in het influent. Deze lagere concentraties in het influent zijn verkregen door de pH van het influent te verhogen met een dosering van natronloog.



Figuur III-1 Meetresultaten onderzoek werking beluchtingstorens bij lage concentratie kooldioxide.

In figuur III-1 zijn de resultaten van de metingen opgenomen van de praktijkgegevens (X), de meetgegevens (blauwe blokjes) en de berekening volgens berekeningsprogramma RAPSODY™.

Uit het onderzoek blijkt dat de verwijdering van kooldioxide in het lage concentratiebereik in de praktijk lager is dan in de theorie. Bij influent met een kooldioxideconcentratie van circa 1,5 mg/l verwijdert de toren helemaal geen kooldioxide meer. Ook bij de hoge torens van Loosdrecht van 5,5 m en hoge lucht-water verhoudingen voor hoge verwijdering van VOCl's blijft de kooldioxideconcentratie na de toren steken bij 1,7 mg/l. Of ligt dit fenomeen aan het feit dat een deel van kooldioxide 'gebonden zit' aan de 'zouten in het water'?

Voor veel bedrijven speelt dit gebied met lage concentraties aan kooldioxide waarschijnlijk geen enkele rol.

De overstap van de norm van SI $> -0,2$ naar een concentratie aan agressief kooldioxide van $< 2,2$ mg/l heeft dit probleem met lage concentraties aan kooldioxide voor Vitens opgelost.

IV Gestandaardiseerde BOT Brabant Water

