



KWR PCD 13-4 | november 2022

Putten en puttenvelden ten behoefte van drinkwater

Deel 4: Exploitatie

Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater

Deel 4: Exploitatie

KWR | PCD 13-4 | november 2022

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

ir. M.L. (Martin) van der Schans, dr. J. (Jan) van Lopik, ing. M.A. (Martin) Meerkerk, dr. D.F. (Daphne) Wiggers de Vries en ir. H.J.M. (Eric) Broers

Kwaliteitsborger KWR

Dr.ir. D.G. (Gijsbert) Cirkel

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie
Martin van der Schans
T (030)60 69 537
E Martin.van.der.Schans@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 13-4 | november 2022 ©

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 doorgaans opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Ook in opdracht van andere gremia kunnen praktijkcodes worden opgesteld. 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.

Gebaseerd op onderzoek & praktijkervaring

In deze praktijkcode zijn de toe te passen methodes of benaderingen in het kader van de exploitatie van putten(velden) zo mogelijk (mede) gebaseerd op opbrengsten van onderzoek (‘evidence based’), maar dat is (dus) niet altijd het geval. Soms zijn die methodes of benaderingen (mede) gebaseerd op (jarenlange) ervaringen van medewerkers van drinkwaterbedrijven en/of anderen, zonder dat daarvoor een bewijslast bestaat en die dus niet zijn vastgelegd en geëvalueerd in een of meer rapporten of andere documenten.

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 agenda lid 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 de website www.PraktijkCodesDrinkwater.nl

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit ‘Van Dale’.

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.

Voorwoord

Deze praktijkcode maakt onderdeel uit van een serie van in totaal vijf delen. Een en ander is beschreven in het 'Voorwoord' van het eerste deel, waarnaar wordt verwezen (zie praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a]). Daarin is ook een korte introductie opgenomen.

Dit is het vierde deel van de serie en vooraf worden daarbij de volgende opmerkingen gemaakt:

- De nummering van de hoofdstukken loopt door
Er is voor gekozen de nummering van de hoofdstukken in de serie praktijkcodes te laten doorlopen. Deel 3 van de serie (PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]) eindigt met hoofdstuk 30, zodat dit deel begint met hoofdstuk 31.
- 'Richtlijnen'
Op diverse plaatsen in deze praktijkcode is een 'Richtlijn' opgenomen in een blauwgrijs kader. Het gaat om door de drinkwatersector opgestelde richtlijnen, die zijn afgestemd op van toepassing zijnde beoordelingsrichtlijnen.

Samenstelling projectgroep

De totstandkoming van deze praktijkcode is begeleid door de Contactgroep Putten met de onderstaande samenstelling (per bedrijf in alfabetische volgorde).

Drinkwaterbedrijf of –laboratorium

Brabant Water

Dunea

Evides Waterbedrijf

KWR Water Research Institute

Oasen

Pidpa

PWN

Vitens

Waterbedrijf Groningen

Waternet

WMD Drinkwater

WML

Vertegenwoordiger(s)

Wim Lemmens

Erik Reijven

Pieter Dammers

Rob Lafort

Eric Broers

Jan van Lopik

Martin Meerkerk (secretaris)

Martin van der Schans

Guido Kersten

Karel DeMey

Lucas Borst

Ate Oosterhof (voorzitter)

Ton Ebbing

Ruud Krab

Sjoerd Rijpkema

Philip Nienhuis

Pierre Kamps (agendalid)

Joop Mentink

Wim Kessels

Renard Prevoo

Vaststelling praktijkcode

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkcodes in de vergadering van 15 december 2022.

Inhoud

31	Bedrijfsvoering van het puttenveld	8
32	Degradatie- en faalmechanismen	9
32.1	Overzicht degradatie processen	9
32.2	Putverstopping	9
32.3	Wortel ingroei	27
32.4	Zandlevering	28
32.5	Kortsluitstroming (lekkage winput)	30
32.6	Verontreiniging door werkzaamheden	31
32.7	Verandering van de ruwwaterkwaliteit	32
32.8	Veroudering van materialen	34
32.9	Pompen	35
32.10	Verstopping van terreinleidingen	36
32.11	Lekkage van terreinleidingen	38
32.12	Leidingbreuk door waterslag	38
33	Proces- en toestandsbewaking	40
33.1	Overzicht monitoringsysteem	40
33.2	Waterniveau in de (ruw)waterkelder of zandfilters	41
33.3	Debiet en putschakelingen	41
33.4	Stijghoogtemetingen en niveaubewaking	44
33.5	Specifiek debiet en intredeweerstand bij winputten	48
33.6	Q-h relaties bij puttenseries en horizontale winmiddelen	56
33.7	Camera-inspectie	58
33.8	Flowmeting in een putfilter	59
33.9	Deeltjestellingen	59
33.10	Geofysische monitoring en zoutwachters	61
33.11	Verdere details staan in [Kamps, 2008] en [Nienhuis et al., 2010]	
	Ruwwaterkwaliteitsbeoordeling	68
34	Optimalisatie bedrijfsvoering	73
34.1	Wat zijn schakelschema's	73
34.2	Stappenplan optimalisatie schakelschema's	74
34.3	Analyse verstoppingsprobleem	76
34.4	Randvoorwaarden schakelschema	77
34.5	Ontwerp schakelschema	81
34.6	Toepassing, monitoring en evaluatie van schakelschema's	82
34.7	Optimalisatie energiebeheer	83
35	Regeneratie van winputten	87
35.1	Keuze van regeneratiemethode en -timing	87
35.2	Mechanische regeneratiemethodes	89
35.3	Chemische regeneratiemiddelen	97
35.4	Dosering chemicaliën	100

35.5	Combinaties van regeneratiemethodes	102
35.6	Monitoren van het regeneratieproces	102
35.7	Effect van de regeneratie	103
35.8	Veiligheid en milieu	104
36	Overige onderhoud	106
36.1	Onderhoud onderwaterpompen	106
36.2	Onderhoud filterbuis en stijgbuis	108
36.3	Onderhoud putkopconstructie	109
36.4	Onderhoud waarnemingsbuizen	110
36.5	Onderhoud waarnemingsputten	111
36.6	Onderhoud terreinleidingen	111
36.7	Onderhoud horizontale winfilters	113
37	Abandoneren en amoveren	114
38	Plannen van onderhoud, renovatie en vervanging	115
38.1	Afschrijving	115
38.2	Jaarplannen en meerjarige investeringsplannen	116
38.3	Aanbesteding en regeneratiebestekken	116
39	Literatuur	117
I	In deze praktijkcode genoemde normen en beoordelingsrichtlijn	124

31 Bedrijfsvoering van het puttenveld

Richtlijn 1 Zorg voor een heldere procesbeschrijving inclusief taakverdeling en toekenning van verantwoordelijkheden tussen alle disciplines en afdelingen die betrokken zijn bij het beheer van het puttenveld.

Het beheer en onderhouden van een puttenveld is gericht op alle infrastructuur die nodig is om grondwater te winnen zoals de winputten, de terreinleidingen en waarnemingsputten. De kwaliteit en hoeveelheid gewonnen water heeft directe invloed op andere onderdelen van het drinkwaterbedrijf zoals het rendement van de zuivering en de vulgraad van de opslagvoorziening (reservoir). De ongestoorde levering van drinkwater van de gewenste kwaliteit vergt daarom afstemming binnen het drinkwaterbedrijf. Een goede samenwerking tussen de betrokken medewerkers van het drinkwaterbedrijf is daarbij essentieel. Dit vergt heldere afspraken over de taakverdeling tussen onder meer de bedrijfsvoerder van een drinkwaterproductielocatie (verantwoordelijk voor de dagelijkse bedrijfsvoering en corrigeren van kleine mankementen), onderhoudsploegen (of ingehuurde regeneratiebedrijven), putexperts en assetmanagers (optimalisatie van de bedrijfsvoering en planning van vervanging en onderhoud), omgevingsmanagers (bescherming van de grondstof), juristen (indien vergunningen nodig zijn voor onderhoud) en zuiveringstechnologen (waterkwaliteitseisen zuiveringsinstallatie). Het in deze praktijkcode geschetste overzicht van uit te voeren werkzaamheden kan hierbij als basis dienen voor het opstellen van een procesbeschrijving. De procesbeschrijving omvat een overzicht van de taken, wijze en frequentie van afstemming en verantwoordelijkheden inclusief wie verantwoordelijk is om beslissingen te nemen bij tegenstrijdige belangen. De exacte taakverdeling verschilt per bedrijf, en is daarom hier niet verder uitgewerkt. In deze praktijkcode is uitgewerkt hoe puttenvelden te exploiteren, met oog voor het gehele productieproces en integraal asset management. De focus is hierbij op de volgende technische aspecten.

- Het overzicht van degradatie en faalmechanismen (hoofdstuk 32) geeft aan wat er mis kan gaan en hoe hierop in te spelen.
- Vervolgens is aangegeven hoe metingen uit te voeren die noodzakelijk zijn voor de dagelijkse monitoring van het productieproces als ook de bewaking van de ruwwaterkwaliteit en onderhoudsstatus van de winmiddelen op lange termijn (hoofdstuk 33). Het ontwerp en de aanleg van het monitoringsysteem staan in de praktijkcodes PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b] respectievelijk PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020].
- Voor de aansturing van puttenvelden worden geautomatiseerde besturingssystemen gebruikt, waarin vooraf instellingen en processen zijn geprogrammeerd. Het zo milieubewust en kostenefficiënt mogelijk bereiden van drinkwater vergt periodieke controle en optimalisatie van deze besturingssystemen (hoofdstuk 34).
- De regeneratie van putten (hoofdstuk 35) en onderhoud van andere infrastructuur (pompen, terreinleidingen, et cetera; hoofdstuk 36) vormen vaak een belangrijke kostenpost. Een goede uitvoering van onderhoud is cruciaal om een lange levensduur van putten te garanderen. Het amoveren van eenmaal buiten gebruik gestelde putten dient zorgvuldig te gebeuren (hoofdstuk 37).
- Onderhoud en vervanging van winmiddelen moet tijdig worden gepland, zodat dit kan worden opgenomen in meerjarige investeringsplannen (hoofdstuk 38).

32 Degradatie- en faalmechanismen

32.1 Overzicht degradatie processen

Degradatie van winmiddelen kan leiden tot een afname van de capaciteit van het puttenveld, een verslechtering van de kwaliteit van het onttrokken water, extra onderhoud of een kortere levensduur van de infrastructuur. In de praktijk komende de volgende degradatieprocessen regelmatig voor bij winputten:

- Bij *verstopping* van putten neemt de hydraulische weerstand toe voor water dat de put in stroomt (§ 32.2).
- Ondiepe putten en leidingen kunnen ook verstopten door wortel ingroei (§ 32.3).
- Bij *zandlevering* stroomt er onbedoeld zand uit de formatie of omstorting de put in (§ 32.4).
- Lekkage van de stijgbuis of kleiafdichtingen kan *kortsluitstroming* (indringing van pathogenen en verontreinigingen in het winpakket) veroorzaken (§ 32.5).
- *Microbiologische verontreinigingen* kunnen ook worden veroorzaakt door verontreiniging tijdens werkzaamheden aan putten (§ 32.6).
- Door verandering van de *ruwwaterkwaliteit* kan de samenstelling van het onttrokken ruwe water buiten de grenzen van de zuiveringsinstallatie raken (§ 32.7).
- Degradatie door *veroudering van materialen* kan resulteren in lekkage (integriteitsverlies) en maakt putten kwetsbaarder voor verontreinigingen (§ 32.8).
- *Pompen* kunnen stuk gaan door versnelde slijtage (zandlevering), oververhitting (verminderde of slechte koeling) of beschadiging van pomponderdelen (cavitatie) (§ 32.9).

Ruwwaterleidingen, afsluiters en appendages zijn onderhevig aan vergelijkbare degradatieprocessen als distributieleidingen (zie praktijkcode PCD 6 [Mesman et al., 2016]). In deze praktijkcode is een aantal problemen beschreven die specifiek zijn voor puttenvelden:

- Naast winputten kunnen ook *terreinleidingen* verstopten (§32.10), bijvoorbeeld door neerslag van ijzerhydroxides bij menging van oxisch en anoxisch ruwwater (vergelijkbaar met biochemische putverstopping). Bij vacuümwinningen kan verstopping optreden door ophoping van gasbellen.
- Bij *Lekkage van terreinleidingen* van winningen met een vacuümsysteem levert de intrede van ondiep grondwater een hoge kans op microbiologische besmetting (§32.11).

In dit hoofdstuk wordt voor bovenstaande degradatieprocessen toegelicht (1) wat de oorzaken zijn, (2) hoe ze zijn te herkennen, (3) wat de potentiële gevolgen zijn voor de winning en (4) welke preventieve en curatieve maatregelen kunnen worden genomen. Corrosie van metaal door het winnen van brak of zout water zal in de volgende update van deze praktijkcode worden opgenomen.

32.2 Putverstopping

Drinkwaterbedrijven spenderen jaarlijks miljoenen euro's aan het regenereren, vervangen en monitoren van winputten (praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a]). Deze kosten hangen voor een groot deel samen met putverstopping. Dit onderwerp wordt daarom uitgebreid behandeld in deze praktijkcode.

In deze praktijkcode zijn meerdere verstoppingsprocessen te onderscheiden [Martin, 2013]. Bij *biochemische verstopping* accumuleren chemische neerslagen en/ of biofilms door menging van verschillende watertypen. Een vaak voorkomend probleem is de neerslag van ijzerhydroxiden door menging van zuurstofrijk (oxisch) en ijzerrijk (anoxisch) water (§ 32.2.1). *Mechanische verstopping* wordt veroorzaakt door het vastlopen van toestromende fijne

deeltjes rond de boorgatwand (§ 32.2.2). Bij *biologische verstopping* ontstaan biofilms in of rondom de put door een te grote aanvoer van nutriënten (water met hoge groeipotentie). Tot slot kan de porieruimte tussen de zandkorrels verstoppert met gas (*gasverstopping*). Biologische- en gasverstopping treden met name op bij infiltratieputten en zullen daarom in een separate praktijkcode worden behandeld (de nog op te stellen praktijkcode PCD 13-5).

Het onderscheid tussen biochemische verstopping (wat vaak groei van biomassa omvat) en biologische verstopping zit in de bron van koolstof. Bij biochemische verstopping wordt de biomassa overwegend gevormd door autotrofe bacteriën (met CO₂ als koolstofbron) die anorganische stoffen (zoals Fe²⁺) als elektronendonor hebben. Het aanvoerwater behoeft geen organisch koolstof te bevatten. Dit in tegenstelling tot biologische verstopping, die wordt gedomineerd door heterotrofe bacteriën die in het aanvoerwater opgelost organisch koolstof als koolstofbron gebruiken [PBG, 2022].

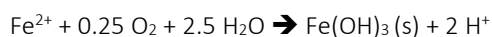
32.2.1 Oorzaken (bio)chemische verstopping

(Bio)chemische verstopping omvat de accumulatie van chemische neerslagen in de put, meestal in combinatie met biomassa. In deze paragraaf wordt de vorming van ijzer- en mangaan(hydr)oxiden, ijzersulfide, calciumcarbonaten en aluminiumhydroxiden toegelicht.

32.2.1.1 Ijzerhydroxiden

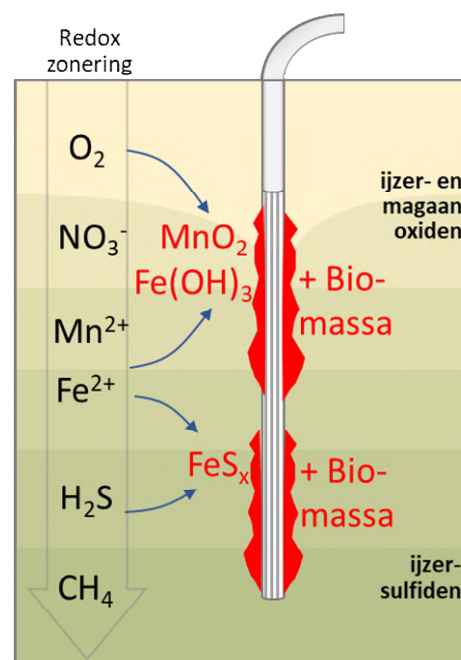
De samenstelling van water dat in de bodem infiltreert verandert naarmate het door de bodem stroomt als gevolg van interactie met reactieve bestanddelen die van nature aanwezig zijn in de bodemmatrix. Een bekend voorbeeld zijn de redoxprocessen waardoor eerst zuurstof afbreekt, vervolgens nitraat, waarna opgelost ijzer en mangaan toenemen en uiteindelijk sulfaat verdwijnt en waterstofsulfiden en methaan worden gevormd. Deze processen zijn gedreven door microbiologische afbraak van organische stof en resulteren in vorming van CO₂. Ze leiden vaak tot een verticale stratificatie van waterkwaliteit die de basis vormt voor chemische verstoppingsprocessen [Stuyfzand, 1988].

Wanneer een winput zuurstofrijk (oxisch) en ijzerhoudend (anoxisch) grondwater onttrekt, ontstaan bij menging ijzerhydroxiden (Fe(OH)₃) (Figuur 32-1)). Hierbij kunnen zowel fysische-chemische (homogene oxidatie, heterogene oxidatie) en biologische oxidatieprocessen actief zijn. Bij *homogene* oxidatie worden gereduceerd ijzer(II) en zuurstof gemengd en slaan ze neer als ijzer(III)hydroxiden:



vgl. 32-1

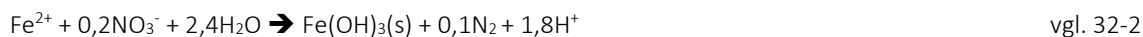
Dit proces verloopt langzaam bij zure omstandigheden (pH < 7) en sneller bij basische omstandigheden (pH > 7). Zodra er enige ijzerhydroxide aanwezig is, zal ook *heterogene* ijzeroxidatie optreden, wat gekenmerkt wordt door adsorptie van ijzer(II) aan reeds gevormde neerslagen en daaropvolgende oxidatie tot ijzer(III)hydroxiden. Dit proces verloopt sneller bij basische omstandigheden én naarmate er meer adsorptieplekken beschikbaar komen aan reeds gevormde ijzerhydroxiden. Bij *biologische* oxidatie zetten ijzeroxiderende bacteriën zoals '*Gallionella* spp' en '*Leptothrix* spp' (spp= species) het ijzer(II) om in ijzer(III). Hierbij wordt organisch koolstof gevormd door omzetting van CO₂. Het organisch koolstof wordt samen met het ijzer afgezet als extracellulaire polymere stof ('slijm'). Biologische gevormde ijzerhydroxiden kunnen goed hechten aan de filterbuis en andere oppervlakken. Hoewel de reactie weinig energie oplevert en daardoor traag verloopt, kunnen de grote volumes ijzer en zuurstof die door een put stromen zorgen dat na verloop van tijd zich grote hoeveelheden ijzerbiofilm vormen [van Beek,



Figuur 32-1 Het effect van redox zoner op putverstopping

2010]. IJzeroxiderende bacteriën leven op het grensvlak van ijzer- en zuurstofrijk water, bij voorkeur bij lage concentraties zuurstof en een neutraal tot licht zuur water (pH 5,5 – 7,0) [van Beek et al., 2012].

IJzeroxidatie kan ook optreden bij blootstelling van gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) aan nitraat in plaats van zuurstof. De reactievergelijking is dan als volgt [van Beek et al., 2016]:



De ijzeroxiden worden in eerste instantie afgezet als amorf materiaal. Na verloop van de tijd verandert de kristallijne structuur en wordt het omgezet tot Ferrihydriet en Goethiet. Deze rekristallisatie maakt de neerslag stabiel en harder, en daardoor lastiger te verwijderen bij regeneratie. Het is daarom belangrijk om putten tijdig te reinigen [Houben en Treskatis, 2007].

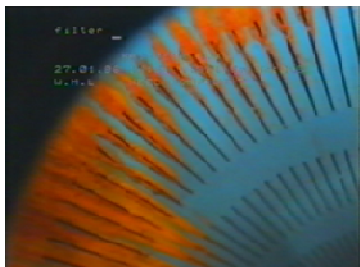
32.2.1.2 Mangaanoxide

Mangaanoxidatie treedt op door blootstelling van gereduceerd mangaan (Mn^{2+}) aan zuurstof (of nitraat):



Oxidatie van mangaan kan, net als ijzer, zowel fysisch-chemisch als microbiologisch verlopen. De reactie treedt in theorie bij meer geoxideerde condities op dan ijzeroxidatie [Houben en Treskatis, 2007]. Ook in een waterzuivering vindt mangaanoxidatie vaak plaats na vorming van ijzerhydroxiden [PBG, 2022]. Doordat de reacties kort na elkaar verlopen, bevatten ijzerhydroxiden in Nederlandse drinkwaterputten vaak ook geringe concentraties mangaanoxiden (zie Figuur 32-4A).

A. ijzerhydroxide



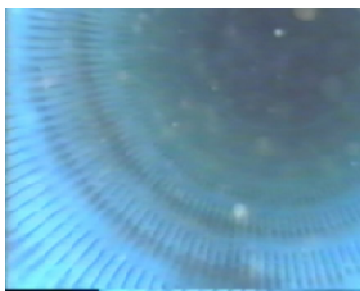
C. IJzersulfiden (vermoedelijk)



E. Aluminiumhydroxiden



B. Mangaanoxide



D. Methaanoxidatie i.c.m. ijzerhydroxiden



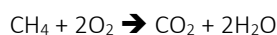
F. IJzerverstopping aan één zijde van de put



Figuur 32-2 Camerabeelden van verschillende type biochemische verstopping in filterbuizen. A + B = WML (M. Juhasz); C = WKO-systeem in Alkmaar [Drijver & de Ridder, 2021]; D= Radial Collector Well op Berkheide, Dunea; E= Brabant Water; F= Winning Heel, WML (D. Bustos).

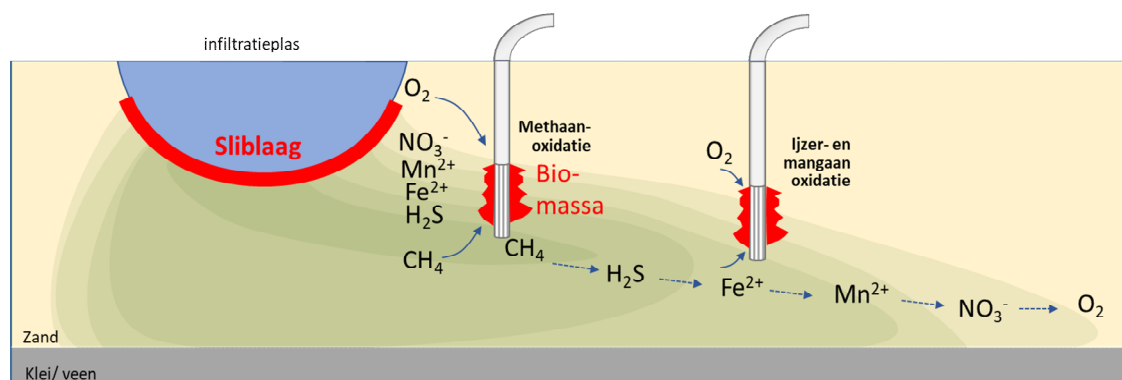
32.2.1.3 Biomassa door methaanoxidatie

Bij menging van methaan met ijzer of zuurstof komt veel energie vrij, wat kan leiden tot productie van grote hoeveelheden biomassa (slijm):



vgl. 32-4

Methaan kan ook redoxreacties aangaan met nitraat en in theorie ook met ijzerhydroxiden, mangaanoxiden en sulfaat, maar deze laatste reacties zijn metabolisch minder gunstig (leveren minder energie op) [Wallenius et al., 2021]. Menging van methaan en zuurstof komt weinig voor in Nederlandse drinkwaterputten aangezien methaan meestal op veel grotere dieptes zit dan zuurstof. Een mogelijke uitzondering vormt winning van kunstmatig infiltratiewater wanneer door ophoping van slib op de bodem van infiltratiepanden een deel van het infiltratiewater sterk reduceert [Stuyfzand & Luers, 2005; van der Schans et al., in prep]. Ook bij ASR (Aquifer Storage and Recovery) en ATR (Aquifer Transport and Recovery) systemen kan zuurstofhoudend infiltratiewater mengen met oorspronkelijk methaanhoudend grondwater. Dit hoeft bij ASR niet altijd tot verstopping te leiden aangezien er afwisselend wordt geïnjecteerd en onttrokken (persoonlijke mededeling Ton Ebbing, Vitens).



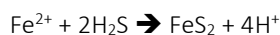
Figuur 32-3 Het effect van redoxzonering op putverstopping rond een infiltratieplas (gebaseerd op [Stuyfzand, 2005; van der Schans et al., 2022d]).

32.2.1.4 Ijzersulfiden

In diepere anoxisch pakketten gebruiken, afhankelijk van pH, sulfaatreducerende bacteriën het aanwezige organisch materiaal om sulfaat af te breken tot sulfide (H_2S , HS^-). Bij menging van deze sulfides met ijzerrijk grondwater kunnen ijzersulfiden (FeS en FeS_2) chemisch neerslaan [van Beek & Kooper, 1980].



vgl. 32-5

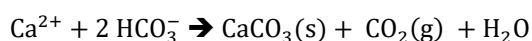


vgl. 32-6

Figuur 32-4D toont in een winput gevormd pyriet (FeS_2), te herkennen aan de bolvormige, framboïdale structuur [Raaijmakers, 2011]. Opgelost ijzer en sulfiden komen uitsluitend voor in anoxisch grondwater. Dit type verstopping wordt daarom meestal gevormd in putten op grotere diepte onder een klei- of veenlaag [Stuyfzand et al., 1992] waaronder WKO-putten [Drijver & de Ridder, 2021]. Ijzersulfiden kunnen ook worden gevormd wanneer anoxische condities optreden in biofilms die worden veroorzaakt door andere type verstopping (zie §32.2.3) [Houben en Treskatis, 2007].

32.2.1.5 Calciumcarbonaat

Calcium (Ca^{2+}) en carbonaten (HCO_3^- en CO_3^{2-}) zijn stoffen die door verzuring oplossen uit in de bodem aanwezig kalk. Deze verzuring ontstaat door vorming van kooldioxide (CO_2) bij microbiële afbraak van organische stof en respiratie door plantenwortels, maar ook door zuur afkomstig van atmosferische depositie van zwaveloxiden en ammoniak. Ten slotte is oxidatie van pyriet door nitraat of zuurstof een belangrijke bron van zuur in de ondergrond. Calcium (Ca^{2+}) en bicarbonaat (HCO_3^-) kunnen weer chemisch neerslaan tot calciumcarbonaat (CaCO_3) als het grondwater oververzadigd raakt met carbonaat en calcium [Appelo en Postma, 2005] volgens de volgende evenwichtsvergelijking:

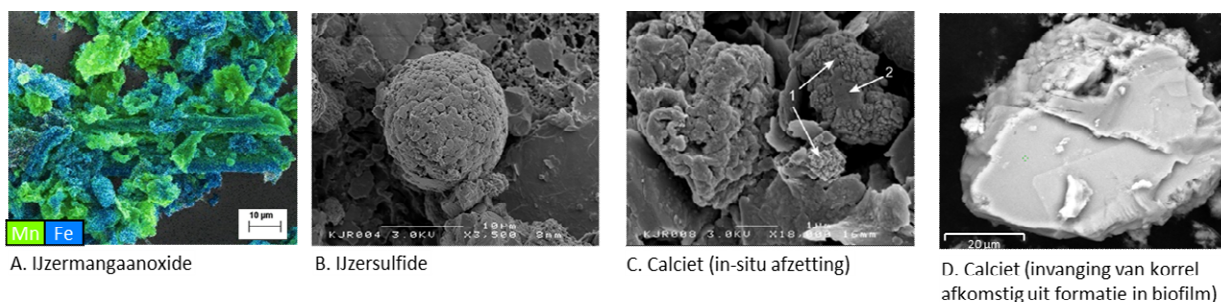


vgl. 32-7

De vorming van dergelijke neerslagen in putten wordt ook wel aangeduid onder de algemene term scaling. Neerslag van calciumcarbonaat treedt op bij verschuiving van het kalk-koolzuur evenwicht, zoals een toename van HCO_3^- en Ca^{2+} of een afname van opgelost CO_2 dat kan ontstaan door menging van watertypen of ontgassing van CO_2 in de put ([van Beek, 2010], hoofdstuk 8). Scaling door vorming van HCO_3^- kan optreden wanneer er lokaal gereduceerde condities optreden in een reeds in de put gevormde biofilm (zie § 32.2.3) [Houben et al., 2003]. Scaling door afname van CO_2 kan het gevolg zijn van veranderingen in druk, toename van de temperatuur en agitatie, waardoor ontgassing optreedt. Water dat een put binnentreedt, ondergaat namelijk een drukval, waardoor de oplosbaarheid van CO_2 mogelijk iets afneemt (vergelijkbaar met de gasbellen die ontstaan bij openen van een flesje cola), hierdoor verschuift het evenwicht en kan CaCO_3 neerslaan ([van Beek, 2010], hoofdstuk 8). Verandering van temperatuur leidt ook tot een lagere oplosbaarheid van CO_2 . Dit proces speelt geen significante rol bij putten ten behoeve van drinkwater, maar wel bij putten voor geothermie en hoge temperatuuropslag [Eichringer & Hartog, 2016]. Wanneer grondwater de put in stroomt, ontstaan in de stijgbuis en met name bij de pomp turbulenties, die ontgassing kunnen veroorzaken (denk aan het schudden van een colaflesje) resulterend in scaling van de pomp. In tegenstelling tot de andere neerslagen hoeft er dus geen menging plaats te vinden van verschillende watertypen. Kalk-oververzadigde condities kunnen in kalksteen aquifers optreden, maar ook in andere kalkarmere formaties [Houben en Treskatis, 2007]. Het is lastig om scaling in drinkwaterputten te voorspellen aangezien oververzadigde carbonaten niet altijd neerslaan. De kinetiek van het aangroeien van kristallen is ook van belang [Appelo & Postma, 2005].

De meest voorkomende neerslagen zijn calciumcarbonaten (calciet) en in mindere mate calcium-magnesiumcarbonaten (dolomiet). Bij oververzadiging in ijzerhoudend (anoxisch) grondwater kan ijzercarbonaat ontstaan, tenzij er sulfiden aanwezig zijn in welk geval er ijzersulfiden ontstaan [Houben en Treskatis, 2007].

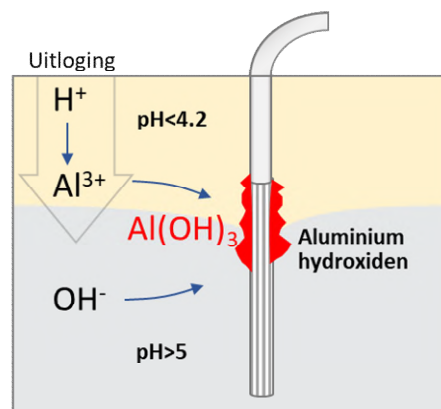
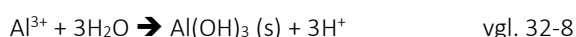
Calcium is in Nederland veel als bijproduct aangetroffen in putten met ijzerverstopping [Medina, 2013]. Volgens Van Beek [2010] kan de neerslag in situ worden afgezet als neveneffect van HCO_3^- productie in biofilms (zie Figuur 32-4C, pijltje 1), maar mogelijk worden ook calcietdeeltjes uit de omliggende formatie meegevoerd met het toestromende grondwater (zie Figuur 32-4D) [Van der Schans et al., 2022d].



Figuur 32-4 Putverstoppingsmateriaal afgebeeld met een elektronenmicroscop. A+D = HDDW, Dunea [van der Schans et al., in prep]. B+C = drinkwaterproductielocatie Nuland, Brabant Water [Raaijmakers, 2011].

32.2.1.6 Aluminiumhydroxiden

Bij belasting van kalkloze formaties met verzurende stoffen, zoals infiltratie van nitraat en atmosferische depositie van zwaveldioxide (SO₂) en ammoniak (NH₃), kan de bodem sterk verzuren. Bij pH < 4,2 lost het aluminium op vanuit de bodemmatrix. Wanneer een put een mengsel onttrekt van zowel zuur als basisch water (afkomstig uit diepere lagen), neemt de oplosbaarheid van aluminium af door stijging van de pH waardoor het chemisch kan neerslaan tot aluminiumhydroxiden (Figuur 32-5) [Stuyfzand et al., 2016; Kaufhold et al., 2016]:

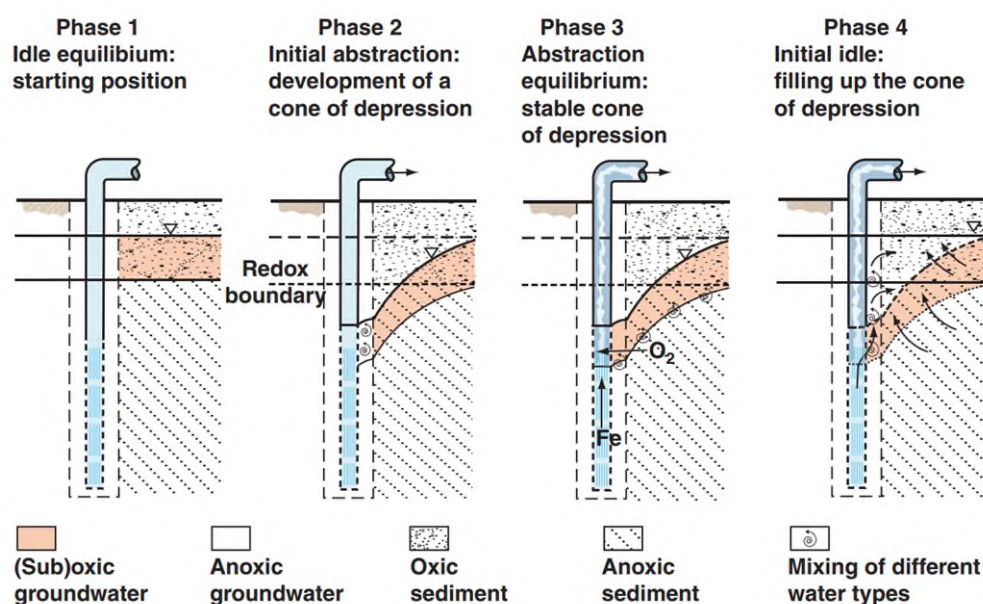


Figuur 32-5 Vorming van aluminiumhydroxiden in een uitgeloopte bodem (gebaseerd op [Houben & Treskatis, 2007]).

32.2.1.7 Invloed van bedrijfsvoering

De lokale bedrijfsvoering kan grote invloed hebben op de hoeveelheid en de plek waar ijzerhydroxiden accumuleren. Als winputten continu worden bedreven, zullen het zuurstof- en ijzerrijke water pas met elkaar in contact komen in de filterbuis. De neerslagen accumuleren dan op de filterspleten en -bruggen en benedenstrooms in de filterbuis, onderwaterpomp, appendages, haalbuis en terreinleidingen [van Beek, 2009]. De verstopping in de filterspleten kan zich in beperkte mate uitbreiden naar de omstorting direct bovenstrooms van de filterspleten. Dit gebeurt door micro-organismen zoals *Galionella* spp. die stoffen en elektronen kunnen uitwisselen tussen de oxische en anoxische zones [PBG, 2022].

Het regelmatig aan- en uitschakelen van putten stimuleert chemische verstopping. In het voorbeeld in Figuur 32-3 zit de redoxovergang tussen oxisch en anoxisch water boven het winfilter als de put is uitgeschakeld in fase 1. De diepte maakt voor het voorbeeld niet uit. Bij het inschakelen van de pomp (fase 2), wordt versneld een grote hoeveelheid zuurstofrijk water naar grotere diepte verplaatst door neerwaartse stroming. Dit zuurstofrijke water mengt met het anoxische water waarbij het aanwezige anoxisch ijzer zal oxideren in de formatie en omstorting. Hierdoor kunnen ook buiten de filterbuis ijzerhydroxiden vormen en neerslaan. Het oxische- en ijzerrijke water mengt ook in de filterbuis tijdens onttrekking (fase 3). Na uitschakelen van de pomp wordt de onttrekkingskegel weer opgevuld waardoor zuurstof- en ijzerrijk water wederom mengen buiten de put (fase 4). Bovendien kan het in de put aanwezige ijzer volledig oxideren en neerslaan, zelfs op grotere diepten in de put waar normaal gesproken geen ijzer en zuurstof mengen [van Beek, 2009; Stuyfzand, 2013]. Op puttenvelden is bovendien soms sprake van een lichte verticale stijghoogtegradiënt in het grondwater, waardoor het ijzer onderin de put richting de boorgatwand kan verplaatsen (fase 1) [Medina et al., 2013]. Het regelmatig schakelen van putten kan dus leiden tot een grotere aanvoer van zuurstof en menging [Menz, 2016] resulterend in een versnelling van de verstopping en vorming van neerslagen in de omstorting (en formatie) [van Beek, 2009]. Dit laatste maakt putten ook lastiger te regenereren.



Figuur 32-3 Menging van oxisch en anoxisch grondwater bij regelmatig aan- en uitschakelen van winputten in een freatisch grondwaterpakket (naar [van Beek, 2009]).

32.2.1.8 Locatie van ijzerneerslag

Volgens van Beek [2018] en van Beek et al. [2020] zijn putten met een lage pH (< 7) in Nederland gevoeliger voor verstopping van de filterspleten dan hoge pH (> 7). Dit komt doordat bij lage pH de concentratie ijzer in het grondwater vaak hoger is. Daarnaast verlopen de fysisch-chemische reacties trager, waardoor er verhoudingsgewijs veel biologische ijzeroxidatie optreedt welke, door de slijmvorming, goed kunnen blijven hechten. Bij hoge pH worden langs fysisch-chemische processen sneller ijzerhydroxiden gevormd en meegevoerd, waarna ze neerslaan op de pomp en terreinleidingen.

De locatie waar verstoppingen optreden, kan in de loop van de tijd veranderen. Bij winputten die bovenin zuurstofrijk en onderin ijzerrijk grondwater onttrekken, begint de verstopping meestal bovenin het winfilter. Als het bovenste deel van het filter eenmaal verstopt is, moet het oxische water een omweg nemen en op grotere diepte het winfilter binnentreden. De diepere delen van de putten zullen hierdoor ook langzaam verstopt raken. Door toename van de hydraulische gradiënt kan ook de zuurstof toevoer toenemen, wat de verstopping versnelt [Houben en Treskatis, 2007].

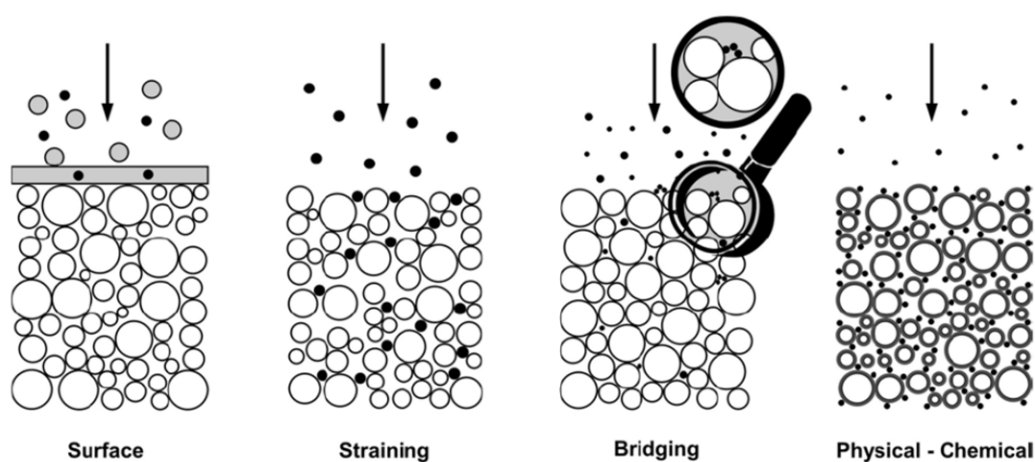
Bij oeverfiltratieputten kan ijzerverstopping ook op afwijkende locaties optreden. Bij sommige putten is namelijk vaak sprake van toestroming van zuurstofrijk geïnfilterd oeverfiltraat aan de ene kant en ijzerrijk grondwater van de andere kant, waardoor beide watertypen horizontaal mengen in de put. Er kan dan eenzijdige verstopping optreden, waarbij de ijzeroxiden aan één kant van het winfilter worden gevormd (zie Figuur 32-2F) [Medina et al., 2013].

32.2.2 Oorzaken mechanische verstopping

De meest voorkomende oorzaken van verstopping op de boorgatwand zijn de aanwezigheid van restanten boorspoeling ('filter cake') en accumulatie van deeltjes die toestromen uit de omliggende formatie ('diep-bed filtratie'). Daarnaast kan ook verstopping optreden door zwelling van klei [Olsthoorn, 1982]. Dit laatste kan met name optreden bij boren van infiltratieputten (en peilbuizen) in zoute aquifers en zal daarom in een separate praktijkcode worden behandeld (de nog op te stellen praktijkcode PCD 13-5 'Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater; Deel 5: Infiltratieputten').

32.2.2.1 Resten boorspoeling (filtercake)

Boorspoelingen zijn bedoeld om de boorgatwand tijdens aanleg af te sluiten, zodat het werkwatervlies wordt beperkt en het boorgat stabiliseert. De resulterende filtercake bestaat uit deeltjes van klei (en veen) afkomstig van ondiepere doorboorde lagen die zijn losgewoeld tijdens het boorproces en (indien deze zijn toegepast) booradditieven zoals bentoniet. Idealiter ligt de filtercake oppervlakkig op de boorgatwand, maar in de praktijk dringt door de overdruk in het boorgat de boorspoeling een stuk de formatie binnen door diep-bed filtratie, wat leidt tot het blokkeren van de open ruimte (poriën) (Figuur 32-6). De mate waarin de boorspoeling de formatie indringt, is afhankelijk van vele factoren zoals de samenstelling van ondiepe doorboorde kleilagen, de korrelgrootte van de formatie en de toepassing van booradditieven. Na het inbouwen van een put moet die worden ontwikkeld om de filtercake weer zoveel mogelijk te verwijderen, zie § 22.4 van praktijkcode PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]. De filtercake kan echter zodanig cohesief zijn dat ze de mechanische stress die wordt veroorzaakt door het aanvullen van de gravelpack en het schoonpompen van de winput kan worden weerstaan. De put is dan al bij aanleg verstopt [Houben et al., 2016].



Figuur 32-6 Filtratiemechanismen van gesuspendeerde deeltjes in poreuze media (gebaseerd op [McDowell-Boyer, 1986] en overgenomen uit [de Zwart, 2007]).

32.2.2.2 Accumulatie van deeltjes tijdens gebruiksfase

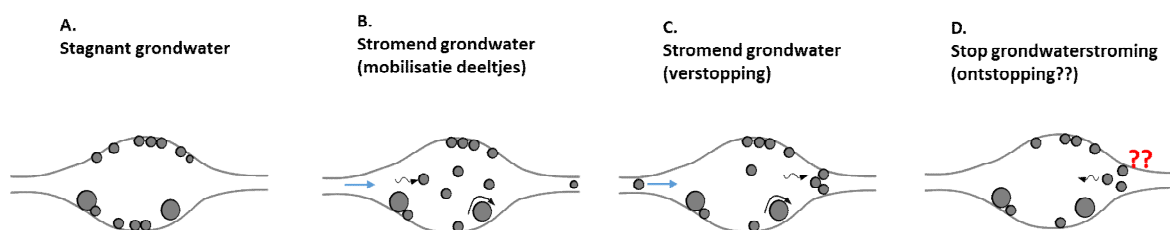
Deeltjesverstopping door diep-bed filtratie omvat het blokkeren van de open ruimte (poriën) door accumulatie van gesuspendeerde deeltjes die met het grondwater naar de winput stromen en vastlopen op de boorgatwand of direct daarbuiten in de omliggende formatie. Dit leidt tot een toename van de hydraulische weerstand.

De verstoppende deeltjes (silicaten, kleimineralen en plantenresten/veen) zijn afkomstig uit de omliggende formatie en zijn normaal gesproken gehecht aan de oppervlak van het korrelskelet. Ze zijn daardoor meestal immobiel in een oorspronkelijke niet-antropogeen beïnvloede grondwatersituatie met lage stroomsnelheden van orde grootte enkele tientallen meters per jaar (zie Figuur 32-7A). De deeltjes zijn zodanig klein dat ze kunnen worden gemobiliseerd en getransporteerd door de poriën van een aquifer en voldoende groot om bij te kunnen dragen aan verstopping. In de praktijk hebben de verstoppende deeltjes een grootte van 1 – 20 μm en is de meerderheid 1 – 5 μm ([de Zwart, 2007], hoofdstuk 2).

Bij het inschakelen van een winput vergroot de grondwaterstroming rondom de put sterk. De resulterende verandering van de hydrodynamische krachten zorgt ervoor dat een deel van de colloïden losraakt van het korrelskelet en met het grondwater meestroomt of rolt (zie Figuur 32-7B). Hoeveel deeltjes in suspensie komen, hangt mede af van de initiële concentratie aan colloïden in het korrelskelet, de stroomsnelheid, de korreldiameter en de elektrostatische bindingseigenschappen van de deeltjes. Overigens kunnen deeltjes ook in suspensie raken bij verandering van de zoutconcentraties/pH/temperatuur, aangezien dit de elektrostatische bindingseigenschappen tussen deeltjes en korrelskelet beïnvloedt [de Zwart, 2007; Torkzaban et al., 2015; Siqueira et al., 2014].

Er zijn verschillende filtratiemechanismen waardoor gesuspendeerde deeltjes vervolgens benedenstrooms kunnen accumuleren (Figuur 32-7C, Figuur 32-6). Bij straining zijn de deeltjes te groot en komen ze daarom daardoor vast te zitten in de poriehalzen. Bij bridging vormen meerdere deeltjes tegelijk een brug tussen zandkorrels. 'Physical-chemical attachment' is een fysisch-chemisch proces waarbij deeltjes aan het korrelskelet hechten door zwaartekracht en elektrostatische (DLVO)-krachten. 'Surface cake' wordt gevormd wanneer deeltjes toestromen die groter zijn dan de poriën van het poreuze medium (doorstroomde oppervlak van de flessenhals) en dit medium van buiten willen binnendringen. Dit laatste proces speelt bijvoorbeeld bij de vorming van een filtercake door boorspoeling in de aanlegfase. Bij het inschakelen van een winput is de toename van de stroomsnelheid en daarmee de hoeveelheid gemobiliseerde deeltjes het grootst nabij de put. Deze combinatie van hogere stroomsnelheid en concentratie deeltjes, resulteert dan ook in een veel grotere kans op het vastlopen van de deeltjes nabij de boorgatwand [de Zwart, 2007; Torkzaban et al., 2015; Siqueira et al., 2014].

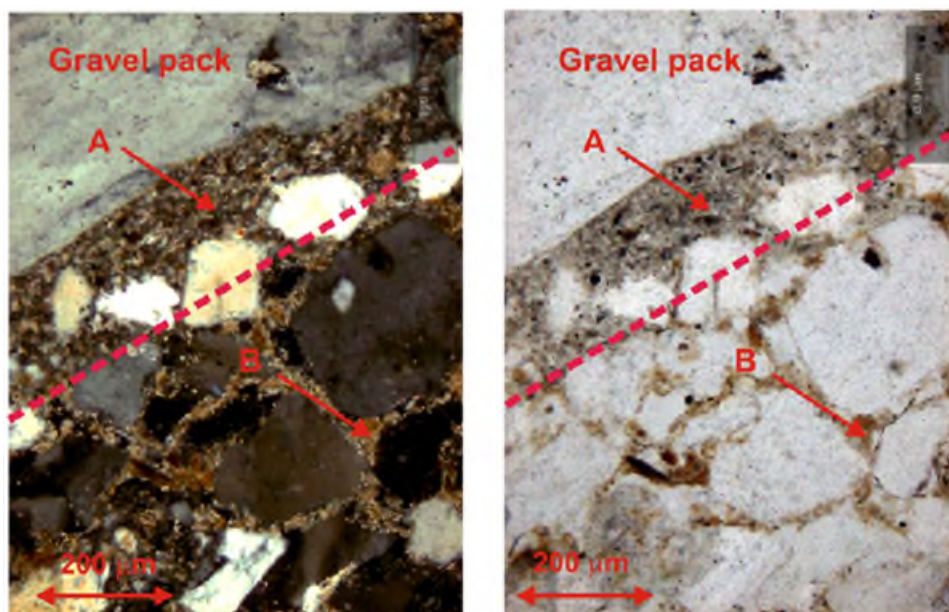
Bij het stopzetten van de stroming (bijvoorbeeld door het uitschakelen van een pomp) kunnen de gesuspendeerde colloïden weer hechten aan de korrels (Figuur 32-7D). Deeltjesbruggen die de flessenhals blokkeren, kunnen uiteenvallen, resulterend in een toename van de permeabiliteit. Toename van de permeabiliteit treedt waarschijnlijk niet op wanneer de deeltjesbruggen te hecht zijn, bijvoorbeeld doordat er teveel deeltjes in een flessenhals zijn geaccumuleerd [de Zwart, 2007; Torkzaban et al., 2015; Siqueira et al., 2014].



Figuur 32-7 Conceptueel model van deeltjestransport voor, tijdens en na het inschakelen van een winput. (A) De colloïdale deeltjes zijn aanvankelijk aan het korrelskelet gehecht en (B) komen in suspensie na vergroting van de stroomsnelheid om (C) vervolgens te accumuleren in de poriehalzen en (D) mogelijk losraken bij stoppen van grondwaterstroming (gebaseerd op [Torkzaban et al., 2015; Siqueira et al., 2014]).

32.2.2.3 Invloed van resten boorspoeling op deeltjesverstopping

Naarmate een put verder is verstopt, wordt een groter percentage van de toestromende deeltjes afgevangen. De verstopping van een put kan hierdoor na verloop van tijd versnellen. Ook de aanwezigheid van resten boorspoeling op de boorgatwand kan zorgen voor snellere verstopping. Het is voor de levensduur van een put dan ook essentieel om deze bij aanleg volledig te ontwikkelen. In de praktijk komt het regelmatig voor dat de specifieke volumestroom van putten toeneemt na oplevering. Deze vorm van 'spontane ontwikkeling' duidt erop dat de put bij aanleg niet volledig was ontwikkeld [PBG, 2022].

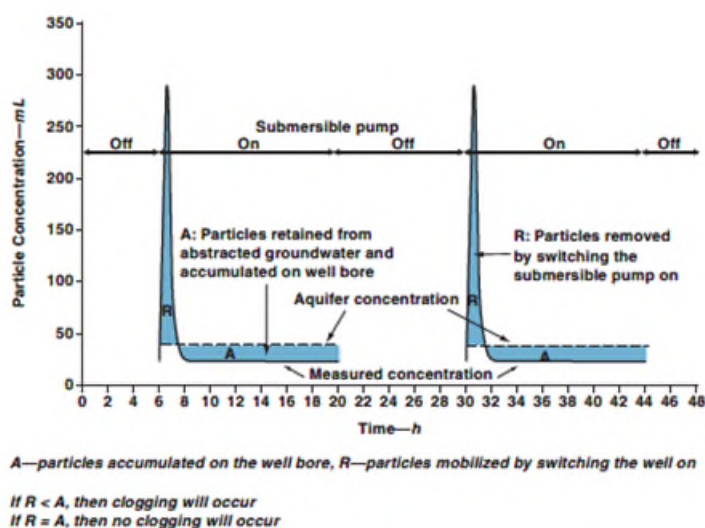


Figuur 32-8 Detailopname van de boorgatwand van een winput in Noardburgum. Op de figuur zijn twee types deposities te zien. 'A' bestaat uit filtercake/boorspoeling, 'B' zijn deeltjes afkomstig uit de omliggende formatie. De grote korrel linksboven is de omstorting. De korrels onderin de figuur zijn onderdeel van de formatie [de Zwart, 2007].

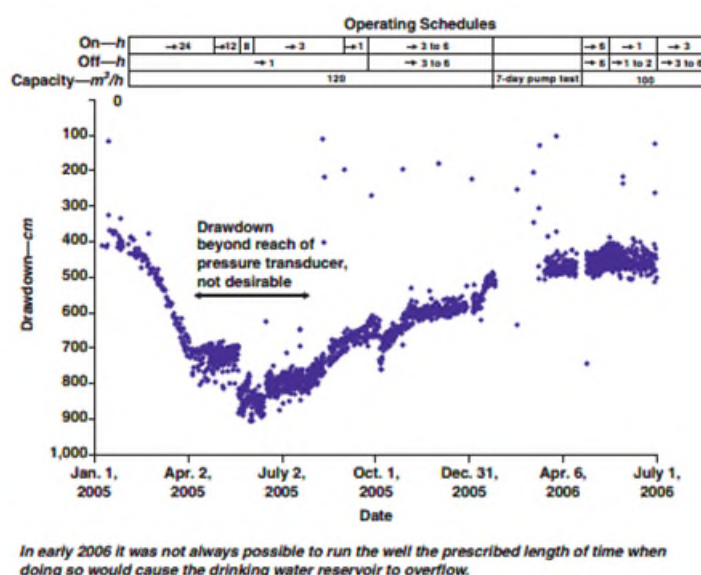
32.2.2.4 Invloed van bedrijfsvoering op mechanische verstopping

Bij het inschakelen van een winput ontstaat een piekconcentratie van het aantal deeltjes. Deze concentratie neemt snel af tot een min of meer stationaire waarde. Als tijdens de onttrekking gemiddeld meer deeltjes zijn geaccumuleerd dan tijdens het starten van de pomp kunnen worden vrijgemaakt, zal de put beginnen te verstopen. Het omgekeerde is eveneens van toepassing: als er minder deeltjes zijn geaccumuleerd dan een startende pomp kan mobiliseren, zal geen deeltjesverstopping optreden (Figuur 32-9). Deeltjesverstopping kan dus deels (maar niet altijd) worden voorkomen door voldoende schakelen van de put of door het verlagen van de draaiuren (zie voorbeeld in Figuur 32-10). Merk op dat deze preventiemethode tegengesteld is aan die voor chemische verstopping. Bij een chemische verstopping is een continue onttrekking juist van belang [van Beek, 2009]. Gedurende de bedrijfsvoering kunnen ook de omstandigheden veranderen, waardoor de verstoppingssnelheid kan veranderen.

Hoewel het grondwater dat onttrokken wordt uit mechanisch verstoppende putten gemiddeld een grotere concentratie deeltjes bevat, zijn er ook putten met een relatief hoge concentraties deeltjes die niet verstopen [van Beek, 2003]. De kans op verstopping hangt (naast draaiuren) ook samen met de stroomsnelheid (hogere stroomsnelheid = grotere kans op verstopping), korreldiameter (fijne zanden zijn verstoppingsgevoeliger), heterogeniteit van de formatie (heterogene formaties verstopen sneller) en concentratie chloride (hoge concentratie verstopt sneller). Korte winfilters blijken statistisch gezien ook sneller te verstopen; vermoedelijk omdat deze vaker in formaties staan die gevoeliger zijn voor verstopping en waar grotere stroomsnelheden plaatsvinden (subparagraaf 2.8.6 van [de Zwart, 2007; Vonk en van der Schans, 2019]).



Figuur 32-9 Schematische illustratie van de relatie tussen putverstopping en de concentratie deeltjes die wordt onttrokken uit een winput [van Beek, 2009].



Figuur 32-10 Illustratie van relatie tussen het aantal draaiuren en schakelfrequentie en de verstopping van een winput op drinkwaterproductielocatie Tull en 't Waal. In de periode jan – juli 2005 was het aantal draaiuren tot drie keer groter dan de rustperiode. Dit zorgde voor een toename van de afpomp (drawdown). Door te zorgen dat de put niet meer dan 50% van de tijd draaide en elke 3 tot 6 uur schakelde, is het gelukt om de put te 'ontstoppen' (afname afpomp [van Beek, 2009].

32.2.3 Combinatie van verstoppingsprocessen

32.2.3.1 Secundaire reacties in biochemische neerslagen

De milieucondities in eenmaal gevormde chemische en biologische afzettingen wijken vaak af van het omliggende milieu. In een biofilm heersen vaak meer anoxische condities die een habitat kunnen vormen voor bijvoorbeeld sulfaat-reducerende bacteriën waardoor sulfaat, organisch materiaal en ijzer wordt omgezet tot ijzersulfide [Houben en Treskatis, 2007] (zie onderdeel 32.2.1.4). Sulfaat-reducerende bacteriën produceren bicarbonaat als bijproduct wat in theorie ook kan bijdragen aan de neerslag van carbonaten [PBG, 2022].

Voorbeeld: Water dat wordt onttrokken tijdens chemische regeneratie van putten die verstopt zijn op de boorgatwand bevat vaak organische stof en sulfaat. Dit duidt op reactie van het regeneratiemiddel (oplossingen

van natriumhypochloriet (chloorbleekloog) of waterstofperoxide) met organische stof en ijzersulfiden. Volgens onderzoek bij winning Nuland [Raaijmakers, 2011] en in het rivierengebied [van Beek en Kooper, 1980] waren deze neerslagen lokaal gevormd. Maar volgens Jongmans [2004] bestond het organische materiaal in winning Noordbergum juist uit plantenresten en dergelijke die waren meegevoerd met het naar de put toestromende grondwater.

32.2.3.2 *Invanging van deeltjes in biofilms en biochemische neerslagen*

Het voorbeeld van Noordbergum laat zien dat een eenmaal gevormde biofilm ook kan bijdragen aan mechanische verstopping door invanging van klei- en slibdeeltjes die zijn gesuspenderd in het toestromende grondwater. Dit kan het verstoppingsproces versnellen [Houben en Treskatis, 2007]. dergelijke combinaties van verstoppingsprocessen kunnen dus zowel optreden bij verstopping van filterspleten (zie Figuur 32-4D) als bij boorgatwandverstopping (zie Figuur 32-4B, C).

32.2.3.3 *Biologische verstopping in biochemische neerslagen*

Op een eenmaal gevormde biofilm kunnen ook allerlei heterotrofe organismen groeien. Deze maken gebruik van de organische stoffen die ontstaan tijdens de biochemische verstoppingsprocessen; ‘grazen’ op de reeds gevormde biofilm [Houben en Treskatis, 2007].

32.2.4 **Potentiële gevolgen**

Verstopping van winputten kan de navolgende gevolgen hebben [PBG, 2022].

- **Toename van de afpompings bij een gegeven debiet en verhoogd energieverbruik**
Bij onderwaterpompen is (binnen het werkbereik) het debiet meestal weinig gevoelig voor een toename van de opvoerhoogte. Verstopping leidt dan tot meer afpompings zonder significante afname van het debiet.
- **Afname van het debiet per winput**
Het debiet van vacuümwinningen (ongunstige Q-h kromme) en onderwaterpompen die buiten hun optimale werkbereik functioneren (bijvoorbeeld omdat ze verbonden zijn aan een lange terreinleiding waarbij veel drukverlies optreedt), is vaak gevoeliger voor toename van de opvoerhoogte. Risico op uitval van waterlevering door het droogvallen van onderwaterpompen.
- **Wanneer meerdere putten tegelijk ernstig zijn verstopt, kan de capaciteit en leveringszekerheid van het puttenveld als geheel afnemen.**
- **Frequenter onderhoud van de put (interruptie van productie, hogere kosten)**
- **Naast de winput, kan ook de pomp versneld kapot gaan of meer onderhoud behoeven. Door vorming van chemische neerslagen op de pompmotor (ijzerhydroxiden, scaling) kan de pomp oververhit raken.**
Gesuspenderde deeltjes aluminiumhydroxiden kunnen een pomp fysiek beschadigen waardoor deze sneller stuk gaat [Kaufhold et al., 2016]. Bij afname van het pompdebiet kan ook de koeling van de onderwaterpomp onvoldoende worden en de motor doorbranden. Voorgaande processen kunnen elkaar versterken. Als te laat wordt geregenereerd, kan dat leiden tot onherstelbare capaciteitsvermindering waardoor pompputten veel sneller moeten worden verlaten en vervangen.
- **Verandering van de samenstelling van het onttrokken water wanneer verstopte lagen een duidelijk andere waterkwaliteit hebben dan de niet-verstopte delen van een winfilter. Dit speelt met name in putten waarvan de winfilters zijn verspreid over meerdere watervoerende lagen. Als een put water onttrekt uit één pakket is de stroming (gradiënt) uniform op een afstand van enkele malen de pakketdikte en heeft verstopping geen invloed op de stroming.**

32.2.5 **Detectie en conditiebepaling**

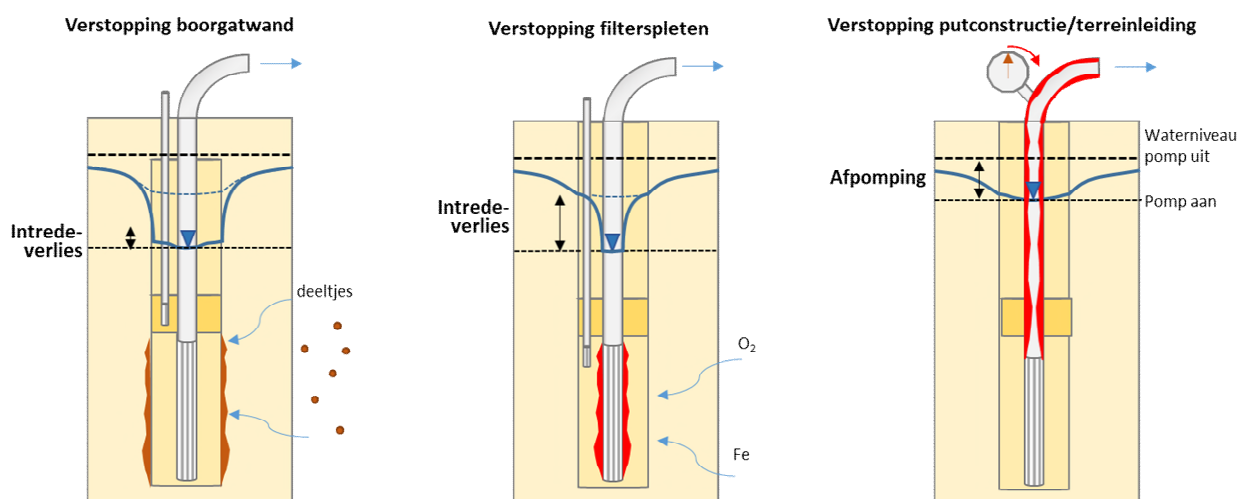
<i>Richtlijn 2 Stel (indien uit monitoring of onderhoud blijkt dat een put verstopt) vast wat voor type verstopping optreedt en welk verstoppingsproces hiervoor verantwoordelijk is.</i>

32.2.5.1 Type putverstopping

Een eerste stap in het diagnosticeren waarom een put verstopt, is om vast te stellen wat voor type verstopping optreedt. Een put kan namelijk op verschillende plaatsen of combinaties daarvan verstopten (Figuur 32-11) [van Beek, 2018]:

- Bij verstopping op de boorgatwand neemt de afpompings (= verschil in waterniveau tussen een in- en uitgeschakelde put) toe bij gelijkblijvend debiet. Dit wordt ook wel aangeduid als een afname van het specifieke debiet (= het aantal m³/h dat wordt onttrokken bij 1 m verlaging, zie § 33.5). Het intredeverlies (= verschil in waterniveau tussen het winfilter en een waarnemingsfilter in de omstorting) blijft echter constant.
- Verstopping van de filterspleten is te herkennen aan een toename van het intredeverlies bij gelijkblijvend debiet.
- Bij verstopping van de putconstructie (casing, pomp) en terreinleidingen (leidingen, kleppen, appendages) neemt de weerstand tussen het winfilter en de zuivering toe. Dit leidt tot een toename van het drukverlies in de leiding bij gelijkblijvend debiet. (of een afname van het debiet bij gelijkblijvend drukverlies).
- Tot slot kan verstopping optreden in de formatie rond de put [Olsthoorn, 1982].

Let op: Bij freatische winningen kan het specifiek debiet ook afnemen door een dalende waterstand. Daling van de grondwaterstand veroorzaakt namelijk een afname van de transmissiviteit (kD-waarde). Dit effect is met name sterk in kalksteen, omdat de doorlatendheid van kalksteen op grotere diepte vaak afneemt [PBG, 2022].



Figuur 32-11 Overzicht van verschillende type putverstopping (gebaseerd op [van Beek, 2009] en [van Beek, 2018]).

In de praktijk is er vaak (maar niet altijd) een samenhang tussen het type verstopping en de verstoppingsprocessen. Bij winputten is verstopping op of rond de boorgatwand vaak het gevolg van mechanische verstopping door resten boorspoelmiddel en/of filtratie van deeltjes uit de formatie. Verstopping op de filterspleten en putconstructie wordt meestal veroorzaakt door (bio)chemische processen [van Beek, 2010]. Dispergeren van klei bij zoetwaterinjectie in zoute aquifers leidt tot verstopping van de formatie rondom de put [Martin, 2013].

32.2.5.2 Eenvoudige diagnose van het type verstopping en verstoppingsproces

Bij putten ten behoeve van drinkwater kan in de meeste gevallen aan de hand van enkele eenvoudige kenmerken worden vastgesteld of er sprake is van (1) mechanische verstopping op de boorgatwand, (2) filterspleetverstopping door ijzerhydroxide of (3) verstopping van de terreinleidingen met (zie Tabel 32-1) [van Beek, 2009; van Beek, 2018; Stuyfzand, 2015].

- *Locatie verstopping*

Bij filterspleetverstopping neemt de specifieke volumestroom af als gevolg van een toename van het intredeverlies. Dit houdt in dat de specifieke afpompings (= afpompings/debiet) en het specifieke intredeverlies beiden evenveel toe nemen ten opzichte van de waarde bij oplevering (zie *Figuur 32-11*). Bij mechanische verstopping neemt de specifieke volumestroom ook af, maar zonder toename van het intredeverlies.

- *Neerslagen*

Bij filterspleetverstopping zijn er vaak neerslagen op de stijgbuis, onderwaterpomp, inhangleiding, terreinleidingen (waarneembaar via zintuigelijke waarneming) en op de *filterspleten* (met een camera-inspectie). Mechanisch verstopte putten zijn doorgaans schoon, behoudens soms neerslagen bovenin de casing en pomp door zuurstoftoetreding via het ontluuchtingsfilter (zie onderdeel 32.2.5.3).

- *Waterkwaliteitsmetingen*

Waterkwaliteitsmetingen in het onttrokken grondwater bevatten zowel zuurstof (of nitraat) als ijzer bij filterspleetverstopping. Bij zuurstofconcentraties < 0,5 mg/l is het beter om naar nitraat te kijken.

Zuurstofsensoren zijn bij lage concentraties notoir onbetrouwbaar. In Nederland geldt dat grondwater zonder nitraat bijna nooit zuurstof bevat. Daarnaast is het verstandig om uit te sluiten dat er aluminiumneerslag en oxidatie van methaan kan optreden (zie onderdeel 32.2.5.3). Bij mechanische verstopping is het water volledig anoxisch en is er geen aluminiumneerslag.

- *Freatische winningen*

Freatische winningen zijn over het algemeen kwetsbaarder voor verstopping door ijzerhydroxiden. In diepere winningen onder een afsluitende kleilaag wordt meestal geen zuurstof (of nitraat) aangetroffen en treedt eerder mechanische verstopping op.

- *Sediment*

Het sediment bij filterspleetverstopping bestaat volgens de boorbeschrijving deels uit een geoxideerde zone (vaak geel/ bruinkleurig) en een grijze (anoxisch) zone. Dit is echter lang niet altijd het geval, omdat de kleur niet altijd een goede indicator is van de redoxconditie van sediment en de waterkwaliteit en redoxcondities na aanleg van de put kunnen veranderen. Bij mechanische verstopping is het sediment doorgaans volledig grijs (anoxisch).

- *Regeneratie*

Bij regeneratie van filterspleetverstopping treedt vaak herstel op van de capaciteit na mechanische regeneratie middels HD reiniging. Bij mechanische verstopping is chemische regeneratie van de boorgatwand noodzakelijk voor herstel van de capaciteit.

Tabel 32-1 Kenmerken van veel voorkomende typen putverstopping (aangepast op basis van [van Beek, 2009; van Beek, 2018; Stuyfzand, 2015]).

Eigenschap	Verstopping boorgatwand	Verstopping filterspleten met ijzerhydroxiden	Verstopping terreinleiding met ijzerhydroxiden	Werkwijze
Locatie verstopping	Afname specifieke volumestroom, geen toename intredeverlies	Afname specifieke volumestroom door toename intredeverlies	Toename drukverlies in leiding (bij gelijkblijvend debiet)	Monitoring stijghoogten en debiet (zie § 33.4 en § 33.5)
Neerslagen in putconstructie en terreinleiding	Nee	Ja	Ja	Zintuigelijke waarneming tijdens onderhoud
Neerslagen in casing en winfilter	Nee	Ja	Ja	Camera-inspectie (zie § 33.7)
Samenstelling onttrokken water	Geen zuurstof en nitraat (< detectielimiet)	Zowel zuurstof (of nitraat) en ijzer > 0,5 mg/L	Zowel zuurstof (of nitraat) en ijzer > 0,5 mg/L	Waterkwaliteitsmonster (zie de onderdelen 33.11.2 en 32.2.5.3)

32.2.5.3 Biochemische neerslagen in anoxische winningen

Richtlijn 3 Sluit uit dat chemische neerslagen in anoxische winningen het gevolg zijn van kortsluitstroming (lekkages) of droogval van de pomp

Chemische neerslagen treden regelmatig op in winputten die uitsluitend anoxisch water onttrekken. Het is belangrijk om uit te sluiten dat deze het gevolg zijn van kortsluitstroming (lekkages) of droogval van de pomp.

- Neerslagen en biofilmvorming kunnen het gevolg zijn van anoxisch biochemische verstoppingsprocessen in het onttrokken grondwater, bijvoorbeeld de vorming van ijzersulfiden of door menging van ijzer- en sulfaat-reducerende watertypen in de put (zie onderdeel 32.2.1.4).
- In winputten met een onderwaterpomp kan zuurstof toetreden via het ontluchttingspunt en neerslagen veroorzaken bovenin de put en op de onderwaterpomp door reactie met anoxisch grondwater. Het type neerslagen dat wordt gevormd, hangt af van de grondwatersamenstelling. Op winning Ridderkerk zijn bijvoorbeeld bacteriën aangetroffen (*Methylococcaceae*) bovenin een winput die duiden op vorming van biomassa door methaanoxidatie. Uit indicatieve CFD-berekeningen door Wols en Van der Schans [2021] blijkt dat zuurstof in sommige situaties (met temperaturen van enkele graden Celsius boven nul bovenin de put) tot 20 m onder het waterniveau kan doordringen.
- Wanneer de afpompings in de put te groot is, kan de pomp 'lucht happen', waardoor er zuurstof uit de lucht mengt met het zuurstofloze water.
- Ook de waarnemingsbuizen kunnen lek zijn, waardoor ondiep, zuurstofrijk water toetreedt.
- Bij lekkage van de stijgbuis of koppeling of in de putkelder kan ondiep, zuurstofhoudend water in de winput stromen.
- Bij lekkage van de voetklep of terugslagklep wordt een mengsel van het onttrokken water in de put geïnjecteerd als de pomp is uitgeschakeld. Dit kan ook tot neerslagen leiden, afhankelijk van de samenstelling van het ruwwater in de transportleiding.
- Als een winfilter over meerdere watervoerende pakketten is verdeeld, kan ook kortsluitstroming optreden tussen de pakketten en kunnen zich neerslagen vormen wanneer de winput is uitgeschakeld [van der Schans en Smeets, 2018].
- Laat voor een definitieve diagnose de ontstane neerslag altijd analyseren in een laboratorium, om de exacte samenstelling vast te stellen.

32.2.5.4 Diagnose van verstopping in complexere situaties

Richtlijn 4 Voer aanvullende analyses uit wanneer chemische neerslagen in de put optreden, terwijl deze niet voor de hand liggen op basis van de grondwatersamenstelling.

In deze paragraaf staan verschillende methoden om onderzoek te doen naar putverstopping op het moment dat de oorzaak onduidelijk is.

Zintuigelijke waarnemingen

Het is verleidelijk om aan de hand van kleur een inschatting te maken over de samenstelling van het verstoppingsmateriaal. Dit kan echter makkelijk tot verkeerde conclusies leiden [PBG, 2022]. Figuur 32-12 toont bijvoorbeeld twee pompen met verstopping door respectievelijk aluminium (B; van zichzelf wit) en silicagel (C; kleurloos) die rood kleurden als gevolg van bijmenging met ijzer. Het verstoppingsmateriaal in Figuur 32-13 bestaat overwegend uit ijzerhydroxiden, maar kleurt zwart door bijmenging van ijzersulfiden en organisch materiaal.

A. ijzerhydroxide



B. Aluminiumhydroxide met bijmenging ijzerhydroxide



C. Silicagel met bijmenging ijzerhydroxide



Ijzerhydroxide met bijmenging van ijzersulfide en organisch stof



Figuur 32-12 Foto's van pompen met rode neerslag ondanks verschillende chemische samenstelling. A = Meijendel, Dunea (M. v.d. Schans); B = Brabant Water [Stuyfzand et al., 2016]; C= Bronbemaling (M. v.d. Schans).

Figuur 32-13 Foto van biofilmmonster dat, ondanks zwarte kleur, overwegend uit ijzerhydroxiden bestaat [van der Schans, 2019].

Chemische samenstelling van het onttrokken grondwater

De chemische samenstelling van het onttrokken grondwater geeft een indicatie van de verstoppingspotentie [PBG, 2022]. Die potentie is hoog als het onttrokken grondwater een combinatie van stoffen bevat die redoxreacties kunnen aangaan (bijvoorbeeld een of meer van de reductoren mangaan, ijzer, sulfaat/sulfide of methaan in combinatie met een oxidator zoals zuurstof of nitraat). Ook oververzadiging voor calciet of een hoge concentratie aluminium (in combinatie met $\text{pH} < 5$ in ondiepe peilbuizen) kunnen een indicatie vormen.

Een kanttekening bij het afleiden van verstoppingspotentie uit ruwwater is dat het onttrokken grondwater al in de put is gemengd, waardoor een deel van de stoffen bij bemonstering van het water is neergeslagen. Daarom wordt soms voor gekozen om in omliggende peilbuizen en putten te meten of er stoffen zijn die in potentie tot verstopping kunnen leiden.

Aluminiumverstopping

De potentie voor aluminiumverstopping kan in principe worden bepaald door de concentratie aluminium te meten in het onttrokken grondwater. Dilemma hierbij is om het watermonster al dan niet te filtreren: enerzijds niet om te voorkomen dat aluminiumneerslagen worden verwijderd, waardoor ook het aluminium dat van nature aanwezig is in kleideeltjes wordt gemeten. Een alternatieve aanpak is om te controleren of er water met een pH lager dan 5 aanwezig is in peilbuizen direct boven de winning (aluminium lost bij pH -waarden lager dan 4,2) [PBG, 2022].

Methaan

Methaan wordt helaas weinig gemeten in individuele winputten. Vaak is het wel mogelijk om op basis van andere waterkwaliteitskenmerken af te leiden of er methaan aanwezig is. De vorming van methaan (methanogenese) wordt namelijk vaak voorafgegaan door een afname van sulfaat (sulfaatreductie). Volgens Stuyfzand [2017] bevat een put bij infiltratiewinningen mogelijk methaan (redox klasse 7, diepanoxisch) wanneer de gemeten concentratie sulfaat (SO_4^{2-}) minder is dan 20% van de concentratie in het oorspronkelijk geïnfilterde grondwater (SO_4^{2-})₀ of wanneer SO_4^{2-} minder is dan 80% van (SO_4^{2-})₀ in combinatie met een zwavellucht (rotte eieren).

Let op: Bij te hoge concentraties wordt de menselijke neus lamgelegd, zwavel is dus niet altijd zintuigelijk waarneembaar.

Overigens was monsterneming en analyse van methaan lange tijd relatief ingewikkeld en kostbaar, maar er zijn nu betrekkelijk eenvoudige en goedkope methoden om methaan (en andere gassen) te bemonsteren en analyseren [Schout, 2020]. Vaker analyseren op methaan wordt daarom aangeraden.

Chemische samenstelling van het verstoppingsmateriaal

De chemische samenstelling van het verstoppingsmateriaal kan helpen om uitsluitsel te geven [PBG, 2022]. Zo

geven analyses van de elementsamenstelling (door middel van 'XRF' en 'LECO-analyses') inzicht in de totale elementsamenstelling respectievelijk het gehalte aan organisch- en anorganisch koolstof. Als verstoppingsmateriaal is vermengd met sediment (zand/grind) is het soms verstandig om de biofilm en neerslagen eerst los te weken in een ultrasoon bad en de bovenstaande vloeistof (na sedimentatie van het zand) nat-chemisch te analyseren. Dus met een ICP-MS of ICP-OES na volledige ontsluiting. Beelden van een elektronenmicroscop met mogelijkheid om de elementsamenstelling te meten van individuele verstoppingsdeeltjes bieden meer informatie over de structuur (SEM-EDS).

Om deze analyses uit te kunnen voeren, is bemonstering van het verstoppingsmateriaal noodzakelijk. Dit kan bijvoorbeeld door het af te schrapen van een getrokken pomp of door het af te vangen met een planktonnet tijdens HD-reiniging [Bustos, 2013].

Microbiologische samenstelling van biofilms

De microbiologische samenstelling van biofilms biedt inzicht in welke metabolische processen optreden. NGS-analyses zijn bijvoorbeeld geschikt om te bepalen of methaanoxidatie een belangrijke rol speelt in het verstoppingsproces.

Microbiologische populatie Diepste classificatie	HDDW Noord	Geassocieerd metabolisme		
		Respiratie	Elektron donor	Elektron acceptor
Candidatus Methyloirabilis	8.7	Anaeroob	Methaan	Nitriet
Candidatus Methanoperedens	0.2	Anaeroob	Methaan	Nitraat
MBNT15	0.3	Anaeroob	H ₂ , acetaat	Nitraat
Methylomonadaceae	3.1	Aeroob	Methaan	Zuurstof/nitraat?
Methylobacter		Aeroob	Methaan	Zuurstof
Pedosphaeaceae; uncultured	1.1	Aeroob (laag O ₂)	Methaan	
Methyloglobulus	2.9	Aeroob	Methaan, methanol	Zuurstof
Methylotenera	1.4	Aeroob	Methylamine/methar	Zuurstof/nitraat
Sulfurifustis	0.1	Aeroob	zwavel, thiosulfaat, te	Zuurstof, nitraat?
Candidatus Brocadia	1.2	Anaeroob	Ammonium	Nitriet
Nitrospira	4.7	Aeroob	Ammonium en nitriet	Zuurstof
Nitrosarchaeum	1.1	Aeroob	Ammonium	Zuurstof
Nitrosopumilaceae	0.1	Aeroob	Ammonium	Zuurstof
Nitrosomadaeaceae MND1	0.6	Aeroob	Ammonium	Zuurstof
Gallionella	0.6	Aeroob (laag O ₂)	Ijzer (II), Mangaan	Zuurstof
Crenothrix	16.3	Aeroob (laag O ₂)	Methaan, Ijzer(II), Ma	Zuurstof
Nitrotoga	0.5	Aeroob	Nitriet	Zuurstof

Figuur 32-14 Voorbeelden van NGS-analyse op een put die mede is verstopt door methaan-oxiderende bacteriën in een freatische winning van drinkwaterbedrijf Dunea. De getallen geven de relatieve abundantie van een species aan (totaal 100%, inclusief niet weergegeven overige organismen) [van der Schans et al., in prep].

Chemische samenstelling van spuiwater

De chemische samenstelling van spuiwater is een indirecte afgeleide van de chemische samenstelling van het verstoppingsmateriaal en de omliggende formatie. Door onder meer van Beek en Kooper [1980] en Raat [2011] is uitgewerkt hoe metingen in het spuiwater inzicht geven in de reactieproducten van natriumhypochloriet (of aangezuurde peroxide). Uit de reactieproducten kan ook worden afgeleid wat de samenstelling is van het verstoppingsmateriaal.

Deeltjestellingen kunnen worden ingezet als diagnosetool bij mechanische verstopping, bijvoorbeeld door de concentratie deeltjes in het onttrokken grondwater te vergelijken voor verstoppende en niet-verstoppende putten (zie § 33.9).

32.2.6 Oplossingen

32.2.6.1 Ontwerp en aanleg

In Tabel 32-2 staan maatregelen voor tijdens het ontwerp en de aanleg. Deze zijn deels ook toepasbaar bij renovaties.

Tabel 32-2 Preventieve en curatieve maatregelen putverstopping.

Eigenschap	Verstopping boorgatwand	Verstopping filterspleten met ijzerhydroxiden	Verstopping terreinleiding met ijzerhydroxiden
Ontwerp (zie PCD 13-2)	- Filters afstellen in grovere pakketten - Ondergronds ontijzeren (beperken van ijzersulfiden en biomassa) - Voorkom kortsluiting van watervoerende pakketten of deelpakketten	- Aparte winfilters voor oxisch/anoxisch water (partially penetrating wells) - Ondergronds ontijzeren.	Gescheiden terreinleidingen oxische/ anoxische water **
Aanleg (zie PCD 13-3)	- Schoon werkwater - Put volledig ontwikkelen	Haalbus op grensvlak oxisch/anoxisch water	Beperken van appendages en andere oneffenheden i.v.m. aanhechting biofilm.
Bedrijfsvoering (zie onderdeel 32.2.6.2)	- Regelmatig schakelen - Tijdelijk hoger debiet bij aanschakelen pomp - Verlagen windebiet - Verlagen draaiuren	- Debiet zo constant mogelijk - Put niet aan- en uitschakelen	Zo continu mogelijk onttrekken
Onderhoud (zie onderdeel 32.2.6.3)	Chemische regeneratie vaak nodig	HD-reiniging volstaat meestal	Spuien of proppen volstaat meestal
Renovatie (zie onderdeel 32.2.6.3)	Installatie voor preventief backflushen (onderzoeksmaatregel)	Afblinden van filter dat afwijkende waterkwaliteit onttrekt	

(**) In de praktijk waarschijnlijk duurder dan incidenteel reinigen.

32.2.6.2 Bedrijfsvoering

Chemische verstopping van de filterspleten kan worden beperkt door een winning zo continu mogelijk te bedrijven en zo min mogelijk aan- en uit te schakelen (onderdeel 32.2.1.7). Neerslagen in de terreinleidingen worden hiermee niet voorkomen, maar deze zijn vaak eenvoudiger te reinigen dan de put zelf. Ook het schakelen van buurputten kan bijdragen aan variatie in de ruwwaterkwaliteit en moet bij voorkeur zoveel mogelijk worden vermeden [Menz, 2016]. Om variatie in watervraag op te vangen, kunnen pompen worden uitgerust met een frequente-omvormer (bij toepassing van onderwaterpompen) of door aanpassing van de hevelstand (bij vacuümsysteem met hevels).

Ter voorkoming van *mechanische verstopping* is het vaak gunstig om putten regelmatig aan- en uit te schakelen door aanpassingen van de schakelschema's (hoofdstuk 34). Bij het aanschakelen van de put worden namelijk verstoppende deeltjes gemobiliseerd, waardoor ophoping van verstoppingsmateriaal op de boorgatwand minder snel plaatsvindt (onderdeel 32.2.2.4).

Op winning Baanhoek worden putten direct na aanschakelen eerst gedurende een periode van 30 minuten bedreven met een hoger debiet (60 m³/h) en vervolgens teruggetoerd (45 m³/h). Het doel daarvan is om bij het aanschakelen meer verstoppende deeltjes te verwijderen van de boorgatwand [Leunk et al., 2013]. Er is weinig bekend hoe effectief deze maatregel is.

32.2.6.3 Onderhoud, renovatie en afschrijving

Bij alle vormen van verstopping is het belangrijk om de put tijdig te regenereren, voordat de verstopping te ver is voortgeschreden en niet meer goed kan worden verwijderd (zie subparagraaf 35.1.1). Bij verstopping van de

filterspleten volstaat vaak HD-reiniging, terwijl bij boorgatwandverstopping vaak chemische reiniging in combinatie met jutteren noodzakelijk is (zie § 35.1).

Bij *chemische verstopping* kan er soms voor worden gekozen om een deel van het winfilter af te blinden. Dit heeft vaak alleen zin als een filter over verschillende watervoerende pakketten is verdeeld (ééntje oxisch en de tweede anoxisch). Bij afblinding van een deel van het filter binnen één pakket zal het redoxgrensvlak vaak na verloop van tijd veranderen en opnieuw stabiliseren rondom het winfilter. Technieken om filters af te blinden, zijn beschreven in § 36.2.

Een mogelijkheid om verstopping tegen te gaan, is putten preventief te ‘backflushen’. Het werkingsprincipe is vergelijkbaar als bij diepinfiltratieputten: doordat de stromingsrichting op de boorgatwand korte tijd verandert, kan verstoppingsmateriaal op die wand eventueel worden gemobiliseerd. Bij diepinfiltratieputten worden putten elke dag circa 20 minuten ge-backflushed op nominaal debiet, waarbij theoretisch de hele omstorting wordt ververs. Drinkwaterbedrijf Vitens voert preventief backflushen uit op de radiaalput van winning Boerhaar door om de paar maanden gedurende een periode van circa 1 uur per streng intermitterend ruwwater te injecteren met een hoog debiet (1 tot 2 keer het nominale onttrekkingsdebiet). Het ruwwater is afkomstig uit de andere strengen en wordt via kleppen naar de te regenereren streng gestuurd. De verstopping is hiermee reeds enkele jaren onder controle (persoonlijke mededeling Vitens). Bij drinkwaterbedrijf Oasen en drinkwaterproductielocatie Espelo van drinkwaterbedrijf Vitens (vindt onderzoek plaats of backflushen respectievelijk periodiek ‘preventief jutteren’ ook algemeen toepasbaar is bij verticale putten (zie subparagraaf 13.3.3 van praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a])).

Doorgaans kan een winput worden afgeschreven als de specifieke volumestroom na regeneratie veel lager blijft dan de referentiewaarde (zie hoofdstuk 38). Ook het zeer snel verstoppem van een put na regeneratie is een reden om vervanging te overwegen, omdat de regeneratiekosten dan te hoog oplopen. Maar in de praktijk moet dan wel worden nagegaan wat de verstopping veroorzaakt. Bij biochemische verstopping is er bijvoorbeeld meestal weinig perspectief dat een vervangende put minder snel zal verstoppem [PBG, 2022].

Er zijn bij de drinkwaterbedrijven ook voorbeelden bekend van win- en infiltratieputten die op een soort evenwichtssituatie blijven hangen en niet verder verstoppem. In dat geval kan ervoor worden gekozen om de put in verstopte toestand te bedrijven en intensiever te monitoren [PBG, 2022].

32.3 Wortel ingroei

32.3.1 Oorzaken

Bij ondiepe winputten (verticale putten, drains) binnen natuurgebieden kan verstopping door wortelgroei van vegetatie in de omgeving optreden [PBG, 2022]. De wortels vormen strengen van meters lang, die volledig de filterbuis vullen, zodanig zelfs dat de afdrukken van de filterspleten op de wortelbossen te zien zijn.

Het is niet goed bekend wanneer wortelgroei optreedt. Fysiologisch is het voor de meeste planten onmogelijk om wortels beneden het freatisch vlak te laten groeien. Uiteraard zijn er uitzonderingen zoals planten met luchtweefsel (riet) en luchtwortels (riet) [Fan et al., 2017]. De kans op ingroei lijkt dus het grootst bij leidingen die periodiek of permanent boven de grondwaterspiegel liggen.

32.3.2 Potentiële gevolgen

- Wortel ingroei kan als gevolg hebben het windebiet afneemt door blokkade van de stroming.
- Er is extra onderhoud nodig om de wortels te verwijderen.
- De wortels kunnen de infrastructuur beschadigen, waardoor extra onderhoud nodig is.
- Uit tracerproeven uitgevoerd bij drinkwaterbedrijf Dunea is geen preferente stroming gebleken rondom wortels. Dit komt omdat de potentiaal meestal lager is in de matrix rondom de wortelgang. Alleen bij water op

maaiveld kan kortsluitstroming door de onverzadigde zone optreden (microbiologische verontreiniging grondwater) via holen van dieren of weggerotte wortels [PBG, 2022].

32.3.3 Detectie- en conditiebepaling

Wortel ingroei is te herkennen aan een oplopende leidingweerstand. In de praktijk wordt het meestal eerder gedetecteerd via camera-inspecties [PBG, 2022].

32.3.4 Oplossingen

- **Ontwerp**
Zorgen dat winfilters niet in gebied komen met diep wortelende vegetatie, met name als deze soorten aanpassingen hebben voor zuurstofvoorziening van wortels onder de grondwaterspiegel (zie praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]).
- **Beheer en onderhoud**
Regelmatig verwijderen van deze wortels uit leiding met HD-reiniging [PBG, 2022] of het verwijderen van bomen/struweel die diep wortelen rondom de leiding (zie praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]).



Figuur 32-15 Voorbeeld van wortelingroei in een drain (links) en camerabeelden van wortel in verticale put (rechts, foto Dunea).

32.4 Zandlevering

32.4.1 Oorzaken

Een te grote permanente instroming van formatiezand of omstortingsgrind in een put via de filterbuis of casing kent verschillende mogelijke oorzaken [Makkink et al., 2011].

Ontwerpfouten (zie praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b]):

- te grote filterspleten in relatie tot de diameter van het omstortingsgrind (-> instroming omstortingsgrind)
- te grove fractie omstortingsmateriaal in relatie tot de diameter van het formatiezand;
- indien er gebruik wordt gemaakt van een natuurlijk omstorting kan een te grove filterspleet resulteren in blijvende levering van formatiezand;
- contactcorrosie door onjuiste metaalcombinaties (komt voor bij oudere RVS winputten en op de overgang van koper met PVC);
- te hoge stroomsnelheid op de boorgatwand door foute keuze van ontwerpdebiet.

Aanlegfouten (zie PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]):

- het niet-afblinden van fijnzandige tussenlaagjes tijdens aanleg in het winpakket;
 - ontstaan van holtes of zandinsluitingen in de annulaire ruimte, doordat het omstortingsmateriaal te snel is aangevuld;
 - op verkeerde diepte aanbrengen van filterbuizen, omstorting en aanvulgrind (bouwfouten);
 - de kans op een onvolledige aanvulling is groter bij boorgaten met een dunne omstorting;
 - direct contact tussen de filterbuis en de boorgatwand, doordat de afstandhouders niet goed zijn aangebracht;
 - winputten zijn te lang ontwikkeld
- Door verwijdering van te veel fijner zand uit de formatie kan de omstorting nazakken in het boorgat, waardoor het zand eveneens tegen het filter is komen te liggen. Met name te lang jutteren bij een te hoge jutterdruk kan hiertoe leiden.

Beheer en onderhoud [PBG, 2022]:

- kapotte 'bruggen' (de stroken PVC tussen de sleuven) bij PVC filters door HD-reiniging met te hoge druk. Met name PVC filters uit de jaren '70 en houten winfilters zijn kwetsbaar voor dergelijke beschadiging (zie § 35.2).
- scheuren en andere beschadiging van de casing veroorzaakt door onzorgvuldige in- en uitbouw van de onderwaterpomp;
- winputten te lang geregenereerd (zie voorgaand opmerking "winputten te lang ontwikkeld") (zie § 35.2)
- Winput te laat geregenereerd, waardoor slechts een bepaald deel van het filter nog water geeft, resulterend in een te hoge stroomsnelheid op de boorgatwand.

32.4.2 Potentiële gevolgen

Een te hoge concentratie zand in het onttrokken water kan resulteren in [PBG, 2022]:

- schade aan de onderwaterpomp (met name de waaiers zijn kwetsbaar);
- bij ernstige zandlevering kunnen er holtes ontstaan in de ondergrond door nazakken van de omstorting. Dit kan in extreme gevallen leiden tot kortsluitstroming van verontreinigd grondwater uit ondiepere lagen, tot verzakking van de putbehuizing of tot afscheuren van leidingen. En natuurlijk nog meer zandlevering.
- het zand kan verder worden getransporteerd naar de terreinleidingen. Hier kan het schade veroorzaken aan afsluiters (lastiger te sluiten) en slijtage van leidingmateriaal. Het zand kan ook sedimenteren in de leiding (= extra reiniging). Ook de zuivering kan versneld verstopen, waardoor bijvoorbeeld zandfilters vaker moeten terugspoelen. Membraaninstallaties zijn vaak ook kwetsbaar voor zand.
- bij ernstige schade kan de bedrijfszekerheid van de winput afnemen.

32.4.3 Detectie en conditiebepaling

De maximaal toelaatbare concentratie zand is 0,1 gram/m³ (zie praktijkcode PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]). Doorgaans wordt deze gemeten met een planktonnet (zie subparagraaf 23.10.2 van praktijkcode PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]). Het alternatief is om de diepte van de zandvang te meten en deze te vergelijken met de diepte tijdens de aanleg van de winput.

Bij ontwerpfouten (bijvoorbeeld foute korreldiameter omstorting) levert de put over een of meer trajecten zand. Bij beschadigingen is de zandlevering lokaal en soms ook waarneembaar met een camera als een soort stofwolk (zoals bij een vulkaanruptie).

Als het vermoeden bestaat dat een stijgbuis zand levert door lekkages zijn er een twee opsporingsmethodes beschikbaar: de camera-inspectie en de ballonproef (zie § 6.2 van praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]). Met een camera kan (zowel voor het winfilter als casing) worden gekeken op welke diepte er zand de winput instroomt en of er scheuren of breuken zijn in de filterbuis, stijgbuis, putbodem en de verbindingstukken. In horizontale winputten kan een camera-inspectie soms worden gebruikt om na te gaan waar de put zand levert

De plek waar het zand ophoopt, is echter niet altijd de plaats waar het binnentreedt, omdat het zand binnen de horizontale buis wordt verplaatst door het stromende water.

32.4.4 Oplossingen

32.4.4.1 Ontwerp en aanleg

- Ontwerpdebiet afstemmen op maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand (zie subparagraaf 12.3.2 van praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b])
- Korreldiameter en filterspleetwijdte afstemmen op korreldiameter formatiemateriaal (zie § 12.4 en § 12.5 van praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b])
- Afstemmen van materiaalkeuze op milieucondities (bijvoorbeeld bij lage pH of overweeg gebruik van RVS filter indien een put naar verwachting veel moet worden geregenereerd)
- Ga voor het afmonteren van de put na of de bestelde pomp voldoet aan de opleveringsvoorwaarden van de put.

32.4.4.2 Bedrijfsvoering

- Verlagen van pompdebiet

32.4.4.3 Onderhoud, renovatie en afschrijving

Preventieve maatregelen [PBG, 2022]:

- In het geval er onderhoudswerkzaamheden moeten worden verricht aan de onderwaterpomp dient die zorgvuldig uit de winput te worden verwijderd. Hierbij moet worden voorkomen dat de pomp tegen de (verwijde) stijgbuis stoot, zodat er geen schade ontstaat.
- Controleer voorafgaand aan mechanische reiniging altijd welke krachten de putconstructie maximaal aan kan (zie subparagraaf 35.1.4).
- Controleer voorafgaand aan chemische regeneratie of de filterbuis en casing er bestand tegen zijn (zie subparagraaf 35.1.4).
- De duur van de regeneratie moet niet onnodig lang worden doorgevoerd. Hierdoor kan er onnodig veel formatiemateriaal worden verwijderd uit het pakket, waardoor er holtes ontstaan in de bodem en het omstortingsmateriaal eventueel kan nazakken in het boorgat.

Curatieve maatregelen [PBG, 2022]:

- Indien de zandlevering plaatsvindt ter plaatse van een scheur of breuk in de filterbuis of casing, kan worden gekozen om dat gedeelte af te blinden (zie § 36.2).
- Indien de zandlevering het gevolg is van een te grove omstorting kan worden overwogen om een binnenfilter aan te brengen (1) met fijnere filterspleten, (2) met aanplakgrind of (3) een extra omstorting met fijner grind aan te brengen tussen het oorspronkelijke winfilter en een binnenfilter. De voor- en nadelen van het plaatsen van binnenfilters zijn beschreven in § 36.2).

Winputten die kampen met zandlevering kunnen ofwel worden afgeschreven en verwijderd, ofwel als reserve worden aangehouden en ingezet bij piekvragen.

32.5 Kortsluitstroming (lekkage winput)

De oorzaken, potentiële gevolgen en methoden voor detectie en conditiebepaling zijn beschreven in praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]. In navolgende subparagrafen volgen enkele aanvullingen daarop.

32.5.1 potentiële gevolgen

Als een stijgbuis lek is, kan er kortsluitstroming optreden [Leunk & Raat, 2011]. Soms kan de winput echter nog veilig worden gebruikt, mits het lek zodanig diep zit dat er geen risico is op verontreiniging met pathogene micro-organismen vanaf maaiveld of toestroom van chemische verontreinigingen. Op dit moment vindt nader onderzoek plaats (door Brabant Water en KWR) vanaf welke diepte lekkages microbiologisch risicovol zijn. Dit hangt ook samen met de bodemopbouw en wijze waarop de annulaire ruimte is afgewerkt (met aanvulklei versus zwelklei).

32.5.2 Oplossingen

32.5.2.1 Ontwerp

Zie praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

32.5.2.2 Bedrijfsvoering

In sommige gevallen helpt het verlagen van het windebiet, als de reistijd hiermee voldoende wordt verhoogd.

32.5.2.3 Onderhoud, renovatie en afschrijving

Afhankelijk van de oorzaak van een verontreiniging is een aantal maatregelen denkbaar [PBG, 2022]:

- Het verwijderen van potentiële bronnen die kunnen leiden tot microbiologische verontreiniging
Vee of gevogelte kan worden weggehaald of bij afspraak achter een afrastering worden gehouden. Daarnaast kan er controle worden gehouden op menselijke activiteiten binnen de regels van beheer en bescherming van het betreffende gebied.
- Door het terrein op te hogen, wordt de onverzadigde zone en daarmee de reistijd en verwijdering vanaf maaiveld verhoogd.
- Indien er sprake is van kortsluitstroming door te korte verblijftijden in de verzadigde zone kan ervoor worden gekozen om een lager minimaal debiet te hanteren voor de winputten.
- Bij een lekke kleiafdichting kan soms worden overwogen om deze te repareren, maar wereldwijd is hier weinig ervaring mee [Zuurbier & Stuyfzand, 2017]]
In het Westland is geëxperimenteerd om de kleiafdichting van een WKO-put te herstellen door eerst met een sondering (verloren punt) een holle pijp te injecteren in de omstorting en deze vervolgens te injecteren met grout (persoonlijke mededeling Koen Zuurbier, PWN). Dit had weinig effect op het lek [Zuurbier et al., 2018]. Een alternatief dat in de praktijk nog nooit is toegepast, is het zogenoemde CO₃-grouten, waarbij in-situ kalkneerslag wordt gestimuleerd [Hartog, 2013]. Toepassing van biosealing is niet wenselijk vanuit hygiënisch oogpunt.
- Een verontreiniging via de omstorting met aanvulgrond in de annulaire ruimte kan worden opgelost door een injectie van cement of bentoniet in deze aanvulling.
- Het afblinden van scheur of lekke verbinding in de casing (zie subparagraaf 32.4.4).

Wanneer een defecte putconstructie een risico levert op kortsluitstroming en niet meer kan worden gerepareerd, dient de winput te worden gedempt met slecht doorlatend materiaal (zie hoofdstuk 37).

32.6 Verontreiniging door werkzaamheden

De oorzaken, potentiële gevolgen en methoden voor detectie en conditiebepaling zijn beschreven in PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]. In navolgende paragrafen volgen enkele aanvullingen met betrekking tot microbiologische verontreinigingen na regeneraties:

32.6.1 Oorzaken

Addendum bij PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

32.6.1.1 *Nagroeï na regeneratie*

Incidenteel komt het voor dat een winput na regeneratie niet aan de microbiologische kwaliteitseisen voldoet [PBG, 2022]. Fecale indicatororganismen zoals *E. coli* kunnen het gevolg zijn van verontreiniging van materieel en onderdelen van de putconstructie tijdens werkzaamheden. Daarnaast kan met name na een chemische regeneratie de microbiologische activiteit van een winput zijn verhoogd (te hoog koloniegetal en soms ook aeromonas of clostridia). Vaak wordt dit veroorzaakt doordat de chemicaliën de in en rondom de put aanwezige organische stof afbreken tot een makkelijk afbreekbare vorm waarop micro-organismen kunnen groeien. Wanneer dit materiaal vervolgens onvoldoende wordt verwijderd tijdens het schoonpompen, kan nagroeï plaatsvinden in de put (zie bijvoorbeeld [van der Schans & Smeets, 2018]). Ook toetreding van zuurstof via werkwater kan in een anoxische put tot extra afbraak leiden (persoonlijke mededeling Ton Ebbing, drinkwaterbedrijf Vitens).

32.6.2 **Oplossingen**

Addendum bij praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

32.6.2.1 *Reinigen van putten met microbiologische besmetting of nagroeï*

Bij een microbiologische verontreiniging na werkzaamheden wordt vaak eerst gekozen om enkele dagen tot een week langer te spuien op nominaal debiet. In sommige gevallen blijkt deze aanpak niet te werken. Er is dan een aantal alternatieven [PBG, 2022]:

- Als de put uitsluitend is verontreinigd met fecale indicatororganismen (en daarmee mogelijk met pathogenen), dan volstaat het vaak om deze schoon te pompen. Eventueel gebeurt dat intermitterend, omdat daardoor bij het inschakelen van de put extra deeltjes (en dus ook de micro-organismen) worden verwijderd.
- Wanneer er weliswaar sprake is van verhoogde koloniegetallen maar niet van fecale indicatoren (biologische activiteit), dan helpt het ook om de put in rust te houden en de biofilm te laten 'wegrotten'. Om de paar dagen (circa twee keer per week) moet de put gedurende een half uur worden ingeschakeld om overtollige voedingsstoffen en biofilm af te voeren. Hanteer hierbij het nominale debiet van de pomp en blijf zolang pompen totdat ten minste drie keer de inhoud van de put (inclusief omstorting) is ververs. De pomp moet niet continu draaien om te voorkomen dat er aanvoer plaatsvindt van nutriënten uit de formatie.
- Het ontsmetten van de put met een natriumhypochloriet-oplossing is uitsluitend zinvol bij fecale verontreiniging tijdens werkzaamheden, omdat in andere gevallen de verontreiniging door blijft gaan. Aandachtspunt hierbij is de adequate verwijdering van resten organisch materiaal, omdat er anders veel nagroeï kan plaatsvinden op het organisch materiaal dat in snel afbreekbare brokjes is opgeknipt door de chemicaliën.
- In sommige gevallen is een put verontreinigd boven de onderwaterpomp. Dit bovenstaande water wordt echter niet ververs tijdens het spuien. Soms kan dit worden opgelost door de pomp regelmatig aan- en uit te schakelen (hopelijk ontstaat er dan bij het schakelen wat menging). Als dit niet werkt, kan ervoor worden gekozen om schoon (ruw of rein) water van bovenaf in de verontreinigde stijgbuis te injecteren, zodat het water ook bovenin wordt ververs.
- Ook de zandvang wordt niet doorstroomd bij het schoonpompen van de put. Deze kan worden gereinigd door met een tremiebuis te stofzuigen (vaak door middel van luchtlichten in de tremie).

32.7 **Verandering van de ruwwaterkwaliteit**

De oorzaken, potentiële gevolgen en methoden voor detectie en conditiebepaling zijn beschreven in praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]. In navolgende subparagrafen volgen enkele aanvullingen.

32.7.1 **Oorzaken**

De samenstelling van het ruwwater moet binnen de toegestane grenzen van de zuiveringsinstallatie vallen. In de praktijk is er een aantal mechanismen dat tot een verslechtering van de waterkwaliteit kan leiden [PBG, 2022]:

- Microbiologische verontreiniging
Naast werkzaamheden (§ 32.6) of kortsluitstroming door lekkage van de winput (zie § 32.5) kunnen er in de winput ook fecale verontreinigingen optreden door veranderingen aan maaiveld zoals een kadaver, overstorten van een riool in nabijgelegen oppervlaktewater of lekkages van een riool.
- Verzilting (door upconing of laterale toestroming).
- Verontreinigingen met antropogene stoffen.
- Verandering van de waterkwaliteit door:
 - diffuse belasting van stoffen aan maaiveld;
 - veranderde stromingspatronen in de ondergrond door gebiedsontwikkeling;
 - aanvoer en infiltratie van oppervlaktewater na start winning, bijvoorbeeld door de aanleg van een wateraanvoerplan (Vechterweerd, Espelosebroek, Rodenmors);
 - geochemische uitloging;
 - uitputting van het oorspronkelijke grondwater met een bepaalde kwaliteit.

32.7.2 Potentiële gevolgen

Een microbiologische verontreiniging leidt vaak direct tot het tijdelijk uit productie nemen van de winput (zie § 32.5).

Verzilting heeft vaak grote gevolgen, omdat het verwijderen van zout betrekkelijk kostbaar is, mede omdat het relatief veel energie kost. Vaak wordt geprobeerd om het zoute water uit winputten weg te mengen met zoet. Winputten waarin de concentratie zout te ver is opgelopen, zijn meestal niet meer bruikbaar voor winning [PBG, 2022].

Overige verontreinigingen leiden tot een toename van de zuiveringsinspanning. Afgelopen decennia zijn in Nederland verschillende puttenvelden gesloten vanwege toenemende verontreinigingen uit de omgeving (PBG 2022).

32.7.3 Detectie- en conditiebepaling

Eisen ten aanzien van de microbiologische en chemische waterkwaliteit zijn beschreven in respectievelijk § 6.2 en § 6.3 van praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

Met betrekking tot verzilting is het belangrijk om de diepte van het zoet/zout-grensvlak onder winputten te monitoren. Dit kan bijvoorbeeld met zoutwachters of extra waarnemingsfilters onder het winfilter (zie praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b]). Naast de diepte is het van belang om ook de dikteveranderingen van het grensvlak over de tijd te monitoren. Ook de samenstelling van het water dient te worden gemonitord: karakterisatie van bijvoorbeeld NaCl-type water of CaCl-type is een belangrijk instrument om onderscheid te maken naar de herkomst van het water dat is verzilt [Stuyfzand, 2017].

Bij de monitoring van zoet/zout-grensvlakken dient rekening te worden gehouden met de configuratie van de winputten in het puttenveld: Vaak is het effect van upconing (toestromen van dieper brak water) het grootst midden in het winveld, terwijl bij horizontale toestroming van zout grondwater vanaf zee de putten aan de rand van het puttenveld het meest kwetsbaar zijn. De monitoring dient minimaal te focussen op deze winputten [PBG, 2022].

Let op: Er kan ook sprake zijn van extra upconing bij putten ter plaatse van onvolkomen kleilagen.

32.7.4 Oplossingen

In de ontwerpfase kan worden gekozen voor een alternatief winconcept om verzilting van een winning op te vangen (zie praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b], hoofdstuk 11).

Het uit bedrijf nemen van een verzilte of verontreinigde winput is een voor de hand liggende maatregel. Hierbij bestaat echter de kans dat het zout of de verontreiniging wordt verplaatst naar een andere put. Een bijkomend probleem van het continu wijzigen van de winning is dat data inconsistent wordt, het lastiger wordt om prognoses te maken van de autonome waterkwaliteitsontwikkeling en om hydrochemische effecten van maatregelen door te rekenen [PBG, 2022].

32.8 Veroudering van materialen

32.8.1 Oorzaken

In oude winputten (bouwjaar voor circa 1980) zijn materialen toegepast die gevoelig zijn voor veroudering [PBG, 2022]:

- Tot de jaren '60 werden winfilters vaak gemaakt van tropisch hardhout (teak). Deze zijn kwetsbaar voor beschadiging.
- Koperen filters (toegepast tot in de jaren '70) kunnen oplossen en uiteindelijk bezwijken.
- Het PVC dat in de jaren '70 werd toegepast in winfilters en casing staat ook wel bekend als 'oliecrisis PVC' en is gevoelig voor veroudering. Hierbij wordt het materiaal bros en gevoelig voor beschadigingen. De buizen zijn vaak met kordeldraad verbindingen verbonden. Deze zijn gevoelig voor lekkage. Overigens heeft de matige kwaliteit van het PVC uit de jaren '70 te maken met de wijze waarop het plastic is vervaardigd (en houdt dus geen verband met de oliecrisis).
- Bij AC stijgbuizen kan de coating loslaten.
- Door corrosie ('microbial induced corrosion') en verzilting kunnen materialen van staal sneller verouderen. Kwetsbaarheid voor corrosie hangt samen met kwaliteit van staal.

Materialen zijn met name kwetsbaar tijdens regeneratie met hoge drukken (jutteren, HD-reiniging) en chemicaliën, en bij het plaatsen van packers.



Figuur 32-16 Voorbeeld van 'microbial induced corrosion' op de las van een RVS casing (foto: R. Prevoo, WML).

32.8.2 Potentiële gevolgen

De kwetsbaarheid van deze materiaalsoorten maakt eenmaal verstopte filters lastiger te regenereren. Als de filterbuis of casing eenmaal niet meer integer is, kan makkelijk zandlevering (§ 32.4) of kortsluitstroming (§ 32.5) optreden.

32.8.3 Detectie- en conditiebepaling

De methoden voor het detecteren van lekkages (kortsluitstroming) en zandlevering staan in praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016] respectievelijk subparagraaf 32.4.3. Bij twijfel kan nog worden gekozen voor een camera-inspectie.

32.8.4 Oplossingen

Drinkwaterbedrijven kiezen er vaak voor om beschadigde oude winputten (met materialen die gevoelig zijn voor degradatie) te vervangen in plaats van te repareren, omdat deze winputten kwetsbaar zijn voor verdere beschadiging en het einde van hun economische levensduur al hebben bereikt [PBG, 2022].

32.9 Pompen

32.9.1 Oorzaken

Onderwaterpompen worden gekoeld doordat er water langs de motor (die onderin de pomp zit) stroomt. De meest voorkomende oorzaak waarom onderwaterpompen defect raken, is door gebrekkige koeling, bijvoorbeeld door verminderde flow, plaatsing van de pomp in het filtertraject waardoor er te weinig water langs de motor stroomt, te grote diameter bronbuis, geknepen afsluiters of te grote weerstanden in de terreinleidingen. Door de hitte van de motor worden hier vaak extra veel (bio)chemische neerslagen op afgezet (putverstopping, bijvoorbeeld door hoger biologische activiteit) die weer tot extra verhoging van de motor kan leiden [PBG, 2022].

Cavitatie is de vorming en implosie van belletjes waterdamp, waardoor schokgolven worden opgewekt. Dit ontstaat in een stromende vloeistof op plekken waar de druk lager is dan de dampdruk van water en belletjes ontstaan. Vaak is dit aan de aanvoerszijde van een pomp (lage druk) en bij de waaiers (vanwege hoge versnelling van het water resulterend in lagere druk = wet van Bernoulli). De imploderende dampbellen veroorzaken lawaai, schokgolven en trillingen. Cavitatie leidt tot schade aan de waaier, de lagers en het pomphuis, en heeft een zeer nadelig effect op de levensduur van een pomp en bijbehorende onderdelen. De schade door cavitatie wordt soms omschreven als 'Zwitserse kaas' of als onderdelen die zijn aangevreten door 'staal wormen' [grpumps, 2022].

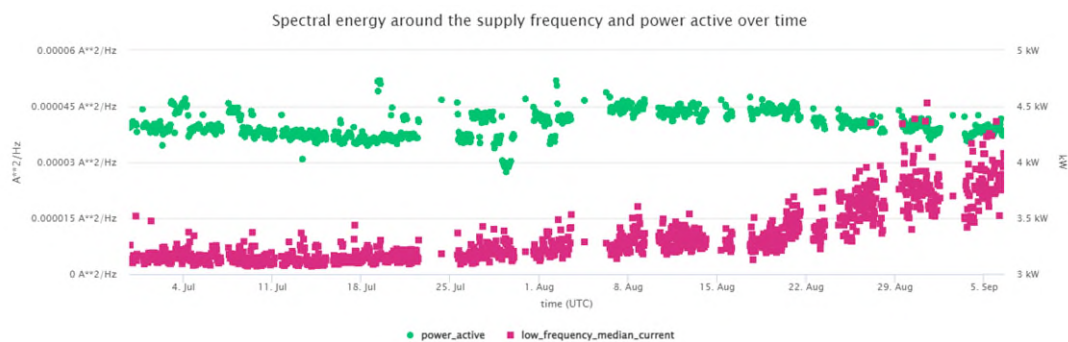
Onderwaterpompen kunnen extra snel slijten (met name op de waaier) door erosie bij zandlevering.

32.9.2 Potentiële gevolgen

Pompen kunnen sneller slijten (extra onderhoudskosten, versnelde afschrijving) of zelfs uitvallen indien de schade niet tijdig wordt gedetecteerd.

32.9.3 Detectie- en conditiebepaling

Onderhoud kan plaatsvinden op basis van de conditie en het aantal draaiuren (zie subparagraaf 36.1.1). Condiëmetingen zijn vaak bewerkelijk, omdat ze handmatig moeten worden uitgevoerd. Drinkwaterbedrijven experimenteren momenteel met het real-time monitoren van de pompconditie middels sensoren die de temperatuur en spanningsverlies bepalen. Hoewel de parameters goed online kunnen worden gevolgd (eventueel zelfs voorzien van een alarmniveau), is de uitdaging om vast te stellen bij welke temperatuur van de motor of afwijking van de energiewaardes een pomp moet worden gereinigd of gereviseerd om schade te voorkomen (Figuur 32-17).



Figuur 32-17 Voorbeeld van online monitoring van de pompconditie aan de hand van monitoring van het energieverlies (boven; bron: Samotics en WML) en spanningsverlies en motortemperatuur (onder; bron: AVEVA en WML).

32.9.4 Oplossingen

32.9.4.1 Opwarming

Oververhitting is al tijdens het ontwerp te voorkomen door de pompdiameter, het debiet en de opvoerhoogte af te stemmen op de putdimensies. Desnoods kan een stromingsmantel ('cooling jacket') rond de pompmotor worden geplaatst [PBG, 2022]. Pompen met veel neerslag moeten regelmatig worden gereinigd. Er dient te worden voorkomen dat een put wordt geknepen. Een pomp wordt bij voorkeur vervangen door een andere pomp als het debiet te hoog is.

32.9.4.2 Cavitatie

Het voorkomen van cavitatie begint met een ontwerp van de winput en de juiste keuze van de pomp. De diameter van de casing dient bijvoorbeeld aan te sluiten op de grootte van de pomp en er moet een pomp met het juiste werkbereik worden geselecteerd [PBG, 2022].

Om cavitatie aan de aanzuigzijde te voorkomen, moet de voordruk (NPSHa) van de pomp altijd minimaal 1 mWK (meter waterkolom) of 0,1 bar hoger zijn dan de dampspanning (NPSHr). Bij een te lage voordruk kan het dus al helpen om de pomp dieper in de put te hangen (of meer bovenstrooms in het leidingnet bij een vacuümwinning). Wanneer een put (bijna) luchtdicht is afgesloten, kan het water boven de put zich ophangen waardoor er onderdruk ontstaat ter plaatse van de pomp. De oplossing is dan om een andere te installeren. Soms treedt er extra drukverlies op door vervuiling van de aanvoerleiding. Een oplossing is dan om deze periodiek te reinigen.

Om cavitatie aan de perszijde te voorkomen of te corrigeren, kan het noodzakelijk zijn om de opvoerhoogte te verhogen of debiet te verlagen.

32.9.4.3 Zandlevering

Maatregelen tegen zandlevering staan in § 32.4.

32.10 Verstopping van terreinleidingen

32.10.1 Oorzaken

Verstopping van terreinleidingen kan meerdere oorzaken hebben [PBG, 2022]:

- Vorming van biochemische neerslagen, bijvoorbeeld ijzer- en mangaan(hydr)oxiden door mengen van oxisch en anoxisch ruwwater (zie § 32.2 voor de situaties waarin dit kan plaatsvinden).
- Vorming van biofilm door nutriëntenrijk water.

- Sedimentatie van zand en deeltjes of invanging van zand en deeltjes in gevormde biofilm (zie ook § 32.4 voor de situaties waarin dit kan plaatsvinden).

De terreinleidingen bestaan uit verschillende materialen en onderdelen: buizen van PVC, PE, staal, nodulair gietijzer of beton en appendages en hulpstukken van PVC, staal of nodulair gietijzer. De kans op dichtslibben van de leidingen is mede afhankelijk van de materiaalkeuze van de leiding. Tegenwoordig worden PVC en PE het meest gebruikt als er nieuwe terreinleidingen worden aangelegd. Een nadeel van de toepassing van PE is dat er op het wandoppervlak vrij gemakkelijk een biofilm kan worden gevormd.

32.10.2 Potentiële gevolgen

Na verloop van tijd kunnen terreinleidingen dichtslibben, waardoor de stromingsweerstand toeneemt. Dit kan leiden tot hogere energiekosten en capaciteitsverlies. Ook kan de biofilm negatieve effecten hebben op de ruwwaterkwaliteit. Daarnaast kunnen brokken biofilm loslaten en in de zuivering terecht komen.

32.10.3 Detectie en conditiebepaling

Een terreinleidingnet voor ruwwater bestaat uit een groot aantal verschillende elementen, die zijn uitgevoerd in diverse diameters met bijbehorende wanddikten. Daarnaast liggen deze leidingnetten vaak onder verschillende omstandigheden, aangelegd in verschillende fases. In praktijkcode PCD 6 [Mesman et al., 2016] is beschreven hoe moet worden omgegaan met de conditiebepaling van verschillende type leidingen.

Neerslagen zijn goed visueel waarneembaar met behulp van een endoscoop. Als leidingen sterk zijn vervuild, neemt de hydraulische weerstand toe. Wanneer het specifiek debiet van een winput (of meerdere winputten) gelijk blijft en de capaciteit terugloopt, is dit een indicatie voor verstopping van terreinleidingen. Er kunnen uiteraard ook drukmetingen aan het begin en het einde van een leiding worden gedaan.

32.10.4 Preventieve en curatieve maatregelen

In de praktijk wordt er geen gebruik gemaakt van preventieve maatregelen bij de aanleg en het ontwerp voor het leidingnetwerk zelf. Verstopte leidingen zijn gemakkelijk en relatief goedkoop te reinigen, waardoor de meerwaarde van bijvoorbeeld het aanleggen van gescheiden ruwwaterleidingen voor verschillende watertypes minimaal is [PBG, 2022]. In § 36.3 wordt nader ingegaan op het onderhoud van terreinleidingen. Bij drinkwaterbedrijven zijn wel proeven gedaan met elektrische currents om biofilmvorming te voorkomen, maar deze leken weinig effect te hebben (persoonlijke mededeling Ate Oosterhof, drinkwaterbedrijf Vitens).



Figuur 32-18 Voorbeeld van leidingproppen (links) en schoonspoelen van terreinleiding (rechts) (foto's: Pieter Dammers, Dunea).

32.11 Lekkage van terreinleidingen

32.11.1 Oorzaken

Zuigleidingen zijn de leidingen aan de zuigzijde van pompen. Ze kunnen onderdeel uitmaken van de stijgbuizen in een bron, maar ook een vacuümleiding in een bronnensysteem is een (liggende) zuigleiding.

Bij winningen met een vacuümsysteem heerst er onderdruk in de terreinleidingen (= zuigleidingen). Dit levert een verhoogde kans op de intreding van ondiep verontreinigd grondwater in het leidingsysteem. Wanneer het intredende water of de aangezogen lucht anaeroob ruwwater belucht, kan extra neerslag van ijzerhydroxide optreden in de stroomafwaarts gelegen leiding en eventuele pompen.

Ook kan met name in vacuümleidingen lucht ophopen door ontgassing van het grondwater of luchttoetreding via lekkages. Luchtbellen veroorzaken een toename van de hydraulische weerstand.

32.11.2 Potentiële gevolgen

Lekkages van zuigleidingen leveren een hoog risico op microbiologische verontreiniging.

In het uiterste geval kan de vacuümwinning geheel stilvallen door onderbreking van het vacuümsysteem bij lekkage.

32.11.3 Detectie en conditiebepaling

De mogelijkheid om een zuigleiding op waterdichtheid te beproeven, hangt samen met de uitvoering van de winput [PBG, 2022].

Winput met voetklep of terugslagklep

Als de winput is voorzien van een voetklep (of terugslagklep in de stijgbuis) is het mogelijk om de zuigleiding geheel af te sluiten door zowel de afsluiter aan de pompzijde als de voetklep te sluiten. Zo wordt een afgesloten leidingsectie verkregen en is beproeving gelijk aan een drukleiding (zie praktijkcode PCD 3 [Meerkerk en Beuken, 2020]). Voorafgaand aan afpersen, moet de drukklasse worden gecontroleerd. Terreinleidingen worden doorgaans bij lagere drukken bedreven dan distributieleidingen en zijn mogelijk daarom in een lagere drukklasse uitgevoerd.

Bij nieuwbouw van zuigleidingen kan een leiding voorafgaand aan de montage van de zuigleiding in de bron worden afgeperst. Een eventuele voetklep kan worden vervangen door een blindplaat als de werking van de voetklep niet volledig is onder de aan te brengen persdruk. Gezien de beperkte werkdrukken van een zuigleiding (onderdruk) kan het afpersen ook met een beperkte persdruk plaatsvinden.

32.11.4 Oplossing

- Vervangen van leidingsegment
- Reparatie door plaatsen van kous in leiding

32.12 Leidingbreuk door waterslag

32.12.1 Oorzaken

Waterslag is een begrip uit de hydraulica en treedt op wanneer de stroming van een vloeistof in een gesloten leiding plotseling tot stilstand wordt gebracht, bijvoorbeeld door het abrupt stoppen van een pomp of wanneer de stroming plotseling wordt gestart. De energie van het stromende water wordt dan omgezet in een drukgolf die door de leiding gaat lopen. Waterslag dient tijdens de bedrijfsvoering te worden voorkomen.

32.12.2 Potentiële gevolgen

De drukgolf kan onder bepaalde omstandigheden zorgen voor scheuren van de leiding. Met name verbindingen (en bochten) in PVC en PE leidingen zijn kwetsbaar voor beschadigingen door waterslag [PBG, 2022].

32.12.3 Detectie en conditiebepaling

In praktijkcode PCD 6 [Mesman et al., 2016] is beschreven hoe moet worden omgegaan met de conditiebepaling van verschillende type leidingen en verbindingstypen en de kans op lekkage door waterslag.

32.12.4 Preventieve en curatieve maatregelen:

Er zijn meerdere manieren om de waterslag (de over- en onderdruk) te verminderen of op te dempen. Deze zijn beschreven in praktijkcode PCD 3 [Meerkerk en Beuken, 2020].

33 Proces- en toestandsbewaking

33.1 Overzicht monitoringsysteem

33.1.1 Meetdoelen

<i>Richtlijn 5 Voer metingen uit conform het meetplan en meetprotocol. Leg metingen en registraties van bijvoorbeeld regeneraties op uniforme wijze vast in een database.</i>

Om de ononderbroken levering van ruwwater met een gewenste waterkwaliteit te garanderen, wordt op het puttenveld zowel de kwantiteit als kwaliteit gemonitord. De meetdoelen worden tijdens het ontwerpproces vastgesteld (zie de praktijkcodes PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b] en PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]).

33.1.2 Meetmethodes en locaties

In hoofdstuk 14 van praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b] is een overzicht opgenomen van de onderdelen waaruit een monitoringsysteem kan bestaan. Daarin is ook vermeld met welke meetfrequentie dient te worden gemonitord om degradatieprocessen van het puttenveld tijdig te lokaliseren. Dit verschilt per puttenveld.

In dit hoofdstuk komen de volgende meetmethodes aan bod:

- waterniveau van het reservoir voor ruwwater en van de zandfilters (zie § 33.2);
- debiet en in- en uitschakelmomenten pomp (zie § 33.3);
- stijghoogtemetingen en niveaubewaking (zie § 33.4);
- specifiek debiet en intree weerstand (zie § 33.5);
- Q/h-relatie bij puttenseries en drains (zie § 33.6);
- camera-inspectie (zie § 33.7);
- filterflowmetingen (zie § 33.8);
- zoutwachters (zie § 0);
- waterkwaliteitsbeoordelingen (zie de subparagrafen 33.11.1, 33.11.2 en 0).

33.1.3 Verwerken van gegevens

Bij het verwerken van gegevens gelden de volgende algemene aandachtspunten [PBG, 2022]:

- Drinkwaterbedrijven maken geleidelijk een transitie naar onder andere meer ‘data-gedreven’ onderhoudsprocessen van al hun assets, inclusief puttenvelden. Hoe dit precies zijn beslag gaat krijgen, valt buiten dit document, maar bij de opzet en inrichting van meetprogramma’s en de uitwerking/interpretatie/aggregatie van de metingen is het nuttig om voor te sorteren op dan wel aan te sluiten bij eventuele al bestaande bedrijfs- of bedrijfstakrichtlijnen en -standaarden.
- Stel een protocol op over de wijze waarop gegevens worden verwerkt en opgeslagen.
- Bewaar ten minste een locatie aanduiding (put + filter), datum, tijdstip, parameter omschrijving, eenheid en parameterwaarde.
- Sla ruwe en gevalideerde data apart op.
Let op: De gevalideerde data kunnen veranderen bij herinterpretatie/hervalidatie.
- Bewaar ook de bewerkingen en conversies hoe tot gevalideerde data te komen.
- Voer eenmaal per maand een validatie uit van metingen om te voorkomen dat er een data-kerkhof ontstaat.
- Zorg dat data eenvoudig bereikbaar is voor collega’s, zodat deze snel kan worden ingezet voor analyses.

- Richt een dashboard met kpi's in.
- Stel een processchema op wie wat doet met de kpi's en wie eindverantwoordelijk is voor het uitvoeren van aanbevelingen.
- Rapporteer de getrokken conclusies van de metingen en gemaakte analyses jaarlijks op hoofdlijnen aan de directie en assetmanager, inclusief een vertaling naar wat de consequenties zijn voor toekomstige investeringsniveau voor de winputten.

In de navolgende paragrafen worden voor een aantal meetmethoden nog specifieke aandachtspunten benoemd voor het verwerken van gegevens.

33.2 Waterniveau in de (ruw)waterkelder of zandfilters

Veel puttenvelden worden aangestuurd op basis van de beschikbare watervoorraad in het reservoir met reinwater of de bovenwaterstand van de zandfilters. Dit wordt soms gedaan in combinatie met een voorspelling van de ruwwatervraag voor de komende 24 uur (computeralgoritme). Voor informatie over (het meten van de waterniveaus in) reservoirs wordt verwezen naar praktijkcode PCD 4 [Meerkerk, 2020].

33.3 Debiet en putschakelingen

Richtlijn 5

Pas een debietmeter toe op puttenvelden waar (mogelijk) mechanische putverstopping (kan) optreedt (optreden).

33.3.1 Meetdoelen

Bij het registreren van het debiet wordt vaak onderscheid gemaakt tussen de registratie van het actuele debiet, het cumulatieve debiet en het aantal draaiuren van winputten [Makkink et al., 2011].

Het meten van de actuele debieten vindt plaats om de volgende redenen:

- Operationele procesbeheersing: controleren dat er voldoende ruwwater wordt opgepompt richting de zuivering.
- Procesbewaking: controleren of een put conform het schakelschema wordt bedreven (met name voorkomen dat een put te zwaar wordt belast in verband met verstopping of het borgen van de minimale reistijd bij infiltratie op korte afstand van de winput).
- Toestandsbewaking: bepaling van het rendement en capaciteit van de winning.

Het cumulatieve debiet wordt vaak per puttenveld op dag- of maandbasis geregistreerd:

- Leveren van tactische en strategische informatie voor planvorming zoals de watervraag, piekfactor en de belasting van putten ten behoeve van de optimalisatie van schakelschema's.
- Verantwoording afleggen aan overheden in het kader van vergunningen (provincie) ten aanzien van de onttrokken hoeveelheden. Soms moet ook worden verantwoord of deze hoeveelheden op de juiste wijze zijn verdeeld over watervoerende pakketten.

33.3.2 Meetlocaties

Debietmetingen worden op verschillende locaties gedaan:

- op individuele winputten op het puttenveld;
- op verzamelleidingen van een groep winputten of drains;
- op het binnenkomende ruwwater voor de zuiveringsinstallatie.

Bovendien wordt het debiet gemeten dat de drinkwaterproductielocatie na de zuivering verlaat ('af pompstation'). Daar is de praktijkcode PCD 3 [Meerkerk en Beuken, 2020] van toepassing. Daarnaast is meestal een debietmeter aanwezig op het verzamelde ruwwater. In sommige gevallen dient het ruwwaterdebiet te worden berekend als de som van debietmeters bij de eerste zuiveringsstap [PBG, 2022].

Moderne putten met een relatief groot debiet ($> 20 \text{ m}^3/\text{h}$) zijn meestal uitgerust met een individuele debietmeter. In praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b] wordt beschreven wanneer een debietmeter per winput wenselijk is. Bij oudere putten is (nog) niet altijd een debietmeter geïnstalleerd. Soms wordt bewust gekozen om geen debietmeter te installeren, bijvoorbeeld als het grondwater hoge concentraties mangaan en/of ijzer bevat, die onder oxische omstandigheden kunnen neerslaan. De debietmeters kunnen dan snel worden bedekt met afzettingen van ijzer en mangaan, waardoor debietmetingen onnauwkeurig worden. Op kleinere puttenvelden met weinig putverstopping kan vaak worden volstaan met het meten van het debiet van het gezamenlijk ruwwater.

Het debiet van kleinere putten en met name in het geval van vacuümsystemen wordt meestal per groep putten gemeten. Het is te kostbaar om alle individuele putten van een debietmeter te voorzien en bovendien voegt deze informatie weinig toe.

Een voordeel van het uitrusten van individuele winputten met een debietmeter is dat het specifiek debiet vrij eenvoudig kan worden bepaald. Het meten van het specifieke debiet van individuele vacuümputten vergt sowieso al de installatie van een tijdelijke pomp, waarbij het weinig moeite is om direct een tijdelijke debietmeter te installeren.

33.3.3 Meetmethodes

Als er sprake is van een oudere put zonder online monitoring moet eerst een meetprotocol worden opgesteld. Hiermee kan de meetploeg periodiek op soortgelijke wijze de monitoring uitvoeren.

33.3.3.1 Debietmeter

Voor het meten van het debiet van ruwwater (zowel per winput als voor het gehele puttenveld) bestaan verschillende typen debietmeters, zoals mechanische watermeters, venturimeters, elektromagnetische meters en ultrasone meters [Makkink et al., 2011]. De meest gebruikelijke meetmethodes en de overwegingen om deze te gebruiken, worden in dit onderdeel behandeld.

Punt van aandacht bij het gebruik van debietmeters is het kalibreren en justeren (inregelen) van de debietmeter. Daarbij worden de gebruikte meters met standaard meetmiddelen vergeleken en zodanig afgesteld dat de aanwijzingen weer binnen de gegeven nauwkeurigheidsgrenzen worden gebracht. Ook moet ervoor worden gezorgd dat de meters conform de inbouwvoorschriften van de fabrikant worden gebruikt.

33.3.3.2 Elektromagnetische watermeters

Het meten van het totale debiet van het verzamelde ruwwater wordt doorgaans gedaan met een elektromagnetische meter. De meetwaarden kunnen digitaal worden geregistreerd en direct worden afgelezen. Het totale debiet wordt over het algemeen continu gemeten. Ook voor het meten van het debiet per winput is de elektromagnetische meter het meest geschikte meetinstrument [Makkink et al., 2011].

33.3.3.3 Mechanische watermeters

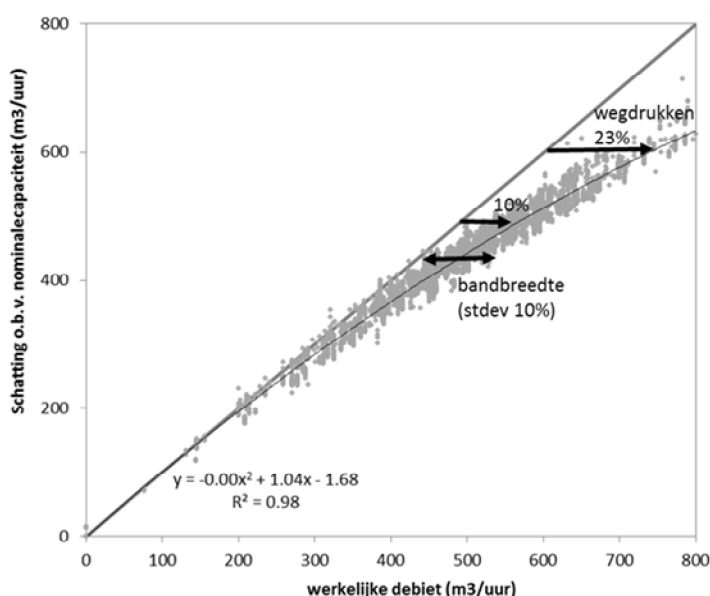
Mechanische watermeters met inwendig draaiende delen zijn voor debietmetingen van ruwwater minder geschikt, omdat deze eerder door het ruwwater vervuild raken en daardoor afwijkingen kunnen gaan vertonen. Dit geldt vooral bij puttenvelden waaruit water van verschillende kwaliteit wordt opgepompt, waardoor de meter gemakkelijk last kan krijgen van verstopping. Ook kunnen er afwijkingen tot soms 30% ontstaan door expansie van gasbubbel [Makkink et al., 2011].

Voor de incidentele metingen bij winputten zonder vaste watermeter kan een mechanische watermeter goed worden toegepast. Doordat een dergelijke watermeter gedurende korte tijd wordt gebruikt, is die veel minder gevoelig voor vervuiling en heeft dit veel minder invloed op inwendig draaiende delen [Makkink et al., 2011].

Het voordeel van mechanische watermeters is dat die onafhankelijk zijn van stroomvoorziening en dus eenvoudig op elke locatie kunnen worden ingepast. De meters kunnen snel worden aangesloten met behulp van een brandslang of een ander koppelstuk op de winput. De haakse putkopmeter kan dankzij de speciale constructie van een putkop in korte tijd worden ingebouwd. Nadeel voor putten met een hoge capaciteit is dat het debiet van een brandslang beperkt is tot circa 80 m³/h [PBG, 2022].

33.3.3.4 Registratie van schakelmomenten (in plaats van debietmeter)

Individuele winputten zijn lang niet altijd uitgerust met een debietmeter. In dat geval kunnen de draaiuren en/ of individuele in- en uitschakelmomenten worden gebruikt om een schatting te maken van het actuele en cumulatieve debiet. Dit kan een grote mate van onnauwkeurigheid met zich meebrengen, omdat de werkelijke pompcapaciteit meestal niet precies overeenkomt met de theoretische pompcapaciteit. Zo neemt het debiet per put af wanneer er meerdere putten tegelijkertijd draaien. Door een hoger debiet is er sprake van een toename aan wrijvingsverliezen en dus een hogere druk in de ruwwaterleiding. De mate waarin winputten elkaar wegdrücken via de ruwwaterleiding verschilt per drinkwaterproductielocatie en de wijze waarop de putten zijn geschakeld. Dit hangt ook af van de pompcurve van de geïnstalleerde pompen. Op drinkwaterproductielocatie Espelo (drinkwaterbedrijf Vitens) is bijvoorbeeld tijdens een piekwatervraag het actuele debiet 30% lager dan het gesommeerde nominale debiet van de individuele pompen, als gevolg van de grote afstand tussen putten en zuivering, en de beperkte diameter van de ruwwaterleiding. Met het nodige uitzoekwerk is het mogelijk om de mate waarin putten elkaar wegdrücken af te leiden uit metingen van het totale debiet in combinatie van de afpompings [Vonk & van der Schans, 2022]. Bij frequentie-gestuurde pompen is het nog lastiger om het debiet per winput in te schatten zonder debietmeter. Verstoppingsmetingen zonder debietmeter wordt daarom ontraden bij dit type pompen [PBG, 2022].



Figuur 33-1 Vergelijking van het waargenomen gezamenlijk debiet (x-as) versus het gesommeerde nominale debiet van de pompen (y-as) ter illustratie van het effect van wegdrücken op drinkwaterproductielocatie Ridderkerk [Vonk & van der Schans, 2019].

33.3.3.5 Handmatige specifiek debietmeting (zonder debietmeter)

Zoals hiervoor is uitgelegd, kan in de praktijk het actuele debiet van de winput sterk afwijken van het geschatte nominale debiet. Daarom verdient het gebruik van een tijdelijke debietmeter altijd de voorkeur boven schatting van

het nominale debiet, ook al zal de uitvoering dan meer tijd in beslag nemen. Daarnaast kan gebruik worden gemaakt van een debietmeter die het gezamenlijke debiet van een aantal winputten meet [PBG, 2022].

3.3.3.6 Registratie van draaiuren

Een alternatief voor een watermeter is de registratie van draaiuren in combinatie met het geschatte nominale pompdebiet van de winput in een puttengroep. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het nominale pompdebiet van de winput doorgaans afwijkt van het actuele debiet. Als dat enigszins mogelijk is, heeft een debietmeting met een aparte watermeter altijd de voorkeur [PBG, 2022].

33.3.4 Verwerken gegevens

Geadviseerd wordt om de gegevens als volgt op te slaan [PBG, 2022]:

- in- en uitschakelmomenten van individuele pompen op minuutbasis;
- debiet op uurbasis (of een hogere frequentie, bijvoorbeeld wanneer pompdebieten in de loop van de tijd variëren of wanneer de in- en uitschakelmomenten worden afgeleid uit pompdebieten).

Het totaal gemeten debiet aan ruwwater komt doorgaans niet overeen met de som van de gemeten debieten van de individuele winputten. Dit geldt ook voor de som van de gemeten drinkwaterproductie en de gemeten spoelwaterverliezen. Hiervoor bestaan de volgende verklaringen [Makkink et al., 2011]:

- grondwater en ruwwater kunnen de meetinstrumenten vervuilen;
- de beperkte nauwkeurigheid van meetinstrumenten voor ruwwater;
- de som van de onnauwkeurigheden van de individuele put-debietmeters;
- de omstandigheden en de omgeving waarin de meetinstrumenten zich bevinden.

33.4 Stijghoogtemetingen en niveaubewaking

33.4.1.1

Richtlijn 6

Maak gebruik van een vast protocol voor datakwaliteitscontrole van stijghoogtemetingen. Voer bij monitoring met drukopnemers ten minste twee keer en bij voorkeur vier keer per jaar handmetingen uit om de monitoringsgegevens te controleren.

Grondwaterstand- en stijghoogtemetingen worden uitgevoerd in een net van waarnemingsfilters in de omgeving van het puttenveld en rond winputten zelf [Makkink et al., 2011].

33.4.2 Meetdoelen

De belangrijkste doelen voor het uitvoeren van stijghoogtemetingen zijn [Makkink et al., 2011; PBG, 2022]:

- Operationele procesbeheersing
Zorg dat het waterniveau in de put niet te ver uitzaakt, waardoor de pomp droog valt of lucht hapt. Ook het winfilter mag niet droogvallen.
- Procesbewaking
Bepaal of de stijghoogten voldoende hoog zijn om het benodigde piekdebiet te leveren. Dit speelt in freatische pakketten waar de stijghoogte als gevolg van seizoensinvloeden en variaties in oppervlaktewaterstand sterk kan fluctueren. Dit treedt echter ook op in diepere winningen als er in de zomer veel water wordt onttrokken op het puttenveld of door winningen van derden in de omgeving (bijvoorbeeld voor beregening).
- Toestand bewaking
Bepaal of er een noodzaak is om de put binnen afzienbare termijn te regenereren (zie specifiek debiet).

- Lever tactische en strategische informatie voor planvorming, zoals de effecten van de winning op de omgeving en om de natuurlijke seizoenfluctuatie in kaart te brengen.
- Voldoe aan de vergunningsvoorwaarden.

33.4.3 Meet methoden

33.4.3.1 Handmatig of geautomatiseerd meten van stijghoogten

Grondwaterstanden en stijghoogten kunnen handmatig worden ingemeten met een peilapparaat (peillint, zie Figuur 33-2). In plaats van handmatig meten, kunnen de metingen ook geautomatiseerd worden uitgevoerd. Er wordt dan gebruik gemaakt van drukopnemers. Bij drukopnemers kan onderscheid worden gemaakt tussen continue drukopnemers (dat wil zeggen barometrisch gecompenseerde drukopnemers die de meetwaarden opslaan en de actuele meetwaarden op een beeldscherm laten zien) en niet-continue drukopnemers (dat wil zeggen drukopnemers die de meetwaarden periodiek opslaan en op een later tijdstip kunnen die digitaal worden uitgelezen). De niet-continue drukopnemers zijn te verdelen in barometrisch gecompenseerde drukopnemers en niet-barometrisch gecompenseerde drukopnemers. Bij deze laatst genoemde opnemers worden de meetwaarden niet gecorrigeerd en de meting moet dan achteraf worden gecorrigeerd voor luchtdruk. Het is belangrijk dat de dataloggermeting en de luchtdrukmeting op dezelfde tijd plaatsvinden [Makkink et al., 2011].

Voordelen van het gebruik van drukopnemers zijn:

- Er kan frequenter worden gemeten
Bij dagelijkse of uurmetingen zijn de interpretaties over het verloop van de grondwaterstanden betrouwbaarder dan bij 14-daagse metingen.
- De toepassing leidt tot minder tijd, kosten en verreden kilometers.
- De medewerker is niet meer genoodzaakt op de voorgeschreven data te peilen.
- Gegevens zijn sneller beschikbaar wanneer drukopnemers via telemetrie kunnen worden uitgelezen.

Drukopnemers hebben ook nadelen:

- Er zijn verschillende ervaringen met betrekking tot de betrouwbaarheid van handmetingen versus drukopnemers. In de praktijk blijken veel drukopnemers na verloop van tijd met uitval hebben te kampen, waardoor een deel van de meetreeks verloren gaat.
- Handmetingen blijven noodzakelijk om de betrouwbaarheid van de drukopnemer te valideren.



Figuur 33-2 Het meten van de grondwaterstand met behulp van een peillint (foto KWR Water Research Institute).

33.4.3.2 Levensduur en terugverdientijd van drukopnemers

Voor het toepassen van drukopnemers en de realisatie van een verwerkingssysteem zijn de investeringskosten in het begin hoog voor aanschaf van de drukopnemer (orde grootte € 500,--). Daarnaast moeten vaak extra tijd en kosten worden gemaakt voor correctie en validatie van de automatische metingen en vervanging wanneer de drukopnemer faalt. Hier staat tegenover dat veel tijd wordt uitgespaard doordat veel minder handmatige peilingen nodig zijn (24 metingen x € 25,-- per meting = € 600,-- per jaar). Bij meerdere filters per peilbuis wordt een handmeting relatief goedkoper.

Sommige drinkwaterbedrijven kiezen ervoor om drukopnemers maximaal 6 jaar in het vaste meetnet te houden. De oude drukopnemers worden vervolgens ingezet in projectmetingen; deze worden vaker bezocht waardoor uitval sneller wordt gedetecteerd [PBG, 2022].

33.4.3.3 Aandachtspunten bij inhangen en uitlezen van drukopnemers

Bij het inhangen en uitlezen van drukopnemers is het meten en vastleggen van het volgende van belang [Makkink et al., 2011].

- Het inhangen of uithalen dient voorzichtig te gebeuren (drukopnemers zijn gevoelig voor schokken, dit kan haperen of falen van het apparaat tot gevolg hebben).
- De stijghoogte net voor het inhangen of uithalen van de drukopnemer, liefst zo dicht mogelijk bij een geprogrammeerd meettijdstip en niet eerder of later dan 1 uur daarvandaan. Let echter op, soms kunnen er hoogfrequenter variaties optreden met een periode die (veel) korter is dan een uur.
- De datum en tijd (in wintertijd) van de stijghoogtemeting.
- De precieze inhangdiepte ten opzichte van het referentiepunt (liefst elke uitleesronde nameten).
- Noteer het tijdstip van de drukopnemer en de uitlezer (ter controle op drift van de loggerklok).
- De dataloggermeting en de luchtdrukmeting dienen op dezelfde tijd plaatsvinden bij niet-barometrisch gecompenseerde drukopnemers.
- Noteer bijzonderheden in de put en de omgeving die de verklaring zouden kunnen vormen voor een afwijkende stijghoogtemeting (zoals overstroming/droogvallen van de put, ijs/bevroren, bemaling/bagger/bouwwerkzaamheden in de omgeving, schade/oplenging peilbuis).

Daarnaast is aan te raden om minimaal vier maal per jaar een handpeiling uit te voeren ter controle van de drukopnemer. Eventueel kan ook twee maal per jaar worden gemeten (kosten gedreven). Aandachtspunten zijn [PBG, 2022]:

- Verwijder de drukopnemer pas uit de waarnemingsbuis, nadat de handmeting is uitgevoerd. Het verwijderen van de 'diver' kan het waterniveau tijdelijk beïnvloeden. Dit ondervangt het risico op verkeerde metingen, tenminste wanneer de meetploeg wordt gedwongen om eerst een handmeting in te voeren in het veldcomputersysteem alvorens de drukopnemer uit te lezen en deze te vergelijken met de handpeiling.
- Noteer hierbij zowel het waterniveau als het exacte tijdstip.
- Wanneer loggers elk uur loggen en de stijghoogten sterk kunnen fluctueren (bijvoorbeeld omdat de logger nabij een put staat), dient de handwaarneming net na het hele uur te worden uitgevoerd.

Met deze metingen zijn afwijkingen van de drukopnemer te bepalen en eventueel te corrigeren aan de hand van de handmeting.

33.4.3.4 Meetfrequentie

De meetfrequentie zal meestal zijn vastgelegd in de vergunningsvoorwaarden. Van oudsher wordt bij handmatige metingen meestal tweemaal per maand gemeten, zoveel mogelijk op de landelijke peildata (de veertiende en achtentwintigste van de maand [Makkink et al., 2011]). Als met drukopnemers wordt gemeten, is de meetfrequentie afhankelijk van het doel van de meting. Metingen kunnen voor verschillende meetvragen worden ingezet. De meetvraag met de hoogste frequentie is dan leidend.

Zo is er bijvoorbeeld een hoge meetfrequentie nodig om de invloed van getijdenbewegingen vast te stellen en inzicht te krijgen in een dag-nacht-ritme van een winning, maar ook ten gevolge van grondwateronttrekkingen of infiltratiewerken buiten het waterwingebied.

Als in een winput de afpompingsdruk wordt gemeten, is een hogere meetfrequentie van belang. Vaak wordt eens per minuut (of 3 of 5 minuten) gemeten. Met deze meetfrequentie wordt inzicht verkregen op de reactie van de winput op het schakelen van de put zelf en van de overige winputten op het puttenveld.

In een traag systeem duurt de reactie van de grondwaterstand op de neerslag jaren. Hier geven hoogfrequente metingen geen extra informatie.

33.4.3.5 Artesisch grondwater

Voor artesisch grondwater waarvan de stijghoogte tot enkele meters boven het maaiveld reikt, wordt gebruik gemaakt van een opzetbare meetbuis. Voor artesisch water waarvan de stijghoogte tot meer dan enkele meters boven het maaiveld reikt, wordt er een manometer gemonteerd. Het voordeel van het gebruik van opzetstukken is dat de uitgevoerde meting nauwkeuriger is [Makkink et al., 2011].

33.4.3.6 Monitoren stijghoogten in winputten

Sommige oudere winputten en puttenstrengen beschikken niet over een waarnemingsfilter in de omstorting. In dergelijke gevallen kan er dus uitsluitend in de winput zelf worden gemeten [Makkink et al., 2011].

33.4.4 Verwerking gegevens

33.4.4.1 Foutenbronnen drukopnemers

Drukopnemers hebben ook aandachtspunten. Volgens von Asmuth [2015] zijn er meerdere oorzaken waardoor metingen met drukopnemers kunnen resulteren in afwijkingen en meetfouten:

- Bias
Een constante verschuiving van het nulpunt van de sensor. Eventuele bias wordt gecorrigeerd wanneer de inhangdiepte met behulp van een handmeting wordt bepaald.
- Drift
Een in de tijd oplopende verschuiving van het nulpunt van de sensor. De drift blijkt in veel gevallen ongeveer lineair te verlopen, maar kan ook ineens veel groter worden.
- Meetruis
Random variatie van de gemeten waarde rond de werkelijke waarde.
- Range bias
Een verschil tussen het meetbereik van de sensor en die van de werkelijke waarden. Ook een niet-lineaire relatie tussen druk en indrukking van het membraan wordt hieronder geschaard.
- Hysteresis
Verschil in de relatie tussen druk en indrukking bij oplopende en afnemende druk.
- Temperatuurafhankelijkheid
Afwijkingen die samenhangen met de temperatuur. Het kan hierbij gaan om een niet-afdoende correctie van de temperatuurgevoeligheid van de sensor of om fouten in de temperatuurmeting zelf.

- **Outliers**
Incidentele of kortstondige afwijkingen. Een van de oorzaken die worden genoemd, is de aanwezigheid van condens dan wel waterdruppeltjes of juist luchtbelletjes op het meetmembraan.
- **Tijdsverschuiving**
Het voor- of achterlopen van de klok van de drukopnemer.
- **Geleidelijk lek raken**
Dit is een geleidelijk proces: 'je ziet achteraf pas het lang van te voren aankomen'.
- **Kapot membraan**
Doordat de loggers bij het terughangen te hard op de waterspiegel terecht komen.
- **Veel kortere levensduur dan fabrikant aangeeft.**
Drukopnemers kunnen om uiteenlopende redenen opeens haperen of falen en als gevolg daarvan afwijkingen gaan vertonen. Dit is meestal reden om de drukopnemer te vervangen.

33.4.4.2 Foutenbronnen handmatige metingen

Bij handmatige metingen geldt altijd een afleesnauwkeurigheid van 0,5 cm. Andere foutenbronnen zijn foutieve registratie (afleesfouten, typefouten) [PBG, 2022].

33.4.4.3 Validatie en opslag van gegevens.

Bij de verwerking van de meetgegevens moeten de data worden gevalideerd door middel van [Makkink et al., 2011]:

- Handmatige controle op typfouten in de ingevoerde grondwaterstanden, stijghoogten (handmetingen) en inhangdiepte van 'divers'.
- Automatische controle aan de hand van vooraf ingestelde minimum- en 'foutlijst' maximum waarden (signaleringswaarden), controle van trendafwijkingen (vergelijk meerdere meetpunten met gelijke trends met elkaar) en controle met de handpeilingen. De databank genereert een 'foutlijst' op basis waarvan de gemeten waarden kunnen worden gecorrigeerd. De afwijkende waarden dienen te worden voorzien van een toelichting.

De afwijkingen tussen drukopnemers en handpeilingen liggen in de regel in de ordegrootte van centimeters, maar kunnen ook decimeters beslaan [Makkink et al., 2011]. Helaas worden afwijking vaak pas geconstateerd als deze voldoende groot zijn om te worden opgemerkt. Ook in de meetreeks voorafgaand aan vervanging kan een fout aanwezig zijn. Er dient daarom een hervalidatie te worden uitgevoerd op de drukmetingen in de periode voor de vervanging en deze data moeten worden gelabeld in het databeheersysteem [PBG, 2022].

Via een protocol voor datakwaliteitscontrole (bijvoorbeeld het QC-protocol van von Asmuth [2015]) kan het meetnet zo efficiënt mogelijk worden ingericht. Voor de werkwijze (het instellen van diverse parameters, meetfrequentie en het meetnetwerk), controlemetingen en daarbij te hanteren criteria dient dit QC-protocol als leidraad voor de meetnetbeheerder op het puttenveld.

De meetgegevens worden in een daarvoor ingerichte databank opgeslagen (zie hoofdstuk 25 van praktijkcode PCD 13-3 [Van der Schans et al., 2020]). De meetgegevens worden ook verstuurd naar NITG-TNO, waar die worden gebruikt voor verwerking in DINO-loket. Vanaf 2022 dienen veel meetgegevens ook in de BRO te worden opgeslagen [Makkink et al., 2011].

33.5 Specifiek debiet en introdeweerstand bij winputten

Richtlijn 8

Bepaal ten minste een keer per jaar op alle winputten het specifieke debiet. Stel hiervoor per winning een procedure op zodat de metingen telkens op eenzelfde manier en onder gelijke omstandigheden worden uitgevoerd. Bij voorkeur wordt het werkelijk onttrokken debiet van de pomp exact gemeten. Stel de meetfrequentie bij op basis van de verstoppingssnelheid.

33.5.1 Meetdoelen

Er zijn verschillende redenen om metingen van het specifieke debiet en intredeweerstand uit te voeren [PBG, 2022]:

- Procesbewaking
Bepalen of een put in staat is om voldoende piekdebiet te leveren zonder droog te vallen.
- Toestandsbewaking
Bepaling van de mate waarin een put is verstopt met inbegrip van het type verstopping (filterspleten, boorgatwand) en het juiste moment van regeneratie.
- Leveren van tactische en strategische informatie voor planvorming zoals het maken van onderhoudsplannen, het bepalen van de verstoppingsgevoeligheid van putten en de maximale verstoppingsvrije draaiuren ten behoeve van optimalisatie van schakelschema's.

33.5.2 Definitie

33.5.2.1 Specifiek debiet

Het debiet van een put kan in de loop van de tijd variëren. Daarom wordt verstopping van putten vaak uitgedrukt als 'specifiek debiet' (het quotiënt van debiet en afpompings). Hierbij is de afpompings gelijk aan het verschil tussen het waterniveau van een winput 'in rust' en het waterniveau van een put die gedurende een bepaalde vaste periode in bedrijf is [Makkink et al., 2011].

$$Q_{\text{spec}} = \frac{Q}{H_{\text{rust}} - H_{\text{bedrijf}}}$$

vgl. 33-1

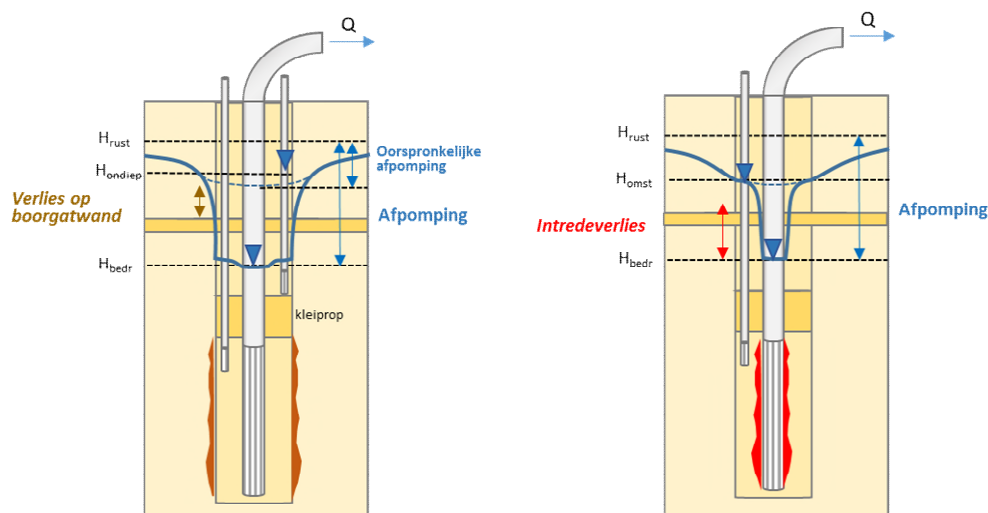
waarin: Q_{spec} = specifiek debiet [m^3/u per m afpompings]

Q = onttrokken debiet [m^3/u]

H_{rust} = waterniveau in winfilter bij rust (natuurlijke grondwaterstand) [m]

h_{bedrijf} = waterniveau in winfilter tijdens het onttrekken van grondwater [m]

Het specifiek debiet neemt dus af door afname van het debiet en/of door toename van de afpompings. Een afname van Q_{spec} duidt vaak op verstopping.



Figuur 33-3 Het bepalen van de afpompings, intredeverliezen en verliezen op de boorgatwand (De linker figuur bevat een extra waarnemingsfilter ondieper in het winpakket. In de praktijk komt dit weinig voor, omdat winfilters bij voorkeur over het hele dieptetraject van een watervoerend pakket worden geplaatst) [Makkink et al., 2011].

De waarde van het specifieke debiet bij oplevering (ook wel aangeduid met uitgangswaarde of beginwaarde) wordt in eerste instantie als referentiewaarde beschouwd. Als door natuurlijke ontwikkeling van de put het specifieke debiet toeneemt, kan de referentiewaarde in de loop van de tijd worden aangepast.

33.5.2.2 Putverliezen

Om meer inzicht te krijgen in het type verstopping, wordt ook wel gekeken naar de genormaliseerde (of specifieke) afpompings (S) en stijghoogteverschillen (stijghoogteverliezen; d) rondom het winfilter (PBG 2022).

$$S_{\text{spec}} = \frac{H_{\text{rust}} - H_{\text{pomp}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-2}$$

$$d_{s_formatie} = \frac{H_{\text{rust}} - H_{\text{ondiep}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-3}$$

$$d_{s_boorgat} = \frac{H_{\text{ondiep}} - H_{\text{omst}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-4}$$

$$d_{s_intrede} = \frac{H_{\text{omst}} - H_{\text{bedr}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-5}$$

waarin: S_{spec} = specifieke afpompings [u/m^2]

$d_{s_formatie}$ = formatieverliezen [u/m^2]

$d_{s_boorgat}$ = verliezen rondom de boorgatwand [u/m^2]

$d_{s_boorgat}$ = verliezen rondom de filterspleten van het winfilter [u/m^2]

H_{ondiep} = waterniveau in ondieper waarnemingsfilter in hetzelfde wvp als de winput, gemeten tijdens onttrekken [m]

H_{omst} = waterniveau in waarnemingsfilter in omstorting tijdens onttrekken [m]

De weerstanden binnen een winput (boorgatwand, gravelpack, filterspleten, filterbuis, casing) worden in Engelstalige literatuur vaak aangeduid als 'well losses'. Houben [2015] geeft een overzicht van de individuele verliesposten.

Het voordeel van deze indicatoren (ten opzichte van het specifiek debiet) is dat die lineair toenemen met de hydraulische weerstand, wat het makkelijker maakt om verstopping van individuele onderdelen van de put te vergelijken. Overigens zijn er maar weinig winputten met een geschikte H_{ondiep} (Figuur 33-4). Meestal wordt uitsluitend het intredevlies gemonitord. Deze is belangrijk voor het meten van verstopping op de filterspleten [PBG, 2022].

Uit de toename van het genormaliseerde stijghoogteverschil ten opzichte van de nieuwwaarde ($S_{s(\text{nieuw})}$) is ook de hydraulische weerstand van de verstopping berekend. Bij verstopping op de boorgatwand is de weerstand gelijk aan:

$$c_{\text{boorgat}} = (S_{\text{spec}} - S_{\text{spec}(\text{nieuw})}) * r \frac{A}{24} \quad \text{vgl. 33-6}$$

waarin: c_{boorgat} = weerstand boorgat [d]

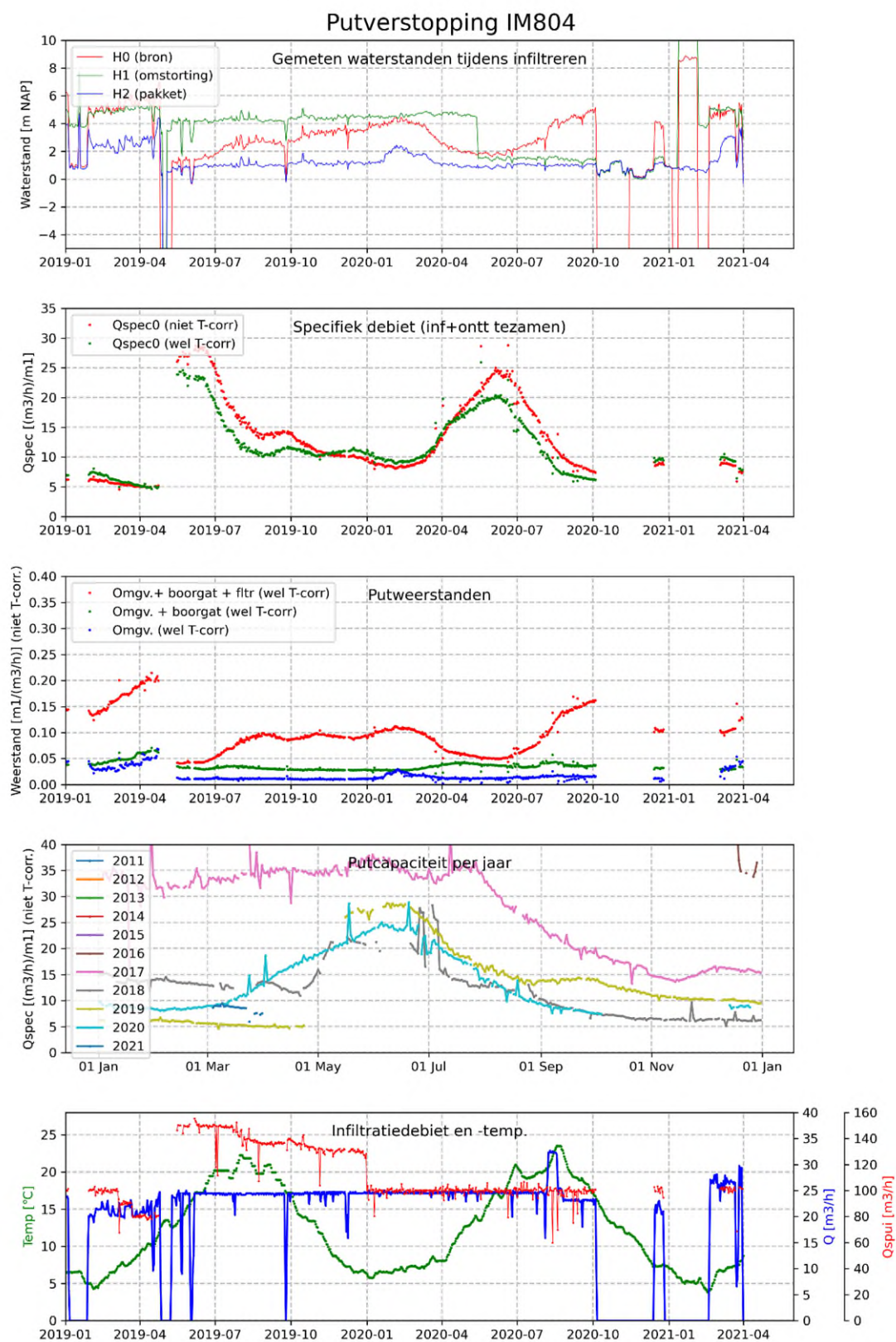
A = oppervlak boorgatwand [m^2] = boorgatdiameter x filterlengte x π

24 = omrekenfactor uur -> dag

Een voordeel van deze benadering is dat de verstopping van putten met uiteenlopende dimensies (diameter, filterlengte) beter onderling vergelijkbaar is. Deze c-waarde kan in theorie overigens ook worden berekend uit het quotiënt van de dikte en doorlatendheid van de verstopte zone, maar in de praktijk zijn deze waarden niet direct meetbaar omdat de verstopping diep onder de grond zit [van der Schans et al., 2022a].

In het geval er geen metingen zijn in een ondiepe waarnemingsfilter, kan overigens toch een indruk worden verkregen over de vraag of verstopping rond door boorgatwand is toegenomen. Hiertoe dienen het genormaliseerde stijghoogteverschil en de verliezen rond de filterspleten te worden vergeleken met de situatie in een niet-verstopte toestand bij oplevering [PBG, 2022]:

$$d_{s_{\text{formatie}}+\text{boorgat}} = s_{\text{spec (nieuw)}} - s_{\text{spec (nieuw)}} - d_{s_{\text{boorgat}}} + d_{s_{\text{boorgat(nieuw)}}} \quad \text{vgl. 33-7}$$



Figuur 33-4 Voorbeeld van het bepalen van intredev verliezen en temperatuurcorrectie voor een infiltratieput in DWAT (bron: PWN).

33.5.2.3 Hydraulische weerstand terreinleidingen

Verstopping van terreinleidingen leidt tot een verhoogde stromingsweerstand in de leidingen. Aan de hand van druk- en debietmetingen kan worden nagegaan in welke mate de verstopping leidt tot een toename van drukverliezen in de leiding ten opzichte van de nieuwwaarde [van der Schans, 2022d]:

$$d_{s_leiding} = \frac{H_{bedrijf} - H_{zuivering}}{Q}$$

waarin: $d_{s_leiding}$ = genormaliseerde verliezen in de terreinleiding [h/m^2]

$H_{bedrijf}$ = stijghoogte gemeten in de stijgbuis van de winput terwijl die in bedrijf is [m]

$H_{zuivering}$ = stijghoogte gemeten aan uitstroompunt terreinleiding [m]

Er dient te worden ingegrepen (gereinigd) wanneer de verliezen zodanig groot zijn dat het pompdebiet merkbaar afneemt (> 5%?) of wanneer de druk in de terreinleiding boven de werkdruk uitkomt [PBG, 2022].

33.5.3 Meetfrequentie en methode

Het specifieke debiet en de intredeweerstand worden meestal jaarlijks handmatig gemeten, zelfs bij putten waar de debieten en waterniveaus continu worden gemeten. Dit gebeurt ter controle van de automatische apparatuur [PBG, 2022].

Er wordt altijd dezelfde vaste periode gehanteerd na het inschakelen van de pomp voor het meten van de afpompings. De meeste drinkwaterbedrijven wachten 10 tot 20 min. Als de gekozen periode te kort is, kunnen er meetfouten ontstaan, omdat de meting net te vroeg of te laat wordt uitgevoerd. Het moment van inschakelen wordt namelijk niet altijd tot op de seconde geregistreerd en bij het opstarten van de pomp duurt het even voordat het debiet stabiliseert. Als er te lang wordt gewacht, neemt de kans op onderlinge beïnvloeding toe door het schakelen van buurputten.

De meting moet steeds op dezelfde manier en altijd onder dezelfde omstandigheden worden uitgevoerd. Hiervoor moet per winveld een vaste procedure worden opgesteld. Er moet worden voorkomen dat omliggende winputten tijdens de meting schakelen om onderlinge beïnvloeding te voorkomen (zie subparagraaf 33.5.4). Bij het bepalen van het specifieke debiet wordt het actuele, werkelijk onttrokken debiet bepaald als dat enigszins mogelijk is. Er wordt bij voorkeur niet uitgegaan van (in)schattingen op basis van metingen uit het verleden (zie § 33.3).

Schattingen en aannames op basis van eerder gemeten debieten blijken erg onnauwkeurig te zijn en kunnen tot gevolg hebben dat er verkeerde keuzes worden gemaakt. Als gevolg van slijtage van de waaiers van de pomp, grotere tegendruk in de terreinleiding, grotere opvoerhoogte in de put (als gevolg van een lagere stijghoogte), versmering van leidingen en verstopping van de put kunnen eerder gemeten debieten afwijken van de actuele werkelijk gemeten debieten [PBG, 2022].

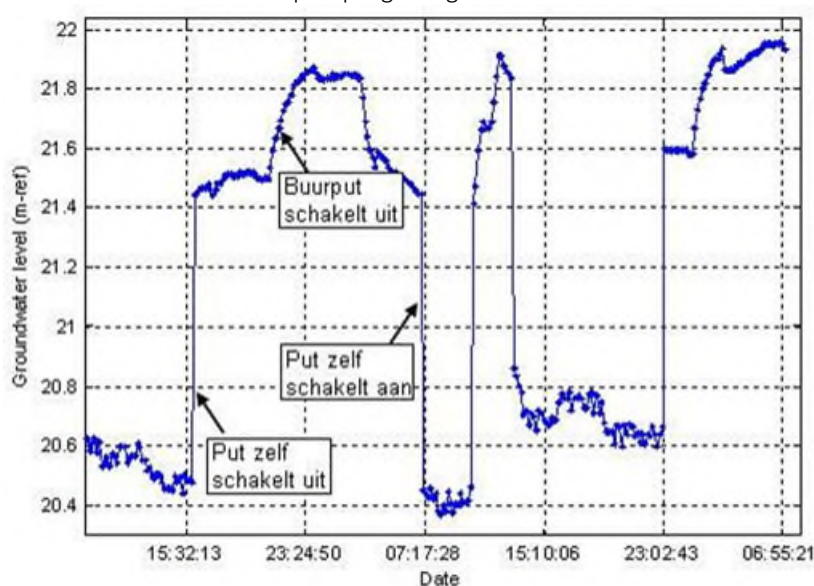
33.5.4 Verwerken gegevens: corrigeren voor onderlinge beïnvloeding

Het is niet altijd mogelijk om Q_{spec} -metingen onder identieke condities uit te voeren. Met name wanneer er gebruik wordt gemaakt van continue registratie is er vaak een correctie nodig op de metingen. Dit komt omdat omliggende putten de meting beïnvloeden [Vonk & van der Schans, 2019; van Doorn, 2016].

- Wanneer er voorafgaand aan de Q_{spec} -meting veel putten op dezelfde ruwwaterleiding draaien dan leidt dit tot een toename van het totale debiet, met hogere wrijvingsverliezen in de ruwwaterleiding als gevolg. Er heerst dus een hogere druk in de leiding, waardoor de pomp van de winput zelf minder water levert (het zogenaamde wegdrukken via de leiding), met een lager debiet als gevolg.

- Het drukverschil tussen de put en de terreinleiding wordt vergroot als de afpompkegel van omliggende putten ook de stijghoogte in de winput voorafgaand aan de meting verlaagt. Dit leidt tot een verdere afname van het debiet.
- Het in- of uit bedrijf nemen van putten op dezelfde ruwwaterleiding gedurende de Q_{spec} -meting kan ook leiden tot een verandering van het debiet gedurende de capaciteitsproef.
- Het in- of uit bedrijf nemen van nabijgelegen putten gedurende of juist voorafgaand aan de SV-meting heeft (via de afpompkegel) ook invloed op de afpomping.

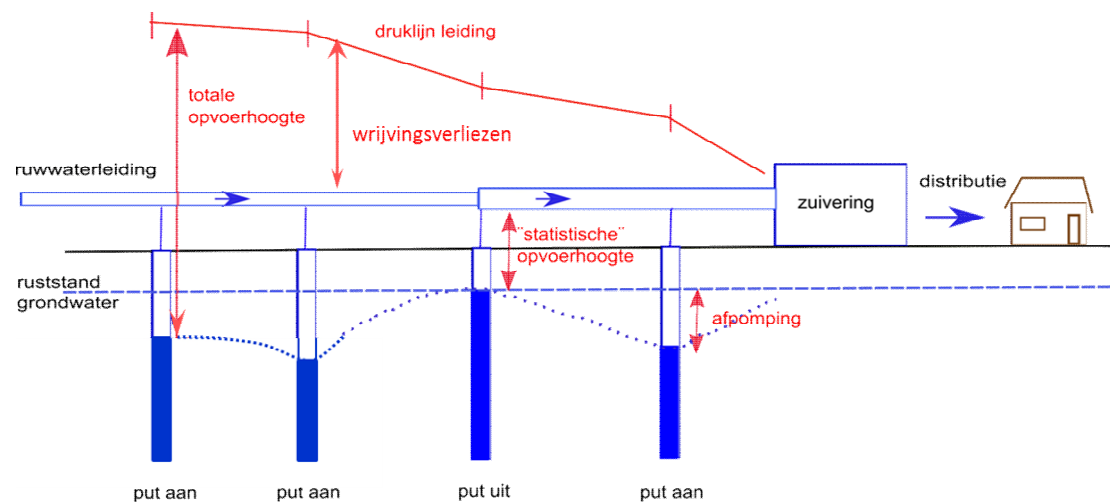
Tot slot kan een put ook invloed hebben op eigen rustsituatie (h_{rust}) wanneer er onvoldoende tijd zit tussen schakelmomenten en de afpompkegel nog onvoldoende is hersteld.



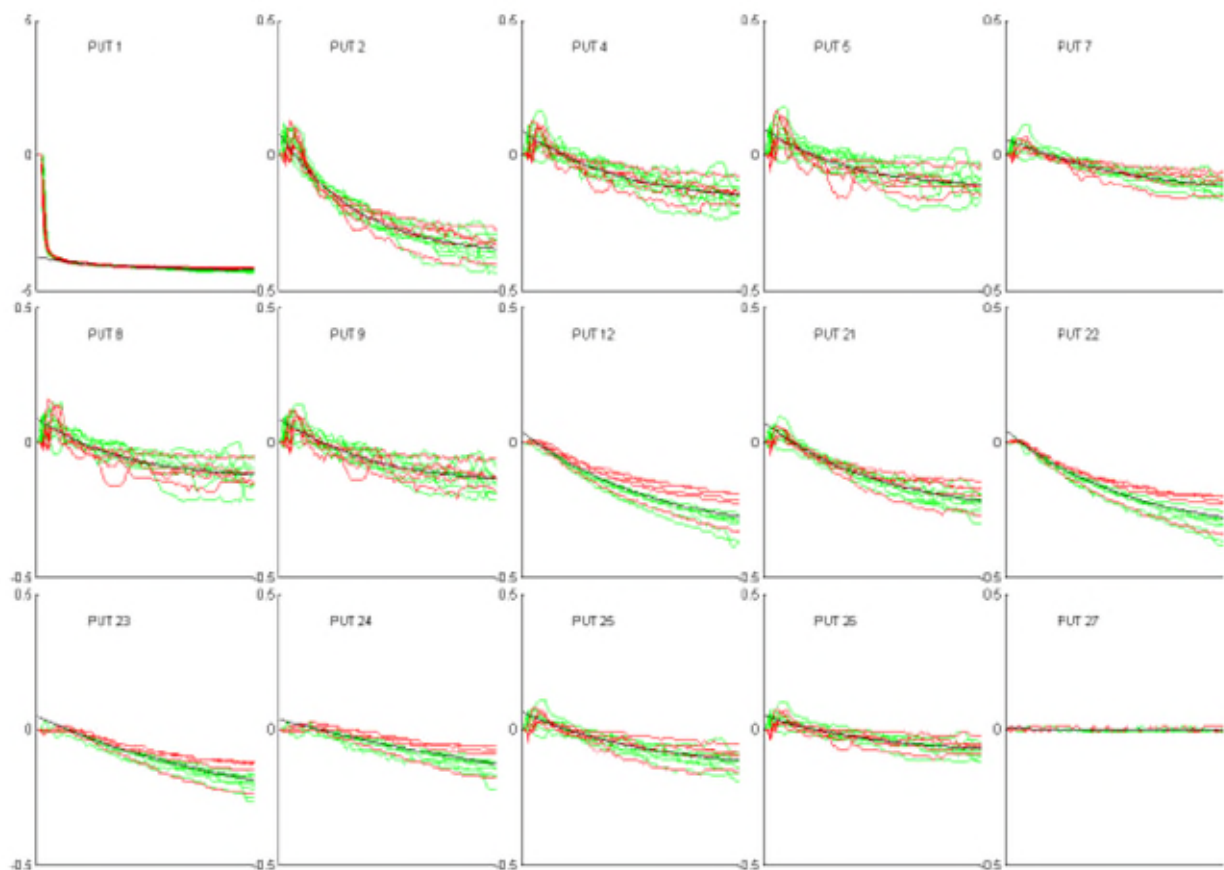
Figuur 33-5 Illustratie van de onderlinge beïnvloeding tussen winputten. Het aan- en uitschakelen van de put zelf geeft een verandering van circa 1 m. De buurput heeft een effect van circa 40 cm [Makkink et al., 2011].

Bij het bepalen van de SV op basis van continue registratie dienen dus correcties te worden uitgevoerd voor de onderlinge beïnvloeding van putten. Er zijn verschillende methodes beschikbaar om door te rekenen hoe putschakelingen via de formatie doorwerken in de stijghoogte van omliggende putten. Voor nadere toelichting wordt verwezen naar de bijbehorende referenties:

- Met een grondwatermodel zoals MODFLOW en MLU [Boukes, 2007; Boukes, 2013].
 - Door het afleiden van de impuls-response functie van elke winput door het uitvoeren van tijdreeksanalyse op historische metingen [Leunk et al., 2010; Obergfell et al., 2013] en neurale netwerken [Leunk et al., 2013].
 - Door analyse van 'unieke schakelmomenten'
- Dit zijn putschakelingen waarbij over een langere periode slechts 1 buurput wordt geschakeld en de put zelf niet. Door analyse van historische stijghoogte data kan dan worden geanalyseerd welke invloed het in of uit bedrijf nemen van een buurput heeft op de stijghoogte van een put (Figuur 33-7). De reactie van de stijghoogten kan ook worden gebruikt als pompproef om hydraulische parameters zoals kD -waarden van watervoerende pakketten uit af te leiden [Artesia, 2014; Lewis, 2016; van Doorn, 2016].



Figuur 33-6 Illustratie van stijghoogteverliezen op een puttenveld [van der Schans et al., 2015].



Figuur 33-7 Illustratie van het bepalen van de onderlinge beïnvloeding tussen putten door het analyseren van 'unieke schakelmomenten'. In dit voorbeeld is de invloed weergegeven van put 1 op de andere winputten van drinkwaterproductielocatie Genderen.

Voor het bepalen van de invloed van omliggende putten op het debiet wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van momentane debietmetingen. Deze zijn vaak niet voorhanden. In dat geval kan via een regressieanalyse de invloed van de buurputten op het totale debiet worden geschat door per tijdstap het nominale debiet te bepalen van de winputten die zijn ingeschakeld en dit te vergelijken met het gezamenlijk ruw debiet (mits dit laatste wel is gemeten) [Vonk & van der Schans, 2019].

33.5.5 Verwerken gegevens: temperatuurcorrectie bij duininfiltratie en ASR

De doorlatendheid van de bodem is afhankelijk van de viscositeit en dichtheid van het grondwater:

$$K = \kappa \frac{\rho g}{\mu} \quad \text{vgl. 33-8}$$

waarin: K = hydraulische conductiviteit [m/s]

κ = intrinsieke permeabiliteit [m²]

ρ = dichtheid van de vloeistof [kg/m³]

g = valversnelling [m/s²]

μ = dynamische viscositeit van de vloeistof [Pa.s]

De viscositeit en daarmee de doorlatendheid is bij de vigerende maximumtemperatuur van het grondwater in Nederlandse ASR- en duininfiltratiesystemen (25°C) 70% hoger dan bij de minimumtemperatuur van 5°C. De temperatuur heeft dus een grote invloed op de stijghoogteverliezen rondom winningen waar oppervlaktewater in of nabij putten wordt geïnfiltreerd, zoals open duininfiltratie, nabij (grote) watergangen, diepinfiltratie, ASR-systemen en WKO-systemen (zie voorbeeld in Figuur 33-3) [PBG, 2022].

De specifieke capaciteit en verliezen dienen daarom te worden genormaliseerd op basis van de dynamische viscositeit (μ) bij een gemiddelde temperatuur (T) van 10°C:

$$Q_{Spec} = Q_{Spec}(T) \frac{\mu(T)}{\mu(10)}; d_s = d_s(T) \frac{\mu(10)}{\mu(T)} \quad \text{vgl. 33-9}$$

waarbij:

$$\mu(T) = 2.939 \cdot 10^{-5} \cdot e^{\left(\frac{507.88}{T+273.15-149.3}\right)} \quad \text{vgl. 33-10}$$

(bron: <https://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>). De invloed van de temperatuur op de dichtheid is hierbij verwaarloosd, aangezien die parameter in de praktijk veel minder varieert dan de viscositeit. Praktisch gezien kan de correctiefactor voor temperatuur voor het berekenen van de weerstand worden geschreven als [PBG, 2022]:

$$\frac{\mu(T)}{\mu(10)} = 0,7 + 0,03T \quad \text{vgl. 33-11}$$

33.6 Q-h relaties bij puttenseries en horizontale winmiddelen

Richtlijn 9

Monitor verstopping van puttenseries en horizontale winmiddelen aan de hand van de Q-h relatie. Voer steekproefsgewijs pompproeven uit bij oplevering en voor en na regeneratie.

Bij series ondiepe (freatische) putten en horizontale winmiddelen (drains, HDDW, RCW/radiaalputten) is het vaak lastig om het specifieke debiet te bepalen op basis van het debiet en afpompings. Dit komt omdat de winmiddelen niet over een eigen onderwaterpomp beschikken en vaak continu worden bedreven om verstopping te voorkomen. Het afkoppelen van het vacuümsysteem en inhangen van een tijdelijke pomp is een bewerkelijke operatie met kans op microbiologische verontreiniging [PBG, 2022].

Een minder bewerkelijke methode om verstopping te detecteren, is door het monitoren van Q-h relaties in een dwarsprofiel tussen de infiltratieplas (H_{plas}) en de hevel of pomp (H_{hevel} ; Figuur 33-8) [van der Schans et al., 2022d]. Deze methode vergt continue monitoring van het genormaliseerde stijghoogteverlies over het totale infiltratiesysteem (d_{s_totaal}) als indicatie óf er ergens verstopping optreedt:

$$d_{S_{\text{totaal}}} = \frac{H_{\text{plas}} - H_{\text{hevel}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-12}$$

Daarnaast dient met meer specifieke metingen te worden vastgesteld in welke zone de verstopping optreedt, bijvoorbeeld de bodem van de infiltratieplas ($d_{S_{\text{bodem}}}$), de boorgatwand en formatie direct rondom de put ($\Delta H_{S_{\text{boorgat}}}$), omstorting en winfilter ($d_{S_{\text{intree}}}$) en de filterbuis en transportleiding ($d_{S_{\text{leiding}}}$):

$$d_{S_{\text{bodem}}} = \frac{H_{\text{plas}} - H_{\text{oever}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-13}$$

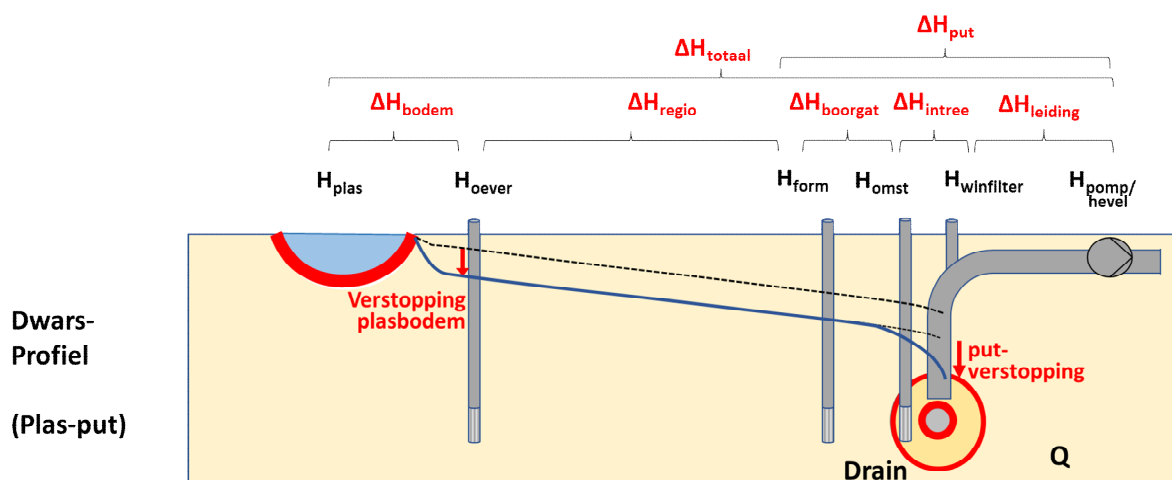
$$d_{S_{\text{boorgat}}} = \frac{H_{\text{form}} - H_{\text{omst}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-14}$$

$$d_{S_{\text{filterspleet}}} = \frac{H_{\text{omst}} - H_{\text{winfilter}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-15}$$

$$d_{S_{\text{leiding}}} = \frac{H_{\text{winfilter}} - H_{\text{hevel}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-16}$$

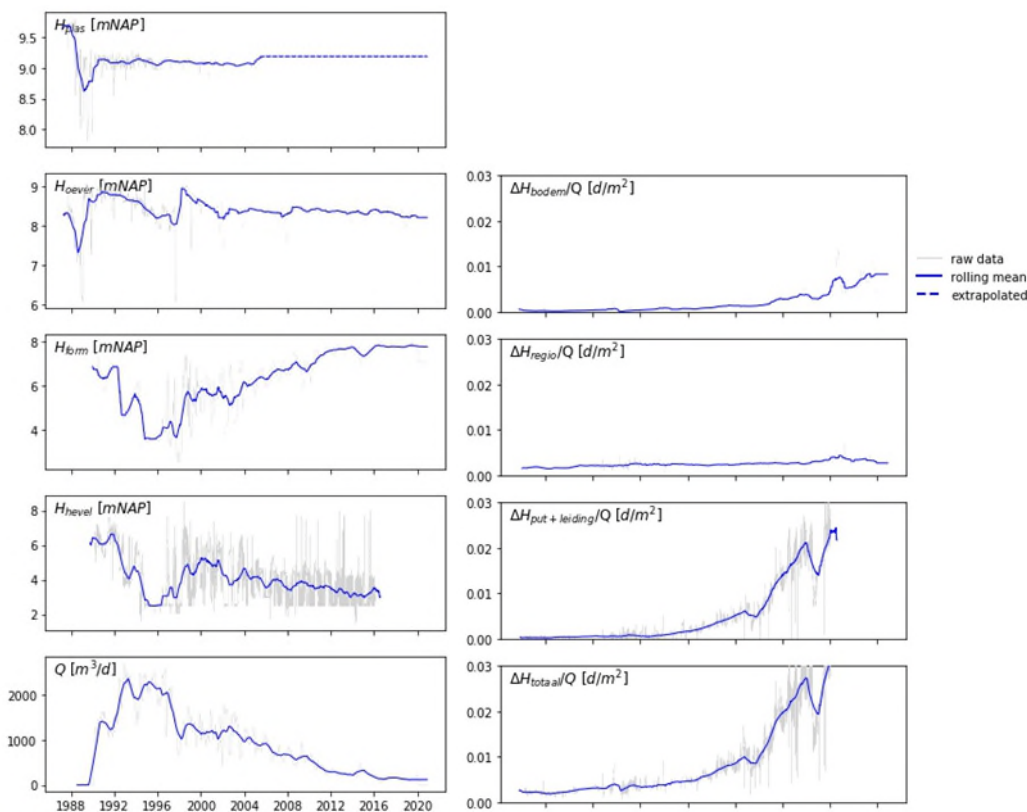
Veranderingen van $d_{S_{\text{totaal}}}$ kunnen ook het gevolg zijn van hydrologische veranderingen. Omdat hydrologische ingrepen in het verleden niet altijd goed zijn gedocumenteerd, wordt aangeraden om ter controle ook te bepalen of er verschillen optreden in het genormaliseerde stijghoogteverschil tussen de oever en naast de put:

$$d_{S_{\text{regio}}} = \frac{H_{\text{oever}} - H_{\text{form}}}{Q} \quad \text{vgl. 33-17}$$



Figuur 33-8 Schematisch weergave van de monitoring bij horizontale winputten en puttenseries [van der Schans et al., 2022d].

In de praktijk kunnen verstoringen optreden bij het meten van genormaliseerde stijghoogteverliezen. Naast de reeds genoemde invloed van temperatuur op viscositeit (die door het systeem heen kan verschillen) is de transmissiviteit van freatische pakketten niet constant in de tijd. Metingen dienen daarom langdurig plaats te vinden, dat wil zeggen gedurende ten minste 1 maand. Eventueel kan ervoor worden gekozen om het niveau in de plas en drain continu te bewaken en de andere punten uitsluitend bij oplevering (als referentie), en in het geval er een toename is in het totale stijghoogteverlies. Pompproeven (bij voorkeur uitgevoerd onder vergelijkbare condities qua temperatuur en initiële grondwaterstand) geven vaak een goed beeld van de mate van verstopping [van der Schans et al., 2022d].



Figuur 33-9 Voorbeeld van hydrologische monitoring van RCW's/radiaalputten van drinkwaterbedrijf Dunea. In dit voorbeeld is er een toename van het genormaliseerde stijghoogteverlies in de bodem van de infiltratieplas en in de put zelf door verstopping [van der Schans et al., 2022d] (Let op: dH is in deze figuur gelijk aan d_s).

33.7 Camera-inspectie

33.7.1 Meetdoelen

Camera-inspecties worden uitgevoerd om beter inzicht te krijgen in de conditie van een winput [PBG, 2022]:

- Herkennen van lekkages van de stijgbuis.
- Vaststellen op welke diepte een put zand levert.
- Detecteren van beschadigingen.
- Helpen om de oorzaak en locatie van putverstopping na te gaan of om de startconditie na oplevering/regeneratie vast te stellen.

Door cameraopnames kan er gedetailleerd worden gekeken waar er sprake is van verstopping in het geval van filterspleetverstopping. Daarnaast geven de beelden inzicht in de aard van de verstopping die zich in de winput bevindt.

33.7.2 Meetmethodes

Tijdens de cameraopnames moet de onderwaterpomp draaien met een debiet van ten minste enkele kubieke meters per uur, anders is er kans op weinig zicht door vlokvorming. Soms kan het zicht verbeteren door harder te pompen of even te wachten na verplaatsen van de camera [PBG, 2022].

33.7.3 Verwerking gegevens

De volgende aspecten moeten worden geregistreerd [PBG, 2022]:

- meta-data (put, datum, tijdstip);

- observaties (met indicatie van de diepte en kijkrichting): waterniveau, boven- en onderkant van filter, aanwezigheid van neerslagen, beschadigingen, verkleuringen, aanwezigheid van zand in de zandvang.

33.8 Flowmeting in een putfilter

Met behulp van een flowmeting kan worden nagegaan waar een winput is verstopt (zie subparagraaf 10.8.4 van praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b]). Wanneer er in de beginsituatie of in een eerder stadium een meting is uitgevoerd, kan die meting inzicht geven ten aanzien van de plek waar een filter is verstopt. Zo kan worden onderzocht of delen van het filter in bepaalde bodemlagen sneller verstoppelen dan andere [PBG, 2022].

Flowmetingen kunnen vooral bij lage snelheden onnauwkeurig zijn en bij putten met grote diameter. Aanpassing van de diameter van de meetpropeller kan dan uitkomst bieden [PBG, 2022].

33.9 Deeltjestellingen

33.9.1 Meetdoelen

Deeltjestellingen kunnen worden uitgevoerd ten behoeve van [PBG, 2022]:

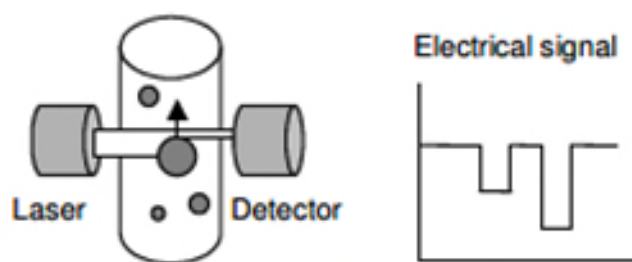
- het bepalen of het ruwwater van een winput (of formatie) geschikt is voor RO of een andere zuiveringstechniek die uitsluitend geschikt is voor grondwater met weinig colloïdale deeltjes;
- onderzoek naar welke winputten verstoppingsgevoelig zijn door hoge concentratie deeltjes;
- onderzoek naar het verband tussen bedrijfsvoering van een winput (debiet, draaiuren, rustperiode) en concentratie deeltjes.

33.9.2 Meetfrequentie en methoden

Er zijn verschillende methoden beschikbaar om inzicht te krijgen in deeltjes in grondwater [de Zwart et al., 2005]:

- Troebelheidssensor
De troebelheid vormt een maat voor de aanwezigheid van materiaal in (grond)water. In de praktijk is de troebelheid van onttrokken grondwater echter te laag om goed te kunnen meten. Troebelheidssensoren kunnen continu in-line meten.
- MFI-apparaat
Bij de MFI-meting wordt water met een constante volumestroom onder druk door een 0,45 µm filter geleid. In het water aanwezig materiaal met een diameter groter dan 0,45 µm blijft op het filter achter, waardoor de druk over het filter toeneemt. Het verloop in de tijd van de toename van de druk geeft een indruk van de hoeveelheid materiaal aanwezig in het water. Deze metingen kunnen uitsluitend handmatig worden uitgevoerd.
- Deeltjestellingen
Deze metingen geven inzicht in de concentratie en grootte van deeltjes bij de lage concentraties die worden aangetroffen in winputten.

De troebelheidsmeting en de MFI zijn indirecte methoden, die bovendien voor deeltjestellingen erg ongevoelig zijn. De deeltjesteller is een meer directe methode en geschikt voor metingen van grondwater. Bij deeltjestellers die werken volgens de lichtblokkademethode wordt het te onderzoeken water met een constante volumestroom door een cuvet geleid (zie Figuur 33-10). Dit cuvet wordt doorschenen met een laserstraal, waarbij aanwezige deeltjes op de tegenoverliggende lichtgevoelige cel schaduwen geven. Met behulp van de bijgeleverde software worden uit deze schaduwen aantallen en grootte van de deeltjes berekend. Het uiteindelijke meetresultaat is de gemiddelde concentratie (aantal deeltjes per ml) per korrelgrootte-interval (diameterinterval) gedurende de ingestelde tijdsduur [de Zwart et al., 2005].

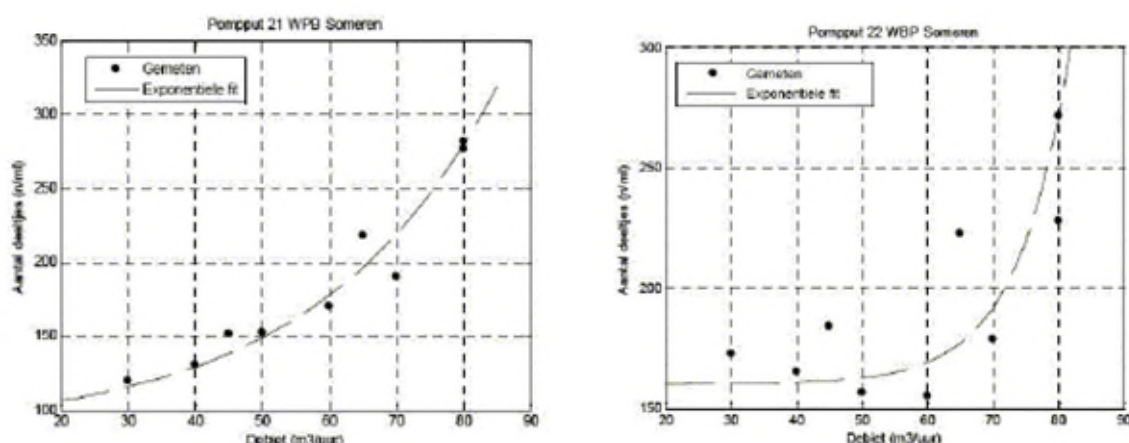


Figuur 33-10 Schematische weergave van het meetprincipe van deeltjestellers [de Zwart et al., 2005].

De reproduceerbaarheid van de metingen is vaak beperkt en bovendien is de meetapparatuur erg gevoelig voor verstoringen. Voor de juiste interpretatie van de meetresultaten moet goed worden bedacht welke verstoringen kunnen plaatsvinden. Wanneer de meting wordt uitgevoerd bij de monsterkraan aan de putkop is het grondwater achtereenvolgens al het watervoerend pakket, de boorgatwand, de omstorting, de putfilterwand, de putfilterbuis, de onderwaterpomp, de stijgleiding, de monsterkraan, de monsterslang en ten slotte het apparaat gepasseerd. Op al deze onderdelen kunnen deeltjes met de omgeving reageren. Dat betekent dus dat de deeltjestelling níet uitsluitend de deeltjes in het grondwater of de deeltjes op de boorgatwand telt. Verstoringen kunnen optreden doordat deeltjes onderweg blijven plakken of losraken, doordat er slijtage optreedt van de pomp, coagulatie en desintegratie van deeltjes door wervelingen bij de onderwaterpomp, vorming van gasbellen (bijvoorbeeld methaan) door ontgassing ten gevolge van verlaging van de druk. Ook het aanraken van de monsterslang of deeltjesteller kan al tot verstoring leiden [de Zwart et al., 2005].

Voor onderzoek naar het relatie tussen debiet en deeltjestellingen worden metingen bij voorkeur uitgevoerd zowel bij op- als aftoeren. Bij het aftoeren van het pompdebiet worden vaak minder deeltjes gemeten dan tijdens optoeren [Leunk et al., 2013].

Door van Beek [2004] is een procedure opgesteld voor het uitvoeren van deeltjestellingen.



Figuur 33-11 Voorbeeld van de relatie tussen het pompdebiet en de concentratie deeltjes. In de rechter grafiek neemt de concentratie deeltjes in dit voorbeeld sterk toe boven de 80 m³/h. Dit is dan ook het kritische debiet van deze put. De afwijkende metingen bij 45 en 65 m³/h zijn gemeten tijdens het aftoeren. Deze punten geven de hysteresis van de put aan (na-ijl effect van hoge debiet) [Balemans en de Zwart, 2006].

33.9.3 Verwerking gegevens

Na afloop van de meting kan de concentratie per ingestelde tijdseenheid (vaak 30 s of 1 min) worden uitgelezen. Voor een juiste interpretatie is het belangrijk om de metingen te koppelen aan de aan- en uitschakelmomenten van de pomp en wijzigingen in het debiet. Ook schakelingen van buurputten kunnen piekjes veroorzaken in deeltjestellingen en dienen te worden geregistreerd. Bij de interpretatie van deeltjestellingen is informatie van de

put van belang. Reeds verstopte putten geven een ander beeld dan niet-verstopte putten doordat een verstopte boorgatwand meer deeltjes kan afvangen (kleinere poriehalzen).

33.10 Geofysische monitoring en zoutwachters

33.10.1 Meetdoelen

In puttenvelden die door verzilting worden bedreigd, zijn vaak zoutwachters geplaatst om te monitoren of het zoet/zout-grensvlak verschuift.

33.10.2 Meetmethoden

Zoutwachterkabels (ook wel geohmkabels of 'GEM-cables' genoemd) zijn waterdichte kabels met om de paar meter twee elektrodes op enkele decimeters afstand van elkaar (Figuur 33-12). Deze kabels worden aan een stijgbuis van (meestal) het diepste peilfilter in een waarnemingsput bevestigd. Met deze kabels kan de schijnbare elektrische weerstand op verschillende dieptes worden gemeten. Hieruit kan informatie worden afgeleid over hoe zoet, brak of zout het grondwater op bepaalde dieptes is. Zoutwachterkabels zijn veel gebruikt omdat het uitlezen zeer snel en dus goedkoop kan en op basis van alleen al de ruwe metingen snel een indruk kan worden verkregen van de actuele ligging en beweging van zoet-brak-zoute overgangszones [Nienhuis, 2022].



Figuur 33-12 Nieuwe zoutwachterkabel op haspel (foto Waternet).

Om na te gaan of er sprake is van upconing van het zoet/zout-grensvlak wordt er tegenwoordig vooral gebruik gemaakt van het op chloride analyseren van uit waarnemingsfilters genomen steekmonsters. Daarnaast kunnen EM-metingen worden ingezet om upconing op te sporen [Makkink et al., 2011]. Ook de winput zelf kan goed worden gebruikt om upconing vast te stellen, door bijvoorbeeld het diepe waarnemingsfilter te bemonsteren of de geleidbaarheid van het onttrokken water te registreren [PBG, 2022].

Voor geschikte monitoringssystemen en eisen waaraan een put moet voldoen voor het verrichten van EM-metingen wordt verder verwezen naar hoofdstuk 10 van praktijkcode PCD 13-2 [Van der Schans en Meerkerk, 2019b].

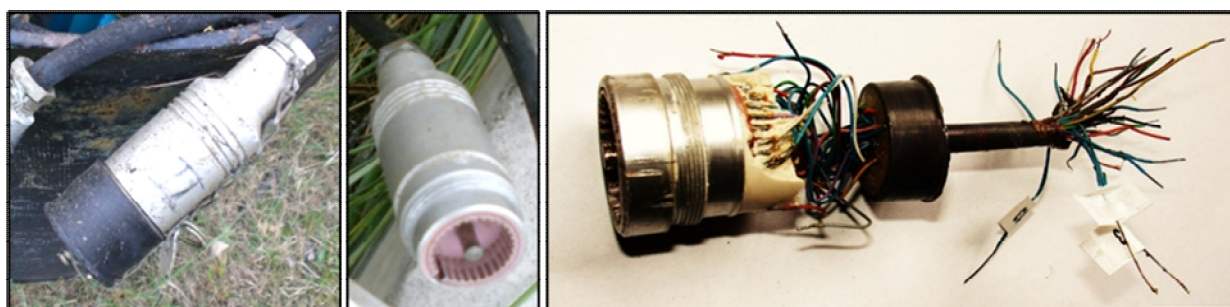
In dit hoofdstuk gaat het vooral om de klassieke zoutwachtermetingen in één waarnemingsput. Tegenwoordig wordt ook tussen twee of meer bij elkaar gelegen putten gemeten. Voor wat betreft onderhoud maakt dat verder niet uit, wel qua uitlezing en interpretatie [Nienhuis, 2022].

33.10.3 Onderhoud

Zoutwachterkabels blijken vele decennia mee te kunnen, bijvoorbeeld in de AWD dateren de oudste nog in gebruik zijnde kabels uit de late jaren '60 van de 20^e eeuw. Dat de elektrodes of de kabel zelf in het ongereede raken, komt zeer weinig voor. Soms is dat het gevolg van blikseminslag, maar veel vaker het gevolg van onvoorzichtig

onderhoud aan waarnemingsputten. De overgrote meerderheid van problemen is echter gerelateerd aan corrosie in de connectors waarmee de kabels worden uitgelezen. Die corrosie komt meestal doordat de connectors na verloop van tijd gaan lekken, zodat binnendringend vocht allerlei galvanische processen veroorzaakt. Tijdens bemonstering van zout en brak grondwater lekt er vaak wat in de put, zodat onderin de schutkoker relatief corrosief brak of zout water accumuleert. Belangrijk is dus dat de connectors nooit onderin de schutkoker in het grondwater kunnen komen te liggen. Het beste is om die hoog boven de bodem van de schutkoker op te hangen. Dag-nacht variatie van de temperatuur in de schutkokers leidt onvermijdelijk tot enige condensatie van vocht dat (net als regenwater) door het natuurlijke CO_2/HCO_3 -evenwicht in lucht een pH van circa 5,5 zal hebben dat wil zeggen licht zuur en dus licht agressief is. Al met al is het belang van gedegen waterdichte connectors dus evident [Nienhuis, 2022].

De voormalige Dienst Grondwater Verkenningen (TNO-DGV) leverde destijds zoutwachterkabels met een aangegoten 26-polige ronde connector, zie Figuur 33-13. Daarmee was ook het maximaal aantal elektrodes in een kabel vastgelegd. Deze connectors bleken op termijn kwetsbaar voor interne corrosie en extern voor slijtage aan de contacten. Eventueel gebruikte soldeeraansluitingen zijn gevoelig voor herkristallisatie door temperatuurwisselingen en vallen na verloop van tijd uit. In het begin van de 21^e eeuw heeft de voormalige firma Erler Electronics bij vrijwel alle Nederlandse drinkwaterbedrijven de ronde connectors vervangen door een type met een solidere blokvormige connector ('EDAC 516', Figuur 33-14). Door de modulaire opbouw van deze connectors en de toegepaste knelverbindingen is onderhoud ervan en vervanging van de interne connectorunit veel makkelijker dan bij het oude type. Deze connector biedt plaats aan maximaal 34 contacten en nieuwe zoutwachterkabels zouden in principe dan ook evenzoveel elektrodes (17 elektrodenparen) kunnen hebben [Nienhuis, 2022].

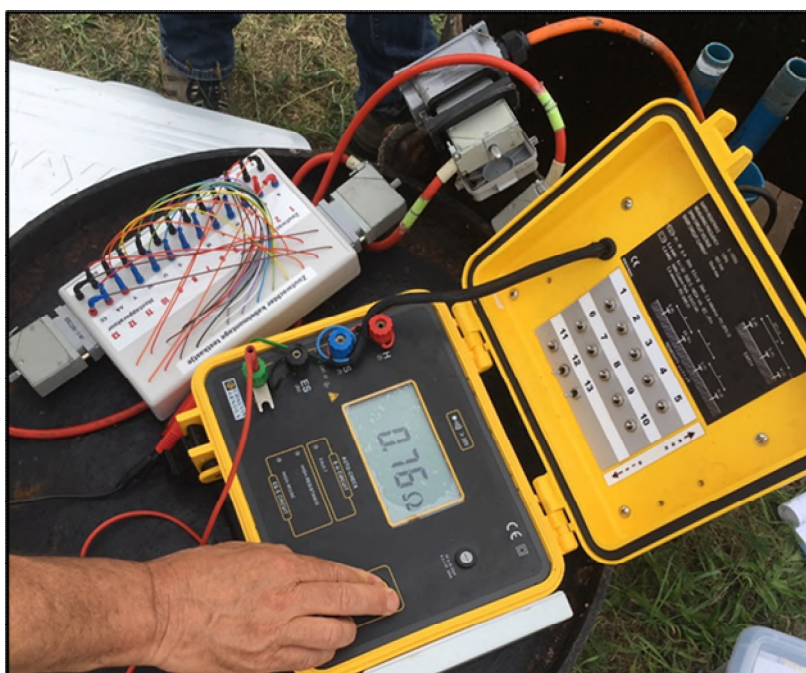


Figuur 33-13 Oude type connector (naar: Erler Electronics).



Figuur 33-14 Nieuwer type EDAC 516connector (foto's Waternet).

Erler Electronics kon een 'break-out box' leveren (zie linksboven in Figuur 33-15) waarmee snel foutieve aansluitingen kunnen worden opgespoord [Waternet, 2022].



Figuur 33-15 Uitleeskastje en break-out box (bron: Waternet).

In Figuur 33-16 is een overzicht weergegeven van veel gebruikte kleurcoderingen voor de aansluitdraden van de elektrodes. Bij onderhoud kunnen de volgende empirische waarnemingen behulpzaam zijn: (1) de ohmse weerstand van de aansluitdraadjes in de kabels bedraagt meestal circa 0,1 ohm per meter en (2) controleren of een elektrode inclusief aansluitdraad nog goed is, kan simpel door met een standaard multimeter de weerstand tussen het uiteinde van het betreffende aansluitdraadje en een in de grond geprikte meetsonde te meten [Waternet, 2022].

meetpunt	connector nr.	kabel zwart	kabel 1/oranje	kabel 2/oranje	kabel/geel			
1	A B	BLAUW BRUIN	BLAUW BLAUW/WIT	ZWART ZWART BUTENWIKKEL	ZWART ZWART	≡ W ≡ W	≡ W ≡ W	
2	C D	BLAUW GEEL	BRUIN BRUIN	BRUIN BUTENWIKKEL BRUIN	BRUIN BRUIN	B N B N	B N B N	
3	E F	BLAUW GROEN	GEEL GEEL/WIT	ORANJE BUTENWIKKEL ORANJE	ORANJE ORANJE	OR OR	X R D G N	
4	H I	BLAUW GRIJS	GROEN GROEN/WIT	ROOD BUTENWIKKEL ROOD	ROOD ROOD	R D R D	X O R R D	
5	K L	BLAUW ORANJE	GRIJS GRIJS/WIT	GROEN BUTENWIKKEL GROEN	BLAUW BLAUW	B L B L	B L B L	
6	M N	BLAUW ROOD	ORANJE ORANJE/WIT	GEEL BUTENWIKKEL GEEL	GROEN GROEN	G N G N	W T G R S	
7	P R	BLAUW ROSE	ROOD ROOD/WITR	BLAUW BUTENWIKKEL BLAUW	GEEL GEEL	G L G L	G L G L	
8	S T	BLAUW PAARS	ROSE ROSE/WIT	WIT BUTENWIKKEL WIT	WIT WIT	W T W T	P S P S	
9	U V	BLAUW WIT	PAARS PAARS/WIT	ZWART BUTENWIKKEL ZWART	PAARS PAARS	Z W W T	G S O R	
10	W X	BLAUW ZWART	ZWART ZWART/WIT	BRUIN BUTENWIKKEL BRUIN	ZWART BRUIN	B N P S	≡ W B N	
11	Y Z	BRUIN GEEL	BLAUW/GEEL BLAUW/SONNENBRUIN	ORANJE BUTENWIKKEL ORANJE	PAARS ROOD	P S P S	P S R D	
12	AA BB	BRUIN GROEN	BLAUW/GROEN BLAUW/GRIJS	ROOD BUTENWIKKEL BLAUW	BLAUW GROEN	R D B L	B L G N	
13	CC DD	BRUIN GRIJS	BLAUW/LICHTBRUIN BLAUW/ROOD	GROEN BUTENWIKKEL GEEL	GROEN GROEN	G L G L	G L W T	
VITERS 4						VITERS 14		
WATER- NET 24H 1302						WATER- NET LAB.		

• AFWIJKEND

Figuur 33-16 Kabelkleuren lijst (bron: PWN).

33.10.4 Verwerking gegevens

33.10.4.1 Uitlezen

Het bemeten van zoutwachters is gebaseerd op standaard geo-elektrische methodes en lijkt enigszins op de Short/Long Normal (SN/LN) meetopstelling van geofysische boorgatmetingen. Er wordt dus niet direct een ohmse weerstand gemeten maar een potentiaalverschil in een met twee 'stroom' (voedings)elektrodes opgewekt elektrisch veld. Dat potentiaalverschil wordt in het meetkastje omgewerkt tot een schijnbare weerstand. De meting wordt uitgevoerd met wisselstroom (circa 140 Hz) om systematische fouten vanwege natuurlijke potentiaalverschillen te elimineren, met een relatief lage spanning (enkele tientallen volt) [Nienhuis, 2022].

Voor het uitlezen van zoutwachterkabels wordt meestal gebruik gemaakt van een standaard geofysisch meetkastje (Figuur 33-15) dat vier aansluitingen heeft (twee voedings- en twee meetelektrodes). Met behulp van voorzetschakelkastjes bovenop het deksel van het meetkastje wordt voor elk te bemeten elektrodenpaar een bepaalde opstelling van stroom- en meetelektrodes doorgemeten. In Figuur 33-17 is het meetschema van het door de firma Erler Electronics breed geleverde meetkastje met 13 schakelaars weergegeven [Nienhuis, 2022].

ID van pinnetje	Elektrode	Te meten elektrodenpaar												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DD	13B													z
CC	13A													g
BB	12B												z	
AA	12A												g	
Z	11B											z		
Y	11A											g		
X	10B										z			
W	10A										g			
V	9B									z				
U	9A									g				
T	8B								z					
S	8A								g					
R	7B	b	b	b	b	b			z					
P	7A								g					
N	6B							z						
M	6A							g						
L	5B					z				b	b	b	b	b
K	5A		r			g								
I	4B				z				b					
H	4A		r		g									
F	3B				z			b						
E	3A				g									
D	2B			z										
C	2			g										
B	1B	z												
A	1A	g	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

g	Voedingselektrode 1 (groen)
z	Meetelektrode 1 (zwart)
b	Meetelektrode 2 (blauw)
r	Voedingselektrode 2 (rood)

Figuur 33-17 Schakelschema meetkastje.

Het uitlezen van zoutwachterkabels heeft niet veel om het lijf en gebeurt meestal door het aansluiten van de connector van de zoutwachter op het (voorzet)meetkastje, al dan niet via een verloopkabel. Vervolgens worden alle schakelaars op 'uit' gezet en wordt gestart met meetopstelling '1' door schakelaar '1' aan te zetten. Na een aantal seconden is de meting stabiel en kan de schijnbare weerstand worden afgelezen. Elke volgende meetopstelling kan worden doorgemeten door de betreffende volgende schakelaar op 'aan' te zetten. De firma Erler Electronics maakte de voorzetkastjes zó dat schakelaar nummer 'X' onafhankelijk werkte van de stand van alle voorgaande schakelaars 1 (X – 1) [Nienhuis, 2022].



Figuur 33-18 Het uitlezen van een zoutwachter (foto WML).

33.10.4.2 Ijken en testen

De firma Erler Electronics leverde ook een ijkcastje mee. Dit kan rechttoe-rechtaan op het meetkastje worden aangesloten en dan dient te worden gecontroleerd of met de selectieschakelaars op elektrodenpaar nummer 7 de gemeten weerstand een bepaalde waarde heeft. Aan het meetkastje kan echter niets worden ingesteld, dus deze stap is meer een controle van goede werking van het meetkastje dan een echte ijking [Nienhuis, 2022].

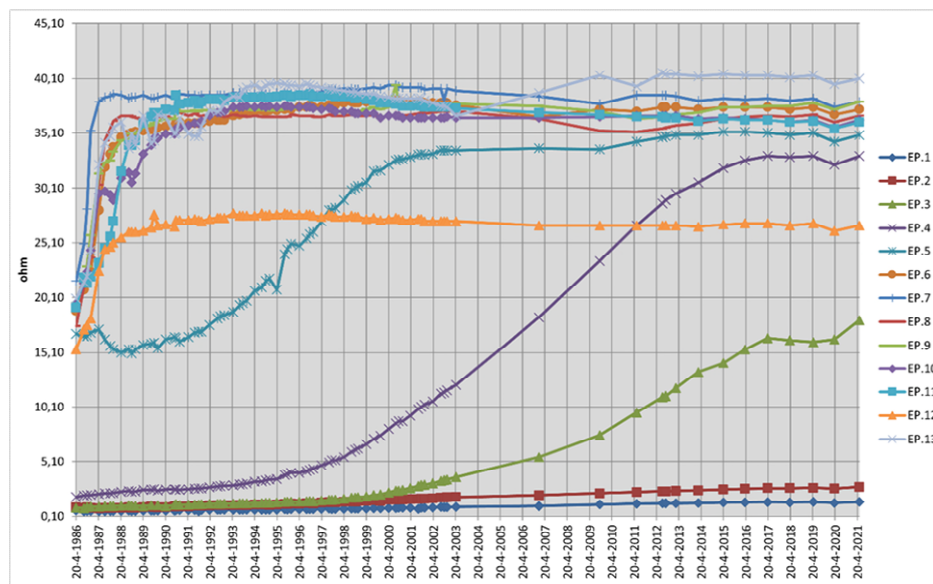
Waternet heeft de gewoonte om nieuwe geohmkabels voordat die in een waarnemingsput worden geïnstalleerd, in een van de winkanalen of geulen uit te rollen (vlak onder de oever), daarbij alle afstanden tussen elektroden en elektrodenparen na te meten en vast te leggen (is na het inbouwen in een put niet meer mogelijk), en dan de schijnbare weerstand van alle elektrodenparen te testen. Deze blijkt empirisch voor zo'n kanaal met zoet water met een EGV van circa 800 mS/cm en een bijna half-oneindig medium (want de lucht boven het wateroppervlak doet niet mee) rond de 14 Ω te liggen [Nienhuis, 2022].

Drinkwaterbedrijf Vitens heeft geconstateerd dat bij oudere zoutwachterkabels het bovengrondse deel van het buitenste isolatieomhulsel vaak vervanging nodig heeft vanwege veroudering en scheuring. In afwezigheid van geschikte ijkmethoden heeft het bedrijf bij wijze van test enkele jaren geleden alle beschikbare meetkasten (dat wil zeggen de genoemde en beschreven meetkast, en nog veel oudere meetkasten) bij elkaar gehaald en is op één zoutwachter met alle kasten gaan meten. De meetwaarden zijn vervolgens met elkaar vergeleken en lagen verrassend dicht bij elkaar. Een enkele meetkast week te veel af en is weggegooid (persoonlijk commentaar Vitens).

33.10.4.3 Interpretatie en conversie van metingen

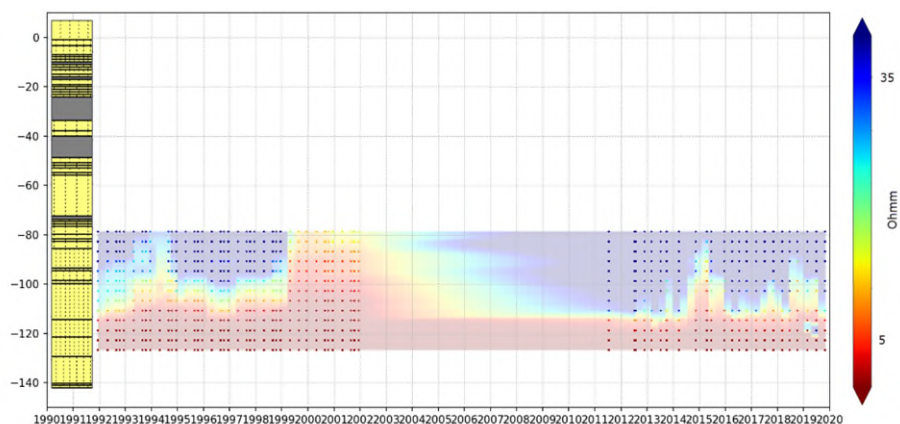
Traditioneel werden met zoutwachters vooral trends gemeten: als de schijnbare weerstand afnam, kon ervan worden uitgegaan dat het grondwater rondom het betreffende elektrodenpaar minder zoet werd en vice versa. Als voorbeeld is in Figuur 33-19 het verloop van de schijnbare weerstand in de tijd weergegeven voor de waarnemingsput '24H0566'. In de figuur is duidelijk verzoeting van diepere filters te zien, veroorzaakt door infiltratie van voorgezuiverd Rijnwater en het resulterende herstel van de tot de jaren '60 overgeëxploiteerde zoetwaterbel. Bijvoorbeeld het grondwater ter diepte van elektrodenpaar 4 is rond 1990 (enkele jaren na aanleg van de put in 1986) zout, maar is rond 2020 geheel verzoet [Nienhuis, 2022].

In Figuur 33-19 is overigens fraai geïllustreerd dat in spoelboringen waarin de boorgatwand door inspoeling van lemige deeltjes in het open boorgat vaak afgepleisterd raakt, het gemakkelijk enkele jaren kan duren voordat het grondwater in het afgewerkte boorgat 'in evenwicht komt' met het grondwater buiten het boorgat [Nienhuis, 2022].



Figuur 33-19 Voorbeeld van het verloop van schijnbare weerstanden veroorzaakt door verzoeting. Elektrodenparen zijn hier genummerd van diep naar ondiep (bron Waternet).

Een andere visualisatie van gemeten weerstanden in een pompput is weergegeven in Figuur 33-20. Dit zijn ruwe metingen die door onder andere kleilagen zijn beïnvloed. Toch laat het duidelijk veranderingen in de tijd zien [Nienhuis, 2022].



Figuur 33-20 Verandering van schijnbare weerstanden bij een zoutwachter in pompput (bron PWN).

Door Waternet is gezocht naar een manier om de gemeten schijnbare weerstanden te vertalen naar concentraties chloride in het grondwater, enerzijds in het kader van vergunningsrapportages over de ligging en beweging van het zoet/zout-grensvlak, anderzijds opdat de daaruit afgeleide dichtheden konden worden gebruikt in grondwatermodellen als Seawat en/of Modflow met SWI-module. Dit onderzoek leverde een relatie op met als grootste onzekere variabelen [Nienhuis, 2022]:

- De geometrie van de elektrodenopstelling in relatie tot de ligging van scheidende (vaak kleihoudende dus relatief goed geleidende) lagen in het dieptetraject van de vier in een meting betrokken elektrodes. Deze kleilagen kunnen de vorm van het opgewekte potentiaalveld verstoren. Helaas is de resulterende onzekerheid niet of nauwelijks te kwantificeren.
- De formatiefactor (wet van Archie).

Waar elektrodenparen op min of meer gelijke diepte zijn geïnstalleerd als peilfilters kan deze relatie worden geverifieerd via vergelijken van de zoutwachtermetingen met chloride concentraties van het in de betreffende peilfilters bemonsterde grondwater. Voor elektrodenparen in dieptetrajecten tussen opeenvolgende peilfilters wordt dan vaak uitgegaan van een geïnterpoleerde relatie tussen schijnbare weerstand en concentratie chloride [Nienhuis, 2022].

Vanaf circa 2015 is waterbedrijf Waternet in nieuwe diepe waarnemingsputten structureel minifilters gaan plaatsen op dezelfde diepte als de elektrodenparen, zodat de zoutwachtermetingen direct konden worden gekalibreerd aan concentraties chloride. Daaruit bleek dat de uit die kalibratie afgeleide formatiefactor soms een veel grotere variabiliteit vertoonde (2 – 11) dan op theoretische basis zou worden verwacht (circa 3 – 5). De oorzaak is waarschijnlijk dat door die werkwijze in de formatiefactor ook allerlei andere onzekerheden sluipen: bijvoorbeeld de hoedanigheid van de aanvulling en/of omstorting en/of zelfs instorting van het boorgat rondom het bemeten elektrodenpaar; of de elektrodes centraal in, of tegen de wand van het boorgat staan; nabije aanwezigheid van metalen constructies in het boorgat (bijvoorbeeld peilbuis-afstandhouders); kleilagen vlak boven of onder de meetelektroden (zie boven). Daarnaast bleek uit geofysische EM39- en gammalogs in waarnemingsputten dat in en rondom de zoet-brak-zoute overgangszone er op een schaal van enkele decimeters tot een paar meter vaak lokale, kleinere zout/brak- en brak/zoet-inversies kunnen optreden boven dunne, tijdens het maken van boorbeschrijvingen niet of nauwelijks gedetecteerde kleilaagjes [Nienhuis, 2022].

De uiteindelijke conclusie is dat deugdelijke ijk-chloridebepalingen op dezelfde diepte als een bemeten elektrodenpaar onmisbaar zijn voor het afleiden van een betrouwbare relatie tussen gemeten schijnbare weerstand en concentratie chloride, en dat interpretatie van zoutwachtermetingen minimaal op een schaal van meters dient plaats te vinden [Nienhuis, 2022].

33.11 Verdere details staan in [Kamps, 2008] en [Nienhuis et al., 2010]

Ruwwaterkwaliteitsbeoordeling

De samenstelling van het ruwwater moet binnen de toegestane grenzen van de zuiveringsinstallatie vallen. Door de kwaliteit voortdurend in de gaten te houden, worden veranderingen en trends tijdig gesignaleerd. In § 32.7 wordt ingegaan op de oorzaken van de verandering van de ruwwaterkwaliteit.

Om de grondwaterkwaliteit te kunnen bepalen, worden:

- grondwatermonsters geanalyseerd;
- verziltingmetingen uitgevoerd (zie § 33.10);
- temperatuurmetingen uitgevoerd.

33.11.1 Periodieke waterkwaliteitsbeoordeling (microbiologisch)

De microbiologische verontreiniging van het ruwwater moet vallen binnen de toegestane grenzen zoals die zijn vastgesteld in de AMVD [ILT, 2019], rekening houdend met de verwijdering door de zuivering (zie ook § 32.7). In § 6.2 van praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016] wordt weergegeven welke microbiologische parameters van belang zijn om periodiek te meten voor de gewenste ruwwaterkwaliteit.

33.11.2 Periodieke waterkwaliteitsbeoordeling (chemisch)

De chemische samenstelling van het ruwwater moet binnen de toegestane grenzen van de zuiveringsinstallatie vallen, zodat het water na zuivering voldoet aan het Drinkwaterbesluit [Staatsblad, 2011] (zie ook § 32.7). In § 6.3 van praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016] wordt weergegeven welke chemische parameters van belang zijn om periodiek te meten voor de gewenste ruwwaterkwaliteit.

33.11.3 Waterkwaliteitsbeoordeling na werkzaamheden

Zoals beschreven in § 32.7 kunnen er tijdens werkzaamheden aan de winput micro-organismen en overige verontreinigingen in de put of terreinleiding terecht komen. Na werkzaamheden aan winmiddelen (aanleg, vervanging, reparatie, reinigen) moet waterkwaliteitsbeoordeling worden uitgevoerd. Dit is beschreven in praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

33.11.4 Meetmethoden: Bemonstering van winfilters

Zie bijlage II van PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016].

33.11.5 Meetmethoden: Bemonstering van waarnemingsfilters en -putten

Het bemonsteren van waarnemingsputten en waarnemingsfilters in winputten omvat de volgende stappen [Makkink et al., 2011]:

- 1 Een peilmeting
Deze moet voorafgaand aan het schoonpompen worden uitgevoerd.
- 2 Schoonpompen van de put
Tijdens het schoonpompen worden de concentratie zuurstof en het elektrisch geleidingsvermogen gemeten in een doorstroomcel.
- 3 De eigenlijke monsterneming
Het bemonsteren kan worden gestart op het moment dat de concentratie zuurstof en het elektrisch geleidingsvermogen stabiel zijn geworden. De stabiele waarden moeten worden gerapporteerd.
- 4 Conservering en transport van het monster
De exacte wijze van monsterneming (verpakking, wel/ geen filtratie, wel/ geen headspace overlaten in flesje) is afhankelijk van het type parameter waarop wordt bemonsterd en van toepassing zijnde normen. Voor veel parameters geldt dat het monster donker en gekoeld (5°C) moet worden geconserveerd. De termijn waarbinnen monsters moeten worden geanalyseerd is afhankelijk van de parameter. Hierbij moeten de protocollen van het laboratorium worden gevolgd.
- 5 De analyses
Monstermateriaal mag uitsluitend worden geanalyseerd door laboratoria die zijn geaccrediteerd voor de te onderzoeken parameter(s).
- 6 De validatie en bevestiging van de resultaten.

33.11.5.1 Standaarden

De monsternemingsprocedure voor bodemverontreinigingen is beschreven in de norm NEN 5744 'Monsterneming grondwater'. Voor monitoring van de landelijke en provinciale grondwaterkwaliteit geldt de 'technische afspraak' NTA 8017 'Monsterneming van grondwater ten behoeve van de monitoring van grondwaterkwaliteit'. De drinkwaterlaboratoria hanteren daarnaast vaak (op (inter)nationale normen gebaseerde) eigen protocollen. Hierin is bijvoorbeeld extra aandacht voor het microbiologisch schoonhouden van apparatuur voor monsterneming (peillint, slangen, pomp) om microbiologische verontreiniging van de put en het monster te voorkomen. Daarnaast wordt geadviseerd om het peillint niet los maar in een emmer te dragen, zodat deze schoon blijft (zie praktijkcode PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]).

33.11.5.2 Schoonpompedebit en inhangdiepte pomp

Op hoofdlijnen zijn twee verschillende bemonsteringsmethoden te onderscheiden: 'purging' en 'low-flow'. Bij 'purging' wordt een bemonsteringspomp bovenin de waarnemingsput geplaatst en vervolgens met een verhoudingsgewijs hoog debiet van orde grootte 10 l/min voorgespoeld. Er wordt zo lang doorgespoeld tot de hele stijgbuis tenminste drie keer is ververs (schoongepompt) of langer indien nodig om het EGV, de pH, de zuurstof concentratie en de troebelheid te stabiliseren. Voordeel van deze methode is dat de stijgbuizen relatief snel worden ververs [EPA, 2013].

Bij de 'low-flow' methode wordt de pomp of aanzuigslang midden in het waarnemingsfilter gehangen en met een laag debiet voorgespoeld en onttrokken met 100 tot 500 ml/min. Deze aanpak wordt gehanteerd om de mobilisatie van deeltjes uit de formatie rond het waarnemingsfilter te beperken, aangezien deze van invloed zijn op aan deeltjes-gebonden verontreinigingen zoals PAK's. Er wordt bemonsterd zodra de EGV, de pH, de zuurstof concentratie en de troebelheid stabiel zijn, wat in de praktijk al na verversing van één à twee filterdeelvolumes het geval is. Deze methode wordt in Nederland toegepast bij bemonstering van grondwaterverontreinigingen en is vastgelegd in de nationale norm NEN 5744.

De Nederlandse drinkwaterbedrijven en –laboratoria hanteren over het algemeen de 'purging-methode', met name bij diepere waarnemingsfilters (> 20 m). Wel wordt (soms voorafgaand aan de monsterneming) vaak het debiet verlaagd om de troebelheid van het water verder te reduceren en een te hoge voordruk op filters te voorkomen [PBG, 2022].

33.11.5.3 Bemonsteringspompen

Het doel van de pomp is om het grondwater uit de waarnemingsput naar het oppervlak te transporteren met een debiet dat past bij de bemonsteringsmethode. Er zijn verschillende typen handpompen en gemotoriseerde pompen, afhankelijk van de diepte en de hoeveelheid water die moet worden verpompt (Tabel 33-1). Bij 1-duims buizen wordt meestal gebruik gemaakt van slangenpompen en 2-duims buizen onderwaterpompen. Als een put een lang filter heeft (of bijvoorbeeld vanaf maaiveld helemaal is geperforeerd), kan het interessant zijn om op verschillende diepten een monster te nemen met een kogelklepmonsternemer [Makkink et al., 2011]. Dit apparaat is ook geschikt voor monsterneming in 1-duims peilbuizen met een te kleine diameter voor een slangenpomp en een te grote opvoerhoogte voor een slangenpomp [PBG, 2022].

Als er gebruik wordt gemaakt van een pomp en/of aggregaat met benzine- of dieselmotor, dan moet ervoor worden gezorgd dat deze op voldoende afstand en benedenwinds van de peilbuis staat. Met name om verontreiniging van het monstermateriaal met organische microverontreinigingen te voorkomen.

Tabel 33-1 Voorbeelden van bemonsteringspompen voor waarnemingsputten [Makkink et al., 2011] (foto's van www.eijkelkamp.com en www.ontwikkelcentrum.nl).

	Slangenpomp De ronddraaiende aandrukrollen zorgen voor vacuüm in de slang, waardoor water wordt aangezogen. Er zijn ook handpompen te verkrijgen met dit principe. Geschikt voor grondwaterstanden < 7 m beneden maaiveld
	Dompelpomp (met toebehoren) Een klein centrifugaal onderwaterpompje. Opvoerhoogte tot 10 m en in serie schakelbaar.

	Onderwaterpomp Vaak frequentieregeld en daardoor geschikt voor range van enkele honderden ml tot tientallen l per minuut. Opvoerhoogte van tientallen meters. Past alleen in 2-duims peilbuizen.
	Centrifugaalpomp met verbrandingsmotor Hoog debiet en opvoerhoogte tot circa 7 m.
	Kogelkleppomp Onderin een slang zit een kogel;. Door de slang op en neer te bewegen, wordt water naar boven gestuwd.
	Kogelklepponsternemer Het principe is hetzelfde als dat van de kogelkleppomp, maar hier is de bovenkant open, zodat het water erdoor kan stromen. Vanaf de gewenste diepte wordt de kogelklepponsternemer omhoog gehaald en deze is dan gevuld met het water van die diepte.

33.11.6 Meetmethoden: temperatuur

Temperatuurmetingen worden gebruikt om informatie te krijgen over de herkomst van (grond)water. Bijvoorbeeld bij een oevergrondwaterwinning of een winning in de buurt van breuken. Ondiep treden vaak temperatuurschommeling op die meebewegen met de seizoenen. Vaak zit hier enige vertraging in. Als langjarig wordt gemeten, kunnen ook andere patronen zichtbaar worden. Zo blijkt dat de temperatuur onder bebouwd gebied hoger is dan in landelijk gebied [Makkink et al., 2011].

De temperatuur kan worden gemeten met drukopnemers. Let op: als de drukopnemer in een waarnemingsfilter staat, meet deze de temperatuur ter hoogte van de drukopnemer en vaak is dit bovenin de stijgbuis. De temperatuur van drukopnemers is dus niet altijd representatief voor het grondwater ter plaatse van het waarnemingsfilter [PBG, 2022].

Het is ook mogelijk om een temperatuurprofiel in de diepte te maken. Het water in een diepe peilbuis neemt de temperatuur aan van de omgeving. Door langzaam een temperatuursonde te laten zakken, wordt een profiel

verkregen. Beneden een diepte van circa 20 m dempt de invloed vanaf het maaiveld uit en wordt een langzame toename van de temperatuur met de diepte waargenomen. Is de temperatuur ineens hoger of lager dan verwacht, dan kan dit een indicatie zijn voor bijvoorbeeld kwel [Bense et al., 2017].

Daarnaast worden temperatuur gebruikt om de effecten van warmte-koude opslag in de bodem te monitoren.

33.11.7 Verwerking gegevens

Het is belangrijk om waterkwaliteitsgegevens te controleren voor verder gebruik en opslag. Mogelijke controles zijn beschreven in [Stuyfzand, 2017]:

- juiste vertaling naar SI-eenheden;
- uitbijters
- elektronenbalans;
- veld- versus labmetingen (EGV);
- berekende EGV (op basis van ionen en anionsamenstelling) versus gemeten EGV;
- Combinatie van parameters uit verschillend redoxmilieu (bijvoorbeeld: in waarnemingsputten wordt geen O₂ en Fe verwacht, maar in winputten wel als deze uit een pakket met zowel aeroob en anaeroob grondwater onttrekt).

Deze controles kunnen ook geautomatiseerd worden uitgevoerd, bijvoorbeeld met de Python-versie van HGC (HydroGeochemical) [KWR, 2020].

Bij de interpretatie van metingen wordt vaak gekeken naar trends in parameters. Regelmatig worden hierbij ook afgeleide parameters weergegeven die de status van het grondwater karakteriseren, zoals de Stuyfzand Classificatie (classificatie van watertype), Base Exchange (indicator verzilting/verzoeting) en mineralenevenwicht (zoals verzadigingsgraad calciet) [Stuyfzand, 2017].

Bij het digitaal opslaan van waterkwaliteitsgegevens geldt een aantal specifieke aandachtspunten:

- maak gebruik van internationale standaarden zoals het CAS-nummer, met een unieke codering voor iedere chemische parameter;
- registreer welke methode is gebruikt;
- registreer omgevingszaken en bemonsteringscondities (zoals het feit of monsters wel/niet zijn gefiltreerd en de naam van de monsternemer);
- een deel van de waterkwaliteitsgegevens is ook openbaar te raadplegen via DINO-loket (BRO).

34 Optimalisatie bedrijfsvoering

34.1 Wat zijn schakelschema's

Richtlijn 10

Kies voor geleidelijke debietregulatie op puttenvelden met chemische putverstopping en een putschakelschema op puttenvelden met mechanische verstopping.

Er zijn verschillende manieren om te zorgen dat een puttenveld de gewenste hoeveelheid ruwwater levert. Een eerste mogelijkheid is om putten continu in bedrijf te houden, maar de pompen wel bij en af te toeren al naar gelang de ruwwatervraag. Deze methode van 'geleidelijke debietregulering' wordt toegepast op locaties met chemische putverstopping, aangezien het hanteren van een zo continu mogelijk debiet (en het voorkomen van uit- en inschakelen) helpt bij het voorkomen van dergelijke verstopping [Makkink et al., 2011]. Met name vacuümpompen en winningen met debietregulering via sluizen en afsluiters (zoals op drinkwaterproductielocatie Leiduin van waterbedrijf Waternet) lenen zich goed voor een dergelijke aansturing [PBG, 2022].

Een tweede mogelijkheid is om het aantal putten dat in bedrijf is aan te passen aan de ruwwatervraag. Bij deze vorm van putschakeling worden putten dus regelmatig in- en uitgeschakeld, wat helpt bij het voorkomen van mechanische verstopping (zie 32.2.2). Het is dus van belang om eerst te weten welk type verstopping optreedt op een puttenveld (Makkink et al 2011).

Op puttenvelden waar geen verstopping is geconstateerd, kan (als het een bestaand puttenveld is) meestal worden doorgegaan met de huidige wijze van onttrekken. Bij een nieuw puttenveld of verandering van de aansturing van een bestaand puttenveld kan op basis van de waterkwaliteit een inschatting worden gemaakt van welk schakelregime de verstopping zal minimaliseren: op puttenvelden waar putten oxisch en anoxisch water wordt onttrokken, wordt geadviseerd om te werken met geleidelijke debietregulatie. Bij volledig anoxisch winningen ligt putschakeling voor de hand [PBG, 2022].

Om te zorgen dat de putten regelmatig in- en uit bedrijf worden genomen en bovendien ongeveer gelijkmatig worden belast, worden de pompen regelmatig gerouleerd. Bij een 'ketting-putschakelschema' wordt een put na een bepaalde periode van bijvoorbeeld vier uur in bedrijf te zijn geweest weer uitgeschakeld. De put die op dat moment het langste buiten bedrijf is, wordt op hetzelfde moment ingeschakeld om te zorgen dat de waterwinning niet wordt verstoord. De tijd dat een pomp stilstaat, is afhankelijk van de watervraag: als de watervraag laag is, zijn er weinig putten in bedrijf en is de rustperiode langer en bij een grote watervraag zijn meer putten in bedrijf en neemt de rustperiode af [PBG, 2022].

Bij een 'carrousel-putschakelschema' staan de putten in een bepaalde volgorde of positie. Bij een hogere watervraag neemt het aantal putten dat in bedrijf is toe. Hierbij wordt regelmatig geschakeld tussen verschillende carroussels met elk een eigen volgorde voor inschakelen van de putten. Figuur 34-1 illustreert dat put 1 in carrousel A vooraan staat (positie 1). In carrousel B en D staat deze put achteraan in positie 6 en in carrousel C bijna achteraan in positie 5. Door te wisselen van carrousel A naar B verschuift put 1 van een positie voorin het schakelschema naar een lagere positie [Makkink et al., 2011]. In de praktijk kan ervoor worden gekozen om bepaalde putten zwaarder of juist minder zwaar te belasten door ze vaker voor- of juist achterin een carrousel te plaatsen. Deze flexibiliteit is minder aanwezig bij ketting-putschakelschema's, die juist als voordeel hebben dat die eenvoudig zijn aan te sturen [PBG, 2022].

Op sommige puttenvelden wordt (bovenop het schakelschema) een ‘blokkeermatrix’ aangehouden. Dit houdt in dat een put die te lang continu continu draait tijdelijk achterin het schakelschema wordt gezet. Dit zorgt ervoor dat de put tijdelijk voor een bepaalde periode wordt uitgeschakeld, tenzij de watervraag zodanig hoog is dat alle putten nodig zijn om voldoende water te leveren. WML hanteert bijvoorbeeld een ontstoppingsmodule, waarbij putten elke 24 uur minimaal 30 min uit bedrijf worden gezet. De blokkeermatrix is dus een soort aanvulling op het schakelschema [PBG, 2022].

Name	Rotation time	Well1	Well2	Well3	Well4	Well5	Well6
-	h	#	#	#	#	#	#
A	8	1	5	4	3	2	6
B	8	6	1	3	4	5	2
C	8	5	1	2	4	3	6
D	8	6	5	2	4	3	1

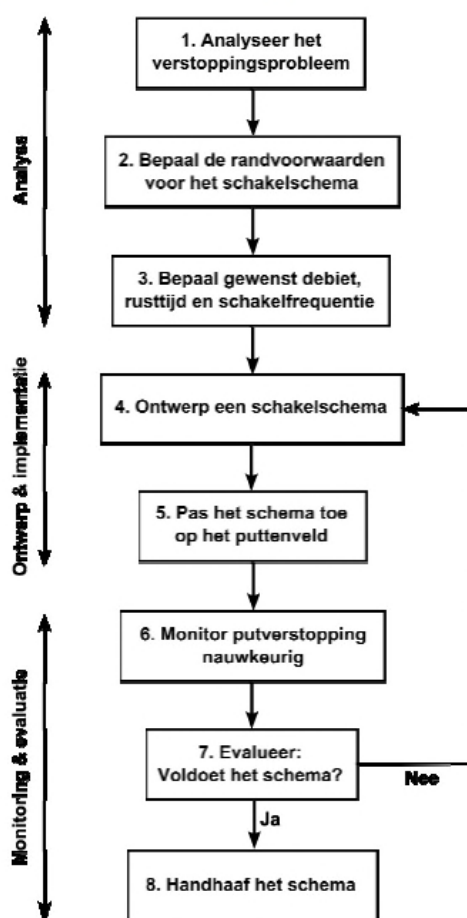
Figuur 34-1 Voorbeeld van een (fictief) carousel schakelschema.

Samengevat:

- Bij chemische verstopping sturen op continue onttrekking.
- Bij mechanische verstopping sturen op discontinue onttrekking.
- Bij oxische omstandigheden sturen op schakelen van de putten.
- Bij anoxische omstandigheden: sturen op het juist niet-schakelen van putten.

34.2 Stappenplan optimalisatie schakelschema's

Door Raat et al. [2011] is een systematisch stappenplan opgesteld (zie *Figuur 34-2*) om schakelschema's te optimaliseren. Hoewel het oorspronkelijk is opgesteld voor puttenvelden die kampen met mechanische verstopping, is het ook goed toepasbaar op andere locaties. Het plan voorziet in een analyse van de oorzaken waarom putten verstopping (zie § 34.3) en het opstellen van randvoorwaarden waar een toekomstig schakelschema aan moet voldoen (zie § 34.4). Vervolgens wordt een nieuw schakelschema ontworpen (zie § 34.5) en toegepast op het winveld. Een belangrijke voorwaarde voor verbetering is om de prestaties van een puttenveld en het schakelschema nadien te monitoren en te evalueren, en er actief op toe te zien dat het schema ook wordt gehandhaafd.



Figuur 34-2 Stappenplan schakelschema [Raaijmakers et al., 2011].

Tabel 34-1 Stappenplan voor een ontwerp-schakelschema ter voorkoming van deeltjesverstopping [Raaijmakers et al., 2011], met enkele aanpassingen bij stap 2/3).

Stap 1	Analyseer het verstoppingsprobleem
Check 1	Bepaal welke verstopping er optreedt (mechanisch/ chemisch)
Check 2	Maak een algemeen overzicht van het puttenveld (ligging, omvang, documentatie)
Check 3	Karakteriseer de opbouw van de ondergrond (bodemplagen, korrelgrootteverdeling, watervoerend vermogen, deeltjes, waterkwaliteit)
Check 4	Analyseer de bedrijfsvoering van het puttenveld (draaiuren, debiet, pompen, regeneraties)
Check 5	Analyseer het historische verloop van de verstopping (aan de hand van specifiek debiet, niveaumetingen, regeneraties)
Check 6	Maak een beschrijving van elke winput en zijn geschiedenis (putontwerp, -aanleg, -prestaties, regeneraties en deeltjesbelasting)
Check 7	Stel de diagnose
Stap 2	Bepaal de randvoorwaarden voor het schakelschema
Check 8	Stel de eisen op vanuit de waterproductie (watervraag, piekvraag, overcapaciteit)
Check 9	Stel de eisen op vanuit de waterzuivering (waterkwaliteit, wateraanbod)
Check 10	Analyseer de toekomstige ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit en de invloed van putschakelingen op de ruwwaterkwaliteit
Check 11	Bepaal per winput het gewenst debiet en belasting (rusttijd, onttrekkingsduur, schakelfrequentie).
Check 12	Bepaal of het gewenste debiet en belasting haalbaar zijn (gezien totale watervraag, doorlatendheid watervoerend pakket, capaciteit putten, deeltjestellingen bij oplopende debieten, et cetera)

Check 13	Bepaal of aanpassingen nodig zijn in de pompen (hoger/ lager debiet per put, voorziening voor tijdelijk hogere piek-capaciteit, noodzaak frequentie gestuurde pompen).
Stap 3	Ontwerp een schakelschema
Check 14	Overleg en maak afspraken met alle betrokkenen op het puttenveld
Check 15	Elk puttenveld en winput is uniek
Check 16	Kijk en vergelijk: leer van ervaringen op andere drinkwaterproductiebedrijven
Check 17	Reken een schakelschema door voorafgaande aan de implementatie (praktijk, theorie)
Stap 4	Pas het schema toe op het puttenveld
Check 18	Werk samen met alle betrokkenen van het puttenveld (productie, zuivering, bedrijfsvoerders)
Check 19	Wees alert op (tijdelijke) veranderingen in de bedrijfsvoering
Stap 5	Monitor putverstopping nauwkeurig
Check 20	Meet de stijghoogte in putten hoogfrequent, met behulp van drukopnemers (divers)
Check 21	Blijf deeltjestellingen uitvoeren
Check 22	Noteer alle bedrijfsgegevens van de putten draaiuren, schakeltijden, debiet)
Stap 6	Evalueer: voldoet het schakelschema?
Check 23	Analyseer prestaties van putten (verstopping, diverse metingen, deeltjestellingen, bedrijfs- en rustgegevens)
Check 24	Evalueer schakelschema met andere betrokkenen (productie, zuivering, bedrijfsvoerders)
Check 25	Neem de beslissing: schakelschema handhaven of aanpassen
Stap 7	Handhaaf schakelschema
Check 26	Blijf alert op veranderingen in bedrijfsvoering (onderhoud, regeneratie)
Check 27	Blijf monitoren op putverstopping

34.3 Analyse verstoppingsprobleem

Richtlijn 11 Maak een diagnose of er putverstopping optreedt en zo ja, welk type verstopping (chemisch, mechanisch) en wat de onderliggende oorzaken zijn.

Kennis van het puttenveld is onontbeerlijk voor een goede analyse van het verstoppingsprobleem. Hiervoor moeten alle relevante gegevens over de natuurlijke omstandigheden (bodemopbouw, waterkwaliteit, et cetera), aanlegwijze (boordiameter, filterstelling, evtueel gebruik boorspoeling, et cetera) en bedrijfsvoering in beeld worden gebracht (debiet, draaiuren, schakelmomenten). Zo veel mogelijk historische gegevens moeten boven tafel worden gebracht [Raaijmakers et al., 2011]:

- Inzicht in het type verstopping is een eerste vereiste
Bij chemische verstopping dient met name te worden ingezoomd op de hydrochemische condities en veranderingen, terwijl bij mechanische verstopping de focus ligt bij transport van deeltjes. Ook de oplossingsrichting is anders: bij chemische verstopping is het zaak zo min mogelijk te schakelen.
- Analyseer vervolgens welke putten verstopten en welke niet
Hoe vaak worden ze geregenereerd en hoe snel neemt de specifieke volumestroom af? Zijn er putten die sneller verstopten (bepaalde bodemopbouw of uithoek van het puttenveld)?
- Analyseer ook de geschiedenis van elke afzonderlijke put. Zijn er bepaalde perioden waarbij de put verstopte of juist niet? Hoe werden deze putten op deze momenten belast? Wat waren het debiet, draaiuren en schakelfrequentie?
- Daarnaast kunnen deeltjestellingen worden gebruikt om het kritische debiet te bepalen waarboven de concentratie deeltjes sterk toeneemt (zie voorbeeld in Figuur 33-11).

Mogelijke oorzaken van verstopping zijn te lange belasting (te weinig rust), te grote onttrekkingscapaciteit, verkeerde keuze in omstortingsgrind (te grof of te fijn) en slechte ontwikkeling bij aanleg van de put. Aansluitend op deze synthese kan het nuttig zijn een analyse uit te voeren, waarin gekeken wordt of het raadzaam is (een aantal) putten te vervangen [Raat et al., 2011].

Verstopping op de boorgatwand kan in sommige gevallen ook samenhangen met veranderingen in de waterkwaliteit. Hierbij valt te denken aan mobilisatie van deeltjes door geleidelijke toename van de zoutconcentratie (zie [de Zwart, 2007], hoofdstuk 2). Veranderingen in de grondwaterkwaliteit kunnen ook aanleiding geven tot veranderingen in het schakelschema, bijvoorbeeld door putten waarvan de waterkwaliteit buiten de bandbreedtes van de zuivering valt minder vaak aan te zetten. In dat geval is het goed om ook een hydrochemische systeemanalyse te maken die inzicht geeft in toekomstige verandering van de grondwaterkwaliteit per put (zie bijvoorbeeld [van Doorn et al., 2017; van der Schans et al., 2017]).

34.4 Randvoorwaarden schakelschema

Richtlijn 12 Inventariseer de doelen en randvoorwaarden waaraan een schakelschema moet voldoen.

Bij het beheer van puttenvelden spelen vaak verschillende doelen [Van Beek et al., 2010; Leunk et al., 2013; van der Schans et al., 2015; van der Schans en van Doorn, 2017; Vonk en van der Schans, 2019].

- Bedrijven willen bijvoorbeeld graag zorgen dat de ruwwaterkwaliteit zoveel mogelijk binnen de operationele limieten blijft van de zuivering, om te voorkomen dat de waterkwaliteitsparameters van het bereide drinkwater niet voldoen aan de bedrijfsnormen of het Drinkwaterbesluit [Staatsblad, 2011]. Dit kan worden bereikt door water van putten met een slechte kwaliteit op te mengen met water van putten met een goede kwaliteit.
- In gebieden met een duidelijke verticale overgang in de waterkwaliteit, is het vaak belangrijk om putten evenveel te belasten om te voorkomen dat dit grensvlak verplaatst. Denk aan upconing van zout grondwater bij putten die te zwaar worden belast.
- Interceptieputten moeten meestal een minimale hoeveelheid water onttrekken (op dag- of maanbasis) om te voorkomen dat een verontreinigingspluim langs de put stroomt en de andere putten op het puttenveld bereikt (water uit interceptieputten wordt soms weer gemengd, na een extra zuiveringsstap).
- Verstopping van putten moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Op puttenvelden waar chemische verstopping optreedt (door vorming van ijzerneerslagen bij menging van oxisch en anoxisch grondwater), worden putten daarom zoveel mogelijk continu bedreven of geleidelijk op- en afgetoerd, om de menging van oxische en anoxische water in de put te beperken. Op locaties met deeltjesverstopping op de boorgatwand is het juist zaak om putten regelmatig in- en uit te schakelen en niet dagen achtereen te laten draaien.
- Bij puttenvelden met inundaties moet soms een deel van de putten worden uitgeschakeld om microbiologische verontreinigingen te voorkomen. Overigens zouden putkelders in overstromingsgevoelige gebieden eigenlijk bestand moeten zijn tegen inundatie.
- Drinkwaterbedrijven willen hun energieverbruik beperken om kosten te besparen en de CO₂ footprint te beperken. Wanneer putten dicht bij elkaar staan te pompen, beïnvloeden ze elkaars afpompegel en neemt de opvoerhoogte en dus het energieverbruik toe. Dit geldt ook als er meerdere putten draaien die op een krap gedimensioneerde of lange terreinleiding liggen. Bedrijven hebben daarom een voorkeur om putten verspreid over het puttenveld te laten draaien en op verschillende terreinleidingen.
- Tot slot kunnen er afspraken zijn in de vergunning over de maximale inzet van het puttenveld of individuele putten om bijvoorbeeld verdroging van de natuur of landbouwgronden tegen te gaan.

Deze doelen kunnen conflicteren. In de praktijk komt het bijvoorbeeld regelmatig voor dat putten met een goede waterkwaliteit te veel worden ingezet en daardoor veel meer draaiuren maken dan putten met een waterkwaliteit die ver boven de grenswaarden van de zuivering zitten. De putten die teveel worden ingezet, kunnen hierdoor

(sneller) verstoppert of op termijn ook water van een slechtere kwaliteit gaan aantrekken. De uitdaging bij het opstellen van schakelschema's is dus om een balans te vinden tussen de verschillende doelen [van der Schans et al., 2022b].

34.4.1 Randvoorwaarden waterproductie

Richtlijn 13 Stel eisen op voor het schakelschema vanuit de productie van drinkwater (watervraag, de piekvraag en de overcapaciteit).

Het drinkwater wordt in een reservoir voor reinwater opgeslagen ten behoeve van transport en distributie. Het niveau in dit reservoir fluctueert meestal gedurende de dag, al naar gelang de drinkwatervraag. Bij een hoge drinkwatervraag zal er veel uit het reservoir worden betrokken. Als het waterniveau in het reservoir tot onder een bepaalde waarde daalt, worden bij winningen met putschakeling een of meer winputten bijgeschakeld om het waterpeil weer op de gewenste waarde te krijgen. Als die gewenste waarde is bereikt, worden er weer winputten uit bedrijf genomen. Het in- en uit bedrijf nemen van winputten wordt dus gestuurd op het niveau in het drinkwaterreservoir. In een aantal situaties kan deze schakeling worden beïnvloed door de eisen vanuit de zuiveringsinstallatie (bijvoorbeeld onthardingsinstallatie met een vast debiet, zie ook § 34.4.2 [PBG, 2022]).

Tegenwoordig wordt het in en uit bedrijf nemen van winputten niet alleen gestuurd op basis van het waterniveau in het drinkwaterreservoir. Vaak wordt ook rekening gehouden met de vraagvoorspelling. Door het verloop van het drinkwaterverbruik in het (recente) verleden te analyseren, kan de vraagvoorspelling voor het puttenveld worden bepaald. Deze wijze van bedrijfsvoering biedt meer ruimte voor sturing op basis van kwaliteit en het beperken van energieverbruik en putverstopping [PBG, 2022].

Het debiet van het puttenveld is afhankelijk van het aantal putten dat is ingeschakeld. Bij het ontwerp van schakelschema's moet rekening worden gehouden met het verloop van de watervraag. Vaak is er in de ochtend en aan het begin van de avond een piek in de watervraag en neemt deze daarna af. In de avond is er in dat geval meer ruimte om winputten uit te schakelen. Naast deze dagelijkse piekvraag moet ook rekening worden gehouden met seizoensgebonden variatie, zoals een hogere watervraag in de zomer. Tevens moet er een mogelijkheid zijn om gedurende korte tijd het schakelschema los te laten tijdens een piekvraag, zonder dat dit grote effecten heeft op de winputten en het puttenveld [PBG, 2022].

Wanneer de watervraag zo hoog is dat het puttenveld te weinig ruimte biedt voor schakelingen, kan worden overwogen om de capaciteit van een aantal winputten in het veld te verhogen, zodat er meer ruimte mogelijk is om te schakelen tussen verschillende winputten. Hierbij is het belangrijk om de 'vergroete' winputten als laatste in te schakelen, zodat deze minder snel verstoppert [PBG, 2011].

34.4.2 Randvoorwaarden waterkwaliteit

Richtlijn 7 Stel eisen op vanuit de zuivering (waterkwaliteit en wateraanbod).

De zuivering van het ruwwater verloopt het beste bij een constante waterkwaliteit en belasting [Makkink et al., 2011]. Dit betekent dat het wenselijk is om zowel het debiet als de kwaliteit van het ruwwater constant te houden. In sommige gevallen verschilt de kwaliteit van het opgepompte water per winput nauwelijks. Bij het schakelen van de winputten en het opstellen van de schakelschema's hoeft dan geen rekening te worden gehouden met de waterkwaliteit. In andere gevallen varieert de kwaliteit per winput wel, omdat er bijvoorbeeld water uit verschillende pakketten wordt gewonnen. In deze gevallen kan een constante kwaliteit worden bereikt door bepaalde combinaties van pompputten in te zetten. Die combinaties worden op basis van waterkwaliteitsberekeningen bepaald [van Doorn, 2015; van der Schans en van Doorn, 2017].

$$C_{ruw} = \frac{\sum_0^n Q_i c_i}{\sum_0^n Q_i}$$

waarin: c_{ruw} = concentratie gezamenlijk ruw [mg/L]

c_i = concentratie per pomp [mg/L]

Q_i = debiet per pomp [m³/h]

Uitgangspunt bij deze berekeningen is dat elke winput een constant debiet levert en een constante waterkwaliteit heeft. Omdat in de praktijk het debiet en de watersamenstelling in de loop van de tijd fluctueert, worden deze berekeningen periodiek herhaald. Een dergelijke herberekening is noodzakelijk wanneer er een vermoeden is dat het debiet en/of de waterkwaliteit van de winputten verandert.

Bij het inrichten van het schakelschema dient er dus altijd rekening te worden gehouden met de eisen vanuit de zuivering. Daarom moet in de bedrijfsvoering altijd worden gekeken naar:

- De variaties in waterkwaliteit en belasting die nog acceptabel zijn voor de zuiveringsinstallatie.
- De variaties in waterkwaliteit van het onttrokken grondwater tussen de op het puttenveld aanwezige winputten en of deze variaties constant zijn tijdens de bedrijfsvoering.
- Het bundelen van winputten in een carrouselgroep
De vraag of een bepaalde groep winputten op een puttenveld die water van verschillende kwaliteit leveren met elkaar kan worden geschakeld, zodat deze gezamenlijk een constante waterkwaliteit van het ruwwater aan de zuiveringsinstallatie leveren.
- De vraag of met behulp van schakelschema's kan worden gestuurd op wateraanbod en of de verschillende carrouselgroepen op het puttenveld hierop kunnen worden afgesteld.

34.4.3 Randvoorwaarden putverstopping: gewenste debiet, rusttijd en schakelfrequentie

<i>Richtlijn 15 Ga na of door verlaging van de belasting (debiet of aantal draaiuren) verstopping kan worden verminderd of kan worden voorkomen. Maak hierbij gebruik van de historische gegevens van de bedrijfsvoering van het puttenveld (draaiuren, debiet, pompen, regeneraties).</i>
--

34.4.3.1 Rustperiode, onttrekkingsduur en schakelfrequentie

Vervolgens moeten de benodigde en beschikbare rustperiode en onttrekkingsduur op basis van het aantal putten en het verloop van de watervraag gedurende de dag en het jaar worden bepaald.

De combinatie van rusttijd, bedrijfstijd en schakelfrequentie bepaalt of een schakelschema succesvol werkt tegen mechanische putverstopping. Helaas zijn er geen 'keiharde' vuistregels die aangeven hoe lang de rusttijd en hoe hoog de frequentie moeten zijn [Raat et al., 2011].

Over het algemeen worden putten waar mechanische verstopping succesvol is, gereduceerd door het instellen van een schakelschema voor elke 3 tot 24 uur, waarbij een rustperiode van 1 uur als minimum wordt beschouwd. Voor een aantal puttenvelden is duidelijk vastgesteld dat het gebruik van een schakelschema resulteert in niet verder verstoppende winputten. Voorbeelden hiervan zijn de puttenvelden Kerk Avezaath, Boerhaar, Noordbergum, Tull en 't Waal (drinkwaterbedrijf Vitens), en Lieshout, Someren (drinkwaterbedrijf Brabant Water). Er zijn ook (anoxische) puttenvelden bekend waarbij geen verstopping optreedt, ondanks een continue bedrijfsvoering. Voorbeelden hiervan zijn de drinkwaterproductielocaties Spannenburg en Oudega (drinkwaterbedrijf Vitens).

De benodigde rustperiode verschilt per locatie en hangt af van verschillende factoren. Een goed doorlatend pakket lijkt bijvoorbeeld toe te kunnen met een kortere rustperiode, omdat de stroming in het pakket na uitschakelen van de put sneller tot stilstand komt. Wellicht is op sommige puttenvelden naast het stilvallen van de stroming ook nog extra tijd nodig voor het uiteenvallen van deeltjes-bruggen. In het algemeen wordt ook aangenomen dat putten met een grotere deeltjesbelasting een langere rustperiode behoeven [Raat et al., 2011].

Naast de rusttijd is de duur van de onttrekking (tussen opeenvolgende rustperiodes) van belang. Hoe langer de onttrekkingsduur, des te meer deeltjes worden afgevangen op de boorgatwand. Als er meer deeltjes tijdens onttrekking worden afgevangen dan tijdens schakelen worden verwijderd, verstopt een put alsnog [van Beek, 2010].

Tot slot moet worden gecontroleerd of de benodigde draaiuren en het debiet voldoende zijn om aan de watervraag te voldoen.

34.4.3.2 *Werkwijze afleiden optimale schakelregime*

Voor het bepalen van de optimale bedrijfsvoering kan worden gekozen voor een ‘trial and error’ methode of een theoretisch-empirische methode, waarbij deeltjesmetingen worden uitgevoerd bij verschillende bedrijfsvoering strategieën. Bij de ‘trial and error’ methode wordt het (bedrijfsmatig mogelijke) aantal schakelingen per dag ingezet en/of wordt het debiet verlaagd, waarna de verstopping van de put wordt gemonitord. Afhankelijk van de resultaten wordt de bedrijfsvoering aangepast. Als de put verstopt, kan hierop worden geanticipeerd door in de bedrijfsvoering de belasting of het schakelregime te wijzigen. Bij de theoretisch-empirische methode wordt de maximale belasting afgeleid op basis van historische metingen over de belasting per put (draaiuren/debiet) en welke gevolgen dit had voor toe- of afname van de specifieke volumestroom [Makkink et al., 2011; Vonk en van der Schans, 2019].

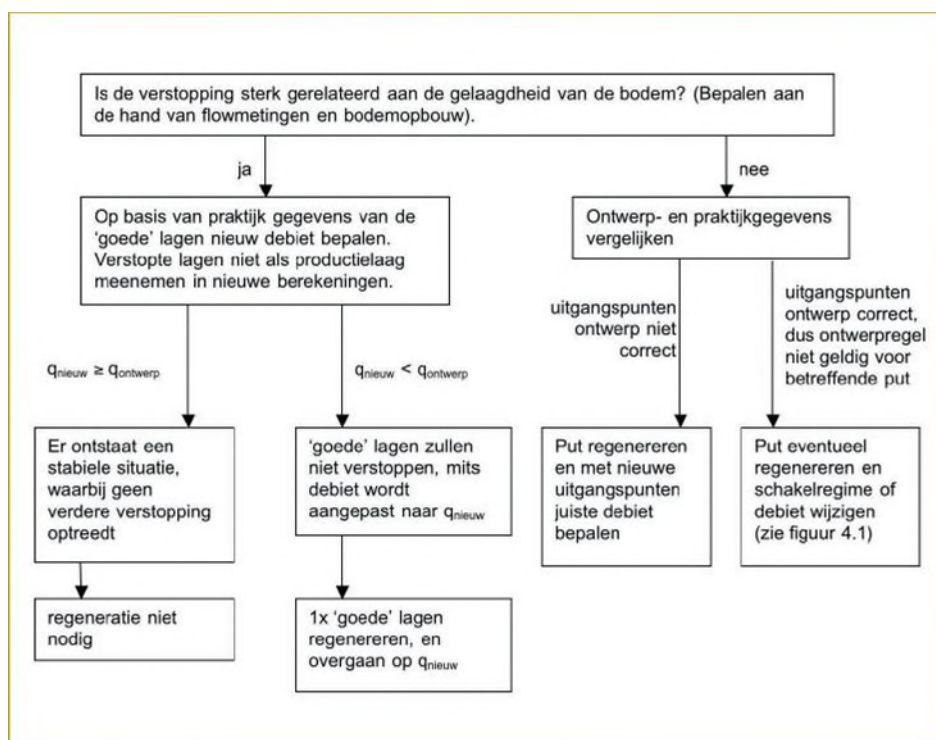
34.4.3.3 *Verlagen debiet per put*

Behalve schakelen kan ook het verlagen van het debiet van een put helpen bij het tegengaan van verstopping door deeltjes. Of en hoeveel het debiet moet worden verlaagd, hangt onder meer af van de relatie tussen onttrekkingsdebiet en deeltjesaanvoer (kritische debiet). Veelal zal een aanzienlijke verlaging van het debiet noodzakelijk zijn, waardoor bijplaatsen van putten noodzakelijk is indien er geen overcapaciteit aanwezig is. Het beperken van de verstopping door regelmatig aan- en uitschakelen van putten is dan goedkoper [Raaijmakers et al., 2011].

34.4.3.4 *Wijzigen belasting winput in gelaagde winpakketten*

Richtlijn 86 Houd rekening met de heterogeniteit van de bodem bij het bepalen of en zo ja, hoeveel het debiet dient te worden verlaagd om verdergaande putverstopping te voorkomen of putverstopping te reduceren.

In bepaalde situaties verstopten slechts bepaalde dieptetrajecten van een put sneller, bijvoorbeeld doordat de betreffende bodemlagen verstoppingsgevoeliger zijn. Wanneer de verstoppingsgevoelige lagen verstopt zijn, zal er meer toestroming plaatsvinden uit de niet-verstopte lagen. Deze lagen krijgen dan een hoger debiet te verwerken. Dit kan hoger zijn dan gewenst, waardoor de winput nog sneller kan gaan verstopten. Het kan ook zo zijn dat het hogere debiet in de niet-verstopte lagen zodanig is dat deze lagen niet verstopten. In dat geval treedt er een evenwichtssituatie op, waardoor de putten niet verder verstopten. Filterflowmetingen en het processchema in Figuur 34-3 kunnen helpen om hier een afweging in te maken [Oasen, 2006].



Figuur 34-3 Invloed van de gelaagdheid van de bodem op het aanpassen van het debiet [Oasen, 2006].

34.5 Ontwerp schakelschema

Richtlijn 9 Ontwerp een schakelschema dat rekening houdt met de randvoorwaarden van het puttenveld.

34.5.1 Handmatig

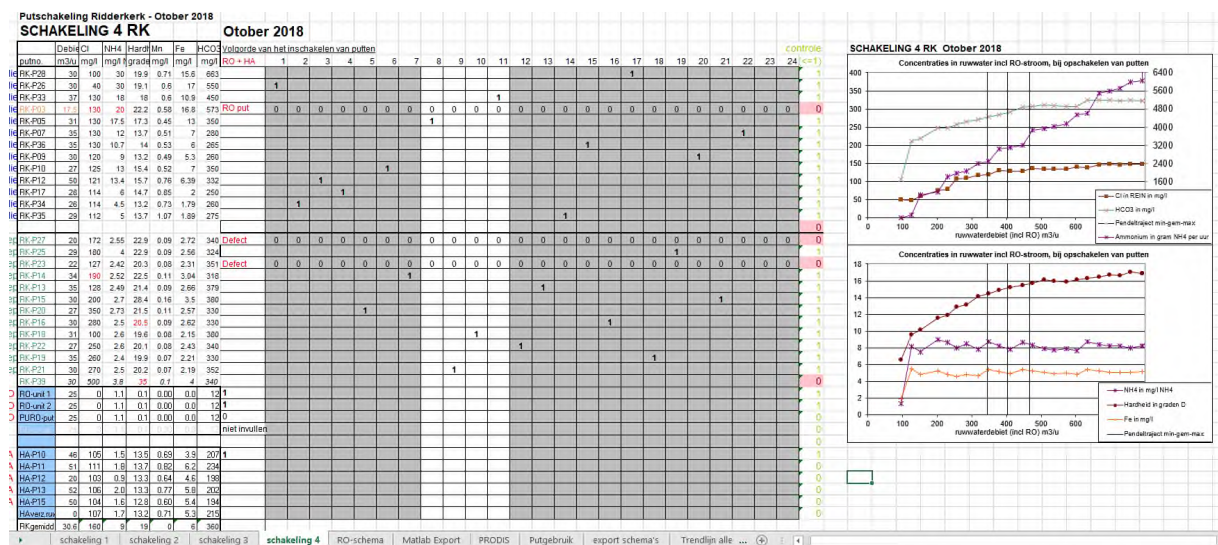
Carrousel schakelschema's komen in Nederland meestal handmatig tot stand via een 'trial and error' aanpak. Op puttenvelden waar de waterkwaliteit per put verschilt, wordt vaak een volgende procedure gevolgd [van der Schans et al., 2022b]:

- Eerst worden voor elke carrousel de putten in een bepaalde volgorde gezet. Idealiter worden hierbij putten met goede en slechte waterkwaliteit afgewisseld en wordt rekening gehouden met het feit dat putten zowel op hoge als lagere posities in de carrousel staan, om te voorkomen dat ze continu aan of uit staan.
- Vervolgens wordt de ruwwaterkwaliteit bij de veelvoorkomende range aan waterkwaliteit vergeleken met de randvoorwaarden van de zuivering. Valt de waterkwaliteit buiten de range van de zuivering, dan wordt de volgorde aangepast, net zolang totdat wel aan de range wordt voldaan.

Een nadeel van deze werkwijze is dat andere doelen zoals het voorkomen van verstopping door regelmatig schakelen van putten of het voorkomen van waterkwaliteitsveranderingen door gelijkmatig belasten van putten, vaak op de achtergrond raken. Daarnaast kan deze werkwijze erg bewerkelijk zijn. Tot slot komt het (volgens ervaringen van drinkwaterhydrologen) regelmatig voor dat schakelschema's na verloop van tijd verslechteren. Er treden namelijk regelmatig veranderingen op in een puttenveld (pomp defect, put in onderhoud, et cetera), waardoor het schakelschema moet worden veranderd. In de praktijk blijkt dat dan vaak wordt gekozen voor een makkelijke oplossing door de putten met een goede waterkwaliteit zoveel mogelijk in te zetten, zonder oog voor de andere doelen [van der Schans et al., 2022b].

Op puttenvelden met een gelijkmatige waterkwaliteit per put is de opzet van het schakelschema gericht op het gelijkmatig belasten van de putten door te zorgen dat ze in sommige schakelschema's voorin de carrousel staan en andere achterin. De rotatieduur wordt vervolgens gebruikt om de schakelfrequentie van putten te optimaliseren.

Ook hier kan het opstellen bewerkelijk zijn en na verloop van tijd updates vergen door veranderingen in het puttenveld [Van Beek et al., 2010; Raat et al., 2013].



Figuur 34-4 Voorbeeld van een spreadsheet dat wordt gebruikt om handmatig schakelschema's op te stellen (bron Oasen).

34.5.2 Geautomatiseerd

Het handmatig opstellen van het schakelschema is een tijdrovende klus. Een alternatief is om schakelschema's geautomatiseerd op te stellen. Internationaal is hier enige ervaring mee (zie bijvoorbeeld [Anton et al., 2015; Hansen et al., 2012; Hansen et al., 2013; Wanakule and Adams, 2014]). De 'Well Field Scheduling Optimizer' (WFSO) [van der Schans et al., 2022b]) is een rekeninstrument dat geautomatiseerd schakelschema's opstelt met behulp van een genetisch algoritme. Hierbij wordt rekening gehouden met een aantal verschillende doelen die relevant zijn voor een groot aantal puntenvelden in Nederland en Vlaanderen:

- handhaven van een constante ruwwaterkwaliteit;
- beperken van energiegebruik dan wel zorgen dat putten verspreid over het puttenveld draaien;
- voorkomen van putverstopping.

34.5.3 Aandachtspunten

Een aandachtspunt bij puttenvelden waar veel waterkwaliteitsbeoordelingen plaatsvinden, is dat putten regelmatig handmatig worden geschakeld ten behoeve van de monsternemingen en dat daarbij wordt afgeweken van het vooraf ingestelde, optimale schakelschema. Dit kan worden ondervangen door ruimte te laten voor monsterneming in het schakelschema; bijvoorbeeld door ervoor te zorgen dat de putten zodanig schakelen dat ze in een periode van enkele dagen allemaal een keer vooraan in het schakelschema staan.

Let op: Bij gebruik van toerengeregelde pompen in mechanisch verstoppende putten: bij gelijkmatig optoeren, worden relatief weinig deeltjes verwijderd, wat verstopping bevordert. De kans op verstopping is mogelijk kleiner wanneer de pomp eerst vol wordt aangezet en daarna wordt teruggetoerd naar het gewenste debiet [Leunk et al., 2013].

34.6 Toepassing, monitoring en evaluatie van schakelschema's

Richtlijn 10 Pas het schakelschema toe op het puttenveld. Werk daarbij samen met betrokken afdelingen (zuivering, bedrijfsvoering).

Na ontwerp volgt de implementatie van het schakelschema. Ook hier is goede samenwerking met en betrokkenheid van andere expertises van groot belang. Extra oplettendheid is geboden tijdens onderhoudswerkzaamheden op de drinkwaterproductielocatie, zoals bijvoorbeeld bij regeneraties [PBG, 2022].

Naast goed overleg met medewerkers van de zuivering is in deze fase juist ook goed overleg met de operators van groot belang. Zorg ervoor dat reden en doel van het schakelschema duidelijk zijn voor alle relevante personen. Betrokkenheid van anderen vergroot de kans van slagen [Raat et al., 2011].

Sommige putten verstoppert snel als (tijdelijk) wordt afgeweken van het schakelschema. Dit is ondermeer opgetreden op de drinkwaterproductielocaties Tull en 't Waal en Ritskebos. Tijdens momenten van onderhoud zoals bij regeneraties en veranderingen op drinkwaterproductielocaties zoals het tijdelijk uit bedrijf nemen van putten moet de nodige waakzaamheid worden betracht. Zo mogelijk moet een waarschuwingssysteem worden ingebouwd. Ook hier geldt weer: zorg voor betrokkenheid en goede samenwerking met operators [Raat et al., 2011].

Richtlijn 11 Monitor de prestaties van het schakelschema (putverstopping, ruwwaterkwaliteit, et cetera).

De vorige stappen zijn erop gericht om op basis van begrip en kennis van het puttenveld een eerste schakelschema te ontwerpen ('first guess'). Mogelijk voldoet dit schema direct, maar doorgaans kan aan een eerste schema nog het nodige worden verbeterd. Snel inzicht te krijgen in de effectiviteit van het schakelschema is dan ook belangrijk en tegelijk ook lastig, aangezien verstopping een zeer geleidelijk, meestal langzaam verlopend proces is. Detecteren van verstopping kost de nodige tijd; een goed monitoringprogramma is daarvoor van groot belang (zie § 33.5) [Raat et al., 2011].

Richtlijn 12 Evalueer of het schakelschema voldoet aan de vooraf gestelde doelen.

Het belangrijkste doel van een schakelschema is het tegengaan van putverstopping, maar ook andere zaken bepalen of een schakelschema een succes is. Bij de evaluatie van een schakelschema is goed overleg met alle betrokkenen dus van belang. Met onder meer operators moet worden besproken hoe het schakelen wordt ervaren. Knelpunten moeten worden benoemd en oplossingen zo nodig worden gevonden. Gezamenlijk moet worden bekeken of een schema voldoet of dat het (verder) moet worden aangepast (terug naar Stap 4) [Raat et al., 2011].

Richtlijn 13 Handhaaf het schakelschema en blijf daarbij alert op wijzigingen in de bedrijfsvoering (onderhoud, regeneratie) en blijf monitoren of de prestaties van het puttenveld op orde blijven.

Als het schakelschema (eventueel na de nodige aanpassingen) aan ieders verwachtingen voldoet, kan het schema worden gehandhaafd. Het werk lijkt dan gedaan, maar het blijft zaak het puttenveld goed in de gaten te houden. Schakelen luistert nauw. Er moet een vinger aan de pols worden gehouden als de bedrijfsvoering tijdelijk wordt gewijzigd, bijvoorbeeld bij onderhoud van het puttenveld [Raat et al., 2011].

'In het verleden behaalde resultaten bieden geen garantie voor de toekomst.' Het monitoren van putten op verstopping (met name afpompings) moet worden gecontinueerd, zie daarvoor Check 19 en 21. Er moet worden gewaarschuwd als de prestatie van putten achteruit gaat [Raat et al., 2011].

34.7 Optimalisatie energiebeheer

Richtlijn 14 Maak een inventarisatie van het energieverbruik voor het gehele puttenveld en probeer waar mogelijk het puttenveld zodanig in te richten dat het energieverbruik wordt geminimaliseerd.

34.7.1 Nut- en noodzaak

Energiegebruik en milieubewust handelen zijn belangrijke onderdelen binnen de bedrijfsvoering. Door het energiegebruik te verminderen, worden kosten bespaard en worden CO₂-emissies die verbonden zijn aan het winnen van grondwater uit het puttenveld verlaagd [Makkink et al., 2011].

Hoewel het energieverbruik van bron tot tap bekend is, hebben drinkwaterbedrijven doorgaans beperkt zicht op het aandeel van de individuele componenten binnen winning, zuivering en transport en distributie. Uit een inventarisatie in 2015 van 22 drinkwaterproductielocaties bleek dat de winning 32% (0,18 kWh/m³) van het totale energieverbruik veroorzaakt. Uit een energiescan uitgevoerd op 10 winningen van drinkwaterbedrijf Vitens bleek dat gemiddeld 25% energiebesparing economisch haalbaar is. De hiervoor benodigde ingrepen hadden hierbij een terugverdientijd van maximaal 5 jaar. Het installeren en vervolgens knijpen van pompen met een te hoge capaciteit was verreweg de belangrijkste oorzaak van deze vermijdbare verliezen. Deze problemen werden herkend door putexperts van andere bedrijven, waardoor het vermoeden bestaat dat er mogelijk op veel drinkwaterproductielocaties nog energiebesparing haalbaar is. Extrapolatie van deze resultaten suggereert dat grondwaterbedrijven 5 – 10% op hun totale energierekening kunnen besparen. Het is echter niet duidelijk of de energiesituatie sinds 2015 structureel is verbeterd of dat hier nog steeds winst is te behalen [van der Schans et al., 2015].

34.7.2 Aandachtspunten

Mogelijkheden om het energieverbruik en de energiekosten op bestaande winningen te beperken zijn [van der Schans et al., 2015; Makkink et al., 2011]:

- Controleer of het debiet wordt geknepen door afsluiters in putten en terreinleidingen.
- Controleer of de opvoerhoogte en debiet van pompen voldoet aan de ontwerpspecificaties.
- Voorkom het wegdrukken van putten door het debiet te verdelen over verschillende strengen.
- Voorkom onderlinge beïnvloeding door zo min mogelijk putten naast elkaar tegelijk aan te zetten.
- Stem het gebruik van de winning af op de ruwwatervraag van de zuivering: voorkom dat het debiet naar de zuivering moet worden geknepen.
- Regeneer putten tijdig, zodat de afpompingsbeperking blijft.
- Meet energieverbruik van individuele componenten van een drinkwaterproductielocatie apart.
- Luchtlekken van vacuümleidingen kunnen het energieverbruik aanzienlijk verhogen. Monitor dus regelmatig of er geen luchtlekken zijn.

Energiebesparingsmogelijkheden bij nieuwbouw of renovatie zijn [van der Schans et al., 2015; Makkink et al., 2011]:

- Gebruik boosterpompen (opjagers) op winvelden met lange terreinleidingen. Boosterpompen hebben namelijk een hoger rendement (80%) vergeleken met onderwaterpompen (60%).
- Beperk de piekproductie, bijvoorbeeld door uit te gaan van flexibeler voorraadbeheer van het drinkwaterreservoir. In de huidige schakelschema's wordt vaak direct meer water gewonnen wanneer het waterniveau in het drinkwaterreservoir beneden een bepaald niveau daalt. Hierdoor daalt bij piekvraag de stijghoogte in alle winputten waardoor het energieverbruik toeneemt. Mogelijk valt op sommige winningen nog winst te behalen door de buffer van het reservoir beter te gebruiken en te accepteren dat de voorraad op piekmomenten wat verder afneemt.
- Beperk de transportafstand voor het ruwwater. Zorg ervoor dat de winput en zuiveringsinstallatie dicht bij elkaar liggen, waardoor drukverliezen in het leidingwerk zo klein mogelijk zijn. Dit staat overigens haaks op beleid van de drinkwaterbedrijven om meerdere winvelden te clusteren bij één drinkwaterproductielocatie vanwege efficiëntievoordelen, bemensing en mengopties.
- Ga na of ruwwaterleiding een voldoende grote diameter heeft om wrijvingsverliezen te beperken.

- Energieverbruik kan ook worden beperkt via de keuze van de bronnen. Grote transportafstanden vergen veel energie. Hierbij dient een afweging plaats te vinden dat eventuele winst die wordt verkregen door energiebesparing op de winning teniet wordt gedaan doordat de bron hogere energiekosten vergt voor zuivering. De zuivering van brak en zout grondwater kost bijvoorbeeld relatief veel energie en kan vanuit het oogpunt van energiebesparing het best worden vermeden.

Uiteraard geldt voor de bovenstaande maatregelen dat een afweging nodig is tussen de investeringen en verwachte opbrengsten/financiële besparingen [van der Schans et al., 2015].

34.7.3 Stappenplan energiebesparing winning

Op basis van [Makkink et al., 2011] en [van der Schans et al., 2015] is een stappenplan opgezet hoe energiebesparingen te realiseren voor winvelden.

34.7.3.1 Stap 1: Bepaal voor alle productielocaties het energieverbruik voor de winningen

Dit kan een forse uitzoekklus zijn. Vaak is het energieverbruik uitsluitend op niveau van de drinkwaterproductielocatie bekend.

34.7.3.2 Stap 2: Vergelijk drinkwaterproductielocaties op basis van kentallen

- Energieverbruik per geleverde hoeveelheid water (kWh/m^3)
- Energieverbruik per geleverde hoeveelheid water, genormaliseerd naar opvoerhoogte ($\text{kWh}/\text{m}^3/\text{m}$).
De opvoerhoogte is gelijk aan het hoogteverschil tussen het instroompunt in het reservoir voor ruwwater/zuivering en de gemiddelde statische stijghoogte van het grondwater in de winputten. Een hoog energieverbruik per m opvoerhoogte kan komen door een grote transportafstand, maar kan ook een indicatie zijn dat er mogelijk energie verloren gaat.

34.7.3.3 Stap 3: Selecteer locaties die verhoudingsgewijs slecht presteren (hoog energieverbruik/kosten)

Focus vervolgstappen op locaties waar waarschijnlijk de meeste winst is te behalen.

34.7.3.4 Stap 4: Inventariseer eenvoudige besparingsmogelijkheden

Een eerste stap is om in overleg met personeel van de drinkwaterproductielocatie (operators) na te gaan waar voor de hand liggende energieverliezen optreden, bijvoorbeeld doordat afsluiters zijn geknepen (zie lijst met aandachtspunten in subparagraaf 34.7.2).

Er moet worden nagegaan wat het energieverlies is per geleverde hoeveelheid water genormaliseerd ten opzichte van de opvoerhoogte bij ingeschakelde putten (bedrijfswaterstand, zie stap 2). Dit moet worden vergeleken met het gemeten energieverbruik en op basis daarvan moet worden beslist of het zinvol is om uitgebreider onderzoek uit te voeren (zie stap 5).

34.7.3.5 Stap 5: Voer een uitgebreide energiescan uit (=optioneel)

- Meet het vermogen, druk, waterpeil en debiet van winning bij enkele veelvoorkomende reguliere bedrijfssituaties (zodat alle putten een keer zijn doorgemeten).
- Voer de pompen en ruwwaterleiding in een hydraulisch model van de winning, rekening houdend met de afpompings van de winning. Kalibreer het model aan het gemeten energieverbruik.
- Bepaal waar besparingsmogelijkheden zitten. Discrepancies van het model met de praktijkmetingen kunnen duiden op grote weerstandsverliezen door gebrekkig onderhoud of afgeknepen afsluiters die niet bekend zijn bij de operators.
- Bij renovaties kan het model eventueel ook worden gebruikt om aanpassingen aan het type pompen of diameter/ligging van ruwwaterleiding door te rekenen. Dergelijke maatregelen zijn zeer kostbaar en uitsluitend zinvol bij grootschalige renovatie of nieuwbouw van een drinkwaterproductielocatie.

34.7.3.6 Stap 6: Implementeer, monitor en handhaaf de energiebesparingsmaatregelen

Hanteer hiervoor de doelstellingen die volgen uit de inventarisatie van besparingsmogelijkheden (stap 4 en 5), bijvoorbeeld een gemiddelde afname van het energieverbruik per m³ van X% ten opzichte van het referentiejaar. Daarbij is het belangrijk om operators ervan bewust te maken op welke wijze energieverlies kan worden voorkomen. Besparingen moeten worden gerapporteerd aan de directie in verband met bestuurlijk draagvlak.

35 Regeneratie van winputten

35.1 Keuze van regeneratiemethode en -timing

Het hoofddoel van de regeneratie van een winput is het terugbrengen van het specifieke debiet naar de oorspronkelijke referentiewaarde. Ter voorbereiding worden de volgende stappen doorlopen om een juiste werkwijze te kiezen [Makkink et al., 2011]:

- timing van regeneratie;
- vaststellen van het type verstopping en de oorzaak;
- evaluatie van eerdere regeneraties;
- inventarisatie van beschikbare regeneratiemethodes en hulpmiddelen;
- voorwaarden voor de uitvoering;
- afweging van de kosten en milieubelasting;
- definitieve keuze voor een regeneratiemethode.

Een aantal van deze stappen wordt hierna verder toegelicht (zie ook § 33.6).

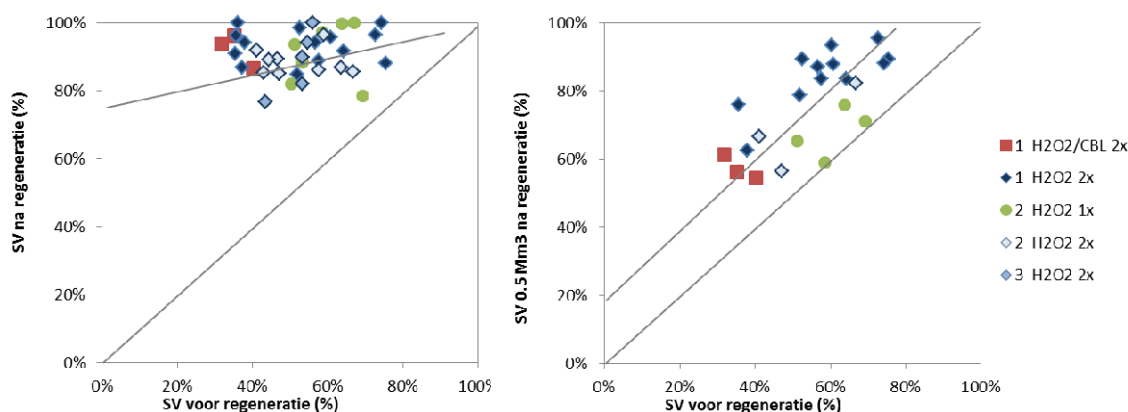
35.1.1 Timing van regeneratie: vaststellen minimale specifieke debiet

<i>Richtlijn 15 Stel vast bij welk specifiek debiet een winput moet worden geregenereerd. Internationaal wordt vaak 70% van de referentiewaarde aangehouden als grenswaarde, maar in de praktijk verschilt het optimale regeneratiemoment per put en puttenveld.</i>
--

Als een put eenmaal te veel is verstopt, dan is het vaak niet meer mogelijk om de verstopping volledig te verwijderen. De regeneratie dient dus tijdig te worden gedaan. Het juiste moment is afhankelijk van het type putverstopping en verschilt bovendien per puttenveld en zelfs per put [PBG, 2022].

Bij mechanische verstopping wordt als vuistregel gehanteerd dat regeneratie sterk is aan te bevelen als het actuele specifieke debiet is afgenomen tot 70% van de referentiewaarde [Makkink et al., 2011]. Hiervan kan worden afgeweken als op basis van historische metingen duidelijk is dat een regeneratie ook voldoende succesvol kan zijn wanneer een put verder is verstopt (Figuur 35-1). Een andere reden om van de vuistregel af te wijken is dat regeneraties op snel verstoppende puttenvelden te snel opvolgen en er in plaats regenereren voor wordt gekozen om de put geleidelijk op te offeren.

Chemische verstopping op de filterspleten is beter bereikbaar en daarom makkelijker te verwijderen, zelfs bij een laag specifiek debiet. Door rekristallisatie kunnen met name (amorfe) ijzerhydroxiden na verloop van tijd uitharden, waardoor ze bij regeneratie lastiger zijn te verwijderen. Het is daarom raadzaam om putten met chemische verstopping ten minste elke 5 jaar te reinigen, zelfs als het specifiek debiet nog hoger is dan 70% [PBG, 2022].



Figuur 35-1 Invloed van het specifiek debiet (SV) vóór regeneratie (x-as) versus het specifiek debiet direct ná regeneratie (y-as). Hierbij is onderscheid gemaakt in het specifiek debiet direct na regeneratie (links) en na onttrekken van 0,5 miljoen m³ water (rechts). In dit voorbeeld voor drinkwaterproductielocatie Nuland (Brabant Water) heeft wachten met een regeneratie totdat het specifiek debiet verder is afgenomen, op korte termijn weinig invloed op het specifiek debiet direct na regeneratie. Op de langere termijn is er wel een duidelijk negatief effect op de specifieke capaciteit van de put. In de figuur is met de kleur van de bolletjes onderscheid gemaakt tussen verschillende chemische reinigingsmethoden.

35.1.2 Vaststellen type en oorzaak verstopping

Richtlijn 16 Bepaal aan de hand van het type putverstopping welke regeneratiemethode moet worden toegepast.

Als de oorzaak van de verstopping goed in kaart is gebracht, kan de juiste regeneratiemethode worden gekozen. In Tabel 35-1 is een overzicht gegeven van enkele regeneratiemethodes voor de verwijdering van verstopping op de boorgatwand en verstopping op de filterspleten [PGB, 2022].

Tabel 35-1 Overzichtstabel met de keuze aan regeneratiemethodes (++ = zeer geschikt; + = geschikt; 0 = bruikbaar (minder efficiënt); - = ongeschikt; -- = zeer ongeschikt). De methodes worden in dit hoofdstuk verder toegelicht [PGB, 2022].

Regeneratiemethode	Geschikt bij:	
	Verstopping boorgatwand	Verstopping op filterspleten
Mechanische reiniging		
Schoonpompen	+	+
Intermitterend schoonpompen	+	+
Borstelen	-	+
Hogedruk reinigen	-	++
Jetten	+	++
Jutten	++	0
Sectiegewijs schoonpompen	++	+
Sectiegewijs rondpompen	++	+
Hydromechanisch stimuleren	++	0
Chemische reiniging		
Zoutzuur	+	++
Natriumhypochloriet (chloorbleekloek)	++	-
Aangezuurde waterstofperoxide	++	-
Dispergeermiddel (bijvoorbeeld Aquaclear)	+	-

35.1.3 Evaluatie van eerdere regeneraties

De volgende stap is om de resultaten van eerder uitgevoerde regeneraties in samenhang met de toegepaste regeneratiemethode(s) te evalueren. Het is belangrijk om hierbij ook rekening te houden met het blijvende effect van de regeneratie. Als er direct na regeneratie indicaties zijn voor toenemende putverstopping kan het zijn dat met een andere regeneratiemethode dit probleem kan worden verholpen. Als regeneraties niet of slechts ten dele succesvol zijn uitgevoerd, verdient het aanbeveling om bij opeenvolgende regeneraties verschillende methodes afwisselend toe te passen [Makkink et al., 2011].

35.1.4 Voorwaarden voor de uitvoering

Het is van belang om vooraf de voorwaarden voor de uitvoering van de regeneratie te inventariseren. Hierbij dient rekening te worden gehouden met [PBG, 2022]:

- De bedrijfsvoering op het puttenveld
Wordt de algehele productiecapaciteit van het puttenveld nog behaald in het geval een aantal putten buiten gebruik wordt genomen en zo ja, op welke wijze kan dit worden bewerkstelligd?
- De onderlinge afstand (beïnvloeding) van de omliggende winputten
Welke omliggende putten dienen eventueel te worden uitgeschakeld, omdat deze binnen het invloedsgebied liggen van de te regenereren winput? (zie PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016])
- Toegankelijkheid van het terrein
Kan het benodigde materiaal op de gewenste locatie worden afgeleverd?
- Mogelijke schade aan natuur en milieu, omdat de gewenste locatie niet direct met voertuigen kan worden bereikt. In beschermde natuurgebieden (bijvoorbeeld duingebied, Natura 2000) kan dit een rol spelen in de regeneratiekeuze.
- Noodzaak van speciale (putkop)constructies om regeneratiemethode te kunnen toepassen.
- Mogelijkheden om waterstromen te lozen
Het gaat vaak om anoxische waterstromen met daarin opgeloste chemicaliën, verstoppingsmateriaal (ijzerhydroxiden, organisch materiaal) die vrij komen na regenereren.
- De afvoer van ijzerneerslagen (biofilms) zal waarschijnlijk in toenemende mate ook een aandachtspunt worden, met name in Natura 2000-gebieden.

Voorafgaand aan de regeneratie moet er altijd worden geïnventariseerd wat de maximale mechanische krachten zijn die de filterbuis en stijgbuis aan kunnen. Hierbij is ook de leeftijd van het materiaal van belang. Bij het reinigen van de filterspleten (HD-reinigen of jetten), moet te allen tijde worden voorkomen dat de filterbuis beschadigd raakt. Dit geldt ook voor regeneratie van de boorgatwand, waarbij de drukverschillen tijdens jutteren en schoonpompen moeten worden ingericht op het materiaal van de winput. Het nadeel van alle apparatuur waarbij de omstorting met kracht wordt behandeld, is dat de omstorting kan worden verstoord en de winput zand kan gaan leveren. Daarnaast moet er rekening worden gehouden met het gebruik van chemicaliën om corrosie te voorkomen.

35.2 Mechanische regeneratiemethodes

Regeneratiemethodes worden onderverdeeld in mechanische en chemische methodes [Makkink et al., 2011]. Bij mechanische regeneratie wordt gepoogd om verstopping te verwijderen door gebruik te maken van tools die een mechanische (druk- of stroom)verandering aanbrengen op de filterspleten of de boorgatwand (bijvoorbeeld het genereren van een verhoogde waterstroom op de filterspleten of op de boorgatwand of het weg borstelen van verstoppingsmateriaal op filterspleten) en zo ervoor zorgen dat verstoppingsmateriaal loskomt. Bij chemische regeneratiemethodes worden chemische middelen gedoseerd in de put. In de praktijk worden beide methodes in combinatie toegepast.

In de navolgende paragraaf worden de thans meest gangbare, toegepaste regeneratiemethodes toegelicht [PBG, 2022]:

- geforceerd afpompen;
- intermitterend schoonpompen;
- borstelen;
- hogedruk reinigen
- jetten;
- jutteren;
- sectiegewijs schoonpompen.

Minder vaak toegepaste mechanische regeneratiemethodes zijn [PBG, 2022]:

- sectiegewijs rondpompen;
- vacuüm jutteren;
- sectiegewijs hydromechanisch reinigen ('intensif Entsandung').

Mechanische regeneratiemethodes zoals het gebruik van explosieven, airburst, ultrasoon en bevroren blijken in de praktijk niet goed te werken of zijn niet geschikt voor Nederlandse en Vlaamse putconstructies (zie subparagraaf 3.3.4 van praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a]). Laagfrequent trillen (akoestisch) is met wisselend succes toegepast. Deze methode is op papier kansrijk, maar (nog) niet effectief bewezen in de praktijk (zie subparagraaf 3.3.3 van praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a]).

Na selectie van een regeneratiemethode moet voorafgaand aan de regeneratie worden bepaald [PBG, 2022]:

- met welke intensiteit de methode wordt toegepast (bijvoorbeeld het debiet of de druk);
- welke stopcriteria te hanteren (bijvoorbeeld een vaste tijdsduur of totdat het specifieke debiet niet meer toeneemt), om te voorkomen dat er te kort of onnodig lang wordt gereinigd.

35.2.1 Geforceerd schoonpompen

Hierbij wordt de winput afgepompt met een vast onttrekkingsdebiet dat twee à drie keer groter is dan het nominale debiet. Vaak wordt een periode aangehouden van orde grootte 12 uur (1 nacht [PBG, 2022]).

35.2.2 Intermitterend schoonpompen

Bij intermitterend schoonpompen wordt de pomp volgens een vast intervalschema afwisselend in- en uitgeschakeld (bijvoorbeeld 10 min onttrekken en 5 min rust). Vaak wordt een periode aangehouden van orde grootte 12 uur (1 nacht) en uitgegaan van het nominale debiet. Vooraf moet worden gecontroleerd of de afpompingsnelheid niet te groot wordt en daarbij moet rekening worden gehouden met verstopping door uit te gaan van het actuele specifieke debiet van de put [PBG, 2022].

35.2.3 Borstelen

Bij deze methode worden chemische neerslagen en biomassa aan de binnenzijde van het putfilter en de blinde buis verwijderd met een borstel. Tijdens de behandeling wordt de winput afgepompt om het losgemaakte vuil te verwijderen. Een borstel raakt uitsluitend de binnenkant van een filter en heeft dus een beperkt reinigende werking op de filterspleten. Borstelen heeft geen effect op verstoppingen die zich achter het putfilter in de omstorting of bij de boorgatwand bevinden [Makkink et al., 2011].

35.2.4 Hogedruk reinigen

Bij hogedrukreiniging wordt er met de ‘hoge-druk-reinigingstool’ met nozzles onder hoge druk water op de filterspleten gespoten. Hierbij wordt de aanwezige verstopping op de filterspleten losgespoten en verwijderd. Het losgespoten materiaal wordt afgepompt en uit de winput verwijderd [Makkink et al., 2011].

De arm waaraan de nozzels zijn bevestigd, dient vooraf te worden afgestemd op de diameter van de put. Idealiter is de afstand tussen nozzle en buiswand 1 tot 1,5 cm. Staan de nozzles te ver af van de buiswand dan heeft de waterstraal nog maar weinig energie ter plaatse van de filterspleten en is er veel minder reinigende werking [PBG, 2022].

Het HD-apparaat dient tijdens het reinigen op-en-neer te bewegen (verticale snelheid orde grootte 0,2 m/min) (volgens onder meer het bestek voor regeneratie van drinkwaterbedrijf Vitens [Vitens, 2017]). Het filter wordt (afhankelijk van de vervuilingsgraad) een of meerdere keren gepasseerd, totdat het water visueel schoon is. Daarbij wordt geadviseerd om door te gaan met reinigen, totdat de concentratie zand-, slib en neerslagen < 0,5 ml per 10 L is [Cirkel et al., 2009]. Eventueel kan met een camera-inspectie achteraf worden gecontroleerd of de filterbuis en casing schoon zijn.

De toegepaste waterdruk varieert van 20 tot 200 bar [Makkink et al., 2011]. De toelaatbare druk dient vooraf in overleg tussen het drinkwaterbedrijf en het bedrijf dat regeneratie zal uitvoeren, te worden vastgesteld. Daarbij wordt geadviseerd om dezelfde waarden aan te houden als in putten met een vergelijkbaar bouwjaar en constructie die eerder zijn geregenereerd. Met name in oudere putten (vóór 1980 en dan met name dunwandige PVC buizen uit de oliecrisis, zie eerder) zijn de bruggen tussen de filterspleten kwetsbaar voor beschadiging bij toepassing van een te hoge druk. HD-reiniging wordt afgeraden bij houten winfilters [PBG, 2022].

De mechanische actie van een waterstraal is vrijwel direct uitgewerkt buiten het filter als gevolg van afbuiging van de stralen op de randen van de filterspleten en op de grindkorrels van de omstorting. Hogedrukreiniging heeft daardoor maar beperkt effect op verstopping direct achter de filterspleten en is geen effectieve regeneratiemethode om verstopping op de boorgatwand te verwijderen [Cirkel et al., 2009].

35.2.5 Jetten

Een speciale variant van hogedrukreiniging is ‘jetten’, waarbij de nozzles van de hoge-druk-reinigingstool tijdens het lossputten van het verstoppingsmateriaal op de filterspleten kunnen roteren om de eigen as. Deze nozzles draaien in tegenovergestelde richting en kunnen optimaal aan de diameter van de put worden aangepast om een volledige scheiding van de twee ‘waterzones’ in de put te bereiken. De extreem hoge snelheden waarmee het water uit de nozzles komt (180 m/s = 650 km/h) en straalkracht van de nozzles (190 N) zorgen voor krachtige schokken in het water (impulsen) in de omgeving van de nozzles. Deze drukgolven reiken tot achter de filterbuis en kunnen neerslagen in de omstorting, boorgatwand en aangrenzende pakket mobiliseren uit de korrelmatrix. Hierdoor kan in vergelijking met normale hogedrukreiniging meer verstoppingsmateriaal in de omstorting en in de boorgatwand worden gemobiliseerd en afgevoerd [Cirkel et al., 2009].

De gewenste verticale snelheid (0,1 m/min) en het stopcriteria (visueel schoon; < 0,5 ml/10 L zand, slib en neerslagen) zijn vergelijkbaar als bij hoge druk reinigen. Om voldoende impact te hebben op de boorgatwand wordt vaak wat langer gereinigd dan bij HD-reiniging (meer op en-neer bewegingen) [PBG, 2022]. De maximale druk is vergelijkbaar met HD-reiniging.

De Jetmaster (een tool om te jetten) is oorspronkelijk ontwikkeld in Duitsland waar putten veelal zijn uitgerust met RVS filterbuizen. Bij proeven met de Duitse Jetmaster bleek dat veel Nederlandse putten niet goed bestand zijn tegen de daar gangbare hoge drukken, waardoor beschadigingen optraden aan de bruggen tussen de filterspleten. Dit was met name het geval bij ouder en daarmee brosser PVC [Cirkel et al., 2009].



Figuur 35-2 Jetmaster, rechts in werking (foto's Carl van Rosmalen, Brabant Water).

35.2.6 Jutten

Onderstaande beschrijving heeft betrekking op jutten zonder chemicaliën. De specificaties voor het doseren van chemicaliën middels jutten staan in § 35.4.

Bij jutten wordt het waterniveau in de winput verlaagd door met perslucht het water in de winput weg te drukken (zie Figuur 35-3). Dit wordt gedaan met behulp van een compressor. Daarna wordt de lucht in een keer afgevoerd (zie Figuur 35-3b), waardoor het waterniveau snel omhoogkomt in de winput. Afhankelijk van de diepte van het weggedrukken van de waterspiegel ontstaat hierdoor gedurende korte tijd een hoge stroomsnelheid op de boorgatwand. De sleurkrachten die dit oplevert, kunnen fijn zand, slib en resten boorspoeling meevoeren uit de omstorting, boorgatwand en omliggende formatie [Makkink et al., 2011].

Bij jutten wordt meestal een druk van orde grootte 2 bar aangehouden. Bij oudere putten (zie § 32.8) wordt vaak een lagere druk aangehouden [Raaijmakers, 2008].

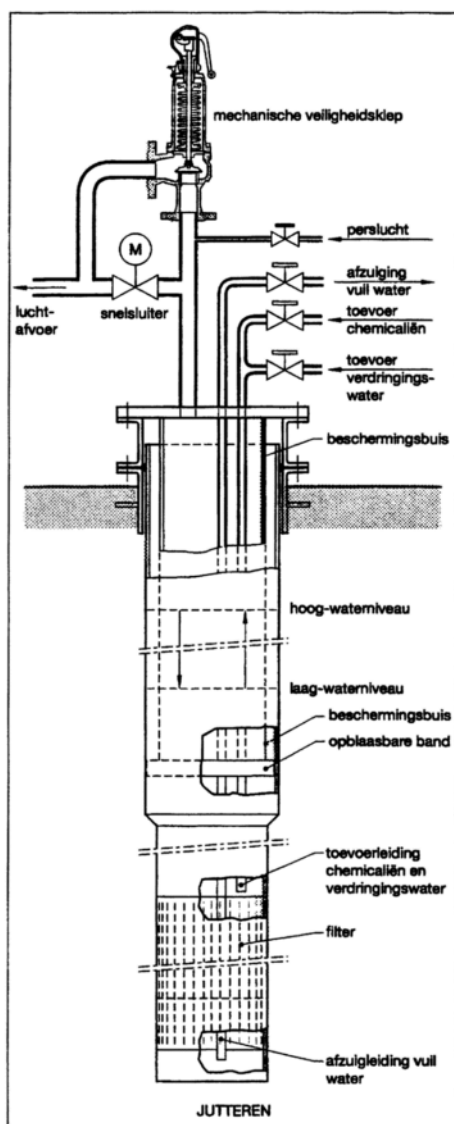
De druk dient zodanig lang te worden opgebouwd, totdat het waterniveau in de put voldoende is weggedrukt (bij een druk van 2 bar moet de waterkolom dus bijna 20 m dalen). Vervolgens moet de druk ook voldoende lang worden losgelaten, zodat het waterniveau in de put kan stijgen. De druk mag niet zodanig hoog zijn dat het water wordt weggedrukt tot in de filterbuis. In de praktijk kan er orde grootte 1 jutterslag per minuut worden gemaakt (30 s vasthouden, 30 s loslaten). Alternatief voor het voorschrijven van een druk- en jutter-frequentie is dus voorschrijven van de diepte tot waar de waterkolom moet worden weggedrukt (bijvoorbeeld 20 m) en tot welk niveau die moet herstellen [PBG, 2022].

Na elke 5 tot 10 jutterslagen dient het losgemaakte materiaal te worden verwijderd door de put af te pompen. Losgemaakte deeltjes worden dan direct afgevoerd en verwijderd, en dus niet heen en weer versleept tijdens jutten [Raaijmakers en Leunig, 2008]. Er wordt geadviseerd om de put af te pompen met ten minste twee keer de inhoud van de put (stijgbuis, filterbuis, omstorting) bij nominaal debiet.

In het verleden werden putten regelmatig 24 uur gejutterd, ook omdat het makkelijk geautomatiseerd mogelijk was. Tegenwoordig is het idee dat te lang jutten niet goed is voor putten. Daarom wordt korter gejutterd (orde

grootte 5 uur) of in twee fasen, ook omdat het de vraag is of losgemaakte deeltjes (in omstorting en formatie) mogelijk weer kunnen vastlopen op de boorgatwand tijdens jutteren en zo een nieuwe verstopping kunnen creëren [Raaijmakers en Leunink, 2008].

Tijdens het jutteren geeft de terugkomsttijd een indicatie van het succes van het jutteren. Met terugkomsttijd wordt de tijd bedoeld tussen het loslaten van de jutterdruk en het herstel van de stijghoogte (in andere woorden de tijd die de waterkolom nodig heeft op het rustniveau terug te komen). Als deze niet meer afneemt, heeft het jutteren zijn maximale effect gehad [Raaijmakers en Leunink, 2008]. De terugkomsttijd kan worden gemonitord door elektroden op twee diepten in de put te hangen en het tijdsinterval tussen de elektroden te volgen [PBG, 2022]. Wanneer de terugkomsttijd wordt gemeten met drukopnemers moet er een drukopnemer zowel bovenin de putkop (boven de waterspiegel) als onder de waterspiegel worden gehangen. Het waterniveau kan worden berekend op basis van het verschil tussen beiden metingen. Dit omdat er vaak vertraging zit tussen het verhogen van de luchtdruk en wegzakken van de waterspiegel [van Woerden, 2017].



Figuur 35-3 a. Jutteren [SBW, 1997], b. Ontluchting bij jutteren, waarbij het waterniveau in de winput na wegdrukken weer omhoog komt.

35.2.7 Sectiegewijs jutteren

In Nederland wordt bij WKO soms gebruik gemaakt van sectiegewijs jutteren. Het idee hiervan is dat de stroming wordt geconcentreerd in een bepaald dieptetraject tussen twee packers met een daartoe ontwikkeld apparaat [Raaijmakers en Leunink, 2008]. De techniek is nooit toegepast bij winningen ten behoeve van drinkwater. Mogelijk speelt mee dat er minder controle is over de stroomsnelheid op de boorgatwand dan bij sectiegewijs pompen, waardoor de stroomsnelheden te hoog worden (zandlevering) [PBG, 2022].

35.2.8 Sectiegewijs schoonpompen

Bij het sectiegewijs schoonpompen van een winput wordt speciaal daarvoor ontwikkelde apparatuur toegepast. Bij het sectiegewijs schoonpompen wordt per sectie van 1 – 2 m een hoog debiet onttrokken. Nog beter is om enkele keren heen en weer te bewegen, aangezien er boven en onder de sectie vaak een sterke verticale stromingscomponent is die de omstorting en mogelijk ook de boorgatwand kan reinigen [Nillert et al., 2008a].

Het debiet wordt zo gekozen dat de stroming op de boorgatwand twee- tot driemaal hoger is dan in de operationele fase. Hierdoor wordt het verstoppingsmateriaal op de boorgatwand gemobiliseerd en afgevoerd.

De stroming op de boorgatwand ter plaatse van het sectieapparaat (v) kan in theorie worden berekend op basis van het debiet (Q), de lengte tussen de packers (L), de diameter van het boorgat (d) en een hydraulische efficiency factor (EFF) [PBG, 2022]:

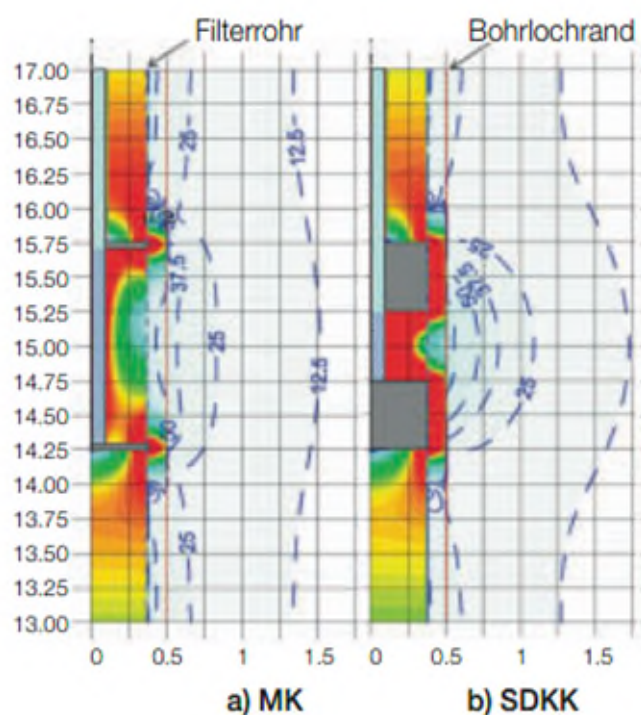
$$v_{boorgat} = \frac{Q}{\pi d L} (EFF) \quad \text{vgl. 35-1}$$

De hydraulische efficiency is altijd lager dan 100% doordat een deel van het onttrokken water de put via de boorgatwand binnenstroomt boven en onder het sectie-apparaat. Met name bij een dikke, goed doorlatende omstorting en/of slecht doorlatende formaties of een verstopte boorgatwand zal het water makkelijk om de packers heen stromen. Dit effect is deels tegen te gaan door gebruik te maken van langere packers en door ervoor te zorgen dat de packers goed aansluiten op de filterbuis. Uit indicatieve berekeningen met een grondwatermodel blijkt dat de efficiency circa 20% is bij toepassing van een 1 m lang sectie-apparaat met 1 m lange packers in een put waarvan de permeabiliteit van de gravelpack 20 keer groter is dan die van de formatie. Het debiet moet echter worden afgestemd op het sectie-apparaat, de formatie en putconstructie [Nillert et al., 2008a]. Op dit moment zijn er eigenlijk geen goede kentallen voor de hydraulische efficiency factor en het is ondoenlijk om deze voor elke regeneratie door te rekenen. In de praktijk wordt daarom vaak gewerkt met een debiet van 20 – 30 m³/h [PBG, 2022].

De troebelheid van het opgepompte water wordt per sectie gemonitord, totdat het water schoon genoeg is. Een voorbeeld van een stopcriterium is dat er na 5 min circa 1 g zand in het planktonnet mag liggen (de bodem moet duidelijk zichtbaar zijn). Let op: Dit is een hogere concentratie dan de 0,1 g/L bij oplevering van de put, doordat bij sectiepompen extra zand wordt gemobiliseerd [van der Schans en Cirkel, 2022].

Tijdens het sectiepompen moet worden gecontroleerd op zand en grind. Door het afgevangen materiaal steeds per sectie te bewaren kan de regeneratieploeg een indruk krijgen op welke diepte de put met name zand/slib levert [van der Schans en Cirkel, 2022].

Sectiepompen bestaat (afhankelijk van hoe vaak op en neer wordt bewogen) meestal orde grootte 30 min/m winfilter (minimaal 15 min per sectie) [PBG, 2022].



Figuur 35-4 Illustratie van welke invloed de lengte van een packer heeft op de stroomsnelheid op de boorgatwand bij toepassing van sectiepomp. De totale lengte van de sectie plus packer is in beide gevallen 1,5 m, maar de dunne packer (manchetten) in de linker figuur resulteren in een veel lagere stroomsnelheid op de boorgatwand [Nillert et al., 2008a].

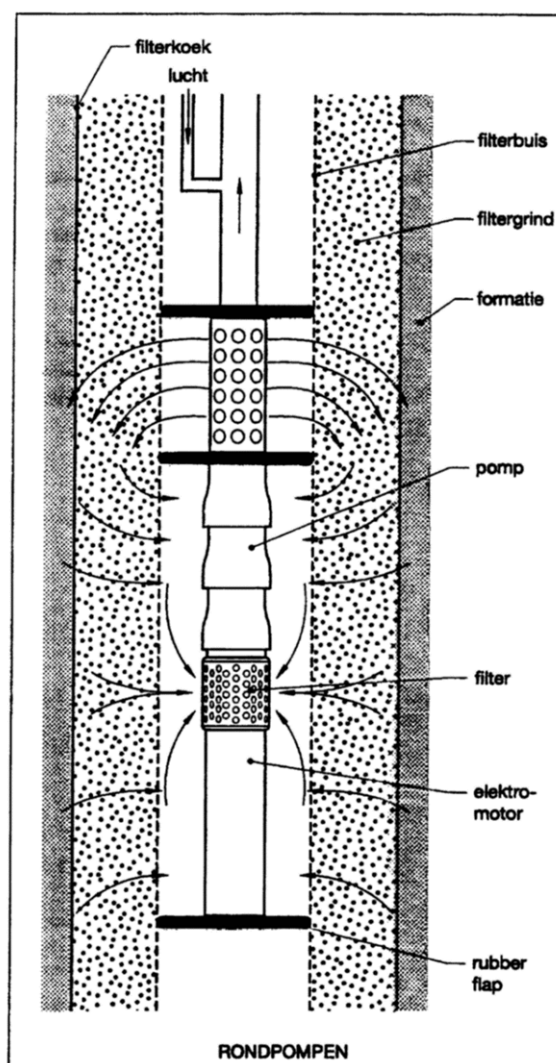


Figuur 35-5 Vergelijking van een sectie-apparaat met manchetten (links) en een sectie-apparaat met lange packers. Deze laatste helpen om kortsluitstroming via de omstorting te beperken [Nillert et al., 2008b].

35.2.9 Sectiegewijs rondpompen

Ten behoeve van het reinigen van het putfilter en de omstorting zijn allerlei apparaten met meestal twee kamers (compartimenten) ontwikkeld, waarbij een kamer is uitgerust met een onderwaterpomp. Bij deze apparaten wordt het water (al dan niet met toevoeging van chemische middelen) met kracht door de omstorting en het filter rondgepompt. Om te voorkomen dat het losgemaakte vuil wordt rondgepompt, wordt vaak een deelstroom van het water afgevoerd (zie Figuur 15-10). Door de kamers af te sluiten met extra lange packers kan deze tot dieper in de omstorting reiken wat het apparaat in theorie zeer effectief maakt [Makkink et al., 2011]. Een ander voordeel van deze werkwijze is dat de hoeveelheid te lozen water wordt beperkt [Makkink et al., 2011].

In Nederland wordt rondpomp-apparatuur weinig toegepast bij drinkwaterbedrijven. Het is niet duidelijk waarom niet. Een aandachtspunt is dat er kans is op beschadiging, doordat zowel een luchtslang, een voedingskabel en een waterslang tot grote diepte moeten worden ingebracht en vast kunnen komen te zitten [PBG, 2022].



Figuur 35-6 Het principe van rondpompen [SBW, 1997].

35.2.10 Vacuüm jutteren

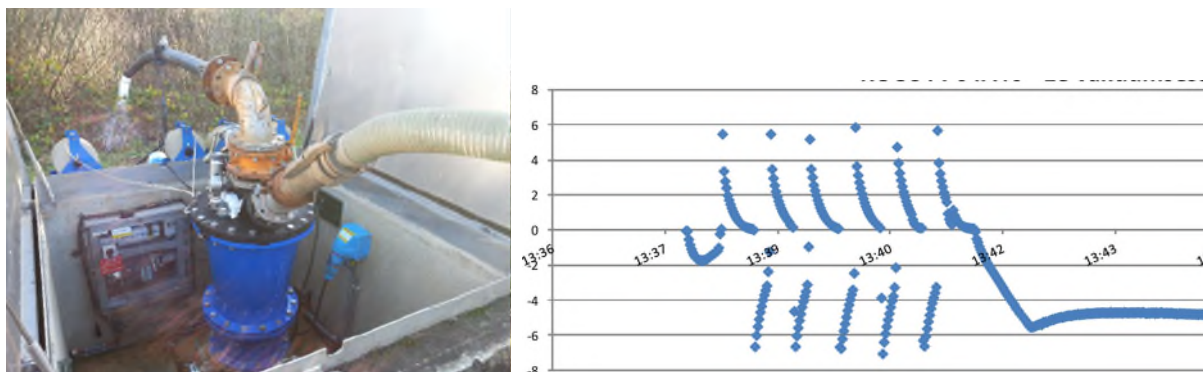
Vacuüm jutteren wordt met name toegepast bij putten die mechanisch zijn verstopt, maar waar de rustwaterstand zich op slechts korte afstand boven de bovenkant van het pompfilter bevindt. Het normale jutteren kan in dat geval niet meer worden toegepast, omdat de waterspiegel tot onder de bovenkant van het winfilter wordt gedrukt.

De techniek omvat het kortstondig verhogen van het waterniveau in de stijgbuis door deze met een vacuümapparaat op te trekken (tot bijna 10 m; 1 bar onderdruk). Vervolgens wordt de onderdruk weer 'losgelaten' door een luchtklep open te zetten op de putkop. Hierdoor zakt de waterspiegel in de put in korte tijd naar de rustwaterstand, waardoor er een drukgolf naar beneden ontstaat en er waterstroming vanuit de put naar de omstorting en omliggende formatie plaatsvindt.

Vacuümjutteren vergt een vacuümpomp, verbindingsslangen, sensoren om de druk en waterniveau te monitoren en een jutterkop met kleppen om vacuüm te pompen, lucht in te laten of water uit de put af te pompen. De jutterkop is zodanig ontworpen dat de bedrijfsonderwaterpomp in de put kan blijven hangen. Net als bij regulier jutteren wordt na vijf keer jutteren de inhoud van de put ververst door af te pompen met nominaal debiet.

Drinkwaterbedrijf WML past deze techniek sinds enkele jaren toe op een aantal ondiepe winvelden (Roosteren ondiep, WHP ondiep) en heeft daarbij regelmatig een verbetering van de specifieke volumestroom bereikt. De

resultaten lijken afhankelijk te zijn van de grofheid van het watervoerende pakket waaruit wordt onttrokken (persoonlijke mededeling Renard Prevoo, WML).



Figuur 35-7 Vacuümkop geplaatst op put van WML (links) en voorbeeld van druk gemeten met een drukopnemer in de put tijdens vacuümjutteren (rechts), persoonlijke mededeling Renard Prevoo, WML.

35.3 Chemische regeneratiemiddelen

Richtlijn 17 Beperk het gebruik van chemische regeneratiemiddelen zoveel mogelijk. Gebruik deze uitsluitend als het echt niet anders kan. Maak vooraf een goede analyse van het verstoppingsprobleem om de juiste chemicaliën en doseertechniek toe te passen.

Bij deze regeneratiemethodes wordt gebruik gemaakt van chemische middelen. Deze kunnen bestaan uit [Makkink et al., 2011]:

- Zuren zoals zoutzuur, citroenzuur, mierenzuur of koolzuur om de verschillende soorten neerslag zoals ijzerhydroxide, aluminiumhydroxide en mangaanoxide op te lossen.
- Reductoren om geoxideerde stoffen zoals ijzerhydroxiden en mangaanoxiden te reduceren (op te lossen) (bijvoorbeeld natriumdithioniet) [Houben et al., 2000]
Dit wordt in Nederland niet veel toegepast.
- Complexvormers (onder andere polyfosfaten) om de opgeloste metalen in oplossing te houden
Polyfosfaten worden ook toegepast om kleideeltjes te dispergeren (uiteen te laten vallen). Dit wordt in Nederland niet veel toegepast.
- Oxidatoren (onder andere natriumhypochloriet-oplossing (chloorbleekloog) en waterstofperoxide) voor het verwijderen van organisch materiaal zoals biomassa. Chloorbleekloog heeft bovendien een dispergerende werking op kleideeltjes.
- Dispergeermiddelen
Bentoniet kan worden verwijderd met behulp van een dispergeermiddel. Hierbij wordt de verbinding tussen de kleiplaatjes verbroken, waardoor de bentoniet boorspoeling minder viskeus wordt en deze zijn gelvormende eigenschappen verliest. Als dispergeermiddel kan gebruik worden gemaakt van het handelsproduct 'Aquaclear' (met polyacrylamide als werkzame stof). Dit is een biologisch afbreekbaar flocculatiemiddel dat vooral veel in waterzuiveringsprocessen wordt gebruikt.
- Bij drinkwaterbedrijf PWN is een viertal diepinfiltratieputten behandeld waarbij het water gedurende enkele dagen tot weken werd geïnfiltreerd. Dit is tweemaal uitgevoerd als test. Het idee achter deze techniek is dat het afbraak stimuleert van biofilm (omdat er geen nutriënten in het water zitten). De vraag hoe lang het effect op de putcapaciteit doorwerkt, is nog onderwerp van onderzoek (persoonlijke mededeling Lucas Borst, PWN).

Er zijn veel regeneratiemiddelen onder allerlei handelsnamen op de markt. Die middelen bestaan uit een mengsel van bovengenoemde chemicaliën. Naast de direct werkzame stoffen kunnen de mengsels nog andere stoffen bevatten, zoals:

- oppervlaktespanning-verlagende stoffen;
- corrosie-inhibitoren (stoffen die corrosie tegengaan).

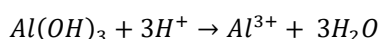
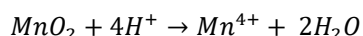
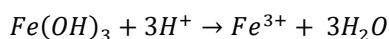
De wettelijke kaders waaraan alle toegepaste chemicaliën moeten voldoen zijn beschreven in praktijkcode PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a].

35.3.1 Chemische behandeling van verstopping op de filterspleten

35.3.1.1 Gebruik van zuur voor verwijderen ijzerneerslag

Om het laatste vuil (ook in de winput) en de afzettingen aan de buitenzijde van het putfilter te verwijderen, wordt de winput in het zuur gezet waardoor de aanwezige neerslag (grotendeels) zal oplossen [Makkink et al., 2011]. Bij de keuze van de chemicaliën moet rekening worden gehouden met het materiaal van de putconstructie. Tegenwoordig bestaan de meeste winputten uit PVC, dat relatief inert is voor chemicaliën. Bij oudere winputten die zijn afgewerkt met koperen of met houten filters of eindkappen moet wel rekening gehouden met de keuze van chemicaliën.

Onder invloed van het zuur vinden de volgende reacties plaats:



Voor het verwijderen van neerslagen van ijzer wordt doorgaans een zuur gebruikt. Neerslagen van mangaan lossen minder goed op met zuur.

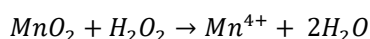
De verspreiding van het zuur moet worden beperkt tot de filterspleten en de eerste centimeters van de omstorting (zie ook risico op gasvorming in onderdeel 35.3.2.2).

Het gebruik van organische zuren wordt afgeraden, omdat de kans op nagroei dan groot is.

35.3.1.2 Gebruik van waterstofperoxide voor verwijderen mangaanneerslag en biofilm

Drinkwaterbedrijven kiezen er soms voor om mangaanoxides te verwijderen met middelen op basis van waterstofperoxide (H_2O_2), omdat er in het verleden positieve resultaten zijn behaald tijdens regeneratie met deze stof. Er is echter geen duidelijke wetenschappelijke basis voor deze praktijk.

Mogelijk speelt een rol dat amorfe mangaanoxides verder oxideren door reactie met waterstofperoxide en vervolgens door afname in volume in kleinere stukjes uiteen vallen die vervolgens kunnen worden verwijderd door afpompen van de put:



Het ligt meer voor de hand om te veronderstellen dat de mangaan in oplossing komt als gevolg van het aanzuren van de peroxide. Bij een verstopping door een combinatie van organisch stof met mangaan kan het daarom verstandig zijn om waterstofperoxide (dat effectief kan zijn tegen biofilm) met extra veel zuur toe te passen; bijvoorbeeld door de stof aan te zuren met 5% in plaats van met 1% zoutzuur.

35.3.1.3 Overwegingen bij verwijderen chemische neerslagen met chemicaliën

Als zich chemische neerslagen hebben gevormd in de omstorting of zelfs in het onttrekkingspakket, dan zal het moeilijker zijn om een put te regenereren. Met de huidige regeneratiemethodes (borstelen en jetten) zijn

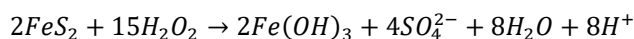
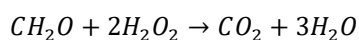
dergelijke verstoppingen lastig te verwijderen en is het lastiger om de chemicaliën in contact te brengen met de neerslag buiten het filter [Makkink et al., 2011].

Daarnaast zijn de in de praktijk gevormde soorten neerslagen op de filterspleten in chemisch opzicht niet zuiver, omdat die doorgaans allerlei bijmengingen bevatten. Als na de eerste chemische behandeling het specifieke debiet niet succesvol kan worden teruggebracht tot de referentiewaarde, kan worden gepoogd om de verstopte put met een ander chemisch middel te behandelen [PBG, 2022].

35.3.2 Chemische behandeling van verstopping op de boorgatwand

35.3.2.1 Gebruik van waterstofperoxide voor de verwijdering van organisch materiaal en ijzersulfides

Het gebruik van waterstofperoxide heeft vanuit milieu-hygiënisch oogpunt de voorkeur [Makkink et al., 2011]. Het oplossen van organisch materiaal en ijzersulfiden door waterstofperoxide kan als volgt worden beschreven:

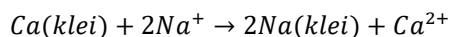
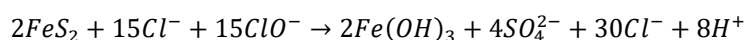
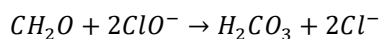


Het is niet nodig dat al het organische materiaal volledig wordt geoxideerd (de oxidatie is volledig als CO_2 en H_2O de eindproducten zijn). Doel van de oxidatie is de geaccumuleerde biomassa uit elkaar te laten vallen, waardoor een en ander kan worden afgevoerd. Bij deze oxidatie worden uit de grote organische moleculen ook kleine eenvoudige organische moleculen gevormd. Deze kleine moleculen zijn goed afbreekbaar voor bacteriën. Waterstofperoxide is een minder krachtig desinfectiemiddel dan chloorbleekloog, waardoor niet alle micro-organismen worden gedood. Door de overmaat aan kleine organische moleculen is het in de praktijk dan ook herhaaldelijk voorgekomen dat na behandeling met waterstofperoxide nagroei optrad [Makkink et al., 2011].

De waterstofperoxide dient altijd te worden aangezuurd met ten minste 1% zoutzuur (soms wordt meer zoutzuur toegevoegd om organische stof of mangaan/ijzer op te lossen), om te voorkomen dat er spontane ontleding optreedt van de peroxide [PBG, 2022].

Bij ernstige gevallen van verstopping of als de werking van waterstofperoxide onvoldoende is, wordt de winput behandeld met een natriumhypochloriet-oplossing [Makkink et al., 2011], ondanks de hogere milieubelasting die laatstgenoemde stof met zich meebrengt. Natriumhypochloriet heeft ten opzichte van waterstofperoxide ook het voordeel dat het de dispersie van kleideeltjes bevordert, waardoor deze deeltjes met water een suspensie vormen. Zo kunnen kleideeltjes van de boorgatwand worden verwijderd.

De chemische reacties die optreden bij het gebruik van natriumhypochloriet zijn:



Natrium hypochloriet moet nooit met zoutzuur worden gemengd, omdat daarbij chloorgas zal ontstaan! Bij oxidatie van organisch materiaal door hypochloriet kunnen gechloreerde koolwaterstoffen ontstaan.

35.3.2.2 Gasvorming bij dosering van zuur

Als het watervoerende pakket kalkhoudend is, is voorzichtigheid geboden bij het aanbrengen van zuur. Het zuur kan namelijk reageren met de aanwezige kalk. Indien het gevormde koolzuurgas in grote hoeveelheden via de winput ontwijkt, ontstaat er een vorm van luchtlichten, waarbij een fontein van water en daarin opgeloste chemicaliën uit de put spuit (een 'spuiter'). Dit geeft veiligheidsrisico's en kan gevolgen hebben voor de vegetatie

rondom de put. Op puttenvelden waar geen ervaring is met chemisch reinigen met zuur wordt daarom geadviseerd om te beginnen met een lage dosering van zuur, bijvoorbeeld 1% zoutzuur bij het aanzuren van waterstofperoxide [PBG, 2022].

Een deel van de gasbellen kan tijdelijk in de poriën van de formatie achterblijven, waardoor het de toestroming van water naar de winput belemmerd en de put verstopt lijkt. Aangezien kooldioxide goed oplosbaar is, zullen gevormde gasbellen (langzaam) in het water oplossen en zo geleidelijk verdwijnen [PBG, 2022]. Als het zuur verder de formatie binnendringt en de pH-waarde toeneemt, bestaat de kans dat de opgeloste kalk weer kan neerslaan rond de winput [Treskatis en Leda, 1998].

35.4 Dosering chemicaliën

35.4.1 Hoeveelheid chemicaliën

Voor het verwijderen van putverstopping op de boorgatwand dient als uitgangspunt voor een 700 mm diameter boorgat het equivalent van circa 20 l chemicaliën (puur product) per meter filter te worden gedoseerd. Aangezien de chemicaliën altijd zijn aangelengd met water, is in de praktijk een groter volume nodig: bij toepassing van 20% waterstofperoxide is bijvoorbeeld 100 L/m filter nodig (20L/20%). Voor putten met een diameter in de range van 500 – 1.000 mm worden in de praktijk vergelijkbare hoeveelheden toegepast.

Bij toepassing van een aparte voor- en hoofdreiniging gebruikt drinkwaterbedrijf Brabant Water de volgende hoeveelheden chemicaliën:

- voorreiniging: 15 l waterstofperoxide 35% + 0,75 liter zoutzuur 33% per meter filter verdunnen naar 7%;
- hoofdreiniging: 30 l waterstofperoxide 35% + 1,50 liter zoutzuur 33% per meter filter verdunnen naar 7%.

Bij het bepalen van het aantal meters filter wordt 4 m overstort (2 m boven en 2 m onder) meegenomen in de berekening.

35.4.2 Methode van inbrengen

Er zijn verschillende methodes om chemicaliën in te brengen tijdens het regenereren van een winput. De meest gangbare methode is het doseren van chemicaliën per filtertraject met behulp van een tremiepijp. Zo kunnen per interval (doorgaans 5 m filterlengte) de chemicaliën worden ingebracht op de gewenste dieptes.

Bij winputten met relatief korte filters (< 20 m) kan ervoor worden gekozen om de chemicaliën van bovenaf toe te voegen. Door de beperkte lengte wordt de kans dat de chemicaliën niet over de volledige lengte van het filter worden ingebracht kleiner geacht dan bij langere filters [PBG, 2022].

Een probleem bij het inbrengen van chemicaliën is dat deze vooral indringen in de goed doorlatende delen. De verstopte delen worden hierdoor niet direct bereikt en in het ongunstigste geval stromen de chemicaliën uitsluitend via enkele goed doorlatende lagen naar de formatie [Raaijmakers, 2008]. Om dit probleem te ondervangen, kunnen de chemicaliën worden ingebracht met een sectieapparaat of rondpompapparaat. De chemicaliën kunnen dan gericht op bepaalde dieptes (of gelijkelijk verdeeld over de hele diepte) worden ingebracht. Deze alternatieve methodes worden toegepast voor winmiddelen met een grote filterlengte, zoals horizontale winmiddelen (bijvoorbeeld de HDDW of de streng van een radiaalput).

Voor het doseren van chemicaliën om verstopping op de filterspleten te verwijderen, kan er gebruik worden gemaakt van de HD-reiniger. Nadeel van deze methode is dat de HD-reiniger niet altijd bestand is tegen de chemicaliën.

Het komt incidenteel voor dat een bepaald dieptetraject van een winfilter is verstopt, bijvoorbeeld omdat een bepaalde laag verstoppingsgevoeliger is doordat die meer fijn materiaal bevat of omdat een winning is verspreid over twee watervoerende pakketten en er tussen deze pakketten kortsluitstroming optreedt. In dergelijke gevallen kan worden gekozen om een of meerdere filters te isoleren met packers en de chemicaliën uitsluitend te doseren in de verstopte trajecten [Ebbing, 2003].

35.4.3 Nadoseren van water

Na het inbrengen, dienen de chemicaliën tot op de boorgatwand te worden verdrongen [Makkink et al., 2011]. De totale hoeveelheid water met chemicaliën die moet worden gedoseerd, dient te worden berekend op basis van filterlengte (L), straal (r) en de porositeit (θ), en de gewenste afstand tot waar de chemicaliën moeten worden verdrongen voorbij de boorgatwand (x):

$$Volume = \pi L_{\text{filter}} \{ r_{\text{filter}}^2 + \theta_{\text{omstorting}} (r_{\text{boorgat}}^2 - r_{\text{filter}}^2) + \theta_{\text{formatie}} ((r_{\text{boorgat}} + x)^2 - r_{\text{boorgat}}^2) \}$$

Doorgaans wordt bij een 'voorwas' orde grootte 25% volume meer gedoseerd dan het volume van de filterbuis met de omstorting (dit komt neer op 15 cm voorbij de boorgatwand van een 750 mm boorgat met 250 mm filterbuis). Bij een daaropvolgende 'hoofdwas' wordt 50% meer gedoseerd, zodat het regeneratiemiddel ook de zone wat verder van de boorgatwand reinigt (25 cm voorbij boorgatwand [PBG, 2022]).

Indien chemicaliën worden gedoseerd vanaf bovenin de stijgbuis, dan dient ook rekening te worden gehouden met het volume van de stijgbuis.

35.4.4 Verdringen van chemicaliën naar boorgatwand

Jutten is de meest toegepaste methode om chemicaliën in te laten werken en te verdringen naar de boorgatwand. Het idee hierbij is dat tijdens het jutten de doorlatendheid van de boorgatwand wat verbeterd, waardoor de chemicaliën beter verspreiden naar de verstopte delen [Raat et al., 2008].

Soms wordt er gejutterd tijdens het nadoseren van water: dus na elke paar jutterslagen water doseren.

In tegenstelling tot bij mechanisch reinigen (zie subparagraaf 35.2.6) wordt er niet afgepompt tijdens het jutten. Het jutten vindt plaats bij 1 – 2 bar en kan langer doorgaan (de hele nacht/12 uur [PBG, 2022]).

Een te lange inwerktijd (> 1 dag) brengt ook microbiologische risico's met zich mee wanneer de chemicaliën door achtergrondstroming te ver het watervoerend pakket intrekken. Hierdoor kan nagroei ontstaan (veroorzaakt doordat de chemicaliën het organisch materiaal in de afbreken en de vrijkomende voedingsstoffen vervolgens niet goed kunnen worden weggepompt [PBG, 2022]).



Figuur 35-8 Het gereedmaken van een regeneratie met het regeneratiemiddel chloorbleekloog (foto Wim Lemmens, Brabant Water).

35.5 Combinaties van regeneratiemethodes

Regeneratie van boorgatwandverstopping is lastig, omdat de verstopping moeilijker te bereiken is. In de praktijk worden bij putten voor drinkwater met verstopping op de boorgatwand de volgende stappen uitgevoerd, waarbij verschillende regeneratiemethodes worden gecombineerd [PBG, 2022].

- Nulmeting van het specifieke debiet en de intredeweerstand
Deze meting wordt na elke regeneratiestap herhaald.
- HD-reinigen
Deze stap wordt toegepast als er aanwijzingen zijn dat er chemische neerslagen of biofilms aanwezig zijn in de omstorting of filterspleten (bijvoorbeeld op basis van historische camerabeelden), er sprake is van een hoge intredeweerstand of materiaal dat bij een eerdere HD-reiniging is vrijgekomen. Het is bedoeld om te voorkomen dat de chemicaliën reageren, voordat die de boorgatwand bereiken.
- Inbrengen van chemicaliën (5% zoutzuur met 35% waterstofperoxide) door middel van tremie.
- Enkele uren jutteren en doseren van water om de chemicaliën te verdringen.
- Intermitterend schoonpompen.
- Eventueel herhalen van chemische reiniging (voor- en hoofdwas).
- Sectiegewijs schoonpompen
Sectiepompen is onder andere bedoeld om te voorkomen dat er nagroei optreedt, doordat er resten makkelijk afbreekbaar biologisch materiaal achterblijven rond de put.

Chemische verstopping wordt doorgaans behandeld met HD-reiniging. Soms is dit niet afdoende, bijvoorbeeld omdat de neerslagen zijn uitgehard of in de omstorting zitten. Met name mangaanoxides zijn lastig verwijderbaar zonder chemicaliën. In dergelijke gevallen wordt de put ook gereinigd met zoutzuur of aangezuurde waterstofperoxide.

35.6 Monitoren van het regeneratieproces

Bij het uitvoeren van een regeneratie wordt een aantal metingen en waarnemingen uitgevoerd. Doorgaans worden er vooraf metingen gedaan om te kijken of de regeneratie nodig is (zie hoofdstuk 33) en worden deze metingen ook

tijdens de regeneratiestappen en na afloop van de regeneratie uitgevoerd om het effect van de regeneratie te meten. Gebruikelijke metingen zijn [Makkink et al., 2011]:

- het specifieke debiet;
- de intreeweerstand.

Beide metingen worden bij start van de werkzaamheden en na iedere regeneratiestap gedaan en zijn bedoeld om het effect van de regeneratie vast te stellen (zie § 35.7).

Afhankelijk van de omstandigheden kunnen de volgende metingen of waarnemingen noodzakelijk zijn:

- Camera-inspectie om te controleren of er chemische neerslagen zijn in een put (vóór regeneratie) en waar nog resten zichtbaar zijn (als uit de intreeweerstand metingen blijkt dat er nog weerstand is over het winfilter, zie § 33.7).
- Flowmeting met name wanneer een winfilter over meerdere pakketten is verdeeld en moet worden uitgesloten dat een bepaald pakket is verstopt (zie § 33.8).
- De concentratie en korrelgrootteverdeling van zand in het onttrokken water
Om uit te sluiten dat er zandlevering optreedt door beschadiging van het winfilter. Met name aanwezigheid van filtergrind is een slecht voorteken. Let op: Vaak komen wel wat platte grindkorrels mee tijdens regeneratie die toevallig overdwars door de filterspleten passen ('platjes').

35.7 Effect van de regeneratie

Een regeneratie is geslaagd als de resultaten voldoen aan twee criteria [Makkink et al., 2011]:

- 1 Het specifieke debiet van de winput na regeneratie moet ten minste even groot zijn als het specifieke debiet bij oplevering of na de vorige regeneratie, tenzij al van te voren bekend is dat de put niet meer naar nieuwwaarde of vorige waarde kan worden gebracht.
In de praktijk komt het bij op de boorgatwand verstopte putten regelmatig voor dat het specifieke debiet na regeneratie hoger is dan bij oplevering. Dit is uitsluitend mogelijk als de winput bij ingebruikneming niet volledig is ontwikkeld.
- 2 Het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende regeneraties moet groot genoeg zijn. Mocht een winput zeer frequent verstopten (en binnen een relatief korte periode van 5 jaar opnieuw regeneratie behoeven), dan kan het zijn dat de gekozen regeneratiemethodes niet voldoen of de bedrijfsvoering niet past bij de condities in het winpakket.

Als regeneratie nauwelijks effect heeft (specifiek debiet < 75% van referentiewaarde), kan het noodzakelijk zijn de winput nog een keer te behandelen. Als de winput wel aanzienlijk is verbeterd (> 90% van referentiewaarde), kan de winput in bedrijf worden genomen.

Als regeneratie niet het gewenste effect heeft, kunnen de volgende vragen worden gesteld:

- Is de diagnose juist gesteld?
- Is de juiste regeneratiemethode gekozen?
- Is de regeneratiemethode correct toegepast?
- Hebben verschillende soorten neerslag bijgedragen aan de verstopping? Als dat het geval is, zal er voor elk soort neerslag een specifiek regeneratiemiddel moeten worden toepast.

Bij het regenereren van winputten wordt altijd geprobeerd het specifieke debiet van de pompput terug te brengen naar de referentiewaarde. Als dat niet mogelijk is, moet de conclusie worden getrokken dat de winput 'chronisch verstopt' is en dat een afweging moet worden gemaakt over het vervangen van de put. Uiteraard hangt dit ook af

van de restlevensduur van de put en de kosten van een nieuwe winput vergeleken met periodieke regeneratie. Soms wordt ervoor gekozen een hardnekkig verstopte put toch in bedrijf te houden en een nieuwe (lagere) referentiewaarde te definiëren. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de totale capaciteit die het wingebed als totaal moet kunnen leveren.

35.8 Veiligheid en milieu

Richtlijn 18 Voldoe aan de in de vergunning gestelde eisen met betrekking tot lozen van spoelwater.

Regeneratie van pompputten is voor de uitvoerders niet zonder gevaar [Makkink et al., 2011]. Vaak wordt er gewerkt met grote (lucht)drukken en met potentieel gevaarlijke chemische stoffen. Ook kunnen de chemische stoffen bodemverontreiniging veroorzaken. Er moet dan ook niet worden vergeten om na te gaan welke eisen de vergunning of eventuele aanvullende afspraken met bevoegd gezag stellen ten aanzien van het lozen van spoelwater (zie PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a]).

35.8.1 Veilig werken

Richtlijn 19 Hanteer altijd de gebruikersspecificaties en gespecificeerde beschermingsmiddelen voor de apparatuur en chemicaliën tijdens regeneratie

Het is noodzakelijk om op een verantwoorde en veilige manier met de apparatuur en met chemische regeneratiemiddelen om te gaan [Makkink et al., 2011]. Voorafgaand aan het gebruik moet altijd de gebruikersspecificatie van de apparatuur en de chemische regeneratiemiddelen worden doorgenomen. Te allen tijde dienen de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen te worden gebruikt. Er is zorgvuldigheid geboden bij het aanmaken van een oxidator/zuur. Zo dient altijd geconcentreerde oplossing in de juiste verhouding aan het verdunningswater te worden toegevoegd. Er mag nooit water aan een geconcentreerde oplossing worden toegevoegd, want 'water op zuur, komt u duur!'

Bij onjuist gebruik van natriumhypochloriet-oplossing (bijvoorbeeld bij menging met zoutzuur) kan chloorgas worden gevormd. Chloorgas is irriterend en kan bij hoge concentraties brandwonden en vergiftiging veroorzaken. Bij het gebruik van waterstofperoxide kan door snelle ontleding (contact met vervuiling, te hoge pH) een geiser ontstaan uit de winput.

Berucht is het ophopen van gasen in een putkelder. Vooral tijdens het regenereren mogen deze ruimtes niet worden betreden. Dit mag uitsluitend als er strenge voorzorgsmaatregelen zijn getroffen.

35.8.2 Lozen bij toepassing van chemisch regeneratiemiddel

Richtlijn 20 Voorkom verontreiniging van oppervlaktewater en bodem bij de verwerking van het spoelwater dat vrijkomt bij de regeneratie.

Na toepassing van chemische regeneratiemiddelen komen tijdens het schoonpompen vaak resten van het regeneratiemiddel vrij. Daarnaast komen (ook bij mechanisch reinigen) hoge concentraties opgeloste en gesuspendeerde stoffen vrij als gevolg van reactie tussen de chemicaliën en het verstoppingsmateriaal, en de formatie rond de put zoals organisch materiaal, ijzer of sulfaat. Het water is vaak troebel en zuur (of juist basisch). Deze stoffen mogen niet zonder meer worden geloosd in het milieu. Ook anoxisch grondwater kan niet zonder meer worden geloosd in de bodem of op het oppervlaktewater, omdat dit de zuurstofhuishouding in het ontvangende milieu zal beïnvloeden [PBG, 2022].

Bij lozing op het oppervlaktewater dient de waterkwaliteit van het lozingswater te voldoen aan de eisen die de waterkwaliteitsbeheerder stelt, zie bijlage VIII van praktijkcode PCD 4 [Meerkerk, 2020]. Als er een riolering aanwezig is, kan het gebruikte spoelwater daarop worden geloosd mits daarvoor een vergunning is aangevraagd en

verkregen. Er mag uitsluitend op het maaiveld worden geloosd als het spoelwater geen chemicaliën bevat. Soms kan het spoelwater (na neutralisatie) op de spoelwateropvang of slibvijver (indien aanwezig) van de drinkwaterproductielocatie worden geloosd [PBG, 2022].

Na de regeneratie van een winput met natriumhypochloriet-oplossing kan het onttrokken grondwater tijdens het schoonpompen van de winput lage concentraties gechloreerde koolwaterstoffen zoals chloroform bevatten. Deze vluchtige stoffen kunnen uit de vloeistof worden verwijderd via beluchting voorafgaand aan lozing [Makkink et al., 2011]. Als het water te zuur (of basisch) is, moet het worden geneutraliseerd door eerst een base (of zuur) te doseren voorafgaand aan lozing [PBG, 2022].

Om de troebelheid te verlagen en gesuspendeerde stoffen af te vangen, wordt onttrokken water vaak via een bak (enkele m³ groot) met stro geleid [PBG, 2022].

35.8.3 Milieu ontzien

Om het milieu zoveel mogelijk te ontzien, verdient het aanbeveling [Makkink et al., 2011]:

- De hoeveelheid regeneratiemiddel te beperken.
- Een chemisch middel te gebruiken dat het milieu zo weinig mogelijk belast (aangezuurde waterstofperoxide in plaats van natriumhypochloriet-oplossing, tenzij regeneratie met waterstofperoxide bewezen ineffectief is op een locatie).
- Het aantal regeneraties met chemicaliën te minimaliseren.
- Zoveel mogelijk een techniek te kiezen waarbij geen chemicaliën worden gebruikt (borstelen, jetten, jutteren).

Chemische regeneratiemiddelen dienen over een 'erkende kwaliteitsverklaring' te beschikken, zie subparagraaf 2.3.2 van PCD 13-1 [Van der Schans en Meerkerk, 2019a].

36 Overige onderhoud

36.1 Onderhoud onderwaterpompen

Doel van het onderhoud aan pompen is handhaving van het pomprendement, dat op zijn beurt belangrijk is voor het behoud van productiecapaciteit. Bij onderhoud aan een onderwaterpomp wordt onderscheid gemaakt tussen klein en groot onderhoud. Klein onderhoud is het reinigen van de pomp en onder groot onderhoud wordt het reviseren van de pomp verstaan. Klein onderhoud aan de pomp wordt over het algemeen door de medewerkers van de drinkwaterbedrijven zelf uitgevoerd. Grootonderhoud (revisie dus) of reparatie van een defect wordt meestal door de fabrikant of leverancier van de pomp uitgevoerd. Het doel van onderhoud aan pompen is het garanderen dat het juiste rendement wordt behaald. Zo kan worden gegarandeerd dat de productiecapaciteit van de winput wordt gehandhaafd [Makkink et al., 2011].

Niet alle drinkwaterbedrijven voeren onderhoud aan pompen uit. Bedrijven die geen onderhoud laten uitvoeren, doen dit op basis van economische overwegingen. In sommige gevallen is het goedkoper om een defecte pomp te vervangen dan de arbeidskosten die nodig zijn om deze te laten reviseren [Makkink et al., 2011].

Onderhoud aan pompen wordt doorgaans uitgevoerd in combinatie met andere werkzaamheden. Bij het onderhoud van de onderwaterpomp dient deze uit de winput te worden gehaald [PBG, 2022].

36.1.1 Criteria voor onderhoud pompen

De belangrijkste criteria om over te gaan tot onderhoud zijn [Makkink et al., 2011]:

- een teruglopend pomprendement;
- het aantal draaiuren;
- een slecht werkende pomp;
- de situatie ter plaatse.

De eerste twee criteria vallen onder de preventieve maatregelen en de laatste twee onder de curatieve maatregelen.

36.1.1.1 *Teruglopend pomprendement*

Het rendement van de pomp kan teruglopen door een slecht werkende pomp of door verstopping van de winput [Makkink et al., 2011]. Bij putverstopping kost het de pomp meer energie om het debiet op hetzelfde niveau te houden. Door metingen uit te voeren, kan worden vastgesteld wat de oorzaak is. Doorgaans wordt er altijd onderhoud aan de pomp uitgevoerd als de winput wordt geregenereerd. Aan de hand van het verloop van het energiegebruik van de pomp wordt vastgesteld wanneer er onderhoud aan de pomp moet worden uitgevoerd. Deze criteria zijn afhankelijk van de gebruikte pomp en het beleid van een drinkwaterbedrijf.

36.1.1.2 *Aantal draaiuren*

Doorgaans wordt er standaard onderhoud uitgevoerd als een pomp 10.000 tot 30.000 uren heeft gedraaid of nadat een pomp een aantal jaren (tot soms wel zeven jaar) in bedrijf is geweest [Makkink et al., 2011]. De frequentie van onderhoud op basis van de draaiuren wordt gebaseerd op de productspecificaties van de fabrikant van een onderwaterpomp.

Er is een verband tussen de onderhoudsfrequentie en de kwaliteit van het onttrokken water. In het algemeen moet vaker onderhoud worden gepleegd naarmate de kwaliteit van het water slechter is. Een winput die ijzer- en

mangaanrijk water, en zuurstofhoudend water aantrekt, zal als gevolg van de optredende neerslag extra onderhoud vergen. De pomp zal dan vaker voor onderhoud uit de winput (moeten) worden gehaald.

36.1.1.3 *Slecht werkende pomp*

Als een pomp niet meer naar behoren werkt, wordt die een onderhoudsbeurt gegeven of vervangen [Makkink et al., 2011]. De werking van de pomp wordt gecontroleerd door:

- De stroomsterkte in de voedingskabel naar de motor te meten (meggeren).
- Alarmering
Als bijvoorbeeld de waterkolom boven de pomp te klein wordt (kans op drooglopen), zal de pomp automatisch worden uitgeschakeld, zodat schade wordt voorkomen.
- ‘Het luisterend oor’ van de bedrijfsvoerder.
- De werking van de voetklep te controleren.

Tijdens het bepalen van het specifieke debiet (wat over het algemeen een tot enkele malen per jaar plaatsvindt) wordt er ook aandacht besteed aan de werking van de pomp.

36.1.1.4 *Plaatselijke situatie*

Of een pomp al dan niet in onderhoud zal gaan, is ook afhankelijk van de plaatselijke situatie [Makkink et al., 2011]. Dit is mede afhankelijk van:

- de putconstructie;
- de waterkwaliteit;
- de mate waarin de winput is verstopt of met andere woorden hoe lang het nog duurt voordat de winput moeten geregenereerd.

36.1.2 **Werkwijze**

Tijdens normaal bedrijf wordt onderhoud aan pompen gecombineerd met regeneratie van de winput [Makkink et al., 2011]. Soms komt het voor dat een winput niet wordt geregenereerd, omdat dat niet nodig is. In die gevallen wordt uitsluitend onderhoud aan de pomp uitgevoerd.

Onderhoud aan de pomp bestaat uit de volgende werkzaamheden:

- verwijdering ijzer- en mangaanaanslag;
- controle van de werking en eventueel herstel van de terugslagklep;
- algemene controle van de hele onderwaterpomp, inclusief de motor, elektrische aansluiting en pompkabel;
- reiniging haalbuis of stijgleiding.

Als na inspectie van de pomp blijkt dat deze een aantal mankementen heeft, kan de pomp worden vervangen of worden gereviseerd.

36.1.3 **Evaluatie en administratie**

Voordat de pomp wordt terughangen, wordt gecontroleerd of de pomp goed werkt en of de juiste pomp in de juiste winput is gemonteerd [Makkink et al., 2011]. Als er pompen worden verwisseld tussen winputten wordt er een verkeerd beeld van de werking van de pomp en/of van de winput verkregen. Voor de continuïteit van de administratie is het dus van belang dat hierop toezicht wordt gehouden. Dit kan worden gedaan door de relevante gegevens van de pomp vast te leggen en te linken aan een betreffende winput. Zowel het uitgevoerde onderhoud als het aantal draaiuren wordt geregistreerd op een pompenkaart, in het machinearchief of in een database. Alle relevante gegevens van de pomp worden hierin opgenomen, inclusief de gegevens en wijzigingen van de winput.

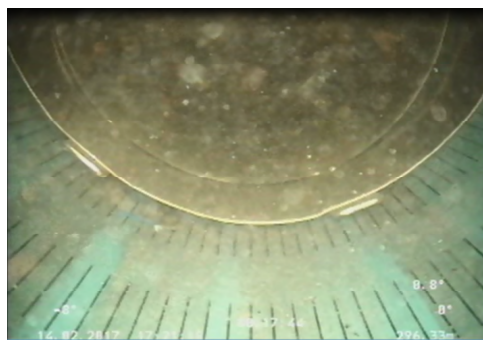
36.2 Onderhoud filterbuis en stijgbuis

Indien er zandlevering of kortsluitstroming optreedt door lekkage van de filterbuis of stijgbuis kan worden overwogen om deze te repareren [PBG, 2022]. Tabel 36-1 geeft een overzicht van een aantal beschikbare oplossingen. In de praktijk wordt in Nederland overigens vaak gekozen om beschadigde putten te vervangen in plaats van op te lappen, aangezien het meestal om oudere putten gaat die beschadigd raken.

Tabel 36-1 Oplossingen voor vaak voorkomende problemen, inclusief bijbehorende voor- en nadelen (aangepast op basis van [Makkink et al., 2011]).

Probleem	Oplossing	Voor- en nadelen
Zandlevering door slecht ontwerp. Vaak over langere trajecten.	PVC binnenfilter en binnenomstorting aanbrengen	<i>voordelen</i> • bewezen techniek • te combineren met omstortingsmateriaal <i>nadelen</i> • kleinere binnendiameter maakt de put lastiger te betreden met regeneratietools; regeneraties mogelijk minder effectief • toename specifieke afpompingsweerstand in vernauwde filterbuis • Risico op extra verstopping door zandophoping buiten het winfilter. • Niet toepasbaar indien er een haalbuis zit halverwege het winfilter. Deze nadelen zijn deels te ondervangen door de binnenfilters zodanig te installeren dat ze bij onderhoud verwijderd kunnen worden
Zandlevering door beschadigingen. Vaak lokaal.	Reparatiestuk plaatsen	<i>voordelen</i> • geringe verkleining binnendiameter • winput • nauwelijks effect op opbrengst <i>nadelen</i> • alleen voor kleinere filterlengtes • geen omstorting mogelijk
Slechte waterkwaliteit in diepste filtertraject (verzilting).	volstorten met onderwaterbeton	<i>voordelen</i> • robuust en goedkoop <i>nadelen</i> • niet duurzaam: bij afwezigheid kleilagen trekt water naar hoger gelegen filterdelen
Slechte waterkwaliteit in hoger gelegen filtertraject.	afblinden met binnenbuis	<i>voordelen</i> • relatief goedkoop <i>nadelen</i> • niet duurzaam: bij afwezigheid kleilagen trekt water naar lager gelegen filterdelen • kleinere binnendiameter winput
Twee of meer typen grondwater, die gescheiden moeten worden onttrokken.	gescheiden filtertrajecten, af te pompen door afzonderlijke pompen	<i>voordelen</i> • in principe duurzaam <i>nadelen</i> • technisch gecompliceerd • grensvlak kan verschuiven en is soms onduidelijk
Lekkage stijgbuis op meerdere dieptes	Aanbrengen lining in stijgbuis	<i>voordelen</i> • in principe duurzaam <i>nadelen</i> • minder ruimte voor pomp (afhankelijk van diepte)

Probleem	Oplossing	Voor- en nadelen
		• doorvoer voor regeneratietools bemoeilijk • toename specifieke afpompings door stromingsweerstand in vernauwde filterbuis



Figuur 36-1 Voorbeeld van een scheur in een HDDW op drinkwaterproductielocatie Meijendel (Dunea) vóór (links) en ná reparatie met een zelfspannende RVS-clip midden). Rechts een demonstratie van een reparatie met zwelrubber (QRS seal van firma Boode, die vooralsnog niet over de vereiste erkende kwaliteitsverklaring beschikt).

Het repareren van een kapotte stijgbuis of winfilter gebeurt al decennia lang met een RVS-clip (zie Figuur 36-1 links). In 2021 is door drinkwaterbedrijf Vitens een reparatie uitgevoerd door middel van zwelrubber. Meer recent zijn ook putten gerepareerd door middel van zwelrubbers (zie Figuur 36-1 rechts).

In het geval de toestroming niet gelijkmatig over de diepte van het filter is verdeeld, kan een binnenbuis met een op maat gemaakte perforatie worden toegepast die tot doel heeft de toestroming van grondwater vanuit het watervoerende pakket naar de winput te egaliseren. Dit wordt gerealiseerd door de toestroming vanuit de beter watervoerende secties van het filtertraject af te remmen, waardoor de andere secties (die normaliter minder leveren) bij gelijkblijvend pompdebiet meer worden belast [Makkink et al., 2011]. De drinkwaterbedrijven hebben geen ervaring met deze toepassing [PBG, 2022].

36.3 Onderhoud putkopconstructie

De putkopconstructie dient goed schoon te worden gehouden door [PBG, 2022]:

- spuien;
- chemische behandeling.

Daarnaast dienen alle onderdelen in de putkopconstructie te allen tijde waterdicht te zijn ter voorkoming van microbiologische verontreiniging (zie PCD 1-2 [Van der Schans et al., 2016]). Hierom dient er te worden gecontroleerd of:

- Er geen sprake is van lekkage van filters, beluchters en ontluchters
Hiervoor dienen deze te worden gecontroleerd op afsluitbaarheid. Indien de afdichtingen niet goed meer functioneren, moeten deze worden vervangen.
- Controleren of alle doorvoeren (pompkabels, drukopnemers) waterdicht zijn.
- Werking van de watermeter van de winput controleren.
- Nagaan of de melding van storing 'water op de bodem van de putconstructie' wel goed wordt gemonitord.

36.4 Onderhoud waarnemingsbuizen

Deze paragraaf heeft betrekking op de waarnemingsfilters en stijgbuizen van zowel winputten als waarnemingsputten.

Waarnemingsbuizen kunnen met vergelijkbare degradatie- en faalmechanismen kampen als winputten, bijvoorbeeld [PBG, 2022]:

- verstopping;
- zandlevering, door beschadiging van het waarnemingsfilter of stijgbuis;
- kortsluitstroming door lekkage van de stijgbuis of kleipropen;
- inundatie, met name bij buizen die zijn afgewerkt in een straatpot.

Deze processen kunnen leiden tot foutieve stijghoogtemetingen, verontreiniging van waterkwaliteitsmonsters met ondiep grondwater, extra onderhoudskosten en uiteindelijk zelfs tot vervanging van de buis [PBG, 2022].

Er zijn verschillende methoden om de conditie van waarnemingsputten te bepalen [PBG, 2022]:

- Het meten van de afpompings tijdens monsterneming
Niet-verstopte buizen hebben bij een debiet van 2 L/min enkele decimeters afpompings. Een veel grotere afpompings kan betekenen dat de put is verstopt (maar kan ook worden veroorzaakt, doordat deze in een slecht doorlatende laag is geplaatst of droog is gevallen). Een toename van de afpompings tijdens monsterneming ten opzichte van eerdere jaren kan ook een indicatie zijn voor verstopping.
- Het peilen van de diepte in het waarnemingsfilter en deze diepte vergelijken met de onderkant van het peilfilter bij oplevering
Mocht hierin een groot verschil zitten, dan betekent het dat er zand is geaccumuleerd op de bodem van het waarnemingsfilter. Als dit in een kort tijdsbestek frequent zou plaatsvinden, dan kan dit een teken zijn dat er een lekkage is in de filter- of stijgbuis, waardoor het zand naar binnenstroomt.
- Visuele inspectie
Als de stijgbuis aan de bovenkant nog heel is, vindt er geen inundatie plaats en stroomt er geen artesisch water uit.
- Stijghoogtemetingen
Als de stijghoogte (incidenteel) hoger is dan de bovenkant van de stijgbuis, dan moet op inundaties of artesische condities worden gecontroleerd. Metingen kunnen dus aanleiding geven voor onderhoud.
- Waterkwaliteitsmetingen
Veranderingen in de waterkwaliteit of het aantreffen van stoffen die niet passen bij de geohydrologische setting kunnen soms een indicatie zijn dat de stijgbuis lek is. Metingen kunnen dus aanleiding geven voor onderhoud.
- Waterkwaliteit tijdens schoonpompen
Wanneer conservatieve waterkwaliteitsparameters (zoals chloride, EGV) tijdens het verversen van de stijgbuis afwijken van de samenstelling na drie keer verversen, dan kan dit ook duiden op het instromen van ondiep grondwater of run-off. Verschillen kunnen ook worden veroorzaakt door verandering van de grondwaterkwaliteit in het winfilter sinds de laatste monsterneming.
- Ballontest (packers), om eventuele lekkages van de stijgbuis te detecteren.
- Boorgatmeting, om aanwezigheid van kleilagen te controleren
Deltares beschikt over een sensor (EM-slimflex) die geschikt is voor waarnemingsbuizen.

Oplossingen:

- Ontzanden ('stofzuigen') vindt plaats door middel van luchtliften in een tremiebuis die tot net boven de bodem van het waarnemingsfilter wordt ingebracht.

- Schoonpompen van waarnemingsfilters met hoog debiet (10 L/min) of middels luchtliften van de gehele buis.
- Aanbrengen van een binnenbuis (lining), in het geval de stijgbuis lekt.

Onderhoudsschema:

Geadviseerd wordt om waarnemingsputten als volgt preventief te onderhouden [PBG, 2022]:

- Inmeten -> elke 5 jaar (in zettingsgevoelige gronden) tot 10 jaar (in niet zettingsgevoelige gronden) als de waarnemingsbuis onderdeel is van stijghoogtemeetnet
Aandachtspunt bij het inmeten is om te zorgen dat alle assets met apparatuur met een vergelijkbare nauwkeurigheid worden ingemeten, om te voorkomen dat een verschil in meetnauwkeurigheid leidt tot structurele verschillen in referentieniveaus. Verschillende soorten of versies van GPS resulteren in een andere nauwkeurigheid waardoor onderling structureel grotere verschillen kunnen ontstaan.
- Peilen van diepte -> idem
- Schoonpompen -> idem
- Meten van afpompings tijdens monsterneming -> in principe elke meetronde door monsternemen indien buis onderdeel is van waterkwaliteitsmeetnet
Ten minste elke 5 – 10 jaar met frequentie afhankelijk of er problemen zijn in vergelijkbare buizen (vergelijkbare leeftijd, watervoerend pakket).
- Visuele inspectie -> idem
- Controle stijghoogtemetingen en waterkwaliteitsmetingen op afwijkende waarden -> idem.

Aanpassingen moeten worden genoteerd in metadata, bijvoorbeeld wijziging bovenkant buis.

36.5 Onderhoud waarnemingsputten

Conditiebepaling en onderhoud:

Voor waarnemingsputten gelden (naast het in § 36.4 beschreven onderhoud aan de waarnemingsbuizen) dat ook preventief onderhoud/controle nodig is:

- Nagaan of waarnemingsputten nog vindbaar zijn. Met name in duingebieden komt het voor dat putten onderstuiven.
- Nagaan of de put nog goed toegankelijk, bijvoorbeeld door dichtgroei met onkruid of struiken.
- Ontbreken van labels, doppen, kappen, sloten, en deksels.
- Ongedierte in de waarnemingsput.
- Verzakking van de waarnemingsput.

Onderhoudsschema:

Bovenstaande werkzaamheden dienen ten minste iedere 5 – 10 jaar plaats te vinden, afhankelijk of er problemen zijn in vergelijkbare putten (vergelijkbare leeftijd). Maaien en snoeien dient soms frequenter plaats te vinden om de put bereikbaar te houden.

Aanpassingen moeten worden genoteerd in metadata, bijvoorbeeld wijziging bovenkant buis.

36.6 Onderhoud terreinleidingen

Terreinleidingen transporteren het ruwwater van de winputten naar de zuiveringsinstallatie. Als gevolg van dat transport treden onder meer de volgende processen op [Makkink et al., 2011]:

- sedimentatie van in het ruwwater aanwezige deeltjes;
- afzetting van ijzerhydroxide en/of mangaanoxide en/of vorming van een biofilm op de binnenwand van de leiding.

Deze processen kunnen tot de volgende problemen leiden:

- door sedimentatie treden problemen op met de kwaliteit van het water (hoge periodieke sedimentbelasting);
- door afzetting op de leidingwand kunnen terreinleidingen dichtslibben, wat tot energie- en capaciteitsverlies leidt.

Om problemen te voorkomen, worden terreinleidingen schoongemaakt (regeneratie van terreinleidingen). Het doel van het regenereren van terreinleidingen is een ongestoorde levering van ruwwater voor wat betreft de waterkwaliteit en de aanvoercapaciteit, waarbij voor het transport een minimale hoeveelheid energie wordt gebruikt.

In praktijkcode PCD 6 [Mesman et al., 2016] is een handleiding gegeven voor de omgang met de conditiebepaling van verschillende type leidingen en verbindingstypen.

36.6.1 Oplossingen en werkwijze

Opwervelbaar sediment in terreinleidingen kan worden verwijderd door de leidingen te spuien [Makkink et al., 2011]. Spuien vindt plaats door water door de leidingen te pompen, met een snelheid die de normale stroomsnelheid van het ruwwater in de leidingen ruim overschrijdt (bij voorkeur een snelheid van 1,5 m/s en twee tot drie verversingen, zie praktijkcode PCD 2 [Mesman en Meerkerk, 2015]).

Afzettingen op de leidingwand kunnen worden verwijderd door de wanden te schrapen of door te propfen.

Regeneratie van terreinleidingen worden in de volgende vier fasen uitgevoerd:

- analysefase;
- voorbereidingsfase;
- uitvoeringsfase;
- evaluatie.;

36.6.2 Voorbereidingsfase

De voorbereiding voor de regeneratie van terreinleidingen kan worden verdeeld naar de aard van de vervuiling [Makkink et al., 2011]. Het volgende onderscheid wordt gemaakt:

- Leidingen met opwervelbaar sediment
Voor het verwijderen van opwervelbaar sediment wordt een spuiplan opgesteld (zie praktijkcode PCD 2 [Mesman en Meerkerk, 2015]).
- Leidingen met afzetting op de wand
Voor het verwijderen van afzettingen op de binnenwand van de leidingen wordt een schoonmaakplan opgesteld (zie praktijkcode PCD 2 [Mesman en Meerkerk, 2015]).

36.6.3 Uitvoering

Het is aan te raden (en bij veel bedrijven zelfs verplicht) om het spuiplan en/of schoonmaakplan op te zetten in samenwerking met de voor de productie en de distributie verantwoordelijke afdelingen [Makkink et al., 2011].

De regeneratiewerkzaamheden worden uitgevoerd volgens het opgestelde spuiplan en/of schoonmaakplan. Bij het invullen van de spuiformulieren moeten ook eventuele bijzonderheden en wijzigingen in het spuiplan en/of schoonmaakplan worden vermeld.

36.6.4 Evaluatie

Na de regeneratie van de terreinleidingen wordt het uitgevoerde werk geëvalueerd [Makkink et al., 2011]. Er wordt nagegaan of het beoogde doel is bereikt. Door het uitvoeren van herhalingsmetingen (zoals monitoren van de waterkwaliteit, bekijken van het energiegebruik, eventueel uitvoeren van endoscopie) wordt het resultaat vastgesteld. Verder worden eventuele problemen die zich bij de diverse onderdelen van het werk hebben voorgedaan, geëvalueerd. Tevens wordt nagegaan hoeveel tijd er is besteed aan de regeneratiewerkzaamheden.

Wanneer duidelijk is wat de aard van het vervuilingsmechanisme is en wat de kosten van de regeneratie zijn, kan er een afweging worden gemaakt tussen twee oplossingen:

- De oorzaken van de problemen aanpakken (bronaanpak).
- Regelmatig onderhoud/schoonmaakacties uitvoeren.

36.7 Onderhoud horizontale winfilters

Het onderhoud aan drains, radial collector wells en HDDW's wijkt op een aantal punten af van verticale winmiddelen [PBG, 2022]:

- Chemische neerslagen in drainageleidingen worden ook wel verwijderd door middel van proppen.
- Horizontale winmiddelen hebben vaak een veel langer winfilter dan verticale putten. Dit maakt het lastig om voldoende snelheid op de boorgatwand te genereren bij schoonpompen. Hiertoe zal het filter versneld moeten worden afgepompt.
- Horizontale winmiddelen zijn kwetsbaar voor zandlevering. Vooraf moet worden gecontroleerd welke mechanische reinigingstechnieken in het verleden zijn toegepast en met welke intensiteit. Bij toepassing van andere technieken of hogere intensiteit (hogere druk, energieniveau, debiet) dient eerst een stukje te worden getest om na te gaan dat er geen ongecontroleerde zandlevering optreedt.

37 Abandoneren en amoveren

Richtlijn 21 De boorfirma dient te voorkomen dat verontreiniging, verontreinigd grondwater of grondwater met een andere kwaliteit zich kan verplaatsen via een buiten gebruik gestelde winput (= invulling BRL Protocol 2101, eis 19). De boorfirma zorgt ervoor dat het afdichtingsmateriaal ten behoeve van het dempen van de winput de scheidende lagen volledig afdicht en dat het geen verontreinigingen bevat (= invulling BRL Protocol 2101, eis 16).

Winputten die permanenten buiten gebruik worden gesteld (abandoneren) moeten worden afgedicht om te voorkomen dat er uitwisseling van grondwater tussen verschillende watervoerende pakketten kan plaatsvinden.

Het drinkwaterbedrijf moet zorg dragen dat deze afdichting volgens wettelijk vereiste voorschriften (BRL protocol 2102, eis 16) wordt uitgevoerd door een daartoe gecertificeerd bedrijf. In de vergunningsvoorwaarden moet worden nagegaan bij wie de winput na dempen moet worden afgemeld.

Buiten gebruik gestelde filters mogen niet worden verwijderd. Leidingen met een diameter < 100 mm moeten over de gehele lengte worden gevuld met afdichtingsmateriaal.

Buiten gebruik gestelde putten met een diameter > 100 mm waarvan op grond van de boorstaat bekend is op welke diepte zich de scheidende lagen bevinden, worden ter hoogte van de in de bodem voorkomende scheidende lagen geheel afgevuld met afdichtingsmateriaal. Hierbij wordt het afdichtingsmateriaal over minimaal 2 m aangebracht (ook als de dikte van de scheidende laag minder dan 2 m is). Tusseliggende stukken worden afgevuld met grind of filterzand. Als de exacte diepte van de scheidende lagen niet bekend is, moet er over de gehele lengte van de filterbuis afdichtingsmateriaal worden aangebracht.

Het afdichtingsmateriaal (bijvoorbeeld zwelklei) moet gegarandeerd een doorlatendheid hebben van minder dan 10^{-9} m/s.

38 Plannen van onderhoud, renovatie en vervanging

Richtlijn 22 Stel met alle betrokken disciplines een meerjaren-investeringsplan op voor het vervangen van de putten.

38.1 Afschrijving

De economische levensduur van putten is meestal 40 jaar. De technische levensduur van putten kan wel oplopen tot 60 jaar. Om deze levensduur in de praktijk te halen en een put op tijd te vervangen, is een aantal stappen noodzakelijk:

- 1 Bepaal tijdens het ontwerp al de (rest)levensduur van de put, gebaseerd op kennis van de bestaande en reeds afgeschreven putten op hetzelfde puttenveld (of op basis van putten die in dezelfde periode op vergelijkbare wijze zijn aangelegd op geohydrologisch vergelijkbare puttenvelden).
- 2 Stel per put een (risicogestuurd) meerjarig-onderhoudsplan (inclusief monitoring van de conditie) op. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:
 - o leeftijd van de put;
 - o gebruikte materialen;
 - o onderhoudsinterval;
 - o prestatie van de put ($Q_{\text{specifiek}}$).
- 3 Voer regelmatig conditiemetingen uit. De meetfrequentie varieert van enkele maanden tot 5 jaar, afhankelijk van hoe verstoppingsgevoelig putten zijn.
- 4 Bepaal na iedere conditiemeting de nieuwe restlevensduur van de put op basis van de eigenschappen van de put en rekening houdend met de productievraag en de risico's op falen van de put. Met behulp van een puntensysteem kunnen deze risico's worden gescoord (zie Tabel 38-1). Naarmate een put meer punten heeft, is het risico op falen hoger en daarmee de restlevensduur korter.

Bij de bepaling van de restlevensduur is vooral het gesprek tussen de verschillende disciplines (hydrologie, (werktuig)bouwkunde, elektro) belangrijk en daarmee het gezamenlijk inschatten van de risico's op falen. Hierdoor ontstaat niet alleen een eenduidig beeld binnen het drinkwaterbedrijf over de restlevensduur van een put, maar komt ook alle benodigde informatie boven water.

Tabel 38-1 Twee voorbeelden van toegekende risicopunten bij drinkwaterbedrijf Vitens. Naarmate een put meer punten scoort, is de restlevensduur korter.

Leeftijd (jaren)	Punten	Regeneratie interval	Punten
10	1	< 5 jaar	1
30	2	< 3 jaar	3
40	3	< 2 jaar	4
60	4	< 1 jaar	5

38.2 Jaarplannen en meerjarige investeringsplannen

Om uiteindelijk een meerjarig investeringsplan op te kunnen stellen, is van iedere put bovenstaande informatie nodig. Hiermee kunnen alle putten in volgorde van restlevensduur worden geplaatst. Vooral de putten met een restlevensduur van minder dan vijf jaar zijn belangrijk. Deze zullen jaarlijks moeten worden besproken aan de hand van de volgende vragen:

- Zijn de conditiemetingen goed uitgevoerd?
- Is een put te regenereren (kosten en te verwachten resultaat (historie put/puttenveld))?
- Loopt de bedrijfszekerheid van een drinkwaterproductielocatie gevaar (kwantiteit en kwaliteit)?

Putten die uiteindelijk niet meer zijn te redden, moeten in de uitvoeringsplannen en/of jaarplannen worden opgenomen om daadwerkelijk te worden vervangen.

1	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
1 PUTCODE_SAP	Qspec t.o.v. nieuw	waterdekking	opmerkingen	PUTCODE_SAP	status 0 = reserve 1 = in bedrijf 2 = uit bedrijf 3	Chemisch kritische kwaliteits component	max. belasting (uren of cap)	conditiescore leeftijd	conditie score onderhouds interval	gereviseerd (diameter versmalt)	conditie score toegepast materiaal	q specifiek t.o.v. nieuw	Conditie cijfer put	betrouwbaarheidsgetal	1 Rest levensduur put (bouwkundig)
GE-P-EPE-W-WPT-B-05	134%	10.07	0.40	GE-P-EPE-W-WPT-B-05	1			3	0	0	0	0	3	2	20
GE-P-EPE-W-WPT-B-07	109%	9.42	0.00	GE-P-EPE-W-WPT-B-07	1			3	0	0	0	0	3	2	20
GE-P-EPE-W-WPT-B-08	64%	7.39	0.00	GE-P-EPE-W-WPT-B-08	1			3	0	0	0	1	4	1	10
GE-P-EPE-W-WPT-B-09	115%	10.94	0.03	GE-P-EPE-W-WPT-B-09	1			0	0	0	0	1	1	2	13
GE-P-EPE-W-WPT-A-06	86%	11.03	0.51	GE-P-EPE-W-WPT-A-06	1			1	0	0	0	0	1	1	22
GE-P-EPE-W-WPT-A-07	68%	11.24	0.14	GE-P-EPE-W-WPT-A-07	1			1	0	0	0	1	2	1	22
GE-P-EPE-W-WPT-A-08	89%	10.56	0.06	GE-P-EPE-W-WPT-A-08	1			1	0	0	0	0	1	1	25
GE-P-EPE-W-WPT-A-09	60%	10.08	1.55	GE-P-EPE-W-WPT-A-09	1			1	0	0	0	1	2	1	25
GE-P-EPE-W-WPT-B-10	102%	13.66	1.50	GE-P-EPE-W-WPT-B-10	1			0	0	0	0	1	1	1	47

Figuur 38-1 Voorbeeld van restlevensduurschatting bij winning Epe van drinkwaterbedrijf Vitens, die de basis vormt voor het meerjarige vervangingsplan van deze winning.

38.3 Aanbesteding en regeneratiebestekken

Een aantal drinkwaterbedrijven heeft gestandaardiseerde bestekken voor de regeneratie van putten. Hierin staan zaken zoals:

- algemene voorwaarden;
- voorschriften voor hygiënische eisen;
- Arbo-voorschriften, inclusief minimale personele bezetting;
- intensiteit en duur van verschillende regeneratiemethoden;
- eisen ten aanzien van registratie en verslaglegging.

39 Literatuur

Appelo, C.A.J. & D. Postma. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution* edition. A.A. Balkema Publisher, Amsterdam.

Balemans, M., en Zwart, B.-R. de (2006): 'Verstopingsvrije putten Someren; Bepaling van het kritisch debiet en de deeltjesconcentratie per sectie waterproductiebedrijf Someren', rapport BTO 2006.041 (s), Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Bense, V.F., B.L. Kurylyk, J. van Daal, M.J. van der Ploeg & S.K. Carey. 2017. Interpreting Repeated Temperature-Depth Profiles for Groundwater Flow, *Water Resources Research* 53: 8639–8647.
<https://doi.org/10.1002/2017WR021496>

Boukes, H. 2007. Het uitwerken van een pompproef die nooit is uitgevoerd, *Stromingen* 13, no.3.
<https://edepot.wur.nl/2656>

Boukes, H. & N. van Velzen. 2015. MODFLOW optimalisatie met OpenDA, *H2O* 20, no.2.
<https://edepot.wur.nl/350609>

Bustos Medina, D.A., G.A. van den Berg, B.M. van Breukelen, M. Juhasz-Holterman & P.J. Stuyfzand. 2013. Iron-hydroxide clogging of public supply wells receiving artificial recharge: near-well and in-well hydrological and hydrochemical observations, *Hydrogeology Journal* 21, no.7: 1393-1412. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1005-0>

Cirkel, D.G., M. Balemans & J. Bunnik. 2009. Putregeneratie met JET-master® BTO 2009.105(s), KWR, Nieuwegein.

de Zwart, B.R., K. van Beek & J.W. Kooiman. 2005. Putverstopping en deeltjes in grondwater: diagnose en aanzet voor therapie, *Stand van zaken voorjaar 2005*, BTO 04.044, KWR, Nieuwegein.

de Zwart, A.H., 2007. Investigation of clogging processes in unconsolidated aquifers near water supply wells. Ponaen & Looyen BV, Delft. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aea1dc826-eb40-4eef-b03a-b59c5cd2047a>

Drijver, B. & Y. De Ridder. 2021. Onderzoek putverstopping door sulfaatreductie, 69232/LL/20211227, IF technology. <https://bodemenergie.nl/wp-content/uploads/2022/03/Putverstopping-door-sulfaatreductie.pdf>

Ebbing, A. 2003. Waterwingebied Kerk-avezaath: Regeneratie van het Puttenveld, Waterbedrijf Gelderland, Velp.

Eichinger, F., N. Hartog, Carbonate scalings in deep geothermal systems, in *Operational issues in Geothermal Energy in Europe—Status and overview*, S. Schreiber, et al., Editors. 2016, Geothermal ERA NET: Reykjavik. p. 57-61.

Fan, Y., G. Miguez-Macho, E.G. Jobbágy, R.B. Jackson & C. Otero-Casal. 2017. Hydrologic regulation of plant rooting depth, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, no.40: 10572-10577.
<https://doi.org/10.1073/pnas.171238111>

grpumps. 2022.

<https://www.grpumps.nl/cavitatie/#:~:€=Hoewel%20Gorman%20Rupp%20pompen%20zijn,belangrijk%20om%20cavitatie%20te%20voorkomen!>, accessed on: 16 July 2022

Hartog, N. 2013. ECOgrout: a sustainable in-situ carbonate-based grouting technology for use in brownfield redevelopment, AQUACONSOIL 2013, Barcelona.

Houben, G., S. Merten & C. Treskatis. 2000. Laborversuche zur Wirksamkeit von chemischen Mitteln zur Brunnenregenerierung, BBR. Wasser und Rohrbau 51, no.2: 41-46.

Houben, G. 2003. Iron oxide incrustations in wells. Part 1: genesis, mineralogy and geochemistry, Applied Geochemistry 18, no.6: 927-939. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00242-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00242-1)

Houben, G. & C. Treskatis. 2007. Water well rehabilitation and reconstruction, 1st edition. McGraw-Hill, New York.

Houben, G.J. 2015. Review: Hydraulics of water wells—head losses of individual components, Hydrogeology Journal 23: 1659–1675. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1313-7>

Houben, G.J., M. Halisch, S. Kaufhold, C. Weidner, J. Sander & M. Reich. 2016. Analysis of Wellbore Skin Samples—Typology, Composition, and Hydraulic Properties, Groundwater 54, no.5: 634-645. <https://doi.org/10.1111/gwat.12403>

ILT. 2019. Richtsnoer analyse microbiologische veiligheid drinkwater (AMVD), Inspectie Leefomgeving en Transport. <https://www.ilent.nl/documenten/publicaties/2020/11/27/richtsnoer-analyse-microbiologische-veiligheid-drinkwater-amvd>

Kamps, P.T.W.J. (2008) Methoden van kartering van zoet, brak en zout grondwater in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Intern rapport Waternet.

Kaufhold, S., G. Houben, J. Dietel, M. Bertmer & R. Dohrmann. 2016. Characterization of aluminum phosphate nanoparticles formed in a water well, Journal of Nanoparticle Research 18, no.9: 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3585-9>

KWR. 2020. HydroGeoChemistry - A python package for correction, validation and analysis of ground water quality samples, KWR, Nieuwegein. <https://github.com/KWR-Water/hgc>

Leunk, I., K.J. Raat & J. van Asmuth. 2010. Snel en nauwkeurig detecteren van putverstopping met tijdreeksanalyse (Menyanthes), BTO 2010.036(s), KWR, Nieuwegein.

Leunk, I., G.J.H.L. van Noort & K.J. Raat. 2013. Modelleren van de waterstand in pompputten met tijdserie analyse en neurale netwerken: Mogelijkheden voor inzet modellen in bedrijfsvoering pompstation Seppe (Brabant Water), KWR 2011.059, KWR, Nieuwegein.

Leunk, I., R. Lafort & K.J. Raat. 2013. Een nieuw putschakelschema voor de grondwaterwinning van Baanhoek, H2O online 1. <https://library.kwrwater.nl/publication/51465517/>

Leunk, I. (2016): 'Hygiëne bij werkzaamheden aan winmiddelen; Werkboekje bij de 'Hygiëncode Drinkwater; Winning'', praktijkcode PCD 1-5:2016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein

Lewis, A.R., M.J. Ronayne & T.C. Sale. 2016. Estimating aquifer properties using derivative analysis of water level time series from active well fields, Groundwater 54, no.3: 414-424. <https://doi.org/10.1111/gwat.12368>

Makkink, H.J., M.L.M. Balemans & I. Leunk. 2011. Kennisdocument Putten(velden), Ontwerp, aanleg en exploitatie van pomp- en waarnemingsputten, KWR 2011.014, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/48690665/>

Martin, R. 2013. Introductions In: Martin, R. (Ed.), Clogging Issues Associated with Managed Aquifer Recharge Methods. IAH Commission on Managing Aquifer Recharge, Australia: 4-10.
https://recharge.iah.org/files/2015/03/Clogging_Monograph.pdf

McDowell-Boyer, L.M., J.R. Hunt & N. Sitar. 1986. Particle transport through porous media, Water resources research 22, no.13: 1901-1921. <https://doi.org/10.1029/WR022i013p01901>

Meerkerk, M.A. (2020): 'Richtlijn voor systemen voor de opslag van drinkwater; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 1508:1998)*', praktijkcode PCD 4:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Meerkerk, M.A., en Beuken, R.H.S. (2020): 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*', praktijkcode PCD 3:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Meerkerk, M.A. (2020): 'Hygiëncode Drinkwater; *Opslag, transport en distributie*', praktijkcode PCD 1-4:2019, KWR Water Research Institute, Nieuwegein

Mesman, G.A.M., en Meerkerk, M.A. (2015): 'Sediment in drinkwaterleidingen; *Beoordelen en beheersen*', praktijkcode PCD 2:2015, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

Mesman, G.A.M., Beuken, R.H.S., en Meerkerk, M.A. (2016): 'Conditiebepaling voor drinkwaterleidingen', praktijkcode PCD 6:2016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

Menz, C. 2016. Oxygen delivering processes in groundwater and their relevance for iron-related well clogging processes—a case study on the quaternary aquifers of Berlin. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/9690>

Nienhuis, Philip, Pierre Kamps, Sonja Spillekom en Theo Olsthoorn (2010) Comparing Methods for Exploring the Fresh/Salt Groundwater Interface Position in the Amsterdam Water Supply Dunes. Proceedings of SWIM 2010, Ponta Delgada, Azores.

Nienhuis, Philip (2022). Uitlezen en onderhouden van zoutwachters t.b.v. Praktijkcode 13 Puttenvelden. Memo d.d. 21 november 2022, Waternet.

Nillert, P., H. Bäsler & S. Fuchs. 2008a. Intensiventnahme bei der Brunnenentwicklung und-regenerierung, Energie-, Wasser-Praxis: Fachzeitschrift für die Energie-und Wasser-Praxis 59, no.4: 22-28. https://gci-kw.de/content/publikationen/dvgw_04.08.pdf

Nillert, P., U. Schmitz-Habben & A. Wicklein. 2008b. Intensiventnahme bei der Brunnenentwicklung und-regenerierung, Energie-, Wasser-Praxis: Fachzeitschrift für die Energie-und Wasser-Praxis 59, no.5: 29-35. https://gci-kw.de/content/publikationen/dvgw_05.08.pdf

Oasen, Brabant Water, Hoekloos, IF Technology, Kiwa, TU Delft, . . . WML. 2005. Voorkomen en verwijderen van putverstopping door deeltjes op de boorgatwand: Richtlijnen voor ontwerp, realisatie, bedrijfsvoering en regeneratie van pompputten, KIWA, Nieuwegein.

Obergfell, C., M. Bakker, W.J. Zaadnoordijk & K. Maas. 2013. Deriving hydrogeological parameters through time series analysis of groundwater head fluctuations around well fields, Hydrogeology Journal 21, no.5: 987-999. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-0973-4>

Olsthoorn, T.N. 1982. Verstopping van persputten, KIWA mededeling 71, KIWA, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/51465761/>

PGB, 2022. Persoonlijke mededeling door leden van projectbegeleidingsgroep van PCD 13-4 in 2022.

Raat, K.J. & I. Leunk. 2008. Regeneratie van mechanisch verstopte putten - huidige praktijk en mogelijkheden tot verbetering, BTO 2008.035(s), KWR, Nieuwegein.

Raat, K.J., A. Oosterhof, T. Ebbing, P. Niekus, M. Juhasz, W. Kessels, . . . J.W. Kooiman. 2011. Checklist Schakelen: Tips en trucs voor ontwerp en toepassing van schakelschema's voor mechanisch verstopte putten, BTO 2009.046(s), KWR, Nieuwegein.

Raat, K.J. 2011. Werking van H₂O₂ en chloorbleekloog tijdens regeneratie van deeljesverstoppende putten: Aanwijzingen voor organische stof als medeveroorzaker van deeljesverstopping. BTO 2011.030(s), KWR, Nieuwegein.

Schout, G. 2020. Origin, fate and detection of methane leaking from the deep subsurface into groundwater and soil. Utrecht University. <https://doi.org/10.33540/122>.

Staatsblad (2011): Drinkwaterbesluit van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011 (oorspronkelijke editie) vigerend vanaf 1 juli 2022: Drinkwaterbesluit

SBW (1995): 'Boormeester II, theorie', SBW rapport 656, Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw, Gouda

Siqueira, F.D., Yang, Y., Vaz, A.S.I., You, Z. en Bedrikovetsky, P.G., 2014. Prediction of Productivity Decline in Oil and Gas Wells Due to Fines Migration: Laboratory and Mathematical Modelling, SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, Adelaide, Austrálie. <https://doi.org/10.2118/171475-MS>

SBW. 1997. Boormeester I (diepboringen), theorie, SBW rapport 658, Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw, Gouda.

Smeets, P.W.M.H. (2020): 'Protocol referentiedocument AMVD', praktijkcode PCD 8:2020, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

Stuyfzand, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands., Vrije Universiteit, Amsterdam. <http://dare.ubvu.vu.nl/handle/1871/12716>

Stuyfzand, P.J., F. Luers & G.K. Reijnen. 1994. Geohydrochemische aspecten van methaan in grondwater in Nederland, H₂O 27, no.17: 500-510. <https://edepot.wur.nl/371071>

Stuyfzand, P.J. & F. Luers. 2005. Gedrag van microverontreinigingen bij oeverinfiltratie en kunstmatige infiltratie; effect van bodempassage gemeten langs stroombanen, H₂O 36, no.18: 554-562. <https://edepot.wur.nl/363856>

Stuyfzand, P.J. 2013. Well Health Scan (WHS 1.0), for archiving and assessing the condition and clogging hazard of a pumping well, via Excel® spreadsheet, project nr O710032, KWR, Nieuwegein

Stuyfzand, P.J., M.L. van der Schans, B. Wullings, W. Lemmens, C. Van Rosmalen & J. van Sijl. 2016. Oorzaken van neerslagvorming in pompputten van puttenveld Bergen op Zoom van Brabant Water KWR 2016.102, KWR, Nieuwegein.

Stuyfzand, P.J. 2017. Hydrogeochemical (HGC 2.4), for storage, management, control, correction and interpretation of water quality data in Excel® spread sheet, up120un120uneune 2017, BTO 2012.244(s), KWR, Nieuwegein.

Treskatis, Chr. und D. Leda (1998): Nachhaltige Regenerierung von Brunnen, WWT (5) 35-38.

Treskatis, Chr. und H-D. Leda (1998): Brunnenregenerierung - Anwendung mechanischer und chemischer Verfahren am Beispiel von Flach- und Tiefbrunnen am linken Niederrhein, BBR 49 (9) 33-39.

Torkzaban, S. Bradford, S.A., Vanderzalm, J.L., Patterson, B.M., Harris, B. en Prommer H. 2015. Colloid release and clogging in porous media: Effects of solution ionic strength and flow velocity. *Journal of Contaminant Hydrology*, 181: 161-171, <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.06.005> van Beek, C. & W. Kooper. 1980. The clogging of shallow discharge wells in the Netherlands river region, *Groundwater* 18, no.6: 578-586. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1980.tb03652.x>

van Beek, C.G.E.M. 2003. Deeltjestellingen in onttrokken grondwater: evaluatie van metingen tot 2003, BTO 2005.049(s), KWR, Nieuwegein.

van Beek, K. 2004. Meetprocedure deeltjestellingen, memo d.d. 16 feb 2004, KIWA, Nieuwegein.

van Beek, K., R. Breedveld & P. Stuyfzand. 2009. Preventing two types of well clogging *Journal-American Water Works Association* 101, no.4: 125-134. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2009.tb09880.x>

van Beek, C.K. 2010. Cause and prevention of clogging of wells abstracting groundwater from unconsolidated aquifers. IWA Publishing. <https://research.vu.nl/en/publications/cause-and-prevention-of-clogging-of-wells-abstracting-groundwater>

van Beek, C.G.E.M., A.H. de Zwart, M. Balemans, J.W. Kooiman, C. van Rosmalen, H. Timmer, . . . P.J. Stuyfzand. 2010. Concentration and size distribution of particles in abstracted groundwater, *Water Research* 44. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.09.045>

van Beek, C.G.E.M., T. Hiemstra, B. Hofs, M.M. Nederlof, J.A.M. van Paassen & G.K. Reijnen. 2012. Homogeneous, heterogeneous and biological oxidation of iron(II) in rapid sand filtration. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 61, no.1: 1-13. <https://doi.org/10.2166/aqua.2012.033>

van Beek, C., A. Hubeek, B. De la Loma Gonzalez & P. Stuyfzand. 2017. Chemical and mechanical clogging of groundwater abstraction wells at well field Heel, the Netherlands, *Hydrogeology Journal* 25, no.1: 67-78. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1469-9>

van Beek, C. 2018. Well-screen and well-head clogging by Hydrous Ferric Oxides *Hydrogeology Journal* 26, no.8: 2919-2932. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1822-2>

van Beek, C., C. Hofman-Caris & G. Zweere. 2020. Drinking water treatment and chemical well clogging by iron (II) oxidation and hydrous ferric oxide (HFO) precipitation, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA* 69, no.5: 427-437. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.140>

van der Schans, M.L., L. Brussee, P. Niekus & I. Leunk. 2015. Energieverbruik drinkwaterwinning, BTO 2015.039, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/53480782/>

van der Schans, M.L., Smeets, P.W.M.H., Leunk, I., en Meerkerk, M.A. (2016): 'Hygiëncode Drinkwater; *Winning (grondwater, oevergrondwater en water na kunstmatige infiltratie)*', praktijkcode PCD 1-2:2016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

van der Schans, M.L. & A. van Doorn. 2017. Optimalisatie van de winning Sint Jansklooster via hydrochemische systeemanalyse, BTO 2017.017, KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/457243>

van der Schans, M.L. & P.W.M.H. Smeets. 2018. Karakterisatie putneerslagen Groote Heide PP25A, Project nr 402298, KWR, Nieuwegein.

van der Schans, M.L. 2019. Vertrouwelijk rapport project nr 402937, KWR 2019.062, KWR, Nieuwegein.

van der Schans, M.L. van der, en Meerkerk, M.A. (2019a): 'Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater; Deel 1: Algemeen', praktijkcode PCD 13-1:2019, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

van der Schans, M.L. van der, en Meerkerk, M.A. (2019b): 'Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater; Deel 2: Ontwerp', praktijkcode PCD 13-2:2019, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

van der Schans, M.L., van Lopik, J.H. en Meerkerk, M.A. (2020): 'Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater; Deel 3: Aanleg', praktijkcode PCD 13-3:2020, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

van der Schans, M.L., Hillebrand, B., Prevoo, R. en Vonk, E, 2021, Well Field Scheduling Optimizer v1.0: een rekenmodel voor het optimaliseren van putschakelingen van grondwaterwinningen (concept), BTO rapport xxxx, KWR Water Research Institute, Nieuwegein

van der Schans, M.L., M. Bloemendal, N. Robat, A. Oosterhof, P.J. Stuyfzand & N. Hartog. 2022a. Field Testing of a Novel Drilling Technique to Expand Well Diameters at Depth in Unconsolidated Formations, Groundwater. <https://doi.org/10.1111/gwat.13203>

van der Schans, M.L., E. Vonk & B. Hillebrand. 2022b. Well Field Scheduling Optimizer (WFSO) v1.0, BTO 2022.035, KWR, Nieuwegein.

van der Schans, M.L., R. Hilbrandie & D.G. Cirkel. 2022c. Aanleg en testen van Horizontal Directional Drilled Well (HDDW) Dunea (concept versie 16 sept 2022), KWR 2022.116, KWR, Nieuwegein.

van der Schans, M.L., D.G. Cirkel & P. Timmers. 2022d. Verstopping van horizontale winmiddelen Dunea (concept versie 18 okt 2022), KWR, Nieuwegein.

van Doorn, A. 2015. Naar een optimaal beheer puttenvelden, Uitwerking van 2 pilots, BTO 2015.026, KWR, Nieuwegein.

van Doorn, A. 2016. Putverstopping beter in beeld met hoogfrequente stijghoogtemetingen, Opdracht nr 400917, KWR, Nieuwegein.

van Doorn, A., H. Boukes, H. Huitink & M.L. van der Schans. 2017. Optimalisatie van de winning Ellecom via systeemanalyse, BTO 2017.018, KWR, Nieuwegein.

Van Steenwijk, J.M. en C.G.E.M. van Beek (1988): Putregeneratie met waterstofperoxyde, H2O 21 (12) 310-315,319.

van Woerden, H. 2017. Evaluatie Preventief Jutten 2016, memo d.d. 1 februari 2017, Oasen.

Vink, K. 2004. Assetmanagement voor pompputten: regenereren of vervangen, BTO 2004.023, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/51449183/>

von Asmuth, J.R. 2015. Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens. Protocol voor datakwaliteitscontrole (QC), KWR 2015.013, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/53424136/>

Vonk, E. & M.L. van der Schans. 2019. Well Clogging Analyzer: Beslissingsondersteunende tool voor kwantitatieve analyse van mechanische boorgatwand-putverstopping, BTO 2019.007, KWR, Nieuwegein.

WLN. 2015. Monsternamen van grondwater uit waarnemingsputten. WLN-MHB.06.07. Revisie 2.0.0.WLN, Glimmen.

Wols, B. & M.L. van der Schans. Niet gepubliceerd rapport voor project nr 402045-014, KWR, Nieuwegein

Zuurbier, K.G. & P.J. Stuyfzand. 2017. Consequences and mitigation of saltwater intrusion induced by short-circuiting during aquifer storage and recovery in a coastal subsurface, *Hydrology and Earth System Sciences* 21, no.2: 1173-1188. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1173-2017>

Zuurbier, K., S. Ros & M. Paalman. 2018. D33.1: Valorisation and Demonstration of an ASRRO Application in a Field Application, Westland demo site 2014-2017, KWR, Nieuwegein. <https://dessin-project.eu/?wpdmpo=d33-1-valorisation-and-demonstration-of-an-asrro-application-in-a-field-application>

I In deze praktijkcode genoemde normen en beoordelingsrichtlijn

NTA 8017:2008: 'Monsterneming van grondwater ten behoeve van de monitoring van grondwaterkwaliteit' d.d. 1 februari 2008

NEN 5744:2021 : 'Bodem – Monsterneming van grondwater' d.d. 1 december 2021

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (2018): 'Mechanisch boren', beoordelingsrichtlijn BRL SIKB 2100 en het bijbehorende Protocol 2101 'Mechanisch boren', versie 4.0, 1 februari 2018 (zie ook hier), Gouda (www.sikb.nl)