



KWRW 2025.034 | April 2025

**Een handreiking voor
ontwerpeisen aan
buitendijkse
drinkwaterwinningen
langs rivieren**

Colofon

Een handreiking voor ontwerpeisen aan buitendijkse drinkwaterwinningen langs rivieren

KWRW 2025.034 | April 2025

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van KWR Waterwijs, het collectieve drinkwateronderzoeksprogramma van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

404300-006

Projectmanager

ir. E. (Eric) Broers

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Bronnen, Watersysteem en Natuur

Auteurs

ir. M.L. (Martin) van der Schans, dr. ir. M.H.J. (Marjolein) van Huijgevoort

Kwaliteitsborger

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

Projectbegeleiding

Jelle van Sijl (Vitens), Johan van der Hoog (Oasen), Martien Bult (Provincie Gelderland), Gerard Harmsen (Rijkswaterstaat), Sander Kapinga (Waterschap Rivierenland)

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder deelnemers aan het KWR Waterwijs-programma en is openbaar na publicatie.

Keywords

overstroombare winputten, uiterwaarden, drinkwaterwinning

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie

ir. Martin van der Schans
E martin.van.der.schans@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

KWR

April 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan de KWR Waterwijs-deelnemers. 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.

Samenvatting

Een overstroombare drinkwaterwinning in de uiterwaarden is technisch haalbaar en inpasbaar

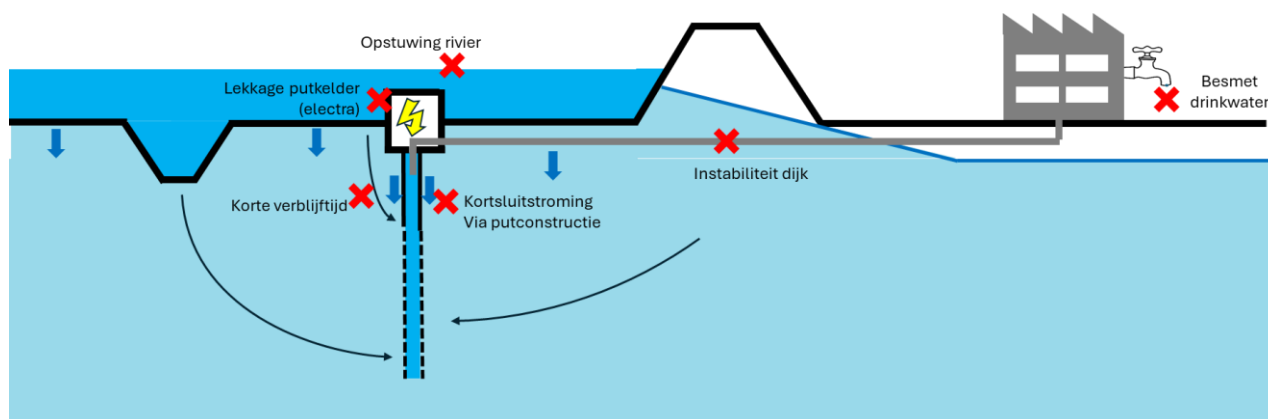
Martin van der Schans & Marjolein van Huijgevoort

Belang: realiseren van nieuwe winningen is complex

Om aan de watervraag te kunnen blijven voldoen is uitbreiding van het aantal grondwaterwinningen noodzakelijk. Tegelijkertijd is er in Nederland sprake van een grote druk op de beschikbare ruimte, zowel boven- als onder de grond. Het realiseren van nieuwe grondwaterwinningen is dan ook een complex en langdurig proces, mede vanwege de impact op stijghoogtes en grondwaterstanden en restricties aan landgebruik in grondwaterbeschermingsgebieden. In dit onderzoek zijn de technische mogelijkheden en ontwerpeisen verkend waaraan een winning in de uiterwaarden zou moeten voldoen.

Aanpak: Evaluatie praktijkervaring en eisen belanghebbenden

Voor dit onderzoek zijn praktijkervaringen met overstromende puttenvelden en winningen in de uiterwaarden in Nederland en het buitenland in beeld gebracht. Daarnaast is een overzicht gemaakt van welke belanghebbenden er mogelijk effecten kunnen ervaren van een winning in de uiterwaarden, wat hun wensen zijn alsmede welke eisen ze kunnen stellen aan dergelijke winningen. Op basis hiervan zijn aandachtspunten geformuleerd waarmee rekening moet worden gehouden bij het ontwerp. Tot slot is in beeld gebracht welke technische mogelijkheden (opties) drinkwaterbedrijven tot hun beschikking hebben bij het ontwerp van winningen in de uiterwaarden voor wat betreft de positionering van de winning, eventuele wateraanvoer, type putten, type pompen en terreinleidingen.



Overzicht van potentiële risico's bij toepassing van een drinkwaterwinning in de uiterwaarden.

Resultaten: overstroombare winningen zijn technisch haalbaar

Uit oriënterende onderzoeken is gebleken dat winningen in de uiterwaarden van grote rivieren geringere effecten op de omgeving hebben dan binnendijkse grondwaterwinningen. Bij buitendijkse winningen treden binnendijks minder verlaging van stijghoogtes en grondwaterstanden, zetting en droogteschade op. Daarnaast is het effect op andere economische activiteiten kleiner, doordat beschermingsgebieden minder van het binnendijkse gebied omvatten.

Winningen in de uiterwaarden hebben zowel positieve als negatieve effecten op de hoogwaterwaterveiligheid. Wanneer tijdens hoogwater wordt onttrokken, dan verlaagt dit de druk in en onder het dijklichaam wat bijdraagt aan het reduceren van het risico op piping en afschuiving. Echter, de stijghoogteverlaging kan ook bijdragen aan zettingen of het noodzakelijk maken om compenserende maatregelen te nemen die verlaging van de kruin voorkomen. Daarnaast introduceren de leidingen die nodig zijn om het water naar het binnendijkse gebied te transporteren een verhoogd risico op dijkinstabiliteit door leidingbreuken en piping. Dijkbeheerders stellen daarom strenge eisen aan ontwerp, aanleg en beheer van dijkdoorkruisingen (zoals o.a. afsluiters aan beide zijden van de dijk, het aanbrengen van grout en metingen van drukverlies).

Implementatie & vervolg: gebrek aan praktijkervaring

Er is grote onzekerheid over de kosten en het toekomstige functioneren van een overstroombare winning vanwege gebrek aan ervaring op de praktijkschaal met onder andere waterdichte afsluiting van putkelders en andere assets. Generieke kennislacunes zijn er met name m.b.t. de verwijdering van pathogenen en micro-organismen in de rivierbedding, het benodigde onderhoud en de juiste aanlegmethode voor horizontale putten. Geadviseerd wordt om ervaring op te doen en kennis op te bouwen via pilots op praktijkschaal.

Het realiseren van een winning vergt uiteindelijk: • Verkrijgen vergunning • Verwerven grondposities • Aanleg infrastructuur	Stappen om tot een winning te komen: • Onderbouw noodzaak en locatiekeuze (sluit alternatieve winlocaties uit). • Stel een MER & passende beoordeling op. • Exploreer de ondergrond via boringen, sonderingen en een pompproef. Stel op basis hiervan vast welke effecten te verwachten zijn bij een drinkwaterwinning voor waterkwaliteit, grond- en oppervlaktewater, zettingen en dijkstabiliteit. Deze metingen dienen ook als referentie voor toekomstige monitoring. • Onderzoek meekoppelkansen zoals zandwinning, herinrichting, natuurontwikkeling, dijkversterking, intensiviteit van landbouw en stedelijke opgaven. • Ontwerp vanuit een probabilistische benadering, rekening houdend met faalmechanismen m.b.t. waterveiligheid (dijkstabiliteit), bedrijfszekerheid en drinkwaterveiligheidseisen (op het niveau van de productielocatie) en leveringszekerheid (backup voorzieningen via andere winning). • Benader grondeigenaren.
--	--

Maatschappelijke impact

Drinkwaterbedrijven moeten aantonen dat er sprake is van een groot openbaar belang en dat de winning niet redelijkerwijs buiten het rivierbed kan worden gerealiseerd. Uiterwaardenwinningen kunnen daarnaast impact hebben op de omgeving, bijvoorbeeld door zettingen van de dijken. Compensatie hiervan kan gevoelig liggen, bijvoorbeeld wanneer er net een dijkverzwaring heeft plaatsgevonden. Het geniet daarom de voorkeur om drinkwaterwinningen integraal te benaderen met andere opgaven zoals natuurontwikkeling in de uiterwaarden of hoogwaterveiligheid.

Inhoud

Samenvatting	3
Inhoud	5
1 Introductie	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doel en scope	6
1.3 Leeswijzer	7
2 Praktijkervaringen	8
2.1 Overstroming van winvelden	8
2.2 Hydrologie en waterkwaliteit van buitendijkse winvelden	12
2.3 Internationale ervaring	16
2.4 Leerpunten	19
3 Eisen en wensen van belanghebbenden	20
3.1 Belanghebbenden	20
3.2 Integrale gebiedaanpak	21
4 Technische aandachtspunten ontwerpfase	23
5 Technische afwegingen	29
5.1 Configuratie winputten	29
5.2 WATERAANVOER	33
5.3 Type winmiddel	34
5.4 Type pompsysteem	40
5.5 Putbehuizing en putkop	42
5.6 Terreinleidingen en dijkpassage	46
5.7 Waterzuivering	48
6 Kennislacunes	50
6.1 Gebrek aan kennis	50
6.2 Gebrek aan praktijkervaring en inzicht in kosten	50
7 Referenties	52

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Uitbreiding van het aantal winningen ten behoeve van de productie van drinkwater is noodzakelijk om aan de watervraag te kunnen blijven voldoen. In delen van Nederland worden vooral grondwaterwinningen toegepast. Tegelijkertijd is er in Nederland sprake van een grote druk op de beschikbare ruimte, zowel in de boven- als ondergrond. Het realiseren van nieuwe grondwaterwinningen is dan ook een complex en langdurig proces, mede vanwege de impact op stijghoogtes en grondwaterstanden en restricties aan landgebruik in grondwaterbeschermingsgebieden.

Aanleg van nieuwe winvelden in de directe nabijheid van rivieren is mogelijk een oplossing. Uit twee oriënterende onderzoeken in opdracht van Oasen en Provincie Gelderland is gebleken dat buitendijkse winningen (in de uiterwaarden van grote rivieren) aanzienlijk geringere effecten op de omgeving hebben dan binnendijkse grondwaterwinningen (Commissie MER 2021, Arcadis Nederland B.V. 2024a). Doordat verhoudingsgewijs meer water vanuit de rivier en/of drainerend grondwater aangetrokken wordt, veroorzaken deze buitendijkse winningen binnendijs minder verlaging van stijghoogtes en grondwaterstanden. Zetting en droogteschade treden hierdoor ook minder op. Daarnaast is het effect op andere economische activiteiten kleiner, omdat beschermingsgebieden minder van het binnendijkse gebied omvatten. De effecten zijn locatie specifiek en onder andere ook afhankelijk van de fysische eigenschappen van de waterbodem. De beleidsregels grote rivieren bieden ook ruimte mits de winning een groot openbaar belang dient welke redelijkerwijs niet buiten het rivierbed kan worden gerealiseerd (Min I&W 2025).

Oasen, Vitens en WML exploiteren samen al 14 oevergrondwaterwinningen (Stuyfzand 1996, Drinkwaterplatform 2021), waarvan een deel gelegen is in periodiek overstromende uiterwaarden van de grote rivieren. De putbehuizingen van deze winningen zijn geplaatst op een dijklichaam of terp op minimaal gelijke hoogte als de waterkering. Ze zijn daarmee beschermd voor inundatie of overstroming en voldoen daarmee aan de huidige bedrijfsrichtlijnen voor drinkwaterveiligheid. Constructies in de uiterwaarden kunnen echter een negatieve invloed hebben op de doorstroming van de rivier en resulteren in een verlies aan bergend vermogen van de uiterwaarden. Om aan de wettelijke normen en richtlijnen te voldoen zoals gesteld in de Beleidslijn Grote Rivieren (Rijkswaterstaat 2019) dienen deze effecten voldoende gemitigeerd of gecompenseerd te worden. Het is dus zeer de vraag of putten die worden aangelegd conform de huidige bedrijfsrichtlijnen voor drinkwaterveiligheid wel voldoen aan de eisen m.b.t. hoogwaterveiligheid.

1.2 Doel en scope

Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de technische mogelijkheden en ontwerpeisen van een nieuwe buitendijkse drinkwaterwinning. De nadruk ligt hierbij op verschillen tussen overstroombare winvelden in de uiterwaarden van grote rivieren t.o.v. winvelden op terpen of winvelden op niet-overstromende locaties.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn leerpunten in beeld gebracht op basis van praktijkervaringen met bestaande buitendijkse winningen en overstrooming van winvelden. Vervolgens is uitgewerkt waaraan een buitendijks winveld moet voldoen en wat de eisen zijn van verschillende belanghebbenden zoals provincies, Rijkswaterstaat en terrein beherende organisaties. Op grond hiervan zijn aandachtspunten geformuleerd voor het ontwikkelen van een buitendijkse winning (hoofdstuk 3). De afwegingen voor een buitendijkse winning die van belang zijn voor wat betreft locatie, type put, pompsystemen etc. worden in hoofdstuk 4 gegeven. In hoofdstuk 5 zijn voorbeelduitwerkingen gegeven voor ontwerpeisen van winningen. Tot slot volgt een overzicht van kennislacunes.

2 Praktijkervaringen

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van een aantal Nederlandse (§2.1) en internationale voorbeelden (§2.3) ingegaan op ervaringen met drinkwaterwinning in overstromingsgevoelige gebieden. Het gaat hierbij zowel om buitendijks aangelegde wingebieden die technisch toegerust zijn op overstromingen als om situaties waar na een extreme gebeurtenis aanpassingen aan winmiddelen noodzakelijk bleken. Daarnaast beschouwen we de hydrologie en waterkwaliteit van een aantal buitendijkse winningen (§2.2)

2.1 Overstroming van winvelden

2.1.1 Drinkwaterwinning Roosteren (Waterleiding Maatschappij Limburg)

Situatieschets

De waterwinning Roosteren van Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) is een winning waar zowel ondiep (oeverfiltraat en freatisch grondwater) als diep grondwater wordt onttrokken (Witteveen+Bos 2014). De ondiepe putten liggen in de uiterwaarden van de Maas en onttrekken water uit de formaties van Beegden en Sterksel. Boven deze grindrijke afzettingen ligt in delen van het gebied een deklaag (formatie van Boxtel), die bestaat uit matig fijn tot grove fluviatiele zandafzettingen waarvan de dikte varieert van één tot enkele meters. De reistijd van de Maas tot de winputten bedraagt enkele tientallen tot honderden dagen, afhankelijk van het Maaspeil en het windebiet (mond. med. R. Prevoo WML).

Voorzorgsmaatregelen

De putten liggen deels op terpen en deels op hoger gelegen delen in de uiterwaarden om overstroming tijdens hoog water op de Maas te voorkomen (Figuur 2-1). WML heeft een calamiteitenplan waarbij de pompen in een deel van de putten uitgeschakeld worden bij extreem hoge waterstanden en overstroming van het winveld. Tijdens eerdere overstromingen is namelijk gebleken dat de reistijd van het water veel korter wordt en putten microbiologisch besmet kunnen raken (Rambags et al., 2011).

Peilbuizen, die kunnen inunderen en die in een putkelder of schutkokers staan, zijn afgesloten met flexibele kunststof kapjes. Peilbuizen, die niet in een behuizing staan, krijgen een opzetstuk van circa 1 meter hoogte (Figuur 2-2; mond. med. R. Prevoo WML). Het handmatig plaatsen van de opzetstukken is onderdeel van het calamiteitenplan.

Overstroming 2021

In juli 2021 viel er in korte tijd extreem veel neerslag in het zuiden van Limburg. Het ging hierbij om 160 tot 180 mm in 2 dagen (De Bruin 2022). De extreme neerslag leidde tot een extreme piekafvoer in de Maas en overstromingen (Figuur 2-1). Tijdens deze overstroming steeg het waterpeil van de rivier sneller dan bij een traditionele winterse hoogwatersituatie. Hierdoor was het stijghoogteverschil tussen het oppervlaktewater en het winpakket groter dan gebruikelijk tijdens overstromingen, waardoor verhoudingsgewijs veel besmet oppervlaktewater infiltreerde naar het winpakket (door gaten in de deklaag en/of kortsluitstroming langs putten). De winputten zijn conform afschaalplan uitgeschakeld en enkele dagen na droogval van de uiterwaarden stapsgewijs weer opgestart om te spuien. Microbiologisch besmet ondiep grondwater is hierdoor richting de winputten gestroomd. De besmetting van het winveld (en daarmee het gedeeltelijk uit bedrijf staan) duurde enkele maanden, wat veel langer is dan gebruikelijk bij een microbiologische besmetting. Dit kwam vermoedelijk doordat het hele watervoerende pakket besmet was geraakt. Daarnaast bleek het opzetstuk van een peilbuis lek. Vermoedelijk kwam er door het gewicht en de lengte van de opzetbuis en de kracht van het water dat tegen de buis aanstroomde te veel spanning op de

verbinding waardoor deze niet goed meer afdichtte. Het lekwater is gedetecteerd aan de hand van een verhoogd elektrisch geleidingsvermogen in een CT-diver in de peilbuis (mond. med. R. Prevoo WML).



Figuur 2-1 Pompstation Roosteren bij regulier waterpeil van de Maas (links) en overstroming van de uiterwaard rond de radiaalput bij pompstation Roosteren (rechts). Deze radiaalput is gebouwd op een terp. Bron: E. De Bruin (WML)

Maatregelen n.a.v. inundatie

WML heeft geconstateerd dat het verstandig is om na een overstroming langer dan enkele dagen te wachten met het aanschakelen van winputten om besmetting te voorkomen. Gedacht wordt aan het aanhouden van een minimale daling van de grondwaterstand na de overstroming tot een nog nader te bepalen niveau (mond. med. R. Prevoo WML).



Figuur 2-2 Peilbuizen met druksensoren die zijn afgesloten zodat bij hoogwater het overstromingswater niet via de filterbuis het winpakket kan bereiken (a & b); peilbuis met opzetstuk om te zorgen dat het waterniveau lager blijft dan de top de peilbuis, waardoor het overstromingswater niet de filterbuis in kan stromen (c & d). Bron: a & b Rambags et al. (2011), c & d R. Prevoo (WML)

2.1.2 Drinkwaterwinning Roodborn (Waterleiding Maatschappij Limburg)

Situatieschets

In waterwingebied Roodborn wint WML in het beekdal van de Eyserbeek tot maximaal 5 miljoen m³/jr uit een semigespannen kalksteenaquifer. Het grondwater wordt onttrokken uit de kalksteenformatie van Maastricht en Gulpen. De deklaag bestaat in het beekdal uit klei, zand en grind. De hoge doorlatendheid van de grindlaag en aquifer (verkarste kalksteen) en gedeeltelijke afwezigheid van het bovenliggende kleidek maken de winning kwetsbaar voor verontreiniging vanaf maaiveld. De putten liggen op enkele tientallen tot honderd meter afstand van de Eyserbeek. Deze beek snijdt in tot de grindlaag. De Eyserbeek is een relatief kleine waterloop waarvan de afvoer zomers voornamelijk bestaat uit rioolwaterzuiveringseffluent van RWZI Simpelveld. Bij extreme neerslag bestaat een deel van de afvoer ook uit directe riooloverstort. Vanwege deze bronnen komt microbiologische besmetting in de winputten incidenteel voor. (Timmers en van der Schans 2022)

Voorzorgsmaatregelen

Om de waterkwaliteit van het door de putten onttrokken ruwwater te verbeteren, zijn maatregelen genomen om de infiltratie vanuit de Eyserbeek te verminderen. In de oevers is de grindlaag bedekt met folie, en vervolgens verzwaard met keien (Figuur 2-3a). Bij hoogwater kan er hierdoor minder vervuild oppervlaktewater naar het watervoerende pakket infiltreren. Na het nemen van deze maatregel zijn de besmettingen van de pompputten nabij de oevers afgenomen. Daarnaast hanteert WML een protocol waarbij de putten die het dichtst bij de Eyserbeek liggen bij hoogwater automatisch worden afgeschakeld (Figuur 2-3b). Dit gebeurt om de drukverschillen minimaal te houden en zo infiltratie via de deklaag richting het watervoerende pakket te beperken. Wanneer de putten bij de beek niet worden uitgeschakeld, dan zal er door drukverschil veel meer besmet beekwater het winpakket instromen. Ook zorgt het uitschakelen van de putten ervoor dat reeds geïnfilterd beekwater weer sneller wordt afgevoerd en niet het winveld wordt ingetrokken. Er zijn ook zuiveringstechnische maatregelen getroffen. Er wordt een UV-zuiveringsstap toegepast voor het verwijderen van eventuele pathogenen afkomstig van het infiltrerende beekwater. Daarnaast worden de riooloverstorten gesaneerd en is de zuivering van de RWZI uitgebreid om de waterkwaliteit in de beek en daarmee het onttrokken grondwater te verbeteren (Timmers en van der Schans 2022).



Figuur 2-3 a) Aanbrengen van folie langs de oevers van de Eyserbeek; b) Pompput nabij de Eyserbeek die bij hoogwater wordt afgeschakeld. Bron: R. Prevoo (WML)

Overstroming 2021

De extreme neerslag in de zomer van 2021 leidde ook in de Eyserbeek tot hoge waterstanden en overstromingen langs delen van de oever. De onttrekkingsputten hebben afvoerpijpen van de put naar de beek om o.a. condenswater of overtollig water vrijgekomen tijdens de bemonstering in de putkelder af te voeren. Door de extreem hoge waterstanden is beekwater bij een van de putten via de afvoerpijp de putkelder ingestroomd. Dit

water is vervolgens de put ingestroomd via een beluchtingspijpje. Het grondwater rondom het winfilter is hierdoor vervuild geraakt. Tijdens de overstroming zijn de pompen uitgeschakeld. Na de overstroming zijn de putten schoon gepompt. De vervuiling was hier relatief eenvoudig te verwijderen omdat alleen de zone direct rond de put besmet was en niet het gehele winpakket zoals het geval was bij Roosteren (R. Prevoo, WML).

Maatregelen n.a.v. overstroming

Tijdens hoogwater kon beekwater via de afvoerbuis de putkelder, en via de beluchtingsbuis, de put en het winpakket in stromen. Om in de toekomst terugstroming via de afvoerbuis naar de putkelder te voorkomen, zijn afsluiters aangebracht in de afvoerpijp waardoor instroming in de putkelder niet meer mogelijk is (R. Prevoo, WML).

2.1.3 Drinkwaterwinning Onnen (Waterbedrijf Groningen)

Situatieschets

In de Onnerpolder is een drinkwaterwinning actief met 48 winputten. Dit is de grootste productielocatie van Waterbedrijf Groningen. Vanuit de productielocatie worden het noorden, noordoosten en oosten van de provincie van drinkwater voorzien (Steinweg et al. 2018). De filters onttrekken water uit grofzandige, grindrijke lagen op 35 tot 100 meter onder NAP. Het onttrekkingspakket is afgedekt door een kleilaag van de formatie van Eem; door het plaatselijk ontbreken van de Eemkleilaag wordt de winning gezien als matig kwetsbaar (Steinweg et al. 2018). De Onnerpolder, waar de putten gesitueerd zijn, is in 2005 aangewezen als noodbergingsgebied door de Provincie Groningen (Rus et al. 2007).

Voorzorgsmaatregelen

Voorafgaand aan de overstroming in 1998 en het aanwijzen van het gebied als noodbergingsgebied in 2005 waren er voor zover bekend geen speciale voorzorgsmaatregelen getroffen tegen overstroming of inundatie.

Overstroming 1998

In 1998 was er grote wateroverlast in de provincie Groningen. De waterlopen zaten qua waterbergingscapaciteit aan het maximum en de afvoer naar zee was onvoldoende om het stijgende waterniveau bij te benen. Om de stad Groningen te beschermen tegen hoogwater is besloten om laaggelegen polders onder water te zetten (Van der Woerd et al. 2011). Volgens dit plan is ook opzettelijk de Onnerpolder onder water gezet (Figuur 2-4). Het waterschap was zich echter niet bewust van de aanwezigheid van een drinkwaterwinning in deze polder en heeft niet gecommuniceerd met het waterbedrijf over het inwerking treden van de noodoverloop, waardoor Waterbedrijf Groningen verrast werd door de inundatie (Zwolsman et al. 2014).



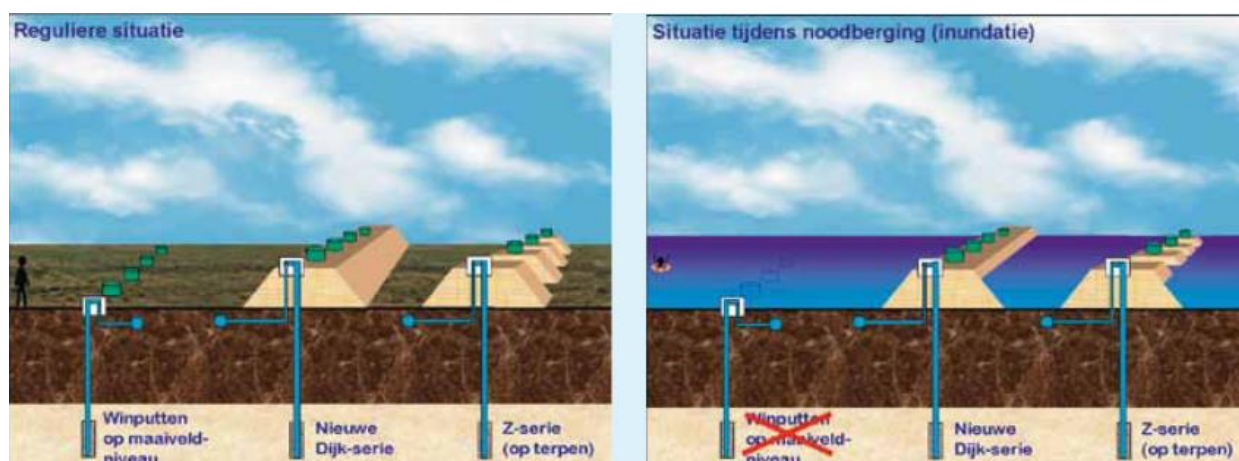
Figuur 2-4 Inundatie van productielocatie Onnen in 1998 (links) (Van der Woerd et al. 2011) en aanleg van zandzakken om put te beschermen (rechts) (WBG, Rambags et al. 2011).

De polder heeft uiteindelijk zes weken onder water gestaan. Omdat de kwaliteit van het drinkwater uit productielocatie Onnen niet meer kon worden gegarandeerd, is de drinkwatervoorziening tijdelijk overgenomen door andere pompstations zonder grote consequenties voor de leveringszekerheid. De kelders van het pompstation zijn gedeeltelijk gevuld om schade door opdrijving te voorkomen. Met zandzakken werden putten beschermd (Figuur 2-4). Een aantal van de putten is uit voorzorg uitgeschakeld in verband met het risico op kortsluitstroming en elektrische kortsluiting (Zwolsman et al. 2014).

Door druk op het ruwwaternet te houden met de andere putten is voorkomen dat verontreinigd inundatiewater de ruwwaterleidingen kon binnendringen. Verontreiniging van de bodem door afzetting van sediment is niet bemeaten, maar zou vermoedelijk geen consequenties hebben, aangezien de putten 50 – 100 m diep liggen en door kleilagen zijn afgeschermd (Zwolsman et al. 2014). Nadat het water was gezakt, zijn de putten bemonsterd en vervolgens weer in gebruik genomen.

Maatregelen n.a.v. overstroming

Bij vervanging van de putten zijn de nieuwe putten aangelegd op wierden (terpen) en is het zuiveringsgebouw omdijkt om eventuele toekomstige inundatie hiervan te voorkomen (Rus et al. 2007, Van der Woerd et al. 2011). Tijdens noodberging blijven de putten op wierden operationeel en worden winputten op maaiveldniveau uitgeschakeld (Figuur 2-5).



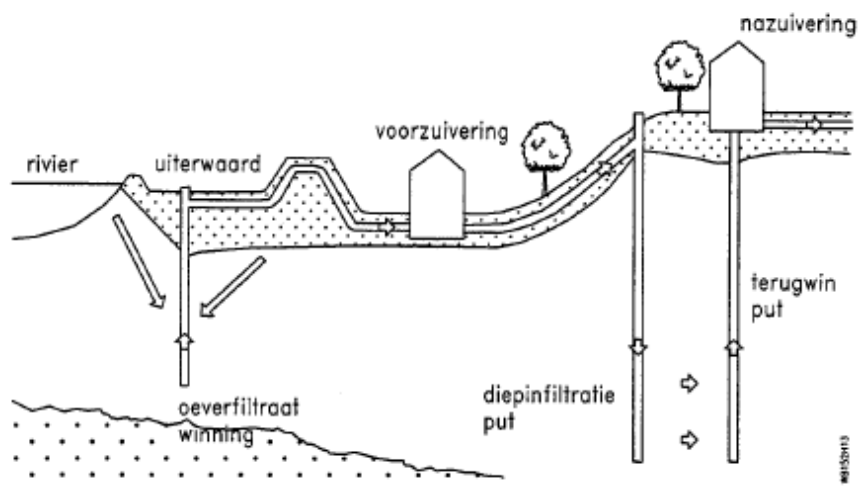
Figuur 2-5 Inrichting van het puttenveld bij productiebedrijf Onnen (Van der Woerd et al. 2011).

2.2 Hydrologie en waterkwaliteit van buitendijkse winvelden

2.2.1 Pilot drinkwaterwinning Remmerden (OEDI)

Situatieschets

De toenmalige Waterleidingmaatschappij Midden Nederland (WMN) heeft tussen 1978 en 1988 een proefproject uitgevoerd naar de combinatie van oeverfiltraatwinning en diepinfiltratie (Adamse en Kruithof 1998). Deze zgn. OEDI-methode beoogde verdroging op de Utrechtse Heuvelrug tegen te gaan door winning van het oeverfiltraat bij Remmerden en voorzuivering, diepinfiltratie en terugwinning bij pompstation Leersum. (WMN 1996b, WMN 1996a). In de uiterwaarden bij Remmerden zijn 2 putten aangelegd met een capaciteit van 50 m³/uur. (Vogelaar 1996).



Figuur 2-6 Schematisch weergave van drinkwaterbereiding volgens de methode Oeverfiltratie in combinatie met Diepinfiltratie (Vogelaar 1996).

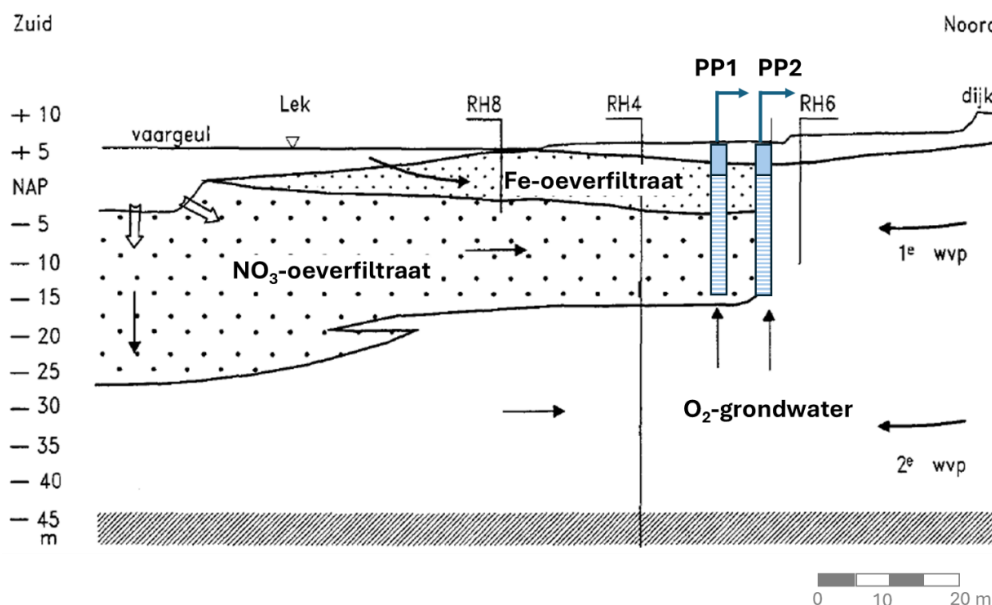
Waterkwaliteitspatronen

De waterkwaliteit van het onttrokken water werd beïnvloed door de bron van het water (in dit geval vooral de Lek), de aan- of afwezigheid van sliblagen in waterlopen en de samenstelling van de ondergrond (Stuyfzand 1989, Stuyfzand en Lüers 1996). Laeven en Reijnen (1997) onderscheiden daarom drie verschillende deelstromen infiltrerend oppervlaktewater:

- Een deelstroom die infiltreert in de vaargeul (met weinig bodemslib) en niet of amper in contact komt met gereduceerde bodemlagen. Aangenomen wordt dat in de vaargeul geen sliblaag is afgezet door de schurende werking van het langsstromende rivierwater. Deze deelstroom blijft (sub)oxisch of wordt licht anoxisch ("NO₃-oeverinfiltraat").
- Een deelstroom die infiltreert tussen de strekdammen die relatief veel geaccumuleerd bodemslib ontmoet. Deze deelstroom wordt anoxisch ("Fe-oeverinfiltraat")
- Een deelstroom met aëroob grondwater afkomstig van de Utrechtse Heuvelrug ("O₂-grondwater").

De winning zelf had ook invloed op het stromingspatroon en daarmee de herkomst van het onttrokken grondwater. Voor aanvang van de pilot werd het gehele watervoerende pakket ter plaatse van de winning gevuld met O₂-grondwater. Na verloop van de tijd werd het aandeel oeverfiltraat afkomstig uit de Lek steeds groter. Voor conservatieve parameters, zoals chloride vond deze verschuiving snel plaats. Door biologische processen in de bodem veranderde ook de samenstelling van in het onderhavige milieu niet-conservatieve parameters zoals nitraat, ijzer, mangaan en totale hardheid. Zo nam de concentratie nitraat tussen 1977 en 1988 toe van 5 naar 15 mg/L (Laeven en Reijnen 1997).

De kwaliteit van het rivierwater was niet constant, maar door de bodempassage werden fluctuaties in waterkwaliteit afgevlakt. Deze afvlakking werd veroorzaakt doordat de stroombanen met een verschil in weglengte en dus reistijd in de putten samenkwamen (Laeven en Reijnen 1997).



Figuur 2-7 Toestroming van water van verschillende redoxklassen naar de onttrekking van Remmerden (Laeven en Reijnen 1997).

Putverstopping en sliblast

PP1 onttrok overwegend oeverf filtraat (90%). PP2 fungeerde als schermwinning voor grondwater afkomstig van de Utrechtse Heuvelrug. Met name voorafgaand aan de plaatsing van de schermput (PP2) trad veel putverstopping op door menging van de verschillende watertypen. Door menging van suboxisch (zuurstofrijk) water met anoxische (ijzerrijk) water werden rond de put ijzerhydroxiden gevormd die een biofilm vormden op de filterspleten van de put. Deze verstopping (die zowel via chemische als microbiologische processen optreedt) kan grote hydraulische weerstand veroorzaken in de put. De biofilm vormde ook in de terreinleidingen (Laeven en Reijnen 1997).

Biofilmvorming in terreinleidingen leidt over het algemeen tot geringere hydraulische verliezen dan de neerslagen in de winput en zijn ook makkelijker verwijderbaar (Van der Schans et al. 2022b). Wel adviseerde Vogelaar (1996) om drukverlies te monitoren, rekening te houden met periodiek proppen van de leiding en een gelijkmatig debiet in de leiding te hanteren om te voorkomen dat de voorzuivering schoksgewijs wordt belast met slib.

Kortsluitstroming

Tijdens hoogwater traden lekstromen op rondom de putten wat leidde tot microbiologische besmetting van de put. Het aanbrengen van een folielaag rond de winputten bracht daar verbetering in (Laeven en Reijnen 1997).

Tabel 2-1 Verandering van waterkwaliteit tijdens oeverfiltratie (Laeven en Reijnen 1997).

Processen	Afname	Toename
- Slibvorming - Oxidatie van organisch materiaal en opgeloste koolstof - Denitrificatie - Adsorptie van diverse microverontreinigingen - Reductie van ijzer en mangaanverbindingen - Radioactief verval	- Zwevende stoffen, troebelheidsgraad - pH, O₂, NO₃, PO₄, DOC, Cr, Pb, Zn, - PAK's, Trtrachlooretheen - Bacteriën, virussen - Mutagene stoffen - Rest-β-radioactiviteit	Fe, Mn, NH₄, CO₂, HCO₃, SiO₂, As

2.2.2 Pilot drinkwaterwinning Steenwaard (OEDI)

Het OEDI-project voorzorg ook in de realisatie van een oeverfiltratiewinning in de uiterwaarden bij Steenwaard. Om te voorkomen dat dit tot een verlaging van de grondwaterstand in de omgeving zou leiden, werd een nevengeul aangelegd langs de Lek. In de effectenstudies werd uitgegaan van 4 deelstromen, namelijk 30% oeverfiltraat afkomstig uit de vaargeul, 30% uit de rivieroever, 30% uit de nevengeul en 10% grondwater. De verwachte samenstelling van het water uit de nevengeul was een menging van vaargeul en rivieroever water (Vogelaar 1996).

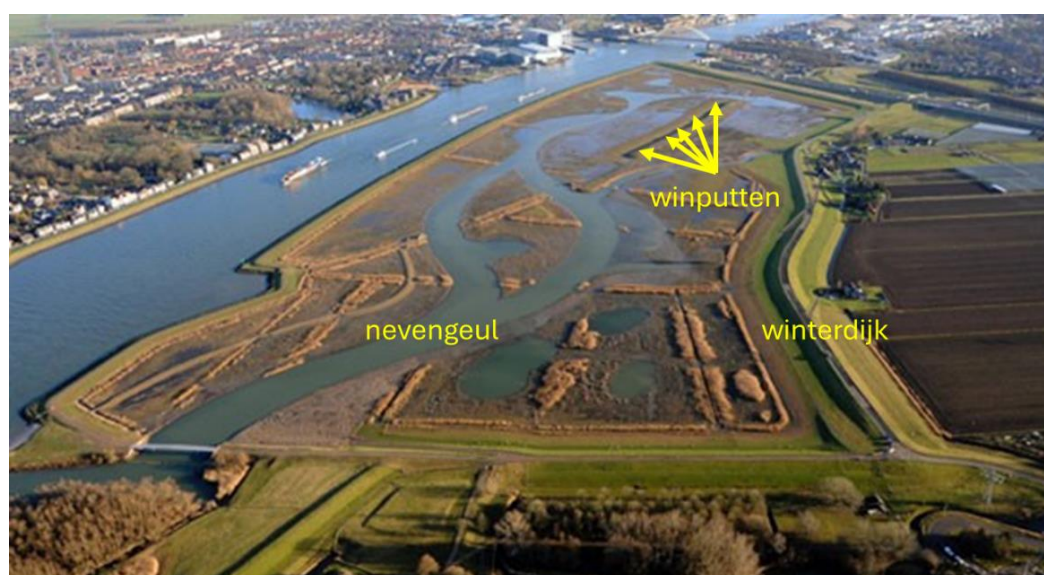
De beoogde oeverfiltratiewinningen zijn uiteindelijk niet gerealiseerd. Daarom is gedurende ruim 20 jaar monitoring uitgevoerd van de grondwaterstanden. De nevengeul heeft niet geleid tot schadeclaims door vernattingsschade door toename van de kwel onder de dijk, mede doordat de weerstand van de bodem is toegenomen (HDSR 2022). Volgens Caljé en Collenteur (2018) heeft de nevengeul momenteel een dempend effect op binnendijkse grondwaterstanden tijdens hoogwatergolven zonder inundatie buiten de zomerkade, maar dit komt doordat deze niet verbonden is met de hoofdstroom. De effecten zijn groter wanneer er een verbinding is tussen de nevengeul en rivier, maar in dat geval duurt de piek korter doordat het waterpeil in de nevengeul sneller daalt. Het sturen van de waterpeilen in de nevengeul kan dus invloed hebben op de hydrologische effecten van de nevengeul.

2.2.3 Crezee polder

Drinkwaterbedrijf Oasen bedrijft 5 winputten in de uiterwaarden van de Crezee polder. De putkelders zijn in 2015 aangelegd op een dijklichaam boven het maatgevende hoogwater. Het dijklichaam ligt parallel met de stromingsrichting en veroorzaakt daarom slechts beperkte opstuwing van het rivierwaterpeil.

Het waterschap heeft in haar vergunningverlening aanvullende voorgeschriften gesteld aan de doorkruising van de winterdijk (Oostmodeldijk) door de ruwwaterleiding omwille van de stabiliteit van het dijklichaam (Waterschap Hollandse Delta 2010). De vergunning omvat eisen t.a.v. het ontwerp (maximale druk i.v.m. opbarsten), monitoren tijdens de gestuurde boring onder de dijk door (muddruk), het type leiding materiaal (gelast PE SR 11) en afwerking van de annulaire ruimte (met dammer) en het beproeven van de leiding na aanleg (afpersen bij 6,5 en 4 bar).

Oasen heeft overigens al veel winningen vlak bij de winterdijk, soms zelf binnen de beschermzone (Schuwacht). Het blijkt echter lastig achteraf te evalueren welke effecten deze hebben gehad op de kruinhoogte, omdat ook andere factoren hierop van invloed zijn.



Figuur 2-8 Ligging van de nevengeul en winputten in de Crezee polder (figuur aangepast van Ambacht.net 2017)¹

¹ <https://www.ambacht.net/nieuws/14949/2017-01-09-3886-afgelopen-twee-jaar-is-crezee-polder-omgetoverd-tot-prachtig-uitwaai-en-wandelgebied>

2.2.4 Engelse werk

Vitens heeft op het winveld Engelse Werk een haalbaarheidsstudie gedaan naar de aanleg van een Radial Collector Well met een verticale schacht op 36 m afstand van de dijk waarvan de strengen (horizontale filterbuizen) op een diepte van 50 m onder de dijk door naar de uiterwaarden zouden lopen (Krab et al. 2004). Het buitendijks plaatsen van de putten was vergunningstechnisch niet haalbaar omdat de uiterwaarden vrijgehouden moesten worden van obstakels. Daarnaast bleek het ook met betrekking tot leveringszekerheid gunstiger om de putten binnendijs te plaatsen. Dit ter voorkoming van ongelukken (aanvaring), elektriciteitsvoorziening en onderhoud tijdens hoogwater (Krab et al. 2004).

2.3 Internationale ervaring

2.3.1 Drinkwaterwinning Severn (Verenigd Koninkrijk, Severn Trent Water)

Situatieschets

Severn Trent Water wint drinkwater uit zowel oppervlakte- als grondwater, twee derde van de winning is afkomstig uit oppervlaktewater. In 2007 kreeg Severn Trent Water ernstige problemen met de waterlevering door overstroming van een productiebedrijf (Severn Trent Water 2007).

Voorzorgsmaatregelen

Er is geen informatie bekend over voorzorgsmaatregelen voorafgaand aan de overstroming in 2007. Een overstroming met schade aan het productiebedrijf is voor 2007 niet voorgekomen (WaterProjectsOnline 2012). In het kader van dit onderzoek is ook niet specifiek gekeken naar eventuele voorzorgsmaatregelen, maar gefocust op de aanpassingen en lessen na de overstroming.

Overstroming 2007

In de zomer van 2007 traden in grote delen van het Verenigd Koninkrijk grote overstromingen op. Eén van de rivieren die buiten haar oevers trad was de rivier de Severn. Het drinkwaterinnamepunt bij Mythe kwam onder water te staan en werd niet-operationeel. Door deze verstoring kwamen 140.000 huishoudens tijdelijk zonder water te zitten en werden zij voorzien in drinkwater via mobiele noodvoorzieningen. Het waterbedrijf wist de schade aan het pompstation te beperken door de elektrische installaties tijdig af te sluiten en voorkwam zo elektrische kortsluiting (FloodProBe 2007, Zwolsman et al. 2014).



Figuur 2-9 Overstroomd pompstation bij Mythe (Gloucestershire, VK) in de zomer van 2007 (Sinisi en Aertgeerts 2011).

Na de overstroming bleek het pompstation deels beschadigd. Het pompstation is na enkele dagen weer operationeel gemaakt, na het herstellen van de installaties en het droogpompen en desinfecteren van de kelder. Om eventuele verontreiniging in het leidingnet tegen te gaan, is na de overstroming een periode extra gechloreerd (Severn Trent Water 2007, Zwolsman et al. 2014).

Maatregelen n.a.v. overstroming

Om de algehele leveringszekerheid te vergroten zijn infrastructurele investeringen gedaan. Onderdelen van het pompstation zijn robuuster hersteld dan voor de overstroming, anticiperend op toekomstige overstromingen (Zwolsman et al. 2014). Zo is er een 3.5 meter hoge dijk geplaatst rondom het productiegebouw waarmee overstroming in de toekomst wordt voorkomen. Verder wordt het terrein van het productiegebouw bemalen om oprijving van de kelders en installaties te voorkomen bij langdurige overstroming (WaterProjectsOnline 2012).

2.3.2 Flood Proof Wells onderzoek

Door Rambags et al. (2011) zijn richtlijnen geformuleerd om winningen overstromingsrobuust aan te leggen op basis van internationale ervaringen. Een groot deel van deze richtlijnen maakt al onderdeel uit van de Nederlandse praktijkcodes voor conventionele, niet-overstroombare winvelden. In Tabel 2-2 zijn maatregelen die specifiek gelden voor overstroombare locaties **rood** gemarkeerd. Door Rambags et al. (2011) wordt ook gewezen op het belang van goede contingentieplannen voorafgaand, gedurende en na afloop van een overstroming.

*Tabel 2-2 Richtlijnen voor het inrichten en bedienen van puttenvelden (grotendeels overgenomen en vertaald uit: Rambags et al. 2011). Richtlijnen die specifiek zijn voor overstroombare winningen en die geen onderdeel uitmaken van de praktijkcodes voor niet-overstroombare winningen (Van der Schans en Meerkerk 2019) zijn **rood** gemarkeerd.*

Richtlijn voor ontwerp	
Locatiekeuze	De potentie voor contaminatie is groter in de volgende situaties: • Putten in freatische aquifers • Putten in depressies in het landschap • Putten nabij niet-goed afgedichte geabandonneerde putten
Inrichting locatie	• Aanleg van dijken rond de productielocatie en pompstation • Verhoogd aanleggen van de putkop en zuivering • Afdichten van geabandonneerde putten • Verwijdering van verontreinigingsbronnen uit het puttenveld
Putbehuizing	• Zorg voor een waterdichte putkelder. Let met name op de toegangsluik, luchtkanalen en doorvoeren voor kabels en leidingen. • Voorkom oprijving van de putkelder door buoyancy gedurende een overstroming door deze te verankeren of voldoende zwaar te maken. • Zorg dat het maaiveld rondom de put afloopt, weg van de put. • Bescherm de putkop tegen vandalisme en beschadiging. • Installeer een waarschuwingssysteem dat alarmeert als er water in de putkelder staat.
Putkop	• Seal de verbindingen in de putkop • Zorg voor een waterdichte afsluiting van de beluchtingspijp en waarnemingsbuizen (met een dop of afsluiter) • Pas alleen hoogwaardige materialen toe bij de aanleg van waarnemingsputten
Inbouw en aanvullen boorgat	• Seal het bovenste deel van de annulus (boorgat) met een cement gebaseerde grout of kleiprop. • Installeer kleipropen in de annulus daar waar het boorgat een scheidende (klei) laag doorboort. De conditie van deze propen kan gecontroleerd worden met geofysische boorgatmetingen. • Pas alleen geschikte materialen toe voor de stijgbuis (casing) welke passen bij de ambiente waterkwaliteit.
Elektriciteitsvoorziening	• Gebruik in de putkelder waterdichte elektrische verbindingen en schakelaars. • Positioneer elektrische omvormers in overstromingsvrije locaties, zoals terpen.

	Zorg voor noodstroomvoorziening.
Management procedures	
Voorafgaand aan overstroming	Voer periodiek een visuele inspectie uit van iedere put: - Zijn er tekenen van vandalisme of schade; - Zijn de automatische waarschuwingssystemen operationeel; - Zijn de waarnemingsbuizen en luchttoevoeren in orde (geen scheuren of lekkages van flenzen en afdichtingen/pakkingen). - Inspecteer de toestand van de casing periodiek met een camera (check verbindingen, aanwezigheid van scheuren, gaten) en van de kleiproppen met een boorgatmeting. - Voer periodiek waterkwaliteitsanalyses uit en bewaar deze in een database (o.a. elektrisch geleidingsvermogen, troebelheid, pH)
Early warning en contingentie plan	- Het early warning systeem moet operationeel zijn. Verzeker jezelf van goede communicatie met andere autoriteiten die gebruik maken van het early warning systeem - Er moet een contingentieplan zijn, waarin alle personele rollen en verantwoordelijkheden zijn uitgewerkt met betrekking tot: - Veiligheid van medewerkers - Alarmering van relevante overheden - Coördinatie van noodhulp - Bescherming van infrastructuur en utiliteiten - Beschikbaarheid van transport en toegang tot het terrein - Aanpassing van de operationele procedures
Gedurende inundatie	- Houd altijd overdruk op de terreinleidingen om te voorkomen dat oppervlaktewater de leidingen kan binnenstromen. Bedrijf productieputten continue en met een constant debiet. - Pas de operatie van het puttenveld aan, bijvoorbeeld door het afschakelen van vooraf aangewezen (ondiepe) putten, het intensiveren van de waterkwaliteitsanalyses. - Voeg een desinfectiestap toe aan de waterzuivering om microbiologische veiligheid te garanderen. Controleer regelmatig de effectiviteit van deze desinfectie.

2.3.3 AquaNES onderzoek

Uit de casussen zoals beschreven in de vorige paragrafen komen een aantal voor uiterwaardwinning specifieke bedreigingen en oplossingen naar voren. Een deel hiervan komt overeen met binnen het EU AquaNES project geïdentificeerde problemen (Tabel 2-3) door overstroming van oeverfiltraatwinningen (Siegfried et al. 2018). De in paragraaf 2.1 beschreven problemen met toetreding van microbiologisch verontreinigd water tijdens overstromingssituaties zijn dus zeker niet uniek.

Tabel 2-3 Problemen op enkele oeverfiltraatlocaties als gevolg van overstromingen (Siegfried et al. 2018).

Locatie	Berlijn, Duitsland Havel	Dresden, Duitsland, Elbe	Budapest, Hongarije, Donau	Haridwar, India, Ganges	Poznam, Polen, Warta
Effecten overstroming	Directe instroom microbiologisch verontreinigd water in winput na zware regenval	Directe instroom microbiologisch verontreinigd water in winput	Directe instroom microbiologisch verontreinigd water in winput	Directe instroom microbiologisch verontreinigd water in winput. Erosie van de oever	Toename NH_4^+ , troebelheid, DOC, TOC en mobilisatie van Fe en Mn

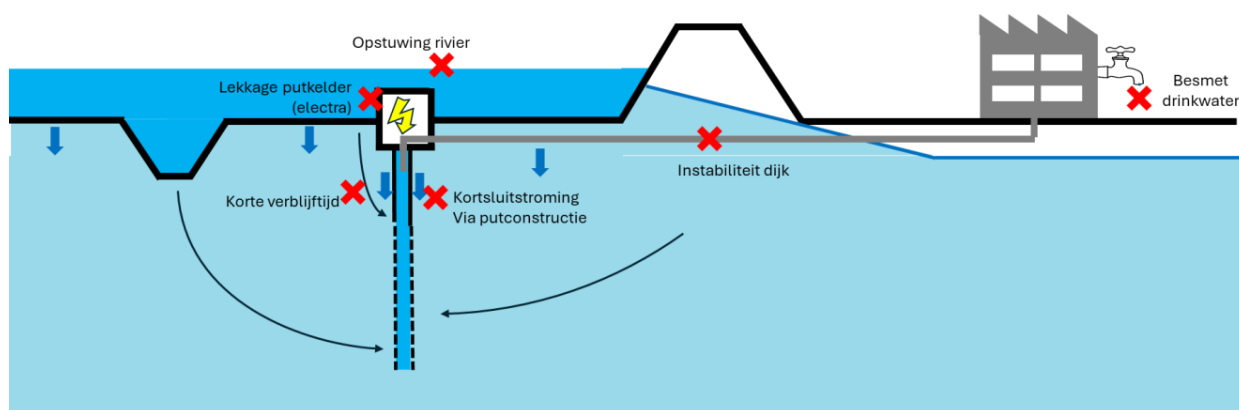
2.4 Leerpunten

De volgende leerpunten zijn geïdentificeerd voor een buitendijkse winning gedurende een hoogwatersituatie:

- Plaats productiegebouwen (waterzuiveringsinstallaties) binnendijs of op gronden die oorspronkelijk al boven maatgevend hoogwater liggen.
- Plaats eventuele bebouwing (zoals tussenstations) op terpen en voorkom opdrijving van kelders door tijdelijke onderbemaling of verzwaring (Severn Trent Water, WB Groningen).
- Verken als drinkwaterbedrijf zelf het risico op extreem hoogwater of inundatie door het in werking treden van noodoverlopen en pas de infrastructuur hierop aan (Severn Trent Water, WB Groningen, WML).
- Voorkom directe toetreding van (verontreinigd) rivierwater door waterdichte afdichting van putkelders of plaats putten op terpen met de putkelder boven overstromingsniveau. Vergeet hierbij ook het kunnen afsluiten van drainageleidingen en beluchting niet, plaats hiervoor (automatische) afsluiters (WML).
- Voorkom intreding van verontreinigd rivierwater in het ruwwaternet door hier overdruk op te houden tijdens de overstroming (WB Groningen).
- Niet alleen de put, maar ook het watervoerend pakket kan (extra) microbiologisch besmet raken, zeker in situaties met een dunne onvolkomen deklaag. Het is daarom van belang om ook peilbuizen af te sluiten of te voorzien van opzetstukken tot boven (extreem) overstromingsniveau. Staak bij dunne/onvolkomen deklagen de onttrekking om het stijghoogteverschil tussen de aquifer en het overstromingsniveau te minimaliseren (WML, Severn Trent Water).
- Start na een overstromingssituatie de onttrekking niet te snel weer op, maar wacht tot de micro-biologische besmetting in het winpakket is afgenomen/afgestroomd (WML).
- Bouw extra microbiologische verwijderingscapaciteit in bij de zuivering (bijv. UV) om na een overstromingssituatie de microbiologische veiligheid sneller te kunnen garanderen (Severn Trent Water, WML).

Daarnaast kent het winnen in een uiterwaard ook uitdagingen m.b.t. hydrologie en waterkwaliteit:

- Ruimtelijke variatie in de slibafzetting in de rivier en nevengeulen en reactiviteit van de ondergrond rondom de rivier veroorzaken ruimtelijke variatie in waterkwaliteit. De waterkwaliteitspatronen kunnen door de winning zelf en het aanleggen van infrastructuur voor wateraanvoer (zoals nevengeulen) beïnvloed worden (Remmerden, Steenwaard).
- Onttrekking van water met verschillende redoxklassen kan bij menging in de onttrekkingsputten resulteren in putverstopping en slibafzetting in de terreinleidingen. Een gedegen voorstudie naar hydrogeochemische condities in het watervoerende pakket onder de uiterwaard is cruciaal om toekomstige onderhoudskosten goed te kunnen inschatten (Remmerden, Steenwaard).



Figuur 2-10 Potentiële risico's bij overstroming van conventionele putten in overstromingsgebieden.

3 Eisen en wensen van belanghebbenden

In de uiterwaarden spelen verschillende belangen die niet altijd overeenkomen met het belang van de drinkwatervoorziening of die restricties leggen op het gebruik van de ruimte. Langs de grote rivieren gaat het bijvoorbeeld om 70 000 ha die in eigendom zijn bij 12 000 grondeigenaren. Dit hoofdstuk biedt een overzicht van een aantal belanghebbenden en hun eisen en wensen.

3.1 Belanghebbenden

Drinkwaterbedrijf (Db.)

- Belang: Het winnen van voldoende water van geschikte kwaliteit om aan de drinkwatervraag te kunnen voldoen
- Rol: Winnen, zuiveren en distribueren van drinkwater
- Eisen/wensen:
- Voldoende wincapaciteit
 - Ruimte voor de locatiekeuze voor de productie van drinkwater
 - Voldoende schoon grondwater en infiltrerend oppervlaktewater
 - Zo min mogelijk schade aan derden (via vergunningvoorschriften)
 - Behoud/versterking natuurwaarden eigen gronden

Rijkswaterstaat (RWS)

- Belang: Hoogwaterveiligheid en waterkwaliteit Rijkswateren
Behoud natuurwaarden en cultureel erfgoed
- Rol: Bevoegd gezag hoogwaterveiligheid en waterkwaliteit Rijkswateren
Beheerder 11 000 ha uiterwaard
- Eisen/wensen:
- Geen verlies in waterbergend vermogen in de rivier en uiterwaarden
 - Geen opstuwing tijdens hoogwater (geen obstakels boven maaiveld)
 - Geen negatieve invloed op de kwaliteit en kwantiteit van het oppervlaktewaterlichaam
 - Behoud/versterking natuurwaarden eigen gronden
 - Activiteiten in de uiterwaarden zijn alleen mogelijk indien ze een groot openbaar belang dienen en ze niet redelijkerwijs buiten de uiterwaarden gerealiseerd kunnen worden.

Waterschap (Ws.)

- Belang: Behoud van de werking van primaire en regionale waterkeringen
Behoud van functioneren van watersysteem (grondwaterstanden, waterpeilen, kwel/ wegzijging)
- Rol: Beheerder primaire en regionale waterkeringen
Verantwoordelijk voor peilbesluiten
Bevoegd gezag waterkwantiteit en -kwaliteit niet-Rijkswateren
Beheerder ondiep grondwater (inclusief bescherming ondergrond)
Bevoegd gezag voor vergunning kleinschalige grondwateronttrekkingen
- Eisen/wensen:
- Geen negatieve effecten op de stabiliteit en hoogte van de waterkering (dijk)
 - Geen negatieve invloed op de kwantiteit van het oppervlaktelichaam
 - Geen verslechtering kwaliteit regionaal oppervlaktewater

Provincie (Prov.)

- Belang: Gebiedsgerichte coördinatie van de uitoefening van taken en bevoegdheden door gemeenten en waterschappen
Verantwoordelijk voor de grondwaterkwaliteit als bron van drinkwater
- Rol: Bevoegd gezag voor de vergunningen voor drinkwateronttrekking
Opnemen omgevingswaarden waterveiligheid voor regionale waterkeringen in de omgevingsverordening
- Eisen/wensen:
- Geen verslechtering grondwaterkwaliteit
 - Behoud en versterking natuurwaarden N2000 gebieden
 - Borging openbare drinkwatervoorziening
 - Minimalisering/compensatie schade door grondwateronttrekking aan derden (droogteschade/zetting)

Agrarische ondernemers (Agr.)

- Belang: Agrarische bedrijfsvoering in de uiterwaarden
- Rol: Eigenaar/gebruiker/pachter gronden in uiterwaarden
- Eisen/wensen:
- Zo min mogelijk droogteschade aan gewassen
 - Geen/zo min mogelijk zomeroverstroming
 - Zo min mogelijk restricties aan landbewerking

Natuurbeheerders en landgoedeigenaren (Nat.)

- Belang: Behoud en versterking van natuurwaarden en cultuurlandschap in de uiterwaarden
- Rol: Eigenaar/beheerder gronden in uiterwaarden
- Eisen/wensen:
- Zo min mogelijk negatieve effecten op natuur; bij voorkeur versterking van natuurwaarden
 - Bescherming landschappelijke en cultuurhistorische waarden

Overige stakeholders (omwonenden/recreanten) (O.)

- Belang: Behoud van landschappelijke en recreatieve waarden en toegang
Behoud van eigendommen rondom de winning in goede staat
- Rol: Omwonenden
Recreatieve gebruikers uiterwaarden.
- Eisen/wensen:
- Geen tot minimale negatieve effecten op eigendommen door bijvoorbeeld zetting als gevolg van stijghoogteverlaging of vocht door vernatting.
 - Recreatieve toegang tot uiterwaarden

3.2 Beleidsprincipes waterveiligheid

RWS en waterschappen streven naar het scheiden van functies rondom waterkeringen. Bij initiatieven (vergunningaanvragen) is het streven ook het voorkomen van effecten op de waterveiligheid en het watersysteem. Indien deze effecten er wel zijn en deze effecten zijn niet te mitigeren, dan moet een bestuurlijke afweging gemaakt worden in verband met het maatschappelijke belang. Als besloten wordt om een drinkwaterwinning toch toe te staan, dan kan het bevoegd gezag technische voorwaarden opleggen aan de uitvoering of compensatie vragen voor schade of extra kosten (voor bijvoorbeeld het ophogen van de dijk).

3.3 Integrale gebiedsaanpak

Uiterwaardwinningen kunnen impact hebben op de omgeving, met name veendijken zijn bijvoorbeeld kwetsbaar voor zettingen bij (lokale) verlaging van de grondwaterstand. Compensatie hiervan kan gevoelig liggen, bijvoorbeeld wanneer er net een dijkverzwaring heeft plaatsgevonden. Het geniet daarom de voorkeur om drinkwaterwinning integraal te benaderen met andere opgaven zoals natuurontwikkeling in de uiterwaarden of hoogwaterveiligheid, zodat ingrepen gecombineerd kunnen worden. Omwonenden hoeven dan niet bij herhaling overlast te ervaren door werkzaamheden en de inrichting van dijken, natuur, drinkwaterwinning en andere functies kan beter op elkaar afgestemd worden.

4 Technische aandachtspunten ontwerpfase

In dit hoofdstuk zijn aandachtspunten geformuleerd en toegelicht die beschouwd kunnen worden in de ontwerpfase van nieuwe winningen in de uiterwaarden. Ze volgen mede uit de praktijkervaringen (hoofdstuk 2) en geven invulling aan de eisen en wensen van de drinkwaterbedrijven (Tabel 4-1) en andere belanghebbenden (Tabel 4-2). Overigens heeft een groot deel van deze aandachtspunten ook betrekking op conventionele, niet-overstroombare winvelden, maar zijn ze hier genoemd vanwege de specifieke condities rondom uiterwaarden.

Tabel 4-1 Aandachtspunten voor sec het drinkwaterbedrijf. Hierbij is ook aangegeven of het aandachtspunt met name geldt tijdens overstroming of altijd (ook tijdens lage en reguliere rivierpeilen).

Aandachtspunt	Wanneer
Geohydrologie	
1 Microbiologische veiligheid – door korte reistijd in de formatie	Altijd
2 Microbiologische veiligheid – door kortsluitstroming via putconstructie	Vooraf bij overstroming
3 Chemische ruwwaterkwaliteit	Altijd
Installatie	
4 Gevoeligheid voor verstopping	Altijd
5 Waterstand, overstromingsduur en herhalingstijd	Overstroming
6 Bereikbaarheid voor onderhoud	Altijd
7 Risico op elektrische kortsluiting	Vooraf bij overstroming
8 Overstromingsschade aan putconstructies en leidingen	Overstroming
9 Technologisch Readiness Level (TRL, bewezen techniek)	Altijd
10 Leveringszekerheid	Altijd

Tabel 4-2 Aandachtspunten relevant voor meerdere belanghebbenden.

Aandachtspunt	Wanneer	Relevante belanghebbenden					
Waterveiligheid		RWS	Ws.	Db.	Prov.	Agr.	Nat. O.
11 Voldoen aan beschermzones rondom waterkering	Overstroming	X	X				
12 Stabiliteit waterkering - a.g.v. hydrologische veranderingen	Overstroming	X	X				X
13 Stabiliteit waterkering - a.g.v. kabels en leidingen	Overstroming	X	X				
14 Doorstroomprofiel van de rivier	Overstroming	X					
Invloed op bestaande functies							
15 Zetting van gebouwen en infrastructuur	Altijd			X	X		X
16 Nat- en droogteschade in landbouw	Altijd				X	X	X
17 Nat- en droogteschade in natuurgebieden	Altijd				X		X
18 Graafschade - met name in natuurgronden	Altijd				X	X	X
19 Permanente bovengrondse aanwezigheid infrastructuur - met name in natuurgronden	Altijd	X				X	X
20 Binnendijkse ruimtelijke claim beschermingszones	Altijd				X	X	X
21 Maatschappelijke aandachtspunten	Altijd	X	X	X	X	X	X

Microbiologische veiligheid – door korte reistijd in de formatie (1)

Drinkwaterbedrijven zijn verplicht om drinkwater te leveren dat voldoet aan de eisen t.a.v. microbiologische veiligheid zoals genoemd in het drinkwaterbesluit. Ze moeten de microbiologische veiligheid van het water aantonen via een Analyse Microbiologische Veiligheid Winning (AMVD) (ILT 2019). Uitgangspunt hierbij is dat de constructies integer zijn. De benodigde bovengrondse zuiveringsinspanning is afhankelijk van de belasting van het

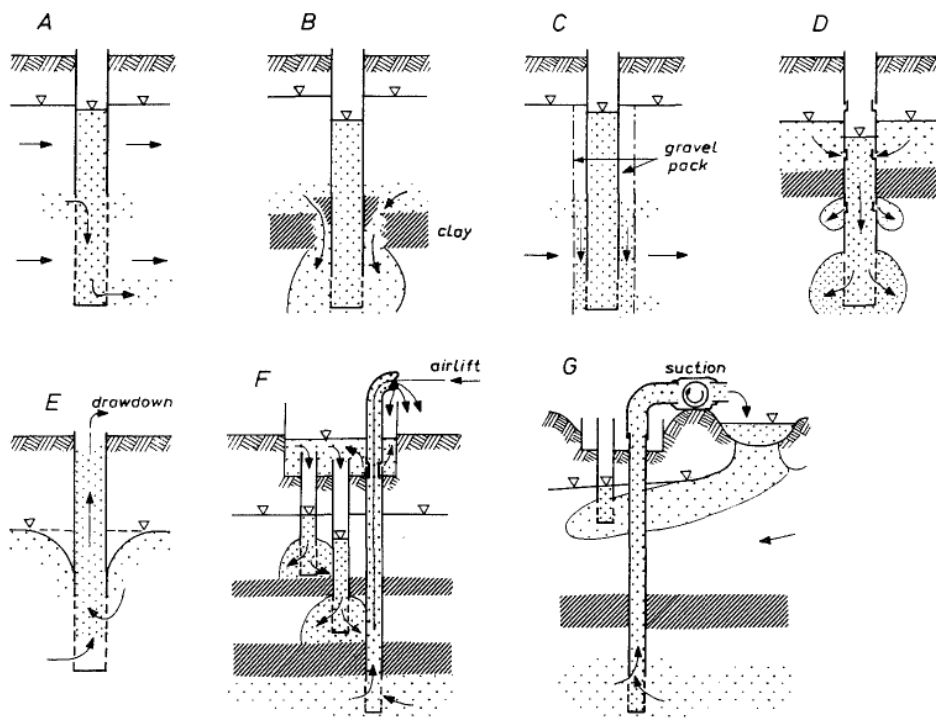
grondwater (=concentratie pathogenen die de formatie binnendringen) en de eliminatie van pathogenen tijdens bodempassage. De eliminatie is afhankelijk van het redoxmilieu en de reistijd. Pathogenen overleven langer in anoxisch grondwater. De benodigde reistijd van het opgepompte water is dus afhankelijk van de eliminatiecapaciteit van de zuiveringen en andersom.

Tijdens inundaties en overstromingen is het risico op microbiologische besmettingen hoger dan in droge situaties. Dit komt doordat er een potentiaalverschil ontstaat tussen de deklaag (overstroomd met oppervlaktewater) en het watervoerende pakket waardoor de infiltratiesnelheid toeneemt. Door de hogere potentiaal neemt ook het aandeel onttrokken oevergrondwater toe (vergeleken met diep grondwater) waardoor de verblijftijden nog verder afnemen. Het risico op te korte verblijftijden speelt met name in situaties met gaten in de deklaag nabij winputten omdat daar de grootste potentiaalverschillen kunnen optreden (tijdens onttrekken) en de afstand tot de putten gering is (zoals in het eerdere voorbeeld bij winning Roosteren van WML in sectie 2.1.1.).

Microbiologische veiligheid – door kortsluitstroming via putconstructie (2)

Lekkages (kortsluitstroming) via de putkopconstructie, waarnemingsbuizen of via de annulaire ruimte tussen boorgatwand en stijgbuis (Figuur 4-1) kunnen leiden tot zeer korte verblijftijden en daardoor microbiologische besmetting van een put en/of omliggende formaties. Doordat de concentraties pathogenen en indicatororganismen in oppervlaktewater verhoudingsgewijs veel hoger zijn dan de normen in Nederland, kunnen zelfs kleine lekstromen leiden tot microbiologische risico's, al voordat een concentratie pathogenen of indicatoren meetbaar is. Zoals aangegeven is daarom het uitgangspunt dat constructies integer moeten zijn.

Voorbeelden uit hoofdstuk 2 waarbij de integriteit onvoldoende bleek zijn de instroom via de afvoerbuys van de putkelder (bij Roodborn, zie sectie 2.1.2) en toetreding van oppervlaktewater via een lekke verbinding van een opzetstuk van in een peilbuis (bij Roosteren, zie sectie 2.1.1).



Figuur 4-1 Verschillende wijzen waarop kortsluitstroming naar het winpakket kan plaatsvinden: A) Te lang filterbuistraject, waardoor verticale stroming ontstaat; B) Lekke aquitard die incorrect is afgesloten bij aanvulling van de boorgat; C) Te hoge doorlaatbaarheid van het filtergrind ten opzichte van het omliggende materiaal; D) Lekke stijgbuis waardoor top-down stroming door de put plaatsvindt; E) Te groot stijghoogteverschil rond de put; F) Kortsluitstroming door onafgedekte peilbuizen; G) Diep gedraineerd grondwater infiltreert in het bovenste watervoerende pakket en stroomt naar win- en peilbuizen. (Stuyfzand 1993)

Chemische ruwwaterkwaliteit (3)

Bij een winning in de uiterwaarden wordt doorgaans zowel infiltrerend rivierwater als binnendijs grondwater onttrokken. Het infiltrerende rivierwater heeft een relatief korte bodempassage ondergaan, zeker in vergelijking met diep grondwater dat vaak decennia tot eeuwen geleden geïnfiltreerd is in binnendijs gebied (Arcadis Nederland B.V. 2024a). Daarnaast wijkt de samenstelling van het infiltrerend rivierwater af van het binnendijs infiltrerend hemelwater. Bij onttrekking zal de kwaliteit van het onttrokken water meer of minder snel veranderen naar een dominantie van geïnfiltreerd rivierwater.

Gevoeligheid voor verstopping (4)

Door menging van verschillende waterkwaliteiten kunnen biochemische neerslagen vormen die tot verstopping leiden op de filterspleten. Een in Nederland veel voorkomende situatie is de vorming van ijzerhydroxiden door menging van aerob en anaerob water (Van der Schans et al. 2022b). Aangezien in de uiterwaarden vaak beide waterkwaliteiten aanwezig zijn, is het van belang om een winlocatie en putconfiguratie te kiezen waarbij menging van aerob en anaerob grondwater in het putfilter zoveel mogelijk wordt vermeden.

Veel winputten in oevergrondwaterwinningen kampen met mechanische verstopping van de boorgatwand. Dit wordt meestal veroorzaakt door fijne deeltjes afkomstig uit de formatie die met het grondwater worden meegevoerd en ophopen op de overgang van de bodem naar de omstorting. Voor prognoses ten aanzien van de onderhoudsfrequentie moet hier rekening mee worden gehouden.

Maximale waterstand, inundatieduur en herhalingsdij (5)

Conventionele puttenvelden worden ingericht om bestand te zijn tegen kortdurend water op maaiveld met maximaal enkele tientallen centimeters als gevolg van wateroverlast door hevige neerslag. Gedurende dergelijke gebeurtenissen moeten de elektrotechnische installaties blijven functioneren en mag geen afstromend hemelwater de put of putkelder instromen. Voor een overstroombaar winveld is het belangrijk om vast te stellen wat de maximale waterstand is, hoe vaak deze optreedt en hoe lang. De herhalingsdij en duur bepalen mede of het noodzakelijk is dat de winning tijdens inundatie of overstroming volledig moet blijven functioneren of dat kan worden overgeschakeld op andere winvelden. De maximale waterstand bepaalt de waterdruk waartegen constructies bestand moeten zijn. De maatgevende waterniveaus zijn beschikbaar via het dataportaal van Rijkswaterstaat: <https://waterinfo.rws.nl/#/publiek/waterhoogte>.

Bereikbaarheid voor onderhoud (6)

Het is belangrijk dat de putconstructie (putkop, stijgbuis, filterbuis) en terreinleidingen enkele maanden per jaar per vrachtauto bereikbaar zijn voor planmatig onderhoud, bijvoorbeeld voor regeneratie van de putten. Al bij het ontwerp van de winning moet rekening worden gehouden met de verwachte onderhoudsfrequentie en de frequentie (en duur) dat putten niet bereikbaar zijn voor onderhoud door hoogwater.

Risico op elektrische kortsluiting (7)

Alle puttenvelden in Nederland worden volgens state-of-the-art technieken automatisch op afstand aangestuurd en gemonitord. Deze meet- en regelprincipes kunnen ook toegepast worden tijdens inundaties en overstromingen, mits het elektrische systeem blijft functioneren. Het is dus essentieel om te zorgen dat de elektrotechnische installaties ook gedurende overstromingen blijven functioneren, of dat deze kunnen worden afgesloten. Dit laatste vergt dat de installatie na daling van het waterpeil weer kan worden opgestart en dat andere puttenvelden de productie tijdelijk kunnen overnemen om te voldoen aan de eisen van leveringszekerheid.

Schade aan putconstructies en leidingen - door opdrijven of wegspoelen van grond (8)

Tijdens overstromingen kan erosie optreden van de bodem waardoor schade kan ontstaan aan putconstructies en leidingen. Het ontwerp moet hier rekening mee houden. Ook moeten putkelders zo aangelegd worden dat er geen opdrijving kan plaatsvinden om schade aan de putkelder zelf en verbonden kabels en leidingen te voorkomen.

Technologisch Readiness Level (TRL) wintechniek (9)

Toepassing van nieuwe technieken kan helpen om de toepassingsmogelijkheden van buitendijkse winningen te vergroten. In de drinkwatersector worden in de regel lange termijn investeringen gedaan en worden daarom bewezen technieken toegepast. Bij toepassing van nieuwe technieken zullen aanloopproblemen vaker optreden, staat niet vast of de techniek op de lange termijn blijft werken zoals bedoeld en is er nog onbekendheid over beheer en onderhoud op de lange termijn.

Leveringszekerheid (10)

Bij het inrichten van de winning moet rekening gehouden worden met de leveringszekerheid tijdens calamiteiten. Als een winning tijdens een overstroming stopgezet moet worden, moet dit opgevangen worden door andere winningen. Daarnaast kan een beperkte bereikbaarheid van putten (bijvoorbeeld door beperkingen van toegang in het broedseizoen) ervoor zorgen dat eventuele problemen met de putten niet snel verholpen kunnen worden. Dit heeft gevolgen voor de leveringszekerheid.

De afvoerpiek van de Rijn (en IJssel en Waal) zal vermoedelijk langer worden in de winter door klimaatverandering, waardoor de uiterwaarden ook langer overstroomd zullen zijn. Dit betekent dat gedurende een grotere periode back-up nodig is wanneer de uiterwaardwinning niet inzetbaar is tijdens inundatie. De leveringszekerheid wordt dus ook mede bepaald door de back-up capaciteit van andere winningen.

Voldoen aan beschermzones rondom waterkering (11)

Putten mogen alleen in de beschermingszone van een primaire waterkering geplaatst worden wanneer er geen negatieve gevolgen zijn voor de waterkerende functie van de waterkering (Hergarden 2024). Verder mogen bij bouwwerken in/op de waterkering en de bijbehorende beschermingszone geen holle ruimtes worden gemaakt of aanwezig zijn. Bouwwerken moeten boven het bestaande maaiveld gerealiseerd worden en het maaiveld mag niet verlaagd worden (Hergarden 2024).

Stabiliteit waterkering - a.g.v. hydrologische veranderingen (12)

Het is van belang dat het veilig functioneren van een waterkering gewaarborgd blijft als een winning in de uiterwaarden geplaatst wordt. De winning mag geen negatieve effecten hebben op het functioneren van de kering. Bij locatiekeuze en ontwerp moet vooraf rekening worden gehouden met de grondwaterstandsverlaging door de winning, zodat de faalmechanismen van het dijklichaam en de risico's hierbij (onder andere piping en zetting) gekwantificeerd kunnen worden. Over het algemeen worden geen noemenswaardige effecten op de dijkstabiliteit verwacht van een winning (Hergarden 2024).

Stabiliteit waterkering - a.g.v. kabels en leidingen (13)

Om een winning in het buitendijkse gebied te realiseren, moet in alle gevallen de dijk gepasseerd worden. RHDHV heeft, als onderdeel van dit project, een studie gedaan waarin ook de eisen die er worden gesteld aan kruising van (druk)leidingen met de waterkering worden beschreven (Hergarden 2024). Doorkruising van een waterkering is alleen bij uitzondering toegestaan, maar een drinkwaterwinning komt in aanmerking voor deze uitzondering.

Leidingen en kabels die een waterkering doorkruisen kunnen de waterkerende functie van de waterkering aantasten. Schade aan leidingen en hiermee gepaard gaande lekkage kan gevolgen hebben voor de dijkstabiliteit en door de aanleg van kabels en leidingen is er een verhoogd risico op piping bij hoogwater. Daarom is het streven van het waterschap om geen kabels en/of leidingen in een waterkering te hebben. Voor toestemming voor de aanleg van leidingen moet daarom aangetoond worden dat er geen andere mogelijkheid is. Daarna moeten kruisingen zo aangelegd worden dat het risico van falen zo klein mogelijk is.

Voor leidingen in en nabij waterstaatswerken is de NEN 3650-serie van toepassing, uitzondering hierop zijn leidingen met een diameter tot maximaal 63 mm en drukloze leidingen met een diameter tot maximaal 125 mm. Dit betekent dat voor deze leidingen geen sterkteberekening volgens de NEN 3650-serie is vereist.

Voor leidingen en kabels in de waterkering gelden verschillende eisen en toetsingscriteria. Het volledige overzicht hiervan wordt gegeven in Hergarden (2024). De belangrijkste criteria voor een waterkering kruisende leiding zijn: kruisingen worden haaks op de waterkering uitgevoerd, leidingen worden als één stuk gelegd en de leiding moet aan beide zijden van de kruising afgesloten kunnen worden. Daarnaast zijn er specifieke criteria afhankelijk van de methode die gekozen wordt voor de aanleg: open ontgraving/persing of horizontaal gestuurde boring. In beide gevallen geldt dat maatregelen genomen moeten worden om te voorkomen dat in de toekomst een kwelweg (piping) zal ontstaan.

Doorstroomprofiel van de rivier - i.v.m. effect op maatgevende waterstanden (14)

Vanuit Rijkswaterstaat worden een aantal eisen gesteld aan de inrichting van een buitendijks winveld.

Rijkswaterstaat toetst aan de Beleidsregels grote rivieren (Min I&W 2025). Een winveld in de uiterwaarden kan alleen gerealiseerd worden onder de volgende voorwaarde (artikel 6a van de Bgr):

- *“Wanneer sprake is van een groot openbaar belang en de activiteit niet redelijkerwijs buiten het rivierbed kan worden gerealiseerd.”*

Het bergend (en doorstromend) regime van de uiterwaard mag niet beïnvloed worden. Mocht er sprake zijn van een vermindering in het bergend regime van de uiterwaard met meer dan 10 m³, dan moet dat ter plekke van de activiteit gecompenseerd worden (Rijkswaterstaat 2023).

Zetting van gebouwen en infrastructuur (15)

Het is voor gebouwen en infrastructuur in de omgeving van belang dat de zetting van de ondergrond binnendijs niet of nauwelijks vermeerderd wordt. Net als bij binnendijkse winningen dient alle zettingsschade die veroorzaakt wordt door de winning gecompenseerd te worden door het drinkwaterbedrijf, waar mogelijk door mitigatie en anders financieel.

Nat- en droogteschade in landbouw (16)

Voor de landbouw is het gewenst zo weinig mogelijk schade aan gewassen te ondervinden door drinkwaterwinningen, dit geldt voor zowel binnendijkse als buitendijkse winningen. Bij overstromingen van de uiterwaarden wordt in bepaalde uitzonderlijke gevallen een tegemoetkoming voor natschade uitgekeerd aan de landbewerker; bijvoorbeeld na de zomeroverstromingen van 2021 via de Beleidsregel tegemoetkoming teeltplanschade uiterwaarden Maas juli 2021. Alle schade die veroorzaakt wordt door de drinkwaterproductie moet worden gemitigeerd waar mogelijk en anders financieel worden gecompenseerd. De grondwaterputten kunnen lokaal bijdragen tot verdroging terwijl wateraanvoer (indien toegepast, bijvoorbeeld via een extra nevengeul) juist voor vernatting kan zorgen (zie §5.1 en §5.2).

Nat- en droogteschade in natuurgebieden (17)

Bij alle drinkwaterwinningen geldt het streven dat natuurwaarden zo min mogelijk worden beïnvloed door de winning (in het bijzonder wanneer sprake is van een Natura2000-gebied). Grote delen van de uiterwaarden langs IJssel, Nederrijn, Lek en Waal zijn aangewezen als vogel en/of habitatrictlijngebied. Ook voor natuur geldt dat eventuele nat- en droogteschade door een winning gemitigeerd moet worden.

Graafschade - met name in natuurgebieden (18)

Voor de natuurwaarde is het van belang dat er geen tot zo weinig mogelijk graafschade plaatsvindt. Ook moet rekening worden gehouden met het broedseizoen en moet de begrenzing van Natura2000 gebieden goed opgenomen worden in de plannen.

Permanente bovengrondse aanwezigheid infrastructuur - met name in natuurgronden (19)

De infrastructuur aan maaiveld moet een minimale impact hebben op de natuurwaarde in het gebied. Het heeft de voorkeur om de infrastructuur, zoals de terreinleidingen, op een onopvallende wijze aan te leggen (bijvoorbeeld ondergronds).

Ruimtelijke claim beschermingszones (20)

Vanuit provinciaal oogpunt is het van belang dat er ten alle tijden voldoende mogelijkheid is tot de winning van drinkwater ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening, met een zo goed mogelijke kwaliteit. Hiervoor moeten bronnen kwalitatief beschermd worden. Hierbij is het wenselijk zo weinig mogelijk effect te hebben op andere functies (o.a. natuur, landbouw en bebouwde omgeving). De ruimtelijke claim van de drinkwaterwinning, en het beschermingsgebied hiervan, moet zo klein mogelijk zijn en het is praktisch als het beschermingsgebied zo veel mogelijk buitendijks ligt.

Maatschappelijke aandachtspunten (21)

Naast de technische haalbaarheid, dient ook rekening te worden gehouden met maatschappelijke aandachtspunten. Zo kan de noodzaak om compenserende maatregelen te nemen, en de overlast die omwonenden hierdoor ervaren worden meegenomen als criterium bij het uitvoeren van haalbaarheidsstudies en het afwegen van locaties.

5 Technische afwegingen

In dit hoofdstuk is voor de verschillende onderdelen van de winning (winputten, wateraanvoer, terreinleidingen, etc.) een overzicht gegeven van ontwerpkeuzes en welke gevolgen dit heeft op de in hoofdstuk 4 geformuleerde aandachtspunten.

5.1 Configuratie winputten

5.1.1 Ontwerpkeuzes

De configuratie van de winputten heeft grote invloed op de vorm en omvang van het waterwingebied en de effecten op de omgeving. Er moeten keuzes gemaakt worden t.a.v. de locatie binnen een uiterwaard, de diepte van het filter en afstand tussen de putten.

Afstand winfilters t.o.v. rivier en dijk

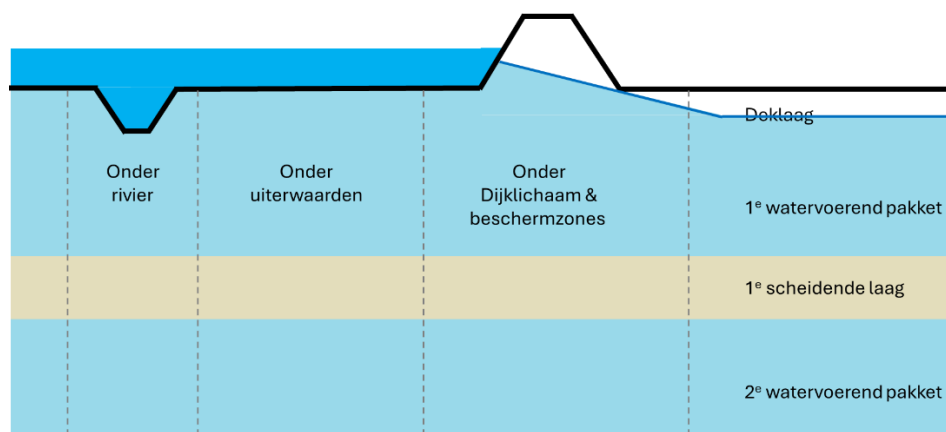
Globaal gezien zijn er drie gebieden denkbaar om buitendijkse putten te positioneren: (1) onder de rivier, (2) onder de uiterwaard of (3) onder het dijklichaam en de bijbehorende beschermingszone (Figuur 5-1).

Winning onder de rivier zal over het algemeen zorgen voor meer aantrekking van oeverinfiltraat en beperkte uitstraling van de hydrologische effecten.

Diepte winfilter (watervoerende pakket)

Er moet ook een keuze gemaakt worden voor de diepte waaruit onttrokken kan worden: (1) het eerste watervoerende pakket of (2) diepere watervoerende pakketten.

Winning in het eerste watervoerend pakket veroorzaakt lokaal meer verlaging, maar helpt om uitstraling van de hydrologische effecten te beperken, met name wanneer de vaargeul van de rivier is ingesneden tot in het watervoerend pakket. Er geldt een groter risico op het intreden van verontreinigingen (1) bij overstromingen, helemaal als de deklaag goed doorlatend is (2) wanneer de rivier (lokaal) infiltreert door bijvoorbeeld beschadiging van de sliblaag op de waterbodem. Winning vanuit het tweede watervoerende pakket zal zorgen voor meer aantrekking van grondwater en minder aantrekking van oeverinfiltraat. Nadeel is dat de hydrologische effecten over een groter gebied worden uitgespreid, dus ook binnendijs, al worden deze effecten wel gedempt door de slecht doorlatende laag boven het tweede watervoerend pakket.



Figuur 5-1 Mogelijke diepte en afstand winfilters t.o.v. de rivier en dijk

Onderlinge positionering van putten

Winputten (of horizontale filterbuizen) kunnen op verschillende wijze gepositioneerd worden. Bijvoorbeeld (1) in een lijn loodrecht op de rivier, (2) parallel met de rivier of (3) in parallelle raaen.

Bij positionering loodrecht op de rivier zullen over het algemeen de putten nabij de rivier met name oeverinfiltraat onttrekken en de putten nabij de winterdijk grondwater. Plaatsing van de putten in twee raaen parallel aan de rivier maakt het mogelijk om oeverinfiltraat en grondwater uit binnendijkse gebieden gescheiden te onttrekken. Dit kan voordelen bieden wanneer beide watertypen verschillende zuiveringsstappen vergen. Het kan ook helpen verstopping te voorkomen indien redoxniveaus van beide waterstromen verschillen. Aandachtspunt hierbij is het goed inregelen en monitoren van de debieten per streng en per put.

Bij de positionering moet rekening gehouden worden met de verblijftijd van het onttrokken water. Voldoende variatie in de verblijftijd is een noodzakelijke functionele eis aan het winveld. Putten op gelijke afstand tot de rivier zijn gevoelig voor verontreinigingspropstromen uit de rivier. Het is aan te bevelen putten op verschillende afstanden tot de rivier te plaatsen om altijd een mengverhouding (in tijd) te onttrekken waardoor verontreinigingen nooit in alle putten tegelijk aanwezig zullen zijn. De winning bij Vechterweerd heeft bijvoorbeeld putten met verschillende reistijden, waardoor de oppervlaktewaterverontreinigingspiek effectief afgevlakt wordt.

Onderlinge afstand tussen putten

Tot slot kan gevarieerd worden in de afstand tussen de putten. In de praktijk wordt (1) een minimale afstand gehanteerd van 25 meter. Putten dicht bij elkaar plaatsen is vaak niet zinvol omdat ze elkaar dan hydraulisch teveel gaan beïnvloeden. Ook moet rekening gehouden worden met de onderlinge verblijftijd tussen putten, zodat kruisbesmetting niet kan optreden. Hiervoor wordt 60 dagen verblijftijd aangenomen. (2) De maximale onderlinge afstand is enkele honderden meters omdat bij grotere afstand de kosten voor aanleg van terreinleidingen en aankoop van grond en de hydraulische verliezen navenant toenemen.

Door putten dicht op elkaar te zetten treedt lokaal een grotere verlagingsskegel op maar blijven de hydrologische effecten beperkt tot een kleiner gebied. Door putten verder van elkaar te zetten, wordt de oorspronkelijke grondwaterstroming minder verstoort en zal de waterkwaliteit een grotere gelijkenis vertonen met het thans aanwezige grondwater.

5.1.2 Aandachtspunten positionering winputten

Deze paragraaf gaat na wat de gevolgen van de verschillende opties voor positionering van de putten zijn aan de hand van enkele van de in hoofdstuk 4 benoemde aandachtspunten.

Ruimtelijke claim beschermingszones; droogteschade; zetting

De locatie van de winning en winconfiguratie heeft een grote invloed op de ligging en grootte van het beschermingsgebied. Daarnaast bepaalt dit ook de effecten op de directe omgeving (het invloedgebied), zoals verlaging en daarmee mogelijke droogteschade en zetting. Bij een winning in de uiterwaarden of onder de rivier zullen beide gebieden uiteraard veel meer buitendijks liggen dan bij een binnendijkse winning. Aangezien er buitendijks minder functies aanwezig zijn dan binnendijks, is het een voordeel als het invloed- en beschermingsgebied voornamelijk buitendijks liggen.

De ligging van de winning bepaalt dus deels de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving en daarmee de kans op droogteschade en zetting. Uit onderzoek van Arcadis naar de realisatie van een oevergrondwaterwinning langs de Waal blijkt dat het areaal waar een verlaging plaatsvindt bij een buitendijkse winning kleiner is dan bij een binnendijkse winning (Arcadis Nederland B.V. 2024a). De verlaging is echter sterk afhankelijk van de winconfiguratie en de lokale geohydrologische omstandigheden.

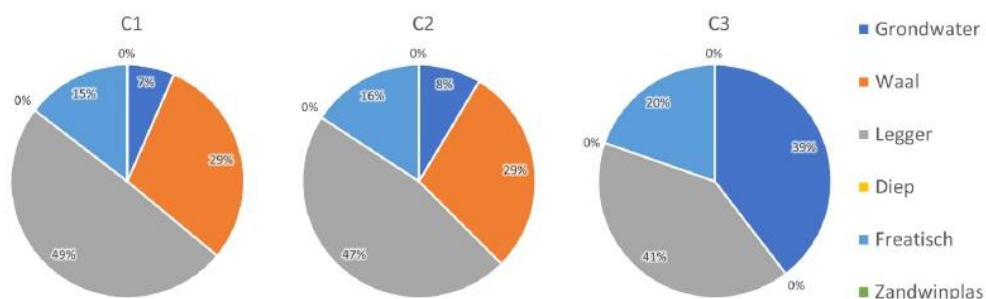
De onderlinge putafstand heeft ook invloed op het beschermingsgebied. Arcadis Nederland B.V. (2024a) heeft effectgebieden (en daarmee ook beschermingsgebieden) in kaart gebracht voor verschillende putafstanden voor een specifieke locatie langs de Waal. Bij een winning met winputten parallel aan de rivier was het effectgebied groter bij verticale putten met een afstand van 500 meter dan bij een compacte opstelling met een putafstand van 100 meter.

Ruwwaterkwaliteit; verblijftijd in formatie

De herkomst van het onttrokken water is afhankelijk van de locatie van de winputten. Een winning onder de rivier trekt het meeste oeverinfiltraat aan. Een buitendijkse winning trekt meer oeverinfiltraat aan dan een binnendijkse winning. Dit kan vergunningstechnisch wenselijk zijn, omdat hierdoor minder diep grondwater wordt onttrokken. Binnen het onderzoek van Arcadis naar een oevergrondwaterwinning langs de Waal is ook gekeken naar de herkomst van het onttrokken water. Oeverinfiltraat is hierbij gedefinieerd als water met een bodempassage van minimaal 90 dagen (Arcadis Nederland B.V. 2024a). Uit stationaire modelberekeningen binnen het onderzoek van Arcadis kwamen duidelijke verschillen naar voren tussen een buitendijkse en binnendijkse winning. Een buitendijkse winning met een onderlinge afstand tussen de putten van 200 meter trok circa 64 procent van het water uit de Waal aan, 22 procent uit het omliggende grondwater en 14 procent uit regionaal oppervlaktewater (leggerwatergangen, zoals sloten in de polder). Bij de binnendijkse variant werd het merendeel van het water uit het regionaal oppervlaktewater (leggerwater) onttrokken, namelijk circa 53 procent, daarnaast 21 procent uit de Waal en 26 procent uit grondwater. Hoe groter de afstand vanaf de rivier, hoe meer legger- en grondwater er werd aangetrokken (Arcadis Nederland B.V. 2024a). Bij de stationaire modelberekeningen is het effect van de waterstand in de rivier op deze verdelingen niet meegenomen.

Door Laeven en Reijnen (1997) is ook gekeken naar verschillen in waterkwaliteit door wel of niet aanwezige sliblagen en de samenstelling van de ondergrond. Door het mengen van verschillende waterkwaliteiten neemt de kans op putverstopping toe. Door de winning dicht bij de rivier te plaatsen, wordt er meer water onttrokken vanuit een (sub)oxisch milieu en minder uit het anoxische grondwater. Hierdoor is er minder menging en minder risico op verstopping. Ook kan overwogen worden om aparte putten te plaatsen voor het onttrekken van oeverinfiltraat en dieper grondwater (zoals in Remmerden, §2.2.1) en zo het risico op putverstopping door menging van waterkwaliteiten te beperken.

Bij een uitgespreide verticale putopstelling van 500 meter wordt de kwaliteit van het water zuiveringstechnisch over het algemeen gunstiger (door het aantrekken van verhoudingsgewijs meer grondwater met langere reistijden i.p.v. oeverinfiltraat) (Figuur 5-2). Bij een kleinere putafstand wordt relatief meer oeverinfiltraat onttrokken (Arcadis Nederland B.V. 2024a).



Figuur 5-2 Herkomst van het water bij een winning parallel aan de rivier met een putafstand van 100 m (C1), 200 m (C2) en 500 m (C3) (Arcadis Nederland B.V. 2024b)

Benodigde extra zuivering

Het water dat onttrokken wordt bij een winning in de uiterwaarden zal in de meeste gevallen een mix zijn van binnendijs grondwater en infiltrerend oppervlaktewater. Arcadis Nederland B.V. (2024a) geven een standaard uitgebreide zuiveringstrein voor oevergrondwater die bestaat uit: Beluchting, Zandfiltratie, deelstroom omgekeerde osmose (reverse osmosis, RO), deelstroom actiefkool eventueel nog aangevuld met UV-desinfectie. De exacte zuivering die nodig is, hangt af van de locatie en de kwetsbaarheid van de winning. Niet alle stappen zullen in alle gevallen nodig zijn. De extra zuivering die vereist is door de andere ruwwaterkwaliteit, zorgt voor extra kosten. Daarnaast ontstaat er, bij de invoering van de extra zuiveringsstap RO, een reststroom, die op de juiste manier behandeld en afgevoerd moet worden.

Stabiliteit waterkering a.g.v. hydrologische verandering

De aanleg en het gebruik van winputten in de beschermingszone van een waterkering kan mogelijk effecten hebben op de waterveiligheid. Om dit te beschouwen heeft RHDHV, als onderdeel van dit project, een studie gedaan naar de effecten van waterwinning op de dijkstabiliteit. Hergarden (2024) geeft een overzicht van de te verwachten effecten van een buitendijkse waterwinning op de dijkstabiliteit. Hiervoor zijn 3 vereenvoudigde referentieprofielen beschouwd, representatief voor de Lek, de Waal, en de IJssel. Voor verschillende faalmechanismen van een dijk is vervolgens kwalitatief beschreven wat de effecten van de winning zijn. Faalmechanismen zijn, bijvoorbeeld, overlopen en golfoverslag, afschuiven binnen- en buitentalud en piping.

Er zijn lokale verschillen tussen de referentieprofielen tussen de relevante faalmechanismen, maar over het algemeen geldt dat de verwachting is dat de winning geen noemenswaardige invloed heeft op de faalmechanismen, mits de uitvoering voldoet aan alle eisen. Voor het faalmechanisme piping geldt dat de verlaging van de stijghoogte op sommige locaties het risico juist kan verkleinen. Bij uitvoeringseisen moet gedacht worden aan zorgvuldig herstel van de profielopbouw en grasbekleding van de dijk na het graven voor de aanleg van kabels en leidingen. Daarnaast geldt dat veel werkzaamheden buiten de dijksluitingsperiode (periode waarin hoogwater verwacht wordt, over het algemeen van 15 oktober tot 1 april en eventuele hoogwaterperiodes daarbuiten) dienen plaats te vinden. Bij de aanleg van de winning mogen geen holle ruimtes ontstaan rondom de stijgbuis en rondom de winput moet een erosiebestendige aansluiting/aanvulling geplaatst worden. Bij locaties waar scheurvorming kan optreden door verdroging en zettingsgevoelige locaties is monitoring van scheuren en in het tweede geval van het (freatisch) grondwater en de kruinhoogte nodig.

Stabiliteit waterkering (a.g.v. kabels en leidingen)

Wanneer gekozen wordt voor een winning onder de rivier of in de uiterwaarden, dan zullen leidingen de waterkering moeten doorkruisen. In dat geval gelden er extra eisen voor de aanleg van de leidingen, zie §5.5.

Bij winning onder het dijklichaam of de beschermzones, dan kan in principe ook piping plaatsvinden langs de casing (= blinde buis tussen maaiveld en filterbuis waar water wordt gewonnen). Dit risico is groter dan bij een conventionele HDD omdat er veel meer grondwater kan toestromen via de filterbuis. Winning onder het dijklichaam lijkt daarom alleen mogelijk opportuun (1) bij toepassing van een horizontaal winfilter parallel aan het dijklichaam, (2) bij toepassing van een verticaal winfilter binnendijs, zodat het als een ontlastfilter kan dienen, of (3) wanneer het filter op grote diepte is geplaatste waardoor piping geen rol speelt.

Overige aandachtspunten

Voor veel van de overige aandachtspunten geldt met name dat de keuze tussen winputten onder de rivier of in de uiterwaarden andere gevolgen heeft dan een winning onder het dijklichaam. Bij een winning onder het dijklichaam kan meer infrastructuur binnendijs geplaatst worden, waardoor er bijvoorbeeld geen risico is op kortsluiting tijdens een overstroming, er minder graafschade zal zijn en er minder permanente infrastructuur in de uiterwaarden zal zijn waardoor ook de gevolgen voor het doorstroomprofiel kleiner zijn. In sommige gevallen kan het echter ook mogelijk zijn om bij winputten in de uiterwaarden of onder de rivier infrastructuur binnendijs te plaatsen, bijvoorbeeld door horizontale winningen, zie sectie 5.3. Wanneer winputten onder de rivier of in de

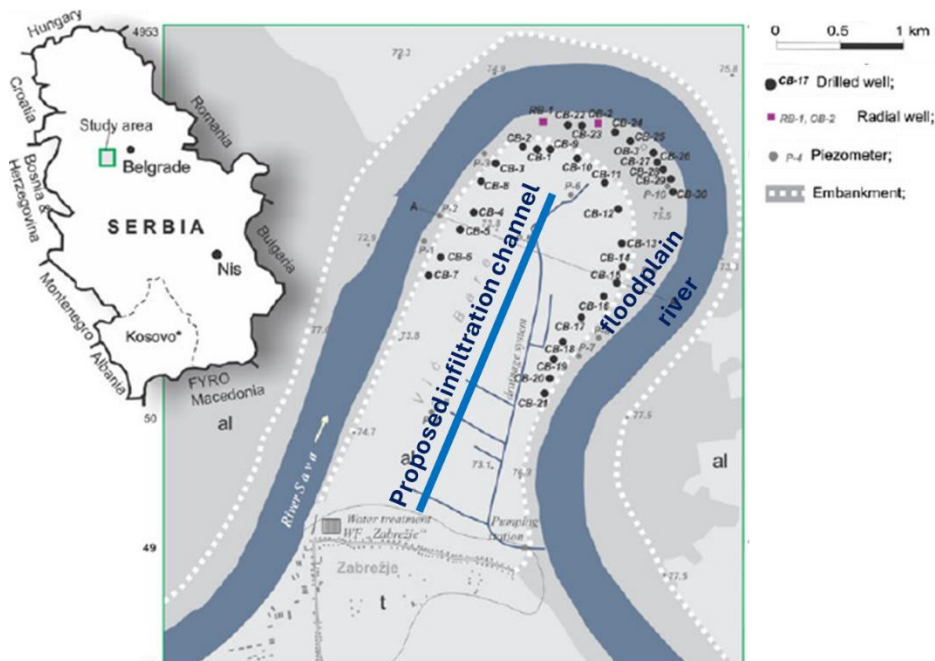
uiterwaarden gepositioneerd worden, is er een groter risico op kortsluitstroming tijdens een inundatie of overstroming dan wanneer de winning onder de dijk plaatsvindt.

5.2 Wateraanvoer

5.2.1 Ontwerpkeuzes

Om de verlagingseffecten in binnendijkse gebieden van onttrekkingen in de uiterwaarden te compenseren, kan extra rivierwater worden geïnfiltrerd. Hiervoor zijn verschillende opties denkbaar:

- In de uiterwaard via een nevengeul (zie voorbeeld §2.2.3).
- Binnendijs door het injecteren van voorgezuiverd rivierwater via injectieputten. Eventueel kan het geïnjecteerde water nog deels worden teruggewonnen (zie voorbeeld §2.2.1).
- Binnendijs door het infiltreren van oppervlaktewater via bestaande of extra te graven watergangen (Figuur 5-3). Dit is vergelijkbaar met wateraanvoerplannen.



Figuur 5-3 Voorbeeld van een haalbaarheidsstudie naar mogelijkheden om extra water aan te voeren via binnendijkse infiltratiekanalen voor een winveld in de uiterwaarden van de Sava rivier (Servië). Huizen in het binnendijkse gebied zijn omwille van de hoge overstromingskans gebouwd boven overstromingsniveau op grondlichamen. Infiltratie heeft daardoor beperkt invloed op bestaande bebouwing. De winmiddelen staan op een dijklichaam (de figuur is aangepast van Polomčić et al. (2013)).

5.2.2 Aandachtspunten wateraanvoer

De wijze waarop water aangevoerd wordt, heeft met name effect op de volgende aandachtspunten.

Ruwwaterkwaliteit, verblijftijd in formatie en benodigde extra zuivering

Wateraanvoer via een nevengeul heeft effect op de waterkwaliteit, omdat er op deze manier meer rivierwater wordt aangetrokken. Uit de berekeningen binnen het OEDI-project bleek dat voor de varianten met nevengeul het percentage rivierwater toenam met 2-6% (IWACO 1996). De minimale verblijftijd van het onttrokken water nam af bij de aanleg van een nevengeul, omdat de putten dichterbij de nevengeul staan dan bij de rivier (IWACO 1996). Deze kortere verblijftijd kan gevolgen hebben voor de waterkwaliteit en benodigde extra zuivering. De nevengeul kan eventueel afsluitbaar worden gemaakt om toestroom van verontreinigd rivierwater tijdelijk te kunnen stoppen.

Wanneer water aangevoerd wordt door oeverfiltraat binnendijs te infiltreren, zal het water eerst voorgezuiverd moeten worden om verstopping van de injectieputten te voorkomen. Daarnaast moet de afstand tussen injectieputten en onttrekkingsputten groot genoeg zijn om te zorgen de verblijftijd van het water in de formatie niet te kort is en de kwaliteit stabiel blijft. Tot slot moet voldaan worden aan juridische eisen voor infiltratie van water in de bodem. Zo zal het geïnfilterde water ook weer grotendeels onttrokken moeten worden.

Chemische putverstopping

Een nevengeul stroomt vaak minder hard, waardoor een dikkere sliblaag kan accumuleren op de bodem vergeleken met de hoofdstroom. Deze sliblaag kan van invloed zijn op de grondwaterkwaliteit en in sommige situaties ook leiden tot extra putverstopping, omdat er menging van oxische en anoxische grondwaterstromen plaatsvindt, zie ook sectie 2.2.2 (Laeven en Reijnen 1997).

Kosten en baten

Alle opties om wateraanvoer mogelijk te maken zorgen voor extra kosten. Het hangt van de specifieke locatie van een winning af of de baten opwegen tegen de kosten. De aanleg van een nevengeul, bijvoorbeeld, is kostbaar en gaat ten koste van grond in de uiterwaarden, maar geeft mogelijk wel natuurwinst. Wanneer Rijkswaterstaat al de ambitie heeft om voor waterveiligheidsredenen en/of natuurontwikkeling een nevengeul aan te leggen, is het interessant om aan te sluiten.

Droogteschade landbouw en natuur

Wateraanvoer vermindert de verlagingseffecten van de onttrekking. Bij aanleg van een nevengeul wordt een deel van de achtergrondstroming weggenomen door infiltratie van water tussen het winfilter en de dijk in. Binnen het OEDI-project (sectie 2.2) is uitgebreid onderzoek gedaan naar het effect van nevengeulen op de oeverfiltraatwinning. De effecten van een nevengeul op de verlagingseffecten op de omgeving zijn erg locatie specifiek. Zo werden binnen het OEDI-project niet voor alle uiterwaarden grote verschillen in de verlagingseffecten berekend (IWACO 1996).

Doorstroomprofiel van de rivier, graafschade in de uiterwaard, aanwezigheid infrastructuur in de uiterwaard

De aanleg van een nevengeul heeft grote gevolgen voor het doorstroomprofiel en het uiterlijk van de uiterwaard. Een voordeel van een nevengeul is de mogelijke combinatie met ontwikkeling van riviernatuur, een nadeel is de mogelijke schade of het verdwijnen van cultuurhistorische landschapselementen. Een nevengeul zal in de regel aangelegd moeten worden in samenwerking met Rijkswaterstaat in combinatie met waterveiligheidsprojecten. Wateraanvoer via watergangen binnendijs of injectieputten heeft verder geen gevolgen voor deze aandachtspunten, omdat de infrastructuur binnendijs aangelegd wordt.

5.3 Type winmiddel

5.3.1 Ontwerpkeuzes

In dit hoofdstuk worden verschillende winmiddelen (verticale putten, horizontale putten (HDDW's), radiaalputten (RCW's), schuine putten en drains) kort beschreven en is aangegeven in voor welk type situaties ze mogelijk geschikt zijn. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar de Praktijkcode winning (Van der Schans en Meerkerk 2019).

Een belangrijk aandachtspunt bij de selectie van winmiddelen in de uiterwaarden is dat er veel voordelen zitten aan het zoveel mogelijk beperken van het aantal buitendijkse putbehuizingen. Het is namelijk technisch mogelijk om opstuwing te voorkomen door de putbehuizingen waterdicht af te werken op maaiveld maar hier kleven ook nadelen aan (§5.5). Aanleg op een terp is in veel situaties onwenselijk vanwege opstuwing bij hoogwater. Hier staat tegenover dat meerdere putten de leveringszekerheid van de winning kunnen vergroten. Bij uitval of het uit gebruik nemen van een of meerdere winputten kunnen andere winputten dit tekort tijdelijk opvangen. Een andere

mogelijkheid om opstuwing te voorkomen is het binnendijs (buiten de beschermzone) plaatsen van putbehuizingen.

Verticale put

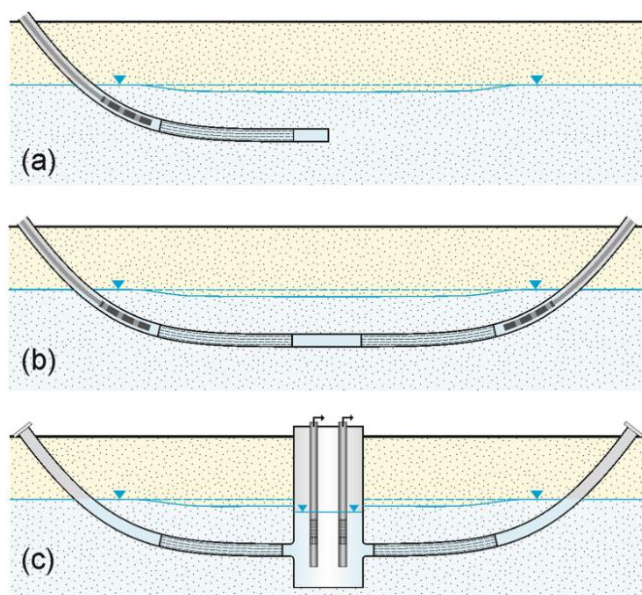
De verticale put is het meest gebruikte winmiddel in Nederland. In de regel is een groter aantal putten in relatie tot de filterlengte nodig bij verticale putten vergeleken met horizontale winmiddelen. De grootste beperkende factor van verticale winmiddelen is de noodzaak voor het plaatsen van meerdere putkelders in de uiterwaarden.

Verticale putten zijn met name geschikt voor de volgende situaties:

- In uiterwaarden waar voldoende verhogingen (terpen, dijken) aanwezig zijn of gerealiseerd kunnen worden zonder negatieve gevolgen voor de hoogwaterveiligheid.
- Indien onttrokken kan worden met een vacuümsysteem (er is dan geen elektronica nodig in de putkelder).

Horizontaal gestuurde geboorde put (Horizontal Directional Drilled Well, HDDW)

Bij een HDDW wordt vanaf maaiveld eerst schuin naar beneden geboord tot de gewenste diepte. Vervolgens wordt horizontaal doorgeboord tot de vereiste lengte van het winfilter is bereikt (Figuur 5-4). Bij putten met een diepte kleiner dan 40 m kan aan het eind van het boorgat weer omhoog geboord worden, waardoor de buis weer aan het oppervlak komt. De putten kunnen ook in een bocht worden aangelegd en in theorie tot wel een kilometer lengte (Rambags et al. 2010).



Figuur 5-4 HDDW concept, met (a) discontinue geboorde filterbuis met 'dead end', (b) continue schacht met twee aparte boringen die samenkomen in het midden en (c) continue filterbuis met een centrale schacht voor collectie (Houben et al., 2022).

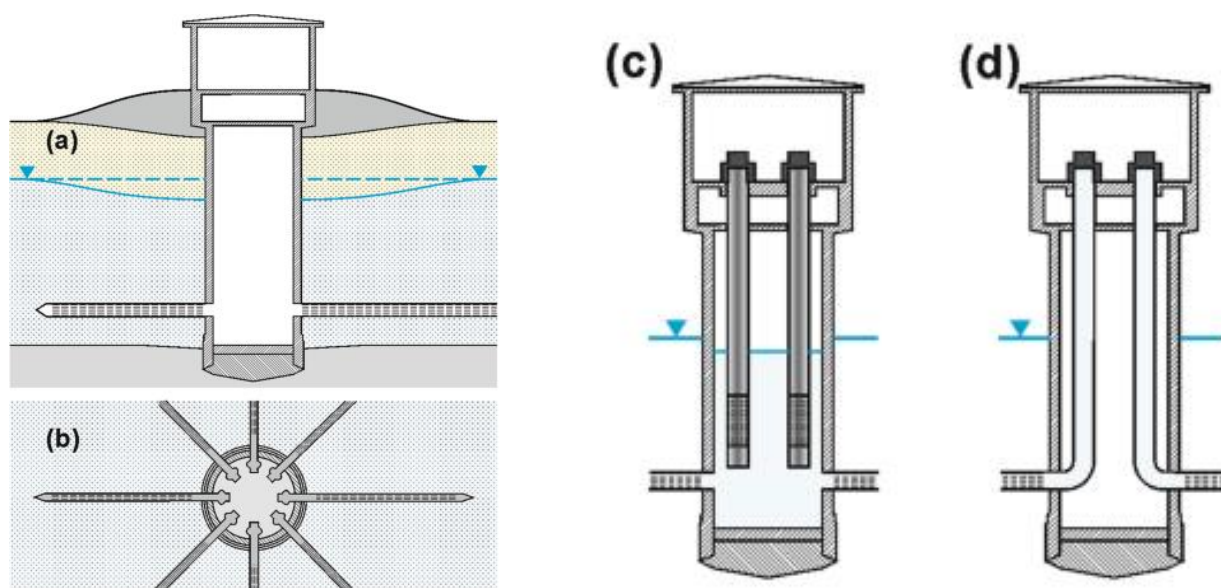
Een voordeel van HDDW's is dat ze aangelegd kunnen worden onder gebieden die ontoegankelijk zijn voor boormachines zoals onder oppervlaktewater of beschermde natuurgebieden. Daarnaast zijn veel minder putkelders vergeleken met verticale putten. Dit maakt ze met name geschikt voor de volgende situaties:

- In zeer dunne aquifers (enkele meters dikte)
- In uiterwaarden waar het mogelijk is om op een paar plekken met een onderlinge afstand van enkele honderden meters een putkelder in te richten (bijvoorbeeld omdat er al een terp ligt) en deze via een HDDW met elkaar te verbinden.

- Bij positionering van de filterbuis onder de rivier. Winnen onder de rivier zorgt voor minder verlaging en heeft dus de minste effecten op de omgeving. Wel zullen de reistijden vanaf de rivier hierdoor kort zijn.
- Lange gestuurde boring vanuit het binnendijkse gebied onder de uiterwaard. Op deze manier ontstaat er geen graafschade in de uiterwaard en is er verder geen infrastructuur (putkelders, terreinleidingen) in de uiterwaard nodig.
- In uiterwaarden waar gewerkt moet worden met een overstroombare putkelder. Bij horizontale putten zijn minder doorvoeren nodig dan bij (grotere aantallen) verticale putten.

Radiaalput (Radial collector well, RCW)

Radiaalputten, ook wel aangeduid als Radial Collector Wells, bestaan uit een brede verticale toegangs- of verzamelschacht en geboorde horizontale vertakkingen vanuit deze schacht (Figuur 5-5). Een radiaalput kan tot circa 40 meter onder maaiveld aangelegd worden. De maximale filterlengte van de horizontale strangen bedraagt 90 meter in duinzand en 60 meter in fluviatiele afzettingen (Van der Schans en Meerkerk 2019).



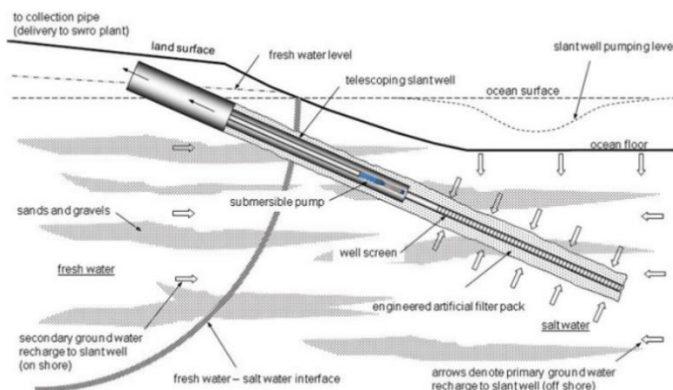
Figuur 5-5 Radiaalput met een centrale schacht, met: (a) doorsnede putconstructie, (b) bovenaanzicht van de centrale schacht, (c) watervoerende schacht met één pompsysteem en (d) droge schacht met aparte pompsystemen (Houben et al. 2022).

De voordelen van RCW's zijn deels vergelijkbaar met HDDW's: er zijn minder putten nodig en er kan onttrokken worden op plaatsen waar niet geboord kan worden vanaf maaiveld. De aanleg van schachten is vrij kostbaar in verhouding tot de lengte van de horizontale strengen. Hier staat tegenover dat de strengen een relatief grote boorgatdiameter (600 mm) hebben. RCW's zijn daarom geschikt om grote debieten water te onttrekken uit goed doorlatende pakketten in een gebied van circa 100 bij 100 meter, zoals bij Roosteren (Juhász-Holterman 2006). Dit maakt ze met name geschikt voor de volgende situaties:

- Vanuit een binnendijks geplaatste schacht winnen onder de winterdijk (mits voldoende diepe filterbuis - bijvoorbeeld in wvp2- i.v.m. risico op piping).
- In uiterwaarden waar het mogelijk is om op een paar plekken een putkelder in te richten (bijvoorbeeld omdat er al een terp ligt) en van daaruit strengen in gewenste richtingen.
- In uiterwaarden waar gewerkt moet worden met een overstroombare putkelder. Bij radiaalputten zijn minder doorvoeren nodig dan bij (grotere aantallen) verticale putten.

Schuin geboorde put

Schuin geboorde putten zijn vergelijkbaar met verticale putten, maar worden onder een hoek geboord (zonder buiging). Er wordt een aangepaste aanlegmethode gebruikt (verbuisd boren) om het boorgat stabiel te houden en een omstorting in te brengen. De hellingshoek is minimaal 20 graden t.o.v. horizontaal (Figuur 5-6) (Missimer et al. 2015). Schuine putten met een telescopische boring, oftewel een aflopende diameter richting het einde van de boring, hebben een maximale lengte van circa 300 meter (Missimer et al., 2015).



Figuur 5-6 Schuine put voor winning van water onder de oceaانبodem (links: Missimer et al. (2015), rechts: Straub (2016))

Een voordeel van schuine putten is dat deze meer water produceren dan verticale putten, omdat langere filterlengtes mogelijk zijn binnen hetzelfde watervoerende pakket. Meerdere schuine putten kunnen geboord worden vanuit één locatie/ putkelder (in verschillende richtingen) om de vergraving bij het oppervlak minimaal te houden.

Schuin geboorde putten zijn deels toepasbaar in vergelijkbare situaties als RCW's:

- Een rij vanuit binnendijs gebied geboorde putten die winnen onder de winterdijk (mits voldoende diepe filterbuis i.v.m. risico op piping).
- In uiterwaarden waar het mogelijk is om op een paar plekken een putkelder in te richten (bijvoorbeeld omdat er al een terp ligt) en van daaruit putten te boren in meerdere richtingen.
- In uiterwaarden waar gewerkt moet worden met een overstroombare putkelder en vanuit 1 punt (de putkelder) putten in meerdere richtingen te boren.

Een belangrijk verschil is dat het watervoerend pakket dikker moet zijn vanwege de hellingshoek. Ook liggen filters verder uit elkaar omdat er onder een hoek naar het winpakket geboord moet worden. Ter illustratie: om 60 meter filter te plaatsen onder een hoek van 20 graden (wat de technische limiet lijkt) is een watervoerend pakket nodig met een dikte van 20 m dikte. Om op deze 20 meter diepte te komen moet eerst 60 m geboord worden.

Drains

Bij een winning via drains worden horizontale geperforeerde buizen ingegraven via een open ontgraving met behulp van een kettinggraver of in een sleuf. De maximale diepte voor de aanleg van drains is ongeveer 7 meter onder maaiveld (Van der Schans en Meerkerk 2019). In Nederland worden drains toegepast voor het terugwinnen van kunstmatig geïnfilterd voorgezuiverd oppervlaktewater in de duinen. Internationaal worden ze toegepast voor het winnen van oeverfiltrat en in de bedding van oppervlaktewater gelegd (Van der Schans en Meerkerk 2019).

Drains bieden vergelijkbare hydrologische voordelen als HDDW's. Ze zijn toepasbaar tot een diepte van 7 meter en de open ontgraving leidt tot aanzienlijke graafschade. Dit maakt drains met name toepasbaar in de volgende situatie:

- Bij (her)inrichting van een uiterwaard tot natuurgebied waarbij al vergravingen plaatsvinden.

Horizontale Avegaar Put (HAP)

HAP's zijn vergelijkbaar met drains en bestaan uit horizontale filterbuizen. Voor deze verbuisde boorteknik wordt een avegaarboor vanuit een perskuip naar een ontvangstuip geboord. In het boorgat wordt vervolgens een filterbuis aangebracht en eventueel ook een omstorting. Deze kuipen bestaan uit tijdelijke damwandconstructie. De maximale lengte per boring is 100 meter (afhankelijk van de grondslag i.v.m. weerstand tijdens uittrekken mantelbuis). De maximale diepte wordt begrensd door de diepte van de damwandkuipen en is orde grootte 10 meter. Deze diepte is sterk afhankelijk van geohydrologische situatie i.v.m. bemaling van de damwandkuip (Cirkel 2013). De damwandkuipen worden na aanleg verwijderd waardoor het in theorie mogelijk is om oneindig lange strengen aan te leggen zonder putkelders. In de praktijk zijn inspectie- en onderhoudspullen nodig en is de lengte begrensd door drukverlies in de leiding.

Een voordeel t.o.v. drains is dat er veel minder graafschade is. Vergeleken met HDDW's is het opstel terrein veel kleiner en hoeft er geen gebruik gemaakt te worden van lastig verwijderbare booradditieven.

HAP's zijn name geschikt voor de volgende situaties:

- In zeer dunne, ondiepe aquifers (enkele meters dikte).
- In uiterwaarden waar het mogelijk is om op een paar plekken met een onderlinge afstand van maximaal honderd meters een putkelder in te richten (bijvoorbeeld omdat er al een terp ligt) en deze via een HAP met elkaar te verbinden.
- Lang winfilter vanuit het binnendijkse gebied onder de uiterwaard (door meerdere HAP's ondergronds met elkaar te verbinden).
- In uiterwaarden waar gewerkt moet worden met een overstroombare putkelder. Bij HAP's zijn minder doorvoeren nodig dan bij (grotere aantallen) verticale putten.

5.3.2 Aandachtspunten type putconstructie

De keuze voor het type put wordt mede bepaald door de keuze voor de locatie van de winning. Bij een winning onder de rivier of vanuit een binnendijks gebied kan geen gebruik gemaakt worden van een verticale winning. Verder zijn bij de keuze voor een putconstructie de volgende aandachtspunten van belang.

Risico op kortsluitstroming

Het risico op kortsluitstroming is groter bij verticale putten dan bij horizontale putten (HDDW en radiaalput) en schuine putten, omdat er meer putten nodig zijn en de putten direct in de uiterwaarden geplaatst moeten worden. Wanneer de putkelders binnendijks geplaatst kunnen worden, zoals bij horizontale en schuine putten, minimaliseert dit de kans op kortsluitstroming van oppervlaktewater naar het watervoerend pakket. Bij een horizontale put zijn er ook minder doorboringen, waardoor de kans op een foutieve afdichting van kleilagen kleiner is. Hierdoor is de kans op kortsluitstroming langs de boorgatwand kleiner.

Verblijftijd in formatie en ruwwaterkwaliteit

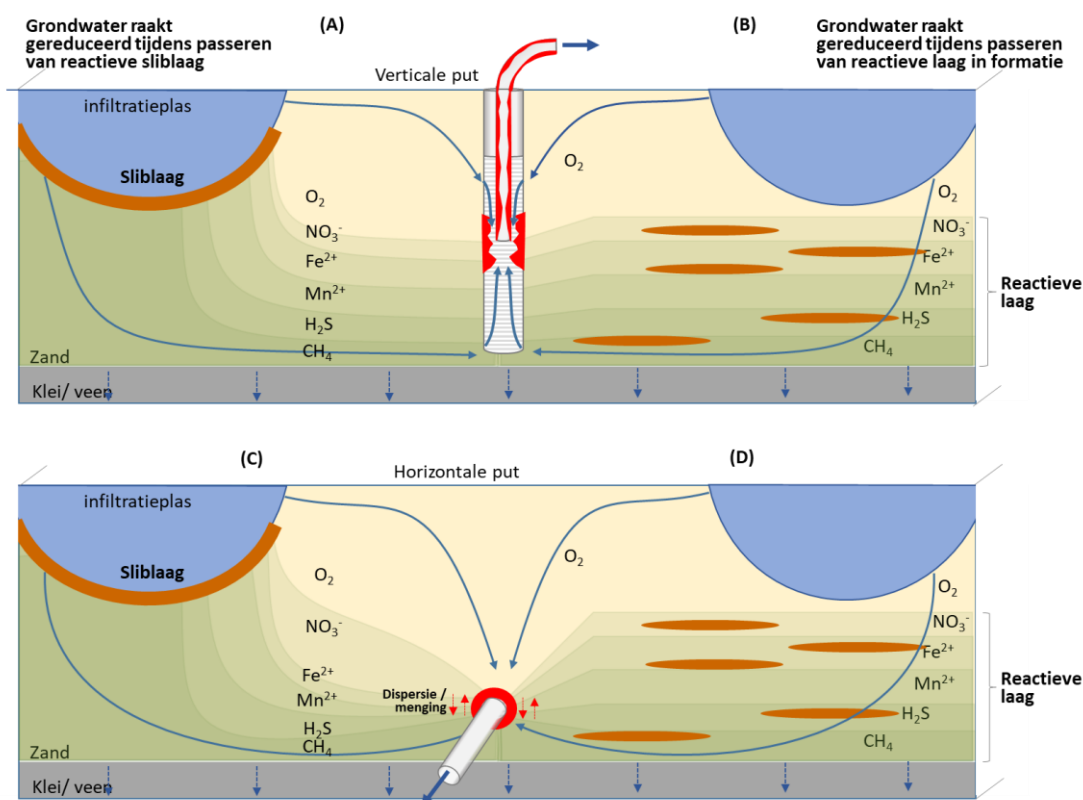
Met horizontale winmiddelen (radiaalputten, HDDW's, drains) kan grondwater met dezelfde kwaliteit gerichter onttrokken worden. Zo kunnen bijvoorbeeld filters aangelegd worden die elk een ander watertype onttrekken, zoals oeverfiltraat of dieper grondwater. Verder is de diepte waarop de filters geplaatst worden van belang. Drains kunnen, bijvoorbeeld, alleen relatief ondiep aangelegd worden.

Verstopingsgevoeligheid

Een verondersteld voordeel van horizontale winmiddelen is dat ze minder gevoelig zouden zijn voor verstopping, doordat ze het water uit één diepte onttrekken waardoor er minder kans is op menging van zuurstof en ijzer in de put (zie praktijkcode drinkwater (Van der Schans en Meerkerk 2019)). Uit een lopend onderzoek naar verstopping in de duininfiltratiewinning Berkheide blijkt echter dat horizontale winmiddelen juist snel verstopten. Mogelijk komt dit doordat het mengproces van oxisch en gereduceerd water anders verloopt rond horizontale putten (Figuur 5-7):

- Horizontale winputten trekken het toestromende grondwater naar één diepte. De watertypen kunnen hierdoor al buiten de filterbuis met elkaar mengen door dispersie. Bij verticale putten blijft er een grotere verticale afstand tussen de watertypen, dus minder kans op menging buiten de put.
- Het water in de horizontale filterbuis bevat over de gehele lengte oxisch én anoxisch water. Er kan overal menging optreden en dus verstopping. Bij verticale putten treedt alleen menging op midden in de filterbuis (aangezien het water bij Dunea halverwege het winfilter wordt onttrokken d.m.v. een haalbuis).
- Bij horizontale winningen zijn de stroomsnelheden in de omstorting lager en is de filterbuis veel langer. Het water heeft dus een langere verblijftijd in de put en kan langer (bio)chemische reacties ondergaan.

De ervaring van Vitens op pompstation Laren is dat zowel de RCW als verticale putten ondiep (oxisch) en diep (anoxisch) water aantrekken, maar dat de RCW minder snel verstopt. De oorzaak van deze langzamere verstopping is niet duidelijk (want niet onderzocht).



Figuur 5-7: Conceptueel model over het effect van redox zonering in kunstmatige infiltratiesystemen op verstopping van horizontale en verticale winputten (Van der Schans et al. 2023).

TRL

- In Nederland worden verticale winputten standaard toegepast. Ze zijn makkelijk in aanleg en er is veel kennis beschikbaar is over het ontwikkelen en het onderhoud van dit type put. Daarom heeft deze putconstructie een hoge TRL (9).

- Ook radiaalputten zijn een uitontwikkelde techniek (TRL 8-9) en al op meerdere locaties in Nederland in gebruik voor drinkwaterwinning waaronder Dunea (Berkheide), Vitens (Laren, Boerhaar) en WML (Roosteren) (Krab et al. 2004, Reijnen et al. 2007, Van der Schans et al. 2022c).
- Met HDDW's is minder ervaring, hiervoor geldt dat de techniek is gedemonstreerd in een voor de drinkwatervoorziening relevante omgeving maar met beperkt succes (TRL 6-7) (Van der Schans et al. 2022a).
- Schuine putten (Slant wells) worden weinig toegepast in Nederland en zeker niet in de drinkwatersector. In het buitenland is echter wel ervaring met deze techniek. Verschillende pilots (Missimer et al. 2015, Geoscience 2017) laten zien dat het aanleggen van schuine putten technisch haalbaar is (TRL 6-7) .
- Drains worden van oudsher toegepast in de duinen (o.a. Leiduin, Meijendel, Berkheide, Ouddorp) (TRL 9).
- Bij Waternet is een HAP aangelegd als pilot (TRL 7).

Ruimtelijke claim beschermingsgebied, nat- en droogteschade en zetting

De verschillende putconstructies zorgen voor andere effecten op de omgeving. Een horizontaal winmiddel zorgt in de directe nabijheid van (naast) de winning voor een kleinere stijghoogteverlaging dan een streng verticale winputten, maar op enige afstand is het effect vergelijkbaar. Hierdoor zijn ook de gevolgen van de stijghoogteverlaging, zoals droogteschade en zetting, lokaal anders. Een schuine put is deels een verticaal winmiddel en leidt daarom in de directe nabijheid van de winning tot een grotere stijghoogteverlaging dan puur horizontale winconcepten. Op regionale schaal zijn de effecten voor horizontale en verticale putten vergelijkbaar (Van der Schans en Meerkerk 2019).

Aanwezigheid infrastructuur in de uiterwaarden

Bij verticale putten moeten de putten in de uiterwaarden zelf geplaatst worden, terwijl bij de andere winconcepten de putkelders binnendijs gepositioneerd kunnen worden. Hierdoor leiden deze tot minder infrastructuur in de uiterwaarden. Daarnaast is het ruimtebeslag aan maaiveld van HDDW's beperkt.

Graafschade

De graafschade per type putconstructie verschilt. Bij de aanleg van drains in open ontgraving is sprake van veel vergravingschade, terwijl bij HDDW's in vergelijking de langste filterlengtes mogelijk zijn met minimale vergravingschade aan maaiveld.

5.4 Type pompsysteem

5.4.1 Ontwerpkeuzes

In Nederland worden hoofdzakelijk vacuümpompen en onderwaterpompen toegepast (Figuur 5-9). Het grootste verschil is dat onttrokken grondwater in het eerste geval vanuit de put de ruwwaterleiding in wordt geperst en in het tweede geval via de ruwwaterleiding water uit de put in de pomp wordt gezogen. Dit verschil heeft implicaties voor maximale onttrekkingsdieptes, de inrichting van de putten en aansturing.

Winningen kunnen overigens ook bedreven worden onder vrij verval. Dit vergt echter zodanig veel hoogteverschil dat het niet praktisch is in uiterwaarden en daarom is deze optie niet meegenomen in dit hoofdstuk.

Vacuümpompen

Bij een vacuümpompsysteem is de pomp geplaatst op de verzamelleiding waardoor uit een hele series putten onttrokken kan worden.

Een belangrijk voordeel van vacuümpompen is dat de putkop en putbehuizing veel simpeler en kleiner kan worden uitgevoerd dan bij onderwaterpompen (zie §5.5 en Figuur 5-8). De pomp kan binnendijs worden geplaatst. Of als dit niet mogelijk is, omdat er te veel drukverlies ontstaat door te grote afstand (leidinglengte), vanuit een terp of waterdichte overstroombare pompbehuizing. Doordat de putten niet worden uitgerust met een pomp is de constructie van de putkop eenvoudig.

Een nadeel van collectieve vacuümsystemen is dat het debiet niet per put regelbaar is. Het is wel mogelijk om putten individueel af te sluiten en om het debiet (de onderdruk) per leidingsegment te reguleren voor een groep putten. Een ander nadeel is de beperkte toelaatbare afpompings per put: de theoretische opvoerhoogte is 10 meter, maar in de praktijk is dit circa 7 meter, afhankelijk van weerstand in het leidingsysteem. Ook is het risico op instroom van verontreinigd water in ruwwaterleidingen bij beschadigingen groter dan in een systeem met overdruk.

Vacuümpompen zijn met name geschikt voor:

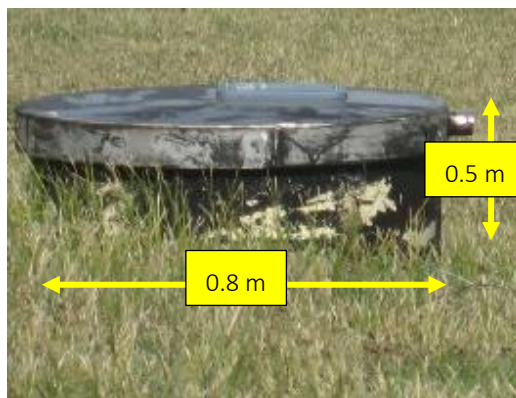
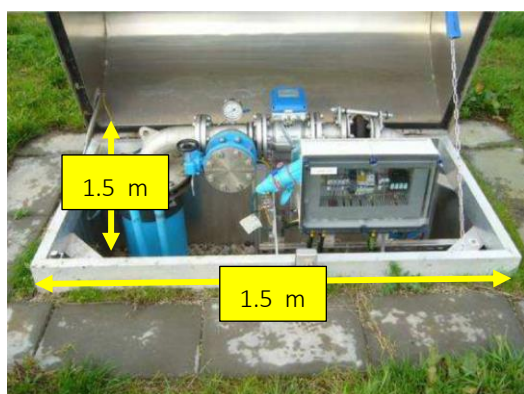
- Horizontale putten,
- Strengen verticale putten met klein debiet (orde grootte $<10 \text{ m}^3/\text{uur}$ per put)
- Putten die waterdicht moeten worden uitgevoerd doordat ze kunnen overstromen (want minder electra in putbehuizing).

Onderwaterpompen

Bij onderwaterpompen hangt de pomp ondergedompeld in de put zelf en perst het onttrokken water in de ruwwaterleiding. Hierdoor staat de ruwwaterleiding altijd onder druk en is instroom bij een onverhoopte beschadiging van een ruwwaterleiding niet mogelijk. Doordat het water door de pomp omhoog wordt geperst, zijn diepere grondwaterstanden en grotere afpompingen in de regel geen belemmering. Verder zijn onderwaterpompen individueel stuurbaar. De investeringskosten zijn, per put, relatief hoog, omdat elke put met een apart pomp- en regelsysteem is uitgerust.

Onderwaterpompen zijn met name geschikt voor:

- Verticale putten met hoog debiet ($>10 \text{ m}^3/\text{uur}$)
- Putten die liggen op terpen, dijken en binnendijks.



Figuur 5-8 Illustratie van de omvang van de putbehuizing voor een conventionele onderwaterpomp (links) en conventioneel vacuümpompsysteem (rechts) (Cirkel 2013, Van der Schans et al. 2016, Van der Schans en Meerkerk 2019). Onderwaterpompen kunnen ook in putten met een kleinere behuizing worden geplaatst door de elektrische schakelaar in een apart kastje te plaatsen.

5.4.2 Aandachtspunten type pompsysteem

De keuze voor het pompsysteem is met name van belang voor de volgende aandachtspunten.

Stabiliteit waterkering (a.g.v. kabels en leidingen)

Bij lekkage van de terreinleiding kan bij vacuümsystemen verontreinigd grondwater de leiding instromen, wat een kwaliteitsrisico vormt voor het drinkwater. Bij toepassing van onderwaterpompen vormt een (klein) lek geen kwaliteitsrisico omdat water door overdruk uit de ruwwaterleiding zal stromen.

Leidingbreuken en grote lekkages nabij de dijk vormen in overdrukleidingen een risico voor de dijkstabiliteit vanwege de schade die grote uitstroom kan veroorzaken aan het leidinglichaam (zie §5.5). Bij vacuümsystemen zijn de gevolgen van kleine lekkages beperkt; de waterdruk onder de dijk zal wat verlagen. Bij grote lekkages door leidingbreuken kan de vacuümleiding zand gaan meevoeren wanneer de dijk een zandkern heeft en zo de stabiliteit aantasten.

Benodigde zuivering

Zoals al aangegeven kan bij onderdrukssystemen (vacuümpompen) bij lekkage ondiep, microbiologische verontreinigd grondwater de leiding instromen (Van der Schans en Meerkerk 2019). Goede monitoring van vacuümverlies is daarom cruciaal voor het borgen van de waterkwaliteit. Echter, ook bij overdrukssystemen is het zaak om de leidingen ten alle tijden onder druk te houden. Wanneer de druk binnen de leiding in grote mate gaat verschillen ten opzichte van de druk buiten de leiding, is er risico op het insijpelen van vervuild water. Bij extreme weersomstandigheden zijn hier voorbeelden van, zoals bijvoorbeeld tijdens overstromingen door de orkaan Andrew in Miami waar door drukverlies in de leiding (van 0.5 MPa naar 0.14 MPa) instroom van vervuild water plaatsvond (Murphy 1994, Van Vossen-van den Berg en Wols 2019).

Permanente bovengrondse aanwezigheid infrastructuur, doorstroomprofiel en maximale waterstand

De omvang van de putkop is in sterke mate afhankelijk van de grootte van de put zelf en de installatie in de put. Bij toepassing van een onderwaterpomp is in de regel een grotere putkop noodzakelijk om de elektra en aansturing in onder te brengen. Hoe groter de putkelder, hoe meer maatregelen genomen moeten worden om opdrijving te voorkomen tijdens overstroming. Bij vacuümwinning kan volstaan worden met een kleine afwerking aan maaiveld waardoor er minder risico is op opdrijving. Ook hoeven geen elektrische installaties in het overstromingsgevoelige gebied aangelegd te worden.

5.5 Putbehuizing en putkop

5.5.1 Ontwerpkeuzes

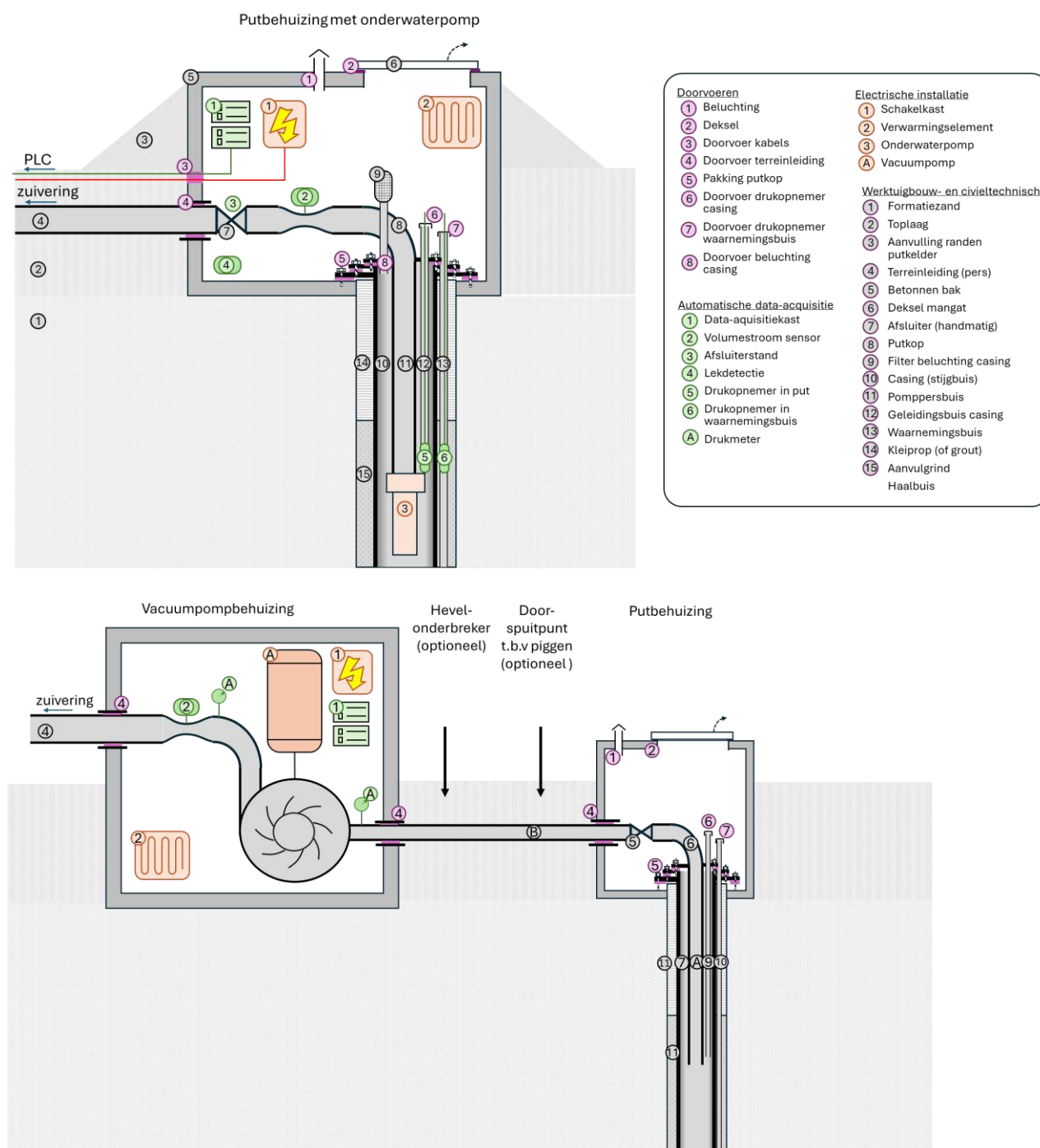
Putten worden aan maaiveld afgewerkt met een putkop die de stijgbuis verbindt met de terreinleiding. Deze wordt in een behuizing geplaatst ter bescherming tegen vandalisme en beschadiging.

Traditionele putkelders

Traditionele putkelders zijn niet bestand tegen inundaties omdat water kan toetreden via de luchtdoorvoeren (en kieren in de mangaten). In theorie is het mogelijk om putkelders ook overstroombaar te maken door de mangaten en doorvoeren waterdicht afsluitbaar te maken. Het is dan verstandig om ook de appendages van de putkop, de beluchting van de stijgbuis en de kop van peilbuizen te voorzien van een afsluiter.

De omvang van een putkelder hangt sterk samen met het type pompsysteem (Figuur 5-9). Bij onderwaterpompen zijn over het algemeen meer elektrische installaties nodig in de winput zelf. Dit vergt een grotere putkelder dan putten met een collectief vacuümsysteem. Bij onderwaterpompen zijn de gevolgen (schade) aan elektrotechnische installaties ook groter dan bij putten met een collectief vacuümsysteem. Bij collectieve vacuümsystemen is de elektrotechnische en automatische data-acquisitie apparatuur verwerkt bij de centrale pompinstallatie. De putkelders zijn daardoor veel kleiner en minder kwetsbaar bij inundatie.

Traditionele putkelders zijn toepasbaar bij putten die geboord worden vanuit een binnendijks intredepunt of wanneer het mogelijk is om de putkelder op een verhoogde positie in de uiterwaarden te zetten (dijklichaam, terp). De keuze voor de putbehuizing hangt dus sterk samen met de configuratie van de winning, het winmiddel en pompsysteem.



Figuur 5-9 Putbehuizing voor onderwaterpomp (boven) en collectieve vacuümpompsysteem (onder). De illustratie is gebaseerd op onder andere Cirkel (2013), Van der Schans et al. (2016), Van der Schans en Meerkkerk (2019) en Rambags et al. (2011).

Overstroombare putkelder

Normaliter zijn putkelders waterdicht gemaakt voor afstromend hemelwater om de microbiologische veiligheid te waarborgen. Bij een overstroombare putkelder in een uiterwaard moet de putkelder waterdicht worden afgewerkt om een maatgevende waterkolom te kunnen dragen welke representatief is voor de locatie, zoals beschreven in hoofdstuk 4. Dit ter voorkomen van verontreiniging van de put en formatie met oppervlaktewater en om de werking van de installatie te waarborgen.

Bij toepassing van overstroombare putkelders kan besloten worden:

- (a) om de elektrische schakelingen in de putbehuizing te plaatsen of
- (b) de elektrische hoofdinstallatie op een aparte (droge) locatie te plaatsen. Dit laatste is met name goed toepasbaar bij vacuümsystemen omdat de pompen dan ook op afstand van de put staan. Wanneer er geen verhoging aanwezig is, kan de elektrische installatie omheind en (tijdelijk) bemalen worden om het water buiten te houden (zie Figuur 5-10b).



Figuur 5-10 Maatregelen bij de oeverinfiltratie winning Torgau-Ost in Duitsland, a) Bescherming van de ingangen van de putkelder met waterdichte afsluitingen; b) Bescherming van de energievoorziening (omvormer) met een muur en mobiele bronbemaling (Rambags et al. 2011). Het plaatsen van waterkerende bovengrondse muren of werken heeft niet de voorkeur in de uiterwaarden beneden het maatgevende hoogwater.

5.5.2 Aandachtspunten traditionele putbehuizing en putkop

Microbiologische veiligheid; Risico op elektrische kortsluiting

Uit de analyse in §2.3.2 en Tabel 2-2 blijkt dat voor traditionele putkelders die hoger liggen dan het maatgevende hoogwater, het bij Nederlandse drinkwaterbedrijven vigerende ontwerp in grote lijnen afdoende is om de microbiologische veiligheid te garanderen.

Doorstroming van de rivier

Het realiseren van nieuwe ophogingen t.b.v. een putkelder of elektrische hoofdinstallatie beïnvloedt de doorstroming van de rivier. Hier kunnen compenserende maatregelen voor vereist zijn indien dit al wordt toegestaan.

5.5.3 Aandachtspunten overstroombare putbehuizing en putkop

Microbiologische veiligheid; Risico op elektrische kortsluiting

Een overstroombare putkelder moet bestand zijn tegen een overstroming en na een overstroming weer makkelijk in bedrijf gesteld. Om dit te borgen gelden de volgende aandachtspunten:

- De putkelder mag niet opdrijven.
- De doorvoeren van de putkelder moeten waterdicht afsluitbaar zijn, zodat er geen oppervlaktewater kan instromen in de casing, waarnemingsbuizen en putkelder.
- Overwogen kan worden om de elektrotechnische installaties en automatische data-acquisitie zoveel mogelijk binnendijs of op hoger gelegen gronden boven maatgevend hoogwater te plaatsen. Dit minimaliseert het risico op kortsluitstroming en storingen.

Waterdicht afsluiten elektrische installatie en data-acquisitie (optie 1)

Verder moet de elektrische installatie in de putkelder waterdicht worden gemaakt. Om de contactpunten van de bedrading kan een giethars of gel met een kabelmof worden aangebracht, zodat er geen kortsluiting kan ontstaan bij overstroming.

Verplaatsen van afsluiten elektrische installatie en data-acquisitie (optie 2)

Het is in theorie goed mogelijk om onderdelen van de elektrische installatie en data-acquisitie (zie Figuur 5-9) op afstand van de put te plaatsen in een aparte behuizing. Aandachtspunt hierbij is dat de kabeldiameter mogelijk moet worden aangepast (met minder weerstand) vanwege de grotere lengte van de kabel.

Opdrijving

Wanneer de putkelder onder water staat maar niet volloopt met water, wordt een netto opwaartse kracht op de kelder uitgeoefend waardoor deze uit het boorgat getild kan worden. Opdrijving kan voorkomen worden door de putkelder voldoende te verzwaren en/of de putkelder te funderen met trekpalen. Deze funderingspalen voorkomen dat de constructie mee beweegt wanneer opwaartse krachten worden uitgeoefend op de constructie (Rambags et al. 2011).

Deksel en beluchting van behuizing

De ingangen naar de putkelder, de deksel en de ontluuchting, moeten waterdicht afgesloten worden. Om de put volledig waterdicht te maken moet de ontluuchting afgesloten worden.

Een low-tech optie is om te werken met handmatige afsluiters. Net als bij de hevelonderbrekers op de leidingen, kan ook een drijfbal worden geïnstalleerd op de luchtinlaat. Wanneer het waterniveau boven het geïnstalleerde niveau van de drijfbal komt, wordt de luchtinlaat automatisch afgesloten. Er kan hierbij gekozen worden voor een systeem met twee kleppen, zodat bij overstroming nog wel ontluucht kan worden. Hierbij moet altijd gezorgd worden dat de opening van de luchtinlaat naar beneden toe gericht is, zodat het niveau altijd onder de maximale hoogte van de buis blijft (Rambags et al. 2011).

Wanneer de stijgbuis hermetisch is afgesloten en het oppompen van water niet wordt gestopt, kan een drukverschil ontstaan tussen de buis en de atmosfeer, maar dit heeft geen gevolgen voor het in gebruik houden van de winning (Rambags et al. 2011).

Putkop

Daarnaast moet de putkop in de putkelder ingericht zijn om overstroming te kunnen verdragen, voor het geval dat de waterdichte afsluiting van de kelder faalt. Verbindingen van buizen binnen de putkelder moeten met rubberen pakkingen (of o-ringen) waterdicht worden afgesloten en de buizen moeten op correcte manier aan elkaar gesloten worden.

Boorgat

De BRL 2100 vereist dat de scheidende werking van doorboorde lagen (klei, veen) wordt hersteld tijdens het aanvullen van het boorgat bij aanleg van de put. De praktijkcode geeft daarnaast aanbevelingen voor het aanbrengen van een kleiprop in de annulaire ruimte direct onder de putkelder. Volgens Van der Schans et al. (2025) is met name het afdichten van de bovenste 7 meter beneden maaiveld van belang om microbiologische besmetting door kortsluitstroming te voorkomen.

Waarnemingsbuizen in winputten en waarnemingsputten

Om terugstroming naar het winpakket via een filterbuis of peilbuis tegen te gaan, moeten ook deze buizen goed afgedicht zijn tijdens een overstromingssituatie. Daarnaast is het van belang de waterdichte afsluitingen van regelmatige inspectie en onderhoud te voorzien, en de pakkingen te vervangen binnen de door de fabrikant aangegeven levensduur (Rambags et al. 2011).

Een andere manier om de stijg- en peilbuizen te beschermen tegen overstromingen is het verhogen van de buis. Door de buis boven het hoogste overstromingsniveau te plaatsen, wordt geborgd dat er geen water kan instromen. Nadeel hiervan is dat er door de arm en gewicht van de opzetbuis veel spanning op de verbinding kan komen waardoor deze niet goed werkt (onder andere productielocatie Roosteren, WML).

Er zijn voorbeelden waar het watervoerende pakket bij een overstroming niet is besmet door de stijgbuis van de winput, maar door peilbuizen (onder andere productielocatie Roosteren, WML). Peilbuizen kunnen op dezelfde wijze worden afgesloten als de stijgbuizen van het winveld. Het is belangrijk om ook bij het plaatsen van peilbuizen hoogwaardige materialen te gebruiken en de annulaire ruimte goed af te sluiten.

5.6 Terreinleidingen en dijkpassage

5.6.1 Ontwerpkeuzes

Aantal leidingen (redundantie)

Drinkwaterbedrijven gebruiken terreinleidingen om water uit onttrekkingsputten te transporteren naar de zuivering. Deze zuivering zal vaak binnendijs liggen in de nabijheid van het winveld, maar soms wordt water van meerdere winvelden over grotere afstanden naar een centrale zuiveringslocatie getransporteerd. De diameter van de leidingen wordt bepaald door het aantal aangesloten putten en het per put onttrokken debiet.

Aanlegwijze

Terreinleidingen kunnen worden aangelegd (1) in een sleuf via een open ontgraving, (2) via een gestuurde boring, (3) via een persing, (4) bovengronds.

Ter plaatse van dijkpassage is een gestuurde boring de meest toegepaste methode. Hergarden (2024) geeft een overzicht van de randvoorwaarden waaraan een dijkpassage moet voldoen.

Aanleg in de uiterwaarden via een open ontgraving is goedkoop maar veroorzaakt graafschade. Voordeel van een gestuurde boring is dat er minder impact is aan maaiveld. Bovengrondse aanleg is tevens mogelijk, maar ongewenst omdat de leiding dan een obstakel vormt in de uiterwaard met risico op beschadiging.

5.6.2 Aandachtspunten dijkpassage

Stabiliteit dijklichaam (dijkpassage)

Schade aan leidingen komt regelmatig voor. Dit kan grote gevolgen hebben voor de stabiliteit van de waterkering. Leidingen verminderen bovendien de weerstand voor grond- en/of kwelwater, met als gevolg dat er een risico op piping of instabiliteit ontstaat. Dijkbeheerders streven ernaar om geen kabels en/of leidingen binnen het waterstaatswerk te hebben (Hergarden 2024).

Initiatiefnemers, die kabels en/of leidingen binnen het waterstaatswerk willen leggen, moeten aantonen (bij voorkeur met een variantenstudie) dat er geen ander mogelijk tracé is om deze aan te leggen. Dijkbeheerders hanteren toetsingscriteria om het risico op dijkfalen als gevolg van de leiding te voorkomen zoals de toepassing van drillgrout rond de leidingen. De boring dient minimaal 10 m-mv onder beschermingszone en waterkering te worden aangebracht en minimaal 7 meter in het pleistoceen. Uiteraard moet bij het in- of uittredepunt in de uiterwaard zorg worden besteed aan herstel van de bodem en bodembescherming. Ze kunnen daarnaast aanvullende eisen stellen zoals monitoring van druk en regelmatig testen van afsluiters. Aanleg van dijk kruisingen dienen buiten de dijksluitingsperiode uitgevoerd te worden. (Hergarden 2024).

Bereikbaarheid voor onderhoud (dijkpassage)

Een kruisende leiding moet aan beide zijden van de kruising, op goed bereikbare plaatsen (ook tijdens hoogwaterperiodes), afgesloten kunnen worden (Hergarden 2024).

Er zijn bij de auteurs van dit onderzoek geen voorbeelden bekend van eisen aan dubbele afsluiters bij buitendijkse grondwateronttrekkingen. Maar je zou een onttrekking kunnen zien als een omgekeerd gemaal, i.e. een onttrekking aan de buitendijkse kant. Uit een advies voor een gemaal van POV K&L (2020) volgt dat de kleppen automatisch moeten sluiten als gestopt wordt met pompen en dat ze onafhankelijk moeten opereren, bijvoorbeeld door toepassing van een automatische afsluitende vlinderklep (die automatisch dichtvalt bij uitval van de stroomvoorziening) of een terugslagklep. Een terugslagklep aan de binnendijkse zijde is alleen zinvol als er andere terreinleidingen zijn of pompen in de drinkwaterzuivering die water kunnen terugduwen.

5.6.3 Aandachtspunten terreinleidingen in uiterwaarden

Graafschade bij aanleg van kabels en leidingen (in de uiterwaarden)

De leiding moet in alle gevallen een deel van de uiterwaarden passeren. Bij open vergraving ontstaat schade aan maaiveld wat kan leiden tot erosie bij een navolgend hoogwater. Na aanleg van kabels en leidingen moet de teruggebrachte grond goed worden verdicht, goed aanvulmateriaal worden gebruikt en de profielopbouw en grasbedekking zoveel mogelijk worden hersteld. Als alternatief is (gedeeltelijke) aanleg van terreinleidingen met horizontale gestuurde boringen (HDD) mogelijk. Hierdoor ontstaat minder vergravingschade. Wel moet bedacht worden dat er ruimte beschikbaar moet zijn voor de boormachine en voor het uitlegterrein waar de leiding ligt voordat deze het boorgat wordt ingetrokken.

Schade aan leidingen door opdrijven of wegspoelen van grond (in de uiterwaarden)

Er zijn verschillende overstroming gerelateerde faalrisico's mogelijk voor leidingen in de uiterwaarden. Deze risico's zijn geëvalueerd aan de hand van scenarioberekeningen met COMSIMA door van Vossen en Wols (2018). Hieronder volgt een beknopte samenvatting.

- Schade aan terreinleidingen door bodemerosie

Wegspoelen van grond is een risico voor terreinleidingen. Erosie treedt vooral op bij hoge stroomsnelheden. Bij een extreme afvoer is bodemerosie in de uiterwaarden mogelijk, vooral in de nabijheid van stroomgeulen en obstakels. Of extra bodembeschermende maatregelen nodig zijn, is onder andere afhankelijk van de bodemsoort. Bij kale zandgronden kan erosie al optreden bij stroomsnelheden > 0.2 m/s. Bij goede (onbegroeide) kleigronden mogen stroomsnelheden oplopen tot 0.6-1 m/s. Bij begroeiing of bestrating zijn veel hogere snelheden toelaatbaar (Van Vossen en Wols 2018).

- Risico op leidingbreuk door opdrijving tijdens een overstroming

Volgens Van Vossen & Wols (2018) is opdrijving van watergevulde leidingen alleen een risico als er grote dichtheidsverschillen optreden tussen de met (zoet) water gevulde leiding en het overstromingswater. In de door de auteurs onderzochte scenario bleek opdrijving van PE, PVC en grote diameters AC-leidingen mogelijk bij overstroming met zout zeewater in veenbodems. Opdrijving is bij overstroming met zoetwater in zand- en kleibodems geen risico voor leidingbreuk.

- Risico op leidingbreuk door gewicht van een extra waterlaag

Tijdens een overstroming kan een leiding in theorie bezwijken door het gewicht van de extra waterlaag op de bodem. In de meeste situaties lijken leidingen echter niet kwetsbaar voor deze belasting (Van Vossen-van den Berg en Wols 2019). Alleen wanneer binnen zeer korte tijd (bijvoorbeeld bij een dijkdoorbraak) waterdieptes

van meer dan 5 meter bereikt worden, is er bij leidingen van PE, PVC en niet-overgedimensioneerd staal, in combinatie met een slechte conditie, sprake van een risico op bezwijken. Bij reguliere overstroming van de uiterwaarden ontstaat deze tijdelijke extra bovenbelasting niet en is er geen verhoogd risico op falen.

- Risico op leidingbreuk door ongelijkmatige zetting tijdens overstroming

Verschilzettingen leiden tot meer spanning op een leiding (Wols et al. 2015). Het is echter moeilijk in te schatten wat voor verschilzetting een overstroming geeft en zettingen zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden (Van Vossen en Wols 2018). Bij overgangen van zand naar veen of van zand naar klei zijn de spanningen door verschilzettingen potentieel het grootst en kunnen voor alle materiaalsoorten, behalve PVC en PE resulteren in bezwijken van leidingen (Van Vossen en Wols 2018).

Leveringszekerheid en stabiliteit waterkering

Vanuit het oogpunt van kosten en het beperken van de graafschade heeft het de voorkeur om de putten zoveel mogelijk via één centrale verzamelleiding te verbinden. Vanuit het oogpunt van waterveiligheid en leveringszekerheid heeft het de voorkeur om bij de dijkpassages twee parallelle leidingen aan te leggen. Dit zorgt voor redundantie wanneer één van beide leidingen gesloten is voor onderhoud of vervangen moet worden door een toekomstige aanpassing van het dijkprofiel. In verband met macro-stabiliteit heeft het de voorkeur om de doorkruisingen ten minste 50 m uit elkaar te leggen.

Een HDD leidt in principe tot een afname van de stabiliteit van de dijk en is dus vanuit dat perspectief onwenselijk voor het bevoegd gezag (RWS, waterschap). Echter, er kan overwogen om bij de aanleg van een dijkdoorkruising de dijk lokaal te versterken (bijvoorbeeld door de overhoogte te verhogen) en in het leiding tracé (in- en uittredepunt van HDD) al rekening te houden met een toekomstige uitbreiding van de vrije ruimte. Op deze wijze kan voorkomen worden dat een drinkwaterwinning afbreuk doet aan waterveiligheid en wordt al rekening gehouden met vervanging aan het einde van de levensduur van de leiding. Een voordeel van de aanleg via een katterug i.p.v. HDD is dat de leiding beter bereikbaar blijft voor vervanging of onderhoud. Nadeel is dat de leiding vervangen moet worden indien de maatgevende hoogte in de toekomst wordt aangepast (in 2050 wordt een nieuwe normering verwacht) tenzij de katterug al buiten de huidige vrije ruimte ligt.

Om het ontwerp nog robuuster te maken, kan tot slot ook overwogen worden om een dikkere buiswand te hanteren. Dit heeft ook een positieve impact op de levensduur.

5.7 Waterzuivering

5.7.1 Ontwerpkeuzes

Door de andere ruwwaterkwaliteit van het geïnfiltreerde rivierwater is aanvullende zuivering nodig ten opzichte van reguliere grondwaterwinningen. Arcadis Nederland B.V. (2024a) geeft een overzicht van de verschillen in waterkwaliteit en benodigde zuivering voor verschillende bronnen (Tabel 5-1).

Tabel 5-1 Beschrijving type ruw waterkwaliteit en benodigde zuivering (Arcadis Nederland B.V. 2024a).

Herkomst	Waterkwaliteit	Zuivering
Grondwater	Water afkomstig uit een afgesloten watervoerend pakket. Dit is zuurstofloos, bacteriologisch betrouwbaar grondwater.	Verwijderen van opgeloste stoffen (zoals ijzer, mangaan, eventueel methaan en ammonium) en ontharding. Het verwijderen van organische microverontreinigingen (OMV) wordt hier niet in meegenomen.
Oevergrondwater	Oppervlaktewater dat minimaal 90 dagen door de bodem heeft gereisd waardoor het water zuurstofloos en bacteriologisch betrouwbaar is. Prioritaire stoffen kunnen gedeeltelijk achterblijven of omgezet worden in de bodem. Zuivering voor deze stoffen blijft noodzakelijk.	Verwijderen van opgeloste stoffen (zoals ijzer, mangaan, eventueel methaan en ammonium), ontharding, en organische microverontreinigingen gevolgd door na-desinfectie.
Oppervlaktewater	Water direct onttrokken uit elke mogelijke oppervlaktewaterbron. Moet gezuiverd worden van deeltjes, bacteriën en prioritaire stoffen. Oevergrondwater met onvoldoende lange verblijftijd in de bodem wordt eveneens als oppervlaktewater gekwalificeerd.	Verwijderen van zwevende stof, ontharding, organische microverontreinigingen en desinfectie. Geen buffercapaciteit in rekening gebracht voor een innamestop. In de scenario's met oppervlaktewater is een back-up met grondwater opgenomen.

5.7.2 Aandachtspunten waterzuivering

De ervaring van Oasen met oevergrondwater is dat de benodigde zuiveringsstappen variëren van traditionele zuivering, met beluchting, zandfiltratie, ontharding eventueel aangevuld met actief kool, tot volledige zuivering met omgekeerde osmose. De keuze wordt gemaakt op grond van de mate van microverontreinigingen in de bron en verwachte verontreinigingen in de toekomst. Oasen gaat er hierbij vanuit dat oeverfiltratie (vanwege de minimale verblijftijd van 60 dagen) bacteriologisch betrouwbaar is. Indien dit niet het geval is, dan zijn er uiteraard aanvullende zuiveringsstappen nodig om te zorgen voor voldoende verwijdering van pathogene micro-organismen. Het vraagt dus een apart locatiespecifiek onderzoek om te kijken welke range aan zuiveringsstappen benodigd is voor oeverwinningen.

6 Kennislacunes

6.1 Gebrek aan kennis

De benodigde technologie is op papier (in theorie) grotendeels voorhanden. Om vooraf kosten goed in te schatten en risico's te mitigeren is het wenselijk om de volgende kennis te ontwikkelen:

Verwijdering micro-organismen en organische microverontreinigingen in de bodem van de vaargeul

De mate waarin micro-organismen en organische microverontreinigingen worden verwijderd tijdens bodempassage is een belangrijke randvoorwaarde voor het ontwerp van de zuivering. Uit doseerproeven in de duinfiltratiewinningen is bekend dat de verwijdering zeer groot is in de sliblaag. Echter, met name in de vaargeul is de waterbodem naar verwachting veel dynamischer en zal over het algemeen geen sliblaag afgezet zijn. Het is daarom de vraag of er in de waterbodem van de vaargeul extra verwijdering plaats zal vinden.

HDDW's in fijnzandige formaties.

HDDW's lijken bij uitstek geschikt voor het winnen van grondwater in uiterwaarden. Maar hoewel er wereldwijd veel HDDW's zijn aangelegd, is de performance over het algemeen slecht gedocumenteerd. Bovendien zijn er weinig toepassingen bekend van drinkwaterwinningen in ongeconsolideerde formaties. De uitdaging zit met name in het verwijderen van de resten boorspoeling. In grovere formaties lijkt dit mogelijk door toepassing van RVS wikkeldraadfilters in combinatie met reiniging door middel van hoge druk jetten. Bij Dunea is een pilot uitgevoerd om een HDDW te realiseren in een fijnzandige formatie met behulp van een ingespoten omstorting. Deze bleek lastig te ontwikkelen waardoor de put al bij aanvang verstopt bleek (Van der Schans et al. 2022a). Het is de vraag welke filterbuizen geschikt zijn voor fijnzandige formaties (inclusief de verwijdering van bentoniet) en wat de prijs is van dergelijke filters. Andere uitdagingen zijn het voorkomen van frackouts bij ondiepe boringen en of het lukt om het gehele filter gelijkmatig te ontwikkelen.

Onderhoudsfrequentie

In uiterwaarden kunnen verschillende watertypen op relatief korte afstand van elkaar optreden. Positionering van productiefilters in een transitiezone van suboxisch naar ijzerreducerend grondwater maakt ze gevoelig voor verstopping (Van der Schans et al. 2022b). Voor open bodemenergieputten in de transitiezone van sulfaatreducerend naar methanogeen grondwater bestaat een sterk vermoeden dat deze versneld verstoppem, maar eerdere studies van Drijver en Van de Ridder (2021) geven geen uitsluitsel over het mechanisme dat deze verstopping zou veroorzaken. In de wetenschappelijke literatuur is ook geen overeenstemming of menging van deze watertypen ook verstopping veroorzaakt in onttrekkingsputten (Van Beek en Van der Kooij 1982, Timmer et al. 2003). Het is dus de vraag hoe snel putten gaan verstoppem die zijn gesitueerd in een transitiezone. Deze vraag is met name prangend in uiterwaarden omdat er vaak beperkingen zullen gelden aan regeneratie vanwege de status als N2000 gebied.

6.2 Gebrek aan praktijkervaring en inzicht in kosten

Het ontwerp van een overstroombare winning is geen eenvoudige opgave. Een grote uitdaging is om het ontwerp zodanig te optimaliseren dat de effecten op andere belangen zoals natuur, landbouw en dijkstabiliteit beperkt blijven. Dit vergt locatie-specifieke uitwerking.

Daarnaast is met name wenselijk om een aantal zaken op praktijkschaal te testen en ervaring op te doen. Dit geldt met name voor:

- **Overstroombare putkelder:** wat is de beste inrichting/ontwerp? Welke materialen toe te passen? Hoe frequent zijn inspecties nodig? Werken de waterdichte keringen in de praktijk? Is er voldoende koeling van elektrische installaties?
- **Horizontale winmiddelen:** Het bewaken (en bijsturen) van de verdeling van de instroming in lange horizontale winmiddelen. Kan dit bijvoorbeeld via Active Heating Distributed Temperature Sensing (AH-DTS) of d.m.v. passieve temperatuurmetingen, gebruikmakend van variatie in temperatuur van infiltrerend oppervlaktewater.
- **Schuin geboorde putten:** In de Verenigde Staten is ervaring met het schuin boren van putten onder geringe hoeken (tot 20 graden t.o.v. horizontaal). In Nederland is er enige ervaring bij het voorboren van de conductor van geothermieputten maar met veel grotere hoeken. Het is de vraag of er Europese boorfirma's zijn die dit kunnen. En of dit het beste kan met een zuigboormachine, of door ombouwen van een HDD-rig naar een zuigboring.
- **Bewaken van dijkdoorkruisingen:** Het bewaken van de sterkte en vervormingen van terreinleidingen die onder een dijklichaam doorlopen tijdens inundaties.

7 Referenties

- Adamse, H. D. en J. C. Kruithof (1998). "Zuiveringsstrategieën voor het OEDI-concept: een natuurlijke keuze." H2O 9
- Arcadis Nederland B.V. (2024a). Oevergrondwaterwinning in Gelderland Verkenning Winssen-Slijk-Ewijk, Arcadis Nederland B.V. . 30188544.
- Arcadis Nederland B.V. (2024b). Verzameldocument factsheets.
- Caljé, R. en R. Collenteur (2018). Berekening effect verbinding Steenwaard en Lek, Artesia.
- Cirkel, D. G. (2013). Quicksan haalbaarheid Innovatieve horizontale wintechneiken Meijndel Nieuwegein, KWR: 64.
- Commissie MER (2021). Ontwikkeling oevergrondwaterwinning in de Krimpenerwaard of Alblusserwaard. Advies over de reikwijdte en detailniveau van het milieueffectrapport, Commissie voor de milieueffectrapportage.
- De Bruin, E. (2022). 2021 Summer Floods Limburg: WML's experiences. BTO Watershare webinar, WML.
- Drijver, B. en Y. Van de Ridder (2021). Onderzoek putverstopping door sulfaatreductie, IF-technology & Installct. 69232/LL/2021122.
- Drinkwaterplatform. (2021). "Waar komt ons kraanwater vandaan?", 2024, from <https://www.drinkwaterplatform.nl/themas/watertransitie/winningen/>.
- FloodProBe (2007). Fact sheet Case Study: Gloucestershire, GB - flooding in 2007. <http://www.floodprobe.eu/partner/assets/documents/GloucestershireFactsheet.pdf>
- Geoscience (2017). Technical Memorandum, Task 1, Advancement of Slant Well Technology. La Verne, California, Geoscience Support Services, Inc.
- HDSR (2022). Beëindiging grondwatermonitoring project Steenwaard. Brief van HDSR d.d. 16 aug 2022.
- Hergarden, I. (2024). Drinkwaterwinning nabij primaire waterkeringen - Onderzoek naar effect op waterveiligheid van waterwinning binnen de beschermingszone aan de buitenzijde van dijken. Amersfoort, Royal HaskoningDHV.
- Houben, G. J., S. Collins, M. Bakker, T. Daffner, F. Triller en A. Kacimov (2022). "Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells." Hydrogeology Journal: 1-29.
- 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>
- IWACO (1996). MER-OEDE FASE 3, INRICHTINGSNIVEAU Werkgroep hydrologie - Hydrologische modelberekeningen. Rotterdam, IWACO B.V.
- Juhász-Holterman, M. H. A. (2006). 20 jaar radiaalput Roosteren, WML.
- Krab, R., M. Stuurman, B. Wagenaar, T. Ebbing, H. Muller, J. B. Hartman, J. Van Paassen, M. Nederlof en M. Boerefijn (2004). Horizontale Putten Engelse Werk. Feiteninventarisatie, Vitens. Memo d.d. 31 maart 2004.
- Laeven, M. P. en G. K. Reijnen (1997). Bijstelling prognose waterkwaliteit OEDI-project Deel 1: oeverfiltraat en voorzuivering. Nieuwegein, Kiwa.
- Min I&W (2025). Beleidsregel van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat van 30 januari 2025, nr. IENW/BSK-2025/15528, tot vaststelling van de Beleidsregels grote rivieren 2025. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0050726/2025-02-01/0>
- Missimer, T. M., B. Jones en R. G. Maliva (2015). Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities: innovations and environmental impacts, Springer.
- Murphy, M. (1994). "Weathering the storm: water systems versus hurricanes." Journal AWWA 86(1): 74-83.

- Polomčić, D., B. Hajdin, Z. Stevanović, D. Bajić en K. Hajdin (2013). "Groundwater management by riverbank filtration and an infiltration channel: the case of Obrenovac, Serbia." *Hydrogeology Journal* 21(7): 1519-1530.
- POV K&L (2020). Advies aan Waterschap Brabantse Delta, Ontwerp dijk kruising lagedruk persleidingen te Waalwijk, Memo d.d. 4 december 2020.
- Rambags, F., D. G. Cirkel, I. van der Hoeven, R. Rothuizen en B. Pittens (2010). HDDW: van concept tot realisatie.
- Rambags, F., K. J. Raat, I. Leunk en G. A. van den Berg (2011). Flood proof wells. Guidelines for the design and operation of water abstraction wells in areas at risk of flooding, KWR. <http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?FileInfoID=433>
- Reijnen, G., H. Honée, R. Hoeijmakers en J. Klomp (2007). "Actieve koelfiltratie moet dreiging bentazon in Limburg beteugelen." *H2O* 2007(8): 21-21.
- Rijkswaterstaat (2019). Handreiking Beleidslijn Grote Rivieren, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Rijkswaterstaat (2023). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. versie 6.
- Rus, J. S., H. Bakker, G. Enserink, S. Den Held en M. Bakker (2007). Milieueffectrapport herinrichting drinkwaterwinning Onnen. Groningen, Royal Haskoning.
- Severn Trent Water (2007). Gloucestershire 2007. The Impact of the July Floods on the Water Infrastructure and Customer Service. Final Report. .
- Siegfried, K., P. Otter, T. Grischek, R. Bartak en S. Wang (2018). Design of bank filtration schemes and coupled engineered solutions. Deliverable D1.2, AquaNES. www.aquan.es.eu
- Sinisi, L. en R. Aertgeerts (2011). Guidance on water supply and sanitation in extreme weather events, World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Steinweg, C., A. Holsteijn en C. Van den Brink (2018). Gebiedsdossier grondwaterwinning Onnen - De Punt. Groningen Royal HaskoningDHV.
- Straub, L. (2016). "Angled wells, Using horizontal technology to get hard-to-reach water." *Water Well Journal*.
- Stuyfzand, P. J. (1989). "Hydrology and water quality aspects of rhine bank groundwater in The Netherlands." *Journal of Hydrology* 106(3): 341-363.
- Stuyfzand, P. J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. PhD, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Stuyfzand, P. J. (1996). Salinization of drinking water in the Netherlands: anamnesis, diagnosis and remediation. 14th SWIM, 16-21 June 1996, Malmö, Geol. Survey Sweden.
- Stuyfzand, P. J. en F. Lüers (1996). Gedrag van milieugevaarlijke stoffen bij oeverfiltratie en kunstmatige infiltratie; Effecten van bodempassage gemeten langs stroombanen. Mededeling 125. Nieuwegein, Kiwa.
- Timmer, H., J.-D. Verdel en A. G. Jongmans (2003). "Well clogging by particles in Dutch well fields." *Journal AWWA* 95(8): 112-118.
- Timmers, P. en M. L. van der Schans (2022). Opsporing van fecale besmettingsbronnen in grondwaterwinningen met multi-tracing technieken: casus Roodborn. Nieuwegein, KWR: 41. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/Open/68125137>
- Van Beek, C. G. E. M. en D. Van der Kooij (1982). "Sulfate-Reducing Bacteria in Ground Water from Clogging and Nonclogging Shallow Wells in the Netherlands River Region." *Groundwater* 20(3): 298-302.
- Van der Schans, M. L., D. G. Cirkel, P. Timmers en F. van Charante (2023). Vertrouwelijk concept-rapport voor projectnummer P403230. Nieuwegein, KWR Water Research Institute.
- Van der Schans, M. L., R. K. Hilbrandie en D. G. Cirkel (2022a). Aanleg en testen van Horizontal Directional Drilled Well (HDDW) Dunea. Nieuwegein, KWR.

- Van der Schans, M. L. en M. A. Meerkerk (2019). Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater. Deel 2 Ontwerp. Nieuwegein, KWR: 154.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/60518580>
- Van der Schans, M. L., V. Post, P. W. M. H. Smeets en D. G. Cirkel (2025). Verkennende berekeningen naar de microbiologische risico's van lekkende stijgbuizen en waarnemingsbuizen in winputten voor de drinkwaterproductie. Nieuwegein, KWR Water Research Institute. KWRW 2025.015.
- Van der Schans, M. L., P. W. M. H. Smeets, I. Leunk en M. A. Meerkerk (2016). PCD 1-2 Hygienecode Drinkwater. Winning (grondwater, oevergrondwater en water na kunstmatige infiltratie). Nieuwegein, KWR: 56. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/54136958>
- Van der Schans, M. L., J. Van Lopik, M. A. Meerkerk, D. F. Wiggers de Vries en H. J. M. Broers (2022b). Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater. Deel 4 Exploitatie. Nieuwegein, KWR.
- Van der Schans, M. L., J. Van Lopik, F. Van der Graaf en J. Jansen (2022c). Hydrological performance evaluation of the Radial Collector Wells (Horizontal wells in winning 8 Berkheide, Dunea), Version 2. Nieuwegein, KWR. Memo opgesteld voor projectnummer 403230.
- Van der Woerd, D., P. de Graaf en K. Tamminga (2011). "Onnerpolder: noodberging en drinkwaterproductie." H2O : tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 44(2): 32-34.
- Van Vossen-van den Berg, J. en B. A. Wols (2019). Gevolgen van overstromingen voor het drinkwaterleidingnet. H2O-Online.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/59488989>
- Van Vossen, J. en B. A. Wols (2018). Functioneren leidingnet na overstroming. Nieuwegein, KWR: 70.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/59278027>
- Vogelaar, A. J. (1996). Winning, zuivering en diepinfiltratie van oeverfiltraat - Een overzicht van 10 jaar ervaring te Remmerden en Leersum. Nieuwegein, KIWA. 96.055.
- WaterProjectsOnline. (2012). "Mythe WTW Flood Alleviation Scheme." from https://waterprojectsonline.com/wp-content/uploads/case_studies/2012/Mythe-WTW-FAS-2012.pdf.
- Waterschap Hollandse Delta (2010). Water- en wegenvergunning voor het aanbrengen, hebben en onderhouden van een waterleiding vanaf de Rotterdamseweg nabij de Randweg naar de Oostmolendijk te Ridderkerk. Vergunning met kenmerk K10.0034IJ d.d. 13 januari 2010.
- Witteveen+Bos (2014). Gebiedsdossier Oevergrondwaterwinning Roosteren. Maastricht, Witteveen+Bos.
- WMN (1996a). OEDI Een natuurlijke keus - Bijlagen, N.V. Waterleidingbedrijf Midden-Nederland.
- WMN (1996b). Publiekssamenvatting OEDI-project. Utrecht, N.V. Waterleidingbedrijf Midden-Nederland.
- Wols, B. A., A. Moerman en I. Vertommen (2015). Comsima: model voor spanningen op ondergrondse leidingen. Nieuwegein, KWR: 57.
- Zwolsman, G. J., D. G. Cirkel, B. Hofs, E. Kardinaal, K. Learbuch, H. Runhaar, M. van der Schans, P. Smeets, P. van Thienen, P. van der Wielen, F. Witte en B. Wols (2014). Risico's van klimaatverandering voor de drinkwatersector. Nieuwegein, KWR: 144.