

KWR PCD 13-2 | november 2019

Putten en puttenvelden ten behoefte van drinkwater

Deel 2: Ontwerp

Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater

Deel 2: Ontwerp

KWR | PCD 13-2 | november 2019

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

M.L. (Martin) van der Schans en M.A. (Martin) Meerkerk

Kwaliteitsborger

D.G. (Gijsbert) Cirkel

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie

Martin van der Schans

T (030) 60 69 537

E Martin.van.der.Schans@kwrwater.nl

KWR

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T (030) 60 69 511

(030) 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

The logo for KWR (Watercycle Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated.

**Watercycle
Research
Institute**

PCD 13-2 | november 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Praktijkcode Drinkwater

Status

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

Verantwoording

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

Totstandkoming en kwaliteitsborging

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

Openbaarheid

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar en zijn te vinden op de website www.PraktijkcodesDrinkwater.nl

Periodieke actualisatie

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een 'vijfjaarsrevisie': primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit 'Van Dale'.

praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

Voorwoord

Deze praktijkcode maakt onderdeel uit van een serie van in totaal zes delen. Een en ander is beschreven in het 'Voorwoord' van het eerste deel, waarnaar wordt verwezen (zie PCD 13-1 [121]). Daarin is ook een korte introductie opgenomen.

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

- De nummering van de hoofdstukken loopt door
Er is voor gekozen de nummering van de hoofdstukken in de serie praktijkcodes te laten doorlopen. Deel 1 van de serie eindigt met hoofdstuk 4, zodat dit deel begint met hoofdstuk 5.
- 'Richtlijnen'
Op diverse plaatsen in deze praktijkcode is een 'Richtlijn' opgenomen in een blauwgrijs kader. Het gaat om door de drinkwatersector opgestelde praktijkrichtlijnen, die zijn afgestemd op van toepassing zijnde beoordelingsrichtlijnen. Alle in deze praktijkcode opgenomen richtlijnen (totaal 39) zijn samengevat in bijlage I van dit document.
- Normen
Nationale en internationale normen waaraan in deze praktijkcode wordt gerefereerd, zijn niet opgenomen in het hoofdstuk 'Literatuur' van deze praktijkcode, maar zijn overzichtelijk weergegeven in bijlage II.
- Beoordelingsrichtlijnen
Voor relevante beoordelingsrichtlijnen van de (certificatie-)instellingen Kiwa Nederland en SIKB geldt hetzelfde als voor bovengenoemde normen. Die zijn overzichtelijk weergegeven in bijlage III.

Inhoud

5	Ontwerpproces	9
5.1	Waarom een gestructureerd ontwerpproces?	9
5.2	Nieuw puttenveld: onderdelen en fasering	9
5.3	Wijziging bestaande winning	13
5.4	Omgevingsmanagement	14
5.5	Afstemming met andere bedrijfsonderdelen	14
5.6	Rolverdeling, ontwerpbudget, et cetera	15
5.7	Doorlooptijd	15
6	Ontwerpdoelen	16
6.1	Productiedoelstelling	16
6.2	Watervraag	16
6.3	Scope ontwerpproces	17
7	Bron- en locatiekeuze winning	19
7.1	Bronkeuze	19
7.2	Regionale locatiekeuze	21
7.3	Keuze watervoerende pakket	24
8	Gebiedsanalyse	25
8.1	Wettelijk kader, beleid en planvorming	25
8.2	Karakterisering ondergrond en omgeving	25
8.3	Systeemanalyse	29
8.4	Beoordeling beschikbare informatie	29
9	Exploratie van winlocaties	32
9.1	Geohydrologisch en hydrochemisch vooronderzoek: potenties winning	32
9.2	Lithochemisch vooronderzoek: reactiviteit bodem	33
9.3	Ligging zoet-zout-grensvlak: verziltingsrisico	34
9.4	Milieukundig vooronderzoek: bodemverontreinigingen	35
9.5	Geotechnisch vooronderzoek: zettingsschade winmiddelen	35
10	Methoden voor exploratie en monitoring van winlocaties	36
10.1	Geofysische metingen aan maaiveld	37
10.2	Sonderingen	40
10.3	Boormonsterprofiel	41
10.4	Boormonsterfoto met stratigrafische beschrijving	42
10.5	Boormonsteranalyse	43
10.6	Boorgatmeting	46
10.7	Permanente geofysische metingen en sensoren	53
10.8	Geohydrologisch veldonderzoek	55

11	Inrichting puttenveld	60
11.1	Keuze winconcept	60
11.2	Keuze winmiddel	68
11.3	Benodigd aantal winputten	73
11.4	Configuratie van het puttenveld	76
11.5	Pompsysteem	77
11.6	Lozingspunt	79
11.7	Tracé ruwwaterleiding	79
11.8	Maatregelen overstromings-robuste winning	80
12	Ontwerp verticale winputten	81
12.1	Erkende kwaliteitsverklaring	81
12.2	Ontwerpstappen voor dimensionering winput	82
12.3	Debiet winput en diameter boorgat	83
12.4	Omstorting	89
12.5	Filterbuis	92
12.6	De putbodem en zandvang	94
12.7	Stijgbuis en pompkamer (verwijde stijgbuis)	95
12.8	Verbindingen en verlopen	97
12.9	Afdichting scheidende lagen en overige delen boorgat	99
12.10	Waarnemingsfilters	102
12.11	Onderwaterpompsysteem	103
12.12	Putkop	105
12.13	Putkelder/putkopbehuizing	108
12.14	Elektrische installatie, meet- en regelapparatuur	109
13	Dimensionering terreinleidingen en vacuümpompsystemen	111
13.1	Terreinleiding	111
13.2	Collectieve vacuümpompsysteem met hevelonderbreker	112
14	Ontwerp monitoringsysteem	115
14.1	Doelen monitoringsysteem	115
14.2	Kwantiteitsmeetnet	116
14.3	Kwaliteitsmeetnet	118
15	Ontwerp waarnemingsputten en zoutwachters	119
15.1	Eisen	119
15.2	Keuze van het type waarnemingsput	119
15.3	Dimensionering en materiaalkeuze	124
15.4	Zoutwachters	128
16	Effecten winning	130
16.2	Hydrologische effecten (verlaging grondwaterstanden)	131
16.3	Verblijftijd (Grondwaterbeschermingszones & hydrologische response curve)	131
16.4	Verzilting, verplaatsen zoet-zout grensvlak	132
16.5	Ontwikkeling ruwwaterkwaliteit	132
16.6	Ecologische effecten	133

16.7	Droogteschade	133
16.8	Zettingen	133
17	Beoordeling haalbaarheid winning	135
17.1	Kosten	135
17.2	Vergunningen	137
17.3	Technische afwegingscriteria	137
17.4	Waardering geselecteerde criteria	139
17.5	Risico-analyse en mitigerende maatregelen	139
17.6	Afweging	139
18	Ontwerpdokument	140
19	Literatuur	141
	Bijlage I Richtlijnen	148
	Bijlage II In deze praktijkcode genoemde normen	151
	Bijlage III In deze praktijkcode genoemde beoordelingsrichtlijnen en protocollen	152

5 Ontwerpproces

5.1 Waarom een gestructureerd ontwerpproces?

Een puttenveld is een complexe installatie. Een weloverwogen ontwerp vereist veel gegevens en omvat verschillende werkzaamheden. Om het ontwerpproces te structureren zijn in deze praktijkcode daarom verschillende ontwerpfasen onderscheiden. In dit hoofdstuk is per ontwerpfase aangegeven welke onderdelen van het ontwerp aan bod komen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het opstarten van een nieuwe winning (zie § 5.2), het 'wijzigen' van een bestaande winning en de 'vervanging' van winputten (zie § 5.3). De onderdelen worden in de navolgende hoofdstukken in meer detail toegelicht. In § 5.4 tot en met § 5.7 is op hoofdlijnen aangegeven waar verder rekening mee moet worden gehouden tijdens het ontwerpproces: omgevingsmanagement, grondverwerving, afstemming met andere bedrijfsonderdelen, rolverdeling en planning. Deze aspecten worden niet verder uitgewerkt, omdat ze buiten de scope van deze praktijkcode vallen, (zie PCD 13-1 [121]).

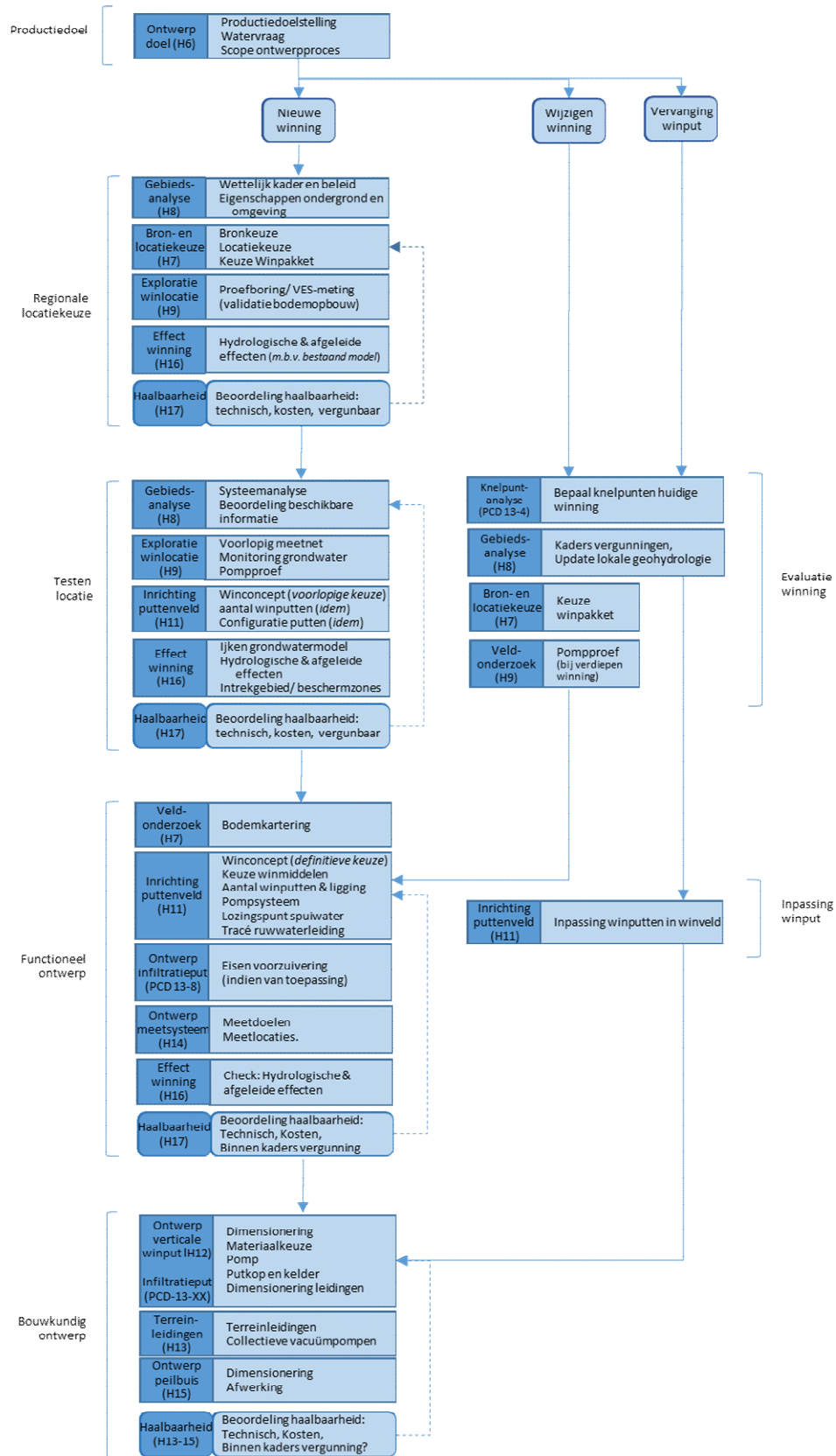
Het werken volgens een gestructureerd ontwerpproces met een duidelijke fasering van onderdelen kent een aantal voordelen:

- Voorkomen dat er essentiële activiteiten worden overgeslagen;
- Vooraf inzicht krijgen in de afhankelijkheden van activiteiten, zodat duidelijk is in welke volgorde en op welk moment bepaalde activiteiten definitief moeten zijn afgerond;
- Zorg dragen dat verschillende onderdelen van de installatie op elkaar zijn afgestemd;
- Door schriftelijke verslaglegging van de gemaakte keuzes is achteraf traceerbaar wat de motivatie was voor het ontwerp en kan verantwoording worden afgelegd.

5.2 Nieuw puttenveld: onderdelen en fasering

De verschillende fasen die tijdens het ontwerp van een nieuwe winning worden doorlopen, staan in Figuur 5-1. Na vaststellen van de gewenste productiecapaciteit wordt gestart met het identificeren van een kansrijke locatie binnen een bepaalde regio. Vervolgens wordt met een pompproef getest of deze locatie geschikt is. Hierna volgen het functionele ontwerp en bouwkundig ontwerp. Het resulterende ontwerp omvat de volgende onderdelen:

- Productiedoelstelling;
- Bron- en locatiekeuze;
- Gebiedsbeschrijving: geohydrologische opbouw, waterkwaliteit, et cetera;
- Exploratie van de winning: proefboring, pompproef;
- Ontwerp van het puttenveld: type putten, waar komen de putten, terreinleidingen etc. te liggen?;
- Ontwerp van het meetsysteem: wat meten, waarom en hoe?;
- Ontwerp van de winmiddelen: winput, waarnemingsput, infiltratiemiddelen;
- Effecten van de winning: intrekgebied, effect grondwaterstanden in omgeving;
- Evaluatie van de haalbaarheid: kosten, technisch en qua vergunningen.



Figuur 5-1 Fasering van het ontwerpproces.

Per fase wordt een aantal onderdelen doorlopen. Ze worden vaak niet in één keer volledig uitgewerkt, maar via een gefaseerde aanpak waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. Dit heeft als voordeel dat snel duidelijk wordt welke opties haalbaar zijn, zodat niet onnodig veel tijd wordt gespendeerd aan niet-haalbare opties. Bovendien is het ontwerpproces iteratief: bij het in meer detail ontwerpen kunnen knelpunten aan het oppervlak komen die aanpassingen vragen bij een eerder onderdeel. Dat is bijvoorbeeld het geval als een individuele put niet de aanvankelijk beoogde capaciteit kan leveren, waardoor aanpassing van het aantal putten op het gehele puttenveld nodig is.

De ontwerpfasen worden hierna toegelicht.

5.2.1 Regionale locatiekeuze

Bij het kiezen van een nieuwe winlocatie wordt eerst een overzicht gemaakt van de bestaande regionale grondwatermodellen en direct beschikbare informatie over de regionale opbouw van de bodem (kD- en c-waarden), landgebruik en objecten die gevoelig zijn voor verlaging van de grondwaterstanden, zoals natuurgebieden.

Ook wordt een kaart gemaakt waarop is aangegeven welke gebieden beleidsmatig al dan niet in aanmerking komen op basis van de vigerende omgevingsvisies. Het heeft de voorkeur om te zoeken binnen gebieden die zijn aangewezen als Aanvullende strategische drinkwatervoorraad (ASV) en door gebieden met verontreinigingen à priori uit te sluiten.

Vervolgens wordt beoordeeld welke potentiële locatie het meest geschikt is om de gewenste productiecapaciteit te behalen. Hierbij wordt wel gewerkt met een 'wandelende drinkwaterproductielocatie' (zie Intermezzo 5-1). Bij deze vergelijking kunnen ook bestaande winlocaties worden meegenomen. Op basis daarvan wordt een kansrijke locatie gekozen.

Vaak wordt in deze fase nog een verkenningsboring uitgevoerd of waterkwaliteitsbeoordeling uitgevoerd op de beoogde locatie. Dit wordt gedaan om snel inzicht te krijgen in de potenties van een locatie, voordat er veel geld en tijd wordt gespendeerd aan een pompproef (zie volgende fase).

Aan het eind van deze fase vindt een evaluatie plaats of de locatie technisch haalbaar is. De nadruk ligt hierbij op de beschermbaarheid van de winning en omgevingseffecten.

In de praktijk kan het proces ook andersom lopen, waarbij drinkwaterwinningen worden gealloceerd in gebieden waar andere belangen het minste last van de winning hebben. De hydrologische geschiktheid speelt dan een ondergeschikte rol. Ook in deze situatie is vooronderzoek nodig voor ontwerp van put en zuivering.

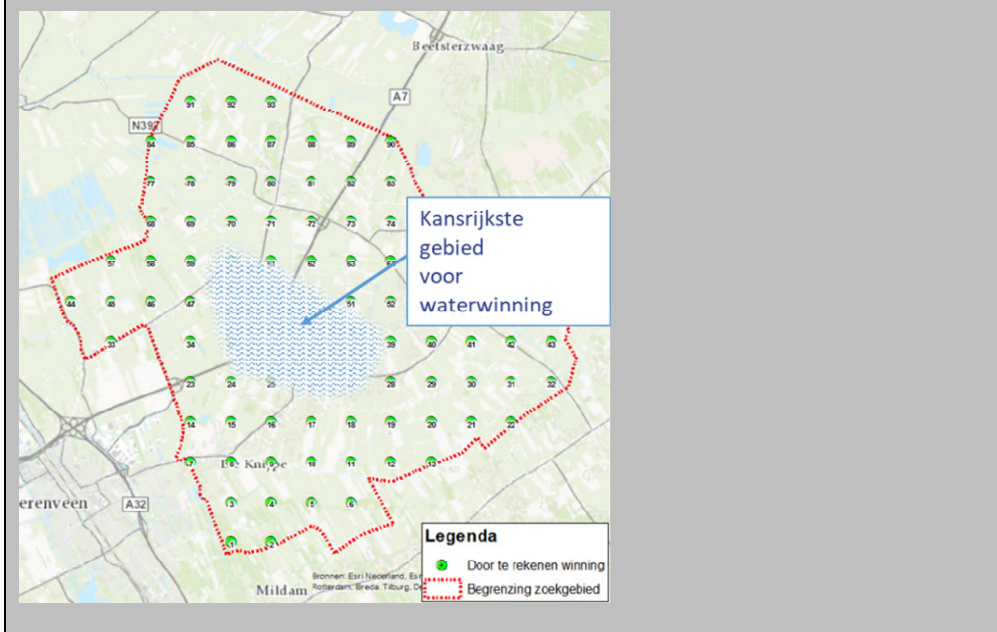
Intermezzo 5-1 Praktijkvoorbeeld nieuwe winlocatie via 'wandelende drinkwaterproductielocatie'

In 2018 heeft Vitens in het kader van een MER-procedure de optimale locatie gezocht voor een nieuwe winning in Friesland. Hierbij is eerst een prognose gemaakt van de waterbehoefte en is een zoekgebied vastgesteld door het uitsluiten van ongeschikte gebieden (natuur, stedelijk gebied, zout water).

Vervolgens zijn binnen dit zoekgebied 93 potentiële locaties die in een gelijkmatig raster verspreid over het gebied liggen, doorgerekend met een bestaand grondwatermodel. Per locatie is beoordeeld wat de effecten zijn op verschillende aspecten:

- Grondwaterstandsveranderingen: minimalisatie hydrologische effecten (omgeving, landbouw, natuur);
- Verziltingsrisico's;
- Functiescheiding in verband met grondwaterbescherming: stedelijk gebied / IBF / gaswinning.

Uitkomst van de studie was dat de het bosperceel van SBB in Luxwoude het meest geschikt was voor de winning van drinkwater. Het op deze wijze vergelijken van potentiële winlocaties in een groter gebied wordt ook wel de 'wandelende drinkwaterproductielocatie methode' genoemd.



5.2.2 Toetsen geschiktheid nieuwe locatie

Is er eenmaal een potentiële locatie geselecteerd, dan dient te worden vastgesteld of de ondergrond daadwerkelijk geschikt is voor de winning van water voor de bereiding van drinkwater. Een van de belangrijkste criteria is dat het beoogde watervoerend pakket voldoende doorlaatvermogen heeft (kD-waarde). Dit kan het beste worden bepaald met een pompproef. Daarnaast is nader onderzoek nodig om de gevolgen van de winning in beeld te brengen ter onderbouwing van de MER en vergunning.

De pompproef vergt aanleg van een eerste winput met daaromheen meerdere waarnemingsputten om de pompproef te monitoren. Deze waarnemingsputten vormen tegelijk een voorlopig meetnet om de waterkwaliteit en grondwaterdynamiek in beeld te

brengen vóór en na afronding van de pompproef. Het voorlopige meetnet vormt vaak de basis voor het meetnet na realisatie van de winning.

Na afronding van de pompproef (duur: enkele dagen tot weken) en daarnaast enkele jaren monitoren van de waarnemingsputten worden de bestaande hydrologische modellen gecontroleerd en waar nodig beter geijkt. Hiermee kan een betrouwbaarder berekening worden uitgevoerd van de hydrologische effecten van de winning en een voorspelling gemaakt van de ruwwaterkwaliteit. Vaak is hierbij al een globale opzet van de winning en locatie van de putten bepaald (zie hydrologische ontwerp).

Als de locatie niet geschikt blijkt te zijn, wordt doorgegaan met de zoektocht naar een alternatieve locatie in de regio.

5.2.3 Functioneel ontwerp

Blijkt een locatie te voldoen, dan wordt een functioneel ontwerp uitgewerkt. Dit resulteert in een aanduiding van ligging en inrichting van de winputten en de leidingen. Hierbij worden vaak nog gedetailleerde hydrologische berekeningen uitgevoerd wanneer dit nodig is om de processen rondom de winput goed in beeld te krijgen (bijvoorbeeld verschuivingen van het zoet-zout grensvlak). De aansturing van pompen kan vervolgens hierop worden afgestemd.

5.2.4 Bouwkundig ontwerp

De laatste fase van het ontwerp is het bouwkundig ontwerp. Hier worden de verschillende onderdelen van het puttenveld (winputten, waarnemingsputten, ruwwaterleiding, et cetera) in detail gedimensioneerd.

5.2.5 Bestek

Het bestek omvat onder meer de beschrijving van de aanleg van de put en de terreinleidingen, een veiligheids- en gezondheidsplan en administratieve en wettelijke bepalingen. De activiteiten die in deze fase plaatsvinden, vallen buiten het ontwerpproces van een puttenveld en worden beschreven in praktijkcode PCD 13-3 (op te stellen in 2020).

De filterstelling en diameter van het omstortingsgrind worden tijdens het uitvoeren van de boring nog gecontroleerd en indien nodig bijgesteld op basis van het boorprofiel. Het omstortingsgrind wordt vaak al bij de start van de boring aangevoerd op basis van de verwachte bodemopbouw.

5.3 Wijziging bestaande winning

Bij wijziging en vervanging van een bestaande winning wordt eerst de bestaande winning geëvalueerd. Vaak is de wijziging of vervanging van winputten al ingegeven door bepaalde knelpunten, maar het vervangen van een winput is een goed moment om na te gaan of nog meer problemen spelen of mogelijk in de toekomst gaan spelen. De werkwijze voor het analyseren van knelpunten van bestaande winningen hoort onderdeel te zijn van de monitoring & evaluatie cyclus en komt aan bod in praktijkcode PCD 13-4 (op te stellen in 2021).

Bij vervanging van winputten geldt een verkorte procedure voor het inpassen van winputten, omdat de productievoorwaarden en effecten vaak niet significant wijzigen. Het onderscheid tussen het wijzigen van een winning en vervangen van winputten is gedefinieerd in § 6.3.

5.4 Omgevingsmanagement

Parallel met het ontwerpproces lopen procedures voor de milieueffectrapportage, aanvraag van vergunningen (zie PCD 13-1 [121]), afstemming met andere stakeholders en grondverwerving (zie Figuur 5-2).

Het drinkwaterbedrijf dient bij het opstellen van structuurvisies en aanwijzen van strategische drinkwatervoorraden alert te zijn dat voldoende grondwater wordt gereserveerd om te voldoen aan de (potentiële) toekomstige watervraag. Bij voorkeur op win-technisch gunstige locaties.

De provincies eisen dat drinkwaterbedrijven die op zoek gaan naar nieuwe wingebieden al bij de start van het proces een stakeholderanalyse uitvoeren. Dit vormt input voor de plan-MER (zie PCD 13-1 [121]). Is er een voorlopige locatie in beeld, dan dient het drinkwaterbedrijf vervolgens een stuk grond verwerven voor de exploratiemetingen.

De stakeholderanalyse en MER moeten worden herhaald op lokale schaal, zodra een winlocatie voorlopig is geselecteerd. Bij een wijziging van de winning is het ook belangrijk om belanghebbenden tijdig in beeld te brengen als er een reële kans bestaat dat de effecten van de winning op de omgeving gaan veranderen.

Is de winlocatie definitief gekozen, dan moet er aanvullend grond worden verworven voor de winputten (en zuivering, transportleidingen en andere infrastructuur). Is de winvergunning eenmaal afgegeven, dan is het zaak om het ontwerp regelmatig te toetsen aan de vergunningsvoorwaarden.

Om het proces te begeleiden, wordt er vaak een stuurgroep en belangengroep gevormd. Eerst gebeurt dat op regionale schaal (bij zoektocht naar winlocatie) en vervolgens op lokale schaal voor de omgeving van de winning.

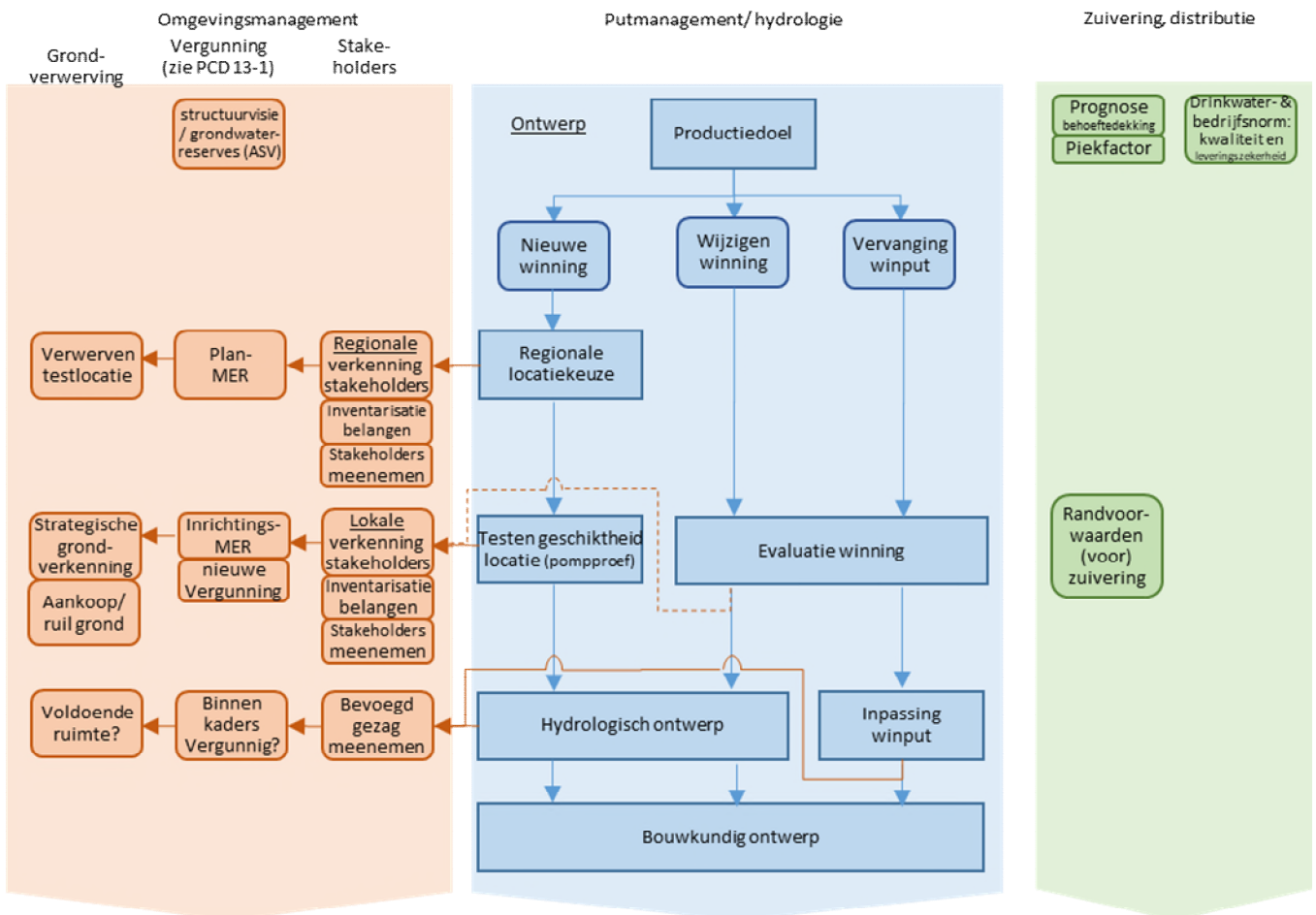
Het onderdeel omgevingsmanagement wordt in deze praktijkcode verder niet behandeld.

5.5 Afstemming met andere bedrijfsonderdelen

Het productiedoel van een winning wordt in eerste instantie bepaald door prognose van de gemiddelde en piekwatervraag. Meestal is het leidingnet zodanig ingericht dat er meerdere winlocaties zijn van waaruit een extra watervraag kan worden geleverd. Daarom wordt vaak eerst een studie verricht wat de mogelijke bestaande winlocaties zijn om extra water te leveren en een eerste inschatting gemaakt welke locaties potentie hebben om meer te leveren. Vervolgens moet worden uitgezocht of daadwerkelijk meer water kan worden gewonnen en wat dit betekent voor de zuivering. Bij tekorten of overschotten kan ook worden gekeken naar mogelijkheden om water besparen of meer af te zetten.

Bij waterkwaliteitsproblemen zijn er vaak meerdere oplossingen mogelijk. Zo kan de winning worden verdiept of verplaatst, of kan de zuivering worden aangepast. Vaak worden meerdere varianten uitgewerkt en onderling vergeleken in een business case.

Aanpassing van een winning verloopt dus meestal als een iteratief proces met de zuivering en distributie. Het is belangrijk om de projectorganisatie hierop in te richten.



Figuur 5-2 Relatie geohydrologisch ontwerp met omgevingsmanagement en andere bedrijfsonderdelen.

5.6 Rolverdeling, ontwerpbudget, et cetera

Tot slot dienen afspraken te worden gemaakt wie verantwoordelijk is voor welk onderdeel van het ontwerp en de afstemming met andere partijen (externe stakeholders, andere bedrijfsonderdelen voor zuivering en distributie). Dergelijke algemene projectmatige aspecten worden niet behandeld in dit document.

5.7 Doorlooptijd

De doorlooptijd tussen het oorspronkelijke idee en de daadwerkelijke oplevering van een nieuw puttenveld kan 10 tot 15 jaar bedragen. Deze lange doorlooptijd wordt vooral veroorzaakt door de MER en vergunningprocedures die veel tijd vragen. Voor het vervangen van een winput staat een periode van ongeveer 6 tot 12 maanden. Dit hangt af van het feit of er een aanbestedingsprocedure moet worden doorlopen of dat er een raamcontract is en of de nieuwe put op voldoende afstand binnen de vigerende grenzen van het waterwingebied ligt. Het wijzigen van een winning is afhankelijk van de situatie. Het duurt zeker enkele jaren als de wijziging zo ingrijpend is dat er ook een MER en nieuwe vergunning nodig zijn (zie PCD 13-1 [121]).

6 Ontwerpdoelen

De eerste stap bij het vooronderzoek is de nadere omschrijving van de benodigde capaciteit (doelstelling) en een inschatting of hierin kan worden voorzien door wijziging van een bestaand of een nieuw puttenveld.

6.1 Productiedoelstelling

Richtlijn 1 Leg de planning (opleverdatum), productiedoelstellingen (waterbehoefte) en op te lossen problemen in het productieproces vast aan het begin van het ontwerpproces. Bij nieuwe winningen dient ook het zoekgebied te worden vastgelegd.

De eerste stap bij het ontwerp van een puttenveld is een omschrijving van de productiedoelstellingen. Dit betreft vaak de volgende aspecten:

- Het waterwingebied (of zoekgebied voor de winputten bij een nieuwe winning);
- De gemiddelde en maximale watervraag op dagbasis (zie §6.2);
- Eisen ten aanzien van leveringszekerheid;
- Toelaatbare bandbreedte van de ruwwaterkwaliteit voor de huidige zuivering (of toekomstige zuivering wanneer renovatie is voorzien of wordt overwogen);
- Planning: wanneer moeten de putten zijn opgeleverd?

Het komt ook regelmatig voor dat de inrichting van een puttenveld wordt aangepast vanwege (geanticiperde) problemen in het productieproces, bijvoorbeeld:

- Upconing van zout grondwater;
- verdroging van omliggende natuur;
- Bodemdaling (droogvallen veenlagen)
- (dreigende) verslechtering van de ruwwaterkwaliteit of toestroming van verontreinigingen;
- Wanneer putten sneller vervangen moeten worden dan hun verwachte technische levensduur (meestal 30 jaar), bijvoorbeeld door bovenmatige putverstopping.

Het mitigeren van deze problemen behoort ook tot de ontwerpdoelen.

6.2 Watervraag

Richtlijn 2 Baseer het capaciteitsontwerp van het puttenveld op een gedegen studie naar de watervraagontwikkeling en optredende piekvragen, zowel nu als in de toekomst. Bepaal ook of er extra capaciteit nodig is voor calamiteiten.

De watervraag van een drinkwaterproductielocatie vormt een essentiële input voor het ontwerp. Basisuitgangspunt bij het ontwerp van het puttenveld is de beoogde jaarlijks duurzaam winbare volumestroom en de hieruit volgende gemiddelde onttrekking op dagbasis. De dagelijkse watervraag is normaliter echter niet constant over het jaar, maar zal seizoensafhankelijke trends en pieken vertonen. Om deze pieken op te kunnen vangen, wordt voor het ontwerp van winning en zuivering de gemiddelde dagelijkse watervraag vermenigvuldigd met een zogenaamde piekfactor.

De piekfactor correspondeert met een extreme watervraag met een herhalingsstijd van 10 jaar gedeeld door de gemiddelde dagelijkse watervraag. Ze is meestal van de orde grootte 1,5, maar verschilt sterk per winning afhankelijk van de piekwatervraag in het voorzieningsgebied. Voor het afleiden van de piekfactor wordt gebruik gemaakt van een representatieve waterverbruiksreeks voor het afzetgebied. Uit deze reeks worden de meest extreme verbruikspieken geselecteerd, waarop vervolgens een geschikte kansverdelingsfunctie wordt gefit. Met behulp van de gevonden functie is het vervolgens mogelijk om de extreme watervraag corresponderend met een herhalingsstijd van 10 jaar te berekenen [22]. Deze watervraag (ook wel 'maximum dag' genoemd) wordt als maatgevend aangehouden.

Omdat puttenvelden voor een langdurige periode worden aangelegd, is het verstandig om bij aanleg al rekening te houden met autonome ontwikkelingen. Demografische ontwikkelingen uiten zich vooral in een toe- of afname van het gemiddelde verbruik. Andere factoren zoals klimaatverandering en het frequenter voorkomen van hitte en droogte hebben juist effect op het piekverbruik. Voor het bepalen van de effecten van zowel de demografische ontwikkelingen als de effecten van veranderende weerpatronen zijn methodieken en software tools beschikbaar [7, 132].

De maximale watervraag is ook afhankelijk van de bedrijfsvoering en de beschikbare voorraad ruw- en reinwater. Zijn de voorraad en de toelaatbare fluctuatie van het waterpeil in de reservoirs groot, dan kan hiermee soms een deel van de piekvraag worden opgevangen afhankelijk van de duur. Het berekenen van de piekfactor vergt dus afstemming met bedrijfsonderdelen voor zuivering en distributie.

Het bepalen van de watervraag is onderdeel van het bedrijfsbrede leveringsplan en moet voldoen aan de wettelijke eisen voor leveringszekerheid [96] en de bedrijfseigen uitgangspunten voor bedrijfszekerheid.

Tot slot zijn er winningen die extra capaciteit hebben (bovenop de maximale watervraag) vanwege een back-up functie bij calamiteiten op andere winningen en als nooddrinkwatervoorziening.

6.3 Scope ontwerpproces

Richtlijn 3 Maak een inschatting of (i) de ontwerpdoelen een nieuwe winlocatie, (ii) een wijziging van de inrichting van de winlocatie (winconcept, type en ligging putten, capaciteit) of (iii) uitsluitend vervanging van winputten vereisen.

Er sprake van een 'wijziging' van een bestaand puttenveld wanneer de productievoorwaarden (debieten, randvoorwaarden zuivering) en effecten van de winning op de omgeving (intrekgebied, grondwaterverlagingspatroon) mogelijk significant wijzigen. Dit is het geval bij:

- Verhoging van het windebiet buiten de vergunde hoeveelheid;
- Reallocatie van een deel van het puttenveld naar percelen buiten het waterwingebied of naar een andere watervoerende laag;
- Verplaatsing van het zwaartepunt van de winning door reallocatie van winputten. Soms is het zwaartepunt vermeld in de winvergunning, anders moet een inschatting worden gemaakt of de verplaatsing gevolgen zou kunnen hebben voor de omgeving (verlaging grondwaterstanden) en ruwwaterkwaliteit (wijziging intrekgebied).
- Verlaten (of reduceren) van een winning in verband met mogelijke overlast voor andere gebruikers door verhoging van de grondwaterstand;

Verplaatsen van putten in gebieden waar de minimale verblijftijd in verband met microbiologische veiligheid niet wordt gehaald (met name in kunstmatige infiltratiegebieden kan door verplaatsing verblijftijdsverdeling wijzigen);

- Renovatie of uitbreiding van een puttenveld binnen de bestaande vergunningscapaciteit;
Vaak is dit een goed moment om het functioneren van het puttenveld te evalueren en eventuele alternatieven te beschouwen.
- Bij problemen in het productieproces (zie PCD 13-4, op te stellen in 2021).

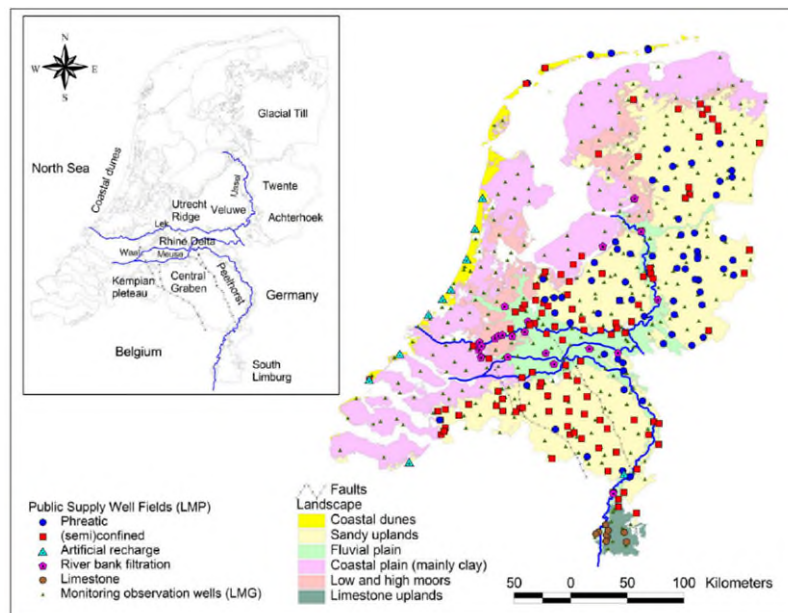
Vaak wordt bij aanvang ook vastgelegd welk type oplossingsrichtingen zullen worden beschouwd, om de kosten en doorlooptijd van het ontwerptraject te beheersen.

7 Bron- en locatiekeuze winning

7.1 Bronkeuze

Voor de bereiding van drinkwater wordt vaak onderscheid gemaakt tussen het winnen van grondwater, oppervlaktewater, oeverinfiltratiewater en kunstmatig infiltratiewater. Daarnaast zijn er tussenvormen waar water wordt aangevoerd (wateraanvoerplan).

De meeste drinkwaterbedrijven hanteren een strategisch beleid voor een bepaald type bron. Bedrijven zullen hier alleen van afwijken wanneer de bestaande voorraad niet toereikend is voor de watervraag (bijvoorbeeld door verzilting grondwater) of wanneer grote investeringen nodig zijn om water aan te voeren en zuiveren (bijvoorbeeld door tekort of verontreiniging van oppervlaktewater). De voor- en nadelen van de verschillende bronnen worden hierna toegelicht.



Figuur 7-1 Overzicht van drinkwaterbronnen uit grondwater, oeverfiltraat en duininfiltraat in Nederland [68].

7.1.1 Oorspronkelijk zoet grondwater

Voor de productie van drinkwater bestaat traditioneel een voorkeur voor oorspronkelijk grondwater. Grondwater is van nature meer beschermd tegen verontreinigingen vanaf maaiveld en heeft een stabielere samenstelling en temperatuur dan oppervlaktewater. Nadeel is dat er vaak maar een beperkte hoeveelheid duurzaam winbaar is. Ook kunnen er van nature stoffen voorkomen die lastig zijn te verwijderen in de zuivering (bijvoorbeeld arseen, fluor).

De drinkwaterbedrijven maken onderscheid tussen freatische winningen, spanningswater en winningen in kalksteen. Freatische winningen zijn meestal enkele tientallen meters diep. Dit heeft als voordeel dat de putten goedkoop zijn om aan te leggen (besparing op boorkosten), er minder risico is op upconing van diep (zout) grondwater en er geen dure zuiveringsstap

nodig is voor redoxcomponenten (Fe, CH₄, H₂S, NH₄) die vaak wel aanwezig zijn in spanningswater.

Voordelen van spanningswater zijn dat het grondwater vaak beter beschermd is tegen antropogene verontreinigingen vanaf maaiveld en microbiologische contaminatie. Bovendien is de waterkwaliteit doorgaans heel constant. Daarnaast treedt er in de omgeving minder grondwaterstandsverlaging op dan bij freatische winningen.

- In kalksteen kunnen scheuren optreden, waardoor een deel van het grondwater snel richting een winning kan stromen. Er treedt weinig afbraak op van verontreinigingen vanaf maaiveld. De eigenschappen van kalksteenwinningen zijn vaak afhankelijk van de bovenliggende lagen. De kans op verontreiniging met pathogene micro-organismen is het grootst wanneer de kalksteen (bijna) dagzoomt aan maaiveld of in direct contact staat met oppervlaktewater of riolering [16, 105].

7.1.2 Oeverinfiltratie

Bij oeverinfiltratie wordt water gewonnen dat recent is geïnfiltreerd uit een oppervlaktewaterlichaam. De infiltratie wordt geïnduceerd door de onttrekking van grondwater met een serie winputten, die in de regel in een lijn staan parallel aan het oppervlaktewaterlichaam. Vaak wordt een mengsel gewonnen van oevergrondwater en het oorspronkelijke grondwater afkomstig van de landzijde van de winning. Verontreinigingen in het oppervlaktewater worden afgevlakt. Gedurende de bodempassage treedt verandering op van de waterkwaliteit. Vaak vindt afbraak plaats van organische microverontreinigingen en wordt het water anoxischer waardoor parameters als Fe, CH₄, H₂S en NH₄ toenemen. Ook treedt verwijdering op van micro-organismen waardoor de microbiologische veiligheid toeneemt [27, 94].

7.1.3 Kunstmatige infiltratie

Kunstmatige infiltratie omvat het actief aanvoeren en in de bodem laten infiltreren van water om dit vervolgens terug te winnen. Inbrengen in de bodem vindt plaats met infiltratiepanden of diepinfiltratieputten. Naast bodempassage vindt vaak ook voorraadvorming in de bodem plaats. Redenen om kunstmatige infiltratie toe te passen zijn:

- Verwijdering van verontreinigingen in oppervlaktewater (nutriënten, organische microverontreinigingen, pathogene micro-organismen) door bodempassage;
- Voorraadvorming in gebieden met onvoldoende duurzaam winbare grondwatervoorraden om perioden met watertekorten of slechte oppervlaktewaterkwaliteit te overbruggen; Dit aspect wordt steeds belangrijker met het oog op klimaatverandering.
- Tegengaan van verzilting of verdroging, doordat de watervraag groter is dan de duurzaam winbare hoeveelheid oorspronkelijk grondwater;
- Natuurontwikkeling (in de infiltratiepanden, door vernatting of vermeden droogteschade van wingebieden);
- Afvlakking van waterkwaliteit en temperatuur.

In Nederland wordt door de duinwaterbedrijven voorgezuiverd oppervlaktewater geïnfiltreerd, maar in principe zijn ook andere bronnen bruikbaar.

Kunstmatige infiltratie is vaak duurder dan winning van oorspronkelijk grondwater, omdat aanvullende infrastructuur nodig is voor aanvoer en voorzuiveren van het water. Een ander aandachtspunt is het ruimtebeslag. Het kunstmatig injecteren via diepinfiltratieputten kost veel minder ruimte dan infiltratiepanden.

7.1.4 Oorspronkelijk brak grondwater (BW)

Brakwater kan een zeer geschikte bron van zoetwater zijn door de afwezigheid van antropogene verontreinigingen. Bij juiste plaatsing kan de winning verzilting van stroomafwaarts gelegen gebieden tegengegaan, zoals bijvoorbeeld grondwater landinwaarts en/of oppervlaktewater in polders [101].

Traditioneel gezien wordt brak grondwater in aride gebieden zoals het Midden Oosten gewonnen en ontzilt voor drinkwaterproductie. De techniek is afgelopen decennia in Nederland frequent toegepast in de gietwatervoorziening voor de glastuinbouw. Afgelopen jaren is in Nederland de interesse in deze bron als bron voor drinkwater toegenomen, door beschikbaarheid van kosteneffectieve ontziltingstechnieken. Drinkwaterbedrijf Dunea gaat in 2020 een pilot starten met winning van brak grondwater [72].

Voor meer informatie over de potenties van brakwaterwinning wordt verwezen naar bijvoorbeeld [101].

7.2 Regionale locatiekeuze

Richtlijn 4 Maak bij uitbreiding van de productiecapaciteit een onderbouwde voorselectie van bestaande locaties als input voor de MER en/of vergunningsaanvraag. Mocht uitbreiding van bestaande locaties niet haalbaar zijn, beschouw dan nieuwe locaties.

Wanneer een drinkwaterbedrijf meer drinkwater wil produceren (of vergunningsruimte nodig heeft), dan kunnen bestaande winningen worden uitgebreid of op zoek worden gegaan naar een nieuwe productielocatie. Vaak wordt begonnen met het vergelijken van uitbreidingsmogelijkheden op bestaande productielocaties via scenario-analyse (zie voorbeeld Intermezzo 7-1). Wanneer hier geen geschikte locaties uit komen, wordt een nieuwe locatie gezocht via de wandelende drinkwaterproductielocatie-methode (zie voorbeeld Intermezzo 5-1).

De volgende afwegingscriteria kunnen een rol spelen bij de selectie van locaties:

- **Zwaartepunt verbruik en beschikbare infrastructuur**
Om de kosten (opvoerhoogte pompen en lengte distributieleidingen) te minimaliseren, is het verstandig zo dicht mogelijk bij de toekomstige verbruikers te zitten en/of aan te sluiten op een bestaande hoofdleiding.
- **Capaciteit van het hydrologische systeem**
Zo moet de aquifer een voldoende hoge permeabiliteit en dikte (kD-waarde) hebben om het benodigde debiet te leveren en moet deze voldoende worden aangevuld (dus niet nabij ondoorlatende randen).
- **Risico op putverstopping**
Aquifers die gevoelig zijn voor verstopping worden bij voorkeur vermeden. Fijnzandige pakketten met veel opgeloste deeltjes zijn gevoelig voor verstopping met deeltjes. In aquifers met een overgang van oxisch naar anoxisch water kan chemische verstopping optreden door ijzernerslagen in de winput. Houd er ook rekening mee dat het vaak een kwestie van tijd is, voordat de diepte van redox-overgangen verschuift binnen een watervoerend pakket na start van de winning. Het diep of juist ondiep ontwerpen van putten biedt slechts tijdelijk soelaas.
- **Verwachte duurzame beschikbaarheid van kwalitatief geschikt grondwater**
Het grondwater moet duurzaam tegen redelijke kosten tot drinkwater kunnen worden gezuiverd.

- **Verwervingsmogelijkheden**
Er moet een redelijke kans zijn dat de benodigde grond in eigendom kan worden verkregen of dat er zakelijk recht op kan worden gevestigd.
- **Beschermbaarheid**
Het puttenveld moet redelijk goed kunnen worden beschermd tegen antropogene invloeden (invloeden door menselijke activiteiten).
- **Negatieve beïnvloeding van andere gebruikers**
Een belangrijk aspect bij vergunningverlening is dat derden (landbouw, natuur, bebouwing) geen onredelijke schade mogen ondervinden of dat hiervoor moet worden gecompenseerd.
- **Negatieve beïnvloeding door andere gebruikers**
- **Kansen om productie van drinkwater te combineren met andere functies, zoals ontwikkeling van natuur of tegengaan van verzilting.**

Onderdeel van het proces is het maken van beleidskeuzes. Hiertoe dient een waardering plaats te vinden van de effecten: wat is belangrijk en welke effecten zijn acceptabel voor betrokken stakeholders zoals natuur, landbouw, gemeenten, waterschappen en provincies?

Intermezzo 7-1. Praktijkvoorbeeld optimalisatie productiehoeveelheid bestaande drinkwaterproductielocaties (Brabant Water) [130]

In 2008 is door KWR en Brabant Water een beslissingsondersteunende module ontwikkeld om op regionale schaal te verkennen op welke locatie het beste water kan worden geproduceerd. De hierna gepresenteerde werkwijze is heel gedetailleerd. Dit heeft als voordeel dat er veel verschillende aspecten worden meegenomen. Het nadeel is dat het opzetten van de module redelijk veel tijd kost.

Ontwerpdoel (zie hoofdstuk 6)

Het doel van de optimalisatie was om de productiecapaciteit in lijn te brengen met de geprognostiseerde watervraag. De scope was hierbij beperkt tot het optimaliseren van de debietverdeling tussen bestaande winlocaties in de Regio Zuid.

Regionale gebiedsanalyse (zie hoofdstuk 8)

De optimalisatie is uitgevoerd met bestaande informatie (kaarten) over de watervraag, ligging van het leidingnet, natuurgebieden, doorlaatvermogen en dikte van de aquifers en scheidende lagen.

Formuleren van afwegingscriteria (zie § 7.2)

De volgende criteria zijn toegepast om scenario's te beoordelen:

- Productiekosten (€/m³);
- Reinwaterkwaliteit (index) – een score gebaseerd op fysische en chemische parameters;
- Transport (leidingdruk) – een score door berekende druk te vergelijken met wettelijke voorgeschreven waarde;
- Vegetatieschade (index) – een score berekend door te bepalen in hoeverre de grondwaterstanden in natuurgebieden voldoen aan de randvoorwaarden voor de gewenste plantengemeenschappen;
- Reststoffen slib (kg/m³);
- Duurzaamheid (index).

Waardering van effecten

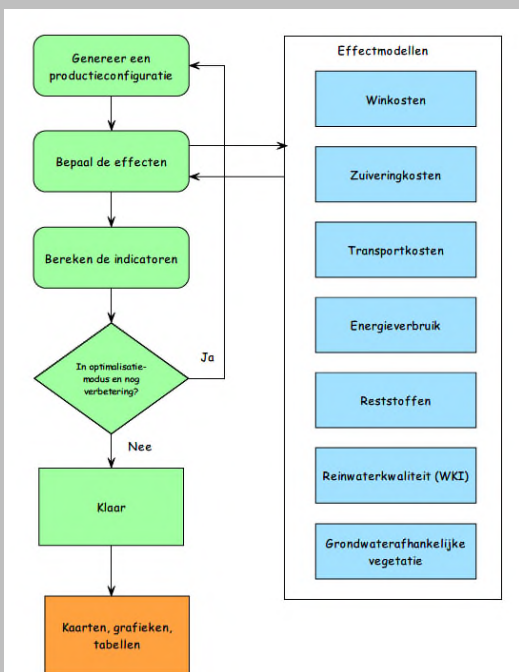
Het belang dat betrokken stakeholders aan de verschillende criteria toekennen, komt tot uiting in de wegingsfactoren.

Tabel 7-1. Gehanteerde wegingsfactoren.

	Optiwin set 1	Optiwin set 2
Productiekosten (€/m3)	0.25	0.25
Reinwaterkwaliteit (BS)	0.25	0.25
Transport(druk)	0	0.3
Vegetatieschade (i/m3)	0	0.5
Reststoffen slib (kg/m3)	0	0.5
Duurzaamheid (BS2)	0.5	0.5

Formuleren van effectmodellen

Om de scores voor alle locaties door te rekenen, zijn modellen geformuleerd. Er is een bedrijfseconomisch model gehanteerd dat was op kostenkentallen. Het leidingnetmodel was nodig voor het bepalen van de druk bij alternatieve debietverdeling over de winningen, Tot slot is met een stijghoogtemodel de verlaging van de grondwaterstanden berekend, gekoppeld aan een model dat afgeleide effecten op natuur bepaalde.



Figuur 7-2. Stroomdiagram voor optimalisatie van scenario's en effectmodellen.

Doorrekenen van scenario's

In dit project is een optimalisatiemodule ontwikkeld waarbij vele verschillende productieconfiguraties worden doorgerekend, aangestuurd door een genetisch algoritme dat helpt om de meest gunstige oplossing te vinden (pareto-efficiënt). Het stroomschema van de optimalisatie is weergegeven in onderstaande figuur.

Selectie van optimale locatie en wincapaciteit

Onderstaande tabel laat zien dat de uitkomsten afhankelijk zijn van de gekozen wegingsfactoren

Tabel 7-2. Optimale windebieten, afhankelijk van de gekozen wegingsfactoren.

Woningen	Optiwin set 1	Optiwin set 2
Budel	0.0	0.0
Eindhoven	23.4	20.1
Helmond	1.7	0.0
Lieshout	6.0	6.0
Luyksgestel	0.0	1.9
Oirschot	4.0	4.0
Someren	4.0	4.0
Son	8.0	8.0
Vessem	0.4	0.5
Vlierden	0.9	4.1
Welschap	5.0	5.0

N.B.: het rapport [129] geeft een voorbeeld hoe optimale locaties voor nieuwe winlocaties zijn te vinden.

7.3 Keuze watervoerende pakket

Richtlijn 5 Plaats putten bij voorkeur in een watervoerend pakket met hoge capaciteit (grove zandlagen), lage verstoppingspotentie door deeltjes (fijnzandige lagen) en ijzerhydroxiden (door menging van oxisch en anoxisch water), en zo min mogelijk kans op aantrekken van verontreinigingen vanaf maaiveld of upconing van diep grondwater.

Richtlijn 6 Controleer met een modelberekening of toestroming van water van een ongewenste kwaliteit een risico vormt bij de beoogde filterstelling en volumestroom.

Het winpakket (= watervoerend pakket waaruit wordt onttrokken) wordt vaak in samenhang met de winlocatie afgewogen. Bij verontreiniging van een winning kan bijvoorbeeld een vergelijking worden gemaakt tussen het verdiepen van een winning, het verplaatsen naar een andere locatie of het overschakelen op een ander zuiveringsconcept.

8 Gebiedsanalyse

Het ontwerp van de winning vergt inzicht in de eigenschappen van de ondergrond en omliggende objecten die door de winning kunnen worden beïnvloed. Bij wijziging van een bestaand puttenveld is vaak al voldoende informatie aanwezig uit bestaande boorprofielen en monitoring. Bij een nieuw puttenveld dient meestal aanvullend geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch veldonderzoek plaats te vinden.

8.1 Wettelijk kader, beleid en planvorming

Richtlijn 7 Voldoe aan de wettelijke eisen voor wat betreft zorg-, meldings- en vergunningsplichten ten aanzien van het gebruik van de bodem, het grondwater en de vrijkomende grond en het grondwater = BRL 2101 Eis 2

De wettelijke eisen voor drinkwaterwinning zijn beschreven in (zie PCD 13-1 [121]). In specifieke gevallen zijn ook eisen in andere sectorale wetgeving relevant (Spoorwegwet, Waterstaatswet, Flora- en Faunawet, et cetera). Deze wetgeving wordt bij het ontwerp betrokken als op basis van de ligging van de locatie redelijkerwijs kan worden verwacht dat deze wetgeving van toepassing is.

Daarnaast is het voor nieuwe winningen en uitbreiden (wijzigen) van bestaande winningen belangrijk om te weten of er van overheidswege planzones zijn die juist wel of niet geschikt zijn voor waterwinning ten behoeve van de bereiding van drinkwater, zoals Aanvullende strategische drinkwatervoorraden (ASV).

Specifiek beleid of specifieke eisen voor de locatie zijn onder andere:

Ruimtelijke planvorming en zonerings	Nieuwe winning	Wijziging winning	Vervanging winput
• Waterwingebied	X	X	X
• Overige drinkwaterbeschermingszones (grondwaterbeschermzones, boringsvrije zones, intrekgebieden)	X	X	
• Beschermingsgebieden op basis van de keur, zones langs rijkswegen of spoorwegen die een belemmeringen stellen aan de aanleg van infrastructuur.	X	X	X
• Aanvullende strategische drinkwatervoorraden	X		
• Structuurvisies ondergrond (bijvoorbeeld de landelijke visie STRONG), omgevingsvisie	X		
• Masterplan voor Bodemenergie, Regionale strategie voor bodemenergie	X		

8.2 Karakterisering ondergrond en omgeving

Richtlijn 8 Zorg voor inzicht in de te verwachten bodemopbouw, doorlatendheid, stijghoogte, grondwaterkwaliteit en (mogelijke) aanwezigheid van bodemverontreinigingen = BRL 2101 Eis 1.

BRL 2101 verplicht om voorafgaand aan iedere boring inzicht te verschaffen in factoren die de kwaliteit van de boring beïnvloeden: bodemverontreinigingen, kabels en leidingen, bodemopbouw en grondwaterstanden. Ook dient te worden voldaan aan wettelijke eisen ten aanzien van de vrijkomende grond en grondwater.

Voordat kan worden begonnen met het bouwkundige ontwerp dient er een beeld te zijn van de lokale situatie om te bepalen of de bouwlocatie toegankelijk is en/of er rekening moet worden gehouden met speciale eisen bij de bouw van bijvoorbeeld de putkelder en ruwwaterleiding (bijvoorbeeld zettingen in veengebieden).

Voor het ontwerp van de put zelf is inzicht nodig in de bodemopbouw, de hydrologische eigenschappen van de ondergrond en de te verwachten kwaliteit van het onttrokken grondwater.

De karakterisering van de omgeving is belangrijk bij uitbreiding of verplaatsing van de winning in verband met onderzoek naar effecten van de winning op andere belangen.

Lokale situatie	Nieuwe winning	Wijziging winning	Vervanging winput
• Maaiveldhoogte (op de putlocatie)	X	X	X
• eigendomssituatie in (beoogd) waterwingebied	X	X	X
• Zakelijke rechten met betrekking tot het plaatsen van winputten en terreinleidingen in het (beoogd) waterwingebied	X	X	X
• grondgebruik (intrekgebied ²)	X	X	
• aanwezige bodemverontreiniging (op de putlocatie)	X	X	X
• bereikbaarheid met boorstellingen (putlocatie) en graafmachines (terreinleidingen)	X	X	X
• Aanwezigheid van kabels en leidingen	X	X	X
Omgeving			
• onttrekkingen, open en gesloten bodemenergiesystemen in de omgeving (3 x spreidingslengte ²)	X	X	
• (mobiele) bodemverontreiniging in de omgeving (intrekgebied ²)	X	X	
• zettingsgevoelige objecten (3 x spreidingslengte ²)	X	X	
• grondwaterafhankelijke natuur (3 x spreidingslengte ²)	X	X	
• Landbouw (3 x spreidingslengte)			
• nabijheid van waterkerende constructies (3 x spreidingslengte ²)	X	X	
Geohydrologie			
• bodemopbouw en hydraulische eigenschappen	X	X	X
• lithologie (korrelverdeling en dergelijke)	X	X	X
• freatische grondwaterstanden en stijghoogten in de watervoerende lagen	X	X	X
• maximale stijghoogte (i.v.m. opbarstrisico)	X	X	X
• grondwaterstroming en -richting in de watervoerende lagen	X	X ³	
• oppervlaktewatersysteem	X	X ³	
• grondwaterkwaliteit	X	X	X
• oppervlaktewaterkwaliteit	X	X ³	
• lithochemie (relevant bij kunstmatige infiltratie en waterkwaliteitsproblemen)	X	X ³	
• lozingsmogelijkheden vrijkomend grondwater (zowel tijdens aanleg als beheer)	X	X	X
Modelinstrumentaria			
• Grondwatermodel	X	X	
• Ecohydrologisch- en landbouwschademodel	X	X	

² De genoemde reikwijdtes voor inventarisatie van gegevens gelden als richtlijn, de benodigde reikwijdte is afhankelijk van de situatie. Het werkelijke invloedsgebied zal moeten blijken uit geohydrologische modelberekeningen. Voor N2000 wordt vaak een 2 cm verlagingscontour aangehouden.

³ Deze gegevens zijn alleen noodzakelijk indien waterkwaliteitsproblemen aanleiding geven tot herinrichting van het puttenveld

8.2.1 Bodemopbouw en hydraulische eigenschappen

De bodemopbouw en hydraulische eigenschappen van de bodem vormen een belangrijk onderdeel van het vooronderzoek. De volgende informatie is noodzakelijk:

- De geologische gelaagdheid, het diepte-interval van geologische formaties en bodemtype
De formatie biedt indicatief inzicht in het afzettingsmilieu, de ruimtelijke heterogeniteit van de opbouw en dikte, kans op aantreffen van anomalieën en anisotropie. Dergelijke informatie kan vaak in literatuur worden opgezocht of worden verkregen door gericht te zoeken in vergelijkbare formaties op een andere locatie.
- De aanwezigheid en de dikte van slecht doorlatende lagen
Dit is van belang voor de bescherming van de winning tegen mogelijke antropogene invloeden en het optreden van verzilting, en voor de verbreiding van effecten van de winning aan maaiveld.
- De diepte van de bovenkant en de dikte van de watervoerende pakketten
Deze gegevens zijn bepalend voor de diepte van de winputten en de lengte van het filter.
- De textuur van de bodem
De textuur (korrelgrootteverdeling en pakking) geeft samen met de dikte een indicatie van de permeabiliteit van de watervoerende pakketten en de verticale weerstanden van de slecht doorlatende lagen. Daarnaast worden deze gegevens gebruikt bij het dimensioneren van het putfilter en de omstorting.
- Het doorlaatvermogen (kD-waarde) van de watervoerende pakketten
Dit gegeven is nodig om te kunnen vaststellen of de gewenste hoeveelheid grondwater duurzaam kan worden onttrokken.
- De verticale weerstand (c-waarde) van de slecht doorlatende lagen;
- Heterogeniteit van de ondergrond
In het geval de bodem zeer heterogeen is, is de kans groot dat de werkelijke bodemopbouw afwijkt van de a priori inschatting. Er dient dan in het ontwerp rekening te worden gehouden met het feit dat tijdens de aanleg alsnog extra putten nodig zijn om de gewenste capaciteit te realiseren.
- De verspreiding van spleten in de ondergrond
Bij aanleg van winningen in vaste gesteenten is inzicht wenselijk in de verspreiding van spleten in de ondergrond. In gesteenten met een beperkt aandeel spleten is de kans groot dat de put net naast een spleet wordt geboord en een lage of geen opbrengst heeft.
- De maximale grondwaterstand
Ook dient de maximale grondwaterstand te worden afgeleid. Ga hierbij uit van een extreme waarde (herhalingstijd 100 jaar) in verband met de kans op opdrijven van putkelders. Extreme stijghoogten kunnen worden afgeleid uit een grondwatermodel of uit extreme-waarde analyse op stijghoogtemetingen. Houd ook rekening met piekpeilen in nabijgelegen oppervlaktewater en verhoging van stijghoogten door diepinfiltratieputten (indien aanwezig).

8.2.2 Hydrochemie

Het hydrochemisch onderzoek dient inzicht te verschaffen in de volgende gegevens:

- Diepte en dikte zoet-zoutgrensvlak
De ligging van het zoet-zoutgrensvlak is nodig om risico's van verzilting goed in te schatten.
- Watertypen
De kwaliteit van het grondwater is bepalend voor de toe te passen

zuiveringsinstallatie. Bij het dimensioneren van de zuivering moet ook rekening worden gehouden met de te verwachten toekomstige verandering van de waterkwaliteit. Bovendien kan het aantrekken van verschillende watertypen (bijvoorbeeld aerob grondwater en anaerob grondwater) putverstopping tot gevolg hebben.

- Waterkwaliteit in de omgeving
Om de toekomstige waterkwaliteit te voorspellen, is informatie wenselijk over de waterkwaliteit in de omgeving van de winning.
- Aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen en antropogene invloeden
Deze kunnen (op termijn) tot waterkwaliteitsproblemen leiden. Om dit te voorkomen kunnen er beperkingen gelden voor de plaats en het debiet van de winputten en de (minimale) diepte van het filter.
- Reactiviteit van de bodem
Vooral van belang zijn de aanwezigheid van pyriet (in verband met het vrijkomen van sporenmetalen bij uitspoeling van nitraat of oxidatie van de ondergrond) en Glauconiet (inverband met verwerking arseen).
- Eventueel de concentratie deeltjes of MFI (Membrane Fouling Index) van het onttrokken grondwater in bestaande winputten in verband met het bepalen van de putverstoppingspotentie van het grondwater en als referentie voor het beoordelen hoe goed nieuwe putten zijn aangelegd/ontwikkeld.

8.2.3 lithochemie

Bij systemen voor kunstmatige infiltratie is het daarnaast wenselijk om de sedimentologische en lithochemische gesteldheid van de bodem te bepalen. Via het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) zijn karteringen beschikbaar van reactieve bodembestanddelen die reageren met oxiderende stoffen zoals zuurstof en nitraat. Het gaat dan in het bijzonder om organisch materiaal, pyriet en sideriet. Tezamen bepalen deze componenten de potentiële reductiecapaciteit van sedimenten [33]. De potentiële reductiecapaciteit zegt niet alles over het optreden van redoxreacties bij doorstroming van een anoxische aquifer met (sub)oxisch grondwater. De processen die dan optreden, zijn namelijk afhankelijk van de reactiviteit van de verschillende bodembestanddelen. Daarnaast zijn deze karteringen gebaseerd op gemiddelde waarden per lithoklasse per formatie. De onzekerheid is dus vrij groot. Daarom zijn altijd aanvullende metingen van de reactiviteit van de bodem nodig voor realisatie op een nieuwe locatie of watervoerende pakket [114].

8.2.4 Gegevensbronnen

De eigenschappen van de ondergrond worden in eerste instantie gebaseerd op bestaande gegevens. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van onder andere de volgende bronnen:

- Drinkwaterbedrijf;
- Gemeente of omgevingsdienst;
- Provincie;
- Waterbeheerder;
- DINoloket.nl (REGIS, Geotop, boorprofielen, sonderingen, waterkwaliteit, geoelektrische metingen, BRO);
- Nlog.nl (seismische profielen, diepe boorprofielen ten behoeve van mijnbouw exploratie);
- NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium);
- WKOtool.nl;
- Bodemloket.nl;
- Digitaal stelsel Omgevingswet;
- PDOK;

- Bodematlas (per provincie beschikbaar);
- Grondwatertools;
- Landelijk Grondwater Register (LGR).

In Hoofdstuk 9 wordt ingegaan op de mogelijkheden om aanvullende gegevens te verwerven via veldmetingen.

8.3 Systeemanalyse

De systeemanalyse omvat een synthese van de beschikbare gegevens tot een (conceptueel) model van de winning. Hierbij worden in ieder geval de volgende aspecten in beeld gebracht):

- Hydrologie:
 - Intrekgebied en hydrologische responscurves;
 - Beoordeling van de bruikbaarheid van bestaande hydrologische modelinstrumentaria;
 - Invloed huidige onttrekkingen op kwetsbare natuur en zettingen/gebouwschade;
- Chemie:
 - De samenhang tussen opbouw van de ondergrond en stroming en samenstelling van grondwater;
 - Chemische reacties en uitloging om de huidige waterkwaliteitspatronen te verklaren;
 - Verwachtte autonome ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit;
 - Beoordeling van de kwetsbaarheid van de winning;
 - Invloed putschakeling op gezamenlijke ruwwaterkwaliteit (bij bestaande winning).

Enkele methoden voor het uitvoeren van berekeningen ten behoeve van de synthese zijn beschreven in hoofdstuk **Error! Reference source not found.** Voor voorbeelden, zie [107, 124].

8.4 Beoordeling beschikbare informatie

Richtlijn 9 Beoordeel of er voldoende inzicht is in de opbouw van de ondergrond om de put te dimensioneren en risico's in beeld te brengen.

Onderdeel van de gebiedsanalyse is een beoordeling of er voldoende gedetailleerde informatie beschikbaar is over de opbouw en doorlatendheid van de ondergrond en over de waterkwaliteit. In het geval er informatie ontbreekt, zijn aanvullende veldmetingen noodzakelijk (zie hoofdstuk 9).

Het drinkwaterbedrijf dient tevens te beoordelen of de bestaande informatie voldoende betrouwbaar is, bijvoorbeeld door verschillende informatiebronnen met elkaar te vergelijken (zie voorbeeld in

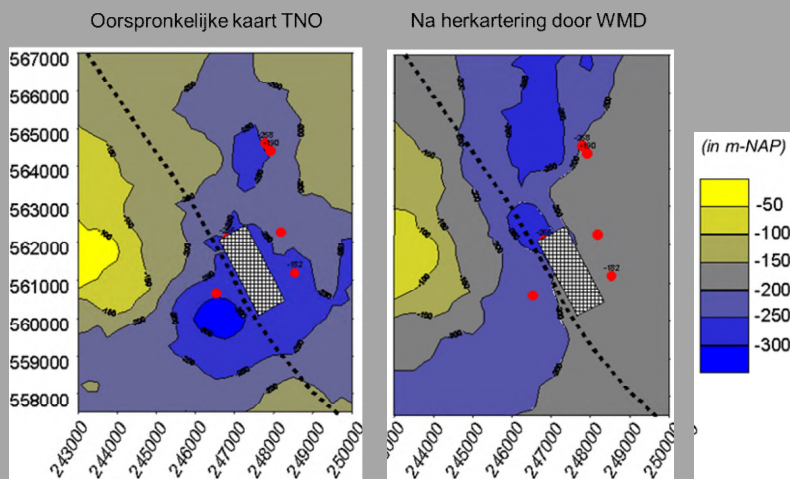
Intermezzo 8-1. Praktijkvoorbeeld beoordeling betrouwbaarheid beschikbare informatie

De bodemopbouw was een belangrijke basis voor de selectie van een nieuwe winlocatie in het noordoosten van Drenthe. Uit een vergelijking van boorprofielen met bestaande kaarten van de diepte van de geohydrologische basis (links) bleek dat de kaarten onvoldoende betrouwbaar waren. WMD heeft daarop besloten de geohydrologische basis opnieuw te karteren door herinterpretatie van bestaande VES-metingen. Dit resulteerde in een fors minder diepe geohydrologische basis ter plaatse van de beoogde winning (rechts) [116], persoonlijke mededeling Van der Moot, WMD].

) en te beoordelen op interne consistentie. Anders is het wenselijk om bestaande modellen beter te ijken of historische metingen te herinterpreteren.

Intermezzo 8-1. Praktijkvoorbeeld beoordeling betrouwbaarheid beschikbare informatie

De bodemopbouw was een belangrijke basis voor de selectie van een nieuwe winlocatie in het noordoosten van Drenthe. Uit een vergelijking van boorprofielen met bestaande kaarten van de diepte van de geohydrologische basis (links) bleek dat de kaarten onvoldoende betrouwbaar waren. WMD heeft daarop besloten de geohydrologische basis opnieuw te karteren door herinterpretatie van bestaande VES-metingen. Dit resulteerde in een fors minder diepe geohydrologische basis ter plaatse van de beoogde winning (rechts) [116], persoonlijke mededeling Van der Moot, WMD].



Figuur. Diepte geohydrologische basis volgens TNO (links) en na herinterpretatie door WMD (rechts).

9 Exploratie van winlocaties

Richtlijn 10 Voer nader veldonderzoek uit als blijkt dat informatie ontbreekt voor het ontwerp of in verband met het beheersen van risico's.

In § 8.4 is beoordeeld welke informatie nog ontbreekt en moet worden ingewonnen met aanvullend veldonderzoek, ook wel aangeduid als exploratie van de winning. Hiertoe dient eerst een onderzoeksplan te worden opgesteld met de volgende onderdelen:

- De doelstelling van het onderzoek;
- Een onderzoeksmethode die aansluit bij het gestelde doel;
- Een werkprogramma, inclusief aandachtspunten waarmee rekening moet worden gehouden bij de uitvoering van het onderzoek.

Vaak is bij bestaande puttenvelden al voldoende kennis voorhanden. Bij nieuwe winningen zijn altijd aanvullende veldmetingen noodzakelijk. De nadruk van dit hoofdstuk ligt daarom bij het omschrijven van onderzoeksdoelen en selectie van bijbehorende methoden die in de praktijk worden toegepast bij nieuwe winningen. De wijze waarop deze metingen worden uitgevoerd, wordt toegelicht in hoofdstuk 10.

9.1 Geohydrologisch en hydrochemisch vooronderzoek: potenties winning

9.1.1 Doelstelling

Bij nieuwe winningen ontbreekt vaak gedetailleerde informatie over de grondwaterdynamiek en -referentiesituatie, textuur (korreldiameter), doorlaatvermogen van het watervoerend pakket, weerstand van scheidende lagen en grondwaterwaterkwaliteit.

9.1.2 Onderzoeksmethode

Bij nieuwe puttenvelden worden meerdere verkenningsboringen uitgevoerd en boormonsterprofielen (zie § 10.3) opgesteld om de geologische gelaagdheid en bodemopbouw in beeld te brengen. Tijdens het boren kunnen steekmonsters worden genomen van het bodemmateriaal voor het bepalen van de korrelgrootteverdeling (zie § 10.5.1) en kunnen boorgatmetingen (zie § 10.6) worden uitgevoerd om de overgangen van bodemlagen nauwkeuriger in beeld te brengen. De boringen kunnen vervolgens worden omgebouwd tot een onttrekkingsput voor een pompproef of waarnemingsput voor het monitoren van de pompproef.

In de praktijk wordt het geohydrologisch vooronderzoek meestal iteratief uitgevoerd, met eerst één verkenningsboring (omgebouwd tot waarnemings- of winput) en een waterkwaliteitsbeoordeling. De informatie uit deze eerste metingen wordt vervolgens gebruikt om de juiste locatie te bepalen voor de overige boringen/waarnemingsputten. In § 10.8.3 staan handreikingen hoe de waarnemingsfilters te positioneren ten behoeve van de pompproef.

Daarnaast kunnen stroomafwaarts nog extra ondiepe waarnemingsfilters worden aangelegd in verband met bedreigingen in de omgeving (bijvoorbeeld industrie en/of agrarisch landgebruik) om een beeld te krijgen van de te verwachten toekomstige waterkwaliteit (= globale steekproef). De waarnemingsputten worden voor en na afloop van de pompproef

gedurende enkele jaren gemonitord om inzicht te krijgen in de dynamiek van de stijghoogten. Ze dienen als nulmeting voor het monitoren van effecten op omliggend landgebruik na start van de winning.

De winput ten behoeve van de pompproef en de waarnemingsputten worden idealiter zodanig gepositioneerd dat ze ook bruikbaar zijn als voorlopig meetnet na ingebruikneming van de winning. Het meetnet kan nog wel worden verfijnd bij realisatie van de winning, bijvoorbeeld omdat de provincie op een bepaalde plek een waarnemingsput wil (vergunningsplichtige put) of om verontreinigingen op grotere afstand van de winning te monitoren.

Tabel 9-1 Overzicht van beschikbare methoden voor het in beeld brengen van de lithologie.

Methoden	Verticale resolutie	Info over lithologie	Info over doorlatendheid	Relatieve kosten per meetpunt	Hoofdstuk
Pompproef	n.v.t.	n.v.t.	Nauwkeurig		10.8
Boorprofiel	Decimeter tot meter *	nauwkeurig	Beperkt	Hoog	10.3
Sondering	Decimeter	Beperkt	Beperkt	Gemiddeld	10.2
Geofysische boorgatmeting	Decimeter	Beperkt **	Geen	Hoog	10.6
Geofysische metingen aan maaiveld	Tien meter	Beperkt **	Geen	Laag	10.1
Airborne geofysica	Tien meter	Beperkt **	Geen	Laag	10.1.3

(*) afhankelijk van boormethode (**) referentie metingen nodig in boorgaten voor interpretatie om onderscheid te maken tussen kleilagen en zoet-zout-overgangen.

9.2 Lithochemisch vooronderzoek: reactiviteit bodem

9.2.1 Doelstelling

Bij nieuwe systemen voor ondergrondse ontijzing en kunstmatige infiltratie is het belangrijk om te voorspellen hoe de waterkwaliteit zal veranderen gedurende bodempassage. Dit vergt inzicht in de reactiviteit van de bodem.

Voor grondwateronttrekkingsputten is onderzoek naar de reactiviteit uitsluitend noodzakelijk bij waterkwaliteitsproblemen die samenhangen met reactiviteit van de bodem (bijvoorbeeld de uitloging van sporenmetalen door oxidatie van pyriet bij nitraatuitspoeling of verlaging van de grondwaterstand) of de aanwezigheid van lagen die arseen bevatten (bijvoorbeeld glauconietlagen in Brabant en aan de onderkant van de Holocene deklaag in delen van West-Nederland). De geochemische reactiviteit is ook bruikbaar voor het inschatten van de afbraak/verspreidingsrisico van organische microverontreinigingen.

9.2.2 Onderzoeksmethoden

Op dit moment is er in Nederland een groot tekort aan ruimtelijke geochemische gegevens en bovenal de werkelijke geochemische bufferpotentie. Dit maakt het lastig om een voorspelling te doen met betrekking tot de vraag hoe de waterkwaliteit van waterwinningen zal veranderen door verontreinigingen aan maaiveld. Daarom wordt drinkwaterbedrijven geadviseerd om op alle winningen met waterkwaliteitsproblemen bij ten minste drie nieuwe putten het potentiële en werkelijke geochemische buffervermogen te bepalen in steekmonsters verspreid over de gehele diepte (orde grootte drie monsters per formatie). (zie § 10.5.4).

9.3 Ligging zoet-zout-grensvlak: verziltingsrisico

9.3.1 Doelstelling

Een bijzondere vorm van hydrochemisch onderzoek is het bepalen van de ligging van het zoet-zout-grensvlak.

9.3.2 Onderzoeksmethode

De selectie van de onderzoeksmethode hangt af van de gewenste resolutie en kosten. Vaak wordt gekozen voor een combinatie van metingen in boorgaten en lijn- dan wel vlakdekkende metingen vanaf maaiveld om een betrouwbaar vlakdekkend beeld te genereren van het zoet-zout grensvlak. Tabel 9-2 geeft een overzicht van enkele beschikbare technieken. Deze worden hierna toegelicht.

EGV/chloride-metingen in waarnemingsfilters zijn een directe manier om het zoet-zout-grensvlak te bepalen. Hierbij geeft de EGV een beter beeld van de totale dichtheid dan alleen chloride. De resolutie vormt vaak een beperking: vaak zit er orde grootte 10 m afstand tussen waarnemingsfilters en bovendien trekken filters mengwater over een grotere dieptetraject vanwege hun lengte van een of meer meters. Minifilters hebben een veel korter diepte-interval (enkele decimeters) en er passen er veel meer in een boorgat.

Met boorgatmetingen kan het zoet-zout-grensvlak met een veel kleinere resolutie van enkele decimeters worden vastgelegd. Een SN/ LN log kan uitsluitend direct na aanleg plaatvinden. Het voordeel van EM-metingen is dat de meting later ook kan worden herhaald.

Theoretisch gezien is het ook mogelijk om de ligging van scherpe zoet-zout-grensvlakken af te leiden uit de niveaoverschillen tussen waarnemingsputten in de boven- en onderkant van een watervoerend pakket, gebruik makend van het verschil in dichtheid. In de praktijk blijken er vaak teveel versturende factoren (zoals laterale variatie en temperatuurvariaties) te zijn om een nauwkeurige schatting te maken.

Tabel 9-2 Overzicht van beschikbare methoden voor de exploratie en monitoring van zoet-zout-grensvlakken [69]. De kolom 'hoofdstuk' geeft aan waar meer informatie te vinden is over de vraag hoe de techniek toe te passen.

Methode	Verticale resolutie	Direct/ indirect	Relatieve kosten	Meetlocatie	Opmerkingen	Hoofdstuk/§
EGV/Cl in waarnemingsfilter	Tientallen meter	Direct	Gemiddeld	Boorgat		15
EGV/Cl in minifilter	Meter	Direct	Gemiddeld	Boorgat	Invloed van aanleg / boorvloeistof	15
SN/LN log	Decimeters	Indirect	Hoog	Boorgat	Idem	10.6
EM log	Decimeters	Indirect	Hoog	Boorgat	Idem	10.6
EGV kabel	Meters	Indirect	Laag	Boorgat	idem	10.7.1
Stijghoogte	meters	Indirect	Laag	Boorgat	Onbetrouwbaar	
VES	Tientallen meters	Indirect	Laag	Punten aan maaiveld	Onderscheid klei/ zout	10.1.2
Airborne geofysica	Tientallen meter	Indirect		Vlakdekkend	Valideren met metingen in boorgat	10.1.3

9.4 Milieukundig vooronderzoek: bodemverontreinigingen

Richtlijn 11 Voorkom verspreiding van aanwezige verontreinigingen als gevolg van het boren = BRL 2101 eis 6.

9.4.1 Doelstelling

Bij bodemverontreiniging gaat het om door de mens aan- of ingebrachte stoffen of materialen die van nature niet in de bodem voorkomen. Vaak zijn die verontreinigingen het gevolg van industriële activiteiten. Bodemverontreinigingen omvatten ook verontreinigingen van het grondwater door uitloging van deze stoffen naar grotere diepte (verontreinigingspluimen, zaklagen, drijfslagen). Het is belangrijk om deze in beeld te brengen voorafgaand aan boorwerkzaamheden of vergraven van de bodem.

9.4.1 Onderzoeksmethode

Vaak wordt begonnen met een bureaustudie om te bepalen of er in het verleden activiteiten hebben plaatsgevonden die duiden op mogelijke verontreiniging. Op basis hiervan wordt besloten of aanvullende veldmetingen nodig zijn. Meer info: <https://soilpedia.nl/>

Bodemkundig veldonderzoek moet worden uitgevoerd conform de BRL 2000 en bijbehorende protocollen [91].

Richtlijn 12 Voldoe aan de wettelijke eisen op het gebied van Arbeidsomstandigheden.= BRL 2101 eis 6.

De boorfirma dient op basis van het milieukundig vooronderzoek in een plan van aanpak vast te leggen welke persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) en meetapparatuur voor bodemgassen nodig zijn op de boorlocatie. In het plan dient ook te zijn vastgelegd wanneer en hoe deze te gebruiken.

9.5 Geotechnisch vooronderzoek: zettingsschade winmiddelen

9.5.1 Doelstelling

De putkelders, ruwwaterleidingen en andere infrastructuur mogen niet verzakken na aanleg. Daarom dient in gebieden met een klei- of veendeklaag een geotechnisch vooronderzoek plaats te vinden om het risico van zettingen te bepalen.

9.5.2 Onderzoeksmethode

Sonderingen

10 Methoden voor exploratie en monitoring van winlocaties

In dit hoofdstuk worden methoden beschreven voor veldmetingen die gebruikt kunnen worden tijdens de ontwerpfase (exploratie), aanleg (PCD 13-3, op te stellen in 2020) en gebruiksfase van winputten (PCD 13-4, op te stellen in 2021). De methoden zijn samengevoegd in één hoofdstuk om overlap tussen de verschillende delen te voorkomen.

De volgende methoden komen aan bod:

Type onderzoek	Methode	Doel	Paragraaf	Wanneer nuttig?		
				Ontwerp	Aanleg	Beheer
Geofysische metingen aan maaiveld	Seismiek	Bodemopbouw, breuken	10.1	+/-		
	Ground Penetrating Radar	Detectie van kabels en leidingen			+/-	
	Geo-elektrische oppervlaktemeting (VES)	Zoutgehalte, bodemopbouw, breuken	10.1.2	+/-		
	Airborne geofysica	Zoutgehalte, bodemopbouw (regionaal)	10.1.3	+/-		
Sondering		bodemopbouw, permeabiliteit, draagvermogen (zettingen)	10.2	+/-		
Boormonsterprofiel		bodemopbouw, permeabiliteit	10.3	+	+	
Boormonsterfoto		bodemopbouw, afzettingmilieu	10.4	+/-		
Boormonsteranalyse	Korrelgrootteverdeling	Korrelgrootteverdeling	10.5.1	+/-	+/-	
	doorlatendheidsproeven	Permeabiliteit	10.5.2	+/-		
	Lithochemische samenstelling	Geochemisch buffervermogen	10.5.3	+	+	
	Lithochemische schutproeven	Potentiële geochemische buffervermogen	10.5.4	+	+	
Geofysische boorgatmetingen		Zoutgehalte, bodemopbouw	10.6	+/-	+/-	+/-
	Downhole-EGV	Detectie lekstromen win- en waarnemingsput				
	Downhole-temperatuur	Herkomst grondwater Verticale stromingsrichting grondwater				
Permanente geofysische metingen en sensoren	Elektrodekabels (zoutwachters)	Zoutgehalte, Monitoren zoet-zoutgrensvlak	Error! eference source not found.			+/-
	EGV en temperatuursensor	Reistijd tot oppervlaktewater Herkomst grondwater				+/-
	DTS-kabel	Stromingsrichting Stroomsnelheid rondom put		+/-	+/-	+/-

Type onderzoek	Methode	Doel	Paragraaf	Wanneer nuttig?		
				Ontwerp	Aanleg	Beheer
Geohydrologisch veldonderzoek	stijghoogtemetingen	Dynamiek en stromingsrichting grondwater	10.8.1	+		+
	putproef	Permeabiliteit Beoordeling capaciteit winput	10.8.2		+	+
	pompproef	idem	10.8.3	+		
	filterflowmeting	Permeabiliteit Beoordeling capaciteit winput Identificeren spleten (gesteente)	10.8.4		+	+/-
	Filterflowmeting (rustsituatie)	Beoordeling integriteit winput	10.8.5	+/-		+/-
Hydrochemisch- en microbiologisch veldonderzoek	Waterkwaliteitsanalyse (steekmonsters)	Waterkwaliteit, zoutgehalte, Ouderdom, herkomst grondwater	10.8.6	+	+	+
	Waterkwaliteitsanalyse bij schoonpompen	Detectie lekstromen win- en waarnemingsput				+/-
	Waterkwaliteitssensoren	Reistijd tot oppervlaktewater Herkomst grondwater				+/-
	MFI	Verstoppingspotentie van infiltratiewater				+/-
	Isotopenonderzoek	Ouderdom, herkomst grondwater	10.8.8	+	+	+
Kunstmatige tracers	Zouten, isotopen, fluoriserende stoffen, kunstmatige zoetstoffen	Interactie met oppervlaktewater Detectie lekstromen winputten Bepalen verblijftijden (<1 jaar) en intrekgebieden				+/-
Inspectie van winmiddelen	Camera-inspectie	Status van winput				+/-
	Packertest	Detectie lekstromen win- en waarnemingsput				+/-

(+) = meting standaard uitvoeren; (+/-) = meting uitsluitend uitvoeren bij aanvullende vragen

10.1 Geofysische metingen aan maaiveld

10.1.1 Seismiek

Doel

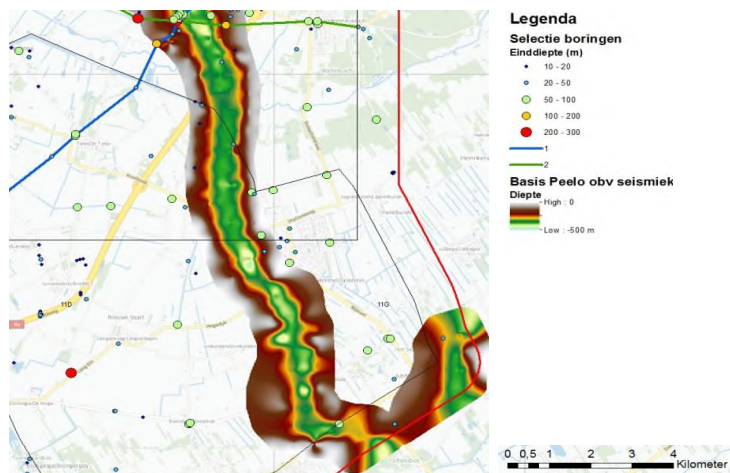
In beeld brengen van breuken en diepteligging van gesteentes tot enkele honderden meters diepte.

Eisen

Geen vastgelegde normen.

Werkwijze

Seismiek omvat het 'schieten' van kunstmatige geluidsgolven in de bodem. Resultaten worden verkregen door verschil in voortplantingssnelheden in verschillende gesteenten te meten. Interpretatie vergt wel enkele boringen in de omgeving als referentie van de voortplantingssnelheid in verschillende gesteenten [18].



Figuur 10-1 Voorbeeld van toepassing van seismiek voor het identificeren van potkleivoorkomens en -geulen in Fryslân tijdens de zoektocht naar een nieuwe winlocatie Luxwoude. Het identificeren van deze geulen in de potklei was noodzakelijk, omdat hier een grotere kans op verzilting is door het opkegelen van zout grondwater uit diepere watervoerende lagen [9, 23].

10.1.2 Geo-elektrische oppervlaktemetingen (VES)

Doel

Het maken van diepteprofielen van het zoutgehalte in combinatie met de lithologie (zand, klei, leem, veen, kalksteen). Identificeren van breuken.

Eisen

Geen vastgelegde normen.

Werkwijze

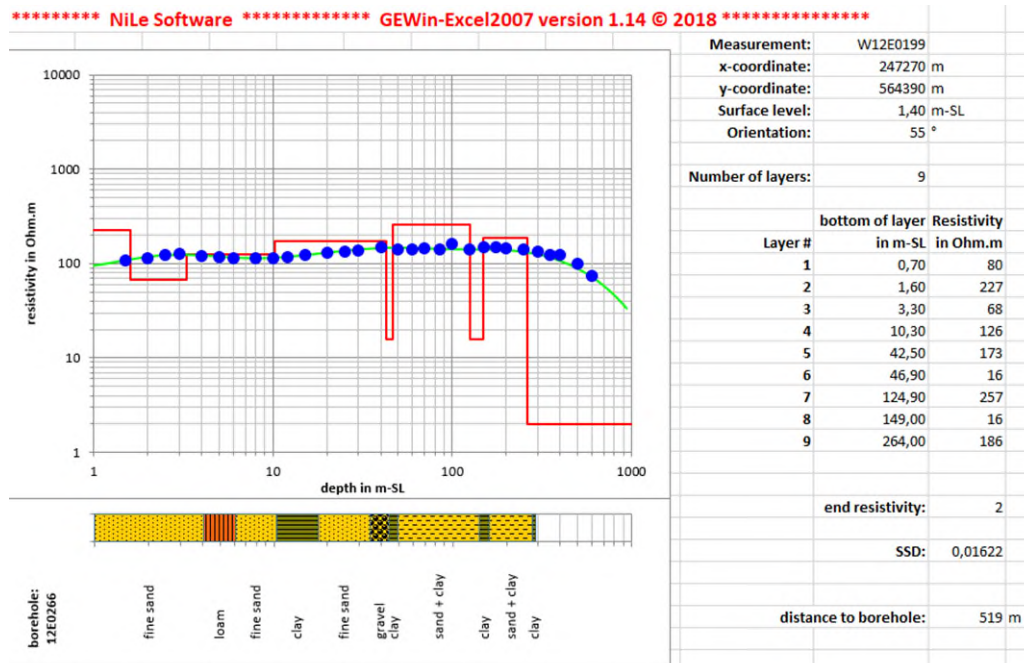
Het principe van geo-elektrische oppervlaktemetingen is eenvoudig. Tussen twee elektroden wordt een elektrische stroom door de grond gestuurd. Met twee meetelektroden wordt het spanningsverschil gemeten. Als de elektroden verder uit elkaar worden geplaatst, gaat de stroom dieper door de ondergrond. Iedere sedimentlaag en gesteente heeft zijn eigen elektrische eigenschappen. Zo geleiden klei- en veenlagen de elektrische stroom goed (lage specifieke formatieweerstanden) en zand- en grindlagen slecht (hoge specifieke formatieweerstanden). Ook de grondwaterkwaliteit heeft effect op de formatie-weerstand. Jong grondwater in infiltratiegebieden heeft nog weinig stoffen in zich kunnen oplossen en heeft dus een hoge specifieke weerstand. Daarentegen heeft relatief oud kwelwater een lage specifieke weerstand. Zout grondwater heeft een nog lagere weerstand [116].

De meetgegevens worden met computerprogramma's vertaald in een lagenmodel van de ondergrond. Het lagenmodel dat ontstaat uit een VES bestaat uit de diepten (d) en soortelijke elektrische weerstanden (R_s) van de onderscheiden lagen. De soortelijke elektrische weerstand geeft informatie over de lithologie (klei, zand en grind) van de laag en het zoutgehalte van het grondwater [17].

VES-metingen vinden bij voorkeur plaats combinatie met boorprofielen, omdat zoet-zout-overgangen en veranderingen in grondsoort lastig van elkaar zijn te onderscheiden.

Geo-elektrische metingen zijn veelal al verricht door TNO en worden gebruikt bij de vervaardiging van de regionale grondwaterkaarten en de landelijke hydrologische systeemanalyses. Bij oudere kaarten is het verstandig om de oorspronkelijke meetgegevens

opnieuw te interpreteren, aangezien er tegenwoordig betere software beschikbaar is. Dat geldt helemaal in het geval er meer aanvullende informatie is over de lithologische opbouw van de ondergrond om de interpretatie bij te sturen [116].



Figuur 10-2 Voorbeeld van interpretatie van een geo-elektrische metingen met GEWin, in vergelijking met een boorstaat (bron: Nico van der Moot, WMD).

10.1.3 Ligging zoet-zout grensvlak: Airborne geofysica

Doel

Bepalen van de ligging van zoet-zout-grensvlakken.

Eisen

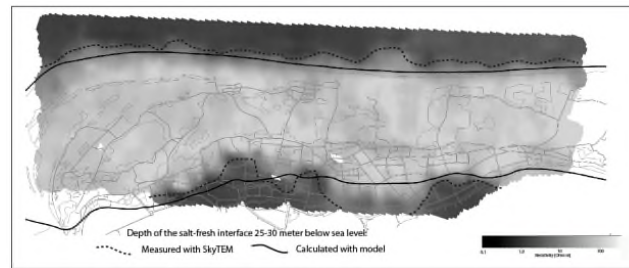
Geen vastgelegde normen.

Werkwijze

Geofysische technieken maken gebruik van wisselspanning met een specifieke frequentie (elektromagnetisch signaal), die door een zender via een zendspoel of antenne wordt opgewekt en waarop de ondergrond reageert met inductie. De mate waarin dit inductieve signaal verschilt van het primair opgewekte signaal is afhankelijk van de weerstandsopbouw in de bodem. Deze weerstand is op haar beurt afhankelijk van de grondsoort en waterkwaliteit (zoutgehalte).

Deze metingen kunnen vanuit de lucht worden uitgevoerd. Dit heeft als voordeel dat in korte tijd een groot gebied kan worden gekarteerd. Metingen in Nederland zijn uitgevoerd met het SkyTEM-systeem.

De interpretatie is rekenintensief. Daarnaast zijn voldoende boorstaten en waterkwaliteitsmetingen nodig, omdat zoet-zout-overgangen en veranderingen in grondsoort lastig van elkaar zijn te onderscheiden. Validatie is dus belangrijk. [54, 55].



Figuur 10-3 Voorbeeld van vlakdekkende zoutconcentratie (weerstand in Ohm) verkregen via Airborne geofysieka, in vergelijking tot berekeningen met een grondwatermodel van Texel [54].

10.2 Sonderingen

Doel

Sonderingen worden vooral uitgevoerd ten behoeve van een diepteprofiel van de draagkracht en lithologie van de ondergrond. De methode is ook bruikbaar voor het nemen van watermonsters en detectie van slecht doorlatende lagen.

Eisen

[NEN 5140:1996](#)

Deze norm is weliswaar sinds 2013 ingetrokken, maar wordt in de praktijk nog steeds toegepast.

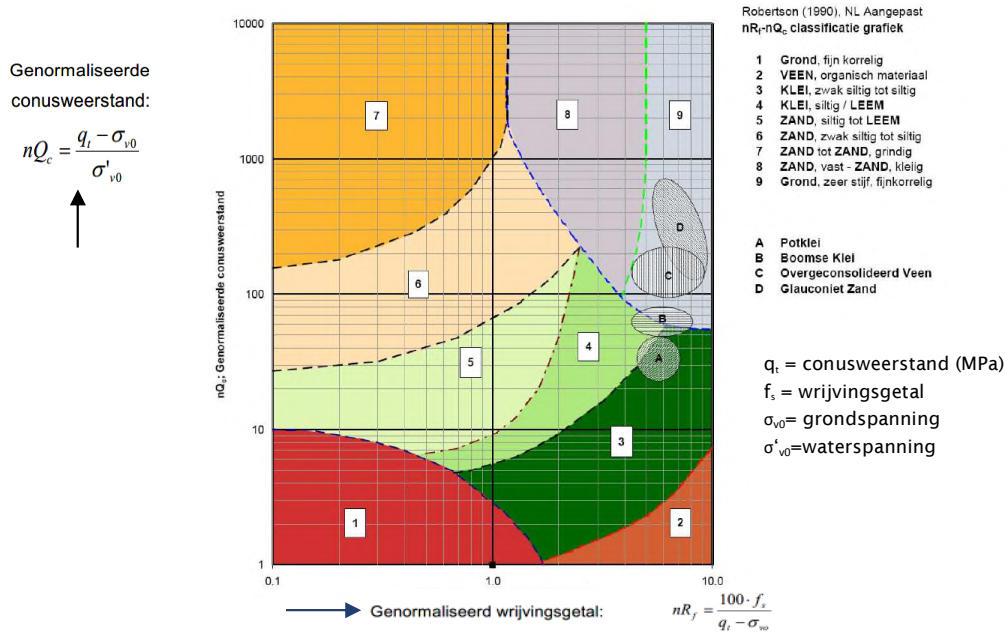
Werkwijze

Een sondering omvat het in de grond drukken van een staaf met kegelvormige punt (de sondeerconus) en daarbij de mechanische weerstand van de grond te meten (conusweerstand). Bij de meeste sonderingen wordt tevens de kleef gemeten. De combinatie van wrijvingsgetal (= verhouding conusweerstand en kleef) en conusweerstand kan worden gebruikt om een inschatting te maken van de lithologie: zand en vooral grind hebben een hoge conusweerstand, terwijl klei, leem en veen een lage conusweerstand hebben. Veen onderscheidt zich daarbij door een lager wrijvingsgetal [85].

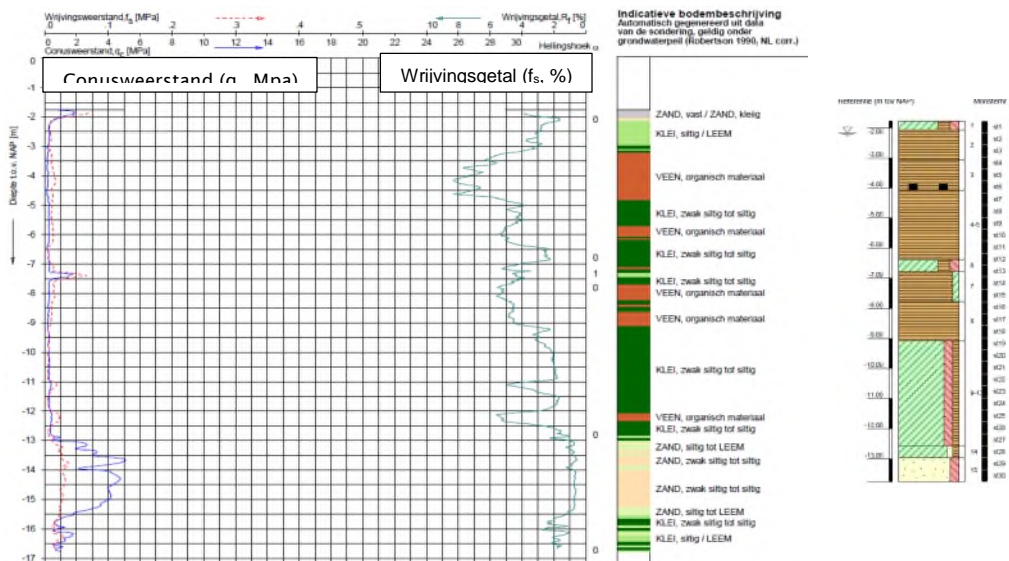
Sonderingen zijn goedkoper dan boringen. Daarnaast kunnen ze informatie toevoegen, bijvoorbeeld bij het herkennen van de dunne harde veenlagen aan de basis van holocene afzettingen in West- en Noord-Nederland. Deze veenlaag is meestal minder dan 0,5 m dik en wordt het in boringen nog wel eens gemist. Als die aanwezig is, komt de laag in een sondeergrafiek altijd tot uiting (<https://www.grondwatertools.nl/sonderingen>).

Met een waterspanningsmeter uitgeruste sonderingen kunnen ook worden gebruikt om de waterdoorlatendheid van de bodem te schatten, vooral detectie van slecht doorlatende lagen. Daarnaast bestaan er sondeerconussen om grondwatermonsters te nemen en de redoxpotentiaal van de bodem te bepalen (onder andere Deltares beschikt hierover). Hiermee kunnen verontreinigingen worden opgespoord.

De metagegevens van een sondering (zoals datum van uitvoering, norm, aantal metingen en gegevenstypen) bieden een eerste indruk van de sonderingskwaliteit. Metingen van voor 1992 verliepen niet volgens een gestandaardiseerde methode. (<https://www.dinoloket.nl/genormeerde-sondeermethoden>)



Figuur 10-4 Nomogram voor de interpretatie en vertaling van sonderingen naar grondsoort op basis van het wrijvingsgetal (x-as) en de conusweerstand (y-as) [32].



Figuur 10-5 Voorbeeld van interpretatie grondsoort uit sondering gebruik makend van de methode in Figuur 10-4 (links) en vergelijking met boorprofiel (rechts) [111].

10.3 Boormonsterprofiel

Doel

Een boorbeschrijving is bedoeld om de geologische gelaagdheid en bodemopbouw in beeld te brengen. Tijdens het boren kunnen steekmonsters worden genomen voor nadere analyses.

Eisen

NEN-EN-ISO 14688-1:2019



Werkwijze

Een boorstaat begint met algemene gegevens van de boring (locatie, datum). Daarnaast worden tijdens het boren continu (dat wil zeggen minimaal per meter en per laagverandering) grondmonsters verzameld en bewaard in grondmonsterkisten. Nadat de grondmonsters voldoende zijn gedroogd, maakt de boormeester een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving van de aangetroffen aardlagen op basis van zintuigelijke waarnemingen in het veld. Daarbij worden per monster de volgende kenmerken geregistreerd:

- Het diepte-interval;
- Mediane korrelgrootte (M63, dit is de mediaan van de fractie > 63µm);
- Sorteringsgraad van de fractie zand;
- silt- en lutumgehalte (schatting);
- organische-stofgehalte (schatting);
- kalkhoudendheid (schatting);
- overige kenmerken, zoals kleur, geur en bijmenging (puingehalte, schelpen, grind, hout et cetera).

De mediane korrelgrootte wordt vaak bepaald met behulp van een zandliniaal.

De kleur dient tijdens het boren (dus direct) te worden bepaald, omdat de bodem door contact met zuurstof verkleurt. Kleurovergang in zandlagen (van geel naar grijs) worden in de praktijk wel gebruikt als indicatie voor de overgang van een oxisch naar anoxisch pakket. Kanttekening is dat deze kleurovergang niet per definitie afhankelijk is van de actuele hydrochemische situatie, maar ook een historische relict kan zijn.

De boortechniek en -snelheid moeten aansluiten bij de gewenste nauwkeurigheid van de boorbeschrijving en eventuele monsterneming. Dit is uitgewerkt in PCD 13-3.

Tot 2018 werd voor geohydrologisch onderzoek gewerkt met [NEN 5104:1989/C1:1990](#) (ingetrokken sinds 1 augustus 2004). Komende jaren wordt overgegaan op [NEN-EN-ISO 14688-1:2019](#). Een aantal categorieën bodem zijn hierdoor veranderd of de grenzen (definities) aangepast. Bij het vergelijken van boorprofielen is de gehanteerde norm dus van belang.

10.4 Boormonsterfoto met stratigrafische beschrijving

Doel

Het vastleggen van in situ structuren die in deze ongeroerde monsters voorkomen, kan meer informatie geven over het afzettingsmilieu of de gelaagdheid van afzettingen en vormt zo een belangrijke toegevoegde waarde voor de boormonsterbeschrijving.

Eisen

Geen vastgelegde normen.

Werkwijze

Foto's van uit een boring afkomstig materiaal kunnen worden gemaakt met een gewone camera of met speciale apparatuur zoals een röntgenfoto, onder speciaal licht of met een speciaal filter. De meeste foto's worden gemaakt van opengesneden steekkernen (zie voorbeeld in Figuur 10-6 links). Deze foto's maken een veel uitgebreidere stratigrafische beschrijving en interpretatie mogelijk dan een boormonsterprofiel die in het veld is opgesteld.

Boormonsterfoto's zijn uitsluitend toepasbaar bij boortechnieken die ongeroerde bodemmonsters leveren. Drinkwaterbedrijven laten vaak ook foto's maken van de geroerde monsters in de boorbakken als naslagwerkje om kleuren en bijmenging te zien (zie voorbeeld in Figuur 10-6 rechts).



Figuur 10-6 Voorbeeld boormonsterfoto (links, bron: www.dinoloket.n) en foto van boorbakken (rechts, bron: Rob Breedveld, Vitens).

10.5 Boormonsteranalyse

10.5.1 Boormonsteranalyse: korrelgrootteverdeling

Doel

Korrelgrootteanalyses op steekmonsters geven inzicht in de benodigde diameter van het filtergrind. Daarnaast kunnen ze worden gebruikt om de doorlatendheid van de bodem te berekenen met behulp van de methode van Sheperd [88] of Kozeney [128]. Korrelgrootteanalyses zijn minder nauwkeurig dan een pompproef, maar geven wel een goede indicatie van de verdeling van doorlatendheden binnen een watervoerend pakket.

Eisen

[NEN 5753:2018](#)

Werkwijze

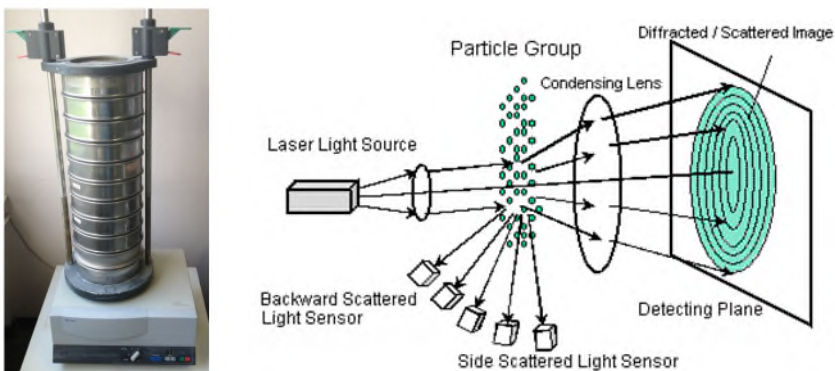
Korrelgrootteanalyses kunnen worden uitgevoerd met zowel zeven (vandaar dat ze ook wel worden aangeduid als 'zeefkrommen') als met laserdiffractie.

Zeving wordt uitgevoerd door verschillende zeven met variërende zeefopening boven elkaar te plaatsen (gestapeld van groot naar klein) en het bodemmonster er doorheen te laten door vallen. Door het bepalen van de massa die op elke zeef blijft liggen kan een korrelgrootteverdeling worden opgesteld. Zeving is geschikt voor deeltjes > 63 µm. De fijnere fractie kan worden bepaald door middel van een sedimentatieproef, waarbij wordt nagegaan hoe lang deeltjes erover doen om te bezinken. De bezinksnelheid is afhankelijk van de diameter [31, 36].

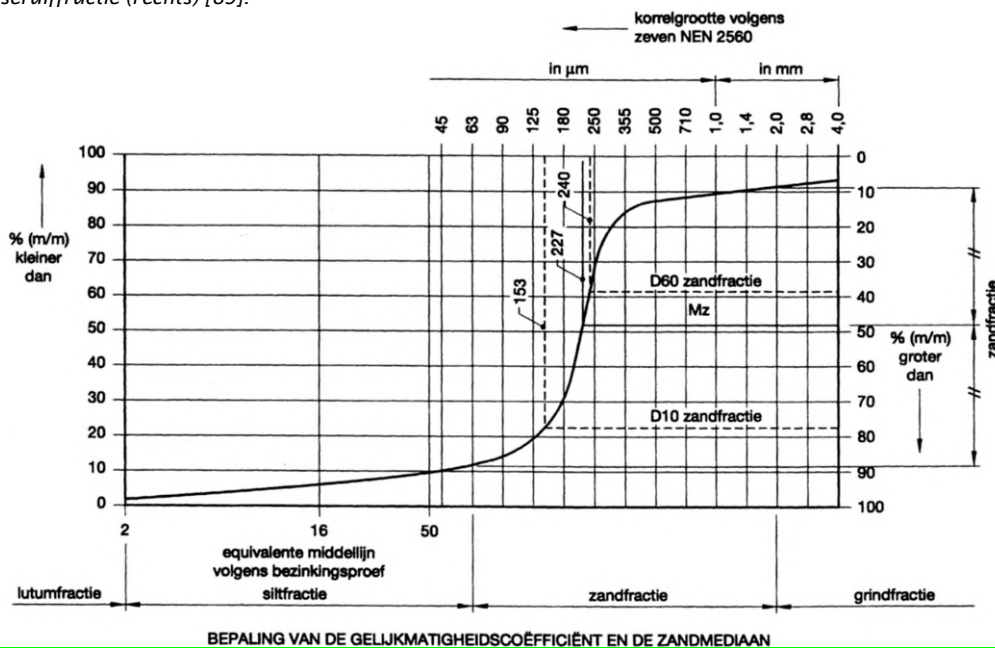
Bij laserdiffractie worden de grondkorrels bestraald met een laserstraal. Dit levert een verstrooiingspatroon op, waaruit de korrelgrootteverdeling kan worden achterhaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een theorie waarbij de korreldiameter van ieder deeltje wordt omgezet in een 'equivalente gemiddelde diameter'. Een voordeel van deze methode is dat het benodigde monstervolume en de doorlooptijd veel kleiner zijn dan bij zieving [31, 36].

Beide methoden kunnen tot verschillende resultaten leiden, omdat bij zeven de kleinste diameter van een korrel bepalend is terwijl via laserdiffractie een gemiddelde diameter wordt bepaald. De verschillen zijn beperkt (< 10%) bij sferische deeltjes (zoals duinzandafzettingen), maar bij meer langwerpige of platte structuren (zoals klei of leem) kunnen verschillen tot 40% optreden [31, 36]. Bij het vergelijken van verschillende monsters is de gehanteerde methode dus van belang.

Daarnaast wordt er op gewezen dat de meeste empirische formules die worden gebruikt voor het berekenen van doorlatendheden van de bodem en diameters van omstortingsgrind zijn ontwikkeld in de periode dat vooral werd gewerkt met zeeffrommen.



Figuur 10-7 Illustratie van zeeffinstallatie met ingeklemde zeeffschalen (links) [36] en principe van laserdiffractie (rechts) [89].



Figuur 10-8 Voorbeeld van korrelgrootteverdeling.

10.5.2 Boormonsteranalyse: doorlatendheidsproeven

Doel

Bepalen van doorlatendheid in steekmonsters.

Eisen

geen

Werkwijze

Er kunnen ook doorlatendheidsproeven worden gedaan op steekmonsters in watervoerende pakketten. Hiertoe wordt in het laboratorium een grondkolom zodanig opgezet dat het water aan de onderkant vrij kan weglopen. Aan de bovenkant wordt ervoor gezorgd dat er een waterkolom met constante dikte boven op de grondkolom aanwezig blijft. Het debiet van het uitstromende water wordt gemeten [84].

Een beperking van deze methode is dat van monsters die in verticale richting zijn genomen, uitsluitend de verticale doorlatendheid kan worden bepaald. Deze is vaak veel kleiner dan de horizontale doorlatendheid als gevolg van gelaagdheid/anisotropie van de bodem. Het meten van de doorlatendheid in geroerde monsters wordt minder nauwkeurig geacht.

10.5.3 Boormonsteranalyse: lithochemische totaalanalyse

Doel

Karakterisering van het potentiële (maximale) geochemische buffervermogen van de ondergrond.

Eisen

geen

Werkwijze

De navolgende analyses zijn zinvol [114]:

- Korrelgrootteverdeling via laserdiffractie;
- Thermogravimetrische analyse (TGA) ter bepaling van drooggewicht (105 °C), gloeirest (bulk organische stof (BOM) bij 330 en 550 °C) en verbrandingsrest (1.000 °C, totaal carbonaten uitgedrukt als kalk);
- Totaal koolstof (C_{TOT}) en totaal zwavel (S_{TOT}) via CS-analyse;
- Totaal elementgehalte van (hoofd)elementen via XRF;
- Totaal elementgehalte via totaalontsluiting en ICP-MS of -AES analyse en/of;
- Bijna totaalgehalten van makkelijker oplosbare elementen via koningswaterextractie en ICP-MS of -AES analyse;
- Totaal anorganisch koolstof.

10.5.4 Boormonsteranalyse: lithochemische schudproeven

Doel

Voor een karakterisatie van welke reacties werkelijk zullen optreden bij oxidatie van anoxische pakketten zijn schudproeven wenselijk.

Eisen

geen

Werkwijze

Hartog and van Dooren [35] beschrijven een werkwijze voor sedimentexperimenten met

beluchting. Een nauwkeurigere methode om deze metingen uit te voeren is middels een Respirometer (bijvoorbeeld: Micro-Oxymax Respirometer).

Aandachtspunt is dat de monsters onder anoxische condities worden genomen en geconserveerd. Er worden dus strengere eisen gesteld aan monsterneming dan voor het bepalen van het potentiële geochemische buffervermogen.

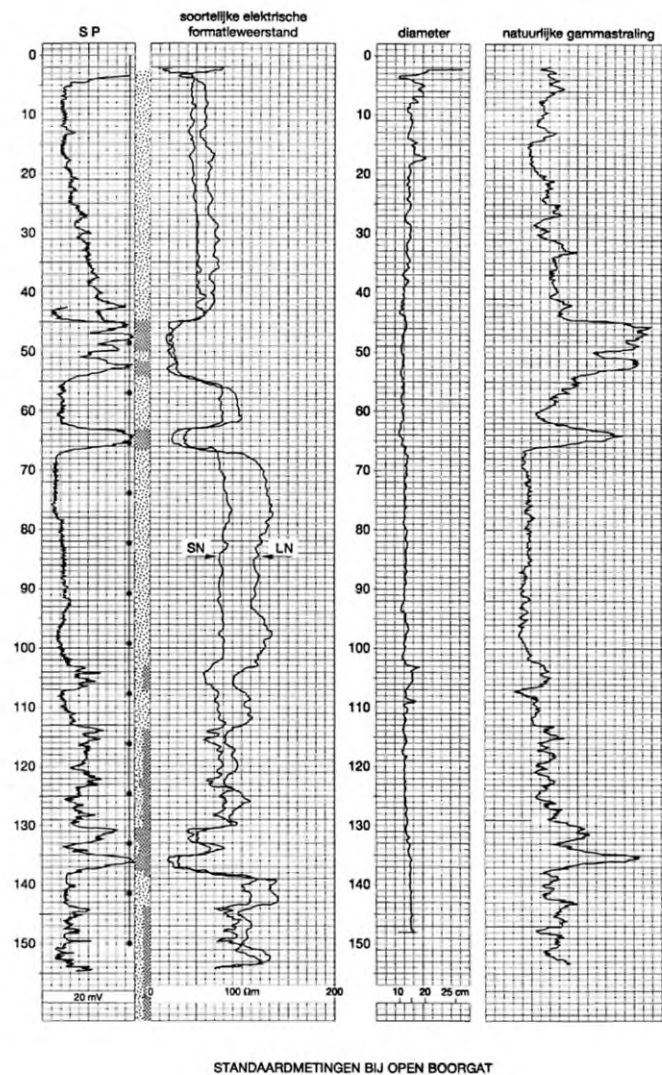
10.6 Boorgatmeting

Het is nuttig om in het open boorgat van de verkenningsboring of put in aanleg direct geofysische boorgatmetingen uit te voeren. Dit biedt een continu beeld van de bodemopbouw (vaak een extra controle van de boorbeschrijving, waarbij drinkwaterbedrijven de boorgatmeting vaak als leidend hanteren voor het afstellen van de filterdiepte), de ligging van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater en aanwezige grondwaterverontreinigingen.

Vaak worden de volgende geofysische boorgatmetingen uitgevoerd:

- spontane potentiaal (SP);
- schijnbare elektrische formatieweerstand met Short Normal en Long Normal logs (SN en LN);
- natuurlijke gammastraling;
- diameter boorgat (caliper-meting).

De meetresultaten van deze vier boorgatmetingen worden na afloop naast elkaar op een grafiek weergegeven (zie Figuur 10-9) en beoordeeld in hun onderlinge samenhang, bij voorkeur ook in combinatie met een boorprofielbeschrijving.



Figuur 10-9 Standaardmetingen bij open boorgat [87].

Minder gebruikelijke metingen die ook in een verbuisd boorgat kunnen worden uitgevoerd, zijn: deviatie meting, temperatuurmeting en formatieweerstand door middel van elektromagnetisch inductie (deze laatste uitsluitend in niet-metallische buizen).

10.6.1 Spontane potentiaal

Doel

Bij deze methode gaat het om meerdere doelen:

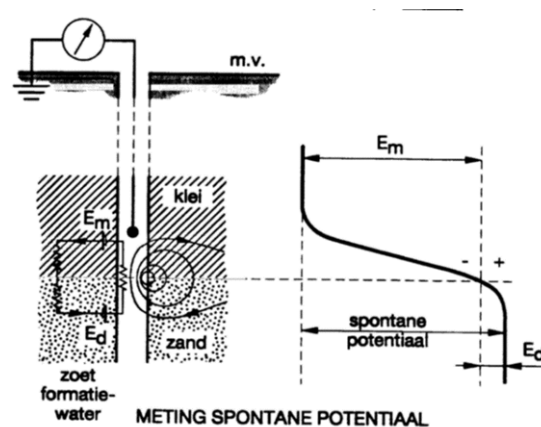
- Vaststellen grensvlakken tussen formaties;
- lokaliseren lagen die zo dun zijn dat ze bij de monsterneming niet worden waargenomen;
- inzicht verkrijgen in de grondsamenstelling;
- de formatiefactor vaststellen;
- inzicht krijgen in de kwaliteit van het grondwater.

Meetprincipe

De spontane potentiaal ontstaat door uitwisseling van ionen tussen het formatiewater van de ene aardlaag met het formatiewater van de aangrenzende aardlaag en de boorspoeling. Deze spontaan optredende elektrische spanning (potentiaal) kan worden gemeten in een open boorgat [52].

Werkwijze

Bovengronds worden aardelektroden aangebracht. De spontane potentiaal wordt gemeten met een sonde ten opzichte van aarde (nulwaarde). De spontane potentiaal kan een positieve waarde aannemen (in zand) of een negatieve waarde (in klei) (zie Figuur 10-10). Op overgangen van klei naar zand en andersom wisselt de spontane potentiaal van polariteit. Als de polariteit omslaat, passeert de sonde een grensvlak.



Figuur 10-10 Meting spontane potentiaal [86].

De (grootte van de) spontane potentiaal hangt af van:

- de grondsoort;
- de elektrische weerstand van de boorspoeling;
- verschillen tussen de elektrische eigenschappen van het formatiewater en de elektrische eigenschappen van de boorspoeling.

Interpretatie

Bij een grensvlak tussen twee aangrenzende zandlagen zal de polariteit meestal niet veranderen, maar zal hooguit de grootte van de potentiaal veranderen. Afhankelijk van de samenstelling van die zandlagen is het mogelijk dat die verandering niet of nauwelijks waarneembaar is, als de grootte van de potentiaal überhaupt verandert.

Bij de interpretatie van de gegevens wordt er op gewezen dat de meting kan worden beïnvloed door:

- verstoringen door elektrische machines en apparaten;
- veranderende diameter.

10.6.2 elektrische formatieweerstand

Doel

Informatie verkrijgen over de ligging van grensvlakken, de aard formatielagen en de kwaliteit van het grondwater.

Meetprincipe

De soortelijke elektrische formatieweerstand (uitgedrukt in Ohm per meter) meet de elektrische weerstand van de formatie. De formatieweerstand bestaat uit de weerstand van de grond en de weerstand van het grondwater. De schijnbare elektrische weerstand is grotendeels afhankelijk van de hoeveelheid en de kwaliteit (samenstelling) van het poriënwater. De formatieweerstand wordt altijd gemeten in een open boorgat.

Werkwijze

De meting van de formatieweerstand wordt gelijktijdig en met behulp van dezelfde sonde verricht als de spontane potentiaal. Op de sonde zijn drie metalen ringen aangebracht die als elektroden dienst doen. Een vierde elektrode is 'aarde'. De onderste ring en 'aarde' vormen de stroomelektroden. De twee bovenste ringen zijn de meetelektroden waarmee de elektrische spanning ter plaatse in het boorgat wordt gemeten. Ten behoeve van de meting wordt de het boorgat en de aangrenzende formatie ingestuurde stroom constant. Tijdens de meting verandert de formatieweerstand, wat leidt tot een evenredig hiermee veranderende spanning. Het verband tussen weerstand (R), spanning (U) en stroom (I) is [17]:

$$R = U/I$$

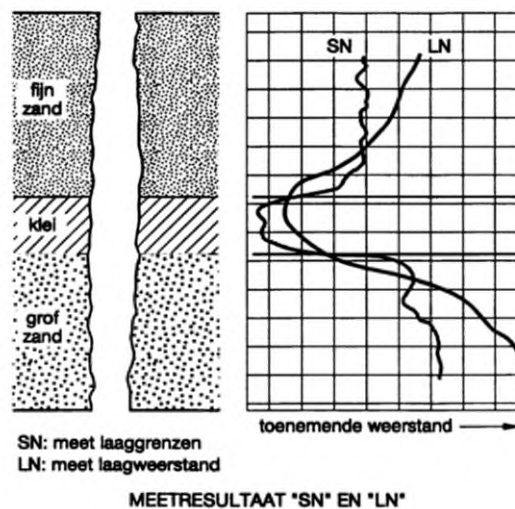
Tijdens de meting wordt de formatieweerstand van twee verschillende onderzoeksgebieden gemeten: de 'Short Normal' (SN) van een klein bolvormig gebied en de 'Long Normal' (LN) van een groot bolvormig gebied.

Met de (onderste) SN-elektrode wordt de elektrische formatieweerstand vastgesteld van een gebied niet diep in de formatie. Daardoor wordt de gemeten formatieweerstand sterk beïnvloed door:

- elektrische weerstand boorspoeling;
- diameter boorgat;
- dikte formatielaag (bij de dunnere lagen);
- diameter indringingszone;
- elektrische weerstand indringingszone;
- aard en dikte pleisterlaag.

In het algemeen kan uit de SN-meetresultaten de ligging van de grensvlakken tussen de formatielagen worden afgeleid, mits deze niet te dun zijn (zie Figuur 10-11).

De (bovenste) LN-elektrode meet de elektrische formatieweerstand van een gebied diep in de formatie. Omdat de afstand tussen de stroomelektrode en de meetelektrode veel groter is dan bij de SN, strekt de meting zich uit over een veel groter gebied van de formatie. Hierdoor wordt de meting minder verstoord door de factoren die hierboven bij de SN-meting zijn genoemd, waardoor de werkelijke formatieweerstand meer wordt benaderd. Deze meting komt het beste tot zijn recht bij niet al te dunne formatielagen, anders strekt de invloedssfeer van de meting zich teveel uit over andere lagen. Met de LN-meting wordt vooral informatie over de aard van de aardlagen en de kwaliteit van het grondwater verkregen. Op de plaats waar de SN en LN elkaar kruisen, is vaak een grensvlak van klei/zand of zoet/zout te vinden [52].



Figuur 10-11 Meetresultaat SN en LN [86].

Een weerstandsmeting alleen biedt weinig informatie over de aard van de grondsoort. De weerstand van bijvoorbeeld grof zand in hard water of van zand met een hoog zoutgehalte kan even groot zijn als de weerstand van fijn slibhoudend zand in zacht water, terwijl in zoute formaties klei en zand vaak niet of moeilijk van elkaar zijn te onderscheiden. Daarom zijn voor een goede interpretatie van de weerstandsmetingen grondmonsters en/of wateranalyses onmisbaar.

10.6.3 Natuurlijke gammastralingsmeting

Doel

Vaststellen van de aard formatielagen (vooral kleilagen) en de ligging van grensvlakken.

Werkwijze

Gammastraling is een uit elektromagnetische golven bestaande radioactieve straling. Alle grondsoorten zenden van nature gammastraling uit. Deze straling is vooral afkomstig van de aanwezige kleimineralen. Omdat de stralingsintensiteit voor elk materiaal anders is, geeft de gamma-activiteit een indicatie van de aard van de grondsoort. Door het meten van de natuurlijke gammastraling in een boorgat wordt een indruk verkregen van de opbouw van de ondergrond. Deze meting is geschikt voor zowel een open als een verbuisd boorgat (voor dit laatste geval zie Boormeester I [87]). Hieronder wordt ingegaan op de meting in een open boorgat.

De meting wordt met dezelfde sonde verricht als de vorige twee metingen. De meting wordt beïnvloed door de bewegingssnelheid van de sonde en de (variërende) diameter van het boorgat.

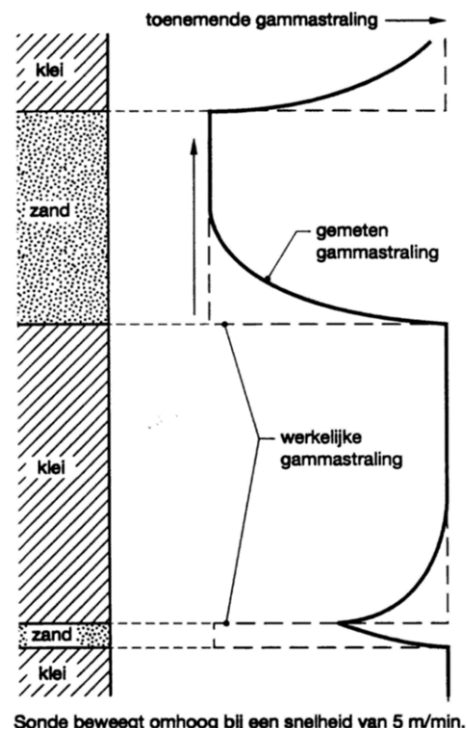
Vooral bij de gammameting mag de snelheid waarmee de sonde omhoog beweegt niet te groot zijn, om te voorkomen dat informatie over details (zoals dunne lagen) verloren gaat (zie Figuur 10-12).

De stralingsintensiteit neemt sterk af met toenemende afstand tussen formatie en sonde. Met het toenemen van de diameter van het boorgat neemt de betrouwbaarheid van de meting af. Voor boorgaten met een diameter < 300 mm is de invloed nog nauwelijks te merken, maar bij diameters > 1.000 mm moet de sonde vlak langs de boorgatwand worden geleid. Ook een veranderende diameter van het boorgat kan de meting verstoren. Om

hiermee rekening te houden, wordt bij deze meting ook altijd een diametermeting uitgevoerd.

Het meten van uitsluitend de natuurlijke gammastraling is evenmin zinvol. Daarom wordt deze meting gecombineerd met de meting van de schijnbare elektrische formatieweerstand.

Deze meting kan ook worden toegepast om te kijken of bij een ingebouwde winput de kleiafdichtingen op de juiste plaatsen zijn terechtgekomen. Daartoe wordt de grafiek van de gammameting van na de inbouw vergeleken met de grafiek van de gammameting van vóór de inbouw. Op deze manier kan worden beoordeeld of de kleiaanvullingen op de juiste dieptes zijn aangebracht.



Figuur 10-12 Meetresultaat natuurlijke gammastraling [86].

10.6.4 Formatieweerstand d.m.v. elektromagnetische inductie

Doel

Ligging grensvlakken, aard formatielagen, kwaliteit grondwater.

Vaststellen van de ligging van grensvlakken, de aard formatielagen en de kwaliteit van het grondwater.

Werkwijze

Bij de meting wordt gebruik gemaakt van een elektromagnetische-inductiesonde. Deze sonde wekt een elektromagnetisch veld op waarmee de schijnbare elektrische formatieweerstand kan worden bepaald. De schijnbare elektrische formatieweerstand mag echter niet groter zijn dan 100 Ω m.

De methode is toepasbaar in een verbuisd boorgat. De buizen moeten wel van kunststof zijn en een minimale binnendiameter hebben om de sonde erin te laten bewegen.

10.6.5 Temperatuurprofielmeting in boorgat

Doel

Er zijn diverse redenen om een temperatuurprofiel te maken in een boorgat:

- Bij oeverfiltraatwinning kan aan de hand van het verloop van de temperatuur in een open of verbuisd boorgat worden vastgesteld wat in het opgepompte water de verhouding is tussen oppervlaktewater en grondwater;
- De temperatuur in een open boorgat kan informatie verschaffen over de kalkverzadigingsindex van het grondwater;
- Temperatuurmeting in een open boorgat in hard gesteente kan helpen bij het opsporen van scheuren;
- Analyse van het temperatuurprofiel kan aanwijzingen geven voor diepe kwel (dan is de temperatuur hoger dan op basis van de geothermische gradiënt zou worden verwacht) en wegzijging (temperatuur juist lager). Wel wordt hierbij gewezen op het feit dat ook klimaatverandering van invloed is op de temperatuurgradiënt [11].

Werkwijze

De temperatuurmeting kan worden uitgevoerd in zowel een open als in een verbuisd boorgat. Bij een winput is het belangrijk dat deze enige tijd heeft uitgestaan om ervoor te zorgen dat het water in de boorbuis dezelfde temperatuur heeft als het water in het omringende pakket.

De meting wordt van boven naar beneden uitgevoerd, om de kans te minimaliseren dat water mengt voorafgaand aan de meting.

Diameter boorgat (caliper meting)

Doel

Caliper-metingen dienen om te controleren of het boorgat overal de gewenste diameter (en vorm) heeft. Als gevolg van bijvoorbeeld het boorsysteem (gezwollen klei, afgekalfde klei of uitgespoeld zand) kan de boorgatwand een grillig verloop hebben. Deze meting kan uitsluitend in een open boorgat worden uitgevoerd.

Werkwijze

De diameter wordt op mechanische wijze gemeten met behulp van een calipersonde, die drie pennen (of meer, afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid) heeft die de boorgatwand aftasten. De sonde wordt vanaf de bodem van het boorgat omhooggetrokken. De pennen zijn verend aan de sonde verbonden, zodat ze alle oneffenheden op en in de boorgatwand goed kunnen volgen. De diameter wordt afgeleid van de hoek die de pennen met de sonde maken. Deze hoeken en dus ook de diameters worden elektrisch gemeten.

Nadeel van de pennen is dat ze de pleisterlaag op de boorgatwand enigszins kunnen openkrassen. Hierdoor kan waterverlies optreden met als gevolg dat de overdruk kan verminderen. Het waterverlies kan zo groot zijn dat het boorgat kan instorten. Daarom moet de boormeester tijdens deze meting spoelingscomponenten klaar hebben staan. Als er plotseling veel waterverlies optreedt, dan kan onmiddellijk worden ingegrepen om het instortingsgevaar af te wenden.

Om meetfouten zoveel mogelijk uit te sluiten, wordt de caliper-meting meestal in duplo uitgevoerd.

10.6.6 Deviatie­meting

Doel

Een boorgat van redelijke diepte zal zelden over het gehele traject zuiver verticaal zijn. Grote afwijkingen ten opzichte van de rechtstand kunnen problemen opleveren bij bijvoorbeeld het inbouwen van de winput. De winput kan dan tegen de boorgatwand gaan hangen. Doel van een deviatie­meting is om van een boorgat deze afwijkingen in kaart te brengen. De deviatie­meting kunnen we zowel in een open boorgat als in een verbuisd boorgat uitvoeren.

Werkwijze

De meetresultaten worden in een grafiek tegen de diepte uitgezet. TNO voert de meting uit met behulp van een sonde waarmee ook de natuurlijke gammastraling wordt gemeten.

10.7 Permanente geofysische metingen en sensoren

10.7.1 Elektrodekabels

Doel

Het monitoren van het zoet-zout-grensvlak.

Eisen

[NEN 5773:1990](#): 'Bodem - bepaling van de soortelijke weerstand met behulp van geoelektrische metingen'

Werkwijze

Elektrodekabels (zoutwachterkabels) bestaan uit elektrodenparen die op een vooraf ingestelde onderlinge afstand worden geplaatst op een kabel die in het boorgat wordt geplaatst. Vaak wordt een resolutie van enkele meters gehanteerd. Voor een nauwkeurige schatting van de EGV is het nodig om een formatiefactor af te leiden aan de hand van enkele in situ EGV-metingen (via een waarnemingsfilter of minifilters ter plaatse van een elektrodenpaar). Deze formatiefactor ligt meestal in de range van factor 3 - 5 wat veel groter is dan de orde groottes verschil in geleidbaarheid van zoet en zout grondwater. Daardoor geven de metingen ook zonder calibratie een goed beeld van de zoet-zout overgangen. Voor installatie van zoutwachters: zie § 15.4.

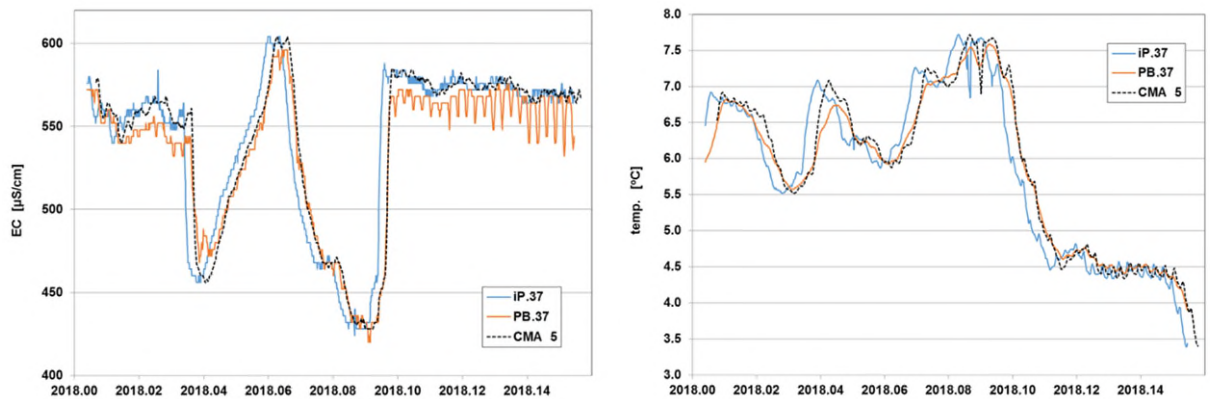
10.7.2 EGV en temperatuursensor

Doel

Het bepalen van reistijden, vooral vanaf oppervlaktewater.

Werkwijze

Frequente EGV- en temperatuurmetingen kunnen worden gebruikt om reistijden te bepalen. De eenvoudigste werkwijze is om eerst het EGV van het beneden­stroomse meetpunt (= output signaal) goed te simuleren door het verschuiven van de tijd-as van de boven­strooms gemeten EGV (= input signaal). Hierbij wordt het input signaal gemiddeld over een aantal uren of dagen om ruis te onderdrukken. Vaak moet ook nog worden gecorrigeerd voor piekafvlakking door dispersie of variatie in reistijd. De interpretatie wordt nog complexer en minder eenduidig naarmate er in het beneden­stroomse meetpunt meer menging plaatsvindt met andere bronnen. Vervolgens wordt de procedure herhaald voor de temperatuur. De temperatuur reageert trager dan het EGV door warmte-uitwisseling met het korrelskelet. In sommige gevallen kan hieruit een porositeit worden afgeleid. Deze methode vergt een variabel inputsignaal en is daarom vooral geschikt in infiltratiesystemen [37, 62].



Figuur 10-13 Voorbeeld van reistijdbepaling met EGV (links) en temperatuur (rechts) tussen Infiltratiepand IP.37 en waarnemingsfilter PB.37. De tijd-as-verschuiving bedraagt respectievelijk 22 en 31 uur. De modale reistijd is dus 22 uur [37].

10.7.3 Distributed Temperature Sensing (DTS, glasvezelkabel)

Doel

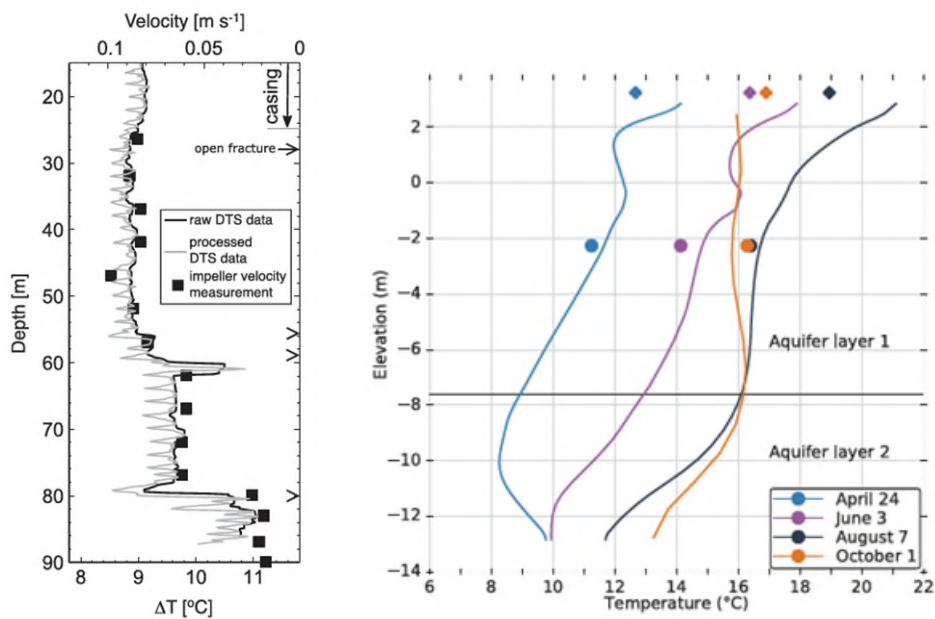
Het bepalen van reistijden en toestroming naar de winput.

Werkwijze

Bij Distributed Temperature Sensing (DTS) wordt de temperatuur langs een glasvezelkabel bepaald door analyse van de weerkaatsing van een laserstraal die er doorheen wordt gezonden. De kabels kunnen honderden meters lang zijn en tot op een honderdste graad nauwkeurig [115]. De temperatuur wordt meestal om de meter bepaald (exacte discretisatie is afhankelijk van het DTS-apparaat), maar deze ruimtelijke discretisatie kan worden verkleind door het 'coilen' (opwinden) van de kabel [11].

De glasvezelkabels kunnen los in een bestaand boorgat worden gehangen, geïnstalleerd in de omstorting bij aanleg van een nieuwe winput of met een sondeerwagen weggedrukt in de ondergrond [115].

De meting kan zowel actief als passief worden ingezet. Bij passieve metingen wordt slechts de temperatuur van het grondwater gemeten. Het verloop van de grondwatertemperatuur met de diepte kan inzicht geven in onder andere de aanwezigheid van afsluitende lagen, maar ook variatie in tijd kan informatie geven over verblijftijdsspreiding. Bij actieve metingen wordt een nieuwe warmtebron geïntroduceerd, waarbij het verloop van de temperatuur in de omgeving met glasvezelkabels kan worden gemeten. Hiermee kunnen onder andere stromingssnelheden worden afgeleid [26].



Figuur 10-14 Voorbeeld van actieve DTS-meting (links) door vergelijking van filterflowmeting/snelheidsprofiel in winput met de temperatuurstijging in DTS-kabel met warmtebron [11]. Daarnaast (rechts) een passieve meting van het temperatuurdiepteprofiel in het infiltratiesysteem van PWN (lijnen) vergeleken met de temperatuur in waarnemingsfilter (cirkels) en aan maaiveld (ruiten). De tijdsafhankelijke verschillen zijn het gevolg van temperatuurverschillen in het infiltrerend oppervlaktewater en de temperatuur aan maaiveld. [26].

10.8 Geohydrologisch veldonderzoek

10.8.1 Stijghoogtemeting

Doel

Het bepalen van de freatische grondwaterstand of druk in een watervoerend pakket.

Eisen

Controleer de wingunning.

Werkwijze

Stijghoogtemetingen worden meestal uitgevoerd in waarnemingsbuizen (zie hoofdstuk 15). Metingen kunnen zowel handmatig als automatisch plaatsvinden via drukopnemers uitgerust met dataloggers. Aandachtspunt bij drukopnemers is dat er voldoende handmatig uit te voeren controlemetingen plaatsvinden en dat metingen regelmatig (jaarlijks) worden gevalideerd, gebruik makend van een vast validatieprotocol zoals [5].

10.8.2 Putproeven (single well tests)

Doel

Putproeven worden door drinkwaterbedrijven gebruikt om de specifieke capaciteit van putten te monitoren. De proeven kunnen ook worden gebruikt voor het afleiden van kD-waarden van de ondergrond.

Werkwijze

Bij een putproef wordt water onttrokken met een bepaald debiet gedurende een bepaalde tijd. Aan de hand van de gemeten verlaging van de stijghoogte, het debiet en de tijd kan de doorlatendheid worden bepaald (kD-waarde). Nadeel is dat de verlaging kan worden

overschat wanneer er resten boorspoeling (skin) achterblijven op de boorgatwand. Vaak wordt het waterniveau na uitschakelen van de put nogmaals gemeten om te bepalen of het referentieniveau gelijk is gebleven.

Er wordt geadviseerd om het waterniveau ook continue te registreren na uitschakelen van de pomp (stopproef). Doordat de stroming rondom de put nagenoeg stilvalt, vervalt ook het stijghoogteverlies als gevolg van de skin (weerstand op de boorgatwand). Het combineren van een put- en stopproef biedt dus een nauwkeuriger indicatie van de doorlatendheid van de bodem. Deze meting vergt een continue registratie van het waterniveau met automatische drukopnemers.

10.8.3 Pompproef

Doel

Bij een pompproef wordt de stijghoogte in omliggende waarnemingsfilters in hetzelfde pakket en in andere watervoerende lagen geregistreerd. Dit biedt een nog nauwkeuriger inzicht van de kD- en c-waarde dan bij een put- of stopproef en is bovendien representatiever voor een groter gebied rondom de put (variërend van enkele tientallen tot enkele honderden meters).

Werkwijze

Om de pompproef te monitoren, worden rondom de onttrekkingsput meerdere waarnemingsputten geplaatst. Een raai waarnemingsputten in hetzelfde pakket als de onttrekking dient om de doorlatendheid van de formatie te bepalen. In gestuwde formaties worden de waarnemingsputten in twee raaien geplaatst, haaks op elkaar in verband met mogelijke horizontale anisotropie. Een waarnemingsfilter in een dieper en ondieper pakket is wenselijk om de hydraulische weerstand van slecht doorlatende lagen onder en boven het winfilter te bepalen.

Geadviseerd wordt om de positionering van de waarnemingsputten te baseren op een berekening van de verwachte verlaging aan de hand van de verwachte doorlatendheid. Staat de waarnemingsput te dichtbij de onttrekkingsput, dan krijgt heterogeniteit binnen het pakket de overhand. Binnen circa 1 m afstand bestaat de kans op beschadiging van de onttrekkingsput door scheef boren en ontstaan fouten in de interpretatie wanneer de afstand tot de boorgat niet exact klopt. Bij een te grote afstand is het effect niet meetbaar en/of ontstaat invloed van bijvoorbeeld oppervlaktewater. Een vuistregel is om drie waarnemingsputten te plaatsen: (1) afstand gelijk aan $\frac{1}{4}$ dikte zandpakket, (2) afstand gelijk aan dikte van het zandpakket en (3) afstand gelijk aan de spreidingslengte.

In het algemeen lenen stopproeven (analyse van effecten nadat de pomp is uitgezet) zich beter voor een betrouwbare afleiding van hydraulische parameters dan de voorafgaande pompproef. Dat komt omdat aan het einde van een pompproef het pompdebiet in het algemeen vrij stabiel is geworden en dan in één keer (bij het uitzetten van de pomp) naar nul gaat. Daarentegen fluctueert het pompdebiet tijdens de start van een pompproef juist meestal meer dan gehoopt, vanwege het eerst snel en later geleidelijk zakken van de onttrekkingskegel, waardoor steeds meer energie nodig is voor afpomping, het in gang zetten van het water in de leidingen (traagheidskrachten) en elektromechanische effecten (efficiency van de pomp). Dit leidt ertoe dat analyse van vroege pomptijden tijdens de pompproef (waaruit het meeste ten aanzien van de beging en dergelijke kan worden afgeleid) veel minder betrouwbaar is dan analyse van vroege pomptijden tijdens de recovery. Voorwaarde voor een stopproef is een goed functionerende terugslagklep om te voorkomen dat water uit het leidingwerk terugstroomt de put in.

Voor de uitvoering van put- en pompproeven wordt verwezen naar [56]. Resultaten kunnen worden geïnterpreteerd in Excel of met software zoals MLU [38].

10.8.4 Filterflowmeting (put in bedrijf)

Doel

De belangrijkste doelen van een flowmeting zijn:

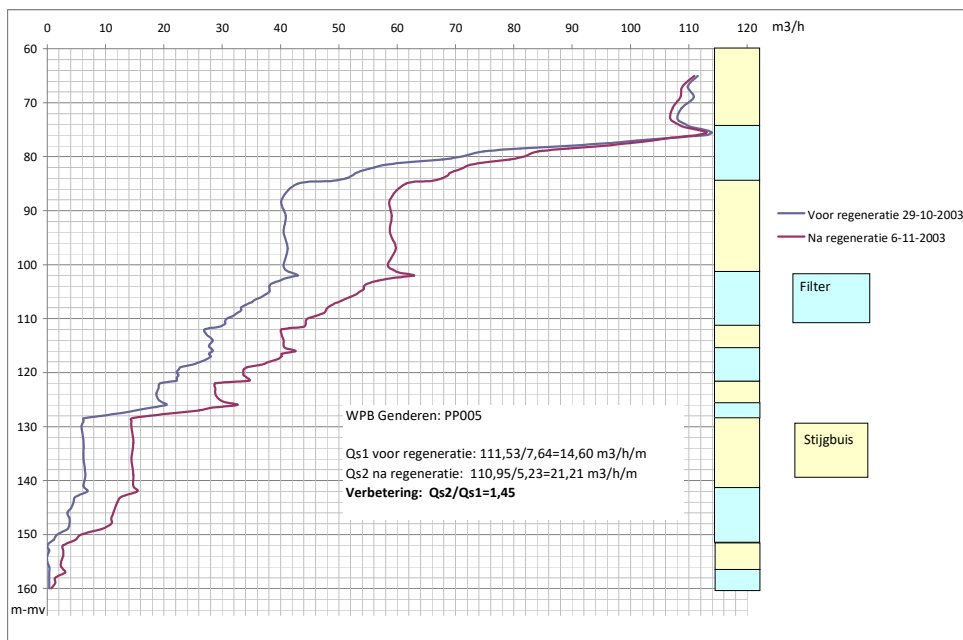
- Vaststellen welk aandeel de verschillende watervoerende zandlagen leveren in de totale volumestroom van een winput;
- Detectie van toestroming uit spleten in vast gesteente;
- De conditie van bestaande winputten vaststellen (bijvoorbeeld of er verstopping optreedt op een bepaald diepteinterval).

Werkwijze

Een flowmeting wordt uitsluitend uitgevoerd in een verbuisd boorgat (in verband met stabiliteit). In het geval van hard gesteente kan de meting ook plaatsvinden in een onverbuisd boorgat.

Het is aan te raden om een flowmeting uit te voeren bij de oplevering van een winput en bij winputten waarvan de volumestroom niet volledig herstelt tot de opleveringswaarde na regeneratie. De meting bij oplevering geeft inzicht in de doorlatendheidsverdeling binnen een watervoerend pakket en dient als referentie voor het vaststellen van verstopping. De gegevens kunnen soms helpen bij het verklaren van een eventuele toekomstige putverstopping.

De meting omvat het plaatsen van een flowmeter, die in de stijgbuis tot de bovenkant van het bovenste filter aan een kabel hangt. Gelijktijdig wordt er een constante volumestroom onttrokken met een onderwaterpomp die zich in de verwijde stijgbuis bevindt. Vervolgens wordt de flowmeter met constante snelheid van boven naar beneden verplaatst en vice versa. Het debiet wordt tot slot grafisch tegen de diepte uitgezet. Meestal wordt alleen de meting naar beneden gebruikt voor de interpretatie. Bij de opwaartse meting veroorzaakt de tool eerder verstoring van de stroming en is de netto stroomsnelheid lager, waardoor de stroomsnelheid onder in de put over een groter diepte-interval beneden de detectielimiet valt.



Figuur 10-15 Flowmeting vóór en na regeneratie bij constante afpompings. Na regeneratie blijken vooral de onderste filters meer water te leveren. Blijkbaar was dit deel van de put verstopt (bron: Brabant Water).

10.8.5 Filterflowmeting (rustsituatie)

Doel

Het bepalen van kortsluitstroming via de put in rustsituatie.

Werkwijze

Het meten van kortsluitstroming in rustsituatie gebeurt nadat de pomp enige tijd is uitgeschakeld, zodat de stijghoogten en waterstromen rondom de put stabiliseren. Vervolgens wordt met een gevoelige flowmeter de verticale stroomsnelheid bepaald op de diepte waar de kortsluitstroming wordt verwacht (bijvoorbeeld een kleilaag tussen twee winfilters. Elektromagnetische [29, 30] en heat-pulse flowmeters [4] zijn het meest gevoelig vanwege hun lage detectielimiet van 1 mm/s. Flowmeters met een propeller zijn minder geschikt vanwege de benodigde relatief hoge minimale stroomsnelheid (0,025 m/s).

10.8.6 Waterkwaliteit in win- en waarnemingsputten

Doel

Inzicht bieden in de te verwachten waterkwaliteit.

Eisen

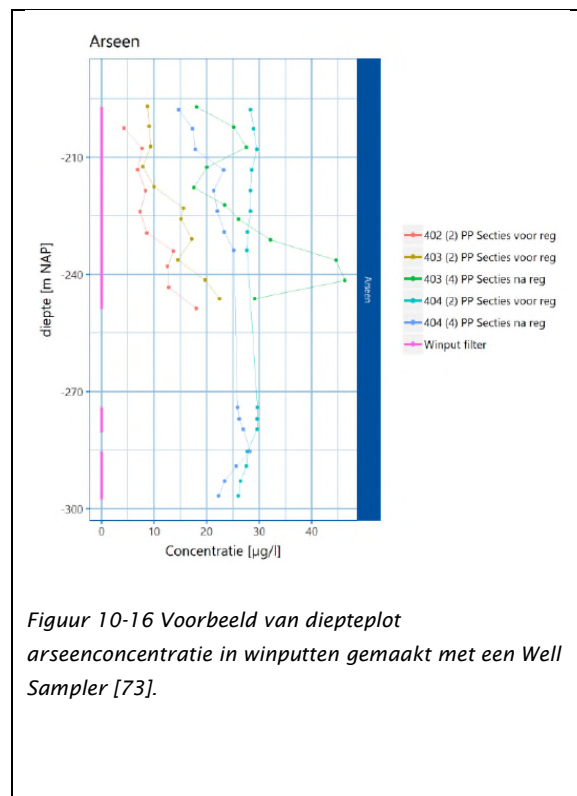
Monsterneming van waarnemingsputten met low-flow methode volgens [NEN 5744:2019](#) (ontwerpnorm) of eigen protocollen van waterlaboratoria. De overige eisen ten aanzien van laboratoriummethoden zijn afhankelijk van de te meten parameters.

Werkwijze

Over het algemeen is het nuttig om zowel in het vooronderzoek als na aanleg van de winning een uitgebreid pakket aan te analyseren parameters te kiezen dat aansluit bij de wettelijke eisen en ook wordt gehanteerd gedurende de reguliere monitoring (zie hoofdstuk 14). Afhankelijk van de vraagstelling wordt voor adviezen over te meten parameters verwezen naar [108].

Monsters voor waterkwaliteitsbeoordeling worden meestal genomen uit waarnemingsfilters. Voor onderzoek naar bodemverontreiniging worden monsters genomen met laag debiet op de diepte van het waarnemingsfilter. Voor reguliere monitoring wordt door de drinkwaterbedrijven en -laboratoria bemonsterd met een hoog debiet van circa 2 l/min ('purging'), tenzij dit niet mogelijk is door de diepte van de grondwaterstand of diameter van de peilbuis. Hierbij wordt gebruik gemaakt van eigen protocollen van de drinkwaterlaboratoria [122].

Voor de monsterneming van winputten, zie 'Hygiëncode Drinkwater; *Winning*' (PCD 1-2) [119].



10.8.7 Waterkwaliteitsbeoordeling op discrete dieptes

Het is ook mogelijk om watermonsters te nemen tijdens het wegdrukken van een sondering, zonder plaatsing van een waarnemingsput [2].

In sommige gevallen is het wenselijk om op discrete dieptes in een winfilter watermonsters te nemen, bijvoorbeeld om te bepalen of er op een bepaalde diepte water van een ongewenste kwaliteit aanwezig is. Voor een overzicht van beschikbare methoden wordt verwezen naar [47, 58, 122].

10.8.8 Isotopenonderzoek: datering en herkomst van grondwater

Onderzoek naar isotopen wordt vooral uitgevoerd om inzicht te krijgen in de ouderdom van grondwater (reistijden) en in de herkomst en aard van de optredende processen in de bodem. Voor meer informatie wordt verwezen naar [49].

11 Inrichting puttenveld

11.1 Keuze winconcept

Richtlijn 13 Ga na welke geohydrologische problemen optreden op een winlocatie zoals gebrek aan ruimte, kans op verzilting of watervoerende pakketten met een lage doorlatendheid of geringe dikte. Wanneer er geen geohydrologische problemen zijn, kan gebruik worden gemaakt van een verticaal winconcept. Overweeg anders alternatieve winconcepten.

11.1.1 Overzicht winconcepten

Afhankelijk van de beschikbare bron kan worden gekozen uit verschillende winconcepten. De keuze voor het juiste winconcept is mede afhankelijk van de geohydrologische problemen die optreden op een beoogde locatie. Tabel 11-1 bevat een overzicht van de winconcepten die momenteel worden toegepast in de Nederlandse drinkwatersector en het type geohydrologische/hydrochemische probleem dat ermee kan worden opgelost. In de laatste kolom is aangegeven welk winmiddel (type put) het beste past bij een winconcept. Deze worden toegelicht in § 11.2.

De beschikbare opties hoeven lang niet in alle gevallen te worden beschouwd. In de praktijk zijn namelijk onder normale omstandigheden geen argumenten om van conventionele winning met verticale winputten af te wijken. Andere technieken worden uitsluitend beschouwd als er sprake is van specifieke omstandigheden op de winlocatie of van een complex winconcept, of wanneer andere technieken al worden toegepast.

Tabel 11-1 *Technologiematrix: overzicht van de efficiëntie waarmee winconcepten omgaan met geohydrologische problemen bij waterwinning ten behoeve van de bereiding van drinkwater.*

Bron	Winconcept	Geohydrologische problemen											Winmiddel	
		beperkt ruimte	bovengronds wvp met beperkte dikte	microbiologische besmetting	watervuiling	range zuivering	verontreiniging oppervlaktewater	Tekort zoetwatervoorraad	Intrusie zout grondwater	Opconing zout grondwater	Afdrijven zoutwaterbel	Putverstopping		
GW, OEV, KI	Verticaal													VP
	Horizontaal	+	+	+	+/-					+/-	+/-		+/-	Drain, kanaal, HDDW, RP
	Gestratificeerd			+	+/-								+/-	MPPW, Monobron, etc.
	Interceptie				+/-									VP
KI	Ondergronds ontijzeren	+/-			+/-								+/-	VP
	Reactiviteit ondergrond				+	+								
	Open infiltratie (BAR)				+/-				+	+/-	+/-			infiltratiepand i.c.m. VP, drain, kanaal, Monobron, HDDW
	Diepinfiltratie (ASR)	+			+/-				+	+/-	+/-			VP, MPPW (HDDW)
DW	Diepinfiltratie (ATR)	+			+				+/-	+/-	+/-			VP, MPPW (HDDW)
	Selectieve inname					+								
GW+BW	Ondergrondse opslag				+				+					VP, MPPW
	Freshkeeper									+	+	+/-		VP, Monobron
BW	Brakwaterwinning									+	+			

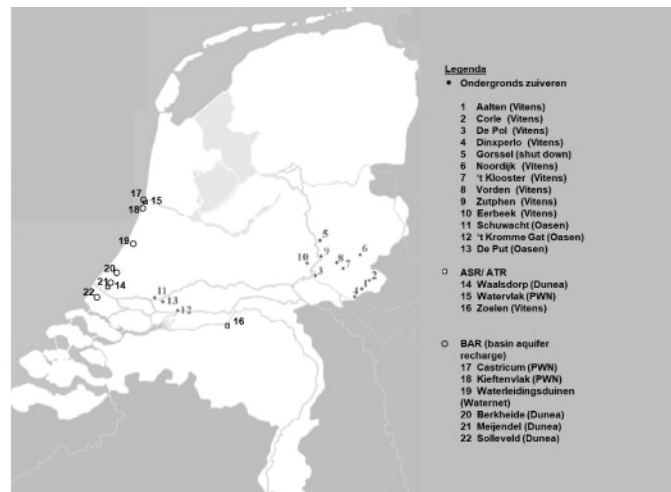
+ = Geohydrologisch probleem wordt opgelost; (* de EDGW is geschikt '+' voor dunne wvp >50m diepte)
 +/- = Efficiency waarmee probleem wordt opgelost hangt af van lokale randvoorwaarden
 +/- = Geen effect of zelfs negatief effect
 VP = verticale put; HDDW = Horizontal Directional Drilled Well; EDGW = Expanded Diameter Gravel Well; RP = Radiaalput
 GW = grondwater, OEV = oeverinfiltratie, KI = kunstmatige infiltratie; DW = drinkwater

11.1.2 Geohydrologische problemen

Voor de keuze van het juiste concept is het dus belangrijk om in beeld te brengen welke geohydrologische problemen zich voordoen op een winlocatie. Hier volgt een lijst met hydrologische knelpunten die in Nederland optreden:

- *Beperkte ruimte aan maaiveld*
Ruimtegebrek treedt vooral op in relatief klein waterwingebieden waar het lastig is om de vereiste afstand tot de grens van het waterwingebied te bewaren, winningen in stedelijk gebied en in gebieden met natuur- of cultuurhistorische waarden waar vergravingschade ongewenst is.
- *Beperkt doorlaatvermogen van het watervoerend pakket*
Specifieke omstandigheden met betrekking tot de watervoerendheid van het pakket zijn een beperkte dikte en/of een laag doorlaatvermogen van het pakket. Deze situaties kunnen leiden tot grote afpomping en lage putcapaciteiten.
- *Kwetsbaarheid microbiologische besmetting*
Ondiepe winningen zijn verhoudingsgewijs kwetsbaar voor microbiologische besmetting, vooral in combinatie met kunstmatige infiltratie of doorkruising van het wingebied met oppervlaktewater (oeverinfiltratie).
- *Grondwaterkwaliteit buiten range zuivering*
Hierbij is het belangrijk om onderscheid te maken of al het gewonnen water een probleem vormt of dat slechts een deelstroom niet voldoet als gevolg van stratificatie.
- *Verontreiniging oppervlaktewater*
Dit is van toepassing bij kunstmatige infiltratiesystemen.
- *Zoetwatervoorraad*
Tot slot kan een drinkwaterbedrijf de wens hebben om de voorraad zoet grondwater te vergroten, bijvoorbeeld in het geval er sprake is van seizoenoverschotten en -tekorten of om de leveringszekerheid te vergroten.
- *Intrusie brak grondwater*
Het gaat om het zich landinwaarts verplaatsen van het zoet-zout-grensvlak. Dit proces treedt op in kustzones, bij maaiveld dalingen of bij te grote onttrekking van grondwater.
- *Opgegelen brak grondwater*
Dit treedt op bij onttrekking bovenin een aquifer met gestratificeerde waterkwaliteit (zoet boven, zout onderin).
- *Opdrijven zoetwaterbel*
Geïnjecteerd zoetwater heeft de neiging om op te drijven terwijl brak/zout grondwater juist naar beneden zinkt in een aquifer. Hierdoor kunnen ASR-putten van onderaf gecontamineerd raken.
- *Putverstopping*
Door menging van verschillende watertypen in de winput of te grote belasting van de winput kan verstopping optreden van de boorgatwand of filterspleten.

Tot slot kunnen nog algemene zaken spelen die niet direct een probleem vormen voor het drinkwaterbedrijf, maar die mogelijk wel kunnen worden opgelost door de keuze van het juiste winconcept, bijvoorbeeld de invloed van de winning op de natuur en brakke kwel naar diepe polders. Bovenstaande problemen volgen als het goed is uit de gebiedsinventarisatie (zie hoofdstuk **Error! Reference source not found.**).



Figuur 11-1 Ligging van enkele alternatieve winconcepten in Nederland; gebaseerd op [12, 113].

11.1.3 Verticaal winmiddel

Verticale winmiddelen zijn over het algemeen verhoudingsgewijs goedkoop. Daarnaast is het relatief eenvoudig om de filterstelling af te stemmen op de bodemopbouw en de gewenste onttrekkingsdiepte.

Waterkwaliteit

Het voordeel van verticale winmiddelen is dat het mogelijk is om tot op grote diepte grondwater te winnen. Bij verticale winmiddelen is de onttrekkingsdiepte flexibeler te kiezen dan bij horizontale winmiddelen. Door het relatief lange filter wordt een menging van waterkwaliteit over het gehele filter onttrokken.

Waterkwantiteit

Een nadeel van verticale winmiddelen is dat de maximale filterlengte afhankelijk is van de samenstelling en de dikte van het watervoerende pakket. Het maximale debiet per put is relatief klein. In de praktijk varieert het debiet per put tussen 30 en 300 m³/uur.

Effecten

Een ander nadeel van een verticale winmiddelen is de grote verlaging van de grondwaterstand, die vooral direct rondom de put optreedt (kleine, maar diepe afpompingskegel). Vooral bij freatische winputten kunnen dalingen van de grondwaterstand schade toebrengen in gebieden met grondwaterafhankelijke natuurwaarden of zettingsgevoelige lagen. Dit kan eventueel worden opgelost door meerdere putten met een klein debiet en verspreid over een groter gebied aan te leggen.

Upconing

Als gevolg van de grote verlagingen van de grondwaterstand kan upconing van zout grondwater optreden. Hiermee moet in het ontwerp van de putten nadrukkelijk rekening worden gehouden, als een zoet-zout-grens in het gebied aanwezig is.

11.1.4 Horizontaal winmiddel

Beperkte ruimte

De capaciteit van een horizontaal winmiddel is veel groter dan die van een verticaal winmiddel in hetzelfde watervoerend pakket. Er zijn dus minder nodig. In vergelijking met verticale winmiddelen is hierdoor de vergravingschade kleiner bij toepassing van HDDW en

radiaalputten. Er kan zelfs grondwater worden gewonnen onder gebieden die niet toegankelijk zijn met een boorstelling zoals bebouwing, natuur of oppervlaktewater. Er is wel relatief veel werkruimte nodig bij het in- en uittredepunt (HDDW) of de schacht (radiaalput).

Bij aanleg van drains ontstaat forse vergravingschade.

Beperkte dikte

Horizontale winmiddelen zijn geschikt om water te winnen uit dunne en/of minder goed doorlatende watervoerende pakketten. Bij dit type winputten wordt de filterlengte niet beperkt door de dikte van het pakket.

Waterkwaliteit

Een andere toepassing is winning van oeverfiltraat. Door een filter evenwijdig aan de as (of stroomrichting) van een rivier aan te leggen, kan het aandeel van oorspronkelijk grondwater worden geminimaliseerd.

Omdat het water bij een horizontale put voornamelijk horizontaal toestroomt, wordt in de regel water van één waterkwaliteit onttrokken. Dit kan in sommige situaties de zuivering vereenvoudigen.

Waterkwantiteit

Over het algemeen kan per put meer water worden gewonnen (of geïnfilterd) vanwege de langere filterlengte.

Effecten winning

In de directe nabijheid is de afpompingsdruk minder groot dan bij verticale winmiddelen. Overigens zijn de effecten op regionale schaal vergelijkbaar met verticale putten.

Upconing

De gelijkmatige winning over een groter gebied reduceert ook het risico op upconing van zout grondwater.

Kans op verontreiniging

Bij horizontale winmiddelen zijn er minder verticale doorboringen van de bodem dan in het geval van een serie verticale putten, hoewel er altijd een kans is op kortsluitstroming via de vergraven delen en inspectieputten. De reistijd vanaf maaiveld is groter dan bij een serie verticale putten in hetzelfde watervoerend pakket. Daarnaast is er een kleinere kans op te korte reistijden vanaf nabijgelegen oppervlaktewater, doordat het water gelijkmatiger langs een lijn wordt onttrokken. Nadeel is wel dat het lastig is om te detecteren dat een deel van de drain verstopt raakt, waardoor de reistijd alsnog ongelijkmatig kan zijn verdeeld. Dit vergt namelijk flowmeting in de drain of stijghoogtemetingen juist buiten de drain.

Putverstopping

De horizontale toestrooming van het grondwater zorgt ook voor een geringere kans op menging van verschillende watertypen dan verticale winmiddelen en reduceert daarmee de kans op chemische putverstopping.

In theorie zijn horizontale putten minder gevoelig voor verstopping als het filter in het meest grove deel van het watervoerende pakket (waar minder deeltjes aanwezig zijn) is geplaatst. Boorgatwandverstopping treedt in de praktijk echter ook op voor horizontale putten

(bijvoorbeeld puttenveld Boerhaar) en is afhankelijk van de gehanteerde snelheid op de boorgatwand.

Nadelen

Een nadeel van een radiaalput is dat de maximale diepte van de putschacht ongeveer 40 m bedraagt. De diepte is dus beperkt in vergelijking met verticale winputten. Een ander nadeel van een horizontale put is dat de kosten relatief hoog zijn. Een derde nadeel van een horizontale put is dat het bewerkelijker is om de put te regenereren bij boorgatwandverstopping. Bovendien zijn niet alle regeneratietools geschikt om via een bocht onderin de stijgbuis te worden ingebracht in de filterbuis.

De consequenties bij uitval of onderhoud aan een horizontale put zijn groter dan bij een verticale, omdat per put een groter debiet wordt onttrokken. Dit vraagt om extra voorzieningen om de leveringszekerheid te garanderen. Dit kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld de put met een aantal pompen uit te rusten of elke filterstreng op een apart reservoir aan te sluiten. Vaak is ook extra back-up-capaciteit nodig.

Bedrijfsvoering

Het versimpelen van de bedrijfsvoering en het reduceren van kosten door een vermindering van te onderhouden putten, terreinleidingen en waterkwaliteitsbeoordelingen.

11.1.5 Gestratificeerd winnen

In een conventionele put stroomt het water over de gehele lengte van het filter toe en mengt vervolgens in de put. Dit is in bepaalde gevallen ongewenst. Het gescheiden winnen biedt een aantal voordelen ten opzichte van conventionele lange winfilters [123]:

- Water van verschillende kwaliteit kan separaat worden gewonnen, zodat aparte zuivering kan plaatsvinden;
- Afvangen van verontreinigingen vanaf maaiveld (zie ook interceptieput);
- Afvangen van zout grondwater bij upconing (zie ook zoethouder);
- Voorkomen van putverstopping door te voorkomen dat verschillende watertypen mengen in de winput;
- Voorkomen van mechanische putverstopping door het tegengaan van kortsluitstroming via het winfilter in perioden dat de winput stilstaat.

11.1.6 Interceptieput

Het komt regelmatig voor dat bodemverontreinigingen uitloggen, waardoor een verontreinigingspluim door een winning wordt aangetrokken. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld vuilstorten of oude gasfabrieken. Vaak is het wenselijk om de verontreiniging met één of twee putten af te vangen, zodat het apart kan worden gezuiverd. Bensen is bijvoorbeeld relatief eenvoudig te verwijderen door strippen, voordat het in de zuivering wordt gemengd met het water van andere putten. Het interceptiewater kan ook worden gebruikt voor een andere toepassing dan drinkwater of worden geloosd op het oppervlaktewater. Voor het juiste ontwerp, de plaatsing en de bedrijfsvoering is vooraf gedegen onderzoek nodig.

Interceptieputten kunnen ook worden gebruikt om horizontale intrusie van brak water tegen te gaan aan de kust (zie ook § 11.1.12).

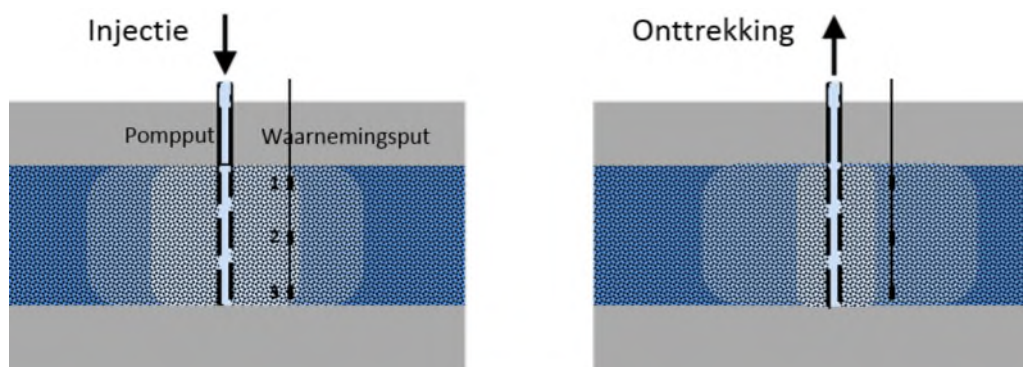
11.1.7 Ondergronds ontijzeren

Het basisprincipe van ondergronds ontijzeren is relatief simpel. Het begint met de injectie van een volume zuurstofhoudend (belucht) water in de waterput. De zuurstof reageert met

het ijzer in de bodem en de gevormde ijzerhydroxiden slaan neer. De neerslag vormt een reactieve laag die tijdens de daaropvolgende onttrekkingsfase als oppervlak voor hechting van ijzer gaat fungeren en in mindere mate mangaan. Hierdoor kan ijzervrij grondwater worden opgepompt. In theorie gaat het om 10 tot 30 maal het volume aan belucht water dat vooraf werd geïnjecteerd. Dit rendement hangt overigens af van de ijzerconcentraties in het grondwater, de zuurgraad en andere locatie-specifieke condities. De techniek is uitsluitend effectief in situaties met $Fe < 10 \text{ mg/l}$, $pH > 6,5$ en een bodem met niet teveel reactieve bestanddelen. Ondergronds ontijzeren vereist een gedegen vooronderzoek en daarnaast een aanpassing van de vergunningsvoorwaarden.

In de praktijk blijkt het rendement vaak lager dan het theoretische rendement. Een mogelijke verklaring is dat wanneer een deelstroom op een bepaalde diepte een hoge concentratie ijzer heeft, het ijzer op deze diepte eerder doorbreekt. Deze laag is dan limiterend voor het rendement [20, 21].

Voordelen ten opzichte van conventionele bovengrondse ontijzering zijn ruimtebesparing op de bovengrondse zuiveringsinstallatie. Ook is bij ondergronds ontijzeren veel minder afvoer van ijzerslib nodig: het ijzer wordt vastgelegd in de ondergrond. Daarnaast kan putverstopping als gevolg van ijzerveerslag worden voorkomen, omdat het ijzer op ruime afstand van de put ondergronds neerslaat. Tot slot wordt vaak ook een deel van arseen gebonden aan de ijzerveerslag [112].



Figuur 11-2 Bodemprofiel rond winput met ondergrondse ontijzering en positie waarnemingsput. In lichtblauw het geïnjecteerde zuurstofhoudende water en in donkerblauw is het originele grondwater weergegeven [20].

11.1.8 Reactiviteit ondergrond vergroten of beter benutten

Bij kunstmatige infiltratie en oeverinfiltratie zijn engineeringmaatregelen mogelijk om organische microverontreinigingen te verwijderen:

- Sequentiële kunstmatige infiltratiesystemen
Door het in serie schakelen van bodempassagesystemen (RBF-ARR, RBF-VZ-DIF) kan voor bepaalde OMIVE's een betere verwijdering worden bewerkstelligd gedurende de bodempassage;
- Verlengen van verblijftijd in bepaald pakket (oxisch of juist anoxisch) door aanpassingen aan de winning;
- Additie van reagentia (zuurstof, ozon, et cetera) aan water bij tijdelijke opslag;
- Implementatie van een reactieve laag op het bodempakket;
- Additie van reactieve vaste fasen (bijvoorbeeld actieve-kool) aan het bodempakket
Het betreft een variant op ondergronds ontijzeren (ondergronds zuiveren). Het idee

achter ondergronds zuiveren is dat hierdoor organische microverontreinigingen sneller afbreken. Deze techniek staat nog in de kinderschoenen [12, 34].

- Aanpassingen in het infiltratiepand dan wel op de oever.

Voor meer informatie wordt verwezen naar Bertelkamp, Hartog [12].

11.1.9 Open infiltratie (BAR)

Bij open infiltratie (Engels: Basin Aquifer Recharge, BAR) wordt het water geïnfiltreerd via een oppervlaktewaterlichaam (infiltratiepand) en ondergaat het een bodempassage voor dat het wordt teruggewonnen.

11.1.10 Diepinfiltratie (ASR, ATR)

Bij Ondergrondse Waterberging (Engels: Aquifer Storage and Recovery, ASR) ondergaat het water een seizoensberging in de ondergrond. Voor infiltratie en terugwinnen worden dezelfde putten gebruikt.

Bij ATR (Aquifer Transport and Recovery) ondergaat het water een bodempassage na injectie via een infiltratieput. Er worden dus verschillende putten gebruikt voor het injecteren en terugwinnen van water. Dit is een continu proces, dat meer is gericht op het verbeteren van de waterkwaliteit. Vaak is er ook sprake van buffer- en voorraadvorming. Het proces wordt daarom ook wel aangeduid als ASTR (Aquifer Storage, Transport and Recovery) [106].

Voordeel van ASR boven open infiltratie is het kleinere ruimtebeslag.

11.1.11 Ondergrondse opslag

Ondergrondse opslag van water voor de bereiding van drinkwater is een bijzondere vorm van diepinfiltratie met als doel om het opgepompte water op te slaan in de ondergrond en vervolgens direct toe te passen als drinkwater.

Belangrijkste voordeel is dat er minder zuiveringscapaciteit, transportcapaciteit of bovengrondse berging nodig is om piekvragen te leveren (pieken scheren, seizoensberging). Ook kan worden bespaard op redundanties in de infrastructuur (calamiteitenberging).

Aandachtspunt is dat de samenstelling van het water niet te veel mag wijzigen in de ondergrond. Dit dient vooraf te worden vastgesteld via een gedegen onderzoek naar de geochemische samenstelling van de bodem [136]. Daarnaast gelden strengere eisen voor de integriteit van de infiltratie- en winmiddelen dan bij reguliere kunstmatige infiltratie in verband met de microbiologische veiligheid.

In Nederland waren enkele kleinschalige ASR-systemen met directe levering van drinkwater actief in bedrijf in de periode 1977 - 1990, waaronder die van PWN op Texel. Deze zijn om uiteenlopende redenen beëindigd (beschikbaarheid van alternatieve bronnen, upconing van zout grondwater of verandering van de waterkwaliteit door pyrietoxidatie [106]). Vooral nog (2019) is er nog één systeem operationeel: dat bij Zoelen met een capaciteit van 250.000 m³/jaar [125]. Dit goed functionerende ASR-systeem wordt door Vitens nauwelijks onderzocht. Blijkbaar is daar geen noodzaak toe [106].

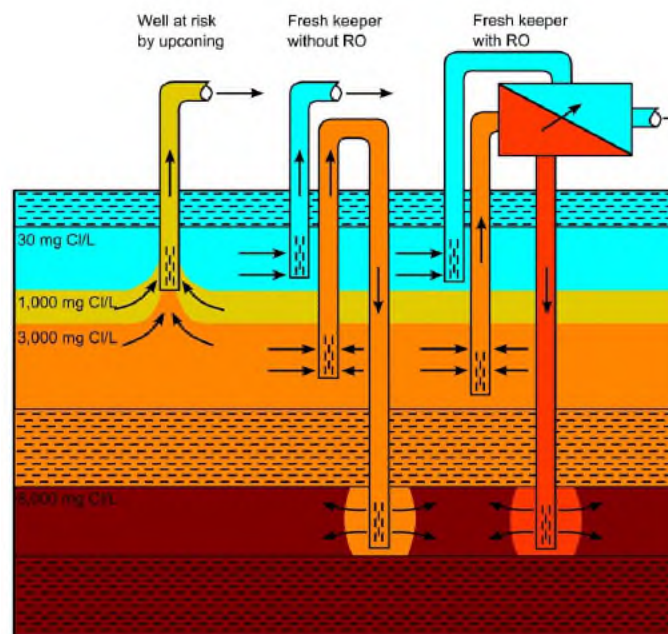
11.1.12 Zoethouder (Freshkeeper)

Een zoethouder is bedoeld om verzilting van winningen te voorkomen door upconing van brak grondwater of horizontale intrusie van zeewater.

Bij upconing van brak grondwater worden twee extra filters geplaatst onder een conventionele put met het filter in zoet grondwater. Het bovenste winfilter wordt gebruikt om zoet water te winnen. Het brakke winfilter staat gelijktijdig aan en dient voor interceptie van brak grondwater. Het onttrokken brakke water kan direct worden geloosd of als extra zoetwaterbron dienen door ontzilting van het grondwater met een omgekeerde osmose (RO). Zie § 11.2.8 voor afweging om diepere filters al dan niet in een apart boorgat te plaatsen.

Het brakke grondwater of RO-concentraat kan in theorie worden geloosd op zeewater, oppervlaktewater, riolering of in de bodem. Concentraat wordt momenteel op verschillende productielocaties geloosd op oppervlaktewater [48]. Lozing in de bodem vindt plaats in een diepere laag. In het geval deze diepere laag een hoger zoutgehalte heeft dan het geretourneerde water, dan heeft dit als bijkomend voordeel dat de zoethouder ook bijdraagt aan verzoeting van het diepere pakket. De vergunbaarheid van de diverse technieken verschilt per provincie en dient bij aanvang van het ontwerptraject te worden uitgezocht (zie PCD 13-1 [121]).

Bij horizontale intrusie van brak grondwater dient het extra brakke winfilter overigens stroomopwaarts te staan van de zoete winputten in plaats van er onder [72].



Figuur 11-3 *Overzicht van zoethouderconcepten bij verziltingsrisico door upconing van brak grondwater. Links: Verzilting van winput, midden: zoethouder zonder Reverse Osmosis, rechts: zoethouder met Reverse Osmosis. [72].*

11.1.13 Selectieve inname

Voor een aantal organische microverontreinigingen zijn de concentraties in de grote rivieren lager in de winter dan in de zomer (door hoge afvoeren, waardoor de concentraties OMIVEs worden verdund of door seizoensgebonden gebruik). Dit verschil zal mogelijk nog groter worden door klimaatverandering [93].

Met selectieve inname kan handig worden ingespeeld op de seizoensdynamiek van OMIVE door vooral in de winter water in te nemen en dit tijdelijk op te slaan in een dieper pakket in

de bodem. Dit water kan dan in de zomer worden gebruikt, als de concentraties OMIVES hoger zijn in de rivier of ten tijde van een innamestop [12, 109].

11.2 Keuze winmiddel

In deze praktijkcode zijn de volgende winmiddelen beschouwd:

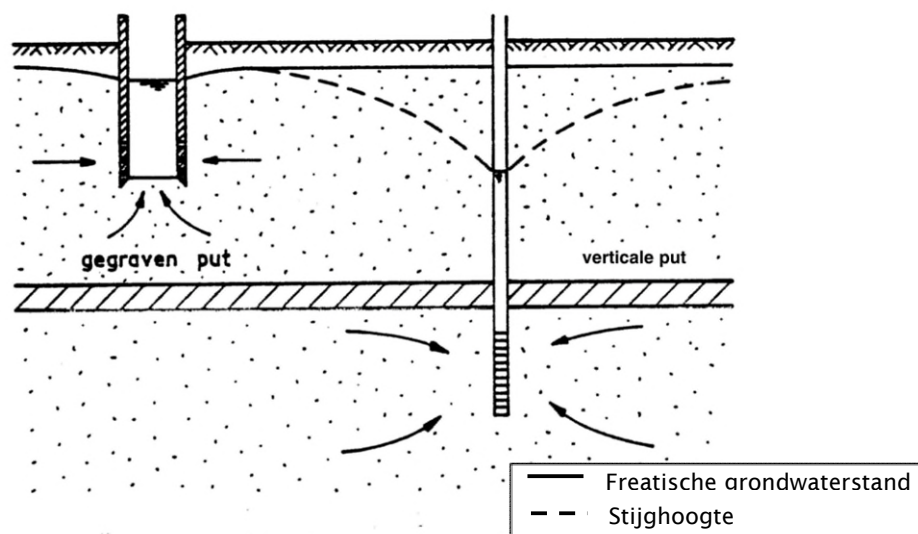
- Verticale put;
- Radiaalput;
- Drain;
- Kanaal;
- HDDW;
- Infiltratiepand;
- Diepinfiltratieput;
- Monobron;
- MPPW.

De keuze van het juiste type putten hangt deels af van het gekozen winconcept (zie Tabel 11-1). Daarnaast zijn er ook meer bedrijfsmatige overwegingen om voor een bepaald type put te kiezen of die het rendement verhogen. Deze overwegingen worden hierna toegelicht.

11.2.1 Verticale put

Door middel van verticale winputten kan grondwater worden gewonnen uit zowel ondiepe als diepe watervoerende pakketten (zie Figuur 11-4). In uitzonderlijke gevallen wordt in Nederland voor de waterwinning ten behoeve van de bereiding van drinkwater geboord tot 400 m diepte.

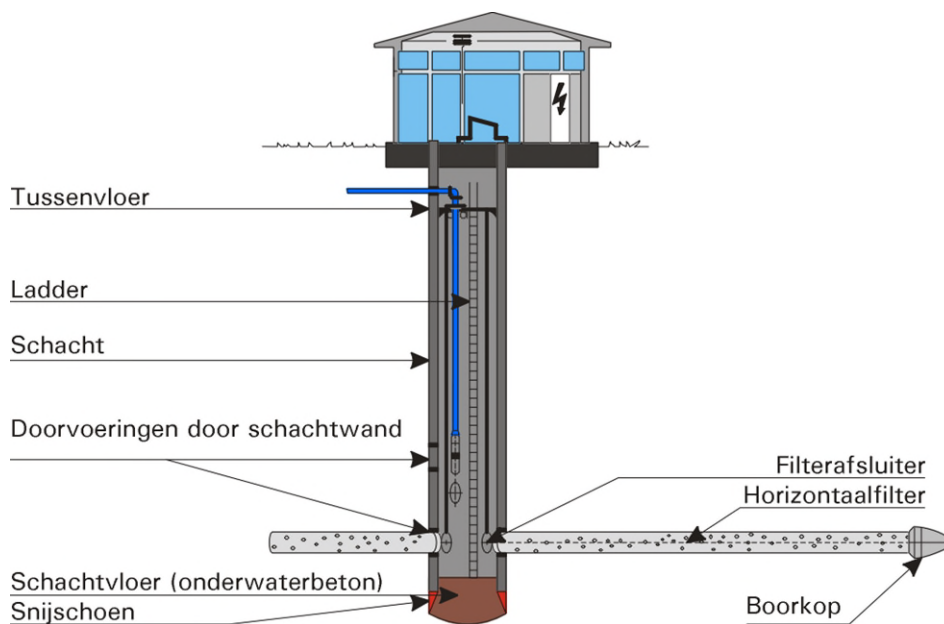
Verticale winputten worden ook toegepast voor het winnen van oeverfiltraat en kunstmatige infiltratie. In dat geval worden veel ondiepe winputten met een relatief korte filterlengte gebruikt. Bij de toepassing van te diepe en/of lange winputfilters zou het aandeel oorspronkelijk grondwater te groot kunnen worden.



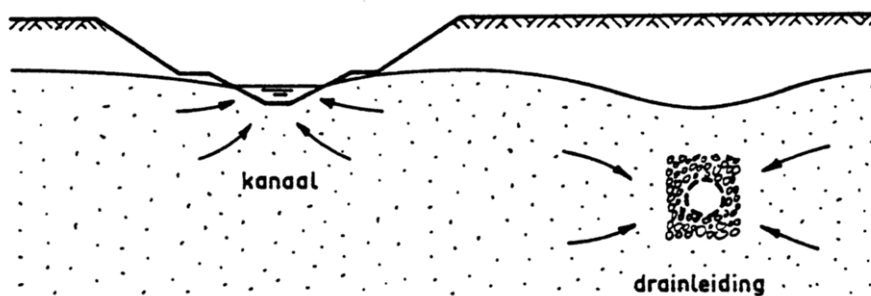
Figuur 11-4 Grondwateronttrekking met verticale winmiddelen.

11.2.2 Radiaalput

Een radiaalput bestaat uit een aantal horizontaalfilters die vanuit een verticale schacht zijn geboord. De maximale filterlengte bedraagt ongeveer 90 m. In een schacht met een binnendiameter van 2,90 m kunnen op een en hetzelfde niveau acht strengen worden aangebracht met een gezamenlijke maximale filterlengte van 720 m. Bij 'natte' radiaalputten stroomt het water direct uit het winfilter naar de schacht en wordt het water uit de schacht gepompt. In radiaalputten met een droge schacht is ieder filter aangesloten op een individuele leiding naar boven met een eigen onderwaterpomp.



Figuur 11-5 Radiaalput.



Grondwateronttrekking met horizontale winmiddelen

Figuur 11-6 Grondwateronttrekking met drains en kanalen.

11.2.3 Drainage

Drains zijn ingegraven horizontale geperforeerde buizen. Bij aanleg met een drainagemachine is de maximale diepte beperkt tot circa 7 m onder maaiveld. De capaciteit is vaak beperkt vanwege de geringe diepte tot maximaal 1 m³/uur per strekkende meter (winning Ouddorp).

Drains worden in de drinkwatersector toegepast voor het winnen van kunstmatig infiltratiewater (voorgezuiverd oppervlaktewater) na bodempassage in de duinen. Internationaal worden ze ook veel toegepast voor het winnen van oeverinfiltraat of worden in de bedding van een oppervlaktewaterlichaam gelegd.

11.2.4 HDDW

HDDW staat voor Horizontal Directionally Drilled Well (horizontaal gestuurd geboorde put). Vanaf maaiveld wordt eerst schuin naar beneden geboord tot de gewenste diepte, dan horizontaal en aan het eind weer omhoog. In het horizontale deel komt de filterbuis en hier wordt het water gewonnen op vergelijkbare wijze als een drain [82].

Ook in Nederland wordt de techniek van het horizontaal gestuurd boren regelmatig toegepast in combinatie met een natuurlijke omstorting. Dat is bijvoorbeeld het geval bij bodemsaneringen en bij de opslag en het terugwinnen van zoet water in de landbouw [137].

In homogene, fijnzandige aquifers zoals de duinen is het noodzakelijk om de HDDW te voorzien van een kunstmatige omstorting. Na diverse pilotboringen [cf. 117] is in 2015 bij drinkwaterbedrijf Dunea een proef op veldschaal uitgevoerd (de rapportage daarvan is nog niet afgerond).

Voor een HDDW is er minimaal 5 m zanddek nodig in verband met de kans op groundbreuk. De aanlegdiepte van een HDDW is daarom minimaal 5 m beneden maaiveld en de einddiepte 40 m. Diepere putten zijn ook mogelijk, maar dan wordt op een 'dead end' manier geboord, wat inhoudt dat de boring aan het eind niet meer omhoog komt.

De toepassingsmogelijkheden van een HDDW zijn voor een groot deel vergelijkbaar met de drain en de radiaalput. Een extra voordeel ten opzichte van de drain en een serie ondiepe winputten is dat er geen vergravingschade optreedt tussen het intrede- en uittrede punt. Hier staat tegenover dat er ruimte nodig is voor het inbrengen van de buizen en dat de boorinstallatie zelf meer ruimte inneemt dan voor een verticale winput. Een extra voordeel ten opzichte van radiaalputten is dat de HDDW filters veel langer kunnen zijn (tot circa 500 m [82]).

11.2.5 Kanaal

Soms wordt gebruik gemaakt van open water voor het terugwinnen van grondwater. Dat gebeurt bijvoorbeeld in de Amsterdamse waterleidingduinen (waterbedrijf Waternet). Voordeel is dat de kanalen ook een extra berging bieden, die snel beschikbaar is. Nadeel is dat het water hierdoor weer microbiologisch verontreinigd kan raken. Er is dus een zwaardere microbiologische nazuivering nodig.

11.2.6 Infiltratiepand

Infiltratiepanden zijn oppervlaktewaterlichamen waar water wordt aangevoerd.

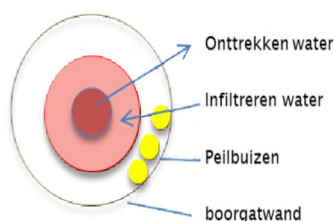
11.2.7 Diepinfiltratieput

Diepinfiltratieputten lijken qua opbouw op verticale winputten. Er zijn vaak extra voorzieningen om water zowel te injecteren als op te pompen (backflushen). Ook worden grotere diameters toegepast, om verstopping te beperken.

11.2.8 Putconfiguratie voor gestratificeerd winnen (MPPW)

Er zijn verschillende bronconfiguraties mogelijk om het water gescheiden te winnen:

- *Aparte boorgaten*
Door het plaatsen van verschillende putten naast elkaar (in aparte boorgaten). Dit is de meest robuuste oplossing, maar brengt ook extra boorkosten met zich mee.
- *MPPW*
Het betreft het in één boorgat plaatsen van verschillende stijgbuizen met elk een eigen filterbuis. Nadeel is dat de diameter per stijgbuis wordt beperkt en de omstorting vrij dik is. Deze techniek wordt aangeduid als Multi Partially Penetrating Wells (MPPW), als er meerdere onvolkomen filters in één pakket worden geplaatst. Deze constructie wordt in de Nederlandse glastuinbouw toegepast (zie voorbeeld MPPW).
- *Duoput*
Het gaat om het fysiek scheiden van de waterstromen van verschillende filters door het plaatsen van een binnenbuis of afdichters. Voordeel is dat beide filters middenin het boorgat zijn gepositioneerd. In de WKO-sector was het gebruikelijk om twee filters onder elkaar te plaatsen, waarbij de stijgbuis van het onderste filter door het midden van de bovenste filterbuis wordt bevestigd. Het onderste filter wordt dan bijvoorbeeld gebruikt voor het onttrekken van koud water, terwijl gelijktijdig warm water in het bovenste filter wordt geïnjecteerd. Deze techniek is ook toegepast in de waterwinning bij Kerk-Avezaath (zie voorbeeld).
- *Meerdere aanzuigpunten*
Het is mogelijk om het water in één open buis gescheiden te winnen door meerdere onderwaterpompen of haalbuizen op verschillende diepte te installeren. De debieten per pomp moeten dan zodanig worden afgesteld dat de scheiding van water in de filterbuis overeenkomt met de overgang in waterkwaliteit. Deze oplossing is flexibel en ook toepasbaar in bestaande winputten. Nadeel is dat de methode lastiger is om in te regelen.



Figuur 11-7 Bovenaanzicht putontwerp monobronstelsel (duoput) met drie waarnemingsputten [123].

11.2.9 Meet- en regelconcepten bij gestratificeerd winnen

In het geval er geen scheidende laag is tussen de verschillende filters is het noodzakelijk om de putdebieten aan te sturen op basis van de positie van waterkwaliteitsgrensvlakken in de ondergrond. Dit vergt monitoring van verschuivingen van deze grensvlakken. Monitoring kan

bestaan uit handmetingen of een continue registratie via sensoren, waarbij de inzet van sensing kosteneffectiever wordt naarmate de meetfrequentie toeneemt. Vooral nog zijn er uitsluitend goede ervaringen met sensoren die EGV, TDS en temperatuur meten. Andere sensoren vergen regelmatige calibratie en onderhoud (O_2 , pH, NH_4^+) en/ of zijn minder betrouwbaar (NO_3^-). Voor temperatuurmetingen kan ook gebruik worden gemaakt van glasvezelkabels (DTS, Distributed Temperature Sensors).

Intermezzo 11-1. Voorbeeld Multiple Partially Penetrating Wells (MPPW) bij opdrijven zoetwaterlens

De conventionele putsystemen die voor ASR worden toegepast, bestaan uit één buis, waarbij op één diepte water wordt geïnjecteerd en onttrokken. Gebleken is dat in brakke of zoute aquifers het zoete water opdrijft waardoor onderin de winput al snel brak water wordt aangetrokken. Hierdoor is het overgrote deel van het geïnjecteerde zoete water niet terugwinbaar, resulterend in een relatief laag rendement. Uit experimenten in het Westland ('s Gravenzande) is gebleken dat het rendement van deze systemen kan worden verhoogd door het water onderin de aquifer te injecteren en ondieper terug te winnen. Volgens SEAWAT berekeningen kon op deze locatie het theoretische rendement zelfs worden verhoogd van 35% naar 60% [138].

In de praktijk was het rendement overigens een stuk lager als gevolg van een slecht afgedichte (of opengebarsten) WKO bron in de directe nabijheid van de MPPW. Door dit gat in de onderliggende scheidende laag begon de bron al snel zout water aan te trekken. Het bleek niet mogelijk dit gat goed af te dichten. Alternatieve oplossing was om de lekstroom via de diepe filters separaat te winnen en via een brak water RO te zuiveren [139].

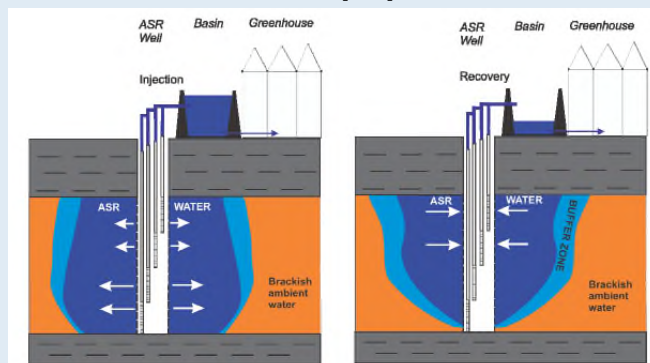


FIG. 2.25. Principe van MPPW: een groter volume wordt onderin het watervoerende pakket geïnfilteerd, gevolgd door terugwinning van een groter volume bovenin (naar Zuurbier, 2012).

Figuur 11-8 Principe van MPPW: een volume zoet water wordt onderin het watervoerend pakket geïnfilteerd gevolgd door terugwinningen via een ondiep winfilter [139].

Intermezzo 11-2 Voorbeeld Monobron Kerk-Avezaath [123]

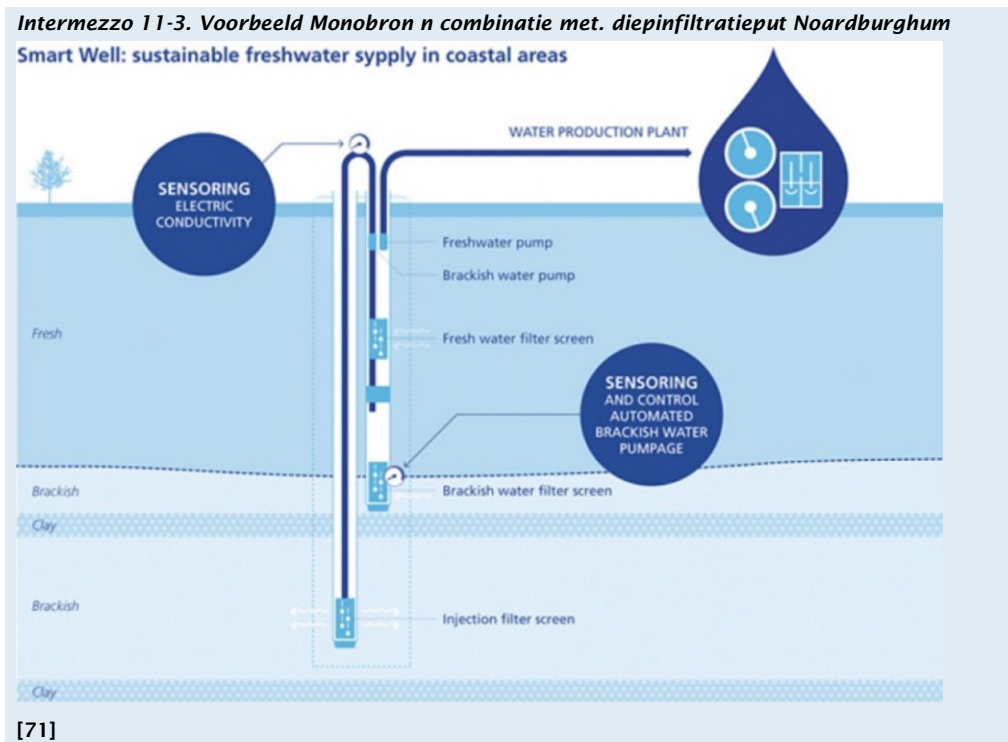
In Kerk-Avezaath zijn er drie winputten met een filter in het tweede en derde watervoerend pakket. De putten verstopten zodanig snel dat ze ieder half jaar moesten worden geregenereerd. Tijdens de chemische regeneratie bleek dat er chloor in de ondergrond verdween. Hierdoor (en door filterflowmetingen) ontstond het besef dat de putten vooral uit het bovenste filter onttrokken, waardoor een grote afpomping ontstond in dit pakket. Dit resulteerde in een onbedoelde kortsluitstroming van 25 m³/uur van het diepe naar het ondiepe filter in perioden dat de winput was uitgeschakeld, waardoor de diepere filters nog sneller verstopt raakten.

Oplösungen:

- In twee winputten is een balg aangebracht tussen de twee filters. Via een doorvoer in de balg wordt het water uit het diepe filter onttrokken met een tweede onderwaterpomp. De pompen worden zodanig bedreven dat beide filters een vergelijkbare afpomping hebben. De filters

staan hierdoor niet meer met elkaar in verbinding en verstopen niet verder. De kosten voor aanpassing bedroegen circa € 15.000,- per put (prijspeil 2005).

- In de derde winput is vanwege leveringszekerheid gekozen om het diepe winfilter te dempen en vervangen door een naastgelegen nieuwe winput met uitsluitend een diep filter. De kosten daarvan: circa € 100.000,- per put (prijspeil 2005).



11.3 Benodigd aantal winputten

In de voorgaande hoofdstukken zijn de belangrijkste uitgangspunten voor het ontwerp van het puttenveld aan bod gekomen:

- De maximale watervraag (§ 6.2);
- De gemiddelde watervraag (§ 6.2);
- Het winconcept en type putten (§ 11.2).

De volgende stap is het vertalen van de watervraag naar het benodigde aantal putten op het puttenveld. Hierbij spelen de volgende aspecten:

- De maximale onttrekkingscapaciteit per winput (kortdurend);
- De duurzaam onttrekbare hoeveelheid per winput (maximale draaiuren);
- De benodigde reservestelling voor uitval door falen of onderhoud.

Maximale onttrekkingscapaciteit

De maximale onttrekkingscapaciteit wordt bepaald door de dimensies van de winput (diameter boorgat, lengte filter), de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand en de afpompingsnelheid. De lengte van het filter, afpompingsnelheid en snelheid zijn afhankelijk van de

ondergrond en verschillende dus per locatie. Voor de ontwerpaspecten van een individuele verticale winput wordt verwezen naar hoofdstuk 12.

Duurzaam onttrekbare hoeveelheid

De duurzaam onttrekbare hoeveelheid water per winput is afhankelijk van de lokale geohydrologische en hydrochemische omstandigheden. Limiterend hierbij zijn bijvoorbeeld ongewenste hydrochemische aspecten zoals upconing van brak grondwater. Daarom dient ter controle een berekening plaats te vinden of er kans is op upconing. Het ontwerp (aantal winputten en verdeling) kan dan eventueel worden aangepast. Ook moet rekening worden gehouden met verstopping van de put en de hiermee gepaard gaande (tijdelijke) toename van de afpompings- en toename van de onderhoudsfrequentie. Een groter aantal putten met een lagere capaciteit kan hierdoor in sommige gevallen economisch gezien de voorkeur hebben ten opzichte van een kleiner aantal putten met grotere capaciteit.

Het maximale verstoppingsvrije windebiet kan worden bepaald door analyse van de bedrijfsvoering en verstoppingsnelheid van putten op een bestaand puttenveld. In [133] zijn verschillende methoden beschreven.

Soms zijn deze gegevens niet voorhanden, bijvoorbeeld omdat de putten altijd ver boven of beneden het maximale verstoppingsvrije belasting zijn bedreven. In dergelijke gevallen kan als vuistregel worden aangehouden dat een put bij minder dan 60% belasting niet verstopt.

Richtlijn 14 Houd bij het ontwerp van het puttenveld rekening met uitval van putten door storingen/schade en onderhoud.

Reservestelling

Een put kan uitvallen door een storing of beschadiging en kan dan niet bijdragen aan de productie. Om deze reden is het verstandig om reservestelling in te bouwen. Tijdens onderhoud is een put buiten gebruik. Hoewel onderhoud in veel gevallen is te plannen buiten de piekvraagperiodes, kan een sterk verstoppend puttenveld om een hogere reservestelling vragen. In de praktijk blijkt het lastig om onderhoud altijd buiten de periode met piekvraag te plannen, omdat verstoppingen niet altijd lang van te voren voorspelbaar zijn en er tijd nodig is voor interne procedures, inhuur en beschikbaarheid van regeneratiefirma's. Het is dan ook verstandig om bij dergelijke puttenvelden een hogere reservestelling op te nemen in het ontwerp.

De mate van reservestelling is afhankelijk van de functie van de putten binnen het leveringssysteem en verschilt per puttenveld. Een infiltratieput in een ATR-systeem kan bijvoorbeeld wel enige tijd buiten bedrijf zijn, zonder dat de leveringszekerheid in het gedrang komt. Een infiltratieput voor een RO-installatie mag niet uitvallen, omdat dan de productie van RO-water ook direct stopt en daarmee de levering van drinkwater.

Bedrijven hanteren op dit moment verschillende uitgangspunten. Brabant Water houdt bijvoorbeeld rekening met twee extra putten per puttenveld: één voor planmatig onderhoud en één voor uitval. WML gaat uit van de vuistregel dat per 10 putten minimaal één put mag uitvallen zonder consequenties voor de levering.

Als vuistregel wordt geadviseerd om uit te gaan van één reserveput per 20 winputten voor uitval, dus 1 reserveput bij 1 tot en met 20 winputten, 2 reserveputten bij 21 tot en met 40 putten, et cetera. Op snel verstoppende puttenvelden dienen twee keer zoveel reserveputten te worden aangehouden: dus 2 reserveputten per 10 winputten. Met 'snel verstoppend

puttenveld' wordt bedoeld een locatie waar de specifieke volumestroom binnen een periode van 12 maanden van 100% naar 70% (= regeneratiecriterium) terugloopt.

Voor infiltratie van RO-concentraat wordt een grotere reservestelling gehanteerd, omdat een onderbreking hier direct tot een stop van het gehele zuiveringsproces zou leiden. PWN hanteert bijvoorbeeld 1 reserveput per 3 infiltratieputten.

Verder moet er rekening mee worden gehouden dat de veldomstandigheden zodanig kunnen zijn dat niet bij alle winputten dezelfde putcapaciteit haalbaar is. Tijdens de bij de oplevering uitgevoerde capaciteitsmetingen worden de maximaal toelaatbare afpompingen bepaald en mede op grond daarvan de definitieve nominale capaciteiten.

Het is theoretisch gezien mogelijk om vooraf een verwachtingswaarde (bandbreedte) voor het benodigde aantal putten te bepalen op basis van de variatie in capaciteit van de bestaande putten (of variatie in bodemopbouw bij een nieuw puttenveld). Als vuistregel wordt geadviseerd om bij aanleg van een nieuw winveld of vervanging van meer dan drie winputten ruimte te reserveren voor één extra winput als de capaciteit na aanleg blijkt tegen te vallen.

Rekenvoorbeeld: aantal winputten

Tabel 11-2 geeft een voorbeeldberekening van het benodigde aantal winputten. Alle varianten hebben een gemiddelde watervraag van 500 m³/uur en een piekwatervraag van 750 m³/uur gebaseerd op een piekfactor van 1,5. Variant 1 heeft een belastingsgraad van 50%, waarbij de putten naar verwachting nooit zullen verstopten. Hierdoor is de gemiddelde capaciteit per put slechts 50 m³/uur (100 m³/uur * 50%). Het aantal putten op basis van de gemiddelde watervraag is 10 (500 m³/uur gedeeld door 50 m³/uur per put). Voor het leveren van de piekvraag zijn afgerond 8 putten nodig (750/100). Hier moet nog 1 put bij worden opgeteld als reserve bij uitval. De 10 putten nodig voor de gemiddelde situatie is dus maatgevend.

In variant 2 worden de putten zwaarder belast (60%) waardoor 1 put minder nodig is voor de gemiddelde watervraag. De putten zullen hierdoor incidenteel verstopten, maar de verwachting is dat de verstoppingsnelheid langzamer is dan 1 jaar. Het benodigde aantal putten bedraagt 9 in plaats van 10.

In variant 3 worden de putten nog zwaarder belast (70%). Dit bespaart weliswaar nog een put voor de gemiddelde watervraag, maar dit is weinig zinvol aangezien de piekwatervraag maatgevend wordt. Sterker nog, omdat er zeer snelle putverstopping kan optreden, moet een extra put worden gereserveerd.

In § 17.1 is uitgewerkt hoe de economische haalbaarheid van de varianten kan worden vergeleken.

Tabel 11-2: Voorbeeldberekening van benodigde aantal winputten

Onderdeel		Optie 1 verstoppings vrij	Optie 2 piekvraag	Optie 3 minder putten
Debiet				
Gemiddelde watervraag	m3/uur	500	500	500
Piekfactor	-	1.5	1.5	1.5
Maximale Watervraag		750	750	750
Capaciteit				
Maximale capaciteit winput	m3/uur	100	100	100
Belasting	%	50%	60%	70%
Gemiddelde capaciteit winput	m3/uur	50	60	70
Snelheid verstopping		>1 jaar	> 1 jaar	<1 jaar
Aantal putten				
Aantal o.b.v. <u>gemiddelde</u> watervraag	-	10	9	8
Nominaal aantal o.b.v. <u>piekwatervraag</u>	-	8	8	8
Reserve i.v.m. uitval	-	1	1	1
Reserve i.v.m. snelle verstopping	-			1
Aantal o.b.v. piekwatervraag	-	9	9	10
Maatgeven aantal putten	-	10	9	10

11.4 Configuratie van het puttenveld

Richtlijn 15 Plan putten op locaties die geschikt zijn als bouwlocatie (voldoende ruimte, bereikbaar, kabels & leidingen) en voldoen aan de regels ten aanzien van grondwaterbescherming, zoals die zijn vastgelegd in de provinciale omgevingsverordening en vergunningen. Check of de beoogde locaties niet worden uitgesloten door andere planzones (= BRL 2101 Eis 4).

Behalve door de duurzaam onttrekbare hoeveelheid water per put wordt het maximum aantal putten op een puttenveld mede bepaald door het beschikbare oppervlak van de winplaats en de benodigde onderlinge afstand.

De beschikbare ruimte wordt bepaald door de eigendomssituatie (of huurafspraken) die bepalen waar putten kunnen worden gebouwd. Daarnaast moet bij het ontwerp van een puttenveld rekening worden gehouden met de ligging van beschermingszones. Nieuw geboorde winputten dienen zodanig te zijn gesitueerd dat er sprake is van een verblijftijd van ten minste 60 dagen van de grens van het waterwingebied. Daarnaast hebben de provincies Drenthe, Noord-Holland, Utrecht, Zeeland en Zuid-Holland als eis dat de putten op minimaal 30 m afstand liggen van de grens van het waterwingebied. Voor Overijssel is dat 60 m. Bij de start van het ontwerp moet worden gecontroleerd wat de actuele provinciale eisen zijn. Via Milieu- en Ruimtelijk Ordeningsbeleid worden door Provincies regels gesteld aan minimale afstanden tot begraafplaatsen, stortplaatsen en andere type inrichtingen.

Actieve putten dienen op een minimale afstand van elkaar te staan die voldoende reactietijd geeft bij een calamiteit bij één van de putten (mits die in hetzelfde watervoerend pakket staan). Dit is primair bedoeld om te voorkomen dat een verontreiniging van één put onbedoeld naar een andere winput kan stromen als de verontreinigde winput uit productie wordt genomen. Dit risico wordt vermeden door een minimale reistijd tussen de putten te hanteren. De afstand is daarnaast bedoeld om de onderlinge beïnvloeding door afpompings te beperken. Als putten te dicht bij elkaar staan, neemt de afpompings toe waardoor de pompen eerder droog komen te staan en het energieverbruik van de winning toeneemt (al valt dit effect na enkele meters onderlinge afstand al mee). De benodigde afstanden zijn te bepalen door middel van scenarioberekeningen met een hydrologisch model. Het alternatief is om gebruik te maken van een vuistregel, bijvoorbeeld 100 m afstand bij een putcapaciteit van 100 m³/uur.

Bij het positioneren van winputten verdient het meestal de voorkeur om putten zoveel mogelijk over het puttenveld te verdelen en in de nabijheid van de ruwwaterleidingen te situeren. Hierbij geldt wel een aantal kanttekeningen:

- Putten die zijn 'opgesloten' in het midden van het puttenveld lopen een groter risico op verzilting door opkegelen van dieper brak water en aantrekken van antropogene verontreinigingen uit ondiepe pakketten. Het heeft dus de voorkeur om winputten in dergelijke situaties in twee rijen aan te leggen.
- Er zijn ook situaties denkbaar waarbij de putten worden geconcentreerd in een bepaalde hoek van het puttenveld. Bijvoorbeeld als dit leidt tot een betere waterkwaliteit (door verplaatsing van het zwaartepunt van de winning). Interceptieputten dienen te worden geplaatst in de richting waaruit de ongunstige waterkwaliteit toestroomt. Vaak wordt een grotere afstand gehanteerd tot de overige putten om te voorkomen dat die verontreinigd raken door menging of bij uitval van de interceptieput (de benodigde afstand moet worden gecontroleerd door middel van hydrologische modelberekeningen).

11.5 Pompsysteem

11.5.1 Type pompsysteem

Doel van het pompsysteem is om het grondwater uit de winput naar de zuiveringsinstallatie te transporteren. In Nederland worden drie type systemen toegepast:

- Onderwaterpompen;
- Vacuümpompen (centrifugaalpompen);
- Vrij verval.

Op de meeste puttenvelden wordt gebruik gemaakt van onderwaterpompen. Dit heeft een aantal voordelen:

- Elke put is individueel regelbaar;
- het ruwwatersysteem is onder overdruk wat het risico op verontreiniging van het water beperkt;
- dankzij de langwerpige (staaformige) constructie kan de pomp goed in de verticale put worden gehangen;
- het grondwater kan direct worden verpompt, zonder dat eerst hoeft te worden ontlicht;
- de pomp is bedrijfszeker en vraagt weinig onderhoud door zijn relatief eenvoudige constructie.

Nadelen zijn:

- hoge investeringskosten, omdat per put een pomp met een meet- en regelsysteem nodig is;
- De energetische efficiëntie van bronpompen is relatief laag, waardoor het stroomverbruik hoog is.

In bijzondere gevallen kan een systeem met collectieve vacuümpompen gunstig zijn. Het gaat hierbij om locaties waar ondiep grondwater wordt gewonnen, grondwaterstanden hoog zijn en de capaciteit per individuele put laag is. Een voorbeeld van een dergelijke situatie is de terugwinning bij kunstmatige infiltratie vanuit infiltratiebekkens in de duinen met tientallen tot honderden winputjes. In deze gevallen is een centraal vacuümsysteem waar de putjes met haalbuizen op zijn aangesloten economisch en bedrijfstechnisch gunstiger dan

elke put uitrusten met een eigen pomp en aansturing. Veel van de winningen met vacuümsystemen in Nederland kampen met chemische putverstopping. Bijkomend voordeel van het vacuümsysteem is dat er geen onderwaterpomp hoeft te worden verwijderd voor regeneratie van de put.

Vacuümsystemen kennen een aantal aandachtspunten. Een vacuümpomp bevat meestal een geïntegreerde haalbuis, waardoor de aansluitleiding zonder aanpassingen vaak lastig is te reinigen. Een tweede aandachtspunt is de ligging van de transportleidingen voor ruwwater ten opzichte van de grondwaterstanden. Als er een lekkage optreedt bij een vacuümsysteem zal afhankelijk van de positie lucht of water het ruwwatersysteem binnendringen. Zolang de leiding boven de grondwaterspiegel ligt, zal het gaan om lucht wat wordt opgemerkt door het teruglopen van het vacuüm. Als de leiding onder grondwaterniveau ligt, zal lokaal grondwater de leiding binnendringen. Dit is moeilijk detecteerbaar. Zowel het aanzuigen van omgevingswater als van lucht kan resulteren in verontreiniging (opnieuw) van het opgepompte grondwater.

Om te voorkomen dat bij een lekkage de onderdruk in een groot deel van het systeem wegvalt, worden zogenaamde hevelonderbrekers aangebracht (zie § 13.2).

In de Amsterdamse waterleidingduinen (waterbedrijf Waternet) wordt het water uit de drains onder vrij verval verzameld en gereguleerd met stuwen (zogenoemde uitstroombakken). Dit systeem werkt uitsluitend wanneer er voldoende verval is tussen de putten/drains en een centraal verzamelpunt.

11.5.2 Frequentieomvormers

Op de meeste puttenvelden wordt het windebiet aangepast aan de watervraag van de zuivering door pompen aan- of uit te schakelen. Een alternatief is om het debiet van putten aan te passen door middel van frequentieomvormers. Dit heeft als voordeel dat het debiet exact kan worden gereguleerd op de vraag.

Daarnaast is het zo dat bij iedere putschakeling er veel deeltjes vrijkomen. Met frequentieomvormers kan het aantal putschakelingen worden beperkt en zo wordt voorkomen dat de zuivering bij iedere putschakeling wordt belast met deeltjes. Vooral RO-installaties kunnen daar slecht tegen. Het risico van te weinig schakelen is dat de putten snel mechanisch verstopten.

In het verleden werd gedacht dat door geleidelijk optoeren van een pomp mechanische verstopping kon worden voorkomen. Inmiddels is bekend dat dit juist mechanische verstopping in de hand werkt. Het in één keer met vol debiet inschakelen van een put kan in theorie juist mechanische putverstopping voorkomen of vertragen [80, 81]. Deze maatregel is toegepast in Baanhoek, maar de effectiviteit is overigens nog niet vastgesteld. Frequentieomvormers kunnen worden ingezet om mechanische verstopping te voorkomen door een put op een hoog toerental in te zetten. Hierdoor worden deeltjes in de omstorting los gemaakt. Zo nodig kan daarna worden teruggetoerd naar het gewenste debiet.

Op puttenvelden met mechanische verstopping heeft dan ook de voorkeur om frequentieomvormers per individuele winput te installeren en niet per groep putten. Dit biedt meer flexibiliteit om putverstopping tegen te gaan.

Bij chemische verstopping kan de verstopping juist worden beperkt door winputten zo gelijkmatig mogelijk te bedienen. Een frequentie-omvormer kan daarbij helpen. Op dergelijke puttenvelden is een frequentie-omvormer per winput overbodig.

Soms wordt ervoor gekozen om een deel van de winputten te voorzien van frequentieomvormers en zo het debiet en/of de waterkwaliteit te finetunen op de watervraag en/of grenswaarden van de zuivering.

11.6 Lozingspunt

Bij het ontwerp van het puttenveld dient rekening te worden gehouden met vrijkomend water bij het ontwikkelen en de regeneratie van de winputten en het schoonmaken van de terreinleidingen. Bij deze activiteiten komt een stroom water vrij die in de meeste gevallen niet direct op lokaal oppervlaktewater kan worden geloosd. Aandachtspunten bij lozing zijn de troebelheid, de redoxtoestand en eventuele resten van ontwikkel- of regeneratiechemicaliën. Er zijn de volgende opties:

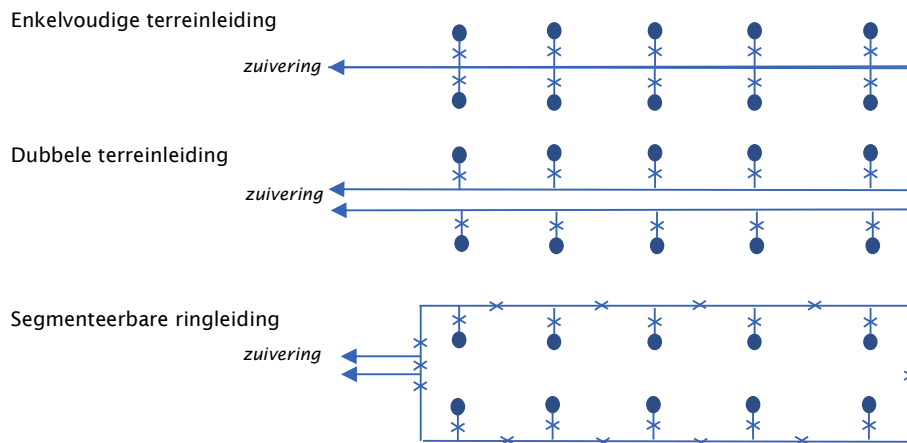
- Lozing op oppervlaktewater, eventueel na menging/bufferen in een bassin;
- Infiltratie via een bassin (bijvoorbeeld het bassin dat wordt gebruikt voor reststoffen van de zuivering);
- Lozing op maaiveld;
- Afvoer per as.

Bij zuurstofhoudend ijzerarm grondwater kan worden volstaan met vloeien over het maaiveld (mits de bodem over voldoende infiltratiecapaciteit beschikt) of directe lozing op lokaal oppervlaktewater. Bij anaeroob grondwater of gebruik van chemicaliën is dit niet zonder meer mogelijk. In deze gevallen is beluchting en neutralisatie van de chemicaliën noodzakelijk. Bij ijzerhoudend grondwater zal het aanwezige ijzer oxideren en uitvlokken. Bij de inrichting van het lozingspunt moet hiermee rekening worden gehouden door bijvoorbeeld een bezinkingsstap of door het lozingspunt te combineren met de slibvijver.

11.7 Tracé ruwwaterleiding

De ruwwaterleiding verbindt de winputten met de zuivering. Het is belangrijk om het ruwwatersysteem flexibel en gesegmenteerd uit te voeren, zodat bij falen van één deel van het systeem niet de gehele winning uitvalt. Individuele putten dienen te worden aangesloten met aansluitleidingen en een afsluiter. Bij sommige winningen zijn de putten in meerdere groepen opgesplitst met ieder een eigen ruwwaterleiding, zodat maar een deel van de winning uitvalt bij een leidingbreuk. Soms zijn de putten zodanig ingedeeld dat iedere groep een verschillende waterkwaliteit heeft met een aparte zuiveringsstraat. In Figuur 11-9 zijn verschillende configuraties schematisch weergegeven.

Bij cruciale ruwwatertransportleidingen kan worden overwogen om deze dubbel uit te voeren, zodat bij onderhoud of falen de winning niet in gevaar komt. De noodzaak voor redundancies hangt ook af van de omvang van de winning en in hoeverre het mogelijk is om de levering over te laten nemen door andere winningen in het geval die zou uitvallen. Dit is dus een distributievraagstuk.



Figuur 11-9 Voorbeelden van configuraties ruwwaterleidingen.

11.8 Maatregelen overstromings-robuste winning

Het puttenveld dient bestand te zijn tegen redelijkerwijs te verwachten overstromingen door neerslag of doorbraken van niet-primaire waterkeringen. Uitgangspunt hierbij is dat tijdens een onverhoopte inundatie de drinkwaterlevering doorgang kan vinden. Het in bedrijf houden van een winput zorgt ervoor dat het water van de formatie naar de put toe blijft stromen. Dit voorkomt dat verontreinigd water via de put de formatie indringt. Wel moet het drinkwaterbedrijf overwegen om dit water te spuien en niet te gebruiken voor de productie in verband met microbiologische en chemische verontreinigingsrisico's bij putten met kans op kortsluitstroming. Het handhaven van de druk in de ruwwaterleiding is bovendien een effectieve manier om verontreinigingen van de leidingen door een overstroming te voorkomen.

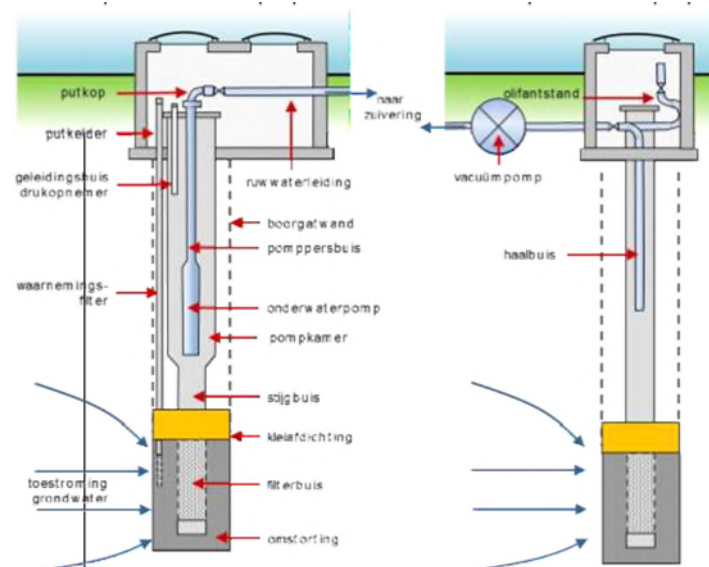
Een en ander vraagt om een aantal praktische aanpassingen op overstromingsgevoelige locaties. Er kan worden gedacht aan het waterdicht uitvoeren van de stroomvoorziening en de aansturing (of verhoogd aanbrengen binnen de putkelder, zodat die niet kunnen inunderen). Daarnaast kan worden gekozen om het puttenveld te omdijken of de putkoppelen op terpen te plaatsen. Ook eventuele transformatorhuisjes en noodstroomvoorziening dienen te liggen op een niet-inundeerbare locatie. Voor meer aanwijzingen wordt verwezen naar Rambags, Raat [83].



Figuur 11-10 Winputten op een speciaal aangelegde dijk in de Crezéepolder (foto Oasen).

12 Ontwerp verticale winputten

Het uiteindelijke doel van het ontwerpproces is om te komen tot een zo optimaal mogelijke put ten aanzien van de ontwerpcriteria en kosten voor materiaal, aanleg en onderhoud. Hiertoe moet een aantal hydrologische vragen worden beantwoord, zoals welke afpompings- en stroomsnelheid acceptabel zijn. Daarnaast moeten keuzes worden gemaakt ten aanzien van de constructie van de put zelf: welke materialen, welke lengtes en diameters en wel of geen omstorting, et cetera. Bovenstaande hydrologische en constructieve aspecten hangen met elkaar samen. Dit maakt het ontwerp van een put tot een iteratief proces. Figuur 12-1 (links) toont de verschillende onderdelen van de winput die moeten worden ontworpen. De put in dit voorbeeld is een veel in Nederland en Vlaanderen toegepast ontwerp en kan worden gezien als het basisontwerp. De putten in vast gesteente en putten als onderdeel van een vacuümsysteem wijken op onderdelen af.



Figuur 12-1. Naamgeving onderdelen winput met onderwaterpomp (links) en vacuümsysteem (rechts) in geconsolideerde formatie

12.1 Erkende kwaliteitsverklaring

Richtlijn 16 Voorkom dat gebruikte materialen de bodem, het grondwater en/ of drinkwater verontreinigen

Alle onderdelen van de winput dienen te beschikken over een 'erkende kwaliteitsverklaring', zie (zie PCD 13-1 [121]). In verband met de betreffende publiekrechtelijke regelgeving wordt de toepassing van RVS onderdelen waar mogelijk bepleit. Vooral voor onderdelen van de winput met een relatief groot contactoppervlak is genoemde kwaliteitsverklaring relevant:

- Omstortingsgrind;
- Stijgbuis;
- Filterbuis;
- Onderwaterpomp;

- Putkopconstructie.

Voor onderdelen met een relatief gering effect op de waterkwaliteit (onder meer als gevolg van een klein contactoppervlak) wordt gewezen op [66].

Zand en grind voor het aanvullen dienen te voldoen aan de beoordelingsrichtlijn [BRL-K240](#) van certificatie-instelling Kiwa Nederland (privaatrechtelijke regelgeving). Groutmengsels (zweklei, cementgebaseerde mengsels) moeten voldoen aan [BRL 5078](#).

12.2 Ontwerpstappen voor dimensionering winput

Figuur 12-2 toont de stappen die moeten worden doorlopen voor het dimensioneren van het debiet, diameters en dieptes van een winput. Let op: dit schema dekt slechts een deel van de onderdelen van een winput.

Dimensionering boorgat en debiet

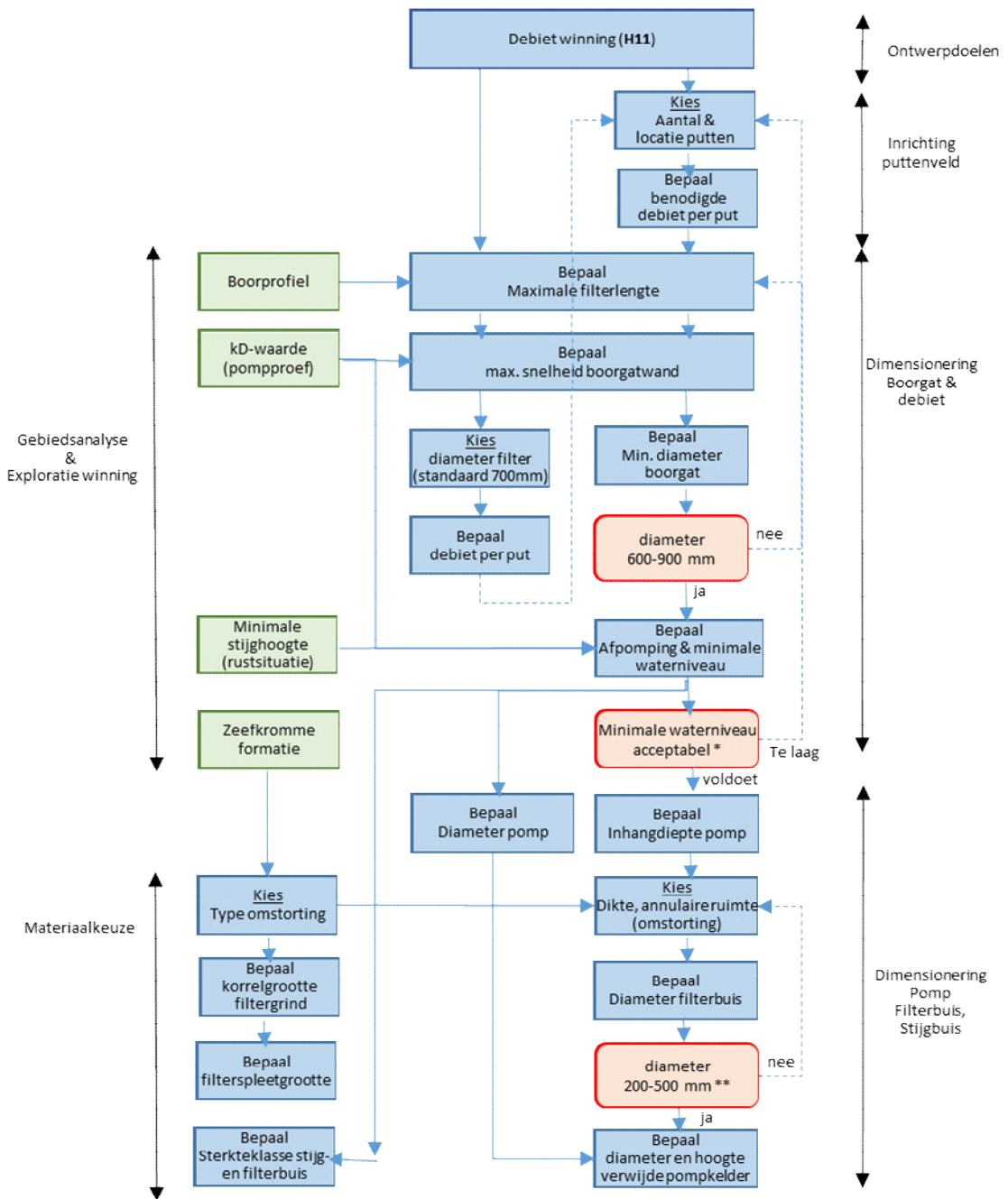
In de meeste gevallen staat het totale debiet van de winning vast, maar is het aantal putten nog nader vast te stellen. De eerste stap is dan het bepalen van de maximale volumestroom per winput. Hiermee kan het aantal benodigde aantal putten worden bepaald en ook hun locatie. Soms staat het aantal, de ligging en het debiet per winput al vast (bijvoorbeeld om upconing te voorkomen of in verband met het garanderen van een minimale verblijftijd). Er moet dan nog wel worden gecontroleerd of het gewenste debiet haalbaar is met een realistische diameter en filterlengte, en of de afpompings niet te groot is.

Dimensionering filterbuis en stijgbuis

Vervolgens moet de diameter van de filterbuis en stijgbuis worden bepaald. De diameter van de filterbuis is afhankelijk van het type omstorting en de diameter van het boorgat. Een verwijde stijgbuis is nodig als de diameter van de onderwaterpomp (of haalbuis bij een vacuümpompsysteem) groter is dan de diameter van de filterbuis.

Materiaalkeuze

Tot slot moeten de juiste materialen en sterkteklasse worden gekozen voor bouw van de winput.



Figuur 12-2 Stroomschema voor dimensionering van een winput (debiet, diameters, hoogtes).

12.3 Debiet winput en diameter boorgat

Het debiet van een winput wordt bepaald door het product van de volgende parameters:

- Lengte van het filter;
- Toelaatbare stroomsnelheid op de boorgatwand;
- Diameter van het boorgat.

Daarnaast kan het minimale waterniveau (afpomping) limiterend zijn.

12.3.1 Lengte filter

Richtlijn 17 Kies een filterdiepte die het risico op putverstopping en zandlevering minimaliseert en menging van water van verschillende waterkwaliteiten door kortsluitstroming tussen watervoerende pakketten voorkomt (= BRL 2101, eis 17).

Filters moeten niet in verschillende watervoerende pakketten met een andere waterkwaliteit en/of stijghoogte worden geplaatst. Als een filter door een slecht doorlatende laag loopt, kan kortsluitstroming ontstaan tussen verschillende watervoerende pakketten tijdens stilstand. Dit leidt tot menging van verschillende watertypen wat ongewenste effecten kan hebben zoals verstopping van de omstorting en van de boorgatwand. Bij onttrekking kan de menging van verschillende watertypen leiden tot ongewenste neerslagen in het putfilter, de pomp en de leidingen.

Bij het bepalen van het filtertraject moet rekening worden gehouden met de volgende factoren:

- Het filter moet ruim worden gesteld ten opzichte van kleilagen en veenlagen op een afstand van minimaal 1 m.
- Het putfilter wordt bij voorkeur uitsluitend in de grove delen van een watervoerend pakket geplaatst, zodat ook een grove omstorting kan worden gebruikt. De aanbeveling wordt gedaan om zandlagen met fijne fracties in het doelpakket zoveel mogelijk te vermijden, om te voorkomen dat ongewenst zandtransport kan ontstaan. Deze fijnere delen zijn bovendien maatgevend voor het ontwerp van de omstorting (zie § 12.4), waardoor een kleinere diameter omstortingsgrind moet worden toegepast wat de put verstoppingsgevoeliger en minder goed ontwikkelbaar en regenererbaar maakt.
- In het geval een watervoerendpakket uit afwisselend fijne en grove zandlagen bestaat, wordt er vaak voor gekozen om de fijne delen af te blinden. Zijn er veel fijnere lagen dan kan er ook voor worden gekozen om het gehele traject van een filter te voorzien door één type filter en filtergrind aan te brengen, en daarbij de fijnere lagen als maatgevend te beschouwen. Een derde mogelijkheid is om voor de fijnere lagen een fijnere maat filterspleten en filtergrind toe te passen. Het uiteindelijke ontwerp is dus situatieafhankelijk.
- Er dient voldoende afstand te worden gehouden tot redoxgrenzen (het mengen van aerob en anaerob water moet worden voorkomen) en zoet-zout-overgangen (in § 16.4 is omschreven hoe de minimale afstand wordt bepaald).
- Bij gebruik van biologisch afbreekbare additieven in de boorspoeling kan bij blinde delen in het filtertraject microbiologische groei optreden, omdat de annulus rond de blinddelen slecht is te ontwikkelen.

Als een weerstandbiedende laag uitsluitend lokaal aanwezig is, zal er waarschijnlijk ook geen stijghoogteverschil optreden. Om te bepalen of een scheidende laag lokaal is, is kennis nodig over de bodemopbouw en stijghoogten in beide lagen in nabijgelegen putten en waarnemingsfilters.

Bij een dik watervoerend pakket kan een lang filtertraject (eventueel bestaande uit meerdere filtertrajecten) worden aangelegd. Dit is echter niet altijd raadzaam:

- als verschillende typen water worden onttrokken, geeft dit extra kans op putverstopping, bijvoorbeeld als ondieper (sub)oxisch (zuurstof/nitrat-houdend) en diep anoxisch (ijzerhoudend) water worden gemengd;
- regeneratie van putten met meerdere en/of lange filtersecties is moeilijker en verloopt vaak minder effectief.

De meeste putten met onderwaterpomp hebben een filterlengte van 20 – 40 m.

12.3.2 Toelaatbare snelheid boorgatwand

Richtlijn 18 Kies een zodanig maximaal debiet (snelheid op de boorgatwand) dat de put geen zand levert of te snel verstopt. Gebruik de formule van Huisman, tenzij betere informatie voorhanden is over de toelaatbare snelheid op de boorgatwand uit omliggende putten.

Er zijn vele methoden in omloop voor het berekenen van de maximaal toelaatbare stroomsnelheden op de boorgatwand en de filterspleten van een winput. De criteria die daaraan ten grondslag liggen zijn in drie groepen te verdelen [25]:

- het leveren van zandvrij water;
- het voorkomen van dichtslibben van de omgeving van de put (mechanische verstopping);
- het voorkomen van (bio-)chemische verstopping.

Hierna volgt een korte beschouwing van enkele meest toegepaste waarden.

Er zijn verschillende studies die een limiet voorstellen aan de toelaatbare snelheid op de filterspleten, vanuit het oogpunt dat er bij turbulente stroming teveel stijghoogteverlies optreedt en verstopping door chemische neerslagen. Een veel gehanteerde waarde is 0,03 m/s in de filterspleten [28]. Bij deze en vergelijkbare waarden ontbreekt een theoretische onderbouwing [42].

Daarnaast zijn er vuistregels die beperkingen stellen aan de maximale afpompingshoogte (bijvoorbeeld 2 m) ter voorkoming van kalkneerslagen door drukverlaging rond de put. Ook daarbij ontbreekt onderbouwing. Uit verschillende onderzoeken is nooit naar voren gekomen dat putverstopping overwegend uit kalk bestaat [25].

Een in het verleden veel toegepaste methode voor het berekenen van de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand (v_b) is de formule van Sichardt [53]:

$$v_b = \sqrt{K}/15 \quad \text{vgl. 12-1}$$

De formule houdt rekening met de horizontale doorlatendheid rondom het winfilter (K in m/s). De formule mist een goede onderbouwing en is daarom in feite ongefundeerd [70]. In de praktijk wordt door drinkwaterbedrijven gewerkt met de conservatievere formule van Huisman (Sichardt gedeeld door 2):

$$v_b = \sqrt{K}/30 \quad \text{vgl. 12-2}$$

Voor WKO-bronnen wordt ook wel gewerkt met de onttrekkingsnorm van de NVOE [90]:

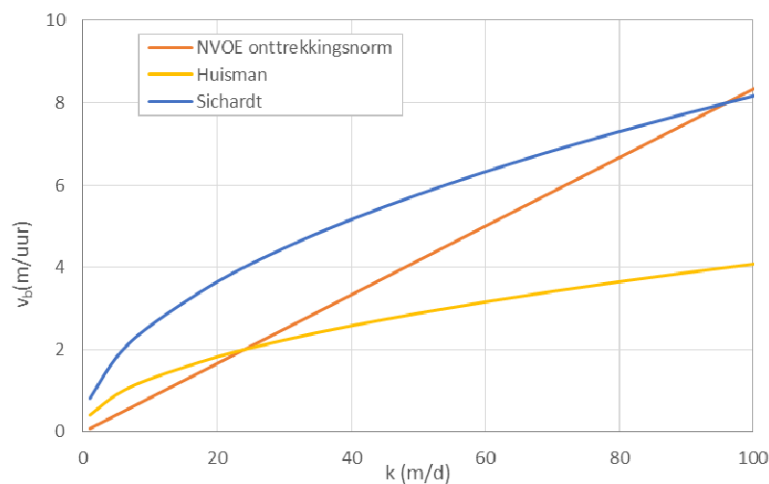
$$v_b = K/12$$

Uit Kiwa-laboratoriumonderzoek is gebleken dat bij een zorgvuldig aangebrachte omstorting van enkele mm dikte in theorie veel hogere stroomsnelheden mogelijk zijn alvorens deeltjestransport zal optreden. Dat in de praktijk soms toch zandtransport plaatsvindt, heeft vermoedelijk te maken met onvolkomenheden bij het aanbrengen van de omstorting of fijnzandige tussenlagen [53]. Uit een evaluatie van praktijkgegevens in 32 bronnen [46] blijkt dat bij toepassing van zowel de NVOE onttrekkingsnorm als de formule van Huisman geen problemen optreden met zandlevering.

Een overweging om toch een lager ontwerpdebiet te kiezen, is dat putten dan minder snel verstopping. Dit komt vermoedelijk omdat de concentratie aan verstoppende deeltjes afneemt bij een lagere stroomsnelheid [60, 61]. Hierbij is het wel de vraag of een tragere verstopping per tijdseenheid ook leidt tot een tragere verstoppingssnelheid per m^3 onttrokken water. Uit analyses van putverstoppingsgegevens op enkele Nederlandse puttenvelden door [133] blijkt namelijk dat de stroomsnelheid een beperkte invloed heeft op de verstoppingssnelheid.

De aanbeveling wordt gedaan om de formule van Huisman te gebruiken, tenzij op basis van informatie van omliggende winputten een andere snelheid aantoonbaar niet leidt tot te snelle verstopping.

Voor het bepalen van de k-waarde wordt het gemiddelde genomen over het diepte-interval van het winfilter. Het idee hierbij is dat de stroomsnelheid in lagen met een lagere k-waarde automatisch navenant lager is. Deze redenering gaat in theorie overigens niet helemaal op, omdat de formule van Huisman uitgaat van een kwadratisch verband tussen k-waarde en stroomsnelheid, terwijl de stroomsnelheid zich in werkelijkheid volgens de wet van Darcy lineair verhoudt met de k-waarde.



Figuur 12-3 Maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand (v_b , y-as) als functie van de doorlatendheid (K , x-as) voor verschillende ontwerpcriteria.

12.3.3 Diameter boorgat

Richtlijn 19. In de praktijk wordt een boorgat tussen de 700 en 800 mm het meest toegepast voor winningen met een kunstmatige omstorting.

Bij een boorgat groter dan 800 mm wordt de omstorting relatief dik, waardoor deze lastig is te ontwikkelen. Dit komt mede doordat er voor het type filterbuizen geen voldoende grote

diameters beschikbaar zijn op de markt. Boven 500 mm diameter lopen de kosten sterk op vanwege de beperkte vraag en benodigde dikte van het wandmateriaal en de sterkte. Bovendien is veel apparatuur voor regeneratie niet standaard toegerust voor grotere diameters.

Een diameter kleiner dan 700 mm pakt economisch meestal minder gunstig uit (omdat de volumestroom navenant lager is en de bouwkosten nagenoeg gelijk). Als de benodigde diameter kleiner is, kan worden overwogen om de filterlengte of het aantal putten te verminderen. In de praktijk levert het inkorten van een filter overigens relatief weinig besparing op, zodat doorgaans hiervoor niet wordt gekozen.

Een uitzondering betreft winputten waarbij het debiet is begrensd tot een bepaald maximum, omdat anders de reistijden te kort worden (microbiologisch risico) of er een te groot risico bestaat op opkegelen van zout grondwater. In dergelijke gevallen kunnen kleinere diameters wel aantrekkelijk zijn, omdat er toch niet meer mag worden onttrokken.

12.3.4 Debiet per winput

Het maximaal haalbare debiet per winput wordt als volgt berekend:

$$Q = \pi * D * L * v_{max},$$

waarin: D = diameter boorgat (m); Q = onttrokken volumestroom, L = Lengte filter, v_{max} = toelaatbare snelheid boorgatwand.

Intermezzo 12-1 Praktijkwaarden voor putdiameters

In de praktijk worden winputten veelal ontworpen aan de hand van enkele veelgebruikte winputontwerpen die in de loop van de jaren op grond van ervaring zijn verbeterd. Omdat de dimensionering en lay-out van een winput in hoge mate worden bepaald door de geologische opbouw ter plaatse van het wingebied, kunnen de winputten van de verschillende drinkwaterbedrijven behoorlijk van elkaar verschillen. Daarom beschikt elk drinkwaterbedrijf over eigen voorbeeldwinputten. Op betrekkelijk eenvoudige wijze worden nieuwe winputten daarvan afgeleid. In Tabel 12-1 zijn voor verschillende putcapaciteiten de in de Nederlandse en Vlaamse praktijk gebruikelijke diameters van filterbuizen, verwijde stijgbuizen en boorgaten vermeld. Stijgbuizen, zandvang en blindstukken hebben veelal dezelfde diameter als de filterbuis. De diameter van de stijgbuis mag nooit kleiner zijn dan de diameter van het filter, want bij werkzaamheden aan het filter moet de benodigde apparatuur kunnen passeren. Hierbij moet worden gedacht aan toestellen voor het schoonpompen of later regenereren van de put. Blindstukken kunnen zowel tijdens het ontwerp als tijdens het vaststellen van de definitieve stelstaat worden voorgeschreven, als er zich bijvoorbeeld afwijkend fijnzandiger/kleiiger trajecten in het watervoerende pakket bevinden.

Tabel 12-1. Relatie putcapaciteit en diameter filterbuis, eventueel verwijde stijgbuis en boorgat.

Capaciteit winput	Filterbuis; drukklasse (inwendige diameter)	Verwijde stijgbuis; drukklasse (inw. diam.)	Boorgat diameter
50 m ³ /uur	200 mm; 10 bar	300 mm; 10-12,5 bar	500 - 600 mm
70 m ³ /uur	250 mm (uitw.); 10 bar	355 mm; 10-12,5 bar	500 - 600 mm
100 m ³ /uur	300 mm; 12,5 bar	400 mm; 7,5 12,5 bar	600 - 700 mm
200 m ³ /uur	400 mm; 12,5 bar	500 mm; 10-12,5 bar	700 - 1000 mm

12.3.5 Afpompings en controle minimale waterniveau

Richtlijn 20 Het afpompniveau bevindt zich boven het filtertraject en minimaal 1 m boven het niveau van de zuigopening van de onderwaterpomp of haalbuis. Houd bij het ontwerp rekening met toekomstige extra afpompings door putverstopping. Optimaliseer de afpompings als functie van energieverbruik en bouwkosten.

Vervolgens wordt de afpompings berekend op basis van de vastgestelde filterstelling, boordiameter en volumestroom. De werkwijze van deze berekening is beschreven in § 16.2. In de praktijk hebben putten ten behoeve van de bereiding van drinkwater in Nederland en Vlaanderen bij oplevering een afpompings van ordegrrootte 1 tot 3 m.

De afpompings dient om het minimale waterniveau in de put te bepalen, rekening houdend met veiligheidsmarges:

- A. Als referentie dient te worden uitgegaan van de minimale stijghoogte in rustsituatie (meestal in de zomer).
- B. In de praktijk kan de afpompings afwijken van de theoretisch berekening. De gehanteerde doorlatendheid van de bodem kent namelijk een zekere bandbreedte. Als er informatie is over de heterogeniteit van de aquifer (bijvoorbeeld spreiding in de afpompings van niet-verstopte nabijgelegen putten), kan een minimale en maximale afpompings worden berekend aan de hand van de verwachte minimale en maximale doorlatendheid van het pakket (P05 en P95). Anders kan als vuistregel de berekende afpompings met factor 1,25 worden vermenigvuldigd.
- C. Bij nieuwe winputten dient ook rekening te worden gehouden met interferentie van buurputten (zie werkwijze § 16.2). Bij bestaande puttenvelden zit de interferentie al verdisconteerd in de huidige gemeten minimale stijghoogte. Wel moet bij uitbreiding van de productiecapaciteit op bestaande puttenvelden rekening worden gehouden met een toename van de interferentie.
- D. Tot slot kan de afpompings toenemen door verstopping. Dit is afhankelijk van wanneer er onderhoud wordt gepleegd. In de praktijk blijkt dat drinkwaterbedrijven putten regelmatig pas bij 30% van hun nieuwwaarde regenereren. De afpompings mag dus toenemen met een factor 3,33 (= 100/30%).

Onderdeel		Berekening	Vuistregel
Minimale rustwaterstand	m NAP	A	
Theoretische afpompings	m	B	1 - 3 m
Onzekerheid bodemopbouw	%	C	125%
Putverstopping	%	D	333%
Minimale waterniveau	m NAP	$A - B * C * D$	

Het minimale waterniveau is van belang voor de inhangdiepte van de onderwaterpomp/haalbuis, de filterdiepte, het energieverbruik en de beoordeling van de winput bij oplevering:

- De bovenkant van het filter dient altijd dieper te liggen dan het minimale waterniveau om te voorkomen dat het filter verstopt raakt door zuurstoetreding. Bij voorkeur gaat het om enkele meters dieper, om zuurstoetreding door diffusie via de stijgbuis te minimaliseren;
- De voordruk moet voldoende zijn om cavitatie in de onderwaterpomp te voorkomen (zie § 12.7.2 over inhangdiepte pomp);

- In het ontwerpproces dient in theorie ook een optimum te worden gevonden tussen reductie van kosten en energie door de afpompings te minimaliseren en de eventuele extra kosten voor langere filters of extra putten. In de praktijk blijken in Nederland (en Vlaanderen) de energiekosten gering ten opzichte van de kosten voor aanleg van een extra winput [118]. Energieverbruik is dus meestal geen issue bij het dimensioneren van het boorgat en het aantal putten.
- Tot slot is de afpompings een belangrijk kwaliteitscriterium bij oplevering en tijdens de levensduur van de put.

In het geval de afpompings te groot is, wordt de volumestroom per winput (aantal winputten), de lengte van het filter of de boorgatdiameter aangepast.

12.4 Omstorting

Richtlijn 21. De omstorting moet aan de volgende eisen voldoen: (1) een zo laag mogelijke weerstand voor toestromend grondwater (bij voorkeur maximaal enkele cm), (2) voorkomen van zandverplaatsing uit de formatie, zodanig dat tijdens normale productie het opgepompte water zandvrij is (1 g/10 m³) en (3) stabilisatie van de omliggende formatie.

De omstorting vormt de overgangszone tussen de ongeroerde ongeconsolideerde zand- en grindlagen waaraan het grondwater zal worden onttrokken en het gestelde filter.

12.4.1 Type omstorting

Kunstmatige omstorting

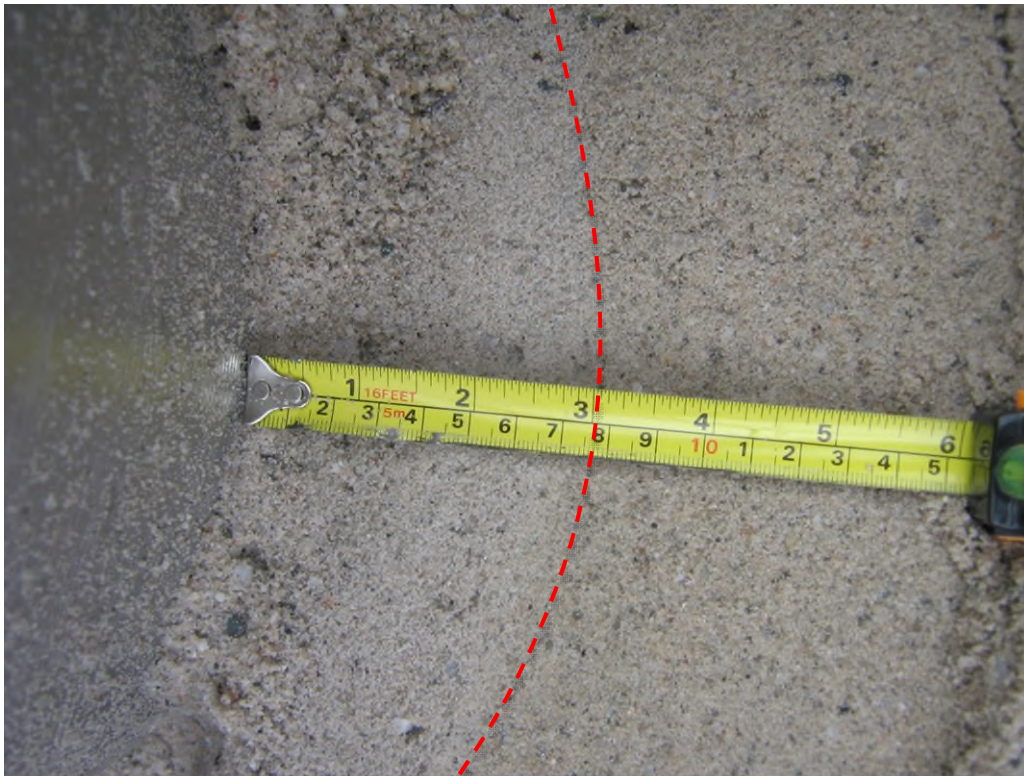
Voor de omstorting van winputten wordt in de regel zogenaamd filtergrind gebruikt. Hoewel de term 'grind' gebruikelijk is, gaat het hierbij om gezeefd grof zand en grind met doorgaans een korrelgrootte tussen 500– 2.500 µm. De korrelgrootteverdeling van het filtergrind wordt afgestemd op die van het formatiemateriaal.

Natuurlijke omstorting

Een veel in de Verenigde Staten toegepaste techniek is een 'natuurlijke' omstorting. Voor het creëren van deze omstorting wordt gebruik gemaakt van het van nature rond de put aanwezige formatiezand en -grind. De omstorting ontstaat door het wegspoelen en afpompen van de fijne fractie rond het putfilter, waarbij het filter als zeef wordt gebruikt. Deze manier van creëren van een omstorting is vooral geschikt voor slecht gesorteerde formaties. Het is gebruikelijk dat een sleufbreedte wordt gekozen die 60% van het formatiemateriaal doorlaat [28]. Als er (1) onzekerheid is over de betrouwbaarheid van de genomen zandmonsters, (2) de formatie goed is gesorteerd of (3) bovenop de formatie zich een fijnzadige laag bevindt, dan is een conservatievere aanpak nodig. In deze gevallen zijn sleufbreedtes aan te bevelen die 50% van het formatiemateriaal doorlaten. Dit is ook het geval als er zich veel kalkrijk materiaal (zoals schelpen) in de formatie bevindt. Dat materiaal kan oplossen bij behandelingen met zuur.

Bij heel grove formaties kan worden gekozen voor een sleufbreedte die tot 70% van het formatiemateriaal doorlaat. Hierbij moet worden bedacht dat hoe hoger de doorgelaten fractie, hoe langer en intensiever de put moet worden ontwikkeld. Ontwikkeling tot circa 7,5 cm in de formatie is mogelijk bij in Nederland en Vlaanderen gangbare formaties en gebruik van een RVS-wikkeldraadfilter met hoog (15%) open oppervlak (zie Figuur 12-4) [77].

Bij toepassing van een natuurlijke omstorting in een gelaagde formatie moet per laag een sleufbreedte worden gekozen. In het geval fijner materiaal zich boven grover materiaal bevindt, laat het filter voor de fijnere laag dan minimaal 1 m doorlopen in het onderliggende grovere pakket en houdt de filtersleufbreedte van het filter in het grovere pakket maximaal 2 keer wijder dan die in het fijnere pakket.



Figuur 12-4 *Natuurlijke omstorting gecreëerd door hoge druk jetten. Tot circa 7,5 cm uit het filter is de fijne fractie uit het formatiezand verwijderd (foto [76]).*

Prefab

Op de markt zijn prefab (opgeplakte) vaste omstortingen beschikbaar (bijvoorbeeld Boode BGP). Vaste omstortingen worden vrijwel niet toegepast, maar kunnen uitkomst bieden in bijzondere situaties waar een losgestorte omstorting door bijvoorbeeld grote diepte niet goed mogelijk is. Ook in geval van reparatie van beschadigde putten kan een opgeplakte omstorting uitkomst bieden.

Dubbelwandig

Een vergelijkbaar product zijn dubbelwandige filterbuizen met in de annulus een aangebrachte losse filteromstorting.

Geen omstorting

Bij winingen in vast gesteente hoeft geen omstorting te worden toegepast als het gesteente voldoende stabiel is.

12.4.2 Dikte omstorting (annulaire ruimte)

Richtlijn 22 Pas een kunstmatige omstorting toe van minimaal 15 tot maximaal 30 cm.

Voor het ontwikkelen en de regeneratie bij mechanische verstopping werkt een dikke kunstmatige omstorting contraproductief. Bij toenemende dikte wordt het moeilijker om mechanische krachten in de put (bijvoorbeeld door jutteren of jetten) over te brengen op de boorgatwand. Een dunne omstorting is om deze reden aan te bevelen. Een nadeel is echter het verhoogde risico op zandlevering. Daarnaast is een omstortingsdikte van minder dan 15 cm in de praktijk moeilijk te realiseren. Een dikte groter dan 30 cm is af te raden.

Bij toepassing van een natuurlijke omstorting is de filterdiameter 5 – 7,5 cm kleiner dan het boorgat.

12.4.3 Korrelgrootte filtergrind

Richtlijn 23 Stem de korrelgrootte van het filtergrind zorgvuldig af op de korrelgrootteverdeling van het te pomp watervoerend pakket. Houd hierbij rekening met de uniformiteit van het formatiezand.

De afstemming van de korrelgrootte van het filtergrind moet zorgvuldig worden afgestemd op de formatie. Een te fijne omstorting beperkt de mogelijkheden om restanten boorspoeling en vastgelopen materiaal tijdens het ontwikkelen en de daaropvolgende regeneraties van de boorgatwand te verwijderen. Hierdoor is de put gevoeliger voor verstopping. Een te grove omstorting leidt tot een geringe (marginale) toename van de stromingsweerstand.

Bij een te grove omstorting kan formatiemateriaal de omstorting binnendringen. Dit kan resulteren in zandlevering van de put en mogelijk ook in extra verstoppingsgevoeligheid door het opvullen van de poriën tussen het omstortingsgrind. Overigens vindt op dit moment bij puttenveld Espelo (Vitens) een test plaats om te bepalen of putten die zand leveren juist minder verstoppingsgevoelig zijn.

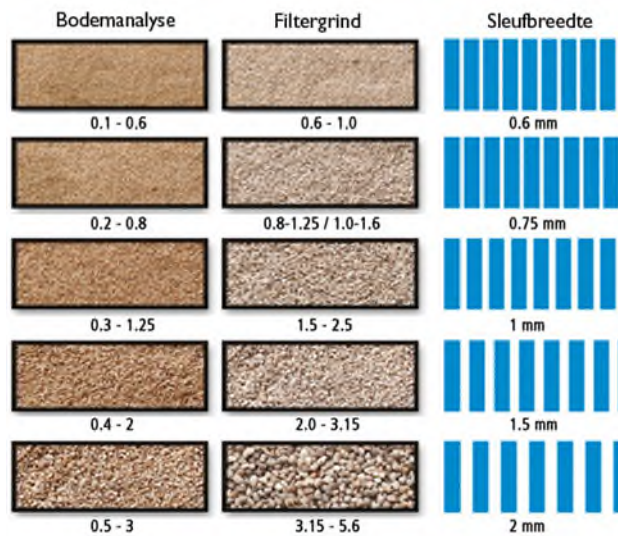
De korrelgrootteverdeling van het omstortingsgrind wordt gebaseerd op een schematisatie van de ondergrond op basis van gemeten korrelgrootteverdelingen (zeefkrommes) van tijdens het vooronderzoek verkregen formatiemateriaal (zie voorbeeld in Figuur 10-8).

De beoordelingsrichtlijn voor WKO-bronnen hanteert als eis dat de ondergrens van de zieving van het filtergrind maximaal een factor 4 groter mag zijn dan de zandmediaan (M_{50}) van het aan te treffen zand ter hoogte van het filtertraject [90]. Deze waarde wordt niet toegepast in de drinkwatersector.

Binnen de drinkwatersector worden een aantal vuistregels gehanteerd die op basis van ervaring en experimenteel onderzoek zijn ontwikkeld. De in Nederland meest toegepaste vuistregel gaat uit van de verhouding tussen de mediane diameter van het filtergrind (D_{50}) en de mediaan van de zandfractie van de formatie (M_{63} of M_z = mediaan van de fractie 63 – 2.000 μm). De te gebruiken factor tussen formatie en omstortingsgrind is afhankelijk van de uniformiteit van het formatiemateriaal. In uniforme eolische afzettingen (duinzanden) kan een hogere factor (1:6) worden aangehouden dan in een slecht gesorteerde fluviale afzetting zoals de formatie van Kreftenheije (1:4).

Overigens hangt de uiteindelijk gekozen korrelgrootte vaak ook af van welke korrelgrootte de leverancier beschikbaar heeft. Tabel 12-2 toont enkele beschikbare diameters van de firma Boode. Hieruit blijkt dat in veel gevallen er geen filtergrind beschikbaar is met een factor 4 grotere diameter. In dergelijke gevallen moet worden gewerkt met een kleinere factor (groter mag niet in verband met kans op zandlevering). De prijs wordt mede bepaald door de sorteringsgraad.

Tabel 12-2 Diameter van filtergrind en sleufbreedte als functie van de zandmediaan in de formatie, zoals geadviseerd door de firma Boode (<https://www.boode.com/producten/filtergrind>).



12.4.4 Fijnzandige tussenlagen

Een deel van de drinkwaterbedrijven kiest ervoor om afgeblinde delen in een fijnere zandlaag ook te voorzien van een kleiprop of fijnere fractie filtergrind (of steunlaag), maar er wordt ook wel voor gekozen om filtergrind door te storten met als idee dat de toestroming (stroomsnelheid) boven- en onder de filterbuizen lager is.

12.4.5 Filtergrind: materiaalkeuze

Richtlijn 24 Voor de omstorting wordt hygiënisch betrouwbaar, schoon uniform ($U_c < 1.4$) en afgerond grofzand of grind gebruikt. Het gebruikte zand of grind moet voldoen aan de BRL-K240.

Voor het filtergrind wordt hygiënisch betrouwbaar, schoon, goed afgerond groeve- of rivierzand gebruikt. Het filtergrind dient voor minimaal 90% uit kwarts te bestaan zodat geen volumeverandering optreedt door oplossing van materiaal. Als alternatief kunnen glasparsels worden toegepast. Een uniforme korrelgrootte verdeling resulteert in een lager stijghoogteverlies door de omstorting en minder ontmenging tijdens aanbrengen. De voorkeur gaat uit naar een uniformiteitscoëfficiënt (U_c) kleiner dan 1.4. U_c is de verhouding D_{60}/D_{10} waarbij respectievelijk 60% (m/m) en 10% (m/m) van de zandfractie van een monster kleiner is dan de bijbehorende korrelgrootten.

12.4.6 Meervoudig uitgevoerde omstorting

Kunstmatige omstortingen kunnen enkelvoudig of meervoudig worden uitgevoerd. Een enkelvoudige omstorting bestaat uit een mantel van één maatverdeling filtergrind. Een meervoudige omstorting bestaat uit meer lagen filtergrind met elk een bepaalde maatverdeling oplopend van fijn naar steeds grover. In theorie is dit ontwerp wel aan te raden bij een sterk gelaagde opbouw van het winpakket om verstopping en zandlevering te voorkomen. Nadeel is dat het aanbrengen meer tijd en geld kost. Meervoudige omstortingen worden in de praktijk dan ook al decennia lang niet meer toegepast.

12.5 Filterbuis

Richtlijn 25 Het filter moet voldoen aan de volgende eisen: (1) het moet voldoende sterk zijn, (2) het moet de formatie tegenhouden en het te winnen water doorlaten, (3) de intreeweerstand moet zo klein mogelijk zijn en (4) het open oppervlak moet zo hoog mogelijk zijn.

In Nederland wordt meestal gebruik gemaakt van PVC filters met filterspleten in de lengterichting. Daarnaast zijn ook filters met continue filterspleten (axiaal) met lengteribben en wikkeldraadfilters mogelijk (Tabel 12-3).

Tabel 12-3 Voorbeelden van reguliere filtertypes.

Type Filter	Voordelen	Nadelen
Standaard gesleufd filter (lengterichting)	Sterk: kan meer trekkracht aan en is minder kwetsbaar bij vervoer en inbouwen	Minder goed te regenereren m.b.v. hogedrukreiniging
Continue gesleufd (axiaal)	Hoog open oppervlak. Beter te regenereren m.b.v. hogedrukreiniging vanwege de oriëntatie van de filterspleten	Borstelen werkt niet goed Sectiegewijs afpompen lukt niet goed: door de inwendige ribben kunnen secties niet goed worden afgesloten
Wikkeldraad Johnson V-wire (in zowel RVS als PVC)	Groot open oppervlak bij een fijne filterspleet: - gunstig bij winning uit dun watervoerend pakket door kleinere intredeweerstand - effect van ontwikkeling/regeneratie (middels jetten) dringt verder door in de omstorting	Relatief duur ten opzichte van andere filtervarianten

Naast bovengenoemde filtertypen zijn verschillende minder gangbare alternatieven op de markt. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om filters met een aangeplakte verstopping of met een dubbelwandig filter met opvulling van de tussenliggende annulus met filtergrind (zie § 12.4.1).

12.5.1 Diameter

De uitwendige diameter van de filterbuis is gelijk aan de diameter van het boorgat minus de dikte van de omstorting (of annulaire ruimte bij toepassing van een natuurlijke omstorting). Hierbij moet rekening worden gehouden met de beschikbare handelsmaten.

12.5.2 Axiaal of radiaal gesleufd

Om het grondwater in de put toe te laten, moet het filtermateriaal zo open mogelijk zijn. Hiertoe worden perforaties in het buismateriaal aangebracht of wordt gebruikgemaakt van een op ribben gewikkelde draad.

Perforaties kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd. Tegenwoordig wordt meestal een sleufvormige perforatie toegepast. Er wordt onderscheid gemaakt tussen axiale sleuven die evenwijdig aan de lengte-as van het filter zijn aangebracht en radiale sleuven die loodrecht op de lengte-as zijn aangebracht. Winputten voor de drinkwaterproductie worden in het algemeen uitgerust met filterbuizen die van sleuven in de lengterichting zijn voorzien.

Het voordeel van filterbuizen met radiale sleuven is dat deze goed bestand zijn tegen de druk van de formatie die op de buitenzijde van de filterbuis wordt uitgeoefend. Nadeel van deze sleufvorm is dat de buis ter plaatse van de perforaties qua treksterkte is verzwakt. Ook

zijn de filterbruggen bij inbouw kwetsbaar. Hiermee moet tijdens de inbouw van de put en bij uit en inbouwen van de pomp rekening worden gehouden.

Bij de filterbuis met axiale sleuf is deze verzwakking van de treksterkte aanzienlijk kleiner. Nadeel van de filterbuis met axiale sleuven is echter dat die minder weerstand kan bieden tegen de druk van de formatie, waardoor de kans op indrukken groter is. Ook bij regeneraties met hogedrukreiniging is de kans op beschadiging van bruggen bij axiale sleuven groter.

Ter verbetering van de treksterkte bij radiale sleuven zijn alternatieven op de markt waarbij de radiaal gesleufde buizen zijn voorzien van ribben in de lengterichting van de buis. Ook kunnen RVS of PVC wikkeldraadfilters worden toegepast. Dit filtertype combineert de voordelen van een hoge treksterkte met de mogelijkheid van kleine filterspleetwijdtes bij een verhoudingsgewijs hoog open oppervlak.

12.5.3 Filterspleetwijdte

De breedte van de filterspleten is afhankelijk van de korrelgrootte van de omstorting en de gewenste sterkte van het materiaal. Bij conventionele axiaal gesleufde filters zijn sleufbreedten van 0,6 – 1,0 mm gangbaar in Nederlandse en Vlaamse ongeconsolideerde formaties. Sleuven smaller dan 0,6 mm resulteren in een laag open oppervlak, terwijl sleuven breder dan 1,0 mm weinig voorkomen, omdat op de meeste plaatsen de aanliggende bodemformatie via de filteromstorting geen grotere maat toestaat.

De filterbuizen met sleufbreedten van 0,6 – 1,0 mm hebben een open oppervlak van 7 – 11%. Deze percentages gelden voor de buitenzijde van de filterbuis. Het netto open oppervlak na installatie is kleiner, omdat ter plaatse van de moffen zich geen spleten bevinden en het doorlaatoppervlak verder wordt verkleind doordat zich omstortingsmateriaal voor de sleuf bevindt.

In de praktijk blijkt de intreeweerstand en daarmee de invloed op de productie verwaarloosbaar te zijn. Het open oppervlak is daarmee vooral van belang voor regeneraties.

12.6 De putbodem en zandvang

Richtlijn 26 De putbodem moet aan de volgende eisen voldoen: (1) voldoende sterk zijn, (2) de formatie en grondwater tegenhouden en (3) eventueel een zandvang bevatten die voldoende ruimte biedt voor onderhoudsapparatuur.

De putbodem is een stevige ronde plaat die aan de onderkant van de put wordt bevestigd. Putbodems worden in de buis van de zandvang verlijmd.

De zandvang is de onderste meter van de put die in blinde buis is uitgevoerd. De zandvang vangt eventueel uitzakkend materiaal uit de formatie op tijdens exploitatie en onderhoud van de put. Op deze manier wordt voorkomen dat het materiaal het onderste deel van het filter vult. Daarnaast kan door een zandvang ook het onderste deel van het filter mechanisch worden gereinigd (reinigingsapparatuur steekt vaak wat naar beneden uit ten opzichte van de werkzame diepte van het apparaat).

Een nadeel is dat er ook nalevering van bacteriën en regeneratieproducten uit de zandvang kan optreden (er zijn voorbeelden uit de praktijk bekend waarbij een geregenereerde put pas voldeed aan de grenswaarden voor microbiologische parameters na een extra reinigingsbeurt van de zandvang).

Bij voldoende lange filters en een goede keuze voor de afstemming tussen formatie, omstortingsgrind en filterspleetwijdte is een zandvang niet noodzakelijk.

12.7 Stijgbuis en pompkamer (verwijde stijgbuis)

Richtlijn 27 De stijgbuis moet voldoen aan de volgende eisen: (1) voldoende sterk zijn, (2) de formatie en grondwater tegenhouden, (3) het water moet van het filter naar de pompkamer worden getransporteerd zonder significant energieverlies en (4) er moet voldoende ruimte zijn voor het inhangen van de onderwaterpomp (of haalbuis) en eventuele tools voor regeneratie.

12.7.1 Diameter stijgbuis en pompkamer

De diameter van de stijgbuis is in principe gelijk aan de diameter van de filterbuis.

In sommige gevallen is het noodzakelijk of voordelig om een verwijde stijgbuis te monteren. Een verwijde stijgbuis wordt gemonteerd tussen de filterbuis en de putkopconstructie om ruimte te bieden aan de onderwaterpomp. De diameter van de verwijde stijgbuis wordt hoofdzakelijk bepaald door de diameter van de onderwaterpomp en de diameter van de flens bij toepassing van een flensverbinding in plaats van een draadverbinding. Bij de uiteindelijke keuze speelt ook de diameter van de leverbare PVC buis in samenhang met de bijbehorende drukklasse een rol. Om problemen met de montage en demontage van de onderwaterpomp te voorkomen, wordt geadviseerd de diameter van de verwijde stijgbuis ruim te nemen.

12.7.2 Inhangdiepte pomp (haalbuis) en verwijde stijgbuis

De pomp en haalbuis moeten altijd boven de bovenkant van de filterbuis hangen om te voorkomen dat deze droogvalt. Dieper hangen betekent meer werk bij onderhoud (langere inhaalbuis), risico op schade als de put gaat trillen (bij PVC filterbuizen) en geringere koeling, omdat er minder water langs de pompmotor stroomt.

Een onderwaterpomp vergt een minimale voordruk van 1 mwk om cavitatie te voorkomen. Voor vacuümsystemen is de toelaatbare onderdruk orde grootte 6 tot 7,5 mwk [28]. De benodigde dekking is afhankelijk van de luchtdruk en kan per type pomp verschillen. Daarom moet vooraf bij de leverancier altijd de benodigde druk worden nagegaan.

Uit praktijkmetingen van zuurstofprofielen in putten in rust situatie [59] en modelberekeningen [13] is gebleken dat zuurstofconcentraties door diffusie en convectiestroming binnen een dag tijd enkele mg/l kunnen toenemen tot 10 m beneden de waterspiegel. Daarom wordt bij anoxische winputten idealiter een dekking van 10 m gehanteerd om te voorkomen dat er door diffusie en convectie zuurstof bij de pomp komt en vervolgens ijzer neerslaat.

Soms wordt ervoor gekozen de pomp hoger te hangen dan het theoretisch benodigde minimale waterniveau en deze pas dieper te hangen als de afpompings toeneemt door verstopping. Dit bespaart tijd en kosten (zolang de put niet verstopt).

De inhangdiepte van de pomp mag niet te groot zijn. De meeste pompen zijn ontworpen op een druk tot maximaal 5 bar (50 mwk). Bij de leverancier moet de toelaatbare druk worden nagegaan.

Voor de verwijde stijgbuis wordt een afstand van 1 m tot de onderkant van de pomp aangehouden (om beschadiging te voorkomen bij werkzaamheden).

12.7.3 Materiaalkeuze

Richtlijn 28 Gebruik PVC of RVS buis- en filtermateriaal van een geschikte drukklasse voor de constructie van putten. Dit materiaal moet beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring [98] en bestand zijn tegen te verwachten fysische en chemische belasting tijdens aanleg en exploitatie.

Tegenwoordig worden de meeste verticale winputten gemaakt van PVC en in mindere mate van RVS. PVC heeft als materiaal veel voordelen en voldoet aan uiteenlopende eisen die aan putmateriaal worden gesteld. Zo is PVC:

- ongevoelig voor veel chemische stoffen waaronder gangbare schoonmaak en regeneratiemiddelen;
- ongevoelig voor microbiologische invloeden;
- goed te bewerken, te lijmen en te monteren;
- levert waterdichte verbindingen, mits goed verlijmd;
- als buismateriaal gangbaar tot lengtes van 5 m verkrijgbaar en op verzoek zelfs tot 10 m;
- voldoende sterk bij aanleg en exploitatie;
- relatief goedkoop;
- beschikbaar met een erkende kwaliteitsverklaring [98].

RVS filter- en buismateriaal wordt hoofdzakelijk voor speciale toepassingen ingezet. Voordelen van RVS filters zijn dat een kleinere sleufbreedte mogelijk is, dat het filter sterker is en dat een beter toestromingsprofiel met kleinere intreeweerstand kan worden verkregen. Daarnaast heeft RVS als belangrijk voordeel dat met meer kracht regeneratie kan worden toegepast. Het materiaal wordt ook gebruikt als de put bestand moet zijn tegen extra mechanische krachten. Het grote nadeel van RVS is dat het duurder is dan PVC. Bepaalde typen RVS kunnen ook gevoelig zijn voor regeneratiemiddelen. RVS filtermateriaal is standaard beschikbaar in de types 304, 304L, 316L en 904L. Andere legeringen zijn op aanvraag beschikbaar. een groot aantal RVS materialen is toelaatbaar (zie praktijkcode [PCD 12](#) [67]).

Een belangrijk risico bij toepassing van PVC is extreme opwarming van de put. PVC is bij temperaturen > 70 °C kwetsbaar voor vervorming. Een voorbeeld van een dergelijke opwarming is het geval dat de afsluiter niet is geopend voor het starten van de onderwaterpomp. Zowel pomp als put kunnen hierdoor verloren gaan.

Er wordt expliciet afgeraden om voor de winput, de onderdelen en de verbindingen, ander materiaal dan PVC of RVS te gebruiken. Gebruik van ander materiaal zoals gecoat staal, vezelversterkt cement of hout, heeft op den duur lekkage als belangrijkste risico. Een uitzondering hierop is het materiaal van de putbodemp. Hiervoor wordt meestal PE gebruikt en voor kleine putten soms nog hout. Afhankelijk van het soort hout bestaat er risico op bacteriegroei. Daarom heeft PE de voorkeur.

12.7.4 Drukklasse

Bij het ontwerpen van een winput speelt de uitwendige druk een grote rol. Tijdens montage en exploitatie werken op de put verschillende, voornamelijk uitwendige krachten die zo groot kunnen worden dat de put kan bezwijken (dicht- of inklappen). De meest kritische fase vindt plaats tijdens de aanvulling van het boorgat. Het in de put gebouwde materiaal moet dan ook bestand zijn tegen de grootste druk die kan worden verwacht. Op deze zogenaamde bezwijkdruk wordt de putbuis ontworpen. Door de perforatie kan de filterbuis minder druk weerstaan dan een stijgbuis. De filterbuis is dus maatgevend voor de vereiste bezwijkdruk

van de putelementen. De term drukklasse heeft betrekking op de inwendige bezwijkdruk van buizen en is voor drinkwaterbuizen meer van belang dan voor winputten. Bij een filterbuis is de inwendige bezwijkdruk (aangegeven door middel van de drukklasse) in de meeste gevallen groter dan de bijbehorende uitwendige bezwijkdruk (Tabel 12-4).

Tabel 12-4 Nominale drukklasse van PVC buismateriaal met indicatieve bezwijkdrukken voor axiaal gesleufde bronfilters.

Nominale drukklasse (bar)	Bezwijkdruk (uitwendig) (bar)
7,5	1,8 - 2,1
10,0	4,2 - 4,5
12,5	6,6 - 8,8
16,0	15,2 - 15,6

Indien nodig wordt er vooraf een sterkteberekening gemaakt ten behoeve van het te kiezen buismateriaal, waarbij rekening wordt gehouden met de te verwachten stijghoogten [41].

12.7.5 Centreerbeugel

De verbuizing wordt voorzien van centreerbeugels om te verzekeren dat die zich centraal in het boorgat bevindt. De centreerbeugel heeft een dikte ten opzichte van de buiswand van minimaal 25 mm.

12.8 Verbindingen en verlopen

Richtlijn 29 Buisverbindingen dienen gegarandeerd waterdicht te zijn. Bij schroefverbindingen zonder rubber afdichtingsringen en in het bijzonder kordeldraad is dit niet te garanderen. Bij voorkeur worden daarom bij PVC buismateriaal verlijmde verbindingen toegepast. Voor RVS buismateriaal zijn waterdichte trekvastе koppelingen beschikbaar.

Verskillende secties van filters en stijgbuizen worden met elkaar verbonden door middel van verbindingen. Goede verbindingen zijn cruciaal voor de integriteit van de put, daarnaast mogen verbindingen geen belemmering vormen voor de exploitatie en onderhoud van de put:

- de inwendige diameter van de put mag niet worden verkleind;
- de uitwendige diameter van de verbinding moet zo weinig mogelijk groter zijn dan de buitendiameter van de buis;
- de verbinding moet op het werk betrekkelijk eenvoudig kunnen worden gerealiseerd;
- de verbinding moet in de lengterichting van de buis zo kort mogelijk zijn;
- de verbinding moet voldoende sterk zijn om tijdens de inbouw de putconstructie onder de laatst aangebrachte verbinding te kunnen dragen;
- de verbinding moet (in ieder geval in het stijgbuistraject) waterdicht zijn om kortsluitstroming met verontreinigd water te voorkomen en daarmee de kans op microbiologische verontreiniging te verkleinen;
- de verbinding moet aan hygiënische eisen voldoen.

De inwendige diameter van de put mag niet worden verkleind, omdat in verband met noodzakelijke werkzaamheden in de put apparatuur de verbinding moet kunnen passeren. De uitwendige diameter mag niet te groot worden omdat anders de annulaire ruimte tussen buis en boorgatwand te nauw wordt. Dit is van belang bij het aanvullen van het boorgat (zie de in 2020 op te stellen PCD13-5). Bij te ver uitstekende verbindingen neemt tevens de kans

op onvolledige aanvulling onder een verbinding toe, waardoor ter plaatse holtes kunnen ontstaan. Holtes kunnen leiden tot ongewenste zettingen, nastoringen van de aangebrachte aanvulling, instorting van de oorspronkelijke boorgatwand of een combinatie van deze verschijnselen. Vooral voor het filtertraject is het van belang dat de verbinding zo kort mogelijk is. In het filtertraject moet de nuttige filteroppervlakte zo groot mogelijk worden gehouden. Bij het doorlaatpercentage dat fabrikanten van filters opgeven, is geen rekening gehouden met de toepassing van verbindingen. Bij het maken van een put moet daarmee rekening worden gehouden. Bij de inbouw van de put hangt de putconstructie 'los' in het boorgat en moeten de verbindingen het gewicht goed kunnen dragen. Het te dragen gewicht is afhankelijk van de stijghoogte van het grondwater in het boorgat, omdat in water het te dragen gewicht kleiner is.

Bij PVC buizen voor winputten worden de volgende soorten verbindingen onderscheiden:

- Schroefdraadverbinding
Bij winputten kan uit drie vormen van verbindingen worden gekozen: trapeziumdraad, BSP-draad en kordeldraad (ook wel koorddraadverbinding genoemd). Trapezium-schroefdraad is een grove, trapeziumvormig gesneden draad op de buis. De schroefverbinding met deze draad kan worden uitgevoerd met of zonder mof en met of zonder rubber afdichtingsring. BSP-draad is beschikbaar met mof en rubber afdichtingsring. Geen van de verbindingen leidt tot vernauwing van de binnendiameter.
Kordel-schroefdraad is een ronde draad. Die draad komt tot stand door de PVC buis te verwarmen en vervolgens over een mal te draaien, waardoor de (ronde) draad ontstaat. Bij waterwinputten wordt geëist dat de verbindingen waterdicht zijn. Bij schroefverbindingen en in het bijzonder kordel-schroefdraad kan dit niet worden gegarandeerd. Deze draad is daarom ongewenst. Het gebruik van PVC lijm hierbij is geen oplossing, omdat de lijm snel verhardt en vaak al hard is, voordat de twee buiseinden geheel in elkaar zijn geschroefd.
- Trekvaste verbinding
De trekvaste verbinding is een mofverbinding die haar trekvastheid ontleent aan twee lijmbussen (moffen) die elk op de buis worden geschoven en worden gelijmd. De lijmbussen kunnen op het werk worden aangebracht of als trekvaste buis bij de fabrikant worden besteld. De lijmbus is voorzien van één of twee groeven waarin na montage van de verbinding, de pezen of borgsnoeren worden geslagen, waardoor de gewenste trekvastheid ontstaat. De waterdichte afsluiting vindt plaats door middel van rubber profielringen. Deze trekvaste buisverbinding voldoet aan de gestelde eisen, maar wordt voor putconstructies niet toegepast. Er zijn goedkopere alternatieven beschikbaar.
- Lijmverbinding (opgetrompt)
Voor winputten zijn lijmverbindingen gangbaar. Over het algemeen wordt een buis met tromp en spie toegepast. De tromp is het aan de buis gevormde verwijde gedeelte. Bij het maken van de verbinding worden eerst de te lijmen delen vetvrij gemaakt, waarna de te verbinden delen met PVC lijm wordt ingesmeerd en direct daarna wordt de spie in de tromp van de andere buis geschoven. Vanuit de lijm kunnen stoffen worden afgegeven die de waterkwaliteit negatief beïnvloeden. Het is daarom belangrijk dat het contactoppervlak tussen de lijm en het water zo klein mogelijk blijft. Bij het aanbrengen van de lijm moet goed worden opgelet dat er geen overmatig gebruik wordt gemaakt van de lijm om lijmrillen aan de binnenkant zo veel mogelijk te voorkomen.

Ook bij RVS filters en stijgbuizen is bijzondere aandacht voor de fittingen noodzakelijk. Traditionele flensverbindingen zijn hinderlijk bij het inbouwen en kosten veel tijd bij de

installatie. Schroefverbindingen zijn qua installatie eenvoudiger, maar vragen net als bij PVC om specifieke maatregelen om de waterdichtheid te garanderen. Voor RVS filter- en buismateriaal zijn daarom trekvast verbindingen beschikbaar, waarbij met dubbele O-ringen de waterdichtheid wordt gegarandeerd.

Ten slotte wordt nog gebruik gemaakt van verlopen. Een verloop is een verbindingsstuk dat twee buisdelen van verschillende diameters aan elkaar verbindt. Het verloop wordt door middel van optromping verkregen. Daarbij wordt de wanddikte dunner in het gedeelte met de grootste diameter, waardoor de put ter plaatse van het verloop minder sterk is. Daarom wordt de wanddikte van het buismateriaal waarvan de tromp wordt gemaakt zo gekozen dat na optromping nog wordt voldaan aan de sterkte die wordt vereist.

12.9 Afdichting scheidende lagen en overige delen boorgat

Richtlijn 30 Voorkom dat verontreiniging of grondwater van een andere kwaliteit via het boorgat naar een andere goed doorlatende laag kan stromen (= BRL 2101, eis 17). Daarvoor wordt gebruikgemaakt van afdichtmateriaal dat voldoet aan BRL K5078.

Na afstellen en omstorten van het filter moet het boorgat weer worden aangevuld. Hiervoor zijn twee opties: (1) het laagsgewijs herstellen van goed en slecht doorlatende lagen of (2) het volledig aanvullen van het boorgat met slechtdoorlatend materiaal [92].

12.9.1 Te gebruiken materialen voor laagsgewijs herstel van scheidende lagen

Voor het laagsgewijs herstellen van scheidende lagen wordt in de praktijk meestal zwellende klei gebruikt (hoewel ook 'groutmengsels' zijn toegestaan, zie § 12.9.3). Op de markt zijn diverse materialen op basis van zwellende klei beschikbaar. De diverse soorten afdichtingsklei onderscheiden zich voornamelijk door het percentage bentoniet dat het zwelvermogen van de klei bepaalt. Producten op de markt zijn onder meer CEBOgel en Mikoliet. Een recente innovatie is het toevoegen van magnetiet, waardoor de kleiafdichtingen na aanleg van de put beter detecteerbaar zijn.

Eisen:

- Het aanvulmateriaal beschikt over een erkende kwaliteitsverklaring [98];
- Het afdichtingsmateriaal (na eventueel zwellen) heeft een maximaal toelaatbare doorlatendheid van 10^{-9} m/s;
- Aanvulklei dient vochtvrij te worden getransporteerd en opgeslagen;
- De klei wordt in plastic zakken of in big bags verpakt, zorgvuldig op pallets opgeslagen en met krimphoezen afgedekt.

Voor het afdichten van scheidende lagen is het gebruik van uitgekomen materiaal niet toegestaan [92].

12.9.2 Te gebruiken materialen voor tussenliggende zandlagen

Voor het afdichten van niet-scheidende lagen (de zandlagen) wordt in de Nederlandse praktijk meestal aanvulgrind gebruikt. Aanvulgrind heeft een diameter van 2 - 5 mm. Het is vaak hoekiger en slechter gesorteerd dan filtergrind. Het aanvulgrind dient te beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring [98].

Een nadeel van aanvulgrind is dat het materiaal vaak een veel grotere doorlatendheid (k-waarde) heeft dan de oorspronkelijke formatie. Hierdoor kan binnen het boorgat verticale stroming optreden, wat bijvoorbeeld kan leiden tot extra toestroming van verontreinigingen naar diepere waarnemingsfilters en dientengevolge niet-representatieve

waterkwaliteitsbeoordelingen. De mate waarin deze kortsluitstroming optreedt, is afhankelijk van het stijghoogteverschil binnen een watervoerend pakket [104].

Een alternatieve aanpak voor de toepassing van aanvulgrind is het afdichten van het gehele boorgat met zwelklei of hergebruik van uitgekomen materiaal. Het met zwelklei opvullen van de gehele annulus rond de stijgbuis wordt veel toegepast in andere Europese landen (bijvoorbeeld in Duitsland). Het voordeel hiervan is de kleinere kans op verticale kortsluitstroming.

Hergebruik van uitgekomen materiaal wordt door drinkwaterbedrijven vooral toegepast bij waarnemingsputten in freatische aquifers met dikke onverzadigde zones. Voor het hergebruik van opgeboord materiaal voor het aanvullen van zandlagen gelden de volgende eisen/ aanbevelingen:

- Het materiaal mag geen bodemverontreinigingen bevatten. Formeel moet worden aangetoond dat het toe te passen materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit [95] en de regels van de Wet bodembescherming [97]. Overleg met het bevoegd gezag of een partijkeuring is noodzakelijk als er wordt geboord in schone bodem. Hergebruik van uitgekomen grond is bij boringen op locaties met mogelijke bodemverontreinigingen een 'no go'.
- Het materiaal dient zorgvuldig te worden opgeslagen (op plastic en afgedekt tegen feces van vogels, stof en dergelijke), zodat het niet hygiënisch verontreinigd raakt.
- Het materiaal van de verschillende aquifers/formaties mag niet worden vermengd (separate opslag).
- Uitgekomen klei, leem en veen mogen niet worden gebruikt.

In Vlaanderen is volgens de VLAREM II uitsluitend de aanvulling met uitgeboord materiaal vermeld [131]. Voor de toepassing van aanvulgrind dient dus telkens een uitzondering te worden aangevraagd bij de Vlaamse Milieumaatschappij.

12.9.3 Te gebruiken materialen in vaste gesteenten

In vaste gesteentes wordt de annulus rond de stijgbuis en de boorgatwand in veel gevallen opgevuld met cementspecie. Het te gebruiken cement moet voldoen aan [NEN 3550:2012](#). De aanbeveling wordt gedaan om hiervoor Portland cement P50 of Portland cement met hoge bestandheid tegen sulfaten (-HS) te gebruiken. De specie mag verder uitsluitend water en kwartszand bevatten. De cementspecie mag uitsluitend worden aangemaakt met drinkwater. Hulpstoffen mogen uitsluitend worden toegevoegd als het technisch noodzakelijk is. Hiervoor is toestemming van de opdrachtgever noodzakelijk. Een voorbeeld hiervan is het toevoegen van bentonietpoeder om krimpscheuren te voorkomen. Cementeringen worden aangebracht bij doorboringen van slecht doorlatende lagen, maar ook bij overgangen van vaste naar losse formaties.

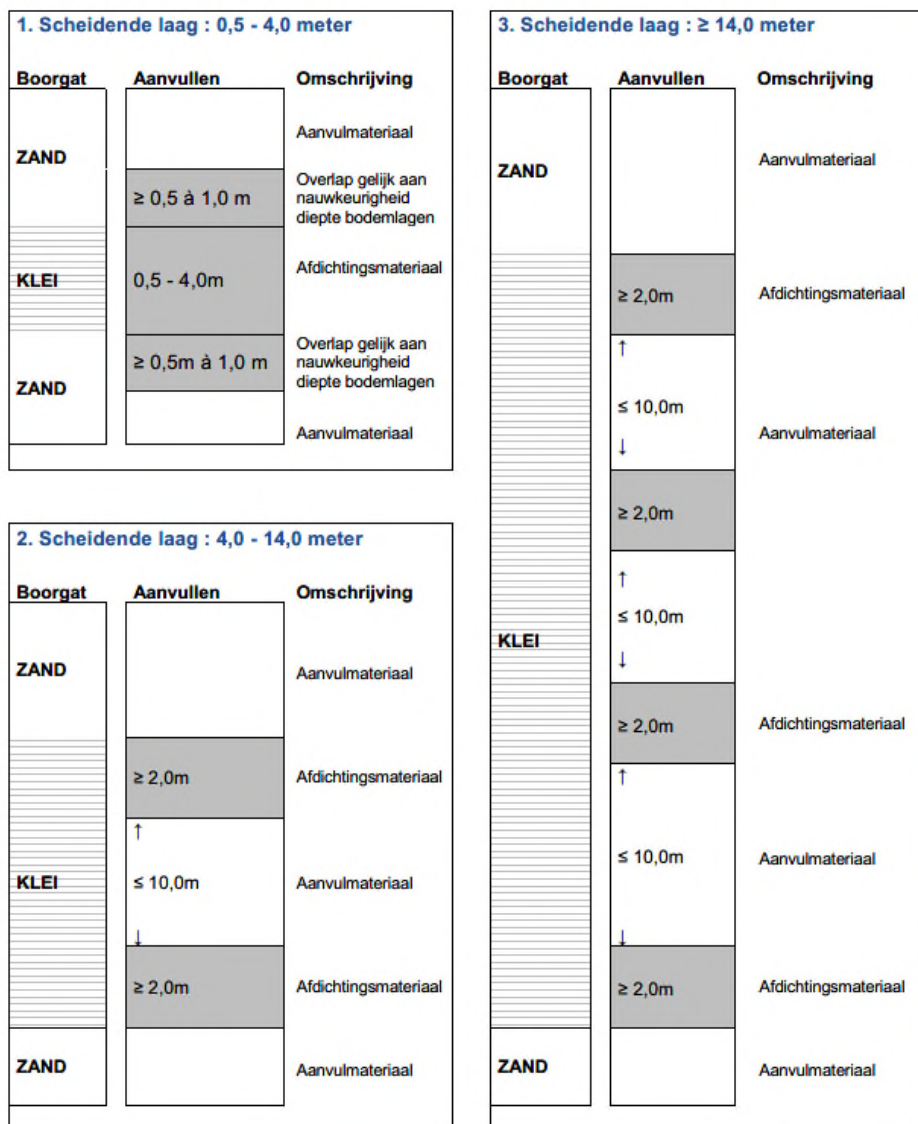
Bij PVC stijgbuizen kan cement niet worden toegepast, omdat het materiaal kan vervormen door de temperatuurverhoging die optreedt tijdens uitharden van de cementspecie.

Wanneer de kans bestaat dat het watervoerende karakter van de vaste formatie door gebruik van cementspecie vermindert, kan er volgens VLAREM II [131] eerst een kleistop (minimaal 2 m) worden aangebracht, waarin de stalen casing wordt gedrukt. Vervolgens kan de annulaire ruimte rond de stijgbuis worden gecementeerd. De klei kan bij het verder boren eenvoudig worden doorboord.

12.9.4 Laagsgewijs afdichten

Het BRL protocol 2101 stelt de volgende eisen aan het laagsgewijs afdichten:

- Van het traject tussen 0 - 1,0 m -mv wordt ten minste 0,5 meter afgedicht met afdichtingsmateriaal. Deze eis is niet van toepassing als dit traject tijdens de uitvoeringsperiode van het werk weer wordt afgegraven, omdat dit deel van de boring onderdeel is van een werk.
- Als in de bovenste 5 m van de bodem geen scheidende lagen voorkomen, wordt het boorgat daarin met minimaal 2 m aaneengesloten afdichtingsmateriaal aangevuld.
- Bij scheidende lagen met een dikte van minder dan 4 m wordt het afdichtingsmateriaal in één aaneengesloten laag aangebracht, met de volgende overlap:
 - Als de diepteligging van de bodemlagen met 1,0 m nauwkeurigheid is vastgelegd, wordt afdichtingsmateriaal vanaf 1,0 m onder de scheidende laag tot 1,0 m boven de scheidende laag aangebracht.
 - Als de diepteligging van de bodemlagen met 0,5 m nauwkeurigheid is vastgelegd, wordt afdichtingsmateriaal vanaf 0,5 m onder de scheidende laag tot 0,5 m boven de scheidende laag aangebracht.
 - Bij een andere nauwkeurigheid in het vaststellen van de diepteligging van de bodemlagen wordt het afdichtingsmateriaal tot boven en onder de scheidende laag aangebracht, overeenkomstig de aangehouden nauwkeurigheid.
- Bij scheidende lagen met een dikte van 4 m of meer wordt (vallend binnen het dieptetraject van de scheidende laag) zowel aan de onderzijde als aan de bovenzijde van de scheidende laag minimaal 2 m aaneengesloten afdichtingsmateriaal aangebracht.
- In aanvulling op de vorige bullet geldt bij scheidende lagen met een dikte van 14 m of meer dat een extra afdichting van minimaal 2,0 m dikte wordt aangebracht als de afstand tussen de afdichtingen groter is dan 10 m tussen deze afdichtingen.



Figuur 12-5 Schematische weergave van eisen bij laagsgewijs afdichten van scheidende lagen.

12.10 Waarnemingsfilters

Om de toestand van de put te kunnen controleren, is het gebruikelijk om in de omstorting ter hoogte van het filtertraject zowel aan de boven- als de onderzijde een waarnemingsfilter te stellen.

Als een put niet uit één maar uit een aantal filters is opgebouwd die zich in verschillende watervoerende lagen bevinden, worden er per filtertraject één of twee waarnemingsfilters gesteld,; één als de filters zijn bestemd voor afpompsmetingen en twee als de filters tevens zijn bestemd voor waterkwaliteitsbeoordelingen. De lengte van de waarnemingsfilters is over het algemeen 2 m.

Voor waarnemingsfilters die (ook) voor waterkwaliteitsbeoordelingen worden gebruikt, is een inwendige diameter van minimaal 52 mm aan te bevelen, zodat monsterneming met een onderwaterpomp mogelijk is. Een dergelijk pompje is in elk geval nodig als de

grondwaterstand dieper is dan 7 m beneden maaiveld. De waarnemingsputten moeten geschikt zijn om daarin drukopnemers te kunnen hangen.

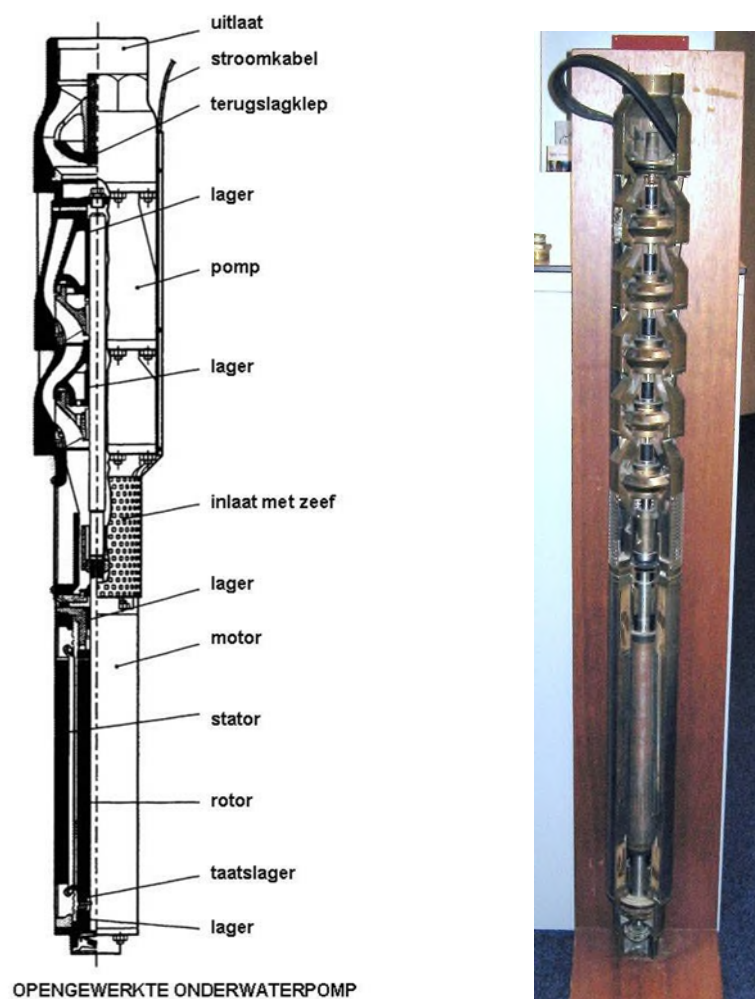
De perforatie van het waarnemingsfilter is aangepast aan de omstorting van de put. Met behulp van centreerringen kunnen de waarnemingsfilters in het midden van de annulaire ruimte worden gesteld op een horizontale afstand van 5 à 10 cm van het pompfilter.

12.11 Onderwaterpompsysteem

In deze paragraaf wordt het ontwerp van onderwaterpompen toegelicht. Voor collectieve vacuümsystemen wordt verwezen naar § 13.2.

Doel van het pompsysteem is om het grondwater uit de winput naar de zuivering te transporteren. De onderwaterpomp is een centrifugaalpomp, die voor het leveren van voldoende persdruk (opvoerhoogte) van een aantal waaiertrappen is voorzien en die direct door een elektromotor wordt aangedreven (zie Figuur 12-6).

De belangrijkste specificaties bij de pompkeuze zijn: de nominale capaciteit, de minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte en de Q/H-pompkarakteristiek.



Figuur 12-6

(Opengewerkte) onderwaterpomp [87] (foto Carl van Rosmalen, Brabant Water).

12.11.1 Nominale capaciteit

De nominale capaciteit (ontwerpcapaciteit) van een onderwaterpomp is de capaciteit bij normaal bedrijf. De nominale capaciteit van de onderwaterpomp en dus ook van de individuele winput is daarmee in de eerste plaats afhankelijk van de gewenste productie en het aantal winputten op het puttenveld. Voor dimensionering van de putten en berekening van het aantal putten op het puttenveld wordt verwezen naar § 11.3.

12.11.2 Minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte

Voor het bepalen van de minimaal vereiste manometrische opvoerhoogte van de onderwaterpomp (= statische opvoerhoogte + dynamische opvoerhoogte) zijn verschillende gegevens nodig:

- Een hoogteschema met NAP-hoogten van maaiveld, hoogste en laagste grondwaterstanden, en het hoogste punt van de inlaat van de zuivering;
- De minimale voordruk van de zuivering;
- De leidingkarakteristiek;
- De verwachte en/of gemeten afpompings bij de nominale capaciteit;
- Eventuele onderlinge beïnvloeding van de winputten op het puttenveld.

12.11.3 Pompkarakteristieken

Nadat de nominale capaciteit en de minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte zijn bepaald, kunnen de vier pompkarakteristieken worden samengesteld, namelijk van:

- capaciteit (Q) en opvoerhoogte (H);
- capaciteit (Q) en pomprendement (η);
- capaciteit (Q) en vermogen (M);
- capaciteit (Q_p) en opvoerhoogte (H_p) bij het parallel bedrijven van een aantal onderwaterpompen.

Voordat de leverancier de onderwaterpomp aflevert, wordt een proefprotocol van de onderwaterpomp gemaakt. Daarbij worden door middel van een proefopstelling de pompkarakteristieken verkregen, die vervolgens worden vergeleken met de theoretische pompkarakteristieken. Ook wordt gekeken of deze pompkarakteristieken voldoen aan de specificaties van de opdrachtgever.

De afmetingen en dan vooral de minimale diameter worden hoofdzakelijk door de capaciteit en de opvoerhoogte bepaald. Daarmee ligt de keuze van de pomp in hoofdlijnen vast. Ten aanzien van het onderhoudsregiem kan bij de keuze van de uitvoering het aantal draaiuren een rol spelen. Andere zaken die bij de keuze van de uitvoering aandacht vragen, zijn het materiaal van de pomp en het type elektromotor.

12.11.4 Materiaalkeuze

Onderwaterpompen worden in verschillende materialen uitgevoerd. De materiaalkeuze is afhankelijk van de chemische samenstelling van het opgepompte grondwater. Gebruikelijke materialen zijn:

- Brons;
- RVS;
- Polycarbonaat (waaiers);
- Combinaties zoals: gietstaal (pomphuis) en brons (waaiers en behuizing van de elektromotor).

De onderwaterpomp is van lagers voorzien. Die lagers bevatten een smeermiddel. De onderwaterpomp moet zo zijn ontworpen dat lekkages worden voorkomen en het smeermiddel niet in aanraking kan komen met het opgepompte water. Om die reden moet een hoogwaardige onderwaterpomp met een goede asafdichting worden ingezet. Doorgaans zijn onderwaterpompen voor de waterwinning ten behoeve van de productie van drinkwater met vetverpakte lagers uitgerust. De lagerfabrikant heeft die van vet voorzien, die voldoende is voor de gehele levensduur van het lager. Een andere mogelijkheid is om gedestilleerd water als smeermiddel toe te passen.

12.11.5 Type elektromotor en vermogen

De onderwaterpomp wordt aangedreven door een asynchrone draaistroommotor. Hiervan zijn droge en natte uitvoeringen. Bij de droge is de motor waterdicht uitgevoerd en bij de natte uitvoering is de motor met een emulsie afgevuld. In de praktijk wordt de natte variant het meest toegepast. Met behulp van de nominale capaciteit, minimaal vereiste opvoerhoogte en het rendement van de pomp kan het minimaal vereiste vermogen (in kW) van de elektromotor worden berekend. De gebruikelijk spanning voor de draaistroommotor bedraagt 230/400 V. Afhankelijk van de plaats van de winputten in het veld en de plaats van de schakelruimten worden ook draaistroommotoren met een spanning van 380/660 V toegepast. Het toelaatbare spanningsverlies in de kabel tussen schakelruimte en elektromotor bedraagt maximaal 3%.

12.12 Putkop

Richtlijn 31 De putkopconstructie moet: (1) volledig afsluiten, (2) eventueel optredende zettingen kunnen opvangen, (3) voldoen aan gestelde eisen in de Arbowetgeving, (4) voldoen aan speciale (sterkte) eisen om de put te mogen en te kunnen ontwikkelen en regenereren, (5) zijn voorzien van signalerings- en bewakingsapparatuur, (6) geen storend element zijn in het landschap en (7) conform [NEN 1010:2015](#) (voor installaties) worden uitgevoerd.

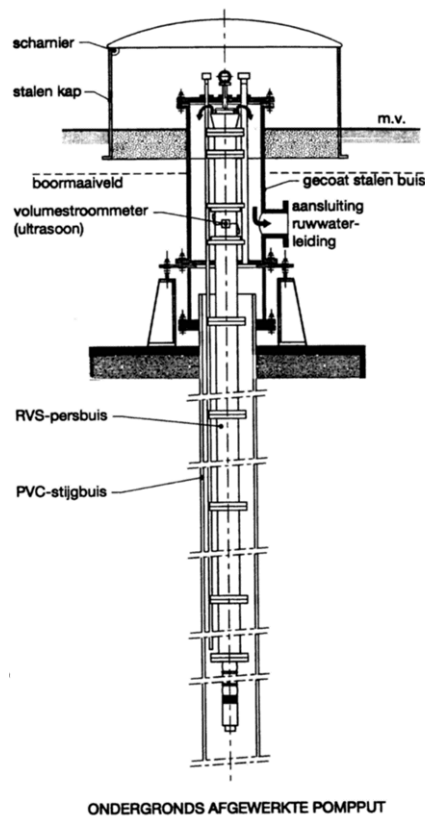
Een cruciaal onderdeel van de put is de putkop. Deze vormt allereerst de bovenafsluiting van de put en is daarmee cruciaal voor het borgen van de chemische en microbiologische kwaliteit van het opgepompte water. De putkopconstructie is verder de toegang tot de put voor monitoring en onderhoud.

De belangrijkste vereiste aan de putkop is een integrale lucht- en waterdichte afsluiting. Hiermee wordt voorkomen dat schadelijke stoffen of organismen in de put kunnen komen. Speciale aandacht vraagt de afdichting van de doorvoeren (bijvoorbeeld van de kabel), de waarnemingsfilters en de beluchting/ontluchting. De beluchting moet boven de hoogste grondwaterstand (of eventueel hoogste relevante inundatiehoogte) worden aangebracht, zodat hierdoor geen water naar binnen kan stromen. Eventuele zettingsverschillen die tussen put en putconstructie ontstaan, kunnen door een constructie met een O-ring in de putkopconstructie worden opgevangen. De O-ring voorkomt bovendien dat mogelijk verontreinigd grondwater de put in kan stromen. Bij het ontwerp van de putkopconstructie moet ervan worden uitgegaan dat de bovenzijde van de verwijde stijgbuis boven het grondwaterniveau wordt afgewerkt.

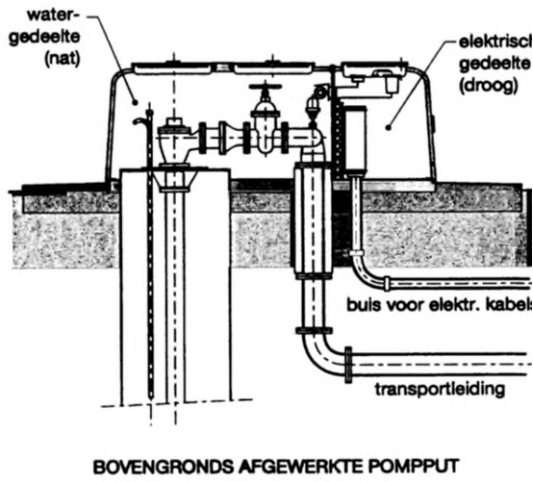
Als een afsluiter in de winput of een keerklep in de ruwwaterleiding of spuileiding niet goed afsluit, kan (bijvoorbeeld tijdens regeneratiewerkzaamheden) vervuild water overige delen van het ruwwatersysteem verontreinigen. Bij gebruik van spuileidingen moet worden voorkomen dat terugstroming plaatsvindt. Die terugstroming kan ertoe leiden dat het ruwwater wordt vervuild. Spuileidingen moeten daarom altijd zo worden ontworpen dat ze kunnen worden lossgekoppeld van het ruwwatersysteem als die buiten gebruik zijn. Vaste verbindingen dienen te worden vermeden.

De putkopconstructie wordt uitgevoerd in staal 37-2/C22-8 of RVS 316L. Bij gebruik van staal is een uitwendige materiaalbehandeling noodzakelijk, zoals thermisch verzinken en behandelen met kunststof ('Epimid' of 'Rilsan'). De materiaalbehandeling moet conform de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening [98] worden uitgevoerd. Bij het toepassen van verschillende metalen in de winput kan een spanningreeks (contactpotentiaal) ontstaan, die tot metaalcorrosie kan leiden. Metaalcorrosie kan onder meer problemen opleveren bij het trekken van de onderwaterpomp. Dit kan worden voorkomen door het aanbrengen van kathodische bescherming.

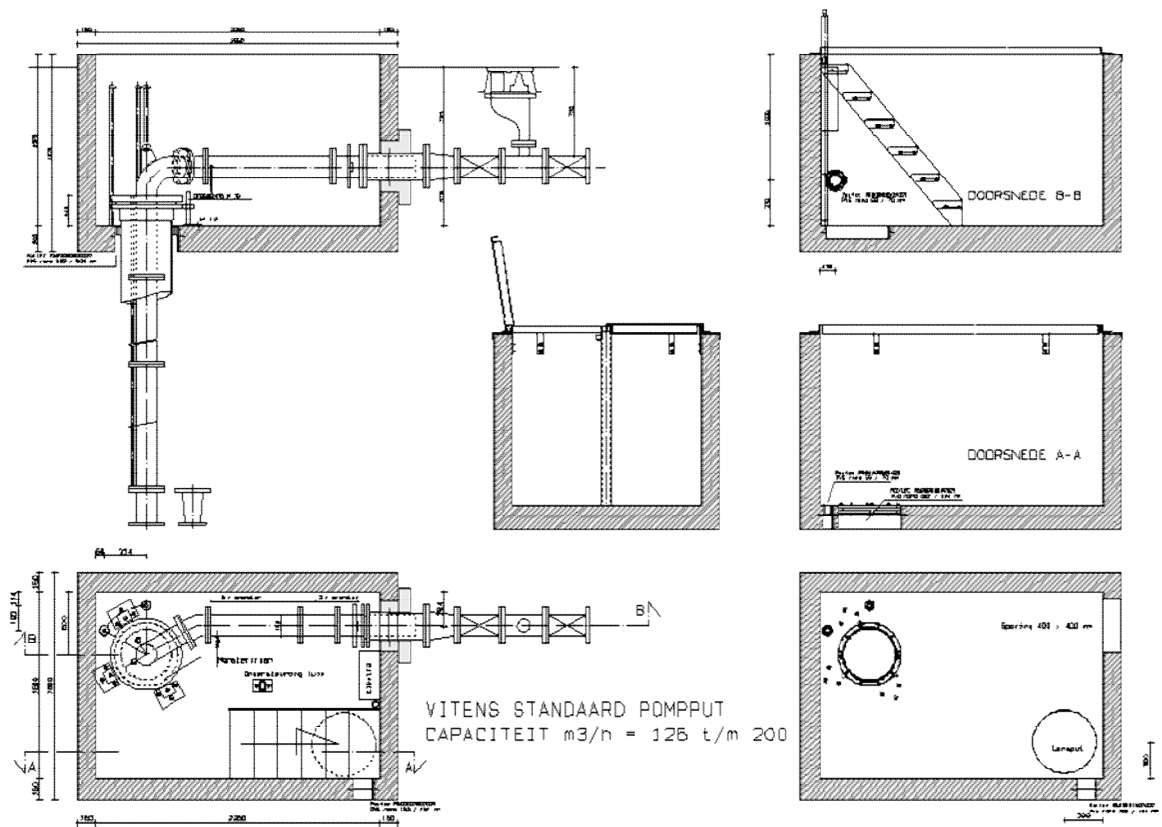
De meeste drinkwaterbedrijven hebben hun eigen constructies. Om een idee te geven van de verscheidenheid is een drietal voorbeelden van putkopconstructies met bijbehorende putkelders (behuizingen) opgenomen (zie Figuur 12-7 tot en met Figuur 12-10).



Figuur 12-7 Ondergronds aangesloten winput met stalen kap (Vitens, Gelderland).



Figuur 12-8 Bovengronds afgewerkte winput (SBW, 1995); rechts: bovengronds afgewerkte put in Onnen (foto Waterbedrijf Groningen).



Figuur 12-9 In een betonnen putkelder afgewerkte putkopconstructie (tekening Vitens).



Figuur 12-10 In een betonnen putkelder afgewerkte putkopconstructie (foto WML).

12.13 Putkelder/putkopbehuizing

Richtlijn 32 De putkopbehuizing of putkelder moet dusdanig solide worden uitgevoerd dat ontwikkelen en regeneratie mogelijk is. De putbehuizing is waterdicht en wordt bij voorkeur boven het grondwater en/of inundatieniveau aangelegd. Bij aanleg van een putkelder mag de kleirop niet zo worden vergraven dat kortsluitstroming kan optreden.

De kelder of behuizing moet aan de volgende eisen voldoen:

- de putkopconstructie en apparatuur moeten zijn beschermd tegen weersinvloeden en beschadigingen tijdens regeneratie en door vandalisme;
- Er moet ruimte zijn voor de putkopconstructie, meet- en regelapparatuur en waarnemingsputten.

De kelder of behuizing kan afhankelijk van de beoogde constructie worden uitgevoerd in:

- gewapend beton;
- staal 37-2/C22-8;
- polyester of andere kunststoffen, waarbij een verankering op bijvoorbeeld een betonnen fundatieplaat moet worden gemaakt.

Bij het ontwikkelen en regenereren van de put kunnen tijdens het werk grote krachten optreden op de put en putkop. Een voorbeeld hiervan zijn de krachten die optreden tijdens jutteren (zie PCD 13-4). De putkelder (en putkopconstructie) moeten dusdanig solide zijn gebouwd dat ze de optredende krachten veilig kunnen verwerken. Als er wordt verwacht dat de winputten van een waterwinplaats intensief moeten worden ontwikkeld en/of geregenereerd, kan worden overwogen de putkelder in gewapend beton uit te voeren of om de constructie te voorzien van een fundatieplaat van gewapend beton.

Een putkelder moet waterdicht en zo droog mogelijk zijn. Daarom wordt een putkelder bij voorkeur boven het grondwaterniveau worden aangelegd. Bij een putkelder die beneden het grondwaterniveau is aangelegd, kunnen lekkages ontstaan door de wand, de vloer of de doorvoeropeningen voor bijvoorbeeld de put, een waarnemingsfilter of de flensverbinding van de ruwwaterleiding.

In zettingsgevoelige gebieden (bijvoorbeeld veen en slappe klei) kan het nodig zijn de putkelder op heipalen en een fundatieplaat aan te brengen. In gebieden met hoge grondwaterstanden of risico op inundatie moet de constructie van de putkelder in staat zijn om opdrijven te voorkomen.

Het is belangrijk dat de kleiprop waarmee een put is afgewerkt niet wordt vergraven bij de aanleg van de putkelder. Als dat wel zou gebeuren, kan er kortsluitstroming langs de put met het waterwinpakket ontstaan. De aanbeveling wordt gedaan het lek- en condenswater in de putkelder via een dompelpomp of afvoer te verwijderen. Eventueel kan daarvoor een lekdetectiesysteem worden geïnstalleerd.

De Arboveiligheid bij het verrichten van hijs- en montagewerkzaamheden kan worden bevorderd als de toegangsdeksel in bijvoorbeeld twee delen wordt uitgevoerd en precies boven de putconstructie wordt aangebracht. Ook wordt wel een constructie toegepast waarbij het hele deksel kan worden verwijderd. Verder moet een toegangsladder zo kunnen worden neergezet dat een medewerker er onbelemmerd en veilig gebruik van kan maken.

Op waterwinplaatsen die met of zonder toestemming voor het publiek toegankelijk zijn, is het wenselijk veiligheidsvoorzieningen aan te brengen. Om vandalisme, mogelijke vernielingen en verontreiniging tegen te gaan, is het wenselijk om een systeem van toegangsbeveiliging aan te brengen, met op het toegangsdeksel een melding naar de procesbewaking.

12.14 Elektrische installatie, meet- en regelapparatuur

Richtlijn 33 De stroomvoorziening en schakelaars van de put dienen van een waterdichte afdichting te zijn of worden op een dusdanige hoogte geplaatst dat inundatie niet mogelijk is.

De elektrische installatie in de putkelder moet volgens [NEN 1010:2015](#) worden aangesloten. Zo moet er een aardelektrode worden aangebracht. Dat kan bijvoorbeeld in de omstorting tijdens de inbouw van de put. Verder moeten er vereffeningssleidingen naar verschillende punten worden aangelegd en aangesloten. De stroomvoorziening en schakelaars dienen voldoende hoog in de put te worden aangelegd, zodat die niet onder water komen te staan bij een lekkage in de put. § 11.8 geeft aanvullende richtlijnen voor de stroomvoorziening in gebieden met een kans op inundatie.

Deze paragraaf geeft een beknopt overzicht van meet- en regelapparatuur die op winputten (kunnen) worden aangebracht. Het gaat om apparatuur om de winputten tijdens de exploitatiefase goed te kunnen beheren. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen standaard aanwezige apparatuur die vast is ingebouwd en apparatuur die incidenteel wordt aangebracht.

Het onderstaande geldt niet voor series putten. Deze worden over het algemeen uitsluitend per streng en niet per individuele put gemonitord.

Standaard aanwezige apparatuur in putkelder

In een putbehuizing bevinden zich standaard een debietmeter en een manometer. Met de

debietmeter (ook wel watermeter genoemd) wordt per winput de hoeveelheid onttrokken grondwater per tijdseenheid gemeten. Voor het meten van het debiet werd in het verleden gebruik gemaakt van horizontale of haakse watermeters (beiden pulstellers). Tegenwoordig worden vooral elektromagnetische en ultrasone volumestroommeters toegepast. Deze zijn minder gevoelig voor meetfouten door biochemische neerslagen dan mechanische debietmeters.

Met de manometer wordt de waterdruk in de uitgaande ruwwaterleiding gemeten. Deze meting vormt een extra indicatie voor het draaien van de pomp voor het geval de volumestroommeter defect is.

Standaard aanwezige apparatuur in besturingskast

Standaard aanwezig in de besturingskast zijn een urenteller en een ampèremeter. De urenteller wordt gebruikt om het aantal uren te registreren dat de pomp draait. Samen met de debietmeter kan hiermee worden bepaald hoe groot de onttrekkingshoeveelheid per put in de loop van de tijd is. De ampèremeter wordt toegepast om de (elektrische) stroomsterkte per onderwaterpomp (per winput dus) te meten. Ook deze meter wordt gebruikt om te kunnen zien of de pomp goed werkt (geleverd vermogen en warmteontwikkeling).

Incidenteel aangebrachte apparatuur in putkelder

Incidenteel aangebrachte apparatuur in winputten betreft drukopnemers en debietmeters.

Incidenteel aangebrachte apparatuur in besturingskast

In dit geval gaat het uitsluitend om de frequentieomvormer, die de frequentie en daarmee het toerental van de asynchrone motor van de pomp kan regelen. Daardoor kan het debiet van de pomp binnen een bepaald bereik (bepaalde bandbreedte) worden geregeld.

Monsternemingpunten

In een winput zijn vaak de volgende punten voor monsterneming aanwezig:

- monsterkraan voor het nemen van een grondwatermonster;
- mogelijkheid voor het uitvoeren van een annubar-meting;
- waarnemingsfilter langs de putkopconstructie in de verwijde stijgbuis voor het bepalen van de waterstanden in de put en het nemen van watermonsters;
- waarnemingsfilters in de omstorting (met de daarbij behorende afwerking en beveiliging) voor het meten van de grondwaterstanden en het nemen van watermonsters.

13 Dimensionering terreinleidingen en vacuümpompsystemen

13.1 Terreinleiding

13.1.1 Diameter

Het ontwerp van een ruwwatertransportnet (pompen en leidingen) is het resultaat van een samenspel tussen energiekosten en investeringen. Hoe lager de transportsnelheid van het ruwe water, des te lager zal de benodigde transportenergie weliswaar zijn, maar des te groter wordt de diameter van de transportleiding en daarmee de investering in deze leiding. Voor een volledige afweging van investeringen en energiekosten kunnen gedetailleerde berekeningen worden gemaakt. Deze zijn verzameld in de KIWA-Mededelingen [58](#) [1] en [59](#) [110] en Huisman [45] geeft hierop enkele aanvullingen.

Voor een eerste opzet voor het bepalen van de diameters en de benodigde pompkrommes kan worden volstaan met een aantal vuistregels. Als eerste aanname voor de economische maximumsnelheid in een transportleiding wordt uitgegaan van 1 m/s. Op basis van deze snelheid en de vereiste maximum volumestroom volgt dan de diameter volgens:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_{\max}}{\pi v}} \quad \text{vgl. 13-1}$$

waarin: D = inwendige leidingdiameter [m], v = stroomsnelheid [m/s] en Q_{\max} = maximale volumestroom [m³/s]. Op basis van de berekende diameter kan vervolgens een leverbare diameter voor de transportleiding worden gekozen.

Op basis van de vastgestelde diameter wordt volgens met de formule van Darcy-Weisbach een berekening gemaakt van de aanwezige drukverliezen onder maximale omstandigheden en onder minimale omstandigheden. De formule van Darcy-Weisbach luidt:

$$\Delta H = \lambda \frac{8L}{\pi^2 g} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{vgl. 13-2}$$

waarin: ΔH = drukverlies over de leiding [m_{H₂O}], λ = wrijvingscoëfficiënt volgens Colebrook, L = leidinglengte [m], g = gravitatieconstante [m/s²], Q = volumestroom [m³/s]

De wrijvingscoëfficiënt (λ) kan aan grafieken en tabellen worden ontleend. [44] geeft een overzicht van wrijvingscoëfficiënten bij verschillende watertemperaturen. De wrijvingscoëfficiënt berekend met 'Colebrook' is nauwkeuriger. Als beginschatting kan 0,03 worden aangenomen. De druk in het leidingsysteem kan worden bepaald vanaf het leveringspunt op de zuivering. Afhankelijk van de uitvoering van de zuivering, vrije instroom of drukketels, heeft dit leveringspunt een vaste of een variabele druk [44].

Als er gedetailleerde informatie over opvoerhoogten, drukverliezen enzovoort vereist is, zijn meer gedetailleerde berekeningen noodzakelijk. Door het leidingsysteem in een leidingnetmodel onder te brengen, kan elke mogelijke variant in de bedrijfsvoering worden

doorgerekend. De opbrengsten hiervan resulteren in een nauwkeurige analyse van de verschillende variabelen, zoals Q/H-relatie, beïnvloeding van winputten onderling aan de perszijde en dergelijke. Bij de drinkwaterbedrijven zijn hiervoor verschillende softwarepakketten beschikbaar zoals Infoworks ICM, EPANET, Synergy, WaterGEMS et cetera.

13.1.2 Diepteligging

Leidingen moeten worden afgedekt met een gronddek van minimaal 1 m, zodat de leiding beschermd is tegen vorst. Ook zal dan door de spreiding van de druk in het gronddek geen beschadiging optreden aan de ruwwaterleiding door machines die over het terrein rijden.

13.1.3 Doorspuitmogelijkheden

In de loop van de tijd kunnen leidingen langzaam verstopten met onder andere zand en ijzerslib, waardoor de capaciteit van het systeem sterk afneemt. Om de leidingen te kunnen schoonmaken, kunnen op verschillende plekken in het leidingsysteem spuivoorzieningen worden aangebracht.

13.2 Collectieve vacuümpompsysteem met hevelonderbreker

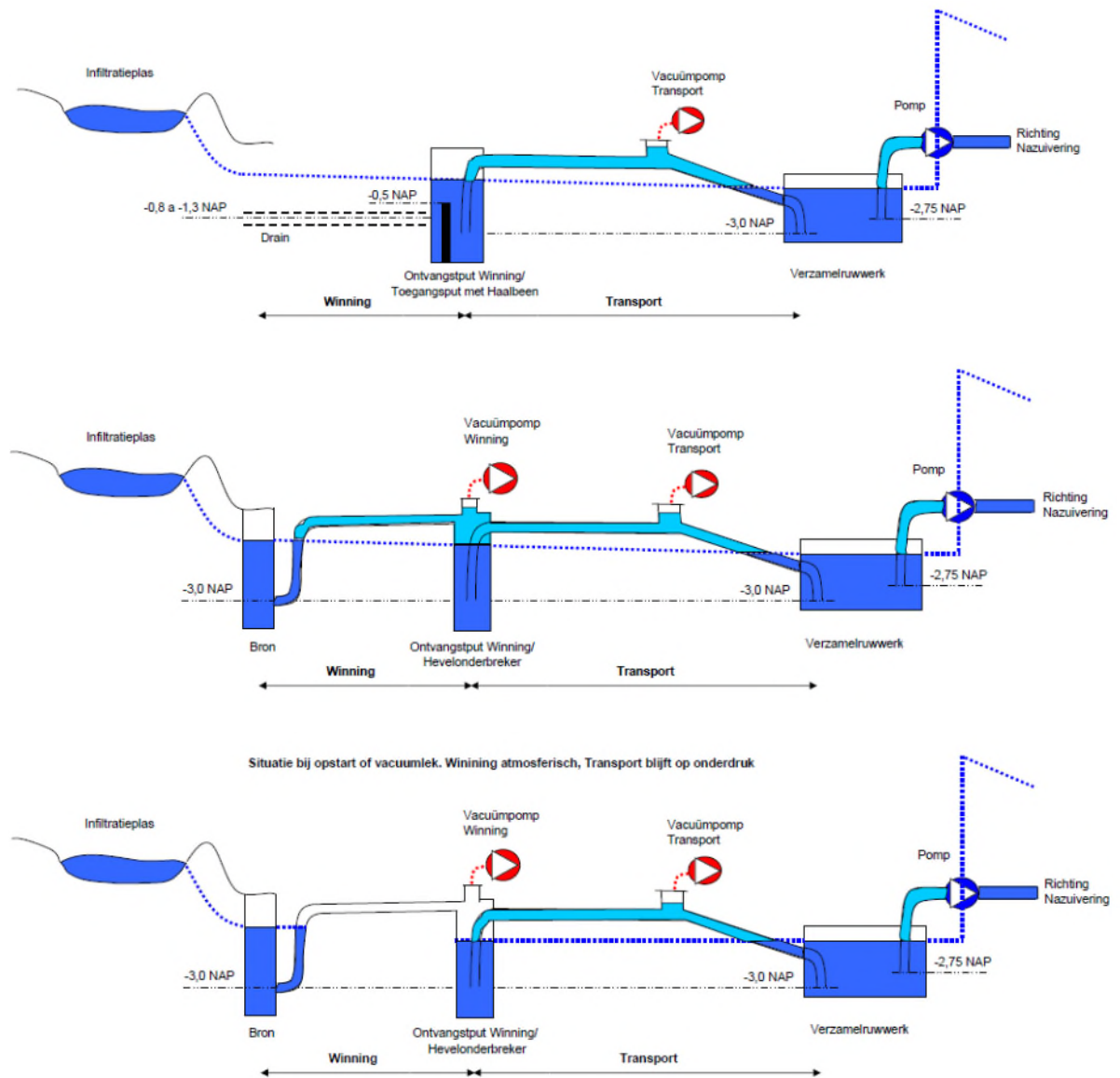
13.2.1 Werkingsprincipe

Figuur 13-1 geeft een beeld van het hevelsysteem. Voor de hevelende freatische winningen is onderscheid te maken tussen winning door middel van drains (boven) of door middel van een ondiepe bronnenserie (midden). Het transport gedeelte functioneert in beide gevallen via onderdruk. De drijvende kracht voor waterlevering is het hoogteverschil tussen het waterniveau in de infiltratieplassen en het waterniveau in het verzamelruwwerk die al het water uit het duin verzamelt en verpompt naar de nazuivering.

Een winning levert altijd water als het transportgedeelte op onderdruk staat. De hoeveelheid is afhankelijk van het niveau in het verzamelruwwerk en hevelstand (hoogte van de verhanglijn) in de ontvangstput.

Aan de transportleiding zijn de haalbenen uit de ontvangstputten van de winningen gekoppeld. De haalbenen en de uiteinden van alle leidingen bevinden zich op -3,0 m NAP, zodat bij uitvallen van een ondiepe winning (Figuur 13-1, onder) het transportgedeelte op onderdruk blijft staan. De borging van de hevelwerking wordt gerealiseerd door vacuümpompen.

Door ontgassing verzamelt zich lucht in een luchtbuffervat dat zich op het hoogste punt van de leiding bevindt. Naar mate de luchtbel ophoopt, zal het waterniveau in het luchtbuffervat dalen. In regulier bedrijf slaat om een x-aantal minuten een kleine vacuümpomp de verzamelde lucht uit. Het waterniveau in het luchtbuffervat ofwel schakelvat op het hoogste punt van de transportleiding pendelt tussen in -en uitslagpeil. Bij lekkage in de transportleiding zakt het waterniveau tot onder het inslagpeil en krijgt de kleine pomp ondersteuning van een grote vacuümpomp, die moet voorkomen dat de transportleiding uitvalt [19].



Figuur 13-1 De werking van vacuümwinning met hevelonderbreker met drains (boven) en puttenseries (midden). Bij lekkage of uitschakelen van de winning zorgt het hevelsysteem ervoor dat het transportsysteem op druk blijft (onder) [19].

13.2.2 Configuratie vacuümpopstelling winning

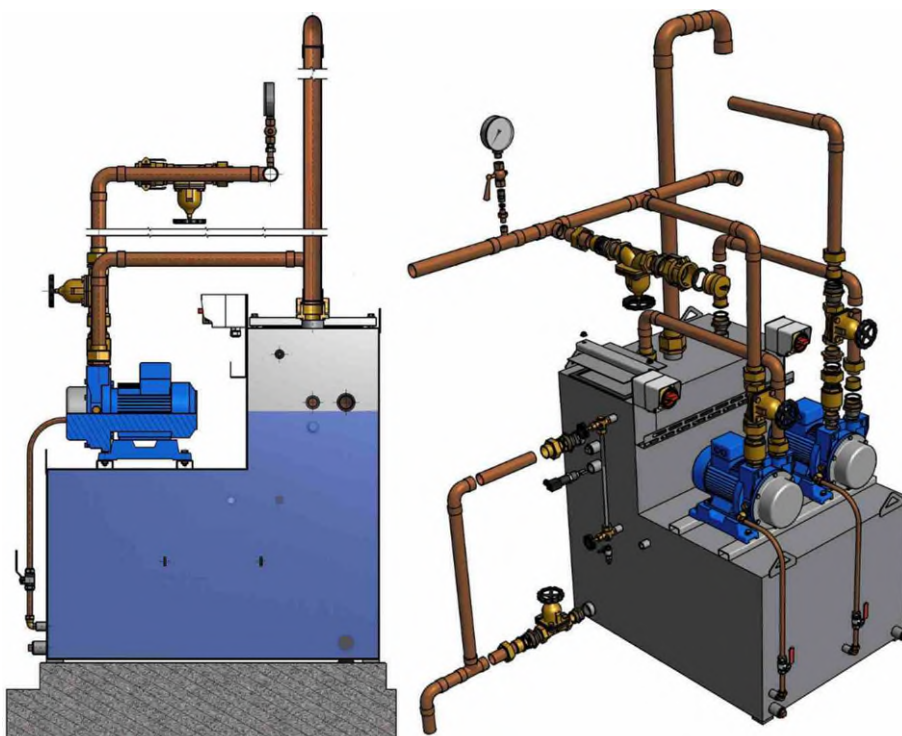
Lucht in het luchtbuffervat slaat uit naar een koelwatertank. De koelwatertank heeft een ontluchting naar de buitenlucht, zodat daarin zich geen druk opbouwt en het koelwater zijn warmte goed kwijt kan. Er heerst dus een atmosferische druk in de koelwatertank. Om luchtlekkage naar het winsysteem te voorkomen, dient er een terugslagklep in de vacuütleiding te zitten. Door verdamping van het koelwater zakt het koelwaterpeil. Het koelwater kan handmatig worden bijgevuld [19].

13.2.3 Bepaling dimensies vacuümpopstelling

Voor een vacuümpopstelling moet de dimensie van het luchtbuffervat en de capaciteit van de vacuümpomp worden bepaald. Deze moeten dusdanig worden gekozen dat in het reguliere bedrijf van een winning drie keer per uur de lucht gedurende 45 – 90 s uit het luchtbuffervat wordt geslagen.

De te verwachten hoeveelheid lucht door ontgassing is onder meer afhankelijk van de hoeveelheid gewonnen water uit de winning. Als kengetal kan worden gehanteerd dat 1,35% van het debiet van de winning aan lucht moet worden uitgeslagen. Als het debiet van een winning is bepaald in m^3/uur is het benodigde volume tussen in- en uitslagpeil 0,45% van het debiet in m^3/uur . Bij het bepalen van de dimensie van het luchtbuffervat moet rekening worden gehouden met het feit dat boven het uitslagpeil nog 10% van het benodigde volume nodig is in verband met nalevering vanaf het moment dat de vacuümpomp uitschakelt.

Als het benodigde volume is bepaald, kan een vacuümpomp worden gekozen met een capaciteit dusdanig dat het 45 - 90 s duurt om het benodigde volume weg te pompen. De capaciteit van de pompen is uiteraard afhankelijk van het werkpunt, maar bij een gemiddelde van 4 mwk onderdruk worden in praktijk uitsluitend capaciteiten gebruikt van 7 l/s, 13 l/s en 17 l/s. Dit om niet te veel verschillende soorten pompen in bedrijf te hebben [19].



Figuur 13-2 Schematische weergave van een vacuümpompeinstelling bij Dunea.

14 Ontwerp monitoringsysteem

14.1 Doelen monitoringsysteem

Dit hoofdstuk beperkt zich tot de monitoringdoelen die van direct belang zijn voor de bedrijfsvoering van een puttenveld:

- Kwantiteit:
 - Bewaking van de productiecapaciteit en status winmiddelen;
 - Bepalen van de hydrologische effecten van de winning op de omgeving (= eis vergunning);
 - Bewaken van het zoet-zout grensvlak (in verband met verzilting winning);
 - Balans tussen kunstmatige infiltratie en winning (= eis vergunning);
- Kwaliteit:
 - Bewaken van de ruwwaterkwaliteit (= wettelijke eis);
 - Voorspellen van de toekomstige ruwwaterkwaliteit;
 - Monitoren van bodem- en grondwaterverontreinigingen in het intrekgebied van de winning.

Het bepalen van de hydrologische effecten en balans tussen onttrekking- en infiltratiehoeveelheden zijn meestal eisen vanuit de vergunning en moeten regelmatig worden gerapporteerd aan het bevoegd gezag. Voor de ruwwaterkwaliteit gelden wettelijke eisen en rapportage verplichtingen. Al kunnen bedrijven ervoor kiezen om de parameters en meetfrequenties van de bewakings- en auditparameters te bepalen op basis van een risicoanalyse [99].

Vaak is het ook nuttig om door monitoring de systeemkennis te vergroten. Dit helpt namelijk om toekomstige risico's beter in te schatten en richter op bepaalde locaties en tijdsintervallen te monitoren. Bovendien is dit nodig voor de hierboven genoemde risicoanalyse.

Op putten met veel ruimtelijke (en soms ook temporele) variatie in de ruwwaterkwaliteit is het bewaken van de ruwwaterkwaliteit ook nodig om putten zodanig te kunnen schakelen dat de ruwwaterkwaliteit binnen de grenswaarden van de zuivering blijft.

Er zijn daarnaast nog talloze andere redenen om te monitoren, zoals het vergroten van systeemkennis, monitoren van specifieke projecten en het maken van gebiedsplannen. Voor informatie over meetsystemen voor het meten van de waterkwaliteit in het intrekgebied wordt verwezen naar Kiwa-Mededeling 117 [6]. Dit rapport besteedt ook aandacht aan gegevensverwerking, presentatie van gegevens en evaluatie en optimalisatie van meetsystemen. Informatie over grondwatermeetnetten is te vinden in onder andere [50].

14.2 Kwantiteitsmeetnet

Informatiebehoefte	Meetsysteem	Meetlocatie	Meetfrequentie (indicatie !!)
<i>Bewaking productiecapaciteit</i>			
Capaciteit winput	Debietmeter	Per winput of verzamelleiding	leder half jaar
Draaiuren winput	Urenteller, evt. online debietmeter	Regelkast Per winput	ledere 5 minuten ledere 5 minuten
Afpomping en voorkomen luchthappen pomp	Alarmering	Per winput of verzamelleiding	1 à 2 x per jaar
Putverstopping	Stijghoogtemeting in winput met waarnemingsfilter; Stijghoogtemeting in omstorting met waarnemingsfilter	Per winput of steekproefsgewijs bij serie putten	Minimaal 1 x per jaar
<i>Hydrologische effecten</i>			
Stijghoogten	waarnemingsput	In winpakket, ondieper pakket en freatisch. Ook referentielocatie buiten invloedsgebied winning	leder uur (drukopnemers) of 24x per jaar (handmatig)
<i>Bewaken zoet-zout grensvlak</i>			
zoutgehalte	zoutwachterkabel	Onder winput, diepte tot in zoute formatie	leder half jaar
	EGV/ Chloride in waarnemingsfilter	Onder winput	leder half jaar
<i>Balans infiltratie-winning</i>			
Hoeveelheid onttrokken en geïnfiltreerd water	debietmeter	Infiltratiewater Gezamenlijk ruwwater	leder jaar

Luchthappen

Drinkwaterbedrijven kiezen er soms voor om winputten zonder online stijghoogtemeting te voorzien van een alarmering om te voorkomen dat de onderwaterpomp droog komt te staan.

Capaciteit en putverstopping

Op snel verstoppende puttenvelden worden hogere eisen gesteld aan de monitoring van putverstopping. Bij een te lage meetfrequentie kan het anders voorkomen dat putten tussen twee metingen te ver verstopt raken, waardoor de pomp onverwacht droogvalt of de put niet goed meer kan worden geregenereerd. De metingen moeten dus voldoende frequent zijn, zodat er tijd is om de pomp te knijpen of de put te regenereren. Praktisch houdt dit in dat de specifieke volumestroom (SV) niet meer dan 15% mag toenemen tussen twee metingen (bij 70% SV hoeft nog juist niet te worden geregenereerd; bij 55% SV is er nog juist tijd om bij te sturen).

Bestaande puttenvelden (met onderwaterpomp):

- Snel verstoppend (maximale afname SV > 5% per maand): online monitoring debiet en waterniveau in stijgbuis;
- Matig verstoppend (maximale afname SV 1 – 5% per maand): handmatige meting debiet en waterniveau in stijgbuis ieder kwartaal. Drukopnemers en debietmeters

installeren in het geval de handmetingen worden beïnvloed door schakelingen van buurputten. Drukopnemers en debietmeters uitlezen tegelijk met handmeting of continue telemetrisch uitlezen;

- Niet verstoppend: handmatige meting stijghoogte ieder jaar (opmerking: Vitens hanteert 1 keer per 3 jaar als er in de afgelopen 10 jaar geen afname van de SV is waargenomen). Debietmetingen eventueel via gezamenlijk ruwwaterleiding als er geen debietmeter per winput aanwezig is.

Nieuwe putten (met onderwaterpomp):

- Altijd online monitoring van debiet en stijghoogte.

Series putten/drains (vacuümsysteem):

- Continue registratie van stijghoogte en debiet per serie;
- Steekproefsgewijze putproef in 10% van de winputten iedere 5 jaar of na iedere onderhoudsbeurt, inclusief meting van de filterweerstand met peilbuis in winfilter (in het geval putten in minder dan 5 jaar verstoppem);
- Per serie enkele waarnemingsfilters op enkele meters afstand van winput en oppervlaktewater (bij kunstmatige infiltratie).

Hydrologische effecten

Voor het monitoren van hydrologische effecten is het belangrijk dat niet alleen stijghoogten worden gemonitord, maar ook andere veranderingen in het gebied. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan waterpeilen of de aanleg van drainage. Dit moet worden gedaan om te voorkomen dat wijzigingen van de grondwaterstand ten onrechte worden geattribueerd aan de winning.

Bewaken zoet-zout grensvlak

Een alternatief voor zoutwachters of EGV/chloridemetingen is het regelmatig uitvoeren van een geofysische boorgatmeting in een blinde buis.

Balans infiltratie-winning

Naast debieten kan het ook noodzakelijk zijn om de samenstelling van het infiltratie en onttrokken water te meten om aan te tonen dat er niet overwegend oorspronkelijk grondwater wordt onttrokken. Dit vergt de selectie van natuurlijke tracers die duidelijk verschillen in beide watertypen. Welke dit zijn verschilt per locatie.

14.3 Kwaliteitsmeetnet

Informatiebehoefte	Meetsysteem	Meetlocatie	Meetfrequentie (indicatie !!)
<i>Bewaking kwaliteit ruwwater</i> Wettelijk vereiste parameters Overige	watermonster watermonster	Gezamenlijk ruw Serie of winput	ledere 5 minuten ledere 5 minuten
<i>Voorspellen toekomstige ruwwaterkwaliteit</i> Wettelijke en overige parameters	watermonster	Waarnemingsfilters: Freatisch (= huidige belasting) In WVP rondom winning (=toekomstige waterkwaliteit)	leder uur (drukopnemers) of 24x per jaar (handmatig)
<i>Monitoren bodem- en grondwaterverontreinigingen</i> Parameters afhankelijk van type verontreiniging	Monsternamen uit waarnemingsfilter	In en benedenstrooms van verontreinigingsbron/ -pluim	leder half jaar

Voor meer informatie over de te meten waterkwaliteitsparameters wordt verwezen naar hoofdstuk 6 van de 'Hygiëncode Drinkwater; *Winning*' [119].

15 Ontwerp waarnemingsputten en zoutwachters

Als het doel en de locatie van de waarnemingsput zijn bepaald, kan op basis daarvan het ontwerp plaatsvinden. Hierbij wordt eerst een type waarnemingsput gekozen (zie § 15.2). Vervolgens worden de dimensies (diameter, diepte) en materiaalkeuze vastgesteld (zie § 15.3). In § 15.4 staan aandachtspunten voor het geval wordt gekozen om zoutwachters te combineren met de aanleg van waarnemingsputten (of winputten).

15.1 Eisen

Een waarnemingsput wordt zodanig ontworpen en aangelegd dat na voltooiing:

- Gegevens over de lokale bodemopbouw beschikbaar zijn, en/of
- Inzicht in de grondwaterkwaliteit is te verkrijgen, en/of
- Representatieve grondwaterstanden kunnen worden gemeten.

15.2 Keuze van het type waarnemingsput

Er kan grofweg onderscheid worden gemaakt tussen twee verschillende puttypen [3]:

1. Standaard waarnemingsput uitgerust met:
 - A. één peilbuis, met één filter;
 - B. meerdere peilbuizen, die ieder één filter hebben;
2. Multi-level waarnemingsput: een waarnemingsput met één peilbuis die op verschillende dieptes is geperforeerd:
 - C. Minifilters bevestigd aan steunbuis;
 - D. Peilbuis met meerdere compartimenten;
 - E. Peilbuis met packers (zie onder).

De keuze van het type put is afhankelijk van de doelstelling. Als de waterkwaliteit gedetailleerd in beeld moet worden gebracht, wordt een multi-level waarnemingsput gebruikt. In alle andere gevallen wordt een waarnemingsput met een of meer filters gebruikt.

In deze paragraaf worden de verschillende puttypen kort besproken. Een overzicht van de toepassing en voor- en nadelen van de verschillende puttypen is gegeven in Tabel 15-1.

Tabel 15-1 Verschillende typen waarnemingsputten.

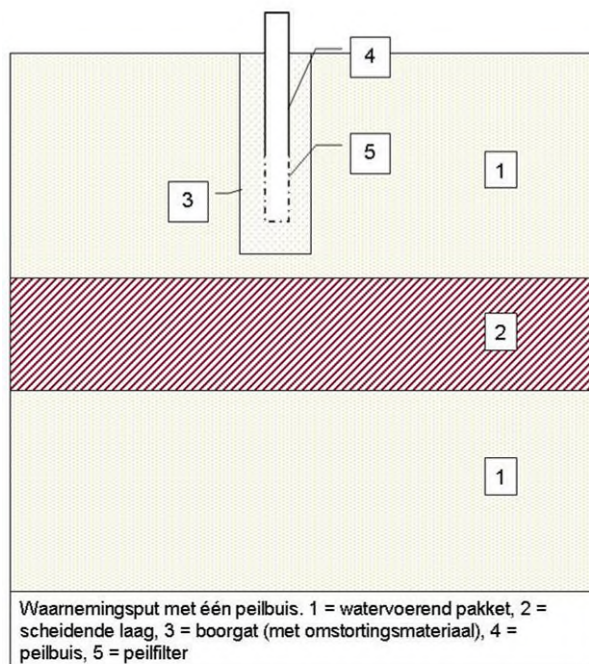
	Type waarnemingsput	Toepassing	Voor- en nadelen
1a	Waarnemingsput met één peilbuis met één filter	Metten van waterkwaliteit of grondwaterstand op één specifieke geïsoleerde zone (diepte)	Lage aanlegkosten per put. Bij ondiepe installaties kan het voordelig zijn om meerdere waarnemingsputten met één peilbuis te plaatsen i.p.v. een waarnemingsput met meerdere peilbuizen. Gemakkelijk te ontwikkelen Indien de boorkosten hoog zijn in vergelijking met de materiaalkosten (diepe boring) is het voordeliger zijn om een waarnemingsput met meerdere filters of multi-level waarnemingsput aan te leggen.
1b	Waarnemingsput met meerdere peilbuizen (iedere peilbuis heeft één filter)	Metten van waterkwaliteit of grondwaterstand op verschillende geïsoleerde dieptes op één locatie Bepalen van de verschillen in waterkwaliteit op verschillende dieptes Bepalen van stijghoogteverschillen tussen watervoerende pakketten.	Stijghoogte en kwaliteit op één locatie op meerdere dieptes te bepalen. Aantal peilfilters afhankelijk van boorgatdiameter en peilbuisdiameter. Grotere verticale afstand tussen filters als gevolg van minimale dikte van de boorgaanaanvulling (Jones, 1999) Kans op kortsluitstroming als de put niet goed is aangelegd
2a	Multi-level waarnemingsput; minifilters bevestigd aan peilbuis	Metten van waterkwaliteit of grondwaterstand op verschillende geïsoleerde dieptes op één locatie Bepalen van de verschillen in waterkwaliteit op verschillende dieptes	Relatief smal boorgat mogelijk Relatief eenvoudig aan te leggen Aanleg tot beperkte diepte mogelijk Kans op beschadiging van de filters tijdens aanleg is groot Indien verstopt niet te repareren / regenereren Moeilijk de exacte verticale afstand tussen filters te bepalen Niet mogelijk om de stijghoogte te meten Moeilijk lekkages te detecteren Kans op kortsluitstroming
2b	Multi-level waarnemingsput; peilbuis met meerdere compartimenten	Metten van waterkwaliteit of grondwaterstand op verschillende geïsoleerde dieptes op één locatie Bepalen van de verschillen in waterkwaliteit op verschillende dieptes	Relatief smal boorgat mogelijk Lage aanlegkosten Gemakkelijk aan te leggen Kleine kans op beschadiging van filters tijdens aanleg. Mogelijk om stijghoogtes te bepalen met handpeilingen Kleine filters (niet geschikt voor iedere monsterneming, duurt lang om te verversen en speciale apparatuur nodig om te peilen) Maximale diepte beperkt (circa 50 m)
2c	Multi-level waarnemingsput; peilbuis met packers	Metten van waterkwaliteit of grondwaterstand op verschillende geïsoleerde dieptes op één locatie Bepalen van de verschillen in waterkwaliteit op verschillende dieptes	Gemakkelijk aan te leggen Robuust systeem Gemakkelijk in gebruik Aanleg tot grote diepte mogelijk (tot 230 m) Goede kwaliteit grondwatermonsters Moeilijk om lekkages in de pluggen (packers) waar te nemen en te voorkomen Hoge aanlegkosten Kortsluitstroming als put verlaten wordt zonder goede abandonering

15.2.1 Standaard waarnemingsput met één peilbuis

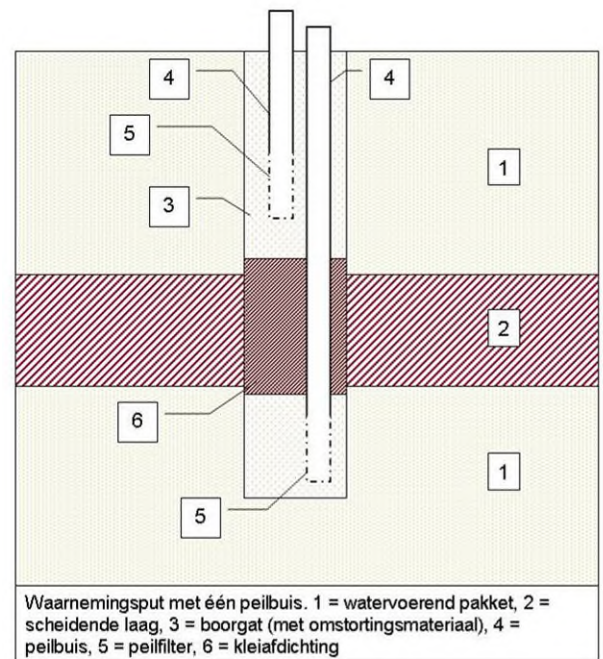
Het meest eenvoudige type put is een waarnemingsput met één peilbuis met een geperforeerd deel (filterdeel) (Figuur 15-1). Afhankelijk van de diepte van de put kan met de hand of machinaal een gat worden geboord, waarin de peilbuis wordt gehangen. Het doel van de peilbuis is het isoleren van een specifieke zone (diepte) waar de grondwaterstand kan worden gemeten en grondwatermonsters kunnen worden genomen. Bij ondiepe installaties kan het voordelig zijn om meerdere enkele waarnemingsputten aan te leggen die zich dichtbij elkaar bevinden, in plaats van het aanleggen van een waarnemingsput met meerdere filters of een multi-level waarnemingsput.

15.2.2 Standaard waarnemingsput met meerdere peilbuizen

Bij een standaard waarnemingsput met meerdere peilbuizen zijn meerdere peilbuizen geplaatst in één boorgat (Figuur 15-2). Iedere peilbuis heeft een geperforeerd deel (filter) op een andere diepte. Door meerdere peilbuizen in hetzelfde boorgat te plaatsen, kunnen [stijghoogteverschillen](#) tussen de verschillende watervoerende pakketten worden vastgesteld op één locatie. Uit de stijghoogteverschillen kan worden afgeleid of er sprake is van een [infiltratie](#)- of [kwelsituatie](#). Daarnaast kunnen verticale grondwaterkwaliteitsverschillen worden bepaald.



Figuur 15-1 Waarnemingsput met één peilbuis.



Figuur 15-2 Waarnemingsput met meerdere peilbuizen.

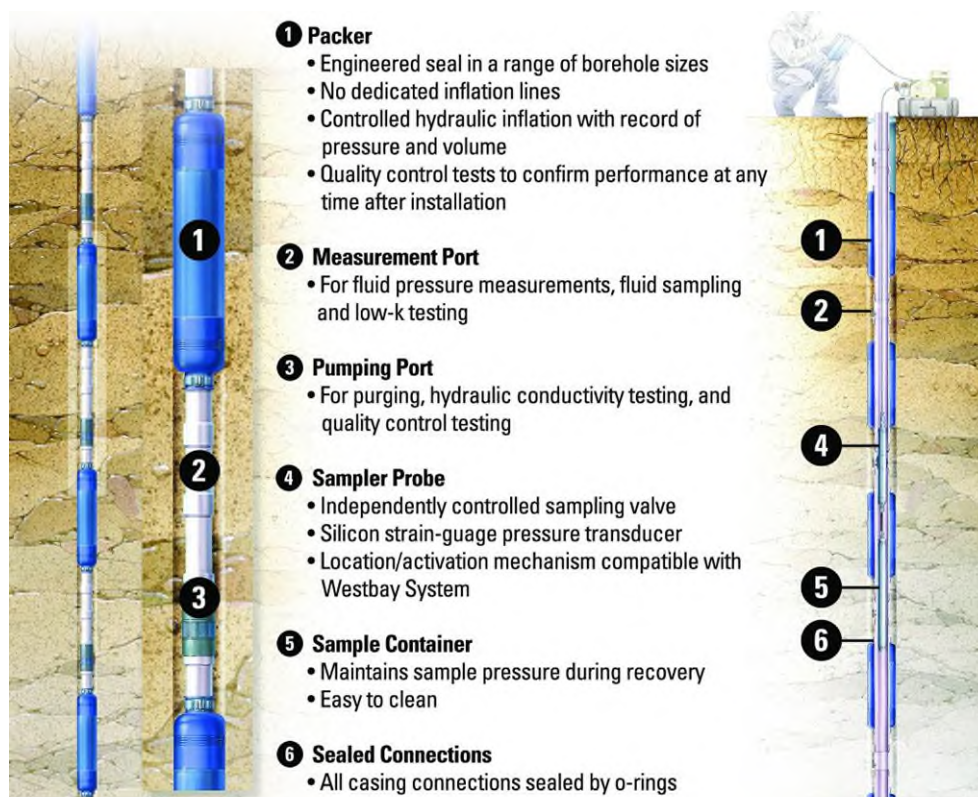
15.2.3 Multi-level waarnemingsput

Een multi-level waarnemingsput (ook wel aangeduid als 'CMT-well' door leverancier Solinst) maakt het mogelijk water te bemonsteren op verschillende dieptes in één peilbuis. Er zijn veel verschillende typen multi-level waarnemingsputten. Een overzicht met de voor- en nadelen van de drie belangrijkste typen is te vinden in Tabel 15-1.

Ook bij dit type waarnemingsput wordt een weerstandslaag tussen de filters aangebracht, ook als er van nature tussen de filters geen weerstandslagen in de bodem voorkomen. Dit wordt gedaan om kortsluitstroming te voorkomen. Hierdoor liggen de filters minimaal 50 cm uit elkaar. Het oppervlak van minifilters is heel klein, waardoor het moeilijker is (en lang kan duren) om water uit een filter te halen bij een monsterneming.

15.2.4 Minifilters bevestigd aan peilbuis

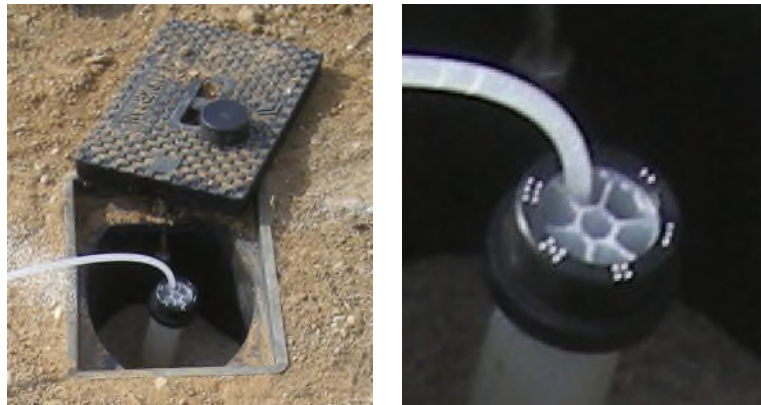
Dit systeem bestaat uit een peilbuis waaraan op verschillende dieptes minifilters zijn geïnstalleerd (zie Figuur 15-3). Deze minifilters zijn bevestigd aan flexibele slangen, waaruit aan het oppervlak individuele watermonsters kunnen worden genomen. Er kunnen verschillende typen minifilters worden gebruikt voor de aanleg van dit type multi-level waarnemingsput. De peilbuis is voorzien van een vaste (omplakte) omstorting. Hierdoor kunnen veel minifilters op een kleine afstand van elkaar worden geplaatst.



Figuur 15-3 Waarnemingsput met minifilters bevestigd aan buis (naar [75]).

15.2.5 Peilbuis met meerdere compartimenten (MCW, multi channel well)

Bij dit type is de peilbuis opgesplitst in zeven compartimenten (zie Figuur 15-4). Omdat de compartimenten ieder op een andere diepte zijn geperforeerd, is het mogelijk water te bemonsteren op verschillende dieptes in de peilbuis. Door middel van een smal peilklokje kan de stijghoogte in het watervoerend pakket worden bepaald. Een standaard peilklokje past niet in deze filters.

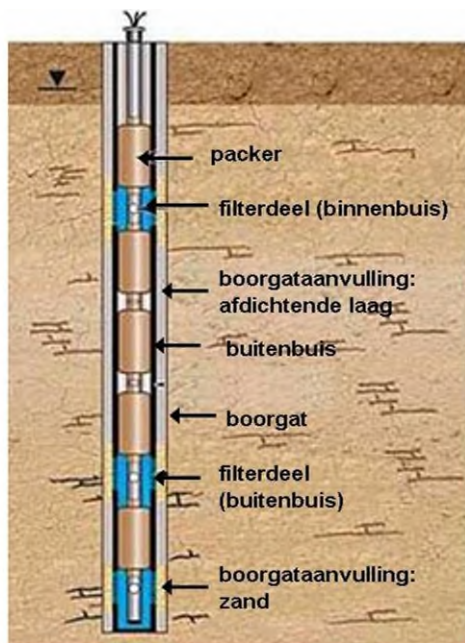


Figuur 15-4 Een peilbuis met zeven compartimenten (foto Diego Bustos Medina, KWR).

15.2.6 Multi-level waarnemingsput met packers

Dit systeem bestaat uit een grote diameter peilbuis die op verschillende dieptes is geperforeerd (de buitenbuis) (zie Figuur 15-5). De verschillende filterdelen van de buitenbuis zijn van elkaar gescheiden door middel van afsluitende pluggen (packers), die zijn bevestigd om een kleine diameter buis in de buitenbuis. Op deze 'binnenbuis' bevinden zich openingen (filterdelen) tussen de pluggen. Op deze openingen zijn flexibele buisjes aangesloten, waaruit individuele watermonsters kunnen worden genomen aan het oppervlak. De peilbuis is voorzien van een omplakte omstorting.

Voor monsterneming op diepte > 8 m-mv kan gebruik worden gemaakt van balgpompen of knikkerpompen



Figuur 15-5 Multi-level waarnemingsput met packers (firma Solinst).

15.3 Dimensionering en materiaalkeuze

In deze paragraaf zijn de gegevens verzameld die van belang zijn bij het ontwerp van een waarnemingsput. De onderwerpen die aan de orde komen, zijn:

- Dimensionering;
- Materialen;
- Boorgataanvulling;
- Waarnemingsputten in veen;
- Waarnemingsputten artesisch water.

15.3.1 Dimensionering

Bij het ontwerp van een waarnemingsput zijn vooral de diameter van het boorgat, de diepte van het watervoerende pakket en de filterbuis van belang. De exacte filterdiepte en filterlengte worden uiteindelijk tijdens de aanleg bepaald.

Boorgatdiameter

De diameter van het boorgat wordt in hoofdzaak bepaald door:

- Het aantal peilbuizen dat in het boorgat moet worden geplaatst;
- De onderlinge afstand tussen de peilbuizen
De onderlinge afstand tussen de peilbuizen moet zodanig zijn dat aanvulling en kleiafdichting kan worden aangebracht. Minimale afstand is 5 cm. Voor het goed aanvullen van een put moet een stortkoker van 10 cm in het boorgat passen. Er zijn speciale afstandhouders (bolcenters) om te zorgen dat de buizen op goede afstand van elkaar worden gehouden.
- De annulaire ruimte
Om zandtransport van de boorgatwand naar het filter tegen te gaan, moet de annulaire ruimte niet te klein worden gekozen (minimaal 5 cm). Er moet zeker zijn gesteld dat de filters niet tegen de boorgatwand aan komen.

Bij winputten is de boorgatdiameter voornamelijk afhankelijk van de toelaatbare snelheid op de boorgatwand en dus afhankelijk van de samenstelling van de watervoerende zandlaag. Aangezien waarnemingsputten worden aangelegd voor het verzamelen van gegevens en niet voor grondwateronttrekking is de toelaatbare snelheid op de boorgatwand geen ontwerpcriterium voor het bepalen van de boorgatdiameter bij waarnemingsputten.

Diameter peilbuis

De diameter van de peilbuis is afhankelijk van de apparatuur die in de peilbuis moet kunnen en dat is afhankelijk van de aard van metingen die moeten kunnen worden uitgevoerd:

- Meetapparatuur (zoals bijvoorbeeld een drukopnemer of een EM meter), zie ook §10.6;
- Pompje voor het nemen van watermonsters
Hierbij wordt opgemerkt dat voor peilbuizen met een diameter > 52 mm onderwaterpompen op de markt zijn met een groter debiet. zie ook §10.8.6.

Het is verstandig om de diameter van de peilbuizen enkele mm groter te kiezen dan strikt noodzakelijk voor het inbrengen van meetapparatuur. Bij de aanleg komt het voor dat peilbuizen om elkaar heen worden 'gevlochten', waardoor die gebogen komen te staan. Er is dan meer ruimte nodig voor het inbrengen van meetapparatuur.

Voor het meten van veranderingen in zoutgehalte kan gebruik worden gemaakt van een zoutwachterkabel. Deze zoutwachterkabel moet worden ingebouwd bij het plaatsen van de

put. Bij het ontwerp van de put moet daarom worden besloten of een zoutwachterkabel gewenst is. Het is niet mogelijk om de zoutwachterkabel later in een bestaande put in te bouwen.

Diepte van het filter

Bij het bepalen van de filterdiepte moet allereerst worden nagegaan in welke watervoerende laag moet worden gemeten. Vervolgens moet een keuze worden gemaakt op welke diepte binnen een watervoerende laag moet worden gemeten. Metingen net boven of onder een kleilaag zijn met name geschikt voor het monitoren van de verandering van de waterkwaliteit door verontreiniging vanaf maaiveld of door opkengelen van diep grondwater. Waarnemingsfilters in het midden van een aquifer geven over het algemeen juist een gemiddeld beeld van de waterkwaliteit.

De exacte afstelling van het filter is afhankelijk van de bodemopbouw (bij voorkeur op diepte met grotere korrel diameter) en wordt daarom pas tijdens de uitvoering bepaald op basis van het boorprofiel.

Filterlengte

De filterlengte bij een waarnemingsput is in tegenstelling tot de filterlengte bij een pompput niet afhankelijk van een gewenste volumestroom naar de put. Bij het bepalen van de filterlengte moet rekening worden gehouden met de volgende factoren:

- de standaard die het bedrijf aanhoudt (vaak 1 of 2 m);
- de dikte van de watervoerende laag (in een dunne laag is mogelijk een korter filter gewenst);
- grofheid van de formatie
Als er monsters moeten worden genomen, wordt in een fijnzandige laag soms gekozen voor een extra lang filter om nog voldoende opbrengst te krijgen;
- gewenste diepte van monsterneming
Bij langere filters ontstaat er een menging van water over een grotere diepte. Dit geeft een representatief beeld van een pakket. Een korter filter geeft een preciezer beeld van de kwaliteit op één bepaalde diepte en is bijvoorbeeld belangrijk om herkomst van vervuiling te kunnen bepalen. Een langer filter kan nodig zijn om een verontreinigingspluim te detecteren. Bij een kort filter kan het zijn dat de verontreiniging boven of onder het filter door stroomt.

Waarnemingsputten in freatische watervoerende pakketten mogen in principe niet droog komen te staan. Het filter moet tot net onder de diepste grondwaterstand doorlopen. Hiermee wordt voorkomen dat de 'schijngrondwaterspiegel' wordt gemeten.

Soms kan het juist de bedoeling zijn om de schijngrondwaterspiegel te meten. In dat geval moet er rekening mee worden gehouden dat de put soms droogvalt en er geen grondwaterstand kan worden gemeten. Vooral in gebieden met keileemvoorkomens kan het gewenst zijn om de schijngrondwaterspiegel te meten, bijvoorbeeld in het kader van droogteschadeonderzoek op agrarische percelen.

15.3.2 Materialen

In deze paragraaf wordt beschreven aan welke eisen het materiaal en de onderdelen van de waarnemingsput moeten voldoen.

Filtermateriaal

Bij waarnemingsputten wordt gebruik gemaakt van PVC, PE en RVS (zie Tabel 15-2).

Tabel 15-2 *Overzicht van filtermaterialen voor waarnemingsputten.*

Filtertype	Toepassing
PVC	In de meeste gevallen standaard toegepast bij waarnemingsputten
PE 80 (HDPE)	Als PVC zou kunnen worden aangetast door aanwezige verontreiniging Nadeel van PE is de kans op lek, omdat het materiaal niet kan worden gelijmd. HDPE is een zachter materiaal, waardoor een O-ring niet kan worden toegepast. Dit type materiaal liever niet gebruiken, alleen als het nodig is voor milieukundig (ondiep) onderzoek.
RVS	Optie bij veel milieuschade

De keuze voor een type filtermateriaal is onder andere afhankelijk van de kosten en de chemische samenstelling van het grondwater.

Om het grondwater in de put te laten, wordt de filterbuis van perforatie voorzien. Het filter moet voldoende sterk zijn, de formatie tegenhouden en het water doorlaten. Voor waarnemingsputten is de intreeweerstand minder belangrijk dan bij pompputten. Het is vooral belangrijk dat er geen zand in het filter komt. Bij een zeer fijn pakket wordt daarom soms aangeplakte omstorting gebruikt, om instroom van zand tegen te gaan.

In Nederland worden vooral filters met verticale filterspleten gebruikt. Deze kunnen meer trekkracht aan en zijn minder kwetsbaar bij vervoer, opslag en inbouw.

Verbindingen

Er zijn twee type verbindingen mogelijk tussen filterdelen:

- Lijmverbindingen;
- Schroefdraadverbindingen met en zonder O-ring.

De lijmverbindingen moeten met grote zorg worden gemaakt. Overtollige lijmresten moeten hierbij direct worden verwijderd. De lijm kan namelijk het PVC oplossen waardoor er zwakke plekken in het materiaal ontstaan. Daarnaast kan de lijm stoffen afgeven die de waterkwaliteit negatief beïnvloeden. Het is daarom belangrijk dat het contactoppervlak tussen de lijm en het water zo klein mogelijk blijft. Bij het aanbrengen van de lijm moet goed worden opgelet dat er geen overmatig gebruik wordt gemaakt van de lijm om lijmrillen aan de binnenkant te voorkomen. Deze lijmrillen kunnen langdurig ongewenste stoffen (vluchtige organische stoffen) aan het water afgeven. Een groot voordeel van lijmverbindingen is dat deze waterdicht zijn.

Bij bepaalde kwaliteitsmetingen kan het ongewenst zijn om gebruik te maken van lijmverbindingen, omdat deze de waterkwaliteitsbeoordelingen verstoren.

Als alternatief voor verlijmen, kan gebruik worden gemaakt van een schroefdraadverbinding. Er kan worden gekozen uit twee vormen van schroefdraad: 'trapezium'-schroefdraad en 'kordel'-schroefdraad, ook wel koorddraadverbinding genoemd.

Bij schroefverbindingen is er geen kans op het ontstaan van zwakke plekken. Schroefverbindingen zonder O-ring zijn echter niet 100% waterdicht.

Gebruik van duct tape op verbindingen kan ook leiden tot introductie van organische microverontreinigingen tot boven de aantoonbaarheidsgrens (= ervaring WMD).



Figuur 15-6 PVC buis met schroefverbinding met O-ring (Brabant Water).

15.3.3 Boorgataanvulling

Voor aanvulling van mechanisch geboorde waarnemingsputten gelden dezelfde eisen als bij winputten (zie § 12.4.en § 12.9). In de praktijk wordt bij waarnemingsputten (net als bij winputten) meestal ook filtergrind toegepast om het filter, zwelklei bij scheidende lagen en aanvulgrind in watervoerende pakketten. In de praktijk worden bij waarnemingsputten soms ook andere materialen toegepast.

Vaste omstorting

Bij waarnemingsputten kunnen ook filterbuizen met een vaste, aangeplakte omstorting worden gebruikt. Dit vergroot de kans op een juiste aanvulling, met name in boorgaten met een kleine diameter.

Zwelkleipluggen

In plaats van zwelkleikorrels worden soms ook pluggen (zie Figuur 15-7) aangebracht rondom een filterbuis. De pluggen zijn verkrijgbaar met een lengte van 50 cm en een diameter van 34 of 48 mm (firma Eijkelkamp). Pluggen worden gebruikt in boorgaten met een kleine diameter die anders lastig zijn aan te vullen.

Uitgekomen materiaal

Vooraf bij ondiepe, tijdelijke waarnemingsputten wordt het boorgat nog wel eens aangevuld met uitgekomen materiaal.



Figuur 15-7 Zwelkleipluggen (foto firma Eijkelkamp).

15.3.4 Waarnemingsputten in veen

Het maaiveld van een veenbodem is niet stabiel, maar kan verticaal bewegen. Om het verticaal bewegen van waarnemingsputten in veenlagen te voorkomen, moeten deze putten worden verankerd.

Oorzaak verticale bewegingen

Het volume van een veenbodem bestaat grotendeels uit water. In droge perioden zakt het veen in (door verdamping of ontwatering) en in natte perioden (door neerslag) stijgt de veenbodem weer. Deze verticale bewegingen kunnen worden geregistreerd met behulp van benchmarks (ook wel veenstoeltjes of zakbakens genoemd). Als een veenbodem te ver uitdroogt, kan onomkeerbare krimp optreden.

Ontwerpeisen

Om schade aan waarnemingsputten in veenlagen als gevolg van verticale bewegingen te voorkomen, is verankering in de onderliggende zandlaag noodzakelijk. Hiermee wordt voorkomen dat een waarnemingsput mee zal bewegen met het oppervlak.

Vaak is er sprake van grote verticale weerstand. Om de freatische grondwaterstand goed te kunnen meten, is het daarom belangrijk om een volkomen filter te plaatsen. Dit betekent bij veen dat het filter tot aan het maaiveld moet doorlopen.

15.3.5 Waarnemingsputten voor artesisch grondwater

Voor waarnemingsputten in artesisch grondwater gelden aanvullende ontwerpeisen. Allereerst moet worden bepaald wat de stijghoogte van het grondwater is. In het geval de stijghoogte tot enkele decimeters boven het maaiveld reikt, kan de peilbuis worden verhoogd aan het maaiveld. Voor spanningswater waarvan de stijghoogte tot meters boven het maaiveld reikt, is dit vaak niet haalbaar. Een peilbuis moet dan volledig worden afgedicht en de stijghoogte kan worden bepaald met drukopnemers in de put of manometer (drukmeter).

15.4 Zoutwachters

15.4.1 Preventie van meetartefacten tijdens aanleg

Een belangrijk aandachtspunt bij de boorgatmetingen en de kabel voor het meten van de elektrische geleidbaarheid is dat de aanleg van het boorgat nog jarenlang invloed kan hebben op de lokale ligging van het zoet-zout-grensvlak. Tijdens de aanleg kunnen namelijk eenmalig tot enkele duizenden m³ zoet grondwater naar een dieper pakket stromen, omdat er zoet grondwater wordt gebruikt als boorvloeistof met overdruk om te voorkomen dat het boorgat instort. Dit zoete grondwater kan nog jaren achterblijven, vooral wanneer het zit opgesloten in kleiafdichtingen of resten boorvloeistof in het boorgat. De afdichting van de boorgatwand kan er bovendien voor zorgen dat het zoet-zout-grensvlak in het boorgat langzamer verandert dan in de omliggende formatie. Deze problemen spelen minder ter hoogte van waarnemingsfilters aangezien deze bij een monsterneming worden doorgespoeld [69]. Het is dan ook verstandig om ook enkele waarnemingsfilters te installeren om eventuele anomalieën op te sporen.

EM metingen (zie § 10.6) zijn gevoelig voor metalen onderdelen. Uit een eerdere inventarisatie is gebleken dat zoutwachter-kabels niet verstorend werken op de metingen [69], mogelijk omdat de oriëntatie van de kabels (verticale geleiders) niet verstorend werken op de oriëntatie van EM-velden.

15.4.2 Gecombineerde aanleg van zoutwachters met waarnemingsfilters.

Om zoet-zout-metingen ook geschikt te maken voor toekomstige monitoring van de ligging van het grensvlak wordt geadviseerd om boorgaten met zoutwachters als volgt in te richten.

- Bij aanleg wordt een verbuisde boormethode gebruikt (mits dit mogelijk is tot de gewenste diepte) om verstopping van de boorgatwand en kortsluitstroming van zoet water te beperken;
- Het diepste waarnemingsfilter wordt uitgerust met een filter > 50 mm, zodat deze geschikt is voor EM39 en gamma-boorgatmetingen;
- EC elektrode-paren iedere 3 – 4 m om zoet-zout-grensvlakken snel te detecteren en verzilting te monitoren;
- Ter hoogte van elk elektrodepaar worden minifilters geplaatst om de formatiefactor af te leiden en de schijnbare weerstanden om te rekenen naar chloride (dit mag achterwege blijven als uitsluitend trends worden gevolgd);
- Per watervoerend pakket worden een of twee waarnemingsfilters geplaatst om stijghoogten te monitoren en ter controle van de EGV-meting na langdurige verversing van de stijgbuis, zodat ook water van buiten het boorgat wordt bemonsterd [51].

16 Effecten winning

In dit hoofdstuk worden verschillende methoden aangereikt voor het berekenen van effecten van winningen op de omgeving (en op de put zelf).

Richtlijn 34 Bereken de hydrologische, hydrochemische en grondmechanische effecten van de winning met een aantoonbaar geschikte berekeningsmethode.

16.1.1.1 Berekeningsmethode

De gebruikte berekeningsmethode of het gebruikte modelpakket moet geschikt zijn voor de uit te voeren effectbepaling. De geschiktheid van het model blijkt uit de referentiedocumenten van het modelpakket of uit een gedocumenteerde verificatieberekening door de gebruiker. Bij gebruik van analytische oplossingen moet worden beargumenteerd dat de randvoorwaarden van de vergelijking passen bij de situatie in het veld.

Voorbeelden van geschikte modelpakketten voor verschillende type berekeningen:

- Hydrologische effecten: MLU [40], Microfem [39], Triwaco [126] en MODFLOW [43]
Als pre- en postprocessors voor MODFLOW kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van FloPy [8]. Voor veel gebieden in Nederland is al een regionaal grondwatermodel beschikbaar binnen de modelcode iMOD [127];
- Verblijftijd, verplaatsen verontreiniging, hydrologische response curve: MODPATH (stroombaanberekeningen) [78], eventueel. MT3d (3D-tijdsafhankelijke concentratie berekeningen) [10];
- Verandering waterkwaliteit: PHREEQC (hydrochemische reacties) [74], PHT3D (complexe, ruimtelijke berekeningen) [79];
- Verzilting, verplaatsing zoet-zout-grensvlak: SEAWAT [57];
- Ecologische effecten: Probe/waterwijzer natuur [135];
- Droogteschade landbouw: Waterwijzer Landbouw [134];
- Grondmechanische effecten: Plaxis [14], D-settlement [24].

16.1.1.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

De hydrologische effectberekening wordt uitgevoerd voor het voor de vergunningsaanvraag gehanteerde gemiddelde en maximale debiet (inclusief piekfactor). De grondmechanische effectberekening wordt gebaseerd op de situatie met een maximaal ontwerpdebiet, waarbij de meeste zetting optreedt. Voor de overige effectberekeningen volstaat een berekening met gemiddeld ontwerpdebiet. Bij droogteschade en ecologische effecten is het noodzakelijk om de effecten in zowel droge als natte perioden te beschouwen. Dit laatste vergt een niet-stationaire berekening in geval dat de hydrologische randvoorwaarden zich niet-lineair gedragen.

Effecten op grondwaterkwaliteit worden doorgerekend voor een periode van ten minste 30 jaar.

De aangehouden modelschematisatie en gebruikte modelparameters zijn herleidbaar uit de gegevens van het vooronderzoek.

Voor de grondmechanische parameters kunnen de richtwaarden als genoemd in [NEN-EN 1997-1:2005](#) worden aangehouden.

16.2 Hydrologische effecten (verlaging grondwaterstanden)

Een eerste schatting van de afpompings kan worden verkregen met behulp van analytische formules en het superpositiebeginsel. De keuze van de geschikte formule hangt af van de geohydrologische condities ter plaatse (freatisch of (semi-)spanningswater) en de mate waarin het putfilter onvolkomen is.

Enkele voorbeelden van eenvoudige oriënterende analytische oplossingen voor het berekenen van verlagingen zijn:

Aanduiding	Omschrijving	Formule
De Glee	Stationaire eindverlaging, deklaag met sloten	$s(r) = \frac{Q_0}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right)$
Thiem-Dupuit	Stationaire eindverlaging, enkellaags afgesloten pakket zonder aanvulling	$\varphi(r) - \varphi_0 = \frac{Q_0}{2\pi kD} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$
Verruijt	Stationaire eindverlaging freatisch pakket met aanvulling	$\varphi(r)^2 = \varphi_0^2 + \frac{N}{2k}(R^2 - r^2) + \frac{Q_0}{\pi k} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$
Theis	Niet stationaire verlaging in afgesloten of dik freatisch watervoerend pakket	$s(r) = \frac{Q_0}{4\pi kD} W(u) \quad \text{met: } u = \frac{r^2 S}{4kDt}$
Bot	Extra verlaging door onvolkomen putfilter	$S_p = a \frac{Q_0}{kD} \quad \text{met: } a = F\left(\frac{L}{D}\right)$

waarin: $s(r)$ = eindverlaging op afstand r van de put [m], Q_0 = onttrokken volumestroom [m^3d^{-1}], k = doorlatendheid [md^{-1}], D = dikte watervoerende laag [m], K_0 = Bessel-functie, λ = spreidingslengte [m], $\varphi(r)$ = stijghoogte op afstand r [m], φ_0 = stijghoogte op vaste rand [m], R = afstand vaste rand tot de put [m], $W(u)$ = well function van Theis, S = bergingscoëfficiënt [-], L = filterlengte [m]. a = functie van de ratio tussen filterlengte en dikte watervoerende laag.

Bovenstaande formules geven snel inzicht in de verlaging bij een bepaalde putconfiguratie. Voor de gebruikte functies (zoals de well functie $W(u)$ van Theis en de a uit de formule van Bot) zijn tabellen beschikbaar met kengetallen. Voor een aantal van de formules zijn Python, Matlab en Excel scripts beschikbaar op www.grondwaterformules.nl. De boeken 'Analytical solutions of geohydrological problems' [15] en 'Analytical Groundwater Mechanics' [102] geven een nagenoeg compleet overzicht.

In een puttenveld zullen putten elkaar beïnvloeden. Het is meestal mogelijk om deze beïnvloeding te berekenen door superpositie van analytische oplossingen. In complexe gevallen worden aanvullende verlagingberekeningen uitgevoerd met een numeriek grondwatermodel. Met een dergelijk model kan beter rekening worden gehouden met de geologie en niet-lineaire hydrologische randvoorwaarden ter plaatse en met andere factoren die van invloed zijn op de afpompings, zoals de onderlinge afstand tussen de winputten en de mate waarin de put onvolkomen is.

16.3 Verblijftijd (Grondwaterbeschermingszones & hydrologische response curve)

In de volgende situaties wordt geadviseerd om te controleren of de grondwaterbeschermingszones van een winning op de juiste locatie liggen:

- Bij aanpassing van het totale windebiet;
- Bij het verdiepen of verondiepen van winningen naar een ander watervoerend pakket;
- Bij het verplaatsen van winputten, zodanig dat het zwaartepunt van de winning in het puttenveld wordt verplaatst;
- Bij aanpassingen aan het schakelschema, waardoor winputten in een deel van het puttenveld minder worden benut;
- Bij aanpassingen aan het oppervlaktewatersysteem (zoals het aanleggen van nieuwe watergangen) en grootschalige baggerwerkzaamheden.

Het rapport [100] biedt best practices voor verblijftijdsmodellering.

Belangrijk hulpmiddel bij het inschatten van de waterkwaliteit is het berekenen van verblijftijden en responscurven.

Een eerste schatting van de verblijftijden is mogelijk met analytische formules. Voor het berekenen van de verblijftijden en responscurven kan het beste gebruik worden gemaakt van numerieke modellen. In dat geval wordt rekening gehouden met de ruimtelijke variatie. De meeste numerieke modelcodes bieden de mogelijkheid om stroombanen en verblijftijden te berekenen. Hierbij kan vaak worden gekozen tussen voorwaarts (met de stroming mee) en achterwaarts (tegen de stroming in) berekenen van de stroombanen.

Een responscurve is een cumulatieve frequentieverdeling. De hoeveelheid grondwater met een verblijftijd kleiner dan een bepaalde waarde, wordt weergegeven als een percentage van het totale onttrokken debiet. De responscurve kan worden verkregen door stroomlijnen te berekenen vanaf de winputfilters tegen de stromingsrichting in. Het is daarbij belangrijk dat bekend is hoe groot het debiet van elke stroombaan is. Vooral wanneer de winputfilters over verschillende watervoerende pakketten verdeeld zijn, moet daaraan aandacht worden besteed.

16.4 Verzilting, verplaatsen zoet-zout grensvlak

Hiervoor wordt een numeriek model gebruikt: SEAWAT of MODFLOW en SWI2 package.

16.5 Ontwikkeling ruwwaterkwaliteit

Het is belangrijk om een goed beeld te hebben van de (potentiële) risico's voor de kwaliteit van het grondwater dat als bron voor drinkwater wordt gebruikt. Hiervoor is inzicht nodig in:

- De herkomst van het onttrokken water;
- De ontwikkeling van de kwaliteit van het ruwwater in de winning;
- De ontwikkeling van de kwaliteit van het ruwwater in waarnemingsputten rond de winning;
- het landgebruik dan wel de activiteiten aan het maaiveld;
- de risico's die het landgebruik dan wel de activiteiten met zich meebrengen (bijvoorbeeld het gebruik van bestrijdingsmiddelen);
- veranderingen van waterkwaliteit tijdens bodempassage.

Door informatie over de ruwwaterkwaliteit rondom de winning te vergelijken met het huidige stromingsbeeld (of verwachte toekomstige stromingsbeeld) kan een inschatting worden gedaan van de te verwachten ruwwaterkwaliteit. Ook een berekende responscurve is hierbij een goed hulpmiddel. Vervolgens kunnen afwegingen worden gemaakt over de diepte en de pakketten waaruit het beste water kan worden gewonnen. Voor voorbeelden, zie [107, 120].

Door wijzingen van landgebruik, maar bijvoorbeeld ook door een verandering van de winning kunnen de risico's wijzigen. Bij toename van een winning neemt het intrekgebied toe, wat mogelijk nieuwe verontreinigingsbronnen met zich meebrengt. Ook kan in de loop van de tijd het gebruik van middelen wijzigen.

Om een juiste inschatting van de ruwwaterkwaliteit te kunnen maken, is niet alleen een duidelijk beeld noodzakelijk van de hydrochemie maar ook van de geochemie. Hieruit kan bijvoorbeeld de vertraging van opgeloste stoffen door afbraak worden ingeschat. Voor een uitgebreidere berekening van deze afbraak kan eventueel gebruik worden gemaakt van waterkwaliteitsberekeningen langs een representatieve stroombaan, uitgevoerd met bijvoorbeeld PHREEQC [74].

Ten slotte kan voor oeverinfiltratie en kunstmatige infiltratie de ruwwaterkwaliteit worden berekend met behulp van het spreadsheet-model Easy Leacher® [103].

16.6 Ecologische effecten

Verandering van de grondwaterstand en kwelfluxen kan effect hebben op omliggende grondwaterafhankelijke natuur. De effecten kunnen worden berekend met de het programma Waterwijzer natuur [135].

16.7 Droogteschade

Voor het inschatten van droogteschade kan gebruik worden gemaakt van het programma Waterwijzer landbouw [134].

16.8 Zettingen

Onder invloed van verlaging van stijghoogten kan zetting plaatsvinden. Zetting is bodemdaling (zakking) als gevolg van inklinking, krimp, oxidatie of de druk, als gevolg van de bouw van kunstwerken en ophoging. Inklinking is het gevolg van dalende grondwaterstand, waardoor de waterspanning afneemt en bijgevolg de korrelspanning in de formatie toeneemt. Krimp is ook het gevolg van dalende grondwaterstand en treedt voornamelijk op in kleigronden en veengronden; bij kleigronden wordt ook wel gesproken van fysische rijping. Bij verlaging van de grondwaterstand treedt naast krimp ook altijd oxidatie op in het geval van veengronden. Omdat een groter deel van de bodem onder invloed van zuurstof komt, vindt er een toename van de oxidatie plaats. Deze oxidatie heeft een daling van het maaiveld tot gevolg. De toe te passen zettingsberekeningen zijn dus sterk afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse. Hierbij moet worden bedacht dat zowel de horizontale als de verticale heterogeniteit (heterogene gelaagdheid) tot zetting kan leiden. Een en ander kan sterk variëren. Het is dus verstandig om bij het berekenen van zettingen een veilige marge aan te houden.

De algemene zettingsformule van Terzaghi luidt:

$$Z = Z_{z+i} = \frac{d}{C} \ln \frac{\bar{\sigma}_k + \Delta\sigma_k}{\bar{\sigma}_k}$$

Hierin is:

Z = zakking (m); deze kan het gevolg zijn van zowel zetting (Z_z) als inklinking (Z_i) of van beide;

d = dikte van de samendrukbare laag (m);

C = constante die een weerstand tegen samendrukbaarheid aangeeft;

$\Delta\sigma_k$ = toename van de korrelspanning (Pa);

$\bar{\sigma}_k + \Delta\sigma_k$ = nieuwe, gemiddelde korrelspanning in de samendrukbare laag (Pa).

De zakking is dus afhankelijk van zowel de bestaande korrelspanning als van de toename daarvan. De korrelspanning aan de bovenkant van een samendrukbare laag zal een andere waarde hebben dan aan de onderkant. Daarom wordt het gemiddelde van de korrelspanning aan de bovenkant en onderkant van de samendrukbare laag genomen.

De waarde van de constante C varieert per grondsoort (zie Tabel 16-1). Wanneer een grondlaag sterk samendrukbaar is, heeft C een lage waarde (zoals in veen). Omgekeerd heeft zand een hoge C -waarde. De grootte C geeft dus een weerstand tegen samendrukking aan.

Tabel 16-1 Samendrukkingsconstante C voor vier grondsoorten zoals vermeld in verschillende literatuur.

Grondsoort	C
Veen	1 - 10
Klei	5 - 20
Leem	20 - 50
zand	50 - 400

De zetting (als gevolg van bouwwerken), krimp en oxidatie kan worden berekend met zettingsformules van Terzaghi (algemene basisformule), Koppejan (tijdsafhankelijke zetting) en Fokkens (zetting van slap veen), en de rijpingsformules van Zuur (1958) voor de berekening van krimp (de rijpingsformules gelden dus niet voor zetting en oxidatie.). Hierboven is de algemene zettingsformule van Terzaghi weergegeven. Een meer volledige beschrijving van zetting wordt gegeven in 'Bodemkunde van Nederland' (deel 1, hoofdstuk 20) [63]. Met behulp van de zettingsformules kan bijvoorbeeld voor ieder knooppunt of iedere cel van een numeriek grondwatermodel de zetting worden berekend. Voor een aantal grondwatermodellen zijn (software-)modules beschikbaar waarmee deze zetting kan worden berekend.

17 Beoordeling haalbaarheid winning

Richtlijn 35 Controleer de economisch- technische en vergunningstechnische haalbaarheid van de winning aan het eind van iedere ontwerpfase.

De haalbaarheid van een winning wordt vaak beoordeeld aan de hand van de kosten, de vergunbaarheid en technische criteria. Daarnaast wordt een risicoanalyse uitgevoerd.

17.1 Kosten

17.1.1 CAPEX/OPEX

Bij het ramen van kosten wordt onderscheid gemaakt tussen de investeringskosten (Capital Expenditure, CAPEX) en de exploitatiekosten (Operational Expenditure, OPEX).

Bij de investeringskosten worden de volgende posten onderscheiden:

- Grondverwerving;
- Vergunningen en leges;
- Putaanleg, bestaande uit boorkosten en materialen;
- bijgebouwen en inrichting waterwingebied (zoals wegen);
- pompen en leidingen;
- sturing en bewaking;
- energieverzorging;
- zuivering⁴.

Bij exploitatiekosten wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Eventuele periodieke vergoeding voor gebruik particuliere grond;
- onderhoud- en bewakingskosten;
- regeneratiekosten;
- zuiveringskosten (zie voetnoot op deze pagina);
- energiekosten.

Voor monitoring gelden daarnaast nog de volgende exploitatiekosten:

- Verrichten van kwantiteits- en kwaliteitsmetingen;
- Analysekosten grondwaterkwaliteitsmetingen;
- Verwerken van meetgegevens (controleren, corrigeren en valideren);
- Onderhoud aan de waarnemingsput;
- Aanschaf meetapparatuur (vanwege beperkte levensduur vaak meegenomen bij exploitatie in plaats van investering);
- Aanschaf uitleesapparatuur.

⁴ Kosten voor zuivering hoeven uitsluitend te worden meegenomen als er varianten worden vergeleken met onderling verschillende ruwwaterkwaliteit en zuiveringsconcept.

17.1.2 NPV

De **Net Present Value** (netto contante waarde) is een manier om huidige en toekomstige uitgaven met elkaar te vergelijken, rekening houdend met geldontwaarding en rente. De parameter wordt gebruikt om huidige en toekomstige uitgaven te vergelijken. Dit komt van pas bij het onderling vergelijken van ontwerpvarianten met hoge investeringskosten en lage exploitatiekosten (bijvoorbeeld weinig onderhoud, minder zuivering) vergeleken met een goedkopere investeringsvariant met hogere exploitatie (veel onderhoud).

$$NPV = C + c_1 f_1 + c_2 f_2 \dots + c_n f_n$$

$$f_n = \frac{1}{(1+r)^n}$$

met: NPV = Net Present Value;
 C = Capital expenditure (investering in jaar 0);
 c₁..c_n = operational expenditure in jaar n;
 f₁...f_n = discount factor in jaar n;
 n = levensduur van put;
 r = rentevoet.

17.1.3 Kentallen en afschrijftermijn

Voor een eerste globale berekening van de kosten kan gebruik worden gemaakt van de volgende getallen (prijspeil 2019):

- Aanleg winput met onderwaterpomp, putkelder en aansluiting op ruwwaterleiding: k€ 100 + k€ 0,5 per meter diepte;
- Aanleg ruwwaterleiding, zie Tabel 17-1;
- Chemische regeneratie winput met onderwaterpomp: k€ 10 - 15, exclusief zuivering/afvoer;
- Mechanische regeneratie winput met onderwaterpomp: k€ 2,5;
- Aanleg waarnemingsput met 6 filters: k€ 10 + k€ 0,25 per meter.

De vaste onderdelen van een put hebben meestal een technische levensduur van 30 tot 50 jaar. Voor de elektrotechnische installatie en werktuigbouwkundige onderdelen (onderwaterpomp) wordt een levensduur van 10 jaar gehanteerd.

Tabel 17-1 Kostenkentalen voor bouwkosten van leidingen exclusief appendages, zakelijk recht, et cetera, gebaseerd op diverse projecten bij KWR (prijspeil 2015).

diameter (mm)	in berm (€/m)	onder element verharding (€/m)	onder gesloten verharding (€/m)	gestuurde boring (€/m)
63	20	43	158	137
75	21	45	160	140
90	23	47	162	144
110	29	59	173	155
125	34	64	179	164
160	49	79	194	191
200	74	104	219	235
250	110	149	276	310
315	173	219	340	430
400	320	360	440	560
500	400	450	550	700
600	480	540	660	840
700	560	630	770	980
800	640	720	880	1,120

17.2 Vergunningen

Eerst moet worden gecontroleerd of een nieuw ontwerp valt binnen kaders van bestaande vergunningen. Als dat niet het geval blijkt te zijn, moet worden nagegaan of het waarschijnlijk is dat er een vergunning zal worden afgegeven. Dit is meestal het geval als er geen onredelijke gevolgen zijn voor andere belangen (zie PCD 13-1 [121]).

17.3 Technische afwegingscriteria

Bij het beoordelen van ontwerpvarianten kunnen o.a. de volgende criteria worden gebruikt:

- Levensduur;
- Bedrijfszekerheid;
- Leveringszekerheid;
- Complexiteit bedrijfsvoering;
- Hydrologische en afgeleide effecten;
- Onzekerheden en leemten in kennis.

Deze criteria worden hierna toegelicht.

17.3.1 Levensduur

De levensduur is bepalend voor de afschrijvingstermijn van de techniek. Bovendien geeft een langere levensduur meer zekerheid voor de drinkwatervoorziening op langere termijn.

17.3.2 Bedrijfszekerheid

De bedrijfszekerheid wordt voornamelijk bepaald door de robuustheid van de techniek. Hoe minder storingsgevoelig de techniek is, des te groter de bedrijfszekerheid wordt.

17.3.3 Leveringszekerheid

Drinkwaterbedrijven zijn bij wet verplicht om een verstoringrisico-analyse uit te voeren [96]. Deze analyse wordt uiteindelijk bedrijfsbreed uitgevoerd, maar is mede afhankelijk van de leveringszekerheid van individuele winvelden.

De leveringszekerheid van een winveld wordt bepaald door de kans op verstoringen (bedrijfszekerheid) en welke gevolgen dit heeft voor de productie. De kans op verstoringen is bijvoorbeeld afhankelijk van het type of de leeftijd van winmiddelen en de toegepaste monitoring. De gevolgen zijn afhankelijk of er extra productiecapaciteit beschikbaar is op het winveld en de mate waarin de ruwwaterleidingen zijn gesegmenteerd dan wel dubbel zijn uitgevoerd.

Een klein winveld met radiaalputten bijvoorbeeld heeft een lage leveringszekerheid. Als één put uitvalt, valt direct een groot deel van de te leveren capaciteit weg. Mogelijkheden om de leveringszekerheid te vergroten zijn aanleg van extra putten, een dubbele uitvoering van pompen, leidingen, elektriciteitskabels enzovoort.

Een winveld met lagere leveringszekerheid hoeft geen probleem te zijn, zolang er maar voldoende back-up capaciteit is op omliggende winvelden.

17.3.4 Complexiteit bedrijfsvoering

Onder bedrijfsvoering valt zowel de dagelijkse bedrijfsvoering als het periodieke onderhoud. De bedrijfsvoering van enkele grote putten is vaak eenvoudiger dan een groter aantal kleine putten, maar tegelijk ook minder flexibel. Variatie in de ruwwaterkwaliteit tussen winputten kan ook complicerend zijn, omdat fluctaties in de waterkwaliteit soms een negatieve invloed hebben op prestaties van de zuivering.

Bij periodiek onderhoud gaat het vooral om het tijdsinterval tussen twee putregeneraties en de tijdsduur van elke regeneratie. Het reinigen van een horizontale put is een stuk ingewikkelder dan een verticale put.

17.3.5 hydrologische en afgeleide effecten

Bij de hydrologische effecten gaat het om zowel kwantitatieve als kwalitatieve aspecten. De kwantitatieve aspecten zijn:

- grootte en spreiding van verlagingen (van de grondwaterstand);
- (minimale) verblijftijden
(minimale) verblijftijden geven inzicht in de microbiologische veiligheid van de winning.

De kwalitatieve aspecten zijn:

- kwaliteit van het onttrokken grondwater;
- gevaar voor verzilting;
- effecten op omliggende natuurgebieden;
- landbouwschade door verdroging.

17.3.6 Onzekerheden en leemten in kennis

Onzekerheden en leemten in kennis zijn vaak van doorslaggevende betekenis bij de keuze van een wintechiek. Onbekend maakt onbemind. Het is daarom belangrijk om bij nieuwe technieken aan te geven wat de kennisleemten zijn, hoe deze kennisleemten te onderzoeken en hoe de uitkomsten van het onderzoek de keuze zouden kunnen veranderen.

In principe worden alle criteria bij het vergelijken toegepast, maar niet ieder drinkwaterbedrijf vindt alle criteria even belangrijk. Bovendien zijn niet op iedere winlocatie alle criteria relevant. Als bijvoorbeeld bij de locatiekeuze het uitgangspunt 'geen effecten op natuur' is gehanteerd, dan vervalt het criterium 'ecologische effecten winning'. Afhankelijk van wat een drinkwaterbedrijf belangrijk vindt en van wat op een winlocatie belangrijk is, worden bepaalde criteria gebruikt. Veel gebruikte criteria zijn kosten, bedrijfszekerheid en hydrologische effecten.

17.4 Waardering geselecteerde criteria

Nadat de criteria zijn geselecteerd, worden deze gewaardeerd. Aan elk criterium wordt een waarde toegekend. Hierbij worden de criteria zoveel mogelijk gekwantificeerd in kosten. In ieder geval worden de investerings- en exploitatiekosten globaal berekend. Ook de kosten van de voorzieningen voor de leveringszekerheid zijn in geld uit te drukken. Toch zijn niet alle criteria kwantificeerbaar. Een criterium als bedrijfszekerheid wordt meestal kwalitatief gewaardeerd, bijvoorbeeld met plussen en minnen.

17.5 Risico-analyse en mitigerende maatregelen

Richtlijn 36 Voer een risicoanalyse uit en bepaal maatregelen om risico's te mitigeren. Beoordeel of aanvullend onderzoek noodzakelijk is en op welke wijze de risico's kunnen worden beheerst.

Er wordt een overzicht van de mogelijke risico's opgesteld:

- het optreden van putverstopping (redox, gas, deeltjes);
- het behalen van de gewenste onttrekkings- en infiltratiecapaciteit;
- het aantrekken van verontreiniging;
- de aanwezigheid van artesisch water;
- het beïnvloeden van andere bij het grondwater betrokken belangen.

Beoordeel vervolgens de geïnventariseerde risico's:

- Is de kwaliteit van de beschikbare geohydrologische informatie voldoende om het risico te kunnen beoordelen?
- Is er noodzaak voor aanvullend onderzoek?
- Wat is de kans dat het risico optreedt?
- Wat zijn de gevolgen?
- Wat zijn de te nemen beheersmaatregelen?

De risicoanalyse vormt vaak een belangrijke input voor het beoordelen van de technische haalbaarheid van een winning (zie eerder dit hoofdstuk).

17.6 Afweging

De laatste stap in het keuzeproces is de keuze voor een ontwerpvariant. Eerst dient te worden nagegaan of de techniek aan de functionele voorwaarden voldoet. Ook moet de betreffende variant voldoen aan de vergunningseisen of vergunbaar zijn. Als dit niet het geval is, dan valt de variant af. Vervolgens worden de kosten getotaliseerd en worden de kwalitatieve waarderingen op een rij gezet. Op basis hiervan wordt een keuze gemaakt.

Het is belangrijk om tijdens het gehele keuzeproces te werken aan draagvlak onder de betrokken stakeholders.

18 Ontwerpdocument

Richtlijn 37 Zorg voor een realistische planning (= invulling BRL 2101 eis 7).

Richtlijn 38 Leg ten behoeve van de uitvoeringsfase alle gemaakte keuzes vast in een Plan van Aanpak. Het Plan van Aanpak bevat een tekening of schets met maatvoeringen met daarop de locaties van de uit te voeren boringen (het zogenaamde boorplan). (= invulling BRL 2101 eis 8).

Richtlijn 39 Evalueer of het ontwerp voldoet aan de ontwerpdoelen, kaders vanuit vergunningen en/of de risico's en effecten voor de winning en haar omgeving acceptabel zijn.

19 Literatuur

1. -berekening, W.L.e., 1979. Het ontwerpen en berekenen van leidingnetten. KIWA mededeling 58, KIWA, Rijswijk. <https://edepot.wur.nl/452157>
2. Aldstadt, J.H. and A.F. Martin, 127(1-2), 1-18., 1997. Analytical chemistry and the cone penetrometer: In situ chemical characterization of the subsurface. *Microchimica Acta*, 127(1-2): 1-18. DOI:<https://doi-org.tudelft.idm.oclc.org/10.1007/BF01243159>
3. Aller, L., et al., 1991. Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells. EPA160014-891034 US EPA, Las Vegas, Nevada. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/fieldsamp-wellshandbook.pdf>
4. Amro, M., M.A. Al Mobarky, and E.S. Al-Homadhi, 2007. Improved Oil Recovery by Application of Sound Waves to Water Flooding. Society of Petroleum Engineers. DOI:doi:10.2118/105370-MS
5. Asmuth, J., 2015. Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens. Protocol voor datakwaliteitscontrole (QC). KWR 2015.013, KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/345248>
6. Baggelaar, P.K., 1992. Naar een meetsysteem waterkwaliteit bij grondwaterwinning. KWA rapport 117, KIWA, Nieuwegein.
7. Baggelaar, P.K. and P.J.J.G. Geudens, 2017. Prognoses en scenario's drinkwatergebruik in Nederland, VEWIN. <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Rapport%20Prognoses%20en%20scenarios%20drwgebruik%20NL.pdf>
8. Bakker, M., et al., 2016. Scripting MODFLOW model development using Python and FloPy. *Groundwater*, 54(5): 733-739. DOI: <https://doi.org/10.1111/gwat.12413>
9. Bakker, M.A.J., R. Harting, and W.J. Zaadnoordijk, 2017. Inventarisatie van tunneldalen en potklei van de Formatie van Peelo rond Nij Beets en Gorredijk. TNO-rapport 2017 R11404, Utrecht.
10. Bedekar, V., et al., 2016. MT3D-USGS version 1: A U.S. Geological Survey release of MT3DMS updated with new and expanded transport capabilities for use with MODFLOW. DOI:<http://dx.doi.org/10.3133/tm6A53>
11. Bense, V.F., et al., 2017. Interpreting Repeated Temperature-Depth Profiles for Groundwater Flow. *Water Resources Research*, 53: 8639-8647. DOI:<https://doi.org/10.1002/2017WR021496>
12. Bertelkamp, C., N. Hartog, and P.J. Stuyfzand, 2018. Bodempassage Nieuwe Stijl (BoNuS): Verkenning van actievere mogelijkheden voor de inzet van bodempassage ter verlaging van de waterzuiveringsinspanning voor organische microverontreinigingen. BTO 2018.063, KWR, Nieuwegein.
13. Bonte, M., et al., 2017. Sources of dissolved oxygen in monitoring and pumping wells. *Hydrogeology journal*, 25(1): 55-66. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10040-016-1477-9>
14. Brinkgreve, R.B.J., L.M. Zampich, and N. Ragi Manoi, 2019. PLAXIS connect edition v20, Plaxis BV, Bentley systems incorporated. file:///D:/Users/schanma/Downloads/2D-0-Gen-Info.pdf
15. Bruggeman, G., 1999. Analytical solutions of geohydrological problems, 46. Elsevier.
16. Cirkel, D.G., 2015. Tracerproef Roodborn, proefbeschrijving en resultaten. KWR 2015.034, KWR, Nieuwegein.
17. Cirkel, R.J., 1985. Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel I - Bovenrivierengebied (L1), Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW), 's-Gravenhage. https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/144691/l1_leidraadvoorhetontwerpenvanri vierdijkendeeli-bovenrivierengebied.pdf

18. Coelho, B.Z., et al., 2015. Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs. 1202416-008-GEO-0006, Deltares.
19. Dammers, P., 2019. Werking hevelsysteem, hevelonderbreker en vacuüminstallatie, Dunea, Zoetermeer.
20. de Jonge, M., et al., 2018. IJzer- en mangaanverwijdering bij bereiding van drinkwater uit grondwater: praktijk en modellering. H2O.
<https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/ijzer-en-mangaanverwijdering-bij-bereiding-van-drinkwater-uit-grondwater-praktijk-en-modellering>
21. de la Loma Gonzalez, B. and N. Hartog, 2016. Subsurface Iron removal in historical field pilots. BTO 2016.104, KWR, Nieuwegein.
22. De Moel, P.J., J.Q. Verberk, and J.C. van Dijk, 2006. Drinking Water - Principles and Practices. World Scientific Publishing Co, Singapore.
23. de Vries, R.F., 2018. Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor de Milieueffectrapportage Waterwinning Luxwoude, Ingenieursbureau De Overlaat v.o.f., Wirdum.
<https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00005594.pdf>
24. Deltares, 2016. D-SETTLEMENT, Embankment design and soil settlement prediction, User Manual, version 16.1, Deltares, Delft.
<https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/DSettlement-Manual.pdf>
25. den Blanken, M.G.M., 1977. Het maximale putdebiet. H2O, 10(22).
<https://edepot.wur.nl/403180>
26. des Tombe, B.F., et al., 2018. Estimating travel time in bank filtration systems from a numerical model based on DTS measurements. Groundwater, 56(2): 288-299.
DOI:<https://doi.org/10.1111/gwat.12581>
27. Dillon, P., et al., 2018. Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. Hydrogeology Journal. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10040-018-1841-z>
28. Driscoll, F.G., 1986. Groundwater and Wells. Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota.
29. Elci, A., F.J. Molz III, and W.R. Waldrop, 2001. Implications of observed and simulated ambient flow in monitoring wells. Groundwater, 39(6): 853-862.
DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02473.x>
30. Elçia, A., G.P. Flach, and F.J. Molz, 2003. Detrimental effects of natural vertical head gradients on chemical and water level measurements in observation wells: identification and control. Journal of Hydrology, 281(1-2): 70-81. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00201-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00201-4)
31. Ferro, V. and S. Mirabile, 2009. Comparing particle size distribution analysis by sedimentation and laser diffraction method. Journal of Agricultural Engineering, 40(2): 35-43. DOI:<https://doi.org/10.4081/jae.2009.2.35>
32. Fugro, 2013. Rapportage geotechnisch veldwerk, project aan de Olympiaweg te Maastricht. 7213-0225-000.
33. Griffioen, J., G. Klaver, and W.E. Westerhoff, 2016. The mineralogy of suspended matter, fresh and Cenozoic sediments in the fluvio-deltaic Rhine-Meuse-Scheldt-Ems area, the Netherlands: An overview and review. . Netherlands Journal of Geosciences, 95(1): 23-107. DOI:10.1017/njg.2015.32
34. Hartog, N., et al., 2018. Ondergronds zuiveren: verkenning toepasbaarheid in de praktijk. BTO 2018.034, KWR, Nieuwegein.
35. Hartog, N. and T. van Dooren, 2018. Grondwaterkwaliteit bij de winning Tilburg: Analyse van de bepalende hydrogeochemische processen. KWR 2018.084
36. Haverbeke, J.P., 2013. Vergelijking laser diffractie met zeef-hydrrometer methode voor de bepaling van de korrelverdeling van grond, Vakgroep Civiele Techniek. Universiteit Gent, Gent.
37. Heijnen, L., et al., 2018. Microbial profiling en metagenomics analyse voor karakterisering van microbiologische processen bij duininfiltratie. KWR 2018.049, KWR, Nieuwegein.
38. Hemker, K. and V. Post, 2011. MLU for Windows. MLU Users Guide.
<http://microfem.com/download/mlu-user.pdf>

39. Hemker, K. and R.G. de Boer, 2012. MicroFEM for Windows. www.microfem.com
40. Hemker, K. and V. Post, 2019. MLU for windows. Well flow modeling in multilayer aquifer systems, Amsterdam. <http://www.microfem.nl/download/mlu-user.pdf>
41. Horstmeier, A.J.N., 1976. Constructie en exploitatie van de put. mededeling 48, KIWA, Rijswijk. <https://edepot.wur.nl/451902>
42. Houben, G.J., 2015. Review: Hydraulics of water wells—flow laws and influence of geometry. *Hydrogeology Journal*(23): 1633–1657. DOI:10.1007/s10040-015-1312-8
43. Hughes, J.D., C.D. Langevin, and E.R. Banta, 2017. Documentation for the MODFLOW 6 framework, USGS. DOI:<https://doi.org/10.3133/tm6A57>
44. Huisman, L., 1969. Stromingsweerstand in leidingen. KIWA mededeling 14, KIWA, Rijswijk.
45. Huisman, L., 1981. De meest economische diameter van transportleidingen. *H2O*, 14(5). <https://edepot.wur.nl/389443>
46. IF, 2001. Ontwerpnormen voor bronnen voor koude-/ warmte opslag. 1/9805/GW, IF technology, Arnhem.
47. Izbicki, J.A., A. Christensen, and R.T. Hanson, 1999. US Geological Survey combined well-bore flow and depth-dependent water sampler. USGS Fact Sheet 196-99, US Geological Survey. <http://ca.water.usgs.gov/archive/reports/fs19699.pdf>
48. Jong, R. and M. Nederlof, 2006. Ervaringen bij Vitens met lozing van membraanconcentraat. *H2O*, 20: 14-16. <https://edepot.wur.nl/346502>
49. Jonker, H. and V. F., 2001. Kennisdocument Isotopen analyse bij onderzoek naar bodemen grondwaterverontreinigingen. SV-206, SKB, Gouda.
50. Jousma, G.e., 1998. Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten. STOWA rapport 98-05, STOWA, Utrecht. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%201990-2000/STOWA%201998-05.pdf>
51. Kamps, P., et al., Year. Monitoring Well Optimization for Surveying the Fresh/Saline Groundwater Interface in the Amsterdam Water Supply Dunes in 24th Salt Water Intrusion Meeting and the 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4 –8 July 2016. Cairns, Australia. http://www.swim-site.nl/pdf/swim24/swim24_p-96-99.pdf
52. Keys, W.S. and L.M. MacCary, 1971. Application of borehole geophysics to water-resources investigations. US Geological Survey, Washington DC. <https://pubs.usgs.gov/twri/twri2-e1/>
53. Kobus, E.J.M., et al., 1976. Omstorting van waterwinningsputten en het maximaal toelaatbare putdebiet. mededeling 45. <https://library.kwrwater.nl/publication/51465709/>
54. Kok, A., et al., Year. Using ground based geophysics and airborne transient electromagnetic measurements (SkyTEM) to map salinity distribution and calibrate a groundwater model for the island of Terschelling – The Netherlands. in SWIM21 - 21st Salt Water Intrusion Meeting Azores, Portugal www.swim-site.nl/pdf/swim21/pages_121_124.pdf
55. Kok, A., et al., 2011. Geofysica vanuit de lucht levert veel informatie op. *H2O*, 44(19): 32-34. <https://edepot.wur.nl/339530>
56. Kruseman, G.P. and N.A. De Ridder, 2000. Analysis and evaluation of pumping test data, 11. International institute for land reclamation and improvement The Netherlands. DOI:https://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/Kruseman_and_De_Ridder_2000.pdf
57. Langevin, C.D., et al., 2008. SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport, USGS. <https://pubs.usgs.gov/tm/tm6a22/>
58. Lerner, D.N. and G. Teutsch, 1995. Recommendations for level-determined sampling in wells. *Journal of Hydrology*, 171(3-4): 355-377. DOI:[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)06016-C](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)06016-C)
59. Leunk, I., 2012. Verslag veldwerk chemische putverstopping: Scheveningen, Macharen, Haamstede en Heumensoord. BTO 2012.220(s), KWR, Nieuwegein.

60. Leunk, I., 2012. Analyse Putverstopping Espelosebroek. KWR 2012.079, KWR, Nieuwegein.
61. Leunk, I., R. Lafort, and K.J. Raat, 2013. Een nieuw putschakelschema voor de grondwaterwinning van Baanhoek. H2O online, 1. <https://library.kwrwater.nl/publication/51465517/>
62. Liao, Z., K. Osenbrück, and O.A. Cirpka, 2014. Non-stationary nonparametric inference of river-to-groundwater travel-time distributions. *Journal of hydrology*, 519: 3386-3399.
63. Locher, W.P., 1987. Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene Bodemkunde, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/331200>
64. Makkink, H.J., M.L.M. Balemans, and E.J. Schrama, 2000. Kennisdocument Putten(velden), Ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten. BTO 2000.110(c), KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/50696550/>
65. Makkink, H.J., M.L.M. Balemans, and I. Leunk, 2011. Kennisdocument Putten(velden), Ontwerp, aanleg en exploitatie van pomp- en waarnemingsputten. KWR 2011.014, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/48690665/>
66. Meerkerk, M.A., 2016. Omgang met 'kleine contactoppervlak producten' (van bron tot leveringspunt), notitie van de Contactgroep ATA Drinkwaterbedrijven. CAD 16-02-05, KWR, Nieuwegein.
67. Meerkerk, M.A., 2019. Wet- en regelgeving in Nederland voor onderdelen van drinkwaterleiding(nett)en. Een toelichting op de 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' (versie 1 juli 2017). PCD 12, KWR, Nieuwegein.
68. Mendizabal, I., 2011. Public supply well fields as a valuable groundwater quality monitoring network. Vrije Universiteit, Amsterdam. <http://www.hydrology-amsterdam.nl/personalpages/Stuyfzand/Mendizabal.pdf>
69. Nienhuis, P., et al., Year. Comparing methods for exploring the fresh/salt groundwater interface position in the Amsterdam water supply dunes. in SWIM21 - 21st Salt Water Intrusion Meeting Azores, Portugal www.swim-site.nl/pdf/swim21/pages_191_194.pdf
70. Olsthoorn, T.N., 1976. De Sichardt-snelheid en het maximaal toelaatbare debiet van waterwinningsputten. *H2O*, 9(11): 212-2014. <https://edepot.wur.nl/403280>
71. Oosterhof, A., et al., 2017. D1.2 - Improved Freshkeeper Reference Site (TRL7), KWR, Nieuwegein.
72. Oosterhof, A., K.J. Raat, and T. van Dooren, 2018. Technological and economical guide for full-scale Freshkeeper application, KWR, Nieuwegein.
73. Oosterwijk, J., 2019. Resultaten onderzoek arseen Klotputten. 180502/oostj2, Brabant Water, 's-Hertogenbosch.
74. Parkhurst, D.L. and C.A.J. Appelo, 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3: a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. book 6, chap. A43, US Geological Survey. DOI:<https://doi.org/10.3133/tm6A43>
75. Pickens, J., et al., 1981. A multilevel device for ground-water sampling. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 1(1): 48-51. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.1981.tb00796.x>
76. Pittens, B. and D.G. Cirkel, 2010. Veldproeven: ontwikkelen van PVC-en RVS filters met de Jetmaster. 21.342/56412/BP, IF, Arnhem.
77. Pittens, B.M. and D.G. Cirkel, 2010. Verticale proef ten behoeve van HDDW Macharen. 21.372/57352/BP, IF technology B.V. & KWR.
78. Pollock, D.W., 2016. User guide for MODPATH Version 7—A particle-tracking model for MODFLOW. DOI:<http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>.
79. Prommer, H. and V. Post, 2010. PHT3D A Reactive Multicomponent Transport Model for Saturated Porous Media, User's Manual v2.10. http://gmsdocs.aquaveo.com/PHT3D_manual_v210.pdf
80. Raat, K.J. and I. Leunk, 2012. Een putschakelschema voor GWB Baanhoek: onderzoek en ontwerp. KWR 2011.094, KWR, Nieuwegein.

81. Raat, K.J., R. Lafort, and I. Leunk, 2013. Een nieuw putschakelschema voor de grondwaterwinning van Baanhoek. H2O. https://www.h2owaternetwerk.nl/images/1305-07_Putverstopingen-Leunk-2b.pdf
82. Rambags, F., et al., 2010. HDDW: van concept tot realisatie. BTO 2010.029.
83. Rambags, F., et al., 2011. Flood proof wells. Guidelines for the design and operation of water abstraction wells in areas at risk of flooding. PREPARED 2011.007, KWR. <http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?FileInfoID=433>
84. Ritzema, H.P., 1994. Drainage Principles and Applications ILRI publication 16, ILRA International Institute for Land Reclamation. <https://edepot.wur.nl/75186>
85. Robertson, P.K. and K.L. Cabal, 2014. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc., <http://geotecnia.info/wp-content/uploads/2015/07/CPT%20Guide%206th%202015.pdf>
86. SBW, 1995. Boormeester II, theorie. SBW rapport 656, Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw, Gouda.
87. SBW, 1997. Boormeester I (diepboringen), theorie. SBW rapport 656, Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw Gouda.
88. Shepherd, R.G., 1989. Correlations of permeability and grain size. Groundwater, 27(5): 633-638. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1989.tb00476.x>
89. Shimadzu, Lecture on Partical Analysis - Hands-on Course. <https://www.shimadzu.com/an/powder/support/practice/p01/index.html>
90. SIKB, 2014. Protocol 11001: Ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen, Gouda. <https://www.sikb.nl/bodembeheer/richtlijnen/brl-11000>
91. SIKB, 2018. BRL 2000: Veldwerk bij milieuhygienisch bodemonderzoek. <https://www.sikb.nl/richtlijnen/brl-2000>
92. SIKB, 2018. Protocol 2101: Mechanisch Boren, Gouda. <https://www.sikb.nl/richtlijnen/brl-2100>
93. Sjerps, R., T. ter Laak, and G. Zwolsman, 2016. Ontwikkeling waterkwaliteit bij innamepunten van oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening. BTO 2016.028, KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/424136>
94. Sprenger, C., et al., 2018. Inventory of managed aquifer recharge sites in Europe: historical development, current situation and perspectives. Hydrogeology Journal. DOI:DOI 10.1007/s10040-017-1554-8
95. Staatsblad, 2007. Besluit van 22 november 2007, houdende regels inzake de kwaliteit van de bodem (Besluit bodemkwaliteit). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022929/2016-05-24>
96. Staatsblad, 2009. Wet van 18 juli 2009, houdende nieuwe bepalingen met betrekking tot de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterwet).
97. Staatsblad, 2017. Wet van 3 juli 1986, houdende regelen inzake bescherming van de bodem (Wet bodembescherming). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003994>
98. Staatscourant, 2011. Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030279/2012-04-01>
99. Staatscourant, 2017. Regeling van de Minister van Infrastructuur en Milieu, van 14 september 2017, nr. IENM/BSK-2017/134679, houdende wijziging van de Drinkwaterregeling ter implementatie van de Richtlijn (EU) 2015/1787 van de Commissie van 6 oktober 2015 tot wijziging van de bijlagen II en III bij Richtlijn 98/83/EG van de Raad betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (PbEU 2015, L 260). <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2017-50684.html>
100. Steinweg, C., et al., 2013. Berekeningsgrondslagen achter de beschermingszones van drinkwaterwinningen: een best modelling practice voor verblijftijdenmodellering. BTO 2013.028, KWR, Nieuwegein. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/2093046>
101. Stofberg, S.F., et al., 2018. COASTAR, Verkenning strategische brakwaterwinning. KWR2018.028, KWR, Nieuwegein. DOI:<http://edepot.wur.nl/459933>
102. Strack, O.D.L., 2017. Analytical Groundwater Mechanics. Cambridge University Press, Cambridge. DOI:<https://doi.org/10.1017/9781316563144>

103. Stuyfzand, P., 2002. Modelling the Quality Changes upon Artificial Recharge and Bank Infiltration: Principles and User's Guide of EASY-LEACHER 4.6. SWI 99.199, KIWA, Nieuwegein.
104. Stuyfzand, P.J., 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Vrije Universiteit, Amsterdam.
<http://dare.ubvu.vu.nl/handle/1871/12716>
105. 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.
106. Stuyfzand, P.J., et al., 2012. Haalbaarheid van ondergrondse berging via A(S/T)R in Holland's kustduinen. KWR 2012.082, KWR, Nieuwegein.
107. Stuyfzand, P.J., 2015. Model based monitoring van puttenvelden: meetnetoptimalisatie via systeemanalyse en hydrogeochemische modellering, met Noordbargeres als voorbeeld. KWR 2015.021, KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/424421>
108. Stuyfzand, P.J., 2017. Hydrogeochemical (HGC 2.4), for storage, management, control, correction and interpretation of water quality data in Excel® spread sheet, updated june 2017. BTO 2012.244(s), KWR, Nieuwegein.
109. Stuyfzand, P.J. and M.L. van der Schans, 2018. Effects of intake interruptions on dune infiltration systems in the Netherlands, their quantification and mitigation. Science of The Total Environment, 630: 757-773. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.104>
110. Vaessen, H., 1979. De contante waarde als maatstaf voor de lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf KIWA mededeling 59, KIWA, Rijswijk.
<https://edepot.wur.nl/451367>
111. van Andel, M. and J.V. Bessem. *Massastabilisatie in nederland (powerpoint)*. Available from: http://www.slappebodem.nl/Bestanden/Workshops-innovatiemiddag-2016/PSB-Innovatiemiddag20160922_Massastabilisatie-Fugr/.
112. van Beek, C., et al., 1996. Ondergronds ontijzeren, de voor en nadelen. KOA 96.113, KWR, Nieuwegein.
113. van den Akker, B., et al., 2014. Iron and manganese removal through subsurface and filtration processes. BTO 2014.047, KWR, Nieuwegein.
114. van der Grift, B. and P.J. Stuyfzand, 2019. Uitloging geochemisch buffervermogen ondergrond. BTO 2019.036 KWR, Nieuwegein.
115. van der Made, K.J., et al., 2014. Grondverdringend in de bodem brengen van glasvezelkabels voor temperatuurmetingen. H2O online. <https://edepot.wur.nl/310586>
116. van der Moot, N.L., 1997. Geo-elektrisch onderzoek zou standaard een onderdeel moeten zijn binnen het geohydrologisch onderzoek. H2O, 30(21): 628-631.
<https://edepot.wur.nl/364117>
117. van der Schans, M.L., R. Rothuizen, and D.G. Cirkel, 2014. Praktijkproef verticale putten ten behoeve van HDDW-Dunea, KWR, Nieuwegein.
118. van der Schans, M.L., et al., 2015. Energieverbruik drinkwaterwinning. BTO 2015.039, KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/424425>
119. van der Schans, M.L., et al., 2016. Hygiëncode Drinkwater: Winning (grondwater, oevergrondwater en water na kunstmatige infiltratie). PCD 1-2:2016 KWR, Nieuwegein.
[http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/08/PCD-1-2-2016-\(januari-2016\)-Hygi-necode-Drinkwater.-Winning-\(grondwater-oevergrondwater-en-water-na-kunstmatige-infiltratie\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/08/PCD-1-2-2016-(januari-2016)-Hygi-necode-Drinkwater.-Winning-(grondwater-oevergrondwater-en-water-na-kunstmatige-infiltratie).pdf)
120. van der Schans, M.L. and A. van Doorn, 2017. Optimalisatie van de winning Sint Jans klooster via hydrochemische systeemanalyse. BTO 2017.017, KWR, Nieuwegein.
<https://edepot.wur.nl/457243>
121. van der Schans, M.L. and M.A. Meerkerk, 2019. Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater, deel 1: algemeen. PCD 13-1, KWR, Nieuwegein.
<https://www.praktijkcodesdrinkwater.nl/opbrengst/ontwerp-aanleg-en-bedrijfsvoering-van-puttenvelden/>
122. van der Schans, M.L., et al., 2019. Microbial profiling (HTS) van kortsluitstroming rondom waterwinputten. KWR 2019.063, KWR, Nieuwegein.

123. van Doorn, A., K. Zuurbier, and A. Kronemeijer, 2014. Optimalisatie van putten(velden) met 'MPPWs'. BTO 2014.030, KWR, Nieuwegein.
124. van Doorn, A., et al., 2017. Optimalisatie van de winning Ellecom via systeemanalyse. BTO 2017.018, KWR, Nieuwegein.
125. van Engelenburg, J., 2007. Veiligstellen Kerk-Avezaath/ Zoelen, Vitens.
126. Velstra, J., et al., 2014. Geïntegreerde Modelomgeving Waterbeheer TRIWACO 4.0. www.triwaco.nl
127. Vermeulen, P.T.M., et al., 2018. iMOD User Manual 4.3, Deltares. https://content.oss.deltares.nl/imod/imod43/iMOD_User_Manual_V4_3.pdf
128. Vienken, T. and P. Dietrich, 2011. Field evaluation of methods for determining hydraulic conductivity from grain size data. Journal of Hydrology, 400(1-2). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.022>
129. Vink, C., et al., 2007. Flexwater Pilot Noordoostpolder, Verkennend onderzoek naar mogelijkheden voor brakwaterwinning met Optiwin. BTO 2007.029, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/51451192/>
130. Vink, K. and J.P.M. Witte, 2008. Flexwater Pilot Brabant Water Regio Zuid. BTO 2008.058, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/51451496/>
131. Vlaamse regering, 1995. VLAREM II: Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne. <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=263>
132. Vonk, E., D.G. Cirkel, and I. Leunk, 2017. De gevolgen van klimaatverandering en vakantiespreiding voor de drinkwatervraag. BTO 2017.043 KWR, Nieuwegein. <https://edepot.wur.nl/495872>
133. Vonk, E. and M.L. van der Schans, 2019. Well Clogging Analyzer: Beslissingsondersteunende tool voor kwantitatieve analyse van mechanische boorgatwand-putverstopping. BTO 2019.007, KWR, Nieuwegein.
134. Werkgroep waterwijzer Landbouw, 2018. De waterwijzer Natuur: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op de landbouw productie. STOWA 2018-48. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-48%20WWL%20defversie.pdf>
135. Witte, J.P.M., et al., 2018. De waterwijzer Natuur: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terreestische natuur. STOWA 2018-44. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-44%20WWN.pdf>
136. Zuurbier, K., S. Ros, and P.J. Stuyfzand, 2018. Verkenning inzet ASR voor opslag drinkwater PS Hoorn. KWR 2018.067, KWR, Nieuwegein.
137. Zuurbier, K., et al., 2018. Technological and economical guide for Freshmaker application, KWR Watercycle Research Institute DOI:http://www.subsol.org/uploads/deliverables/D1.5_-_Technological_and_Economical_guide_for_Freshmaker_application_.pdf
138. Zuurbier, K.G., et al., Year. Towards successful aquifer storage and recovery (ASR) in coastal aquifers: use of ASR feasibility mapping and multiple partially penetrating wells. in International symposium on managed aquifer recharge (ISMAR) 8, Beijing, China. Citeseer. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.664.8067&rep=rep1&type=pdf>
139. Zuurbier, K.G. and P.J. Stuyfzand, 2017. Consequences and mitigation of saltwater intrusion induced by short-circuiting during aquifer storage and recovery in a coastal subsurface. Hydrology and Earth System Sciences, 21(2): 1173-1188. DOI:<https://doi.org/10.5194/hess-21-1173-2017>

Bijlage I Richtlijnen

- Richtlijn 1 Leg de planning (opleverdatum), productiedoelstellingen (waterbehoefte) en op te lossen problemen in het productieproces vast aan het begin van het ontwerpproces. Bij nieuwe winningen dient ook het zoekgebied te worden vastgelegd.
- Richtlijn 2 Baseer het capaciteitsontwerp van het puttenveld op een gedegen studie naar de watervraagontwikkeling en optredende piekvragen, zowel nu als in de toekomst. Bepaal ook of er extra capaciteit nodig is voor calamiteiten.
- Richtlijn 3 Maak een inschatting of (i) de ontwerpdoelen een nieuwe winlocatie, (ii) een wijziging van de inrichting van de winlocatie (winconcept, type en ligging putten, capaciteit) of (iii) uitsluitend vervanging van winputten vereisen.
- Richtlijn 4 Maak bij uitbreiding van de productiecapaciteit een onderbouwde voorselectie van bestaande locaties als input voor de MER en/of vergunningsaanvraag. Mocht uitbreiding van bestaande locaties niet haalbaar zijn, beschouw dan nieuwe locaties.
- Richtlijn 5 Plaats putten bij voorkeur in een watervoerend pakket met hoge capaciteit (grove zandlagen), lage verstoppingspotentie door deeltjes (fijnzandige lagen) en ijzerhydroxiden (door menging van oxidisch en anoxisch water), en zo min mogelijk kans op aantrekken van verontreinigingen vanaf maaiveld of upconing van diep grondwater.
- Richtlijn 6 Controleer met een modelberekening of toestroming van water van een ongewenste kwaliteit een risico vormt bij de beoogde filterstelling en volumestroom.
- Richtlijn 7 Voldoe aan de wettelijke eisen voor wat betreft zorg-, meldings- en vergunningsplichten ten aanzien van het gebruik van de bodem, het grondwater en de vrijkomende grond en het grondwater = BRL 2101 Eis 2
- Richtlijn 8 Zorg voor inzicht in de te verwachten bodemopbouw, doorlatendheid, stijghoogte, grondwaterkwaliteit en (mogelijke) aanwezigheid van bodemverontreinigingen = BRL 2101 Eis 1.
- Richtlijn 9 Beoordeel of er voldoende inzicht is in de opbouw van de ondergrond om de put te dimensioneren en risico's in beeld te brengen.
- Richtlijn 10 Voer nader veldonderzoek uit als blijkt dat informatie ontbreekt voor het ontwerp of in verband met het beheersen van risico's.
- Richtlijn 11 Voorkom verspreiding van aanwezige verontreinigingen als gevolg van het boren = BRL 2101 eis 6.
- Richtlijn 12 Voldoe aan de wettelijke eisen op het gebied van Arbeidsomstandigheden.= BRL 2101 eis 6.
- Richtlijn 13 Ga na welke geohydrologische problemen optreden op een winlocatie zoals gebrek aan ruimte, kans op verzilting of watervoerende pakketten met een lage doorlatendheid of geringe dikte. Wanneer er geen geohydrologische problemen zijn, kan gebruik worden gemaakt van een verticaal winconcept. Overweeg anders alternatieve winconcepten.
- Richtlijn 14 Houd bij het ontwerp van het puttenveld rekening met uitval van putten door storingen/schade en onderhoud.
- Richtlijn 15 Plan putten op locaties die geschikt zijn als bouwlocatie (voldoende ruimte, bereikbaar, kabels & leidingen) en voldoen aan de regels ten aanzien van

- grondwaterbescherming, zoals die zijn vastgelegd in de provinciale omgevingsverordening en vergunningen. Check of de beoogde locaties niet worden uitgesloten door andere planzones (= BRL 2101 Eis 4).
- Richtlijn 16 Voorkom dat gebruikte materialen de bodem, het grondwater en/ of drinkwater verontreinigen
- Richtlijn 17 Kies een filterdiepte die het risico op putverstopping en zandlevering minimaliseert en menging van water van verschillende waterkwaliteiten door kortsluitstroming tussen watervoerende pakketten voorkomt (= BRL 2101, eis 17).
- Richtlijn 18 Kies een zodanig maximaal debiet (snelheid op de boorgatwand) dat de put geen zand levert of te snel verstopt. Gebruik de formule van Huisman, tenzij betere informatie voorhanden is over de toelaatbare snelheid op de boorgatwand uit omliggende putten.
- Richtlijn 19. In de praktijk wordt een boorgat tussen de 700 en 800 mm het meest toegepast voor winningen met een kunstmatige omstorting.
- Richtlijn 20 Het afpompniveau bevindt zich boven het filtertraject en minimaal 1 m boven het niveau van de zuigopening van de onderwaterpomp of haalbuis. Houd bij het ontwerp rekening met toekomstige extra afpompings door putverstopping. Optimaliseer de afpompings als functie van energieverbruik en bouwkosten.
- Richtlijn 21. De omstorting moet aan de volgende eisen voldoen: (1) een zo laag mogelijke weerstand voor toestromend grondwater (bij voorkeur maximaal enkele cm), (2) voorkomen van zandverplaatsing uit de formatie, zodanig dat tijdens normale productie het opgepompte water zandvrij is (1 g/10 m³) en (3) stabilisatie van de omliggende formatie.
- Richtlijn 22 Pas een kunstmatige omstorting toe van minimaal 15 tot maximaal 30 cm.
- Richtlijn 23 Stem de korrelgrootte van het filtergrind zorgvuldig af op de korrelgrootteverdeling van het te pomp water voerend pakket. Houd hierbij rekening met de uniformiteit van het formatiezand.
- Richtlijn 24 Voor de omstorting wordt hygiënisch betrouwbaar, schoon uniform ($U_c < 1.4$) en afgerond grofzand of grind gebruikt. Het gebruikte zand of grind moet voldoen aan de BRL-K240.
- Richtlijn 25 Het filter moet voldoen aan de volgende eisen: (1) het moet voldoende sterk zijn, (2) het moet de formatie tegenhouden en het te winnen water doorlaten, (3) de intreeweerstand moet zo klein mogelijk zijn en (4) het open oppervlak moet zo hoog mogelijk zijn.
- Richtlijn 26 De putbodemp moet aan de volgende eisen voldoen: (1) voldoende sterk zijn, (2) de formatie en grondwater tegenhouden en (3) eventueel een zandvang bevatten die voldoende ruimte biedt voor onderhoudsapparatuur.
- Richtlijn 27 De stijgbuis moet voldoen aan de volgende eisen: (1) voldoende sterk zijn, (2) de formatie en grondwater tegenhouden, (3) het water moet van het filter naar de pompkamer worden getransporteerd zonder significant energieverlies en (4) er moet voldoende ruimte zijn voor het inhangen van de onderwaterpomp (of haalbuis) en eventuele tools voor regeneratie.
- Richtlijn 28 Gebruik PVC of RVS buis- en filtermateriaal van een geschikte drukklasse voor de constructie van putten. Dit materiaal moet beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring [98] en bestand zijn tegen te verwachten fysische en chemische belasting tijdens aanleg en exploitatie.
- Richtlijn 29 Buisverbindingen dienen gegarandeerd waterdicht te zijn. Bij schroefverbindingen zonder rubber afdichtingsringen en in het bijzonder kordeldraad is dit niet te garanderen. Bij voorkeur worden daarom bij PVC buismateriaal verlijmde verbindingen toegepast. Voor RVS buismateriaal zijn waterdichte trekvlaste koppelingen beschikbaar.

- Richtlijn 30 Voorkom dat verontreiniging of grondwater van een andere kwaliteit via het boorgat naar een andere goed doorlatende laag kan stromen (= BRL 2101, eis 17). Daarvoor wordt gebruikgemaakt van afdichtmateriaal dat voldoet aan BRL K5078.
- Richtlijn 31 De putkopconstructie moet: (1) volledig afsluiten, (2) eventueel optredende zettingen kunnen opvangen, (3) voldoen aan gestelde eisen in de Arbowetgeving, (4) voldoen aan speciale (sterkte) eisen om de put te mogen en te kunnen ontwikkelen en regenereren, (5) zijn voorzien van signalerings- en bewakingsapparatuur, (6) geen storend element zijn in het landschap en (7) conform NEN 1010:2015 (voor installaties) worden uitgevoerd.
- Richtlijn 32 De putkopbehuizing of putkelder moet dusdanig solide worden uitgevoerd dat ontwikkelen en regeneratie mogelijk is. De putbehuizing is waterdicht en wordt bij voorkeur boven het grondwater en/of inundatieniveau aangelegd. Bij aanleg van een putkelder mag de kleirop niet zo worden vergraven dat kortsluitstroming kan optreden.
- Richtlijn 33 De stroomvoorziening en schakelaars van de put dienen van een waterdichte afdichting te zijn of worden op een dusdanige hoogte geplaatst dat inundatie niet mogelijk is.
- Richtlijn 34 Bereken de hydrologische, hydrochemische en grondmechanische effecten van de winning met een aantoonbaar geschikte berekeningsmethode.
- Richtlijn 35 Controleer de economisch- technische en vergunningstechnische haalbaarheid van de winning aan het eind van iedere ontwerpfase.
- Richtlijn 36 Voer een risicoanalyse uit en bepaal maatregelen om risico's te mitigeren. Beoordeel of aanvullend onderzoek noodzakelijk is en op welke wijze de risico's kunnen worden beheerst.
- Richtlijn 37 Zorg voor een realistische planning (= invulling BRL 2101 eis 7).
- Richtlijn 38 Leg ten behoeve van de uitvoeringsfase alle gemaakte keuzes vast in een Plan van Aanpak. Het Plan van Aanpak bevat een tekening of schets met maatvoeringen met daarop de locaties van de uit te voeren boringen (het zogenaamde boorplan). (= invulling BRL 2101 eis 8).
- Richtlijn 39 Evalueer of het ontwerp voldoet aan de ontwerpdoelen, kaders vanuit vergunningen en/of de risico's en effecten voor de winning en haar omgeving acceptabel zijn.

Bijlage II In deze praktijkcode genoemde normen

[NEN 3550:2012](#) 'Cement volgens NEN-EN 197-1 of NEN-EN 14216, met aanvullende speciale eigenschappen – Definities en eisen', Nederlands Normalisatie-instituut, september 2012, Delft

[NEN 5104:1989](#) 'Geotechniek – Classificatie van onverharde grondmonsters'. Nederlands Normalisatie-instituut, september 1989, Delft

Met [NEN 5104:1989/C1:1990](#)

De norm is sinds 1 augustus 2004 ingetrokken

[NEN 5140:1996](#) 'Geotechniek – Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand van grond – Elektrische sondeermethode', Nederlands Normalisatie-instituut, september 1996, Delft

De norm is sinds 30 januari 2013 ingetrokken

[NEN 5744:2011](#) 'Bodem – Monsterneming van grondwater', Nederlands Normalisatie-instituut, maart 2011, Delft

Met [NEN 5744:2011/A1:2013](#) van april 2013

Er is een ontwerp van augustus 2019: [NEN-5744:2019](#)

[NEN 5753:2018](#) 'Bodem – Bepaling van het lutumgehalte en de korrelgrootteverdeling in grond en waterbodem met behulp van zeef en pipet', Nederlands Normalisatie-instituut, maart 2018, Delft

[NEN-EN 1997-1:2005](#) 'Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp – Deel 1: Algemene regels'. Nederlands Normalisatie-instituut, maart 2005, Delft

Met [NEN-EN 1997-1+C1+A1:2016/NB:2019](#) van juli 2019

[NEN-EN-ISO 14688-1:2019](#) 'Geotechnisch onderzoek en beproeving – Identificatie en classificatie van grond – Deel 1: Identificatie en beschrijving (incl. Nederlandse bijlage:2019)', Nederlands Normalisatie-instituut, maart 2019, Delft

Bijlage III In deze praktijkcode genoemde beoordelingsrichtlijnen en protocollen

Kiwa Nederland B.V. (2017): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor zand en grind voor de drinkwaterproductie', [BRL-K240](#), versie 5, 8 september 2017, Rijswijk

Kiwa Nederland B.V. (2019): 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het NL-BSB® productcertificaat voor groutmengsels voor het afdichten van boorgaten', [BRL 5078](#), 26 juni 2019, Rijswijk

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (2000): 'Veldwerk bij milieuhygiënisch bodem- en waterbodemonderzoek', [BRL SIKB 2000](#), versie 6.0, 1 februari 2018 (zie ook [hier](#)), Gouda (www.sikb.nl)

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (2018): 'Mechanisch boren', [Protocol 2101](#), versie 4.0, 1 februari 2018 (zie ook [hier](#)), Gouda

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (2014): 'Ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van installaties voor bodemenergie', [Protocol 11001](#), versie 2.0, 2 oktober 2014 (zie ook [hier](#)), Gouda