



Kennisdocument Putten(velden)

Ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten

Update 2010

KWR 2011.014
September 2000
December 2010

KWR

Watercycle Research Institute

Kennisdocument Putten(velden)

Ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten

Update 2010

September 2000
December 2010

© 2011 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Colofon

Titel

Kennisdocument Putten(velden)
Ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten

Opdrachtnummer

BTO 2000-110 (c) en A308045.105

Projectmanager

N. Slaats

Opdrachtgever

Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen

Kwaliteitsborgers

Medewerkers deelnemende waterbedrijven

Auteurs

ir. H.J. Makkink (eindredacteur)
ir. M.L.M. Balemans, ing. E.J. Schrama
ing. I. Leunk (update 2010)

Ten geleide

Voor u ligt het Kennisdocument Putten(velden), met alle huidige beschikbare kennis over pompputten zoals die door de deelnemende waterbedrijven is aangeleverd. Het kennisdocument is in de periode 1999 – 2000 tot stand gekomen door nauwe samenwerking van een aantal waterbedrijven en Kiwa. In 2010 is een update van het Kennisdocument gemaakt.

Het Kennisdocument is een naslagwerk, waarin die aspecten zijn beschreven die tot het ontwerp, de aanleg en de exploitatie van pompputten in ongeconsolideerd gesteente behoren. Nederlandse waterbedrijven hebben naast opputten ook waarnemingsputten, infiltratieputten, maar in deze versie van het Kennisdocument is daar geen specifieke aandacht aan besteed. Evenmin als aan pompputten in vast gesteente die in delen van Nederland voorkomen. De nadruk ligt verder op verticale pompputten en er wordt slechts beperkt aandacht besteed aan horizontale putten.

Bij het opstellen en updaten van het Kennisdocument zijn de waterbedrijven nauw bedrooken. In de bijlage staat een lijst van deelnemende bedrijven en personen.

In 2000 is het Kennisdocument als losbladig rapport uitgegeven. De update van 2010 wordt digitaal aangeboden. Voor 2011 is een aanvulling met een deel IV over waarnemingsputten gepland.

Inhoudsopgave (beknopt)

Deel Algemeen

- | | |
|---|-----|
| 1. Inleiding | 1-1 |
| 2. Gebruik en beheer van het kennisdocument | 2-1 |
| 3. Kennisleemten | 3-1 |

Deel I Ontwerp

- | | |
|--|-----|
| 4. Ontwerpfasen | 4-1 |
| 5. Vooronderzoek | 5-1 |
| 6. Ontwerp: Keuze winningstechnieken en boormethoden | 6-1 |
| 7. Ontwerp: Berekeningen | 7-1 |
| 8. Ontwerp: Pompput | 8-1 |
| 9. Ontwerp meetsystemen | 9-1 |

Deel II Aanleg

- | | |
|--|------|
| 10. Het Bestek | 10-1 |
| 11. Uitvoering van de boring en afwerking van de pompput | 11-1 |
| 12. Toezicht en oplevering | 12-1 |
| 13. Vastleggen meetgegevens | 13-1 |

Deel III Exploitatie

- | | |
|--------------------------------------|------|
| 14. Dagelijkse bedrijfsvoering | 14-1 |
| 15. Putverstopping en putregeneratie | 15-1 |
| 16. Procesbewaking | 16-1 |
| 17. Bijsturing en correctie | 17-1 |

Bijlagen



Stand van Zaken Algemeen

Dit deel bevat de algemene inleiding van het *Kennisdocument*. Hoofdstuk 2 gaat in op het gebruik van dit Kennisdocument, de inhoud wordt in hoofdlijnen aangehaald. In een aparte paragraaf wordt aandacht besteed aan het beheer en de kennisontwikkeling van het Kennisdocument.

De ontbrekende kennis die nodig is bij het ontwerpen, aanleggen of exploiteren van een put of puttenveld - en dus ook niet in dit document opgenomen is - wordt beschreven in hoofdstuk 3.

Inhoud

Stand van Zaken Algemeen	1
Inhoud	2
1 Inleiding	1-1
1.1 Aanleiding	1-1
1.2 Probleemstelling	1-1
1.3 Doelstelling	1-1
1.4 Doelgroep	1-1
1.5 Werkwijze	1-2
2 Gebruik en beheer van het kennisdocument	2-1
2.1 Inhoud op hoofdlijnen	2-1
2.2 Gebruik van het kennisdocument	2-1
2.3 Beheer van het kennisdocument	2-2
3 Kennisleemten	3-1

1 Inleiding

De aanleiding voor het project, de probleemstelling, de doelstelling, het kader waarbinnen het project is uitgevoerd en de manier waarop het tot stand gekomen is worden beschreven.

1.1 Aanleiding

Nagenoeg alle waterbedrijven in Nederland hebben putten. Voor het onttrekken van grondwater hebben de bedrijven gezamenlijk duizenden pompputten. Voor het infiltreren van water honderden infiltratieputten. En voor het monitoren van het grondwater duizenden waarnemingsputten. Al deze putten vertegenwoordigen een totale (vervangings)waarde van enkele miljarden euro's. De kosten die de bedrijfstak jaarlijks maakt voor vervanging, onderhoud en regeneratie van de pompputten bedragen tientallen miljoenen euro's.

De Nederlandse waterbedrijven besteden dagelijks aandacht aan pompputten; de (dagelijkse) exploitatie, aanleg van nieuwe putten(velden) en ontwerp. Putverstopping is één van de aspecten waar veel aandacht aan besteed wordt. Het vaststellen van de oorzaak van verstopping, bepaling van de meest geschikte regeneratiemethode en preventie van verstopping is belangrijk. Daarnaast zijn er vragen over het ontwerp, de aanleg en de overige aspecten van exploitatie van pompputten en puttenvelden. Voor veel van deze problemen zijn oplossingen gevonden, veel vragen zijn al beantwoord. Maar de oplossingen en antwoorden zijn niet goed toegankelijk, doordat deze her en der in rapportages staan of (vooral) in de hoofden van mensen zitten.

In 2000 is de eerste versie van het *Kennisdocument* uitgekomen. In 2009 is besloten om het *Kennisdocument* te updaten en aan te vullen met de meest recente kennis.

1.2 Probleemstelling

Kennis over pompputten en puttenvelden, de (dagelijkse) exploitatie, de aanleg en het ontwerp is opgenomen in verschillende rapporten. Praktijkkennis, in de hoofden van medewerkers van waterbedrijven, is niet of nauwelijks op schrift gesteld. Bij het wegvallen van deze mensen voor de bedrijfsvoering gaat ook hun kennis verloren.

Hoe is praktijkkennis over pompputten en kennis uit diverse rapporten zodanig vast te leggen dat deze kennis gemakkelijk toegankelijk is voor medewerkers van de Nederlandse waterbedrijven die zich bezighouden met het ontwerp, de aanleg en de exploitatie van pompputten en puttenvelden? Hoe kan de kennis van medewerkers van de verschillende bedrijven overgedragen worden?

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het project is:

Het uitwisselen en vastleggen van kennis met als belangrijkste opbrengst een overzichtelijk, geactualiseerd en praktisch 'Kennisdocument putten & puttenvelden ten behoeve van drinkwaterproductie'. In het Kennisdocument komen aan de orde: ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten en puttenvelden, inclusief het leidingnet op het winterrein.

1.4 Doelgroep

Het Kennisdocument richt zich op een brede doelgroep: iedereen van de Nederlandse waterbedrijven die zich op verschillende niveaus bezighoudt met putten(velden) t.b.v. waterproductie.

1.5 Werkwijze

Elf waterbedrijven zijn – op initiatief van KWR - in 1999 gestart met het opzetten van een ‘Kennisdokument putten(velden)’. Negen waterbedrijven hebben besloten het project in 2000 voort te zetten binnen het contractonderzoek (de namen van de deelnemende bedrijven zijn opgenomen in bijlage 1).

Bij de start van het project is een projectgroep (voor samenstelling en leden zie bijlage 2) geformeerd waarin de vertegenwoordigers van de deelnemende bedrijven zitting hebben. De projectgroep geeft sturing aan het gehele proces om te komen tot een *Kennisdokument*.

In 2009 is besloten tot een update van het kennisdokument onder begeleiding van een nieuwe werkgroep. De samenstelling en leden van de werkgroep van de update staan in bijlage 2).

Als eerste is de gewenste inhoud van het document samen met de leden van de projectgroep vastgesteld. Door verschillende werkgroepen zijn delen van het *Kennisdokument* (voornamelijk aanleg en exploitatie) ingevuld door of samen met medewerkers van de Nederlandse waterbedrijven. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur en de kennis aanwezig bij de medewerkers van de waterbedrijven. Bijlage 3 geeft een overzicht van de medewerkers van de waterbedrijven die een bijdrage hebben geleverd.

Daarnaast is met behulp van vragenlijsten en interviews geïnventariseerd welke (verschillende) werkwijzen de waterbedrijven hanteren en waar deze verbeterd zouden kunnen worden. Ook is gebruik gemaakt van beschikbare rapporten opgesteld door of in opdracht van de bedrijven, door KWR of door anderen. De beschikbare informatie is getoetst op bruikbaarheid in de huidige situatie.

De projectleiding was in handen van KWR. Daarnaast hebben KWR medewerkers (zie bijlage 3 voor de leden van dit projectteam) delen van het *Kennisdokument*, vooral het onderdeel ontwerp, gevuld. Door medewerkers van de waterbedrijven is deze inhoud getoetst op volledigheid en juistheid. Voor de andere delen zijn voorstellen voor uitwerking gemaakt. Het gehele document is door een eindredacteur geredigeerd waarmee de opzet van het document en de schrijfstijl eenduidig geworden is.

Door de gehanteerde werkwijze is, voor pompputten, een Kennisdokument Putten(velden) ontstaan waarin de kennis van Waterbedrijven en KWR is vastgelegd.

In 2009 heeft KWR in overleg met de waterbedrijven bepaald op welke punten het kennisdokument moest worden aangepast. Vooral op het gebied van putverstopping was sinds het uitkomen van het kennisdokument veel extra onderzoek gedaan, waarvan de resultaten in het kennisdokument zijn verwerkt.

2 Gebruik en beheer van het kennisdocument

In dit hoofdstuk gaan we in op de inhoud, het gebruik en het beheer van het *Kennisdocument*. Ten aanzien van het beheer schenken we aandacht aan: doel, activiteiten, het verkrijgen van de benodigde informatie en het ter beschikking stellen van het document aan belangstellenden.

2.1 Inhoud op hoofdlijnen

Dat het ontwerpen, aanleggen en exploiteren van putten maatwerk is, wordt bekend verondersteld. Niet elk bedrijf is op dezelfde wijze georganiseerd of pakt de 'puttenproblematiek' hetzelfde aan. Daarmee kan in dit document niet altijd rekening gehouden worden. Daar waar mogelijk proberen we een 'grootse gemene deler' weer te geven. Bij het lezen van het document moet men zich bewust zijn van dit 'manco'.

De inhoud van dit document is gesplitst in drie inhoudelijke delen:

- Deel I: ontwerp
- Deel II: aanleg
- Deel III: exploitatie.

Deze drie inhoudelijke delen worden ondersteund door een algemeen deel waarin aanleiding, doel, werkwijze, het gebruik en beheer en de kennisleemten in het *Kennisdocument* aan de orde komen. Daarnaast is een deel met bijlagen opgenomen, waaronder een terminologielijst voor verklaring van de gebruikte termen, een literatuurlijst en overige aspecten, die niet tot de kern van het document behoren.

Deel I (hoofdstuk 4 t/m 9) gaat in op die onderdelen die bij het ontwerp van pompputten of een puttenveld aan de orde komen. Het ontwerpproces wordt in hoofdlijnen behandeld. De richtlijnen voor enkele specifieke onderwerpen komen uitgebreider aan de orde: keuze van winningstechnieken en boormethoden, berekeningsmethoden voor pompputten en ruwwaterleidingen, het ontwerp van een pompput en de opzet van een meetsysteem op de winplaats.

Deel II (hoofdstuk 10 t/m 13) besteedt aandacht aan de aanleg van putten(velden). Een checklist met aspecten die aan de orde moeten komen is in het bestek opgenomen. De manier waarop een boring uitgevoerd wordt en de inrichting tot pompput komen aan de orde. Welk toezicht gewenst is bij de aanleg van pompputten en ruwwaterleidingen, en de eisen die gesteld worden bij de oplevering zijn beschreven. Aan het eind van deel II is beschreven op welke wijze de meetgegevens, verzameld tijdens de uitvoering en de oplevering, vastgelegd kunnen worden.

Deel III (hoofdstuk 14 t/m 17) gaat in op de exploitatie van pompputten(velden). Naast een beschrijving van de dagelijkse bedrijfsvoering komen aan de orde de methoden voor bewaking van het proces en het bijsturen en corrigeren op basis van verzamelde gegevens.

Aan putverstopping en regeneratie is door de waterbedrijven veel aandacht besteed. Dit onderdeel is in een apart hoofdstuk beschreven. De hele cyclus van bewaking, bijsturen, corrigeren en voorkomen wordt beschreven.

2.2 Gebruik van het kennisdocument

Het *Kennisdocument* is een naslagwerk waarin medewerkers binnen de waterbedrijven, onderzoeksinstituten en adviesbureaus met diverse aandachtsgebieden hun weg kunnen vinden. Het onderscheid in delen maakt het mogelijk om direct toegang te krijgen tot

informatie van één van de specifieke onderdelen van het proces 'ontwerp-aanleg-exploitatie' van pompputten.

Het *Kennisdocument* is niet bedoeld voor gebruik als veldwerkboekje. De vertaalslag van het *Kennisdocument* naar het veldwerk wordt door de bedrijven zelf uitgevoerd in procedures en werkinstructies.

In het *Kennisdocument* vindt geen beoordeling van verschillende methoden/werkwijzen plaats. Wel is zoveel als mogelijk gezocht naar technisch-wetenschappelijke onderbouwing van deze methoden/werkwijzen. De onderbouwing zelf is niet in het document opgenomen. Hiervoor is een uitgebreid literatuuroverzicht opgenomen.

De inhoudsopgave biedt een ingang voor vragen die betrekking hebben op één onderwerp. Er is een inhoudsopgave waarin alleen de hoofdstukken aangehaald zijn en een inhoudsopgave waarin ook (sub)paragrafen zijn opgenomen.

Het zoeken wordt gemakkelijker gemaakt door de trefwoorden die in de kantlijn staan. Hiermee kan binnen een hoofdstuk gezocht worden naar een bepaald trefwoord.

Hoe vind ik mijn weg in het *Kennisdocument*? Enkele voorbeelden:

Vraag:	Wat zijn belangrijke aspecten bij het ontwerp van een puttenveld?
Antwoord:	Deel I: Ontwerp.
Vraag:	Hoe berekening ik de snelheid op de boorgatwand?
Antwoord:	hoofdstuk 7 (ontwerp: berekeningen), paragraaf 7.6 (berekenen van de snelheid op de boorgatwand).
Vraag:	Waar moet ik op letten bij de oplevering van een pompput?
Antwoord:	Oplevering hoort bij de aanleg, dus deel II. In hoofdstuk 12 (Toezicht en oplevering) komen de opleveringseisen voor een pompput aan de orde in paragraaf 12.2.1
Vraag:	Wanneer gebruik ik chloorbleekloog voor regeneratie van een verstopte put?
Antwoord:	Regeneratie valt onder exploitatie van pompputten, deel III. Hoofdstuk 15 is gewijd aan putverstopping en -regeneratie, waarbij in paragraaf 15.5 aandacht wordt besteed aan verschillende regeneratiemethoden. Chloorbleekloog is een chemisch middel, paragraaf 15.5.2. Ook op bladzijde 15-24 staat het trefwoord 'chloorbleekloog', waarachter aandacht wordt besteed aan de chemische processen van chloorbleekloog en de toepassing bij regeneratie. In de digitale versie kunt u uiteraard het snelste zoeken met de functie Ctrl-f.

In dit *Kennisdocument* is geen index opgenomen waarmee gericht gezocht kan worden. Wellicht dat in een volgende versie zo'n index wel aanwezig is.

2.3 Beheer van het kennisdocument

Bij de eerste versie van het *Kennisdocument* in 2000 werd gedacht aan een jaarlijkse aanvulling en een vierjaarlijkse algehele update van het *Kennisdocument*, gefinancierd vanuit het BTO.

In de praktijk bleek hiervoor te weinig tijd en animo. Omdat de meeste informatie algemeen is en het *Kennisdocument* fungeert als achtergronddocument, is het ook niet nodig om zeer regelmatig updates uit te brengen.

In de afgelopen tien jaar is er veel onderzoek gedaan op het gebied van putten. Vooral het BTS onderzoek naar verstopping met deeltjes heeft veel nieuwe inzichten opgeleverd die in dit *Kennisdocument* verwerkt zijn. Daarnaast is bijvoorbeeld de gulden vervangen door de euro, zijn bedrijven gefuseerd en van naam veranderd. Allemaal redenen om in 2010 een update van het *Kennisdocument* uit te brengen.

Het vernieuwde *Kennisdocument* wordt via Watnet beschikbaar gesteld aan de BTO participanten.

3 Kennisleemten

In dit hoofdstuk is 'kennisleemten' breed gedefinieerd. Het betreft niet alleen nader onderzoek naar specifieke aspecten maar ook kennisoverdracht c.q. kennisuitwisseling (bijvoorbeeld via opleiding), nadere uitwerking van problemen, toegankelijk maken van kennis en tools (o.a. programmatuur) en verbreding van het *Kennisdocument* naar andere putten dan pompputten.

Niet voor elk bedrijf zijn de genoemde punten 'kennisleemten', alle aspecten die door de bedrijven als 'kennisleemten' worden ervaren zijn hieronder opgenomen. Bij de nadere uitwerking zal een keuze gemaakt moeten worden en zullen prioriteiten toegekend worden omdat niet alle 'kennisleemten' tegelijk uit te werken zijn en de omvang van die uitwerking varieert.

Hieronder zijn de gesignaleerde kennisleemten per deel (algemeen, ontwerp, aanleg en exploitatie) beschreven.

Algemeen

- ***Alleen pompputten***

Dit *Kennisdocument* richt zich alleen op pompputten. Waterbedrijven bezitten ook waarnemingsputten, infiltratieputten en horizontale putten. Een deel van de processen die in dit document beschreven zijn, zijn ook van toepassing op deze putten. De processen die afwijken voor de afzonderlijke putten kunnen beschreven worden.

- ***Index***

Het toevoegen van een index kan er voor zorgen dat men de weg in het *Kennisdocument* op eenvoudige manier kan vinden. Daarbij deint ook aandacht te zijn voor relevante aspecten die met elkaar verband houden. Met het digitaal beschikbaar stellen van het document zou deze index-structuur kunnen vervallen, omdat we kunnen zoeken met de zoekfunctie (Ctrl-f).

Ontwerp

- ***Sichardt-snelheid***

Bij het dimensioneren van het filter van een pompput en puttenvelden is de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand het belangrijkste ontwerpcriterium (zie Hoofdstuk 8, paragraaf 8.1.2). Om de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand te berekenen kunnen we de formule van Sichardt gebruiken (zie Hoofdstuk 7, paragraaf 7.6). Hoewel de formule van Sichardt aanvechtbaar is (Olsthoorn, 1982), wordt zij bij gebrek aan beter veel gebruikt.

- ***Vaststellen korrelgrootte filtergrind***

Voor het vaststellen van de korrelgrootte van het filtergrind worden vuistregels gebruikt (zie Hoofdstuk 8, paragraaf 8.4.1). De in de vuistregels gebruikte factor en verhouding kunnen nauwkeuriger worden bepaald.

- ***Verhoging pomprendement; aangepast ontwerp***

Daarnaast bestaat de gedachte dat het rendement van de put verbeterd kan worden door het ontwerp beter af te stemmen.

Aanleg

- ***Zandvrije oplevering; wat is dat?***

Waterbedrijven geven aan dat het zandvrij opleveren van een put belangrijk is. Wat is zandvrij, hoe controleer je dat? Levert 15 minuten pompen antwoord op de gestelde opleveringseis?

Juist zandlevering van een put kan grote gevolgen hebben voor zuivering en exploitatie (verstopping) van de put. Is een optimum te bepalen?

- ***Normen voor oplevering***

Normen voor de oplevering en het toezicht zijn er nauwelijks. Wellicht is daar, gezamenlijk door waterbedrijven en boorondernemers, meer duidelijkheid in te krijgen zodat uniforme richtlijnen en opleveringseisen ontstaan die beide partijen helpen bij het maken van een goed stuk werk.

- ***Efficiënt opslaan van gegevens***

Er wordt een veelheid aan informatie opgeslagen. Of dit efficiënt gebeurt mag betwijfeld worden gezien het groot aantal verschillende programma's dat genoemd wordt. Maar ook wordt op verschillende plaatsen voor verschillende doeleinden dezelfde, of een selectie van, gegevens opgeslagen. Bij het raadplegen van informatie mag men zich met recht afvragen of wel de meest recente gegevens verwerkt zijn. Dit geldt zowel voor een papieren archief als voor een digitaal archief.

Programma's zijn gemaakt voor een specifieke doelgroep terwijl veel verschillende personen werken met de gegevens van de put (kwaliteitsgegevens, gegevens van de pompfilters, specifieke volumestroommetingen, etc.).

Uitwisseling van kennis en ervaring kan een bijdrage leveren aan gestandaardiseerde werkwijze van gegevensopslag.

- ***Dawaco***

Veel waterbedrijven maken gebruik van Dawaco. Opbouw en toepassingsmogelijkheden van Dawaco variëren per bedrijf. Enkele waterbedrijven hebben speciale applicaties laten maken voor hun toepassingen.

Onderling uitwisseling van ervaring kan bijdrage aan een efficiëntere opslag van gegevens

- ***Digitaal vastleggen gegevens***

Steeds meer bedrijven gaan over tot het digitaal vastleggen van gegevens. Meerdere toezichthouders van waterbedrijven maken gebruik van standaardformulieren in een spreadsheetprogramma of een tekstverwerker waarin gegevens verwerkt kunnen worden. De in te voeren informatie is verschillend. Door ervaring uit te wisselen zou er meer uniformiteit kunnen komen in de vast te leggen gegevens en de manier waarop de gegevens opgeslagen worden.

Exploitatie

- ***Energiebeheer***

In de dagelijkse bedrijfsvoering wordt energiebeheer een belangrijke stuurparameter. Er is immers winst te halen voor het milieu maar ook financieel levert het wat op. Hoe kun je als waterbedrijf omgaan met energiebeheer, waar let je op en welke inspanning moet je daar voor leveren? Allemaal vragen die nader uitgewerkt kunnen worden, waarbij geleerd kan worden van de ervaring die collega-bedrijven al met energiebeheer hebben.

- ***Interactie putten- en leidingnetbeheer***

Bij de dagelijkse bedrijfsvoering komen pompputten en leidingen samen. Problemen met pompputten kunnen leiden tot problemen met het leidingnet. Nog te vaak wordt slechts aan één van de twee aandacht besteed. Bijvoorbeeld vervuiling van een ruwwaterleiding wordt aangepakt door periodiek de leiding schoon te maken. Wellicht wordt dit veroorzaakt door enkele pompputten waarvan het water veel ijzer en mangaan bevat. Het vervangen van deze pompputten door nieuwe pompputten die veel minder ijzer en mangaan bevatten kan een oplossing zijn. In de praktijk wordt hier nauwelijks naar gekeken. Integratie van pompputten en leidingen kan bijdragen aan een meer doelmatige en efficiënte (en dus ook financieel betere) bedrijfsvoering.

- ***Regeneratie; welke processen spelen een rol***

De manier waarop verstopping ongedaan kan worden gemaakt is globaal bekend. Niet geheel duidelijk is welke processen tijdens regeneratie er voor zorgen dat de putcapaciteit hersteld wordt. Aanvullend onderzoek naar de effectiviteit, toepassing en processen van verschillende regeneratiemethoden en de factoren die deze effectiviteit beïnvloeden is wenselijk.

- ***Chemische verstopping***

Op dit moment (2010) loopt er fundamenteel onderzoek naar chemische verstopping. De verwachting is dat dit in de toekomst praktische resultaten oplevert voor het voorkomen en regenereren van putverstopping.

- ***Mechanische verstopping***

De afgelopen 10 jaar is veel onderzoek gedaan naar mechanische verstopping, maar ook op dit gebied weten we nog niet alles. Ook hier wordt nog steeds onderzoek naar gedaan en resultaten zullen in de toekomst in het *Kennisdocument* verwerkt moeten worden.



Stand van Zaken Deel I: Ontwerp

In Deel I wordt aangegeven op welke wijze binnen de Nederlandse waterleidingsector het ontwerp van puttenvelden en pompputten tot stand komt.

De werkgroep 'Uitvoering van de boring en afwerking van de put' heeft in 1999 de basis gelegd voor dit deel. In 2000 is dit deel, samen met medewerkers van waterbedrijven, nader uitgewerkt. In 2010 is een update van het hoofdstuk gemaakt.

De gezamenlijke hoofdstukken geven een volledig beeld van de wijze waarop het ontwerp van puttenvelden en pompputten tot stand komt. Op basis van het ontwerp kan een bestek worden geschreven en kan tot de aanleg van de pompput(ten) (zie Deel II) worden overgegaan.

Inhoud

Stand van Zaken Deel I: Ontwerp	1
Inhoud	2
4 Ontwerpfasen	4-1
4.1 Gestructureerd ontwerpproces	4-1
4.1.1 Voordelen	4-1
4.1.2 Toepassing	4-1
4.2 Ontwerpproces in vier fasen	4-3
4.3 De activiteiten per onderdeel	4-4
5 Vooronderzoek	5-1
5.1 Nadere omschrijving winning	5-1
5.2 Locatiekeuze	5-3
5.2.1 Globale voorselectie van mogelijke locaties	5-3
5.2.2 Uitgebreid vooronderzoek en vergunningonderbouwend onderzoek	5-3
5.3 Geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek	5-4
5.3.1 Geofysisch onderzoek	5-4
5.3.2 Geohydrologisch onderzoek	5-5
5.3.3 Hydrochemisch onderzoek	5-5
5.4 Effecten van winning	5-6
6 Ontwerp: Keuze winningstechnieken en boormethoden	6-1
6.1 Keuzeproces winningstechniek	6-1
6.1.1 Selectie van mogelijk geschikte winningstechnieken	6-3
6.1.2 Selectiecriteria voor de afweging	6-3
6.1.3 Waardering geselecteerde criteria	6-5
6.1.4 Afweging en keuze winningstechniek	6-5
6.1.5 Praktijkvoorbeeld	6-5
6.2 Winningstechnieken grondwater	6-7
6.2.1 Verticale pompputten	6-8
6.2.2 Horizontale putten	6-10
6.2.3 HDDW	6-12
6.2.4 Drainage	6-12
6.3 Welke boormethode	6-13
6.3.1 Indeling grondboormethoden	6-13
6.3.2 Pulsboortechniek	6-14
6.3.3 Roterend zuigboren/luchtliften	6-17
6.3.4 Roterend spuitboren	6-19
6.3.5 Holle-avegaarboren	6-20
6.3.6 DTH-hamerboren	6-21
6.3.7 Keuze boormethode	6-22
7 Ontwerp: Berekeningen	7-1
7.1 Berekenen van stijghoogteveranderingen	7-1

7.1.1	Eenvoudige oriënterende analytische oplossingen	7-1
7.1.2	Eenvoudige oriënterende berekeningen met behulp van bestaande programmatuur	7-4
7.1.3	Complexe vraagstukken oplossen met behulp van programmatuur.	7-4
7.2	Berekenen van fluxveranderingen	7-4
7.3	Grondmechanische berekeningen	7-5
7.3.1	Vooraf inschatten of er gevaar is voor instabiliteit van het boorgat	7-5
7.3.2	Berekenen van zettingen en zakkingen	7-7
7.4	Berekenen van verblijftijden en responscurven	7-9
7.5	Rekenen aan ruwwaterkwaliteit bij verwachte bedreiging	7-10
7.5.1	Verziltting	7-10
7.5.2	Verontreinigingen	7-11
7.5.3	Verwachte kwaliteit ruwwater	7-11
7.6	Berekenen van de snelheid op de boorgatwand	7-12
7.7	Rekenen aan optimale putconfiguratie	7-14
7.8	Keuze van programmatuur voor de modellering van grondwaterproblemen	7-15
7.9	Hydraulische berekeningen voor terreinleidingen	7-15
7.10	Complexe berekeningsmethoden met behulp van programmatuur	7-16
8	Ontwerp: Pompput	8-1
8.1	Hoe ontwerpen we een pompput?	8-1
8.1.1	Theorie: ontwerpcriteria	8-2
8.1.2	Theorie: berekening diameters	8-3
8.1.3	Praktijk: voorbeeldpompputten	8-4
8.1.4	Praktijk: gebruikelijke putdiameters	8-5
8.2	Opbouw pompput	8-6
8.2.1	Materiaal	8-6
8.2.2	Onderdelen van de pompput	8-7
8.2.3	Perforatie van het filter	8-9
8.2.4	Eisen aan de verbindingen	8-10
8.2.5	Soorten verbindingen	8-10
8.3	Waarnemingsfilters	8-11
8.4	Boorgataanvulling	8-12
8.4.1	Filtergrind	8-12
8.4.2	Klei	8-15
8.4.3	Aanvulgrind	8-16
8.4.4	Uitkomend materiaal	8-16
8.5	Pompputinstallatie	8-16
8.5.1	Pomp	8-17
8.5.2	Putkopconstructie	8-20
8.5.3	Putkelder	8-23
8.6	Meet- en regelapparatuur	8-24
8.6.1	Standaard aanwezige apparatuur in putkelder	8-24
8.6.2	Standaard aanwezige apparatuur in besturingsruimte	8-25
8.6.3	Incidenteel aangebrachte apparatuur in putkelder	8-25
8.6.4	Incidenteel aangebrachte apparatuur in besturingsruimte	8-26
9	Ontwerp meetsystemen	9-1
9.1	Meetsystemen op de winplaats	9-1

9.1.1	Meetsystemen voor bewaking productiecapaciteit	9-2
9.1.2	Meetsystemen voor bewaking waterkwaliteit	9-3
9.2	Meetsystemen in het intrekgebied	9-4

4 Ontwerpfasen

Een puttenveld ontwerpen we volgens een gestructureerd ontwerpproces. Eerst maken we duidelijk voor welke situaties we dit proces kunnen gebruiken. Verder beschrijven we de vier fasen die we bij het ontwerpen van een puttenveld doorlopen en de activiteiten van elk onderdeel van het ontwerpproces.

We gaan achtereenvolgens in op:

- gestructureerd ontwerpproces
- ontwerpproces in vier fasen
- de activiteiten per onderdeel.

Samenvatting

Het gestructureerde ontwerpproces voor puttenvelden passen we vooral toe bij renovatie of uitbreiding van een puttenveld binnen de bestaande vergunningscapaciteit. Bij het ontwerpen werken we toe naar een definitief ontwerp op basis waarvan we het bestek voor de uitvoering maken. Het aantal fasen dat we in de praktijk doorlopen hangt af van de aard en omvang van het probleem dat we moeten oplossen.

4.1 Gestructureerd ontwerpproces

complexiteit

Een puttenveld voor het onttrekken van grondwater is een ingewikkeld systeem. Soms onderschat men de complexiteit ervan. Om een goed en doordacht ontwerp te maken moeten we over veel gegevens beschikken en daarvoor moeten we verscheidene studies verrichten en proeven doen. Omdat voor het ontwerpen uiteenlopende werkzaamheden moeten worden verricht en weloverwogen keuzes moeten worden gemaakt, gaan we gestructureerd te werk. Het ontwerpproces hebben we verdeeld in een aantal fasen (stappen) en de fasen in een aantal onderdelen. Elk onderdeel omvat een of meer activiteiten. In deze paragraaf gaan we nader in op de voordelen en het gebruik van het gestructureerde ontwerpproces.

4.1.1 Voordelen

In het gestructureerde ontwerpproces, zoals wij dat voor puttenvelden hebben ontwikkeld, liggen de fasen, onderdelen en activiteiten vast. Voordelen van een dergelijk gestructureerd ontwerpproces zijn:

- dat we geen essentiële activiteiten overslaan
- dat we inzicht krijgen op welk moment bepaalde activiteiten definitief moeten zijn afgerond
- dat we, dank zij de schriftelijke verslaggeving van de uitgevoerde activiteiten, achteraf makkelijk kunnen nagaan hoe we tot een bepaalde keuze zijn gekomen. Op deze manier leggen we verantwoording af van de gemaakte keuzes.

4.1.2 Toepassing

Het gestructureerde ontwerpproces is ontwikkeld op basis van de volgende twee situaties:

- uitbreiding van bestaande winlocaties met 3 of meer pompputten, inclusief uitbreiding van de ruwwaterleiding en aansluiting op de zuiveringsinstallatie
- renovatie van pompputten of puttenvelden.

Het ontwerpproces is geschikt voor:

- renovatie of uitbreiding van een puttenveld binnen de bestaande vergunningscapaciteit
- uitbreiding van een puttenveld op andere percelen. In dit geval moeten we de effecten berekenen op de natuur, de landbouw enzovoort

- uitbreiding waarbij de bestaande vergunningscapaciteit wordt overschreden. Ook in dit geval moeten we de effecten berekenen op de natuur, de landbouw enzovoort
- verplaatsing van het complete puttenveld naar een andere watervoerende laag of een ander terrein (verticale respectievelijk horizontale reallocatie).

‘voortraject’

Bij toepassing van het gestructureerde ontwerpproces gaan we ervan uit dat de keuze voor uitbreiding of renovatie van een puttenveld al gemaakt is. We gaan dan ook niet in op de activiteiten die bij dit ‘voortraject’ horen.

Het gestructureerde ontwerpproces is niet ontwikkeld voor de aanleg van nieuwe puttenvelden, hoewel het er wel voor kan worden gebruikt. In Nederland worden immers nauwelijks nog nieuwe puttenvelden aangelegd. In dit geval vullen we het ontwerpproces aan met het ‘voortraject’.

Verder zijn er situaties waarvoor het ontwerpproces wel geschikt is maar waarbij het niet volledig toepassing vindt. Een voorbeeld is uitbreiding van puttenvelden met 1 of 2 pompputten. Voor dit geval hoeven we niet het gehele proces te doorlopen.

Hieronder tonen we aan de hand van een praktijkvoorbeeld het nut aan van deze gestructureerde aanpak.

Voorbeeld van het nut van een gestructureerde aanpak.

Een waterbedrijf moet zijn bestaande puttenveld renoveren wegens verouderde pompputten die niet meer bedrijfszeker zijn. Omdat de bestaande winplaats geen mogelijkheden biedt voor de aanleg van nieuwe pompputten, wijkt het bedrijf uit naar een terrein dat grenst aan het bestaande winterrein.

Op basis van het vooronderzoek wordt het volgende voorstel gedaan:

Omschrijving	Geraamd bedrag *
5 aan te leggen pompputten van 80 tot 100 m diep met elk een capaciteit van 70 m ³ /h	450 k€
ruwwatertransportleiding: Ø 400 mm, lengte 1,5 km	150 k€
ruwwaterleiding van pompput naar transportleiding: Ø 150 mm, lengte 500 m (5 buizen van elk 100 m lang)	150 k€
Totale geraamde kosten	750 k€

Nadat het ontwerpproces is doorlopen, de vereiste proeven zijn uitgevoerd en de noodzakelijke berekeningen zijn gemaakt, komt het bedrijf tot het volgende definitieve ontwerp:

Omschrijving	Geraamd bedrag
3 aan te leggen pompputten van 80 tot 100 m diep met elk een capaciteit van 120 m ³ /h	300 k€
ruwwatertransportleiding: Ø 400 mm, lengte 1,0 km	125 k€
ruwwaterleiding van pompput naar transportleiding: Ø 200 mm, lengte 3 maal 100 m	75 k€
kosten van onderzoek (o.a. pompproef en berekeningen)	150 k€
Totale geraamde kosten	650 k€

Er zijn extra kosten gemaakt voor het uitvoeren van berekeningen en een pompproef. Voor het definitieve ontwerp zijn kosten gemaakt voor het boren van een proefput en het uitvoeren van een pompproef. Deze proefput is zo geplaatst en ingericht dat deze later als pompput kan worden gebruikt.

De toepassing van deze uitgebreide en gefaseerde aanpak van het ontwerpproces heeft het waterbedrijf een kostenbesparing van 100 k€ * opgeleverd.

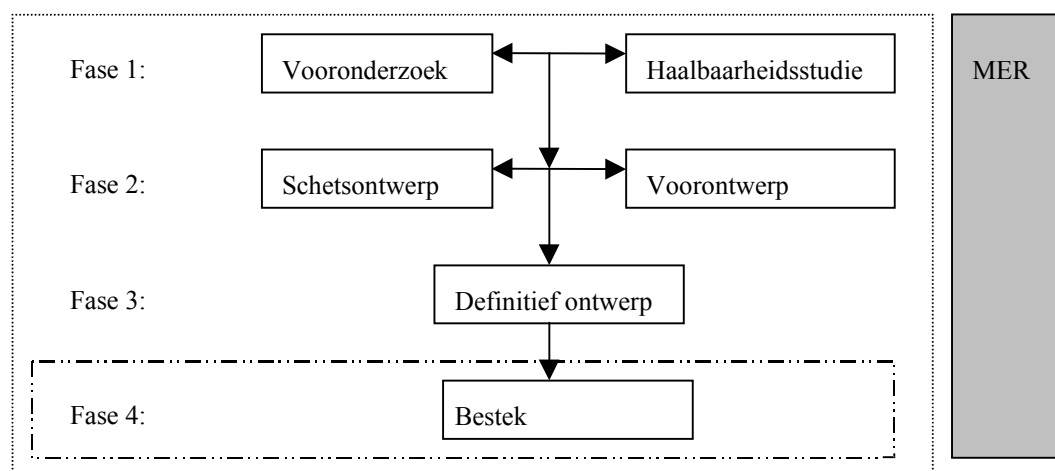
Het omgekeerde is overigens ook mogelijk: door een gestructureerde aanpak blijken de kosten hoger uit te vallen. Wat een voordeel is voor planning en budget bij de daadwerkelijke uitvoering.

** Prijzen in dit voorbeeld zijn indicatief*

4.2 Ontwerpproces in vier fasen

Bij het ontwerpen van een puttenveld doorlopen we vier fasen (zie Figuur 4-1). De fasering is gebaseerd op een aantal basisactiviteiten, namelijk:

- visievorming (vooronderzoek en haalbaarheidsstudie, fase 1)
- planvorming en planschets (schetsontwerp en voorontwerp, fase 2)
- planontwerp en rapportage (definitief ontwerp, fase 3)
- bestek en uitvoering (fase 4).



Figuur 4-1 De verschillende fasen in een ontwerpproces.

Hieronder geven we van elke fase een korte beschrijving.

fase 1: vooronderzoek en haalbaarheidsstudie

Deze fase bestaat uit twee delen: vooronderzoek en haalbaarheidsstudie. In het vooronderzoek en de haalbaarheidsstudie maken we, op grond van aannames, een globale vergelijking tussen de diverse mogelijke locaties. Op basis daarvan kiezen we een locatie.

fase 2: schetsontwerp en voorontwerp

Ook deze fase bestaat uit twee delen of trajecten: een schetsontwerp en een voorontwerp. In het schetsontwerp nemen we de beoogde locatie nader onder de loep. Daarbij voeren we onder meer verkenningsboringen en pompproeven uit en maken we globale berekeningen.

Als de locatie niet geschikt blijkt te zijn, zoeken we een nieuwe locatie. We beginnen dan weer bij fase 1. Blijkt een locatie te voldoen, dan werken we het schetsontwerp aan de hand van proeven en meer of minder uitgebreide berekeningen nader uit tot een voorontwerp. Het voorontwerp resulteert in een globale aanduiding van ligging en inrichting van de pompputten en de leidingen.

fase 3: het definitieve ontwerp

In het definitieve ontwerp worden de resultaten van het voorontwerp aangepast en vastgelegd. Hiervoor kan het nodig zijn gedetailleerdere berekeningen uit te voeren, zoals hydrologische modelberekeningen en leidingnetberekeningen.

fase 4: bestek

Op basis van het definitieve ontwerp maken we het 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 plaats vinden vallen buiten het ontwerpproces van een puttenveld. Deze fase wordt in Hoofdstuk 10 uitgewerkt.

filterstelling

Tijdens de uitvoering kan zo nodig de filterstelling en de omstorting nog worden aangepast. Formeel wordt pas na het boren de filterperforatie en de maat van het omstortingsgrind bepaald.

MER

In de tijd dat we met het ontwerpproces bezig zijn, kunnen we ook werken aan een Milieu Effect Rapportage (m.e.r.), wat resulteert in een Milieu Effect Rapport (MER). Of dat nodig is, hangt af van de omvang van het project en van de richting waarin we de oplossing voor het puttenprobleem zoeken. We zijn verplicht een m.e.r. uit te voeren als de uitbreiding van het puttenveld leidt tot een capaciteitsuitbreiding die groter is dan 3 Mm³/jaar. De voorwaarden wanneer een m.e.r. moet worden uitgevoerd staan in het Besluit milieueffectrapportage 1994 (www.wetten.nl, Besluit milieueffectrapportage 1994, bijlage, onderdeel C, 15.1).

Het aantal fasen dat we doorlopen hangt af van het op te lossen probleem. Als we het puttenveld bijvoorbeeld met 1 of 2 pompputten uitbreiden is het niet nodig om alle fasen te doorlopen. Omdat in dit geval de bestaande situatie niet veel zal veranderen, is het niet nodig dat we een vooronderzoek en een haalbaarheidsstudie uitvoeren. Op grond van de gegevens van het bestaande puttenveld kunnen we een schetsontwerp maken. In de praktijk maken we op basis van door ervaring verkregen gegevens van het bestaande puttenveld meteen een voorontwerp of het definitieve ontwerp.

4.3 De activiteiten per onderdeel

In Tabel 4-1 hebben we aangegeven in welke fase de verschillende onderdelen in concept gereed moeten zijn ('C') of definitief moeten zijn vastgelegd ('D').

In Tabel 4-2 hebben we vermeld welke activiteiten we bij de onderdelen van het ontwerpproces uitvoeren.

Tabel 4-1 Afgecheckte onderdelen per fase van het ontwerpproces van een puttenveld.

Onderdeel	Fase 1		Fase 2		Fase 3
	Vooronderzoek	Haalbaarheidsstudie	Schetsontwerp	Voorontwerp	Definitief ontwerp
Winlocatie (locatiekeuze)	D				
Grootte wingebied, inclusief beschermingszone	C				D
Aantal pompputten	C	C	C	D	
Winningstechniek	C	D			
Boormethode			D		
Tracé(aanpassing)			C	D	
Dimensionering leidingen			C	C	D
Vergunningsonderzoek/-aanvraag	C	C	C	D	
Locatie pompputten/inrichting puttenveld			C	D	
Diepte filterstelling	C	C	C	D	
Dimensionering pompputten				C	D

	Fase 1		Fase 2		Fase 3
Onderdeel	Vooronderzoek	Haalbaarheidsstudie	Schetsonwerp	Voorontwerp	Definitief ontwerp
Ontwerpaanpassing (dimensionering) op grond van: putlocatie putcapaciteit per put aantal pompputten				C	D
Materiaalkeuze				C	D
Pompputconstructie				C	D
Schakelschema's				C	C
Meet- en regeltechniek				C	D
Lozingspunt in puttenveld			C	C	D

Toelichting: C = in concept gereed, D = definitief vastgelegd.

Tabel 4-2 Uit te voeren activiteiten per onderdeel van het ontwerpproces.

Onderdeel	Activiteit
Winlocatie (locatiekeuze)	• locaties globaal met elkaar vergelijken • relevant beleid inventariseren • eventueel onderzoek doen naar verwerving van grond • bestaande gegevens over geohydrologie en waterkwaliteit (bodempopbouw en hydrologie) inventariseren
Grootte wingebied, inclusief beschermingszone	• berekenen van: – benodigde capaciteit per pompput – de grootte van de locatie
Aantal pompputten	• ruwwaterbehoefte vaststellen • aantal benodigde pompputten vaststellen
Winningstechniek	• winningstechniek kiezen
Boormethode	• boormethode kiezen
Tracé(aanpassing)	• tracé en uitvoering ruwwaterleidingnet • aantal verzamelleidingen
Dimensionering leidingen	• leidingnetberekeningen uitvoeren: – dimensionering – afsluiters – opvoerhoogte pomp
Vergunningsonderzoek/-aanvraag	• verkenningsboring • geofysisch onderzoek • geohydrologisch onderzoek • hydrochemisch onderzoek • pompproef • eventueel grondwaterstromingsmodel opstellen
Locatie pompputten/inrichting puttenveld	• (geo)hydrologische berekeningen: – snelheid op de boorgatwand – grondwaterstandverlagingen

Onderdeel	Activiteit
	– grondwaterstromingen enz. • berekeningen aan ruwwaterkwaliteit uitvoeren • grondmechanische berekeningen uitvoeren: – zettingen – boorgatstabiliteit enzovoort • hydraulische berekeningen uitvoeren: – opvoerhoogten – wrijvingsverliezen enzovoort
Diepte filterstelling	• filterlengte vaststellen
Dimensionering pompputten	• onderlinge putafstanden • minimale verblijftijden
Ontwerpaanpassing (dimensionering) op grond van: • putlocatie • capaciteit per put • aantal pompputten	• maximaal geaccepteerde snelheid op de boorgatwand • maximaal toelaatbare afpompings • putconfiguratie door middel van modelberekeningen bepalen • ruwwaterleidingsstelsel ontwerpen
Materiaalkeuze	• sterkteberekeningen ten behoeve van materiaalkeuzen uitvoeren
Pompputconstructie	• modelberekeningen uitvoeren voor het bepalen van: – opvoerhoogten – soort pompen • NAP-hoogten van het maaiveld • grondwaterstanden en stijghoogten bij de pompput • afpompings • bodemopbouw bovenste lagen • draagkracht van de ondergrond • bouwvoorschriften
Schakelschema's	• schakelschema's opstellen
Meet- en regeltechniek	• meet- en regelprogramma voor de besturing opstellen
Lozing werkwater	• methode voor lozing spoelwater bepalen • vaststellen welke vergunningen voor lozing nodig zijn

5 Vooronderzoek

Bij het ontwerpen van pompputten(velden) kunnen we verschillende fasen onderscheiden (zie Hoofdstuk 4, Paragraaf 4.2). De eerste fase van het ontwerpproces is het vooronderzoek, waar eventueel een haalbaarheidsstudie aan is gekoppeld. Tijdens het vooronderzoek maken we een aantal keuzes die bepalend zijn voor het ontwerp van de pompput en/of het puttenveld. Ook verzamelen we in deze fase gegevens die nodig zijn om deze keuzes te kunnen maken en gegevens die nodig zijn voor de uitvoering van de volgende fasen van het ontwerpproces. In dit hoofdstuk zetten we uiteen waaruit het vooronderzoek kan bestaan. Uitgangspunt hierbij is dat het om pompputten(velden) voor de winning van grondwater gaat.

We bespreken achtereenvolgens:

- nadere omschrijving winning
- locatiekeuze
- geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek
- effecten van winning.

samenvatting

Tijdens het vooronderzoek moeten we inzicht krijgen in bodemopbouw, hydrologische eigenschappen van de ondergrond en kwaliteit van het grondwater. Bij de keuze van de locatie voor een nieuw puttenveld volgt na de voorselectie een uitgebreid vooronderzoek en een vergunningonderbouwend onderzoek. Het vooronderzoek bestaat vooral uit geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek. De effecten van de winning worden in een vergunningonderbouwend onderzoek in beeld gebracht.

5.1 Nadere omschrijving winning

De eerste stap bij het vooronderzoek is de nadere omschrijving van de benodigde capaciteit (doelstelling), hoe hierin kan worden voorzien (oplossingsrichtingen en winningstechnieken) en de vaststelling van de uitgangssituatie (bestaand of nieuw puttenveld).

piekfactor

De benodigde capaciteit drukken we uit in de waterbehoefte op een dag met normaal verbruik en in de waterbehoefte op een dag met maximumverbruik. Voor de berekening van de maximale dagcapaciteit gebruiken we een piekfactor. Vaak ligt een piekfactor in de orde grootte van 1,5, maar de piekfactor is afhankelijk van de locatie en de bedrijfsvoering.

Mogelijke oplossingsrichtingen om in de benodigde capaciteit te voorzien zijn bijvoorbeeld winning van grondwater, winning van oeverfiltraat en terugwinning van kunstmatig geïnfilterd water. Hierbij kunnen we winningstechnieken als verticale pompputten en horizontale putten toepassen (zie Hoofdstuk 6, Paragraaf 6.2).

Bij het ontwerpen van pompputten(velden) onderscheiden we de volgende uitgangssituaties:

- nieuw puttenveld
- uitbreiding bestaand puttenveld
- renovatie bestaand puttenveld
- vervanging van één of meer pompputten.

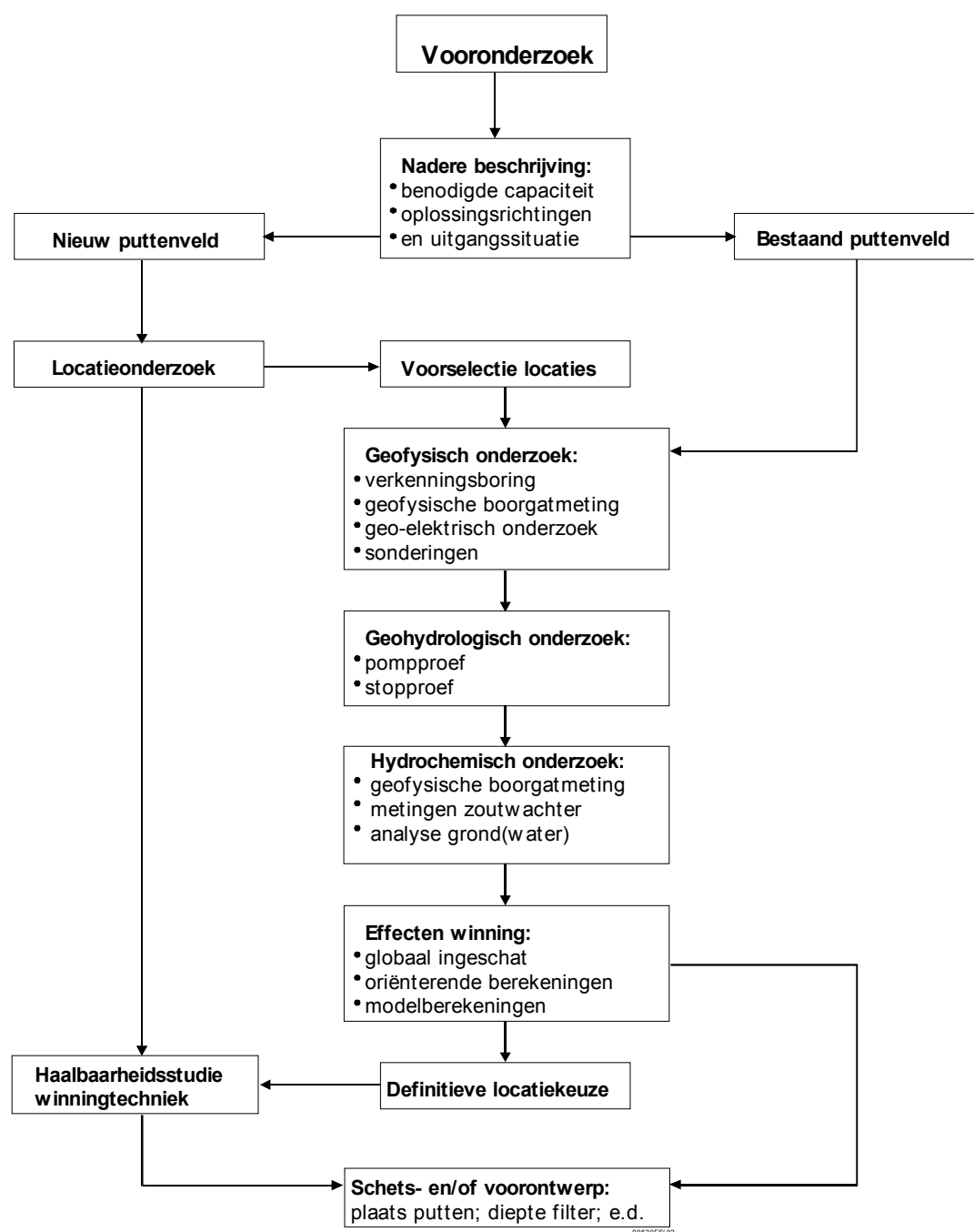
Bij een nieuw puttenveld omvat het vooronderzoek meer dan bij een bestaand puttenveld. Als er een nieuw puttenveld moet komen, dan moeten de winlocatie en de

winningstechniek nog worden gekozen. Bij een bestaand puttenveld liggen deze al min of meer vast.

Ten behoeve van de keuze van de locatie en de winningstechniek en de volgende stappen van het ontwerpproces moeten we tijdens het vooronderzoek inzicht verkrijgen in de:

- bodemopbouw
- hydrologische eigenschappen van de ondergrond
- kwaliteit van het grondwater.

Bij een bestaand puttenveld wordt dit inzicht voornamelijk verkregen op basis van eigen kennis en door middel van nader onderzoek aangevuld en geverifieerd. Bij een nieuw puttenveld wordt het inzicht voor een deel verkregen op basis van bestaande gegevens en voor een deel via geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek. Het voorgaande is in Figuur 5-1 schematisch weergegeven.



Figuur 5-1 Onderzoeksstructuur vooronderzoek

5.2 Locatiekeuze

Bij de keuze van een locatie voor een nieuw puttenveld doorlopen we vaak twee stappen:

1. globale voorselectie van mogelijke locaties
2. vooronderzoek en vergunningonderbouwend onderzoek.

doorlooptijd

We moeten ons realiseren dat bij een nieuw puttenveld de doorlooptijd tussen het oorspronkelijke idee en de daadwerkelijke oplevering 10 tot 15 jaar kan bedragen. Deze lange doorlooptijd wordt vooral veroorzaakt door vergunningprocedures die veel tijd vragen.

5.2.1 Globale voorselectie van mogelijke locaties

Voordat de initiatiefnemer een vergunningtraject ingaat, zal hij een voorselectie uitvoeren op basis van:

- zwaartepunt verbruik en beschikbare infrastructuur. Om de kosten (pompcapaciteit en leidingen) te minimaliseren is het verstandig zo dicht mogelijk bij de toekomstige afnemers te zitten en/of aan te sluiten op een bestaande hoofdleiding
- 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 bezit 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).

De voorselectie kunnen we goed maken op basis van eigen kennis van het verzorgingsgebied, de regionale grondwaterkaarten, de landelijke hydrologische systeemanalyses van TNO en het provinciaal omgevingsplan.

De voorselectie leidt tot een aantal mogelijke locaties die diepgaander worden onderzocht. Meestal gebeurt dit in een uitgebreid vooronderzoek en een vergunningonderbouwend onderzoek.

5.2.2 Uitgebreid vooronderzoek en vergunningonderbouwend onderzoek

Om een definitieve locatie voor een puttenveld te kunnen vaststellen is uitgebreid onderzoek noodzakelijk. Dit is niet alleen een wens van de initiatiefnemer zelf, maar ook een eis die de wet en de regelgeving stellen. Bij de aanvraag van een onttrekkingsvergunning bij het bevoegd gezag (de provincie) wordt een uitgebreid en goed onderbouwd onderzoek vereist, dat alle gevolgen van de winning in beeld brengt. Het gaat om bijvoorbeeld de gevolgen van maaiveld dalen, schade aan bebouwing, de gevolgen voor de landbouw (gewasschade) en de effecten op natuur en milieu (flora en fauna). Voor een aanvraag van meer dan 3 Mm³ per jaar is een Milieueffect rapportage (MER) verplicht.

MER

In deze onderzoeken wegen we de mogelijke locaties tegen elkaar af op basis van technische en bestuurlijke haalbaarheid, economische aspecten en effecten op natuur en milieu. Tot slot wordt de winlocatie gekozen.

Bij het vergunningonderbouwend onderzoek gaan we per locatie na of de gewenste hoeveelheid grondwater duurzaam van een goede kwaliteit kan worden onttrokken. Hierbij is inzicht in de bodemopbouw, de hydrologische eigenschappen van de ondergrond, de kwaliteit van het grondwater en de effecten van de winning van groot belang. Dit inzicht kunnen we op basis van bestaande gegevens en via geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek verkrijgen.

5.3 Geofysisch, geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek

In deze paragraaf belichten we de facetten van elk van deze onderzoeken.

5.3.1 Geofysisch onderzoek

Het geofysisch onderzoek voeren we uit om inzicht te krijgen in de bodemopbouw. Het gaat hierbij om de volgende gegevens:

- de aanwezigheid en de dikte van slecht doorlatende lagen. Dit is van belang voor de bescherming van de winning tegen mogelijke antropogene invloeden en tegen het optreden van verzilting. De gegevens zijn ook belangrijk omdat slecht doorlatende lagen zeer bepalend zijn voor de effecten van de winning
- de diepte van de bovenkant en de dikte van de watervoerende pakketten. Deze gegevens zijn bepalend voor de diepte van de pompputten 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 watervoerendheid van de watervoerende pakketten en de weerstand van de slecht doorlatende lagen. Daarnaast worden deze gegevens gebruikt bij het dimensioneren van het putfilter en de omstorting (zie Hoofdstuk 8).



Foto 5-1 Uitvoering van een sondering; een vorm van geofysisch onderzoek (M. Balemans, KWR)

verkenning-
boringen

Het geofysisch onderzoek kan bestaan uit verkenningboringen, geofysische boorgatmetingen, geo-elektrisch onderzoek en sonderingen. Bij een nieuw puttenveld verrichten we minstens een aantal verkenningboringen. Het is nuttig om hierbij geofysische boorgatmetingen te laten uitvoeren. Met deze metingen verkrijgen we een continu beeld van de bodemopbouw, de ligging van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater en aanwezige grondwaterverontreinigingen (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.3).

Geo-elektrisch onderzoek is veelal al verricht door TNO en wordt gebruikt bij de vervaardiging van de regionale grondwaterkaarten en de landelijke hydrologische systeemanalyses. Met geo-elektrisch onderzoek kan de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen en de dikte van deze lagen en de watervoerende pakketten worden bepaald. Sonderingen worden vooral uitgevoerd om de aanwezigheid en de dikte van

slecht doorlatende lagen vast te stellen. Op basis van sondeergegevens kan ook de waterdoorlatendheid worden geschat.

5.3.2 Geohydrologisch onderzoek

kD- en
c-waarde

Het geohydrologisch onderzoek voeren we uit om inzicht te krijgen in de hydrologische eigenschappen van de ondergrond. Het gaat hierbij om de volgende gegevens:

- het doorlaatvermogen (*kD*-waarde) van de watervoerende pakketten. Dit gegeven hebben we nodig om te kunnen vaststellen of we de gewenste hoeveelheid grondwater duurzaam kunnen onttrekken. Het verschaft ons antwoord op de vraag of het watervoerende pakket voldoende water kan leveren zonder dat er (op termijn) ongewenste effecten (grote verlagingen, waterkwaliteitsveranderingen en dergelijke) optreden
- de verticale weerstand (*c*-waarde) van de slecht doorlatende lagen. Zie toelichting bij 'de aanwezigheid en de dikte van slecht doorlatende lagen' in Paragraaf 5.3.1.

Bovendien zijn deze gegevens van cruciaal belang voor het ontwerp van putten(velden). Zo worden ze gebruikt bij de berekening van het debiet per put, de putdiameter en de filterlengte (zie Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.1).

pompproef

Om de *kD*-waarde en de *c*-waarde te bepalen voeren we vaak een pompproef uit (zie voor de uitvoering ervan Kruseman en De Ridder, 1990). Voor de interpretatie van de resultaten (voorheen met log- en dubbel-log papier) is tegenwoordig eenvoudige software voorhanden, bijvoorbeeld MLU (Hemker, 1999).

5.3.3 Hydrochemisch onderzoek

Het hydrochemisch onderzoek voeren we uit om inzicht te krijgen in de kwaliteit van het grondwater. Het gaat hierbij om de volgende gegevens:

- diepte zoet/zoutgrensvlak. Met de kennis van de ligging van dit grensvlak kunnen we de risico's van verzilting goed inschatten
- vóórkomende watertypen. De kwaliteit van het grondwater is bepalend voor de toe te passen zuiveringsinstallatie. Bij het voorkomen van verschillende watertypen kan de ruwwaterkwaliteit in de toekomst veranderen. Daar moeten we bij het dimensioneren van de zuiveringsinstallatie rekening mee houden. Bovendien kan het aantrekken van verschillende watertypen (bijvoorbeeld aeroob grondwater en anaeroob grondwater) putverstopping tot gevolg hebben
- aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen en antropogene invloeden. De aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen en antropogene invloeden kan (op termijn) tot waterkwaliteitsproblemen leiden. Om dit te voorkomen kunnen er beperkingen gelden voor de plaats en het debiet van de pompputten en de (minimale) diepte van het filter.

Het hydrochemisch onderzoek kan bestaan uit geofysische boorgatmetingen, zoutwachtermetingen, analyse van grond(water)monsters en steekmonsters. Bij een nieuw puttenveld moeten we in ieder geval grondwatermonsters analyseren en de voorkomende watertypen bepalen. Bij een bestaand puttenveld zijn deze gegevens meestal al voorhanden. Voor de bemonstering van het grondwater kan een verkenningsboring tot waarnemingsput worden afgewerkt. Met geofysische boorgatmetingen kan de ligging van het zoet/zoutgrensvlak worden vastgesteld.

verzilting

Als er kans is op verzilting is het aan te bevelen een waarnemingsput met verschillende filters te plaatsen tot beneden het zoet-brakgrensvlak. Uit de waarnemingsfilters kunnen monsters genomen worden van het chloridegehalte. Het diepste filter moet minimaal drieduims zijn, zodat de buis groot genoeg is om een EM meting uit te voeren, hiermee kan verandering van het zoet-brakgrensvlak gevolgd worden.

Een andere manier om verzilting te detecteren is met een zoutwachterkabel. Met een zoutwachterkabel meten we geen exacte chloridegehalten, maar kunnen wel, relatief simpel, veranderingen in beeld gebracht worden. Een verandering van geleidbaarheid,

die met de zoutwachterkabel wordt gemeten is een indicatie voor een verandering van chloridegehalte.

Bij Deltares en TNO is men bezig (in 2010) met de ontwikkeling van zoet-zoutmetingen met behulp van glasvezeltechnieken. Er is een coating ontwikkeld die reageert op zoet en zout water. In 2010 is men bezig met laboratoriumtesten, in 2011 hoopt men te starten met praktijktesten.

Steekmonsters Bij het boren van een pompput of een waarnemingsput kunnen ook steekmonsters genomen worden. Met een steekmonster krijgen we een ongeroerd monster van de bodem. Dit kunnen we gebruiken om heel exact zaken te bepalen als korrelgrootte en reactiviteit van de ondergrond.

5.4 Effecten van winning

grondwater-
model

Op basis van het verkregen inzicht in de bodemopbouw en de hydrologische eigenschappen van de ondergrond kunnen we een grondwatermodel opstellen. Door de uitkomsten van het model te ijken met de grondwaterstand en eventueel met gegevens van de grondwaterkwaliteit ontstaat een betrouwbare simulatie van de (geo)hydrologische werkelijkheid. Met een geijkt grondwatermodel kunnen we de hydrologische effecten van diverse locatievarianten kwantificeren en onderling vergelijken.

Een grondwatermodel is vaak de belangrijkste pijler van het vergunningonderbouwend onderzoek of van de eventuele MER. Bovendien is het model nuttig bij het uitwerken en dimensioneren van het toekomstige puttenveld. In Hoofdstuk 7 is nader beschreven welke berekeningen ten behoeve van het ontwerp worden uitgevoerd, en welke formules en programmatuur daarvoor beschikbaar zijn.

6 Ontwerp: Keuze winningstechnieken en boormethoden

Tijdens het vooronderzoek kiezen we de toe te passen winningstechniek. Uitgaande van de gekozen winningstechniek kiezen we een geschikte boormethode. Het in dit hoofdstuk beschreven proces om een winningstechniek te kiezen is een theoretisch concept. In de praktijk wordt de winningstechniek niet altijd via deze weg gekozen. Het doorlopen van het keuzeproces heeft echter als voordeel dat er bewust voor een bepaalde techniek wordt gekozen en dat andere opties niet over het hoofd worden gezien. Dit zullen we aan de hand van een praktijkvoorbeeld verduidelijken.

De technieken voor de indirecte winning van oppervlaktewater (oeverfiltraat) en voor het kunstmatig infiltreren en terugwinnen van (oppervlakte)water blijven in dit kennisdocument Putten(velden) buiten beschouwing. Voor informatie over diepinfiltratie verwijzen we naar Kiwa Mededeling nr. 105 en 106.

In dit hoofdstuk beschrijven we achtereenvolgens:

- keuzeproces winningstechniek
- winningstechnieken grondwater
- boormethoden.

samenvatting

In Nederland passen we voor de winning van grondwater verticale pompputten, horizontale putten en drainage toe. Als er geen specifieke omstandigheden zijn of als er geen sprake is van een complex winningconcept, passen we verticale pompputten toe. De putcapaciteit van een horizontale put is veel groter dan die van een verticale put. Bij het keuzeproces worden criteria doorlopen als kosten, technische duurzaamheid, leveringszekerheid, hydrologische effecten en bedrijfsvoering.

Voor de aanleg van bijna alle gangbare pompputten passen we roterend zuigboren/luchtliften toe. In een klein aantal gevallen passen we de pulsboormethode toe, omdat dan beter inzicht kan worden verkregen in de bodemopbouw, de kans op putverstopping kleiner is en de beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit minimaal is.

6.1 Keuzeproces winningstechniek

In deze paragraaf beschrijven we de manier waarop de keuze van de winningstechniek tot stand kan komen. Het keuzeproces dat we hier beschrijven is vooral geënt op het ontwerp van een nieuw puttenveld. Bij uitbreiding of renovatie van een bestaand puttenveld zijn vaak andere omstandigheden aanwezig of gelden andere argumenten. Bij uitbreiding of renovatie ligt het meer voor de hand om voor dezelfde winningstechniek te kiezen.

Voordat het keuzeproces kan worden doorlopen moeten het winningconcept (conventionele winning of winning in combinatie met infiltratie) en de winlocatie(s) bekend zijn.

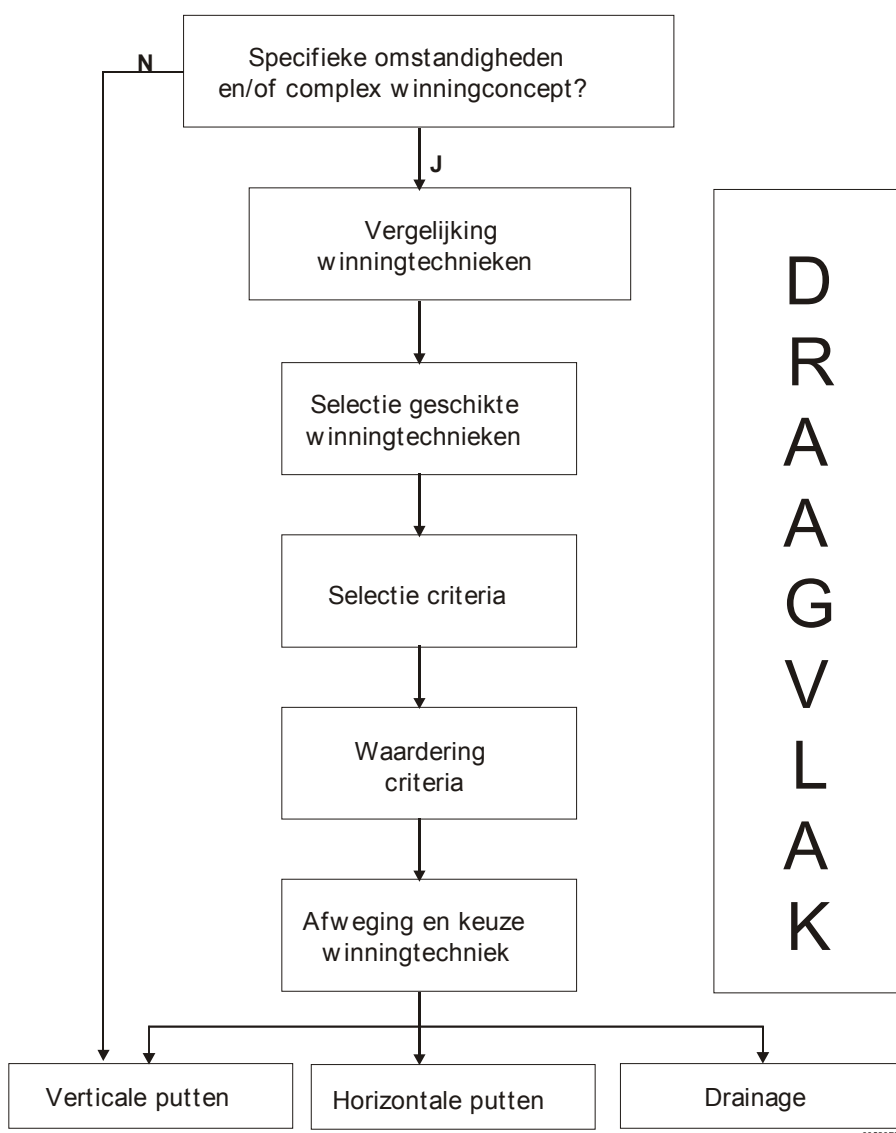
Het keuzeproces, dat in Figuur 6-1 is weergegeven, doorlopen we niet in alle gevallen. De reden hiervoor is dat er in de praktijk onder normale omstandigheden geen argumenten zijn om van conventionele winning met verticale pompputten af te wijken. Pas als er sprake is van specifieke omstandigheden op de winlocatie of van een complex winningconcept nemen we andere technieken in beschouwing en maken we vervolgens een afweging tussen de beschikbare technieken. De 'check' op specifieke omstandigheden is dan ook de eerste stap in het keuzeproces.

De specifieke omstandigheden hebben betrekking op:

- ruimte
- waterkwaliteit
- doorlaatvermogen van het pakket.

Bij ruimte kunnen we denken aan een relatief klein waterwingebied of een winning in stedelijk gebied waar de ruimte beperkt is, en ook aan winlocaties waar vergravingschade ongewenst is, bijvoorbeeld in gebieden met natuur of cultuurhistorische waarden.

Specifieke omstandigheden met betrekking tot waterkwaliteit zijn onder andere de aanwezigheid van zout of brak grondwater en verschillende watertypen. Het een kan tot verzilting leiden en het ander tot putverstopping en/of overbelasting van de zuivering. 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 afpompings- en lage putcapaciteiten.



Figuur 6-1 Keuzeproces winningstechniek.

Als er sprake is van specifieke omstandigheden op de winlocatie of als het winningconcept complex is, doorlopen we de volgende stappen van het keuzeproces:

- selectie van mogelijk geschikte winningstechnieken
- selectiecriteria voor vergelijking geselecteerde winningstechnieken
- waardering geselecteerde criteria
- afweging en keuze winningstechniek.

Tot slot verduidelijken we dit keuzeproces aan de hand van een praktijkvoorbeeld.

6.1.1 Selectie van mogelijk geschikte winningstechnieken

Op basis van de toepassingsmogelijkheden van de verschillende winningstechnieken gaan we na welke technieken geschikt zijn voor de gewenste (uitbreiding van de) winning. Paragraaf 6.2 geeft een overzicht van de toepassingsmogelijkheden van de verschillende winningstechnieken. Bij het vergelijken kunnen we ook varianten en combinaties van verschillende technieken betrekken. Een voorbeeld: een veld met 8 verticale pompputten van een kleine diameter versus een veld met 5 verticale pompputten van een grote diameter versus een veld van 1 horizontale put in combinatie met 2 verticale pompputten. Tijdens het doorlopen van het keuzeproces kan duidelijk worden dat een bepaalde winningstechniek of putvariant toch niet aan de functionele voorwaarden voldoet.

6.1.2 Selectiecriteria voor de afweging

De geschikte winningstechnieken worden met elkaar vergeleken. Hierbij kunnen we de volgende criteria gebruiken:

1. kosten
2. technische duurzaamheid
3. leveringszekerheid
4. hydrologische en afgeleide effecten
5. bedrijfsvoering
6. onzekerheden en leemten in kennis.

Hieronder geven we op elk genoemd criterium een nadere toelichting.

1. kosten

Bij kosten gaat het om de investeringskosten en de exploitatiekosten voor de hele winplaats.

- | | |
|--------------------|--|
| investeringskosten | Bij de investeringskosten onderscheiden we de volgende kostenposten: <ul style="list-style-type: none">• grondverwerving• putaanleg• bijgebouwen en inrichting waterwingebied (zoals wegen)• pompen en leidingen• sturing en bewaking• energieverzorging• zuivering. |
|--------------------|--|

- | | |
|-------------------|--|
| Exploitatiekosten | Bij exploitatiekosten maken we onderscheid tussen: <ul style="list-style-type: none">• onderhoud- en bewakingskosten• regeneratiekosten• zuiveringskosten• energiekosten. |
|-------------------|--|

bedrijfs- zekerheid	2. <i>technische duurzaamheid</i> Onder technische duurzaamheid vallen de levensduur van de winningstechniek en de bedrijfszekerheid. De levensduur is bepalend voor de afschrijvingstermijn van de techniek. Bovendien geeft een langere levensduur meer zekerheid voor de drinkwatervoorziening op langere termijn. De bedrijfszekerheid wordt voornamelijk bepaald door de robuustheid van de techniek. Hoe minder storingsgevoelig de techniek is, des te groter de bedrijfszekerheid wordt.
VEWIN- aanbevelingen	3. <i>leveringszekerheid</i> Iedere winning moet aan de VEWIN-aanbevelingen voor leveringszekerheid voldoen (VEWIN). In geval van een calamiteit, bijvoorbeeld een kapotte ruwwaterleiding of uitgevallen pompputten, moeten er alternatieve voorzieningen voorhanden zijn. Een klein winningveld met horizontale putten bijvoorbeeld heeft een lage leveringszekerheid, want als er één put uitvalt, valt direct een groot deel van de te leveren capaciteit weg. Belangrijk is dan ook om het winningveld te verdelen in segmenten (segmentering van de winning). Mogelijkheden hiervoor zijn een andere horizontale put, enkele verticale pompputten, een dubbele uitvoering van pompen, leidingen, elektriciteitskabels enzovoort.
segmentering	4. <i>hydrologische en afgeleide effecten</i> 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. Met de (minimale) verblijftijden kunnen we inzicht krijgen in de mogelijkheden tot bacteriologische bescherming van de winning. De kwalitatieve aspecten zijn: • kwaliteit van het onttrokken grondwater • gevaar voor verzilting. Bij aanwezigheid van verschillende watertypen wordt de onttrokken waterkwaliteit bepaald door het aandeel van ieder watertype. De winningstechniek is van invloed op de verhouding van de aandelen van de watertypen. Met een horizontale put bijvoorbeeld kunnen we naar wens meer van het ene watertype onttrekken en minder van het andere watertype. Afgeleide effecten zijn de effecten op de natuur, landbouwschade en zettingschade. Op enige afstand van de winplaats zijn de effecten van de verschillende winningstechnieken even groot. Maar op en nabij de winplaats verschillen de effecten per techniek.
	5. <i>bedrijfsvoering</i> Onder bedrijfsvoering valt zowel de dagelijkse bedrijfsvoering als het periodieke onderhoud. De bedrijfsvoering van enkele horizontale putten is eenvoudiger dan van een aantal verticale pompputten. Maar bij een aantal verticale pompputten is de bedrijfsvoering flexibeler. Daarnaast is de variatie in de ruwwaterkwaliteit van invloed op de bedrijfsvoering van de zuivering. De variatie in de ruwwaterkwaliteit verschilt per winningstechniek. Bij periodiek onderhoud gaat het vooral om het tijdsinterval tussen twee putregeneraties en de tijdsduur van elke regeneratie.
draagvlak	6. <i>onzekerheden en leemten in kennis</i> Onzekerheden en leemten in kennis zijn vaak van doorslaggevende betekenis bij de keuze van de winningstechniek. Onbekend maakt onbemind. Enerzijds verkrijgen we draagvlak voor de keuze door een aantal mensen bij het keuzeproces te betrekken. Anderzijds krijgt dit criterium het juiste gewicht als we aangeven wat de leemten in

kennis zijn, hoe deze kennis de keuze zou kunnen veranderen en hoe verder onderzoek eruit ziet.

In principe worden alle criteria bij het vergelijken toegepast. Maar niet ieder waterbedrijf 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 waterbedrijf belangrijk vindt en van wat op een winlocatie belangrijk is, worden bepaalde criteria gebruikt. Veel gebruikte criteria zijn kosten, bedrijfszekerheid en hydrologische effecten.

6.1.3 Waardering geselecteerde criteria

kosten

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. Maar ook de kosten van de voorzieningen voor de leveringszekerheid kunnen we in geld uitdrukken. Toch kunnen we niet alle criteria op deze manier kwantificeren. Een criterium als bedrijfszekerheid waarderen we meestal kwalitatief, bijvoorbeeld met plussen en minnen.

6.1.4 Afweging en keuze winningstechniek

De laatste stap in het keuzeproces is de afweging en de keuze van de winningstechniek. Eerst gaan we na of de techniek aan de functionele voorwaarden voldoet. Als dit niet het geval is, valt deze techniek af. Vervolgens totaliseren we de kosten en zetten we de kwalitatieve waarderingen op een rijtje. Op basis hiervan maken we een keuze. Zoals we al eerder aangaven is het belangrijk om tijdens het keuzeproces te werken aan draagvlak voor de keuze.

6.1.5 Praktijkvoorbeeld

In deze paragraaf zullen we het hierboven beschreven keuzeproces aan de hand van een praktijkvoorbeeld verduidelijken. Het gaat om de keuze van een winningstechniek voor het pompstation Laren van Waterbedrijf Midden Nederland (WMN).

Voorbeeld van een keuzeproces.

situatie

Pompstation Laren van WMN wordt in 2000 aangepast en vernieuwd. De omvang van de onttrekking wordt verlaagd van 7 miljoen m³/jaar naar 2 miljoen m³/jaar. Een van de grootste problemen is verstopping van de verticale pompputten. Dit wordt veroorzaakt door menging van ondiep aeroob grondwater met dieper zittend anaeroob grondwater in de pompput. Bovendien zal door de reductie het 'droge voeten'-probleem een rol gaan spelen. Het pompstation is namelijk gelegen op een laag gelegen afgegraven terrein. Als gevolg van de beperking van de onttrekking zal de grondwaterstand aanzienlijk stijgen. Om problemen op het pompstation te voorkomen zal het waterbedrijf hier rekening mee moeten houden.

Omdat in dit voorbeeld duidelijk sprake is van specifieke omstandigheden, zullen diverse winningstechnieken in beschouwing worden genomen en zal er een afweging tussen de geselecteerde technieken worden gemaakt.

Wegens de specifieke situatie ten aanzien van de hydrochemie zijn naast verticale pompputten horizontale putten in beschouwing genomen. Ten behoeve van de afweging is zowel voor de horizontale variant als de verticale wintechniek een globaal schetsontwerp gemaakt van winning, terreinleidingen en benodigde zuivering. Om het afwegingsproces transparant te houden is hierbij uitgegaan van nieuw aan te leggen cq te bouwen productiemiddelen.

Technische voorwaarden voor de haalbaarheid van de varianten zijn bedrijfszekerheid, bacteriologische betrouwbaarheid, voldoen aan normen voor leveringszekerheid en mogelijkheid in natte perioden de grondwaterstanden in voldoende mate te kunnen verlagen.

De criteria zijn inhoudelijk zoveel mogelijk in kosten uitgedrukt. Ook de extra voorzieningen, die in verband met de leveringszekerheid voor de horizontale put zijn vereist, zijn in geld uitgedrukt.

De criteria kosten, technische duurzaamheid, leveringszekerheid, hydrologische effecten en bedrijfsvoering (putregeneratie) zijn in beschouwing genomen. Hieronder worden de afweging en de beschouwingen per criterium kort toegelicht.

kosten

Van de winningvarianten zijn de investerings- en exploitatiekosten van winning, terreinleidingen en zuiveringsinstallatie bepaald en omgerekend naar jaarlijkse kosten per m³. De zuiveringsinstallatie is ontworpen op basis van een indicatief bepaalde verwachting van de ruwwaterkwaliteit.

technische duurzaamheid

Bedrijfszekerheid is in de afweging een functionele voorwaarde: de varianten moeten een bedrijfszekere winning opleveren. Op basis van ervaringen in Duitsland en Nederland is geconcludeerd, dat ten aanzien van bedrijfszekere winning de horizontale variant niet slechter scoort dan de verticale variant.

De levensduur is in het keuzeproces meegenomen als afschrijvingstermijn in de kosten. Hierbij geldt dat de schacht van een horizontale put een langere levensduur heeft dan de horizontale strengen, doordat in de schacht ruimte gereserveerd is voor nieuwe filterstrengen ter vervanging van afgeschreven filterstrengen.

leveringszekerheid

Voor Pompstation Laren is in de 'horizontale' variant gekozen voor 1 horizontale put met - in eerste ontwerp - 4 filterstrengen. De 'verticale' variant bestond uit 6 verticale pompputten. Met het oog op de normen voor leveringszekerheid werd gesteld dat de winning in twee delen gesegmenteerd moest kunnen worden. Voor de verticale pompputten vormde dit geen probleem. Voor de horizontale put waren extra voorzieningen getroffen om aan de segmentatie te kunnen voldoen. Deze extra voorzieningen zijn in de kostenberekening meegenomen.

hydrologische effecten

Voor beide varianten zijn modelberekeningen uitgevoerd om de hydrologische effecten in beeld te brengen. Voor het aspect 'droge voeten' bleken de varianten iets van elkaar te verschillen. De horizontale put heeft een grotere, maar minder diepe afpompingskegel. Verticale pompputten hebben kleinere, maar diepere afpompingskegels. In beide varianten bleek het mogelijk te zijn de grondwaterstand op de kritische locaties voldoende te verlagen. Op basis van de berekende minimale verblijftijden en de berekende spreiding van de verblijftijden is de bacteriologische bescherming bepaald. Voor beide varianten bleek de barrière tegen bacteriologische verontreinigingen voldoende te zijn. Er is geconcludeerd dat ten aanzien van de hydrologische effecten geen onderscheid gemaakt hoeft te worden tussen verticale pompputten en horizontale putten.

bedrijfsvoering

Belangrijk aspect van de bedrijfsvoering is flexibiliteit van het winregiem voor de piekuren. Om in de horizontale variant de benodigde flexibiliteit in te bouwen is gekozen voor een put die voorzien is van twee toerengeregelde (centrifugaal)pompen. De voorzieningen zijn meegenomen in de kosten.

Voorts is uit de ervaringen gebleken dat de horizontale putten goed geregenereerd kunnen worden. In de schacht zijn extra voorzieningen aangebracht om de regenereerbaarheid te vergroten. De kosten hiervan en de kosten van noodzakelijke regeneraties zijn meegenomen in de exploitatiekosten van de varianten.

afweging en keuze

Beide varianten voldeden aan de gestelde technische voorwaarden, waarbij de bacteriologische betrouwbaarheid een belangrijke rol speelde. Ook belangrijk in de afweging was dat er binnen de organisatie draagvlak was voor het inzetten van een nieuwe techniek.

Belangrijkste conclusie is, dat de horizontale variant in financieel opzicht een aantrekkelijk alternatief is: de extra investeringskosten verdienen zich terug door besparing van zuiveringskosten. De definitieve keuze viel dan ook op de horizontale variant.

6.2 Winningstechnieken grondwater

In Nederland passen we voor de winning van grondwater de volgende vier winningstechnieken toe:

- verticale pompputten
- horizontale putten
- HDDW
- drainage

We zullen ze hieronder beschrijven. De toepassingsmogelijkheden en de voor- en nadelen van deze technieken zijn in Tabel 6-1 nog eens naast elkaar gezet. De winningstechnieken horizontale put en HDDW zijn voor een groot deel aan elkaar gelijk.

Tabel 6-1 Winningstechnieken bij de winning van grondwater

Winningstechniek	Toepassingsmogelijkheden	Voordelen	Nadelen
Verticale pompputten	winnen van grondwater uit zowel ondiepe als diepe watervoerende pakketten winnen van oeverfiltraat langs de rivier interceptie van verontreinigd grondwater etc.	toepasbaar tot op diepten van enkele honderden meters filters op verschillende dieptes aanlegkosten per put relatief laag	filterlengte sterk afhankelijk van dikte watervoerend pakket relatief grote verlaging vanwege puntonttrekking kans op menging van verschillende waterkwaliteiten
Horizontale putten (radiaalputten)	winnen van grondwater uit dunne en/of minder goed doorlatende watervoerende pakketten winnen van oeverfiltraat direct onder de rivier	gering ruimtebeslag beperkte vergravingsschade gelijkmatige en relatief kleine verlaging putcapaciteit relatief groot gevaar van verzilting relatief klein gebruik boorspoeling niet nodig laag energie verbruik lage exploitatie kosten relatief eenvoudig en goedkoop uit te breiden met extra filterstrengen	Diepte in de praktijk beperkt tot ca 40 m door strenge ARBO eisen voor werkzaamheden in een smalle schacht bij uitval kan leveringszekerheid sterk verminderen doordat één horizontale put in de praktijk meerdere verticale putten zal vervangen Initiële aanlegkosten per put zeer hoog doordat de filter maar vanaf één zijde toegankelijk is moeilijker regenererbaar

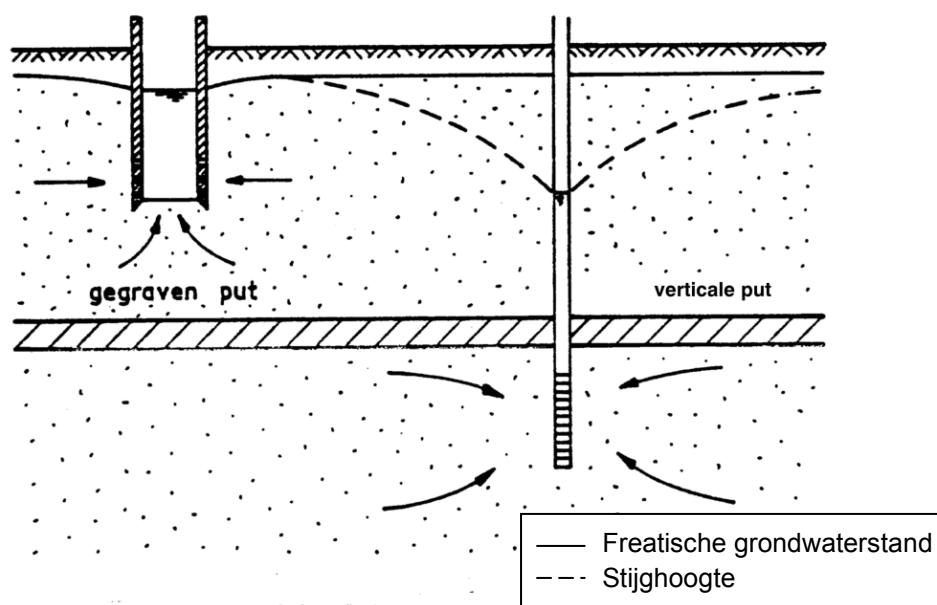
Winningstechniek	Toepassings-mogelijkheden	Voordelen	Nadelen
HDDW	winnen van grondwater uit dunne en/of minder goed doorlatende watervoerende pakketten winnen van oeverfiltraat direct onder de rivier gescheiden winnen van verschillende watertypen winnen nabij bebouwing winnen nabij natuurwaarden gericht winnen van afstromend grondwater winnen uit watervoerende pakketten waarbij onderin brak water zit filterdiepte maximaal ca. 60 m, in de toekomst naar enkele honderden meters (dead end drilling) minimaal 5 meter zanddek nodig ivm kans op groundbreuk	gering ruimtebeslag beperkte vergravingsschade gelijkmatige en relatief kleine verlaging putcapaciteit relatief groot gevaar van verzilting relatief klein goede toegankelijkheid (van 2 zijden)	Techniek is nog in ontwikkeling hierdoor onzekerheden t.a.v ontwikkeling, regeneratie en kosten winning tot maximaal ca. 60 m-mv uitval kan leveringszekerheid sterk verminderen doordat één horizontale put in de praktijk meerdere verticale putten zal vervangen aanklegkosten per put relatief hoog
Drain middels open ontgraving		aanleg goedkoop en eenvoudig	veel vergravingsschade

6.2.1 Verticale pompputten

Door middel van verticale pompputten kunnen we grondwater winnen uit zowel ondiepe als diepe watervoerende pakketten (zie Figuur 6-2). In uitzonderlijke gevallen boren we voor waterwinning tot 350 à 400 m diep.

oeverfiltraat Ook kunnen we verticale pompputten toepassen voor het winnen van oeverfiltraat. Bij winning van oeverfiltraat gebruiken we veel ondiepe pompputten met een relatief korte filterlengte. Als we diepe en/of lange pompputfilters zouden gebruiken zou het aandeel grondwater te groot kunnen worden.

interceptie-systeem Als we in de omgeving van een grondwaterverontreiniging grondwater winnen, kunnen we aparte verticale pompputten aanleggen om de verontreiniging op haar plaats te houden of te verwijderen (interceptiesysteem).



Figuur 6-2 Grondwateronttrekking met verticale winnmiddelen.

Het voordeel van verticale pompputten is dat we tot op grote diepte grondwater kunnen winnen en dat we de filterstelling kunnen afstemmen op de bodemopbouw en op het pakket waaruit we het water willen onttrekken. Ter hoogte van een slecht doorlatende laag (zeer fijnzandige of kleiige laag) kunnen we een blinde buis (blindstuk) aanbrengen. Verticale pompputten zijn flexibeler in de onttrekkingsdiepte dan horizontale putten. Ander voordeel is dat de aanlegkosten relatief laag zijn. Als stelregel houden we vaak € 750,- per meter aan. Gaan we uit van een pompput van 60 m diep met een gemiddelde capaciteit van 75 m³/h, die in 15 jaar economisch wordt afgeschreven, dan bedragen de aanlegkosten ongeveer 0,6 cent per m³ onttrokken grondwater.

Een nadeel van verticale pompputten is dat de maximale filterlengte afhankelijk is van de samenstelling en de dikte van het watervoerende pakket. Het debiet dat we hierdoor per put kunnen onttrekken is relatief klein. In de praktijk varieert het debiet per put tussen 30 en 300 m³/h.

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

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

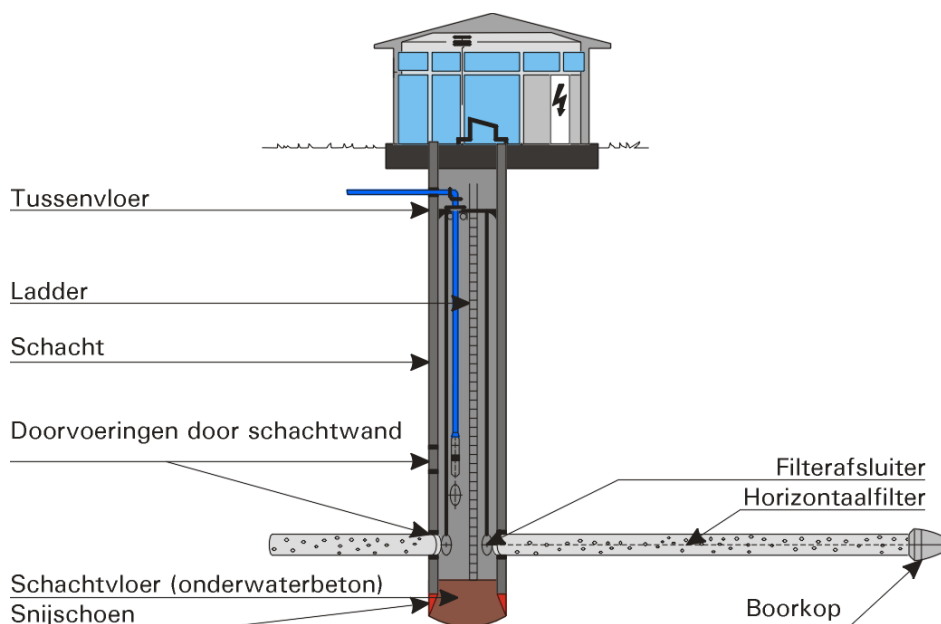
- als verschillende typen water worden onttrokken geeft dit extra kans op putverstopping, bijvoorbeeld als ondiep aeroob en diep anaeroob water worden gemengd,
- als verschillende typen water worden onttrokken moet de waterzuivering op een brede range van waterkwaliteiten worden gedimensioneerd,
- regeneraties van putten met meerdere filtersecties is moeilijker en verloopt vaak minder effectief (dit geldt ook voor lange filtersecties)
- als een filter doorloopt over een scheidende laag, dan kan kortsluiting ontstaan tijdens stilstand.

Het is dus belangrijk om niet altijd alleen te focussen op een zo lang mogelijk filter, maar ook andere zaken in acht te nemen.

6.2.2 Horizontale putten

radiaalputten

Met horizontale putten, ook wel radiaalputten genoemd, kunnen we grondwater winnen uit dunne en/of minder goed doorlatende watervoerende pakketten (zie Figuur 6-3). Bij deze pompputten wordt de filterlengte immers niet beperkt door de dikte van het pakket. Een andere toepassing is winning van oeverfiltraat. Doordat bij de aanleg van een horizontale put geboord wordt vanuit een schacht kunnen filters onder een rivier worden aangebracht. Ook kan een filter evenwijdig aan de as (of stroomrichting) van een rivier worden gelegd. Door toepassing van deze technieken kan het aandeel van grondwater geminimaliseerd worden.



Figuur 6-3 Horizontale put.

De putcapaciteit van een horizontale put is veel groter dan van een verticale put. Hierdoor kan één horizontale put een aantal verticale pompputten vervangen. De vergravingsschade bij horizontale putten is veel kleiner dan bij verticale pompputten. Door het geringe ruimtebeslag van een horizontale put en doordat de filters vanuit een putschacht geboord worden, kunnen we grondwater vlakbij bebouwing of zelfs onder bebouwing winnen.

Omdat het water bij een horizontale put voornamelijk horizontaal toestroomt, wordt in de regel water van één waterkwaliteit onttrokken. Hierdoor kunnen we, in vergelijking met verticale pompputten, bezuinigen op de zuivering van het water en is de kans op chemische putverstopping minder groot.

De aanstroom in horizontale putten is vele malen lager dan in verticale putten waardoor de sleepkracht minimaal is. Als gevolg worden er minder deeltjes aangevoerd in het water. Daarnaast plaats je het filter in het meest grove deel van het watervoerende pakket, waar minder deeltjes in aanwezig zijn. Verstopping met deeltjes is echter ook voor horizontale putten een probleem. Dit komt vooral doordat de verstoppende deeltjes niet verwijderd worden bij het schakelen van de put.

Bij winning langs een rivier hebben we wel extra kans op chemische verstopping, hier wordt van de rivierzijde rivierwater aangetrokken en vanaf de andere kant grondwater.

natuurlijk
stromingsbeeld

Doordat het water voornamelijk horizontaal toestroomt, is de kans op verzilting, door het optrekken van zout water uit dieper gelegen lagen, veel kleiner. Een ander voordeel van de horizontale toestroming is dat deze beter past in het natuurlijke stromingsbeeld. De natuurlijke stroming in watervoerende pakketten is namelijk hoofdzakelijk horizontaal gericht. Op deze manier kunnen we het natuurlijk afstromende water winnen. Het gevolg hiervan is dat door de horizontale onttrekking de invloed op natuurlijke kwel- en infiltratiestromen kleiner is.

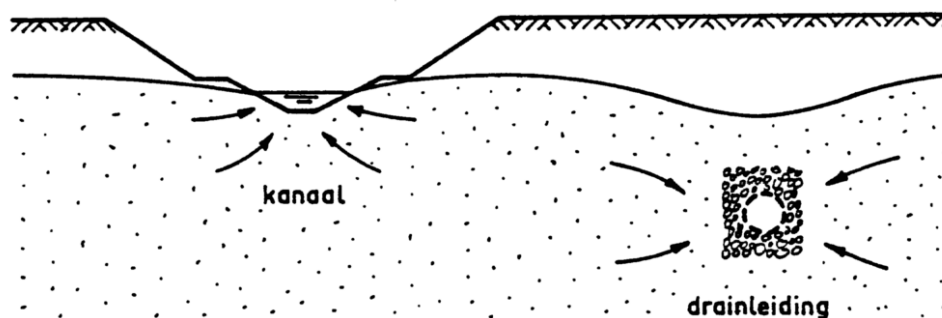
aanlegkosten

Een nadeel van een horizontale put is dat de maximale diepte van de putschacht ongeveer 40 m bedraagt. De maximale winningdiepte is dus beperkt in vergelijking met verticale pompputten.

Een ander nadeel van een horizontale put is dat de aanlegkosten relatief hoog zijn. De kosten voor de aanleg van één put variëren van € 550.000,- tot € 2.000.000,-. De capaciteit van een horizontale put varieert tussen 500 en 1500 m³/h. De maximale filterlengte bedraagt ongeveer 90 m. In een schacht met een binnendiameter van 2,90 m kunnen op een en hetzelfde niveau 8 strengen worden aangebracht met een gezamenlijke maximale filterlengte van 720 m. Gaan we uit van een horizontale put waarvan de aanlegkosten één miljoen euro bedragen en die een capaciteit heeft van 1000 m³/h en een economische afschrijftermijn van 15 jaar, dan bedragen de kosten 0,8 cent per m³ gewonnen water. De operationele kosten zijn relatief laag (energieverbruik, monsternamen en analyse kosten, onderhoud).

Als de put uitvalt, zijn de consequenties groter dan bij een verticale put. 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.

Een derde nadeel van een horizontale put is dat het moeilijk blijkt om de put te regenereren, doordat de put maar vanaf één zijde toegankelijk is.

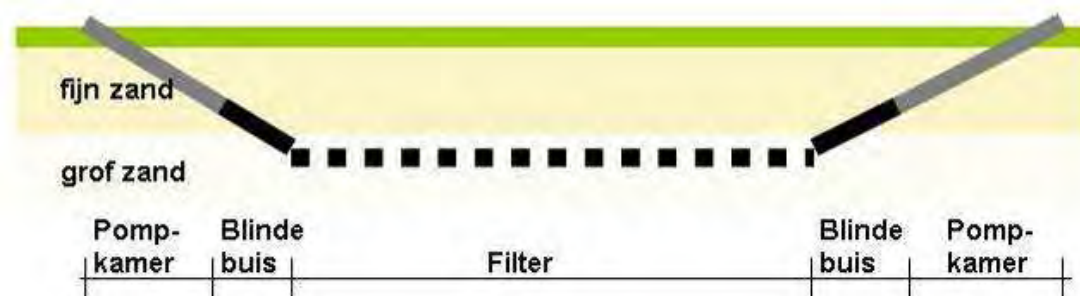


Grondwateronttrekking met horizontale winmiddelen

Figuur 6-4 Grondwateronttrekking met horizontale winmiddelen.

6.2.3 HDDW

HDDW staat voor Horizontal Directional 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. Aan één, of beide uiteinden kan het water onttrokken worden.



Figuur 6-5 Schets HDDW principe

De techniek van het horizontaal gestuurd boren bestaat al langer en heeft zich goed bewezen. Het maken van een onttrekkingsfilter in een horizontaal gestuurd geboord gat is nog een nieuwe techniek, waarmee in de praktijk nog weinig ervaring is. Er zijn verschillende uitvoeringsmogelijkheden; met of zonder mantelbuis en met of zonder omstorting. Voor een HDDW is er minimaal 5 meter zanddek nodig i.v.m. de kans op groundbreuk. De aanlegdiepte van een HDDW is daarom minimaal 5 meter beneden maaiveld.

De voordelen van HDDW zijn voor een groot deel gelijk aan die van een radial collector well. Bijvoorbeeld de mogelijkheid om te onttrekken in dunne aquifers, of in de grofste delen van een heterogeen pakket, gering ruimtegebruik aan het maaiveld, er zijn minder putten nodig, er kan grondwater van één kwaliteit onttrokken worden (dit kan helpen tegen verzilting of chemische verstopping). Een extra voordeel van een HDDW, in vergelijking met een horizontale put, is de goede toegankelijkheid, vanaf twee zijden. Het filter is hierdoor beter bereikbaar en waarschijnlijk daarom beter te regenereren.

In 2010 is een HDDW aangelegd in Nieuwegein, maar het blijft voorlopig een nieuwe techniek, die nog niet is uitontwikkeld en die zich nog moet bewijzen in de praktijk. Ten aanzien van ontwikkeling, onderhoud (inclusief regeneratie) en exploitatie is er nog nauwelijks ervaring.

Toch verwachten we dat op specifieke locaties de HDDW een goed, duurzaam alternatief kan zijn voor verticale putten.

6.2.4 Drainage

Drainage voor waterwinning is in feite een eenvoudige variant op een horizontale put. Omdat de drains worden ingegraven en er niet met een putschacht wordt gewerkt, is de maximale diepte beperkt tot ongeveer 7 m onder maaiveld (zie Figuur 6-4). Dus is alleen winning van ondiep freatisch water mogelijk. Natuurlijk kunnen we met drainage afstromend grondwater winnen.

duinwater

Drainage passen we echter vooral toe in de duinen voor de winning van geïnfilterd oppervlaktewater. De onttrekkingcapaciteit van drainage is klein. Omdat de diepte beperkt is zijn de verblijftijden van het water dat onttrokken wordt kort. Het risico van verstopping en bacteriegroei is groot. In vergelijking met horizontale putten vindt er bij de aanleg van drainage veel vergravingschade plaats.

6.3 Welke boormethode

In deze paragraaf gaan we in op boormethoden waarmee de grondboringen voor de aanleg van pompputten kunnen worden uitgevoerd. De methode die verreweg het meest wordt gebruikt is roterend zuigboren/luchtliften. Daarom gaan de beschouwingen, die in dit document zijn gewijd aan aspecten als inbouw pompput, pompput ontwikkelen, putverstopping en regeneratie, steeds uit van boorgaten die met deze methode zijn geboord waarbij rekening is gehouden met de kenmerken en dus ook met de nadelen van deze boortechniek. Bij bijzondere omstandigheden of als er bepaalde eisen aan de boring worden gesteld passen we voor pompputten de pulsboormethode toe. Hoewel roterend spuitboren, holle-avegaarboren en DTH-hamerboren in principe voor deze toepassing in aanmerking komen, worden ze hiervoor zelden of nooit ingezet. Om een idee te krijgen van hun mogelijkheden worden ze hier wel besproken. De voor- en nadelen geven we in een tabel weer. Voor meer informatie verwijzen we naar *Boormeester II* en *Boormeester I (diepboringen)*.

We behandelen achtereenvolgens:

- indeling grondboormethoden
- pulsboortechniek
- roterend zuigboren/luchtliften
- roterend spuitboren
- holle-avegaarboren
- DTH-hamerboren
- keuze boormethoden.

6.3.1 Indeling grondboormethoden

Met het oog op de grondslag en de toepassing zijn uiteenlopende boormethoden ontwikkeld. Deze kunnen we indelen naar handboormethoden (tot 5 à 10 m diep) en machinale boormethoden. Grondboringen voor pompputten worden alleen met machinale methoden uitgevoerd.

Boren beneden de grondwaterspiegel kan problemen opleveren. Een gat dat we beneden de grondwaterspiegel graven of boren stort in als de grond daar niet of weinig samenhangend is. Instorten kunnen we voorkomen door:

- steunbuizen toe te passen (verbuisd boren)
- boorgatwand door vloeistofoverdruk ondersteunen (onverbuisd boren).

verbuisd boren

Verbuisde boortechnieken zijn vooral pulsen, lepelboren, boren met poliepgrijper en boren met holle avegaar. Verreweg de meeste verbuisde boringen zijn pulsboringen. Lepelboren is een ondersteunende boormethode bij pulsen. Dit geldt soms ook voor het boren met de poliepgrijper.

lepelboor
poliepgrijper

Met een lepelboor boren (scheppen) we bijvoorbeeld grind, harde of taaie klei, zachte sedimenten en zand boven de waterspiegel. De poliepgrijper, die voorzien is van schalen (bladen of grijpers), gebruiken we om grond, stenen of andere voorwerpen uit boorgaten (al of niet verbuisd) te halen of om droog voor te boren bij een puls boring als de boorbuizen een grote diameter hebben.

onverbuisd boren

Voorbeelden van onverbuisd boren zijn roterend zuigboren (+ luchtliften), roterend spuitboren, boren met spuitlans en DTH-hamerboren.

roterend
spoelboren

Roterend zuigboren en roterend spuitboren zijn twee manieren van roterend spoelboren ('rotary flush'-boren). Daarbij wordt een beitel met behulp van een boorstang rondgedraaid. De beitel maakt de grond los en een snelstromende boorspoeling (werkwater met eventueel daarin zwevende deeltjes) voert het boorgruis naar het maaiveld waar het in bakken bezinkt. Door de boorspoeling direct weer het boorgat in te pompen ontstaat een ononderbroken vloeistofcirculatie.

In Tabel 6-2 zijn de kenmerken van de vijf besproken boormethoden op een rij gezet.

Tabel 6-2 Boormethode voor de aanleg van pompputten.

Boormethode	Maximale diepte	Diameter boorgat	Voordelen	Nadelen
Pulsen	100 m	200 – 400 mm (standaardinstallatie) 400 tot 800 mm (zwaar materieel)	‘schone’ techniek; verstoort de ondergrond nauwelijks geen verstopping op de boorgatwand door boorspoeling, wel door versmering kan zonder verspreiding een verontreiniging passeren redelijke kwaliteit ongeroerde grondmonsters geschikt voor het nemen van (ongeroerde) steekmonsters	lage boorproductie arbeidsintensief en daardoor duur per meter boordiepte
Zuigboren/luchtliften (roterend)	400 m	tot 1000 mm	redelijk hoge boorproductie redelijke/matige kwaliteit grondmonsters ook in harde afzettingen bruikbaar goedkoop per meter boordiepte	kans op verstopping op de boorgatwand kan de ondergrond verstoren
Spuitsboren (roterend)	1000 m of dieper	tot 400 mm	hoge boorproductie ook in harde afzettingen bruikbaar	grote kans op verstopping op de boorgatwand (afhankelijk van bodemopbouw en boordiepte) zeer slechte kwaliteit grondmonsters verstoort de ondergrond
Holle-avegaarboren	25 m	120 – 600 mm	boren in onsamenvangende grond weinig kans op verstopping op de boorgatwand redelijke kwaliteit grondmonsters	moeilijk kleilagen herstellen
DTH-hamerboren	200 à 300 m	100 – 600 mm	in vaste gesteenten bruikbaar redelijke kwaliteit grondmonsters	

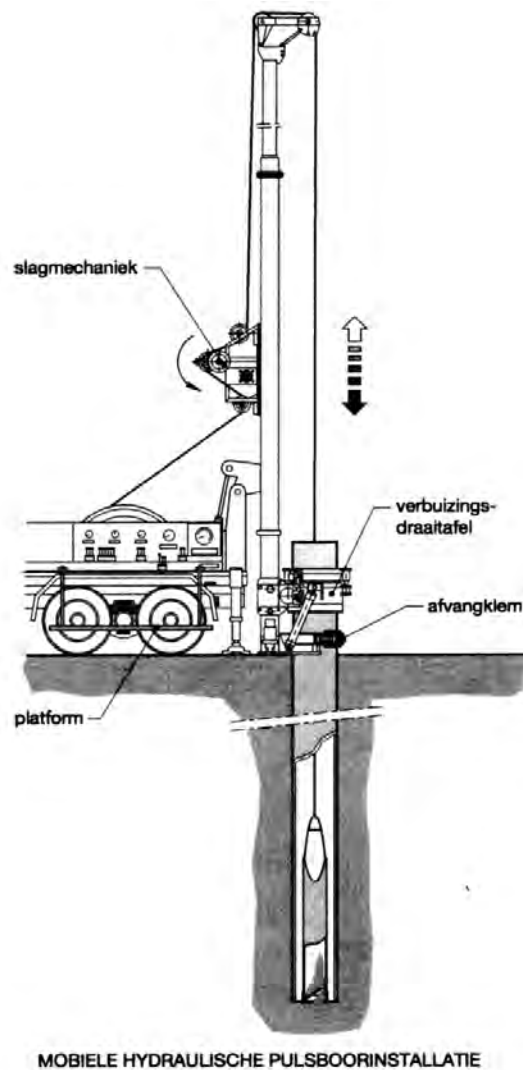
6.3.2 Pulsboortechiek

Pulsen is een eeuwenoude grondboortechiek die in Nederland tot omstreeks 1960 veel werd gebruikt. Daarna deed roterend spuitsboren zijn intrede en vervolgens roterend zuigboren. Als gevolg van bodemverontreinigingen en het hiermee samenhangende milieukundig bodemonderzoek kwam de pulsboortechiek in de jaren tachtig weer in de belangstelling.

Pulsen kunnen we in veel grondsoorten, samenhangende grond, onsaamenhangende grond en niet-massieve harde lagen. Maar we kunnen niet pulsen in extreem stijve klei en in lagen met grote stenen.

Bij pulsen maken we gebruik van een puls, boorbuis en een pulsboorinstallatie (zie Figuur 6-6).

- | | |
|----------|---|
| puls | De puls is een zware, holle stalen cilinder met onderin een leren of stalen klep, die aan een scharnier naar binnen opengaat, en bovenaan een bevestigingsbeugel voor de kabel. De onderkant van de puls is voorzien van een korte snijschoen met snijrand. Er zijn zand-, klei- en grindpulsen. |
| boorbuis | De boorbuis, ook wel steunbuis genoemd, bestaat uit een aantal stalen buizen die we tot één boorbuis aan elkaar monteren. De onderste boorbuis (boorschoen, voorloper) is voorzien van een snijrand of een rand met snijtanden die bij het omlaag brengen als snijmes werkt. Voor de gangbare toepassingen worden de buiselementen meestal met schroefdraadverbindingen aan elkaar verbonden (gemakkelijk en snel), terwijl voor de grotere boorgaten vaak steekverbindingen worden gebruikt. |
| driepoot | Voor boorgaten tot ongeveer 20 m diep, bijvoorbeeld voor milieuonderzoek, passen we de kleine, lichte pulsboorstelling (driepoot) toe. Steeds meer gebruiken we de compacte mobiele pulsboorinstallatie op rupsonderstel, die geschikt is voor gaten tot 30 m. De oudere stationaire hydraulische pulsboorinstallaties vinden praktisch geen toepassing meer. Tegenwoordig worden de gangbare pulsboringen (diameter tot ongeveer 400 mm en diepte tot ongeveer 100 m) uitgevoerd met een hydraulische pulsboorinstallatie op basis van een vrachtwagen. Voor grotere boorgatdiameters dan 400 m en taaie grond moeten we extra zwaar materieel inzetten, bijvoorbeeld een dragline. Voor grotere boringen dan 800 mm wordt pulsen zo moeilijk dat de grond met een poliepgrijper uit de boorbuis wordt verwijderd. |



Figuur 6-6 Mobiele hydraulische pulsboorinstallatie. (SBW, 1995)

Na plaatsing van de eerste buis in een met de avegaar of knijpbak gegraven gat en na toevoeging van werkwater kunnen we met pulsen beginnen. De pulsboorinstallatie beweegt de puls in de boorbuis aan een kabel 30 à 40 cm op en neer op de bodem van het boorgat. Bij elke val woelt de puls de grond los en omdat de klep dan open is welt er grond de puls in; de puls zakt over het mengsel van grond en water. Bij de omhooggaande beweging waarbij de klep zich sluit wordt de grond met de puls gevangen. Zo schuift bij elke op- en neergaande beweging de grond verder de puls in. Bij elke omhooggaande beweging ontstaat onder de puls onderdruk, waardoor water en grond worden meegezogen en de boorbuis telkens iets zakt. Na elke 10 à 20 pulsbevingen halen we de gevulde puls op om haar in een bak op het maaiveld te legen. Ook als de puls het water in de boorbuis verlaat zakt de boorbuis.

waterpeil

Het waterpeil in de boorbuis moet steeds iets boven het grondwaterpeil staan. Is het waterpeil te laag dan brengen we grond omhoog zonder dat de boorbuis zakt; is het peil te laag dan wervelt er geen grond van de bodem los. In beide gevallen is pulsen zinloos. Bij het pulsen brengen we een betrekkelijk geringe hoeveelheid werkwater (leidingwater) in het boorgat.

Omdat de boorbuis zakt, brengen we regelmatig een nieuwe boorbuis aan. Naarmate de boorbuis dieper de grond in gaat, zal de wrijving tussen de boorbuis en de grond toenemen. Deze wrijving verminderen we door de buis te draaien of te wrikken en/of

vertoeren	op en neer te bewegen. Wordt de wrijving te groot dan gaan we vertoeren. We brengen dan binnen de boorbuis een tweede boorbuis van kleinere diameter aan. Het pulsen zetten we in de tweede buis voort. Zo nodig plaatsen we een derde buis en pulsen daarin verder. Zo kan een diepte van ongeveer 100 m worden bereikt.
schoonpulsen	Na het bereiken van de gewenste diepte, pulsen we het boorgat schoon. Om het gebruikte werkwater uit de boorbuis te verdrijven kunnen we met behulp van een slang vanaf de bodem van het boorgat de boorbuis geheel met schoon water vullen. Na inbouw van de putconstructie vullen we de annulaire ruimte aan waarbij we de boorbuis met het aanvulniveau mee optrekken.

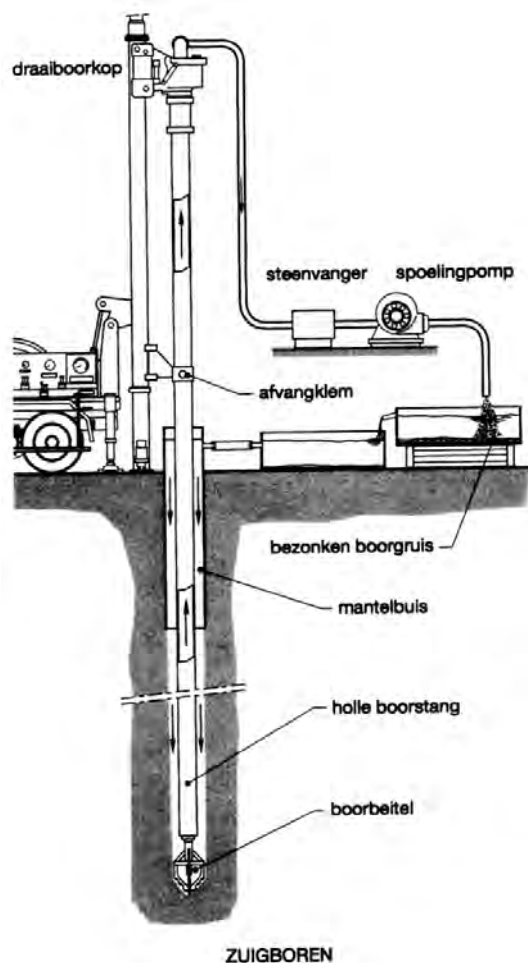
6.3.3 Roterend zuigboren/luchtliften

Bij roterend zuigboren (indirect spoelboren, 'reversed flush'), kortweg zuigboren genoemd, laten we de boorspoeling door de annulaire ruimte naar beneden stromen. Samen met het boorgruis zuigen we de boorspoeling door de holle boorstang omhoog (zie Figuur 6-7).

Na plaatsing van de boorwagen wordt de mantelbuis in de grond aangebracht. Deze moet voorkomen dat de bovenste grondlagen wegspoelen. De mantelbuis steekt meestal ongeveer één meter boven het maaiveld uit. De bezinkbakken (suppletiebakken) doen dienst als bezinkreservoir voor het boorgruis en als bufferreservoir voor de boorspoeling. In het algemeen staan de mantelbuis en de bezinkbak in open verbinding met elkaar. Het peil van de boorspoeling in de mantelbuis moet minimaal 1,5 à 2 meter boven het grondwaterpeil staan. Is dit verschil kleiner dan kan de overdruk zo laag worden dat het boorgat instort. Ideaal is als al het boorgruis bezinkt. In de praktijk is dit bijna niet mogelijk. Klei en slib bezinken moeilijk en blijven voor een klein deel in het spoelingwater zweven. Bevat het omhoog gehaalde mengsel veel fijne materiaaldeeltjes dan kunnen we ook cyclonen en schudzeven inzetten (zie Paragraaf 11.1.3). Aan de straalbreker zit een spruitstuk (kraan of tuit) om wat van het mengsel af te tappen voor het nemen van grondmonsters.

Om de boorgatwand in stand te houden is overdruk alleen niet altijd voldoende. Een zandlaag kan zeer poreus zijn of een kleiwand kan zwellen en inkalven. Het boorgat kan dan gemakkelijk instorten. Om dit gevaar te verkleinen kunnen of moeten we bepaalde stoffen aan de boorspoeling toevoegen. De juiste samenstelling van de boorspoeling is erg belangrijk; is die verkeerd dan kan het boorgat alsnog instorten (zie verder Paragraaf 11.1.2).

Regelmatig verlengen we de boorstang met een nieuw stuk. Schroefdraadverbindingen zijn gebruikelijk omdat we daarmee snel kunnen werken. Wegens de beperkte zuighoogte van de zuigpomp (in de praktijk hooguit 8 m) zal de boorproductie afnemen naarmate we dieper komen. Na ongeveer 50 m loont het nauwelijks meer om door te gaan. Moeten we een dieper gat boren, dan gaan we al eerder over op luchtliften. Dat gebeurt met dezelfde boorinstallatie.



Figuur 6-7 Roterend zuigboren. (SBW, 1995)

luchtliften

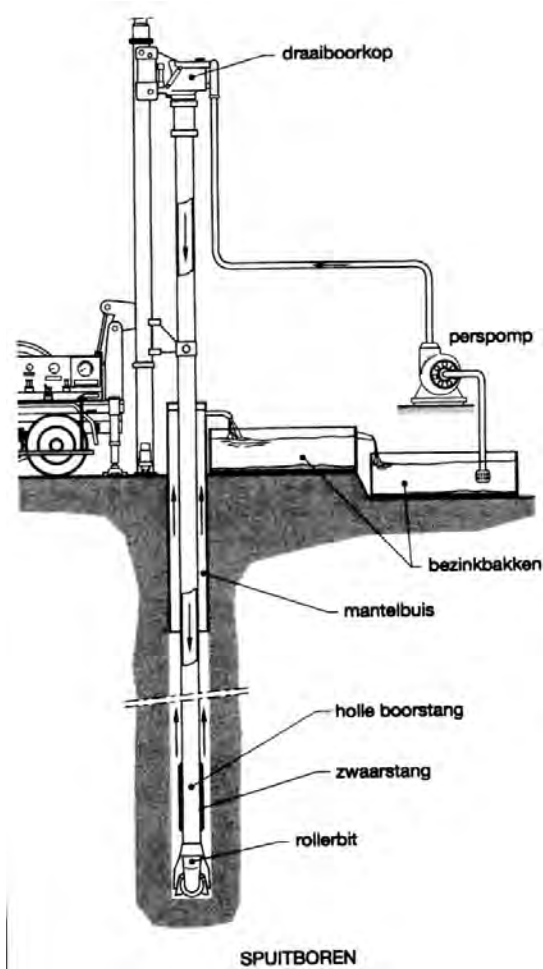
Bij luchtliften wordt de boorspoeling met boorgruis in de boorstang omhoog gebracht door er lucht aan toe te voegen. Lucht maakt het mengsel lichter waardoor de zwaardere kolom vloeistof in de annulaire ruimte de vloeistof in beweging brengt. Een continue luchttoevoer houdt de circulatie in stand; luchtliften is roterend zuigboren waarbij de lucht als pomp werkt. De boorwagen is van een compressor voorzien en de boorstangen zijn met luchtkanalen en luchtgaten (luchtkamers) uitgerust. Om te voorkomen dat de lucht aan de onderkant van de boorstang ontwijkt en/of dat de vloeistofcirculatie onregelmatig verloopt, moeten we eerst 20 à 30 m zuigboren voordat we op luchtliften kunnen overschakelen. De lucht wordt in de boorstang geperst via een boorstang met luchtkamer (injectiepunt). Dat gebeurt tussen ongeveer 20 en ongeveer 60 m beneden maaiveld. Omdat tijdens het boren het injectiepunt steeds lager komt te zitten, zal de beschikbare persdruk op zeker moment ontoereikend zijn. Daarom wordt het injectiepunt telkens - na bijvoorbeeld 40 m boren - weer op ongeveer 20 m beneden maaiveld aangebracht. Voor het plaatsen van een nieuwe boorstang met luchtkamer moeten we iedere keer de boorstang 20 m uitbouwen.

Ten opzichte van zuigboren (met zuigpomp) heeft luchtliften vooral de volgende voordelen: het dieptebereik is veel groter (vele honderden meters), door de grotere stromingssnelheid is de boorproductie hoger (afhankelijk van grondsoort en boordiameter 20 à 100 m per dag) en de geroerde grondmonsters zijn beter. Om te zorgen dat de geroerde grondmonsters representatief blijven voor de boordiepte moet de boorsnelheid niet groter zijn dan 10 m/h.

beitels	Voor de diverse grondsoorten zijn verschillende beitels ontwikkeld. Meestal boren we het hele boorgat met één en dezelfde boorbeitel, namelijk de vleugelboor die geschikt is voor kleilagen. Met deze beitel wordt de grond losgekrabt en losgeschraapt. Voor rotsachtig materiaal zijn we aangewezen op de rotsboor (roller-bit), die voorzien is van getande rollers.
werkwater	In verband met het open boorgat is het van groot belang dat er steeds voldoende werkwater aanwezig is. Er is veel werkwater nodig: tijdens het boren 5 à 150 kubieke meter per uur (pulsen vraagt slechts een paar kubieke meter water per boring). De watervoorziening moet betrouwbaar zijn, want een korte onderbreking kan al tot gevolg hebben dat het boorgat instort. Gebeurt dit bij een boorgat waarbij we geen kleilaag hebben doorboord, dan hoeft dit geen ernstige gevolgen te hebben. Instorten gebeurt juist op grotere diepten, waarbij vaak kleilagen zijn doorboord. Vaak is het mogelijk de boorstangen en de boorbeitel omhoog te halen. Lukt dit niet, dan moeten we deze in de grond achterlaten. Voor de waterhuishouding in de bodem zijn de gevolgen vaak veel ernstiger. Doordat de kleilagen zijn verbroken zijn de zandlagen tussen de kleilagen met elkaar verbonden, waardoor zich via dit boorgat grondwater kan verplaatsen of naar boven of naar beneden. Eventuele verontreinigingen kunnen in lagen doordringen van waaruit we ook drinkwater oppompen. Ook kan spanningswater uit lager gelegen lagen naar hoger gelegen lagen afvloeien met alle gevolgen van dien. De kleilagen kunnen alleen worden hersteld door het ingestorte gat weer open te boren. Om instorting van het boorgat te voorkomen moeten we een voorziening voor reservewater bij de hand hebben, ook al gebruiken we de brandkraan of de waterleiding. Want ook daar kan de waterdruk wegvallen (zie verder Paragraaf 11.1.1). Lukt het niet om in één dag het gat te boren en weer aan te vullen, dan moeten we maatregelen nemen om de overdruk op peil te houden als het werk stil ligt. Vaak plaatsen we in de bezinkbak een vlottermechaniek dat de waterstand automatisch op peil houdt. Ondanks de voorzorgen die we nemen is het verstandig een paar keer poolshoogte te nemen. Beschikken we niet over een automatische beveiliging, dan houden we onafgebroken de wacht. Soms zijn de omstandigheden zodanig dat we geen risico nemen. We werken dan net zo lang door totdat het gat is geboord, de pompfilters zijn afgesteld en het boorgat is aangevuld.
naval	Meestal laat de wand van het boorgat wat grond los die op de bodem van het gat terecht komt. Dit noemen we naval. De naval bedraagt vaak 2 à 3% van de diepte van het boorgat en kan enkele meters per dag bedragen. In verband hiermee maken we het boorgat meestal een paar meter dieper dan nodig is.

6.3.4 Roterend spuitboren

	Bij spuitboren (direct spoelboren, 'straight flush'), kortweg spuitboren genoemd, wordt de boorspoeling door de boorstang naar beneden geperst en via de bodem van het boorgat door de annulaire ruimte met boorgruis omhoog gevoerd. Het uitstromende mengsel komt terecht in de bezinkbak van waaruit de boorspoeling weer het boorgat wordt ingepompt (zie Figuur 6-8).
dikspoeling	Omdat de opvoersnelheid in de annulaire ruimte vrij klein is, moeten we een dikspoeling gebruiken om het boorgruis omhoog te krijgen. Gevolg is dat er veel boorspoelingshulpmiddelen in de formatie dringen. Bovendien gebruiken we spuitboren voor gaten met een diameter tot ongeveer 400 mm. Verder leidt de lage opvoersnelheid tot ontmenging van de grond en dus tot zeer slechte grondmonsters. De techniek wordt niet gebruikt voor de aanleg van verticale drinkwaterputten. Maar de techniek wordt wel toegepast voor de aanleg van HDDW's. Spuitboren is de gebruikelijke techniek voor de diepere olieboringen (1000 m en dieper). Het is een goedkope manier om voor bepaalde doeleinden snel een niet al te groot gat te boren, zoals voor de aanleg van bronbemalingen en de aanleg van een tijdelijke pompput om in de behoefte aan werkwater te voorzien.



Figuur 6-8 Roterend spuitboren. (SBW, 1995)

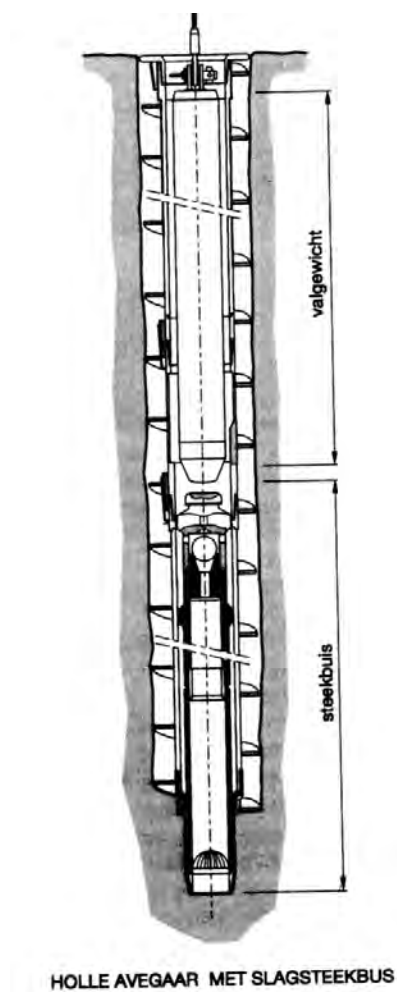
Verder komen we spuitboren in Nederland nog maar weinig tegen. Groot voordeel is de grote boorproductie, wel 100 tot 200 m per dag. Ook is de boorwagen wat lichter dan de wagen voor zuigboren.

6.3.5 Holle-avegaarboren

De holle avegaar is een spiraalboor waarvan de stang hol is; deze stang fungeert als steunbuis. De boorpunt (snijkop), die aan de onderkant zit, kunnen we door middel van een vergrendelinrichting verwijderen, zodat we na het bereiken van de gewenste diepte over de hele lengte tot op de bodem over een holle buis beschikken (zie Figuur 6-9). De boringen zijn vaak niet veel dieper dan 25 m. De boorinstallatie is gemonteerd op een truck of een rupsonderstel.

Ten opzichte van de gewone avegaar kunnen we met de holle avegaar snel werken, ook beneden de grondwaterspiegel boren en eveneens in onsamenhangende grond boren. Groot nadeel is dat we een doorboorde kleilaag moeilijk kunnen herstellen: bij het trekken van de holle avegaar stort het boorgat in en zonder aparte monsternemingen is praktisch niet vast te stellen waar eventuele kleilagen zitten.

Omdat we door de open boorkern monsternemingsapparatuur, boorgereedschap of filters kunnen neerlaten, passen we de holle avegaar toe voor onder meer bodemonderzoek, het stellen van waarnemingsfilters en de aanleg van ondiepe pompputten en bronbemaling.



Figuur 6-9 Holle avegaar met slagsteekbus. (SBW, 1995)

6.3.6 DTH-hamerboren

'Down the hole' (DTH)-hamerboren is een boormethode voor boringen in vast gesteente. Door met een hamer krachtig en in hoog tempo op de bodem van het boorgat te stoten verbrijzelen of vergruizen we het gesteente. Het boorgruis wordt door perslucht of een schuimvormende oplossing uit het boorgat verwijderd. Het aandrijfmechanisme zit onderaan de boorstang (zie Figuur 6-10).

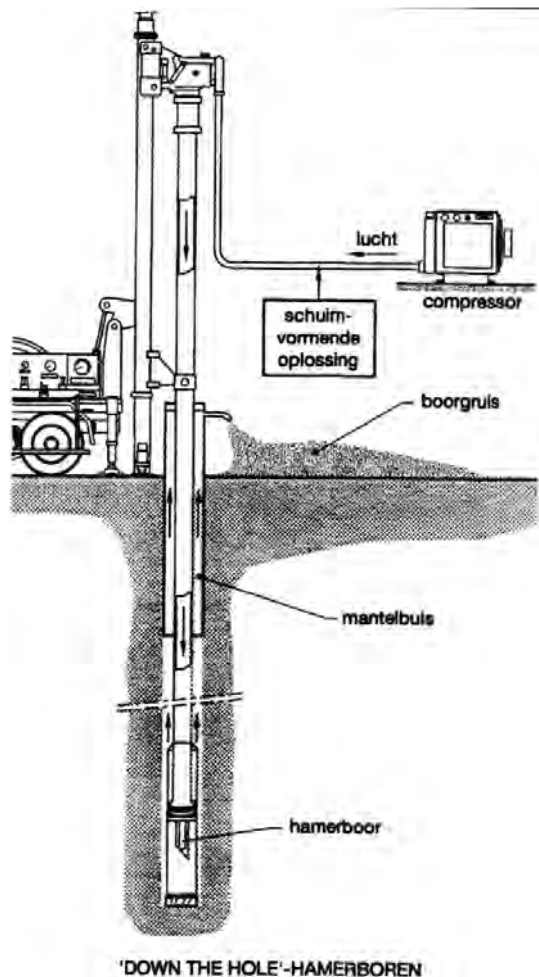
Een pompput, die met de DTH-methode wordt geboord, heeft vaak een kleine diameter en wordt vaak zonder inbouw van een putconstructie, dus zonder filter en stijgbuis, in gebruik genomen. De onderwaterpomp wordt in het open boorgat gehangen. Uiteraard wordt de put wel van boven afgewerkt.

6.3.7 Keuze boormethode

Pompputten dienen te worden geboord door middel van de zuigboormethode, al of niet met luchtlichten, of de pulsboormethode.

De grondsoort, de opbouw van de bodem en de grondwaterstand bepalen in grote mate de keuze van het boorsysteem. Met zijn merendeels zachte, zandige afzettingen is het grootste deel van Nederland bij uitstek geschikt voor zuigboringen en pulsen. Daarnaast kan geboord worden met sonische boortechniek. Bij de sonische boortechniek wordt geboord door middel van hoogfrequente (sonische) vibraties, waardoor de materie rond de boorbuis en boorbeitel gaan vloeien ⁽¹⁾. Alleen in het mergelland van Zuid-Limburg wordt soms de DTH-boormethode ingezet voor het boren van waarnemingsputten.

De keuze van de boormethode voor de aanleg van pompputten is niet gebaseerd op een gestructureerd keuzeproces waarin op basis van criteria een afweging wordt gemaakt. Op grond van boorsnelheid, kosten, te bereiken diepte en diameter is zuigboren/luchtlichten zo gunstig dat die bijna altijd de voor de hand liggende boormethode is. Het enige praktische alternatief voor zuigboren/luchtlichten is pulsen. In geval van grof grind en stenen is zuigboren/luchtlichten niet mogelijk en zijn we aangewezen op pulsen of boren met een grijper.



Figuur 6-10 'Down the hole'-hamerboren. (SBW, 1995)

We gaan pulsen bij bijzondere omstandigheden of als er specifieke eisen worden gesteld:

- als de grondlagen zo sterk onsamenhangend zijn dat onverbuisd boren onmogelijk is
- als de kwaliteit van het grondwater praktisch niet mag worden beïnvloed. Pulsen is een schone boortechniek. Daarom worden boorgaten voor waarnemingsputten vaak gepulst
- als we een redelijk nauwkeurige boorbeschrijving verlangen. De geroerde grondmonsters zijn redelijk goed. Met deze boormethode kunnen we gemakkelijk gestoken (ongerode) grondmonsters nemen voor bijvoorbeeld geochemisch onderzoek. Daarom worden boorgaten voor milieukundig onderzoek en verkenningsboringen vaak gepulst
- verder kan het voordeel van minder ruimtebeslag doorslaggevend zijn bij het boren in gebieden met bijzondere natuurwaarden
- door vertoeren kunnen bepaalde formaties worden gepasseerd zonder dat de rest van het boorgat wordt besmet.

Pulsen heeft zijn beperkingen, want:

- in vergelijking met andere boormethoden is pulsen betrekkelijk arbeidsintensief en dus duur. We pulsen dan ook alleen als andere boormethoden niet zijn toegestaan of niet mogelijk zijn. Wegens de kosten pulsen we meestal niet dieper dan 100 m wegens het beperkte bereik van diepte en diameter kunnen er alleen de wat kleinere pompputten mee worden gerealiseerd.

7 Ontwerp: Berekeningen

In dit hoofdstuk lichten we enkele berekeningsmethoden toe, die beschikbaar zijn voor het ontwerpen van putten(velden). Ons doel is niet om een compleet overzicht te geven van alle beschikbare berekeningsmethoden, technieken en applicaties. Met de in dit hoofdstuk beschreven rekenmethoden is het mogelijk om de belangrijkste hydrologische en hydraulische vragen te beantwoorden. We hebben gekozen voor een opzet waarbij we uitgaan van de vragen die ontstaan bij het ontwerpen van een put of puttenveld. Per vraag beschrijven we, voor zover dat mogelijk en noodzakelijk is, een eenvoudige analytische rekenmethode en een complexe rekenmethode. Tegenwoordig komt ook steeds meer informatie over rekenmethoden en modelcodes beschikbaar via het internet. Ook daar vinden we vaak software die we kunnen gebruiken voor het uitvoeren van berekeningen. In bijlage 6 is een aantal links gegeven.

We behandelen de volgende onderwerpen:

- berekenen van stijghoogteveranderingen
- berekenen van fluxveranderingen
- grondmechanische berekeningen
- berekenen verblijftijden en responscurven
- rekenen aan ruwwaterkwaliteit bij verwachte bedreiging
- berekenen van de snelheid op de boorgatwand
- rekenen aan optimale putconfiguratie
- keuze van programmatuur voor de modellering van grondwaterproblemen
- hydraulische berekeningen voor terreinleidingen
- complexe berekeningsmethoden met behulp van programmatuur.

samenvatting

De gegeneraliseerde formule van De Glee wordt veel gebruikt voor het berekenen van stationaire eindverlagingen van bronnen. Voor het berekenen van effecten van bronnen, waarbij de ruimtelijke variatie van pompputten en bodemopbouw is betrokken, moeten we gebruik maken van numerieke grondwatermodellen. Voordat we gaan boren moeten we schatten of er gevaar is voor instabiliteit van het boorgat. We kunnen de zetting (als gevolg van bouwwerken), krimp en oxidatie berekenen met de algemene basisformule van Terzaghi. Belangrijk hulpmiddel bij het inschatten van de waterkwaliteit is het berekenen van verblijftijden en responscurven. Bij onderzoek naar puttenvelden wordt bij het ontwerp altijd een inschatting gemaakt van de verwachte ruwwaterkwaliteit. De meest gedetailleerde beschrijving van de effecten van grondwateronttrekking door pompputten en puttenvelden vindt plaats met een grondwatermodel, waarmee we - direct of indirect - alle hydrologische berekeningen kunnen uitvoeren.

7.1 Berekenen van stijghoogteveranderingen

Het berekenen van stijghoogteveranderingen kunnen we op verschillende manieren aanpakken. We bespreken:

- eenvoudige oriënterende analytische oplossingen
- eenvoudige oriënterende berekeningen met behulp van bestaande programmatuur
- complexe vraagstukken oplossen met behulp van programmatuur.

7.1.1 Eenvoudige oriënterende analytische oplossingen

De Glee
Voor het berekenen van stationaire eindverlagingen van bronnen in meerlaagse watervoerende pakketten kunnen we gebruik maken van de gegeneraliseerde formule van De Glee (Formule 7.1).

$$\varphi(r) = \frac{1}{2\pi} K_o(r\sqrt{A})(Q./kD) \quad (7.1).$$

Hierin is:

φ = stijghoogte [m]

r = straal [m] (afstand vanuit as pompput tot aan boorgatwand)

K_0 = Bessel-functie

A = systeemmatrix

Q = debiet [m/d]

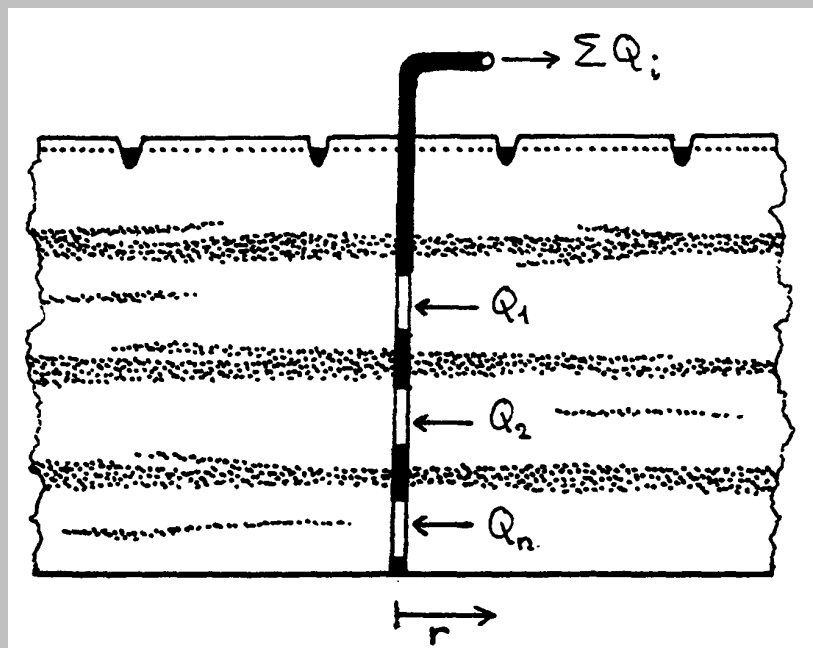
k = doorlatendheid [m/d]

D = dikte van de laag [m].

Voorbeeld van analytische berekening van de verlaging en de specifieke volumestroom in het geval van een put in een gelaagd systeem

Hieronder beschrijven we een analytische oplossing met behulp van de gegeneraliseerde Matlab®-formule van de Glee. We laten zien hoe deze functie in Matlab® kan worden geprogrammeerd. Matlab® is een algemeen wiskundig softwarepakket waarmee de gebruiker zelf zijn analytische formules kan doorrekenen en de resultaten kan presenteren.

In de passage (zie Figuur 7-1) wordt verondersteld dat de ondergrond in verticale zin geschematiseerd kan worden tot een opeenvolging van slecht- en goeddoorlatende lagen. In horizontale zin wordt het systeem geacht homogeen te zijn. Er treedt voeding op uit oppervlaktewater. In de praktijk is dat een stelsel van watergangen, maar voor de berekening wordt verondersteld dat het voedende oppervlakte-



Figuur 7-1 Meerlagen systeem met onttrekkingsput.

water overal aanwezig is. (Dit is analoog aan wat men meestal in numerieke grondwatermodellen doet.) De weerstand tegen uitwisseling tussen oppervlaktewater en grondwater wordt veelal voedingsweerstand genoemd. In ons rekenschema moet deze weerstand toegekend worden aan de eerste slecht doorlatende laag. Het is dus een gelijkmatig verdeelde parameter. Als de laag waarin de watergangen zelf liggen zelf een

weerstandslaag is, dan moet daarmee bij het bepalen van de voedingsweerstand rekening gehouden worden, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de formule van Bruggeman.

De verlagingen op een willekeurige afstand r vanuit de put kunnen met de volgende formule berekend worden:

$$h = \frac{1}{2\pi} K_0(r\sqrt{A})(Q/kD).$$

Dit is een matrixvergelijking. h is een vector, die net zoveel elementen bevat als er aquifers zijn. De verlaging wordt dus simultaan voor alle aquifers berekend. Voor het gebruik van deze formule is het niet nodig de wiskundige betekenis ervan te doorgronden. Geïnteresseerden daarin kunnen het artikel "Snelle oudjes gaan MATLAB" in Stromingen (3/4, 1999) raadplegen.

De gebruikte Matlab-functies zien er als volgt uit:

```
function A = sysmat(kD,c)
% sysmat(kD,c) berekent de systeemmatrix van een gelaagde aquifer.
kD = kD(:); c = c(:); n = length(kD);
a = 1./(kD.*c);
b = 1./(kD.*[c(2:n);inf]);
A = diag(a+b)-diag(a(2:n),-1)-diag(b(1:n-1),1);

function f = K0(A)
% K0(A) levert de matrix-Besselfunctie K0 van A.
f = funm(A,'besselk0');

function f = K1(A)
% K0(A) levert de matrix-Besselfunctie K1 van A.
f = funm(A,'besselk1');

function f = besselk0(x)
% besselk0(x) is een hulpfunctie voor K0(A). Hij verandert MATLAB's 2-
% parameterfunctie besselk(0,x) in een 1-parameterfunctie besselk0(x).
% Dit is nodig omdat de Matlabs functie funm alleen functies van 1
% parameter accepteert.
f = besselk(0,x);

function f = besselk1(x)
% besselk1(x) is een hulpfunctie voor K1(A). Hij verandert MATLAB's 2-
% parameterfunctie besselk(1,x) in een 1-parameterfunctie besselk1(x).
% Dit is nodig omdat de Matlabs functie funm alleen functies van 1
% parameter accepteert.
f = besselk(1,x);
```

De berekening zelf vindt gewoon in het commandoscherm plaats. Hier volgt een numeriek voorbeeld:

```
>> kD = [1000; 2000; 3000]; c = [500; 1000; 2000];
>> A = sysmat(kD, c);
>> Q = [0; 2400; 0];
>> h = 1/(2*pi)*K0(100*sqrtm(A))*(Q./kD);
h =
    0.0670
    0.5232
    0.0556.
```

toelichting

De verlagingen zijn hier berekend op 100 m vanaf de put. De vector kD bevat het doorlaatvermogen per watervoerende laag; c bevat de weerstand per scheidende laag en Q bevat de onttrekkingen. Merk op dat voor alle aquifers een waarde van Q opgegeven moet worden. Als er geen winning plaatsvindt, vullen we een nul in. De matrix A zorgt ervoor dat op de juiste manier wordt omgegaan met de bodemconstanten kD en c . De dimensies van de verschillende parameters die in de formule voorkomen kan de gebruiker zelf kiezen, als hij maar consistent is. (Dus: als de gebruiker eenmaal kD in m^2/dag heeft uitgedrukt, dan moet hij de onttrekking Q in m^3/dag opgeven.)

Voor diverse stromingsproblemen zijn analytische formules afgeleid. Het boek *Analytical solutions of geohydrological problems* van G.A. Bruggeman geeft een nagenoeg compleet overzicht. De analytische formules kunnen vervolgens met de hand of met een wiskundig softwarepakket (bijvoorbeeld Matlab®) op stromingsproblemen worden toegepast.

7.1.2 Eenvoudige oriënterende berekeningen met behulp van bestaande programmatuur

MLU Een uitgebreidere berekening van het effect van onvolkomenheid van het pompfilter is bijvoorbeeld mogelijk met het programma MLU (Multi-Layer Unsteady state). Met dit programma is het mogelijk om verlagingen te berekenen in een gelaagd grondwatersysteem. Deze grondwatersystemen kunnen zowel freatisch, gespannen of semigespannen zijn. Ook kunnen pompproeven met deze software worden uitgewerkt. Een uitgebreide beschrijving van het programma en de mogelijkheid om een freeware-versie van dit programma te downloaden zijn te vinden op het internet (zie <http://www.xs4all.nl/~microfem>). Ook kan gebruik worden gemaakt van het softwarepakket aquisoft, aquiwin of Radmod (zie <http://water.usgs.gov/software/radmod.html>).

Tijdreeksanalyse Het effect van een bestaande winning op de stijghoogte in de omgeving kan ook met behulp van tijdreeksanalyse bepaald worden. Met deze techniek wordt het verloop van de stijghoogte verklaard uit verschillende invloeden, zoals neerslag en verdamping en onttrekking. Als het effect van de bestaande onttrekking is bepaald kan voorspeld worden wat een verandering van de winning (toename of afname) voor gevolg heeft voor de stijghoogte. Er kan gebruik gemaakt worden van Menyanthes (www.menyanthes.nl) of Trendanalist (www.amo-nl.com).

7.1.3 Complexe vraagstukken oplossen met behulp van programmatuur.

Wie effecten van bronnen wil berekenen en daarbij de ruimtelijke variatie van pompputten en bodemopbouw wil betrekken, zal daarvoor gebruik moeten maken van numerieke grondwatermodellen. Een aantal van deze numerieke modellen wordt in Paragraaf 7.8 kort toegelicht.

7.2 Berekenen van fluxveranderingen

Met de technieken, die in Paragraaf 7-1 worden genoemd, kunnen we de stijghoogteverandering als gevolg van onttrekking(en) of infiltratie(s) berekenen. Op basis van deze stijghoogteverandering kunnen we de verandering van de fluxen over de scheidende lagen berekenen. De hydraulische weerstand van de scheidende lagen is immers bekend. De fluxverandering kunnen we berekenen met Formule 7.2:

$$q = \frac{\Delta H}{c} \quad (7.2).$$

Hierin is:

q = flux in verticale richting [m/d]

ΔH = stijghoogteverschil over de weerstandbiedende laag [m]

c = weerstand van de slecht doorlatende laag [d].

Het maakt hierbij geen verschil welke methode we voor het berekenen van de verlagingen kiezen. Dit kan een eenvoudige analytische methode zijn, maar ook een numerieke methode.

7.3 Grondmechanische berekeningen

In deze paragraaf beperken we de behandeling van grondmechanische berekeningen tot de volgende facetten:

- vooraf inschatten of er gevaar is voor instabiliteit van het boorgat
- berekenen van zettingen en zakkingen.

7.3.1 Vooraf inschatten of er gevaar is voor instabiliteit van het boorgat

De stabiliteit van boorgaten is van groot belang tijdens het boren, het plaatsen van het filter en de afwerking van het boorgat. Meestal levert de stabiliteit van boorgaten geen problemen. Er zijn echter situaties waarin er kans op instabiliteit bestaat. Wordt het boorgat tijdens het boren of het inbouwen van de pompput instabiel, dan bestaat er kans dat het boorgat instort waardoor het project niet meer volgens plan kan worden uitgevoerd. Dit brengt hoge kosten met zich mee.

Voordat we gaan boren moeten we inschatten of er gevaar is voor instabiliteit van het boorgat. Daarbij moeten we rekening houden met de volgende risicoverhogende factoren:

- overdruk
- een hoge stijghoogte in het te doorboren pakket (spanningswater; kwelsituatie). Om bij normale omstandigheden het open boorgat in stand te houden is een overdruk van het water in het boorgat van ongeveer 2 m noodzakelijk. Deze overdruk wordt kunstmatig in stand gehouden door toevoeging van water (zie Hoofdstuk 6, Paragraaf 6.3.3). Bij spanningswater is deze overdruk soms niet voldoende
 - het voornemen om de boorspoeling met de daarin zwevende deeltjes te vervangen door reinwater of drinkwater om verstopping van de boorgatwand te voorkomen. Omdat hierdoor de dichtheid van de boorspoeling afneemt, neemt ook de vereiste overdruk van het water in het boorgat af
 - doorboring van een weinig geconsolideerde kleilaag bij een situatie met weinig overdruk.

De hierboven genoemde overdruk, die voor de stabiliteit van het boorgat moet zorgen, wordt vooral beïnvloed door:

- de dichtheid (soortelijke massa) van de boorspoeling. Deze dichtheid kan worden verhoogd door verzwarmiddelen aan de boorspoeling toe te voegen, maar dat doen we alleen als het echt niet anders kan (zie ook Hoofdstuk 15)
- het waterniveau in het boorgat, dat verhoogd kan worden door de mantelbuis te verlengen én de boorinstallatie omhoog te brengen
- de stijghoogten van het grondwater in de watervoerende pakketten tijdens de boring.

Een boorgat is stabiel zolang de druk in het boorgat (P_1) minstens gelijk is aan de minimale kritische horizontale gronddruk vanuit de bodem tegen het boorgat (P_2). Dit is geïllustreerd in Figuur 7-1. De druk in het boorgat is op iedere diepte uit te rekenen met:

$$P_1 = \rho * g * (z + h) \quad (7.3).$$

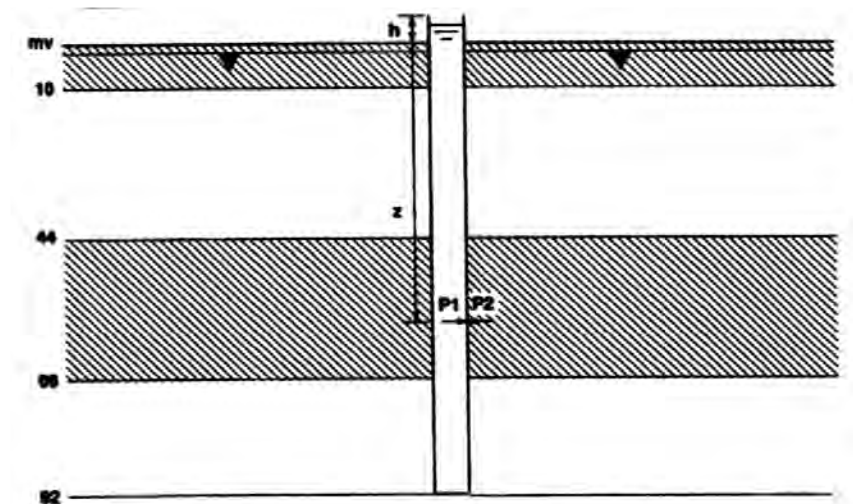
Waarin:

ρ = volumieke massa van de boorspoeling (kg/m^3)

g = versnelling door de zwaartekracht (m/s^2)

z = diepte beneden maaiveld (m)

h = hoogte van de booropstelling boven maaiveld (m)

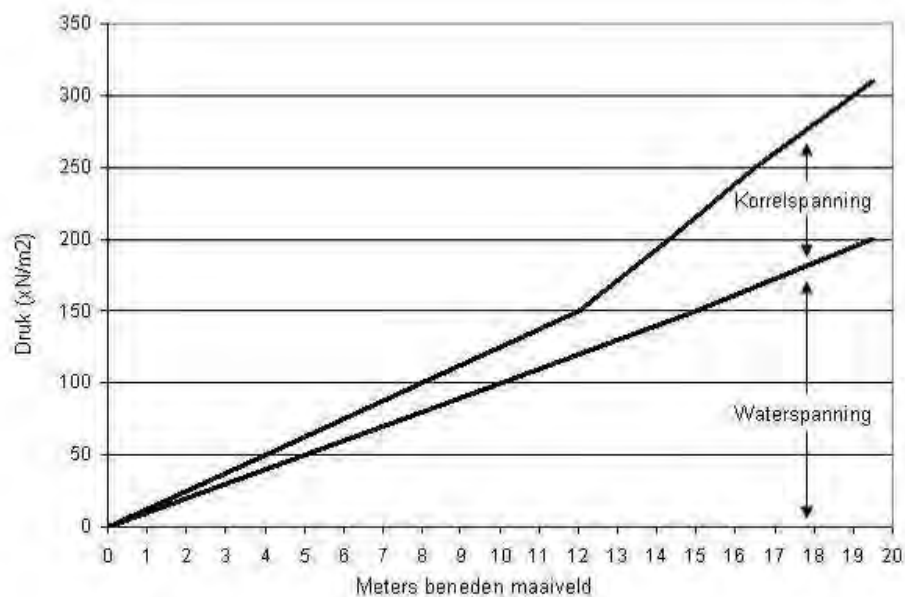


Figuur 7-1 Stabiel boorgat doordat $P_1 \geq P_2$

De horizontale 'gronddruk' van buiten (het boorgat) naar binnen (in het boorgat) tegen de boorgatwand is opgebouwd uit de waterspanning en horizontale korrelspanning. In de rest van deze bijlage zal worden ingegaan op de berekening van deze horizontale 'gronddruk'.

Het verzadigde deel van de grond is een systeem, bestaande uit korrels en water. Door het gewicht van de korrels drukken de bodembestanddelen op elkaar en ontstaat een spanning in de grond. De spanning in een verzadigde grond is opgebouwd uit korrelspanning en waterspanning. De korrelspanning en waterspanning samen wordt ook wel de grondspanning genoemd.

In Figuur 7-2 is een spanningsdiagram waarin waterspanning, korrelspanning en grondspanning zijn weergegeven.



Figuur 7-2 Spanningsdiagram

De grondspanning is opgebouwd uit de korrelspanning en waterspanning. Dit is weergegeven in onderstaande formule.

$$\sigma_t = \sigma_{kv} + p_w \quad (7.4).$$

waarin:

σ_t = grondspanning (kN/m²)

σ_{kv} = verticale grondspanning (kN/m²)

p_w = waterspanning (kN/m²)

Met onderstaande formule is de verticale grondspanning te berekenen in een pakket bestaande uit meerdere lagen.

$$\sigma_t = \rho_{t1} * g * d_1 + \rho_{t2} * g * d_2 + \dots + \rho_{tn} * g * d_n \quad (7.5).$$

Waarin:

ρ_t = volumieke massa van de verzadigde grond (kg/m³)

d_n = dikte van de n-de laag

De waterspanning is te berekenen met de volgende formule:

$$p_w = (\phi - z) * \rho * g \quad (7.6).$$

Waarin:

ϕ = stijghoogte (m)

ρ = volumieke massa van water (kg/m³)

Uit bovenstaande formules is de verticale korrelspanning op iedere diepte te berekenen.

Nu de verticale korrelspanning bekend is, kan de horizontale korrelspanning worden berekend. De grootte van de hoek van inwendige wrijving bepaalt voor een groot deel de horizontale korrelspanning. Vooral in kleilagen speelt daarnaast de cohesie een rol. De horizontale korrelspanning is te berekenen met (Advanced Soil Mechanics, B.M. Das, 1985):

$$\sigma_{kh} = \sigma_n \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right]^2 - 2 * c * \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (7.7).$$

Waarin:

σ_{kh} = verticale korrelspanning (kN/m²)

c = cohesie (kN/m²)

De horizontale druk op de boorgatwand (p_2) is dus gelijk aan:

$$p_2 = p_w + \sigma_{kh} \quad (7.8).$$

waarin:

σ_{kh} = effectieve horizontale kritische korrelspanning (kN/m²).

Met behulp van een spreadsheet is het mogelijk eenvoudig te berekenen op welke diepte instabiliteit van het boorgat op kan treden. Daar waar P_1 kleiner is dan P_2 zullen zich problemen kunnen voordoen met betrekking tot de stabiliteit van het boorgat.

7.3.2 Berekenen van zettingen en zakkingen

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 veengronden treedt, bij verlaging van de grondwaterstand, naast krimp ook altijd oxidatie op. Doordat 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 moeten we bedenken dat zowel de horizontale als de verticale heterogeniteit (heterogene gelaagdheid) tot zetting kan leiden, die sterk kan variëren. Het is dus verstandig om bij het berekenen van zettingen een veilige marge aan te houden.

De algemene zettingsformule van Terzaghi luidt:

$$Z = Z_{z+i} = \frac{d}{C} \ln \frac{\bar{\sigma}_k + \Delta\sigma_k}{\bar{\sigma}_k} \quad (7.9).$$

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 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. 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. In Tabel 7-1 zijn waarden van de samendrukkingsconstante C voor vier grondsoorten, zoals vermeld in diverse literatuur opgenomen.

Tabel 7-1 Samendrukkingsconstante C voor vier grondsoorten

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

Zettingsformules

We kunnen de zetting (als gevolg van bouwwerken), krimp en oxidatie berekenen 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.). In Kader 7-1 hebben we de algemene zettingsformule van Terzaghi weergegeven. Een meer volledige beschrijving van zetting wordt gegeven in *Bodemkunde van Nederland* (Deel 1, Hoofdstuk 20). Met behulp van de zettingsformules kunnen we bijvoorbeeld voor ieder knooppunt of iedere cel van een numeriek grondwatermodel de zetting berekenen.

Console Voor een aantal grondwatermodellen zijn (software-)modules beschikbaar waarmee we deze zetting kunnen berekenen. Een voorbeeld hiervan is Console (zie ook *Stromingen*, jaargang 1, nummer 1).

7.4 Berekenen van verblijftijden en responscurven

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

verblijftijden Een eerste schatting van de verblijftijden is mogelijk op basis van Formule 7.10, waarmee we de specifieke volumestroom q op een afstand r kunnen berekenen:

$$q = \frac{1}{2\pi} \text{diag}(kD) \sqrt{A} K_1(r\sqrt{A}) (Q./kD) \quad (7.10).$$

Hierin is:

q = specifieke volumestroom [$\text{m}^3/(\text{h m})$]

r = straal [m] (afstand vanuit as pompput tot aan boorgatwand)

K_0 = Bessel-functie

A = systeemmatrix

Q = debiet [m/d]

k = doorlatendheid [m/d]

D = dikte van de laag [m].

Om vervolgens de reistijden te berekenen moeten we de specifieke volumestroom delen door de pakketdikte en de porositeit. Daarbij moeten we er wel rekening mee houden dat een pakket doorgaans uit sublaagjes bestaat, die elk hun eigen stroomsnelheid bezitten. Hieronder hebben we een voorbeeld in Matlab® uitgewerkt.

Voorbeeld: uitwerking in Matlab® van specifieke volumestroom in watervoerend pakket.

De specifieke volumestroom, die we met Formule 7.4 berekenen, is in L^2/T , dus bijvoorbeeld in m^2/d . Als we stroomsnelheden willen berekenen moeten we de specifieke volumestroom delen door de pakketdikte en door de porositeit. Daarbij moeten we er wel rekening mee houden dat een pakket doorgaans uit sublaagjes bestaat, die elk hun eigen stroomsnelheid laten zien. Hier volgt een voorbeeld in Matlab®:

```
>> q = 1/(2*pi)*diag(kD)*sqrtm(A)*K1(100*sqrtm(A))*(Q./kD)
q =
    0.0208
    3.7781
    0.0141
```

responscurve 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 kunnen we verkrijgen door stroomlijnen te berekenen vanaf de pompputfilters tegen de stromingsrichting in. Het is daarbij belangrijk dat we weten hoe groot het debiet van elke stroombaan is. Vooral wanneer de pompputfilters over verschillende watervoerende pakketten verdeeld zijn, moeten we hieraan aandacht besteden.

numerieke modellen Voor het berekenen van de verblijftijden en responscurven kunnen we het beste gebruik maken van numerieke modellen; dan wordt er namelijk rekening gehouden met de ruimtelijke variatie. De meeste numerieke modelcodes bieden de mogelijkheid om stroombanen en verblijftijden te berekenen. Hierbij kunnen we vaak kiezen tussen voorwaarts (met de stroming mee) en achterwaarts (tegen de stroming in) berekenen van de stroombanen.

7.5 Rekenen aan ruwwaterkwaliteit bij verwachte bedreiging

Bij onderzoek naar puttenvelden wordt bij het ontwerp altijd een inschatting gemaakt van de verwachte ruwwaterkwaliteit. Extra aandacht voor de ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit is er als er sprake is van een mogelijke bedreiging van die kwaliteit. Deze bedreiging kan betrekking hebben op onder andere:

- risico op verzilting
- aanwezigheid van lokale en diffuse verontreinigingen.

In deze paragraaf behandelen we in het kort bovenstaande risico's en de verwachte kwaliteit van het ruwwater.

7.5.1 Verzilting

zout grondwater In een groot deel van Nederland bevindt zich op enige diepte zout grondwater. Door de verlaging van het grondwater, die een onttrekking met zich meebrengt, bestaat het risico dat zout grondwater vanuit de diepte toestroomt. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de geohydrologische opbouw nabij het geplande puttenveld. Het is raadzaam om van te voren rekening te houden met het risico van verzilting als er sprake is van één of meer van de volgende kenmerken ter plaatse van het geplande puttenveld:

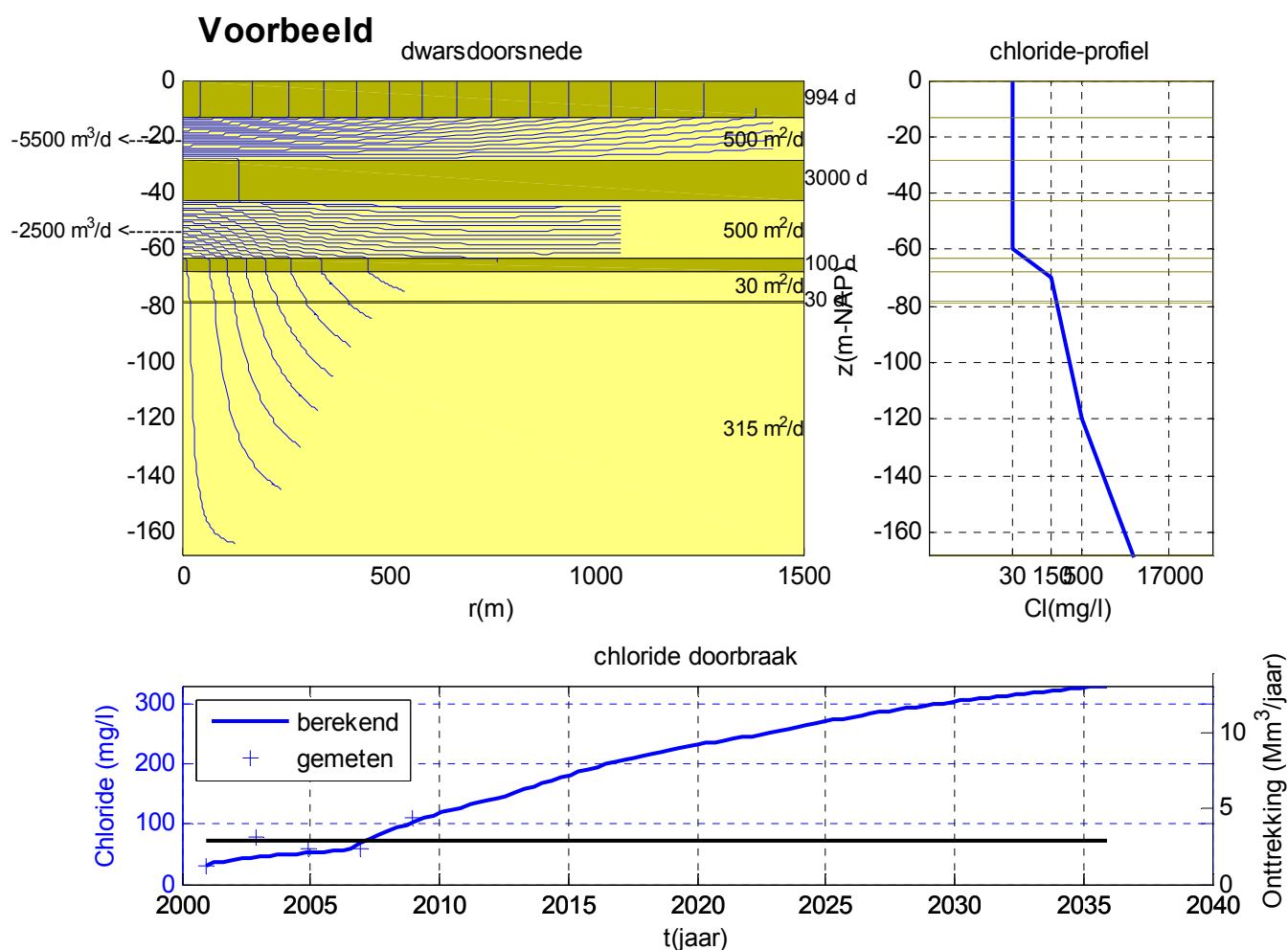
- het brakke of zoute grondwater bevindt zich op kleine afstand van de pompfilters
- het brakke of zoute grondwater bevindt zich in hetzelfde watervoerende pakket als de pompfilters, waarbij dus geen duidelijk gescheiden lagen aanwezig zijn
- de doorlatendheid van het watervoerende pakket beneden de pompfilters is groot.

Als we vermoeden dat we in de toekomst te maken zullen krijgen met verzilting, kunnen we een analytische of een numerieke berekening uitvoeren om de grootte van dit risico in te schatten. Om een succesvolle inschatting te kunnen maken is het belangrijk dat we inzicht hebben in de volgende parameters:

- de geohydrologische schematisatie (kD - en c -waarden), waarbij vooral de kD - en c -waarden van de lagen beneden de geplande pompputfilters van belang zijn
- het chlorideverloop over de diepte vóór het begin van de grondwaterwinning (gemeten tijdens een verkenningsboring) en het chlorideverloop beneden de pompputfilters
- een inschatting van het geplande onttrekkingsdebiet per jaar.

schatting-'tool' In opdracht van Brabant Water heeft het KWR in het kader van het maatwerkonderzoek 1999 de 'tool' Vlugzout ontwikkeld, waarmee we op eenvoudige wijze een eerste inschatting van het verziltingsrisico kunnen maken. Deze tool is gebaseerd op een radiaalsymmetrische stroming naar een onttrekkingsput in een meerlagensysteem. De tool is geschreven in Matlab® en is gebaseerd op de gegeneraliseerde formule van De Glee (zie Paragraaf 7.1.1). Figuur 7-3 geeft grafisch de berekende resultaten.

Is een nauwkeurigere inschatting wenselijk, waarbij ook rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld de ruimtelijke variatie en de dichtheidstroming, dan zullen we gebruik moeten maken van numerieke modellen die de berekening van deze parameters ondersteunen. Op dit moment is er voor de modelcodes Triwaco® en Modflow® de stationaire dichtheidsstromingsmodule Densepack® beschikbaar. Vervolgens is het mogelijk om met de Modflowmodule MT3Dense® niet-stationaire dichtheidsstromingen te berekenen.



Figuur 7-3 Resultaat van een berekening waarmee een eerste inschatting van het risico van verzilting wordt bepaald.

In de figuur linksboven is een dwarsdoorsnede gegeven van de bodem en het debiet dat onttrokken wordt. De stroming naar de put is weergegeven met stroomlijnen.

De figuur rechtsboven geeft inzicht van het verloop van het chloridegehalte over de diepte.

De onderste figuur geeft de onttrekking en het gemeten en berekende chloridegehalte van het onttrokken grondwater.

7.5.2 Verontreinigingen

Als in de omgeving van de geplande locatie lokale grondwaterverontreinigingen aanwezig zijn, moeten we eerst de risico's inschatten. Vaak beginnen we met een eenvoudige rekensom op basis van de Wet van Darcy, waarbij we op grond van het stijghoogteverloop, als gevolg van de te verwachten winning, een inschatting maken van de reistijd van het grondwater. Als een nauwkeurigere berekening is vereist, moeten we numerieke modellen toepassen.

7.5.3 Verwachte kwaliteit ruwwater

Om een inschatting van de ruwwaterkwaliteit te maken, nemen we door middel van verkenningsboringen monsters van het grondwater en onderwerpen we deze aan de vereiste chemische analyses. De informatie die we op deze wijze verkrijgen geven in combinatie met reeds beschikbare gegevens een beeld van de vorm en het voorkomen van de verschillende watertypen. Als we deze interpretatie combineren met het huidige stromingsbeeld en het stromingsbeeld, dat we in de toekomst verwachten, kunnen we een inschatting maken van de verwachte kwaliteit van het ruwwater. Ook een berekende

responscurve is hierbij een goed hulpmiddel. Vervolgens kunnen we afwegingen maken over de diepte en de pakketten waarin we het beste water kunnen winnen.

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 kunnen we bijvoorbeeld de vertraging van opgeloste stoffen door afbraak inschatten.

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
- het landgebruik / activiteiten aan maaiveld
- risico's die het landgebruik / de activiteiten met zich meebrengen (bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelengebruik)
- veranderingen van waterkwaliteit tijdens bodempassage

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 middelengebruik wijzigen. Voor het bepalen van de risico's is Respond te gebruiken.

Respond

Voor een uitgebreidere berekening van deze afbraak kunnen we eventueel gebruik maken van waterkwaliteitsberekeningen langs een representatieve stroombaan, uitgevoerd met bijvoorbeeld Phreeq (Parkhurst, 1995).

Phreeq

GT-rekenmodel Als een volledige inschatting van de ruwwaterkwaliteit noodzakelijk of wenselijk is, dan zouden we het door Deltares en KWR ontwikkelde Geïntegreerd Transportmodel (GT) kunnen toepassen. Het GT is een zeer complex rekenmodel waarbij de verkregen gegevens van de hydrologie, hydrochemie en geochemische opbouw van de ondergrond in één model worden samengebracht. Dankzij combinatie van al deze gegevens is het mogelijk een inschatting van de toekomstige waterkwaliteit te maken. Ook kunnen we in het GT-rekenmodel lokale bedreigingen (puntbronnen en diffuse bronnen) meenemen.

Easy Leacher® Tenslotte kunnen we voor oeverinfiltratie en kunstmatige infiltraties de ruwwaterkwaliteit met behulp van het spreadsheet-model Easy Leacher® inschatten (Stuyfzand, 1999).

7.6 Berekenen van de snelheid op de boorgatwand

Voor de dimensionering van het filter van een pompput is de toelaatbare (intree)snelheid op de boorgatwand het belangrijkste ontwerpcriterium. De maximaal toelaatbare snelheid wordt vooral bepaald om de kans op putverstopping te verkleinen. Voor pompputten kunnen we de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand berekenen met de formule van Sichardt:

Sichardt

$$q = \frac{\sqrt{k}}{15} \quad (7.11).$$

q is hierbij de maximale snelheid op de boorgatwand in m/s en

k is de horizontale doorlatendheid van de bodem in m/s.

De relatie tussen q en k is empirisch gevonden op basis van hydrologisch onderzoek aan een groot aantal pompputten. Hoewel de formule van Sichardt aanvechtbaar is, wordt zij bij gebrek aan beter veel gebruikt. Vaak wordt een extra zekerheid ingebouwd door k te delen door 30 in plaats van door 15. De reden hiervoor is dat de snelheid op de boorgatwand varieert over de gehele lengte van het filter.

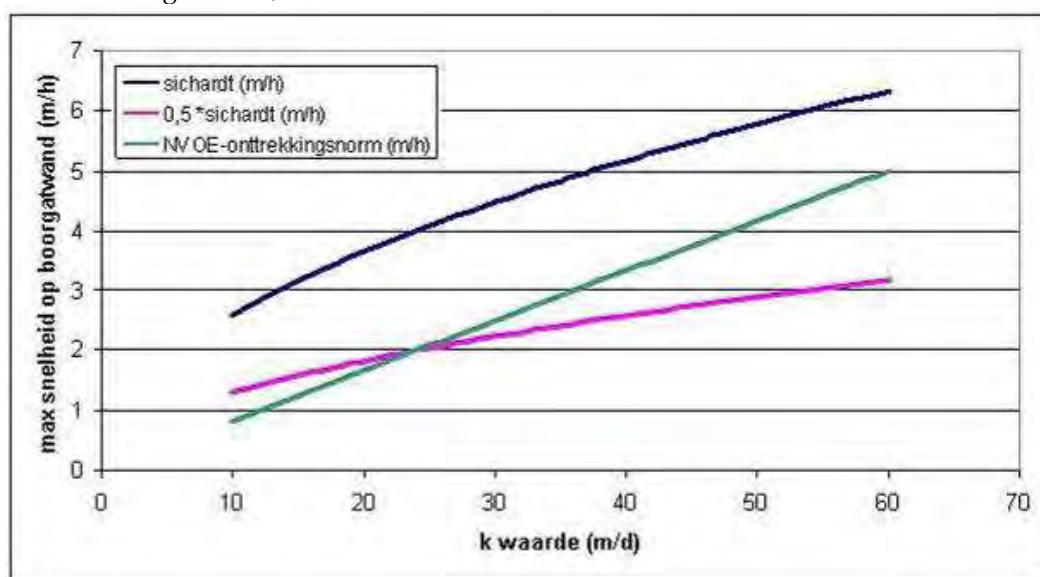
Voor de verticale bronnen van energieopslagsystemen worden de normen van de NVOE (Nederlandse Vereniging voor Energieopslag) gehanteerd. De NVOE-onttrekkingsnorm is als volgt:

$$v_{\max} = k / 12 \text{ (in m/h)}$$

$v_{\max}$ is hierbij de maximale snelheid op de boorgatwand

k is de horizontale doorlatendheid van de bodem in m/d.

Met beide formules wordt de snelheid op de boorgatwand berekend. De eenheid waarin deze snelheid wordt berekend is wel verschillend; de q die we met Sichardt berekenen is in m/s en de $v_{\max}$ volgens de NVOE is in m/h. De formule van de NVOE resulteert in lagere maximale snelheden dan berekend door middel van de formule van Sichardt. Bij k -waardes kleiner dan 25 m/d resulteert de NVOE-norm in maximale snelheden lager dan 0,5 keer de Sichardt waarde, bij k -waardes groter dan 25 m/d zijn de berekende snelheden hoger dan 0,5 keer de Sichardt waarde.



Figuur 7-4 Vergelijking van verschillende ontwerpnormen voor bepalen van de maximale snelheid op de boorgatwand

In de praktijk wordt er vaak toe gerekend naar een maximale waarde van 1 tot 2,5 m/h. De toelaatbare snelheid kan per winning sterk verschillen. Een hogere snelheid hoeft niet per definitie verstopping te veroorzaken.

Als we uitgaan van een bepaalde volumestroom en een bepaalde snelheid op de boorgatwand, dan kunnen we met formule 7.12 de benodigde oppervlakte (A) van de boorgatwand vinden.

$$Q = q \cdot A \quad (7.12).$$

Vervolgens kunnen we met formule 7.13 de diameter (D) van het boorgat berekenen.

$$A = \pi D \cdot L \quad (7.13).$$

Hierin is:

k = doorlatendheidscoëfficiënt [m/s]

Q = volumestroom [m³/h]

q = snelheid op de boorgatwand [m/h]

A = oppervlakte van de boorgatwand ter plaatse van het geplande filter [m^2]
 D = boorgatdiameter [m]
 L = onttrekkingslengte [m]. L = filterlengte + 2 m boven het filter + 2 m onder het filter.

Doorlatendheid De doorlatendheid (k) wordt meestal uitgedrukt in meter/dag. We geven hiermee aan hoe goed de bodem water doorlaat. De doorlatendheid is van verschillende factoren afhankelijk; de gemiddelde korrelgrootte, homogeniteit van de bodem, hoeveelheid fijne deeltjes (silt en lutum), vorm van de bodemdeeltjes. In het algemeen kan worden gesteld dat hoe groter de korreldiameter, hoe grover het materiaal, hoe groter de doorlatendheid.

7.7 Rekenen aan optimale putconfiguratie

Onder putconfiguratie verstaan we de verdeling van de pompputten over het terrein (puttenveld), de filterdiepte en het onttrekkingsregiem. In de praktijk bepalen we de putconfiguratie vaak op basis van kennis én ervaring. Hieronder geven we op de genoemde punten een korte toelichting.

ruimtelijke verdeling

Voor de afstand tussen de pompputten houden we gewoonlijk 100 tot 150 m aan. Men kan zich afvragen of deze afstand daadwerkelijk de meest optimale is. Om de afstand te berekenen of te onderbouwen kunnen we hier berekeningen aan wijden. Omdat het meestal om een aantal pompputten gaat zullen we hier vaak een numeriek of analytisch model voor gebruiken. Hierin kunnen we verschillende putconfiguraties met elkaar vergelijken, waarbij vooral de berekende verlaging van het waterniveau in de put (bepalend voor de opvoerhoogte en de plaats van de pomp), de effecten op de omgeving en het stromingsbeeld belangrijke beoordelingscriteria zijn.

filterdiepte

verblijftijd De te kiezen filterdiepte hangt voor het overgrote deel af van de geohydrologische opbouw ter plaatse van het puttenveld, doch varieert ook vaak per put, waardoor de filterdiepte pas na boring en vaststelling van de definitieve putopbouw kan worden bepaald. De vereiste minimumverblijftijd, die ook ontwerpcriterium kan zijn, kan van invloed zijn op de te kiezen filterstelling. Voor de berekening van verblijftijden verwijzen we naar Paragraaf 7.4.

Het filter moet ruim worden gesteld ten opzichte van kleilagen en veenlagen, op een afstand van minimaal 1 m. Bij niet-scheidende kleilaagjes of kleilenzen kan worden overwogen het filter door te trekken. Zo beperken we het aantal blinde delen. Ook blinde delen hebben immers dode hoeken. Dode hoeken zijn lastig bij het ontwikkelen van een put en bovendien kunnen er micro-organismen achterblijven wat kan leiden tot bacteriële besmetting. Maak de filters ook weer niet te lang om mengen van verschillende waterkwaliteiten te voorkomen. Wees eveneens bedacht op de aanwezigheid van 'racelagen'. Dat zijn lagen met voorkeursstroming, een stroming waarvan de snelheid aanzienlijk hoger is dan die in de omgeving.

onttrekkingsregiem

Met onttrekkingsregiem bedoelen we de daadwerkelijke bedrijfsvoering per put. We geven ermee aan welke hoeveelheid en met welke variatie grondwater wordt onttrokken. Optimalisatie van het onttrekkingsregiem blijft meestal beperkt tot een gemiddelde onttrekking per tijdseenheid. Optimalisatie van onttrekkingregiems kan wenselijk zijn als de omstandigheden of problemen op en rond het puttenveld daar aanleiding toe geven.

7.8 Keuze van programmatuur voor de modellering van grondwaterproblemen

grondwater-
modellen

De meest gedetailleerde beschrijving van de hydrologische effecten van pompputten en puttenvelden vindt plaats met een grondwatermodel, dat we al in diverse paragrafen noemden. Tegenwoordig zijn verschillende grondwatermodellen beschikbaar die elk hun specifieke kenmerken hebben. Grofweg kunnen we de modelcodes indelen naar analytische modellen (Mlaem) en numerieke modellen (Triwaco, Modflow en Microfem).

In principe kunnen beide typen modellen hetzelfde. Er zijn echter enkele kenmerkende verschillen:

- analytische modellen berekenen exact de stijghoogte en de stroming dicht bij de put. Het is mogelijk om onbeperkt in te zoomen
- numerieke modellen bestrijken daarentegen een veel groter ruimtelijk gebied
- bij de numerieke modellen kunnen we onderscheid maken tussen Eindige-Differentiëmodellen (rekenen m.b.v. rekencellen, zijnde rechthoeken) en Eindige-Elementenmodellen (rekenen m.b.v. eindige elementen, zijnde driehoeken). Het verschil tussen deze rekenmethoden is klein.

software-code

Voor het simuleren van de parameters, die in en rondom het puttenveld aanwezig zijn, moeten we een software-code (computerprogramma) kiezen. De keuze voor een grondwatercode zal uiteindelijk afhangen van de vraag of alle relevante parameters met de gekozen code kunnen worden gesimuleerd. Hieronder noemen we enkele parameters en een aantal eisen waar we rekening mee moeten houden bij het kiezen van de juiste programmatuur.

- Is er sprake van een stationaire of van een niet-stationaire toestand?
- Moeten we rekening houden met dichtheidsstroming?
- Is er sprake van een dikke onverzadigde zone?
- Moeten we rekening houden met de doorstroming van het oppervlaktewaterstelsel?
- Willen we in een later stadium stoftransport doorrekenen? Met welk pakket willen we dat dan doen?

modelleur

Bovendien hangt de keuze vaak ook af van de binnen het bedrijf aanwezige software en ervaring van de modelleur. In principe kunnen we met alle genoemde softwarepakketten grondwatervraagstukken in Nederland simuleren. Alleen bij specifieke situaties is het mogelijk dat we niet alle genoemde grondwatermodellen kunnen inzetten.

7.9 Hydraulische berekeningen voor terreinleidingen

In deze paragraaf behandelen we berekeningen voor de diameter van en drukverliezen in terreinleidingen. Voor de berekeningen voor pompen, vooral ten aanzien van de minimaal vereiste opvoerhoogte, verwijzen we naar Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.5.1.

ontwerp ruwwatertransportnet

investeringen

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 de benodigde transportenergie, maar des te groter de diameter van de transportleiding en daarmee de investering in deze leiding. Voor een volledige afweging van investeringen en energiekosten kunnen we zeer gedetailleerde berekeningen maken. Deze zijn verzameld in Kiwa-Mededeling 58 (commissie Distributie, 1979) en 59 (Vaessen, 1980); Huisman (1981, H₂O nr. 5) geeft hierop enkele aanvullingen.

berekeningen voor leidingen

Voor een eerste opzet voor het bepalen van de diameters en de benodigde pompkrommes kunnen met een aantal vuistregels toe.

Als eerste aanname voor de economische maximumsnelheid in een transportleiding kunnen we uitgaan van 1 m/s. Met behulp van deze snelheid en de vereiste maximum volumestroom kunnen we de diameter berekenen met de formule:

$$D = \sqrt{\frac{4 Q_{\max}}{\pi v}} \quad (7.14).$$

Hierin is:

D = inwendige leidingdiameter [m]

v = stroomsnelheid [m/s]

$Q_{\max}$ = maximale volumestroom [m³/s].

Op basis van de berekende diameter kunnen we voor de transportleiding een leverbare diameter kiezen.

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

$$\Delta H = \lambda \frac{8L}{\pi^2 g} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \quad (7.15).$$

Hierin is:

ΔH = drukverlies over de leiding [mwk]

λ = wrijvingscoëfficiënt volgens Colebrook

L = leidinglengte [m]

g = gravitatieconstante [m/s²]

Q = volumestroom [m³/s]

D = inwendige leidingdiameter [m].

De wrijvingscoëfficiënt (λ) kunnen we aan grafieken en tabellen ontlelen. Kiwa-Mededeling 14 (Huisman, 1969) geeft een overzicht van wrijvingscoëfficiënten bij verschillende

Colebrook watertemperaturen. De wrijvingscoëfficiënt die we met 'Colebrook' kunnen berekenen is nauwkeuriger. Als beginschatting kunnen we 0,03 aannemen.

De druk in het leidingsysteem kan bepaald worden 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 (Huisman, 1969).

7.10 Complexe berekeningsmethoden met behulp van programmatuur

Als er gedetailleerde informatie over opvoerhoogten, drukverliezen enzovoort vereist is, moeten er ook gedetailleerde berekeningen gemaakt worden. Door het leidingsysteem in een leidingnetmodel onder te brengen kunnen we elke mogelijke bedrijfsvoering doorrekenen. De opbrengsten hiervan resulteren in een zeer nauwkeurige analyse van de verschillende variabelen, zoals Q/H-relatie, beïnvloeding van pompputten onderling aan de perszijde en dergelijke.

ALEID96® Met behulp van ALEID96® is het mogelijk modellen te bouwen waarin de ongestoorde grondwaterstand als voorwaarde wordt gesteld en waarin verder alle relaties en installaties tussen de ongestoorde grondwaterstand en de zuivering meegenomen worden.

ALEID96® is een gebruikersvriendelijk programma waarmee leidingnetberekeningen van drinkwaterleidingnetten uitgevoerd kunnen worden. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen hydraulische berekeningen, waarbij druk en volumestroom berekend worden, en kwaliteitsberekeningen, waarbij naar de verdeling van inkomende hoeveelheden, concentraties en reistijden gekeken wordt.

Het programma kunnen we toepassen voor het oplossen van allerlei praktijkvraagstukken. Daarbij moeten we niet alleen denken aan het ontwerpen van nieuwe leidingen en pompstations, maar ook aan het optimaliseren van de bestaande bedrijfsvoering.

ALEID96® maakt hydraulische analyses van het opgegeven netmodel. Primair zijn dit berekeningen van drukken en volumestromen in het leidingnet voor de opgegeven tijdstippen. Maar het programma berekent ook afgeleide grootheden, zoals snelheid in leidingen, drukgradiënten en benodigd pompvermogen.

Het programma kan berekeningen uitvoeren van processen zowel op één tijdstip als op een aantal tijdstippen achter elkaar. De gebruiker van het programma kan de duur van de hydraulische tijdstap en de totale periode, waarin op de achtereenvolgende tijdstippen wordt gerekend, zelf bepalen. Voorwaarde voor een correcte hydraulische berekening is een samenhangend invoermodel, dat gebaseerd is op de waterbalans van het gebied.

8 Ontwerp: Pompput

In dit hoofdstuk hebben we gegevens verzameld die van belang zijn voor het ontwerpen van een verticale pompput. We beschrijven welke gegevens nodig zijn om zowel langs theoretische weg als op grond van praktijkervaring een pompput te ontwerpen. Bij het bespreken van de putonderdelen schenken we aandacht aan onder meer de beschikbaarheid, de afmetingen en de eisen die aan de constructie en de materialen worden gesteld. Verder gaan we in op de eisen die worden gesteld aan de boorgataanvulling, vooral het filtergrind, en de verschillende onderdelen van de pompputinstallatie die nodig zijn om de put volgens de gestelde eisen te kunnen exploiteren. Waar nodig en mogelijk zijn de genoemde formules en gemaakte beweringen onderbouwd en zijn veelgemaakte keuzes en veelgebruikte constructies als voorbeeld in de tekst opgenomen.

De onderwerpen die aan de orde komen zijn:

- hoe ontwerpen we een pompput?
- opbouw pompput
- waarnemingsfilters
- boorgataanvulling
- pompputinstallatie
- meet- en regelapparatuur.

samenvatting

Uitgangspunten om vanuit de theorie een verticale pompput te ontwerpen zijn een maximaal geaccepteerde snelheid q op de boorgatwand van 2,0 m/h tot 2,5 m/h, een vastgestelde filterlengte en een maximaal toelaatbare afpompings. Hiermee is de maximaal haalbare volumestroom Q vastgelegd en worden met behulp van de formule $Q = q \cdot A$ de afmetingen van de put berekend. In de praktijk werden, en worden nog steeds, pompputten ontworpen op basis van voorbeeldpompen die in de loop van de tijd op basis van ervaring zijn geoptimaliseerd. De hoofdonderdelen van de put zijn: putbodem, zandvang, filterbuis, stijgbuis, verloop, verwijde stijgbuis en putkopconstructie. De pompput wordt van pvc gemaakt omdat dit materiaal veel voordelen biedt en aan de gestelde eisen voldoet. Om de pvc-putelementen aan elkaar te verbinden wordt meestal een lijmverbinding gebruikt. In Nederland bevatten filterbuizen verticale sleuven met gangbare breedten van 0,6 mm tot 1,0 mm, afhankelijk van de korrelgrootte van het filtergrind die op zijn beurt afhankelijk is van de korrelgrootte van de watervoerende formatie. Als veilige maat voor de grootte van het filtergrind wordt $4 \times d_{75}$ van de fijnste watervoerende laag aangehouden. De putkopconstructie beschermt de put tegen verontreinigingen en weersinvloeden en zij moet voldoen aan de vereiste sterkte. Om het pompproces bij in bedrijf zijnde put in elk opzicht goed te kunnen volgen, is een scala van meet- en regelapparatuur in de put aangebracht.

8.1 Hoe ontwerpen we een pompput?

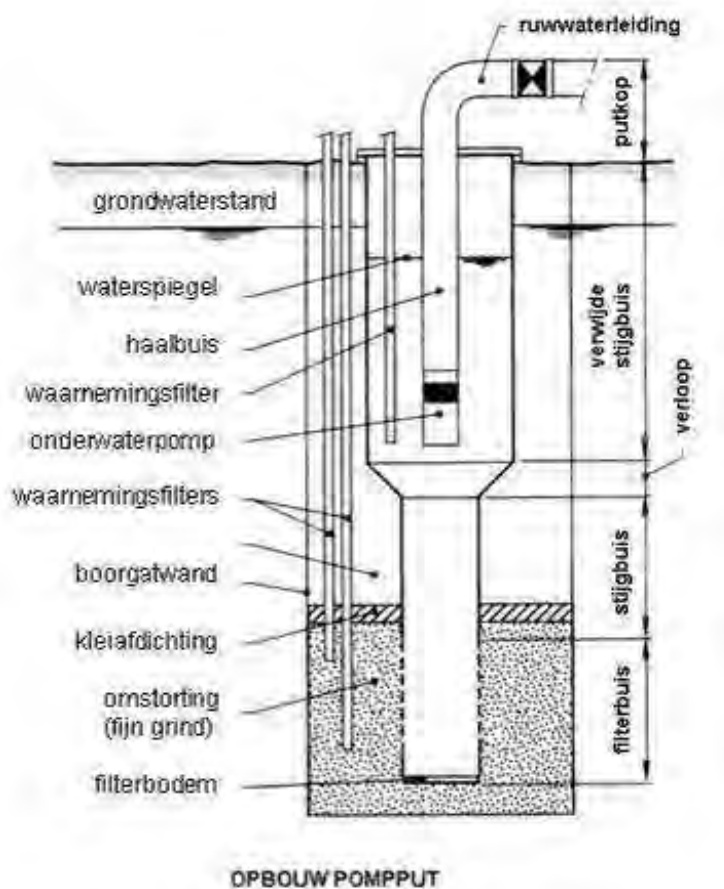
In deze paragraaf laten we zien hoe we op grond van theorie en aan de hand van praktijkervaring een pompput kunnen ontwerpen. Vooral van belang zijn de diameters van het boorgat en de filterbuis.

We gaan achtereenvolgens in op:

- theorie: ontwerpcriteria
- theorie: berekening diameters
- praktijk: voorbeeldpompputten
- praktijk: gebruikelijke putdiameters.

benaming
putonderdelen

Om te weten op welke onderdelen van de pompput de diverse termen betrekking hebben, is een tekening van een pompput met de benaming van de onderdelen opgenomen (Figuur 8-1).



Figuur 8-1 Naamgeving onderdelen pompput. (SBW, 1995)

8.1.1 Theorie: ontwerpcriteria

Uitgangspunt voor het ontwerp van een pompput is een bepaalde, gewenste volumestroom.

Belangrijke criteria bij het ontwerp zijn:

- maximaal geaccepteerde snelheid op de boorgatwand (keuze)
- maximale filterlengte, op basis van totale dikte van de beschikbare watervoerende lagen
- maximaal toelaatbare afpompings (keuze).

snelheid op de boorgatwand

De maximaal toelaatbare snelheid is afhankelijk van de aard en samenstelling van de watervoerende zandlaag en is daarom variabel (Kobus, 1972). Hoewel aanvechtbaar wordt de formule van Sichardt veelal gebruikt voor het berekenen van de maximale snelheid op de boorgatwand (§ 7.6).

filterlengte

De diameter van de filterbuis is afhankelijk van onder meer de lengte van de filterbuis. Bij ongewijzigde volumestroom kan de filterdiameter kleiner zijn als het filter langer is. De lengte van het filter wordt beperkt door onder andere:

- maximale lengte die de onttrekkingsvergunning voorschrijft
- maximale hoogte van het onttrekkingsgebied die de vergunning voorschrijft
- opbouw van de ondergrond waarin vaak goed- en slecht doorlatende lagen voorkomen; zo moet het filter ruim worden gesteld ten opzichte van kleilagen en veenlagen, op een afstand van minimaal 1 m
- redoxgrens (voorkom mengen van aeroob water en anaeroob water)
- het vóórkomen van fijne fracties in het watervoerende pakket, waardoor ongewenst zandtransport kan ontstaan
- grondwater met hoog chloridegehalte in de diepere ondergrond
- verontreiniging van de bovengrond, waardoor de filterlengte ook aan de bovenkant is begrensd.

afpomp

grondwater-
model

Op basis van de twee besproken criteria en een voorgeschreven maximaal toelaatbare afpomp kan de maximaal haalbare volumestroom worden berekend. De volumestroom kan worden berekend met behulp van hydrologische formules op basis van het superpositiebeginsel. Maar de volumestroom kan ook worden vastgesteld aan de hand van een hydrologisch grondwatermodel. Met dit model kan beter rekening worden gehouden met de geologie ter plaatse en met andere factoren die van invloed zijn op de afpomp, zoals de onderlinge afstand tussen de pompputten en de mate waarin de put onvolkomen is.

8.1.2 Theorie: berekening diameters

Voor de berekening van de diameter van het boorgat en de diameter van het filter maken we gebruik van bovengenoemde ontwerpcriteria en enkele formules die gebaseerd zijn op resultaten van experimenteel onderzoek.

diameter boorgat

Sichardt

Voor de dimensionering van het filter van een pompput is de toelaatbare snelheid op de boorgatwand het belangrijkste ontwerpcriterium. Voor pompputten kunnen we de maximaal toelaatbare snelheid berekenen met de formule van Sichardt (zie § 7.6). In Hoofdstuk 7, Paragraaf 7.6, zagen we dat we met de formules $Q = q \cdot A$ en $A = \pi D \cdot L$ de minimaal vereiste diameter van de boorgatwand kunnen berekenen. In Paragraaf 8.1.4 zijn enkele veelgebruikte waarden genoemd.

De keuze van de boorgatdiameter is niet alleen afhankelijk van de toelaatbare snelheid op de boorgatwand, maar ook van met name:

- kennis van de lokale waterwinplaatsen
- fijne gradatie van de zandfractie
- diepteligging van de watervoerende pakketten
- filterlengte in de watervoerende pakketten
- chemische samenstelling van het grondwater
- verlangde putcapaciteit.

zandtransport

Worden bij vergroting van de boorgatdiameter de volumestroom, de filterdiameter en de filterlengte niet aangepast, dan zal de snelheid op de boorgatwand kleiner worden. Gevolg hiervan is dat bij onttrekking van grondwater het transport van zand uit het watervoerende pakket sterk wordt verminderd en soms zelfs helemaal achterwege blijft.

annulaire ruimte

Om tijdens wateronttrekking het zandtransport van boorgatwand naar filter tegen te gaan, moet de annulaire ruimte en daarmee de diameter van het boorgat niet te klein worden gekozen. Op grond van ervaring houden we voor de annulaire ruimte meestal 125 mm tot 300 mm aan.

diameter filter

De diameter van het filter wordt in hoofdzaak bepaald door:

- de volumestroom
- de toelaatbare wrijvingsverliezen
- de intreeweerstand.

We zijn in staat om met bestaande formules uit de hydrologie de filterdiameters te bepalen. Maar in het algemeen berekenen we de diameters met de formule:
 filterdiameter = boorgatdiameter D - 2 x annulaire ruimte. Daarbij gaan we uit van de berekende boorgatdiameter en de gekozen annulaire ruimte.

In het algemeen worden de filterdiameters overgedimensioneerd. In Paragraaf 8.1.4 zijn enkele veelgebruikte waarden genoemd.

eisen aan boorgat

Aan het boorgat voor een pompput stellen we de volgende eisen:

- boring moet zuiver verticaal worden uitgevoerd
- boorgatwand moet tijdens het boren stabiel zijn
- diameter moet ruim voldoende zijn
- diameter moet over volledige diepte constant zijn
- er mag geen dichtsmering van de wand ter plaatse van het putfilter optreden.

Bij een grote boorgatdiameter verloopt de overgang van de ongeroerde grond naar het filter beter (vloeiender).

Ook bij de inbouw van de pompput heeft een ruim boorgat voordelen, zoals:

- minder kans op beschadigingen van de boorgatwand als de putconstructie wordt neergelaten
- nauwkeurige (en volledige) plaatsing van het aanvulmateriaal
- voldoende omstortingsdikte bij variërende boorgatdiameter
- minder problemen bij het aanvullen als het boorgat niet zuiver verticaal is.

Alternatieve omstorting (geen of dunne omstorting)

Tijdens het BTS onderzoek naar putverstopping zijn enkele putten aangelegd met een dunnere omstorting; de boorgatdiameter was gelijk, maar het filter was groter, waardoor een kleinere omstorting ontstaat. Het idee is dat hierdoor verstoppend materiaal op de boorgatwand beter kan worden verwijderd met regeneratie en dat de putten minder snel zouden verstopen. Tot nu toe zijn geen voordelen, maar ook geen nadelen van de dunnere omstorting gevonden. Na 8 jaar zijn zowel de 'gewone' als de alternatieve putten geregenereerd, de resultaten waren hetzelfde.

Ervaringen met putten zonder omstorting zijn zeer beperkt. Op een winlocatie van Oasen zijn een gepulste en een gezuigboorde put in gebruik zonder omstorting. Deze bronnen hebben een RVS wikkeldraadfilter waaromheen de formatie is ingestort en met sterke ontwikkeling een 'natuurlijke' omstorting is gecreëerd. Beide putten vertonen geen significant beter verstoppingsverloop of regeneratie-effectiviteit de reguliere gezuigboorde putten met omstorting.

Daarnaast worden ook HDDW's uitgevoerd zonder omstorting. In lopend onderzoek wordt hier veel aandacht aan besteed.

8.1.3 Praktijk: voorbeeldpompputten

In de praktijk worden pompputten vaak ontworpen op basis van enkele veelgebruikte pompputten die in de loop van de jaren op grond van ervaring zijn verbeterd. Omdat de dimensionering en lay-out van een pompput in hoge mate worden bepaald door de geologische opbouw ter plaatse van het wingebied, kunnen de pompputten van de verschillende waterleidingbedrijven behoorlijk van elkaar verschillen. Daarom beschikt elk waterleidingbedrijf over zijn eigen voorbeeldpompputten waar het op betrekkelijk eenvoudige manier nieuwe pompputten van afleidt.

voorbeeld Eén van die voorbeeldpompputten is goed voor een volumestroom van 100 m³/h en is als volgt gedimensioneerd:

- boorgatdiameter 700 mm
- pvc-filter: lengte 20 m, diameter 315 x 285 mm
- perforatie 0,8 mm
- annulaire ruimte 200 mm
- pvc-stijgbuis: diameter 315 x 285 mm
- verwijde pvc-stijgbuis: lengte 30 m, diameter 400 x 360 mm
- drukklasse filter- en stijgbuis: 12,5 bar, gebaseerd op praktijkervaring en op de mogelijkheid de pompputten te regenereren
- omstortingsgrind 1,0-2,0 mm
- aanvulgrind 2,0- 5,0 mm
- kleibrokken en/of bentoniet of gelijkwaardig materiaal.

8.1.4 Praktijk: gebruikelijke putdiameters

In Tabel 8-1 zijn voor verschillende putcapaciteiten de gebruikelijke diameters van filterbuizen, verwijde stijgbuizen en boorgaten vermeld. De afmetingen zijn hoofdzakelijk gestoeld op praktijkervaring.

Tabel 8-1 Relatie putcapaciteit en diameter filterbuis en boorgat.

Capaciteit pompput	Filterbuis; drukklasse (inwendige diameter)	Verwijde stijgbuis; drukklasse (inw. diam.)	Boorgat
14 l/s; 50 m ³ /h	200 mm; 10 bar	300 mm; 10-12,5 bar	500 – 600 mm
20 l/s; 70 m ³ /h	250 mm (uitw.); 10 bar	355 mm; 10-12,5 bar	500 - 600 mm
28 l/s; 100 m ³ /h	300 mm; 12,5 bar	400 mm; 7,5 12,5 bar	600 - 700 mm
56 l/s; 200 m ³ /h	400 mm; 12,5 bar	500 mm; 10-12,5 bar	700 - 1000 mm

Stijgbuizen, zandvang en blindstukken hebben over het algemeen dezelfde diameter als de filterbuis.

blindstukken Tijdens het ontwerp van de put of tijdens het vaststellen van de definitieve stelstaat kan het nodig zijn in het onttrekkingstraject één of meer blindstukken op te nemen.

bezwijkdruk Bij het ontwerpen van een pompput speelt de uitwendige druk een grote rol. De put moet bestand zijn tegen de grootste druk die kan worden verwacht. Een putbuis wordt dan ook ontworpen voor een bepaalde bezwijkdruk. 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 waterleidingbuizen meer van belang dan voor pompputten. Bij een buis is de inwendige bezwijkdruk (aangegeven door drukklasse) groter dan de bijbehorende uitwendige bezwijkdruk (zie onderstaande tabel).

Tabel 8-2 Drukklasse met bijbehorende bezwijkdruk

drukklasse	bezwijkdruk (uitwendig)
7,5 bar	1,8 bar
10,0 bar	4,4 bar
12,5 bar	8,7 bar

8.2 Opbouw pompput

In deze paragraaf beschrijven we aan welke eisen het materiaal, de onderdelen van de pompput en de verbindingen van de put moeten voldoen. Enkele veel gemaakte keuzes en veel gebruikte constructies hebben we als voorbeeld in de tekst opgenomen.

Bij de beschrijving van de opbouw van de pompput gaan we achtereenvolgens in op:

- materiaal waarvan de put wordt gemaakt
- onderdelen van de pompput
- perforatie van het filter
- eisen aan de verbindingen
- soorten verbindingen.

8.2.1 Materiaal

pvc

Tegenwoordig worden de meeste pompputten van pvc (poly-vinyl-chloride) gemaakt. Pvc heeft veel voordelen en voldoet aan de uiteenlopende eisen die aan het putmateriaal worden gesteld. Pvc:

- is ongevoelig (inert) voor veel chemische stoffen, zoals verontreinigingen en regeneratie- en schoonmaakmiddelen, en bacteriologische invloeden
- is gemakkelijk te bewerken
- is goed te lijmen
- is als montagemateriaal gemakkelijk en snel te monteren
- levert waterdichte verbindingen op, mits goed verlijmd
- is als buismateriaal tot een lengte van 5 m (inclusief tromp) verkrijgbaar. Op speciaal verzoek zijn ook pvc-buizen, zowel filterbuizen als stijgbuizen, van 10 m lang leverbaar
- is als buismateriaal voldoende sterk, bij zowel montage als exploitatie
- is relatief goedkoop
- van pvc bestaat een productcertificaat (KIWA-ATA).

Er wordt expliciet afgeraden om voor de pompput, de onderdelen en de verbindingen ander materiaal dan pvc of rvs te gebruiken. Gebruik van ander materiaal, zoals gecoat staal, asbestcement of hout, heeft op den duur lek als belangrijkste risico. Bij het trekken van de pomp kan asbestcement lek raken als gevolg van stoten.

Het enige nadeel van pvc is dat als de putafsluiter niet geopend is vóór het starten van de pomp de putbuis als gevolg van kokend water verweekt. In het ergste geval gaan dan zowel pomp als put verloren.

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 (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.5). Indien nodig wordt er vooraf een sterkteberekening ten behoeve van de te kiezen pvc-buis uitgevoerd, waarbij rekening wordt gehouden met de verwachte stijghoogten.

silodruk

De uitwendige druk op de buiswand, die optreedt nadat het boorgat tot pompput is afgewerkt, kunnen we berekenen met de theorie van de silodruk.

rvs

Behalve van pvc worden pompfilters soms van rvs gemaakt. Rvs-filters worden hoofdzakelijk voor kleine pompputten toegepast. 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. Rvs wordt gebruikt als de put bestand moet zijn tegen extra mechanische krachten, anders wordt altijd pvc gebruikt.

Het grote nadeel van rvs is dat het duurder is dan pvc. Bepaalde typen rvs kunnen ook gevoelig zijn voor regeneratiemiddelen.



Foto 8-1 Een roestvaststaal (rvs) wikkeldraad filter

Materialen als hout, aardewerk/porselein, koper, beton en asbestcement worden praktisch niet meer voor waterwinputten toegepast.

8.2.2 Onderdelen van de pompput

Hieronder beschrijven we de belangrijkste onderdelen van een pompput, te weten, op volgorde van onder naar boven: de putbodem, de zandvang, het filter, de stijgbuis, het verloop, de verwijde stijgbuis en de putkopconstructie.

putbodem

pe en hout

Een putbodem is een stevige ronde plaat die aan de onderkant van de put wordt bevestigd. De putbodem voorkomt dat er zand en omstortingsmateriaal in de filterbuis terechtkomen. Meestal is de putbodem van pe (polyethyleen) en soms van hout voor de kleinere pompputten. De bodem van pe wordt in de buis gelijmd. Deze bodem heeft de voorkeur, omdat bij een bodem van hout de kans op bacteriegroei groter is. Als we een houten bodem toepassen, moeten we eisen stellen aan de kwaliteit van het hout.

zandvang

Een zandvang is het onderste 1-m lange blinde deel van de put. De zandvang vangt tijdens exploitatie van de put uitzakkend materiaal uit de formatie op. Op deze manier wordt voorkomen dat het materiaal het onderste deel van het filter vult, waardoor een deel van het kunnen met het ruwwater worden opgepompt, wat kan leiden tot onder andere chloroform. Om problemen te voorkomen moeten we dus de zandvang na regeneratiewerkzaamheden reinigen.

De hoeveelheid zand die de zandvang kan opvangen is uiteraard begrensd door zijn lengte en diameter. Voor een pompput die zand blijft geven betekent dit dat de zandvang maar tijdelijk soelaas biedt.

In formaties waar een langere filterlengte wordt toegepast is een zandvang niet nodig als het gedeelte van het filter dat door het uitzakkende zand onbruikbaar wordt naar verhouding te verwaarlozen is, als er al sprake is van verlies aan filterlengte. De zandvang is zeker niet nodig als we bij deze langere filterlengte kijken naar de procentuele vermindering van de hoeveelheid onttrokken grondwater.

Ook als we de juiste perforatie en filteromstorting hebben gekozen is een zandvang niet nodig (zie Paragraaf 8.4.1). We moeten dan wel voldoende zorg besteden aan het ontwikkelen van de pompput (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.6).

Anders dan in het verleden passen we tegenwoordig een zandvang dus steeds minder vaak toe.

filter

De lengte van het filter (bij een verticale put) wordt bepaald door de dikte van het watervoerende pakket. Het filter kan bestaan uit één buislengte of uit een aantal buislengten die aan elkaar zijn verbonden. De buislengten kunnen op maat tot maximaal 5 m lang (inclusief tromp) worden besteld. Op verzoek zijn ook pvc-filterbuizen van 10 m lang leverbaar.

Aan het filter stellen we de volgende eisen:

- het moet voldoende sterk zijn
- het moet de formatie tegenhouden en het te winnen water doorlaten
- de intreeweerstand moet zo klein mogelijk zijn.

In Nederland wordt meestal gebruik gemaakt van pvc filters met verticale filterspleten. Daarnaast zijn ook filters met horizontale filterspleten en wikkeldraadfilters mogelijk.

Type Filter	Voordelen	Nadelen
Verticale filterspleten	Sterk: kan meer trekkracht aan, en minder kwetsbaar bij vervoer en inbouwen.	Minder goed te regenereren m.b.v. hogedrukreiniging
Horizontale filterspleten	Beter te regenereren m.b.v. hogedrukreiniging vanwege de vorm van de filterspleten	Borstelen werkt niet goed Sectiegewijs afpompen lukt niet goed: door de ribben kunnen secties niet goed afgesloten worden Kwetsbaarder
Wikkeldraad (standaard bij rvs, maar kan ook in pvc)	Groot open oppervlak bij een fijne filterspleet: - gunstig bij winning uit dun watervoerend pakket door kleinere intreeweerstand - effect van regeneratie (middels jetten) dringt verder door in de omstorting	Duurder

vaste
omstorting

De meest toegepaste filters bestaan uit geperforeerde pvc-buizen. Voor fijnzandige formaties worden ook wel geperforeerde pvc-filterbuizen met een voor(of aan-)geplakte omstorting gebruikt. Deze filterbuizen met vaste omstorting worden geleverd met een maximale lengte van 2,50 m (inclusief tromp).

stijgbuis

Een stijgbuis bestaat uit niet-geperforeerde buislengten die aan elkaar zijn verbonden. De stijgbuis dient voor het verticale transport van het onttrokken grondwater. De stijgbuis wordt aansluitend op de filterbuis aangebracht en bevindt zich in die formaties waaraan geen grondwater mag worden onttrokken. De diameter van de stijgbuis mag nooit kleiner zijn dan de diameter van het pompfilter, want als er werkzaamheden aan het filter moeten worden uitgevoerd moet de noodzakelijke apparatuur kunnen passeren. We moeten dan denken aan toestellen voor het schoonpompen van de pompput en, in een later stadium, aan regeneratieapparatuur.

optromping

verloop

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 moeten we de wanddikte van het

buismateriaal waarvan de tromp wordt gemaakt zo kiezen dat na optromping nog wordt voldaan aan de sterkte die wordt vereist.

verwijde stijgbuis

onderwater-
pomp

De verwijde stijgbuis wordt gemonteerd tussen de stijgbuis 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 - bij toepassing van een flensverbinding in plaats van een draadverbinding - de diameter van de flens. 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 niet te klein te nemen.

De lengte van de verwijde stijgbuis wordt bepaald door:

- de heersende grondwaterstand
- de laagste stijghoogte die in de toekomst wordt verwacht
- de in acht te nemen waterkolom van minimaal 3 m boven de zuigopening van de onderwaterpomp
- een veiligheidsmarge.

8.2.3 Perforatie van het filter

Om het grondwater in de put toe te laten wordt de filterbuis van perforatie voorzien. De eisen waar de perforatie aan moet voldoen zijn al in de vorige paragraaf bij 'filterbuis' genoemd.

De perforatie kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Tegenwoordig wordt meestal sleufvormige perforatie toegepast. We onderscheiden verticale sleuven die evenwijdig aan de lengte-as van het filter zijn aangebracht en horizontale sleuven die loodrecht op de lengte-as zijn aangebracht. De Nederlandse pompputten voor de drinkwaterproductie worden in het algemeen uitgerust met filterbuizen die van verticale sleuven zijn voorzien.

verzwakking

Voordeel van filterbuizen met horizontale 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 perforatie in de richting van de lengte-as een verzwakking vertoont. Hiermee moet tijdens de inbouw van de put en bij uit en inbouwen van de pomp rekening worden gehouden, vooral als de massa van de hele putconstructie aan de laatst aangebrachte filterbuis hangt.

Bij de filterbuis met verticale sleuf is deze verzwakking aanzienlijk kleiner. Nadeel van de filterbuis met verticale sleuven is dat zij minder weerstand kan bieden tegen de druk van de formatie, waardoor de kans op indrukken groter is. Dit is overigens alleen bij de aanleg het geval.

De breedte van de perforatie is afhankelijk van de korrelmaat van de aanliggende formatie (zie Paragraaf 8.4.1). Gangbaar zijn sleufbreedten van 0,6 mm tot 1,0 mm. Sleuven smaller dan 0,6 mm leiden gauw tot mechanische verstopping, terwijl sleuven breder dan 1,0 mm weinig voorkomen omdat op de meeste plaatsen de aanliggende bodemformatie, via de filteromstorting van grind, geen grotere maat toestaat.

doorlaat-
percentage

De filterbuizen met sleufbreedten van 0,6 mm tot 1,0 mm hebben een doorlaatpercentage (open oppervlakte) van 7% tot 11%. Deze percentages gelden voor de buitenzijde van de filterbuis. Het netto doorlaatpercentage is echter kleiner, want die wordt bepaald door:

- de wanddikte van de filterbuis, want deze is van invloed op de sleuflengte. In de lengtedoorsnede vertoont de filterbuis ter plaatse van de zaagsnede, die met een cirkelzaag wordt gemaakt, een afschuining die toeneemt naarmate de wanddikte groter is. Hierdoor is de sleufopening aan de binnenkant kleiner

- de maat van het omstortingsmateriaal. Het omstortingsmateriaal dat zich voor de sleuf bevindt, verkleint de doorlaatoppervlakte aan de buitenzijde. Hoe fijner dit materiaal is, des te kleiner de doorlaatoppervlakte wordt. In de praktijk blijkt de intreeweerstand verwaarloosbaar te zijn, waardoor het doorlaatpercentage niet relevant is.

8.2.4 Eisen aan de verbindingen

Aan de verbinding van de putelementen stellen we de volgende eisen:

- de inwendige diameter van de put mag niet worden verkleind
- de uitwendige diameter van de put moet zo weinig mogelijk groter zijn dan de buitendiameter van de buis
- de verbinding moet op het werk vlot kunnen worden gemaakt
- 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 waterdicht zijn om de kans op bacteriologische besmetting en het aantrekken van verontreinigd water te verminderen
- de verbinding moet zanddicht zijn
- de verbinding moet aan hygiënische eisen voldoen; zij mag bijvoorbeeld bij toepassing van lijm niet door de lijm worden aangetast.

Hieronder maken we nog een paar opmerkingen over de eerste vier eisen. De laatste vier spreken voor zich.

De inwendige diameter van de put mag niet worden verkleind, omdat in verband met noodzakelijke werkzaamheden in de put apparatuur met dezelfde diameter als de putdiameter de verbinding moet kunnen passeren.

holtes

De uitwendige diameter mag niet te groot worden anders wordt de ruimte tussen de boorgatwand en de putconstructie te nauw. Dit is van belang bij het aanvullen van het boorgat (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.5). Door een vernauwing bestaat het risico dat de aanvulling onder een verbinding onvolledig plaats vindt 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.

Vooraf 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. De verbinding moet het verlies aan filteroppervlakte zo klein mogelijk houden. Bij het doorlaatpercentage dat filterfabrikanten opgeven is geen rekening gehouden met de toepassing van verbindingen. Bij het maken van een put moeten we daar wel rekening mee houden.

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 uiteraard afhankelijk van de stijghoogte van het grondwater in het boorgat, want in water is het te dragen gewicht kleiner.

8.2.5 Soorten verbindingen

Bij pvc-buizen voor pompputten kunnen we de volgende soorten verbindingen onderscheiden:

- schroefdraadverbinding
- trekvast verbinding
- lijmverbinding (opgetrompt)¹.

¹ Zie *Boormeester I (diepboringen)*, SBW-cursus, Gouda 1997; in paragraaf 'Verbindingen', blz. 195-197, wordt ingegaan op onder meer de voordelen en de nadelen van lijmverbindingen.

schroefdraadverbinding

Bij pompputten kunnen we kiezen uit twee vormen van schroefdraad: 'trapezium'-schroefdraad en 'kordel'-schroefdraad, 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. Geen van beide leidt tot vernauwing van de binnendiameter.

Kordel-schroefdraad is een ronde draad. Hij 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. Daarom wordt toepassing van de kordel-schroefdraad sterk afgeraden, omdat met dit type schroefdraad geen waterdichte verbinding kan worden gegarandeerd. Pvc-lijm gebruiken is ook geen oplossing, omdat de lijm zeer snel verhardt en vaak al hard is voordat de twee buiseinden geheel in elkaar zijn geschroefd.

trekvaste verbinding

moffen 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 we op het werk aanbrengen of als trekvaste buis bij de fabrikant bestellen. De lijmbus is voorzien van één of twee groeven waarin we, na montage van de verbinding, pezen of borgsnoeren slaan, waardoor de gewenste trekvastheid ontstaat. De waterdichte afsluiting geschiedt door middel van rubberen profielringen. Deze trekvaste buisverbinding voldoet aan de gestelde eisen, maar wordt voor putconstructies niet toegepast. Er zijn goedkopere alternatieven aanwezig.

lijmverbinding

tromp en spie Voor pompputten zijn lijmverbindingen gangbaar. In het algemeen gebruiken we een buis met tromp en spie. De tromp is het aan de buis gevormde verwijde gedeelte. Bij het maken van de verbinding maken we eerst de te lijmen delen vetvrij, vervolgens worden de te verbinden delen met pvc-lijm ingesmeerd en wordt direct daarna de spie in de tromp van de andere buis geschoven.

lijm Vanuit de lijm kunnen stoffen afgegeven worden 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 opgelet worden 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) afgeven aan het water.

8.3 Waarnemingsfilters

Samen met de putconstructie bouwen we meestal ook een aantal waarnemingsfilters in. Waarnemingsfilters passen we toe om:

- mate van verstopping van de put te controleren (zie Hoofdstuk 15, Paragraaf 15.2)
- grondwatermonsters te nemen voor het beoordelen van de kwaliteit van het grondwater (zie Hoofdstuk 16, Paragraaf 16.3)
- de stijghoogte van het grondwater ter plaatse van de put te bepalen (zie Hoofdstuk 16, Paragraaf 16.2). Zo kunnen de filters ook informatie leveren bij afpompingsmetingen.

Om de toestand van de put te kunnen controleren is het gebruikelijk om in de omstorting in het filtertraject zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde een waarnemingsfilter te stellen. De perforatie van het waarnemingsfilter is aangepast aan de perforatie van het pompfilter.

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.

Als een put niet uit één filter is opgebouwd maar uit een aantal filters, die in verschillende watervoerende lagen zitten, worden er per filtertraject één of twee waarnemingsfilters gesteld, en wel één als de filters bestemd zijn voor afpompingsmetingen en twee als de filters bestemd zijn voor kwaliteitsmetingen (monsternemingen).

De lengte van de gebruikte waarnemingsfilters is over het algemeen 2 m en de inwendige diameter 25 mm of 57 mm.

Voor waarnemingsfilters, die we (ook) voor monsternemingen gebruiken, kunnen we beter een filter met een inwendige diameter van minimaal 52 mm kiezen. Dan kunnen we een onderwaterpompje in de buis laten zakken. Een dergelijk pompje is in elk geval nodig als de grondwaterstand dieper is dan 7 m beneden maaiveld.

De filters moeten ook geschikt zijn om drukopnemers in te kunnen hangen.

Drukmetingen kunnen gebruikt worden om verstopping van de put te detecteren, zie hoofdstuk 15, paragraaf 15.2.

8.4 Boorgataanvulling

In deze paragraaf beschrijven we de gebruikelijke materialen waarmee een boorgat wordt aangevuld en de eisen die aan deze materialen worden gesteld. Enkele veel gemaakte keuzes hebben we als voorbeeld in de tekst opgenomen. De paragraaf hebben we ingedeeld naar de volgorde waarin de drie gangbare soorten aanvulmaterialen worden aangebracht:

- filtergrind
- klei
- aanvulgrind
- uitkomend materiaal.

8.4.1 Filtergrind

Het filtergrind vormt de overgangszone tussen de ongeroerde lagen waar het grondwater aan zal worden onttrokken en het gestelde filter.

enkelvoudig/
meervoudig De grindomstorting rondom de filterbuis kan enkelvoudig of meervoudig worden uitgevoerd. De enkelvoudige omstorting bestaat uit een laag van één maat filtergrind en de meervoudige omstorting uit meer lagen van elk een bepaalde maat filtergrind. Sinds de tijd dat we voornamelijk onverbuisd boren passen we meervoudige omstortingen praktisch niet meer toe, hoewel dit bij een gelaagde opbouw van het winpakket wel is aan te raden om verstopping op de boorgatwand te voorkomen.

vaste omstorting Een meervoudige omstorting kan bestaan uit een filterbuis met voor- of aangeplakte grindomstorting waar omheen een laag los filtergrind wordt aangebracht. Hiermee kan de overgang tussen een watervoerend pakket met grove korrels en het pompfilter worden overbrugd. Ook filters met vaste omstorting worden bijna nooit (meer) toegepast.

geen omstorting Toepassing van een zeer dikke omstorting, met een dikte van meer dan ongeveer 30 cm, werkt contraproductief. Bij een toenemende dikte van de omstorting wordt het steeds moeilijker de opgewekte krachten in de put, bijvoorbeeld bij jutteren, op de boorgatwand over te brengen. Daarom wordt een niet al te dikke omstorting aanbevolen, zodat de krachten gemakkelijker op de boorgatwand kunnen worden overgebracht, wat een voordeel is bij het ontwikkelen of het regenereren van de put. Een nadeel van een dunne omstorting of geen omstorting is het verhoogde risico op zandlevering. Bovendien is een omstortingsdikte van minder dan ongeveer 15 cm moeilijk te realiseren.

In Nederland zijn enkele putten gemaakt zonder omstorting, ook wel natuurlijke omstorting genoemd. Men hoopte dat deze putten minder snel zouden verstoppem, maar tot nu toe vallen de resultaten tegen. Uit een eerste onderzoek, dat Oasen heeft uitgevoerd bij putten met natuurlijke omstorting, blijkt dat deze even snel verstoppem als putten met omstorting. Er is in Nederland echter te weinig ervaring opgedaan met of te weinig onderzoek verricht aan putten met natuurlijke omstorting om te kunnen concluderen dat deze putten niet of minder geschikt zijn voor onze drinkwaterwinning.

Hieronder gaan we verder in op doel en korrelgrootte van het grind van de enkelvoudige los-grindomstorting.

doel

Doel van de filteromstorting is een zone te scheppen met veel relatief wijde kanalen, waarin de weerstand voor het grondwater zo klein mogelijk is, terwijl de weerstand tegen zandverplaatsing zo groot is dat de ontzanding van de omringende bodemformatie binnen de perken blijft.

omstortdikte De dikte van de filteromstorting moet zo worden gekozen dat zowel de fijnste gronddeeltjes als de achtergebleven deeltjes van de boorspoeling uit de omringende formatie kunnen worden verwijderd. Bij normaal bedrijf mag er zo goed als geen zand worden meegevoerd. De dikte van de filteromstorting dient minimaal 12,5 cm en maximaal 30 cm te zijn.

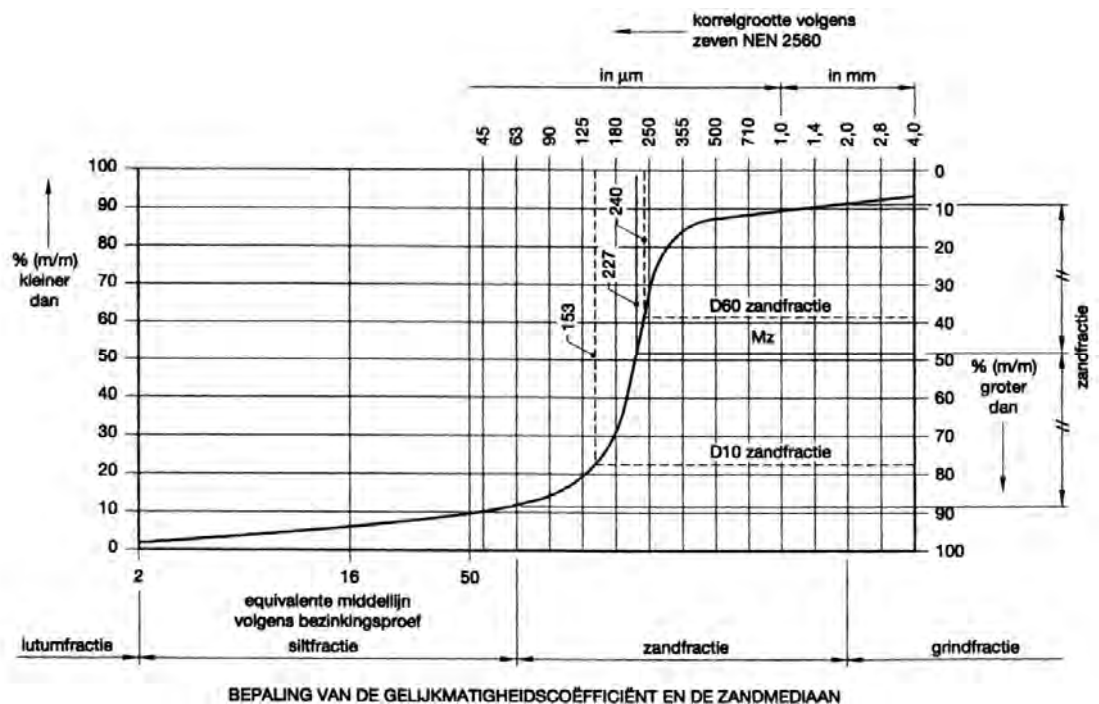
zandvrij Om de put (praktisch) zandvrij te houden zijn niet alleen de perforatie van het filter en de bijbehorende omstorting van belang, maar ook de zorgvuldigheid waarmee de put wordt ontwikkeld en de snelheid waarmee het water tijdens bedrijf door de omstorting stroomt. Het ontwikkelen/ontzanden gebeurt bij voorkeur met een groter pompdebiet dan de ontwerpcapaciteit van de put.

korrelgrootte

perforatie We kiezen filtergrind met een korrelgrootte die past bij het formatiemateriaal. Op haar beurt stemmen we de perforatie van het filter af op de korrelgrootte van het filtergrind. Om de perforatie en de korrelgrootte van het filtergrind te kunnen vaststellen moeten we eerst een proefboring uitvoeren om de bodemopbouw vast te stellen en de korrelgrootteverdelingen (zeefkrommen) van de watervoerende pakketten te bepalen² (zie Figuur 8-2). Het is raadzaam om voor een schone-grondverklaring een milieutechnisch bodemonderzoek volgens NEN 5740 te laten uitvoeren (NEN 5740, *Bodem. Onderzoeksstrategie bij verkennend onderzoek*).

⁷ In geval van een verder grofzandig watervoerend pakket kan besloten worden ter plaatse van een fijnzandig deel een blindstuk in het filter te plaatsen, maar het filtergrind door te laten lopen ([deze voetnoot eenmalig in par. 8.4.1 opnemen](#))

² Zie voor uitleg van korrelgrootteverdeling SBW-cursus *Boormeester I (diepboringen)*. Hoofdstuk 4 van deze cursus behandelt het classificeren van grondmonsters, waarbij ook begrippen als fracties, zandmediaan en gelijkmatigheidscoëfficiënt aan de orde komen.



Figuur 8-2 Zeefkromme.

vuistregels

De korrelgrootte van het filtergrind kiezen we met behulp van vuistregels, die op basis van ervaring en experimenteel onderzoek zijn ontwikkeld. De gemiddelde diameter van de korrels van de grindomstorting (de M_g of D_{50}) bepalen we vaak door uit te gaan van $4 \times d_{75}$ van de fijnste watervoerende laag ter plaatse van het filter³; d_{75} is de korreldiameter van het bodemmateriaal die bepaald wordt door de zeef waar 75% van de massa van het materiaal op blijft liggen⁴.

Een andere, veel minder gebruikte vuistregel gaat uit van de verhouding tussen de gemiddelde korrelgrootte van de formatie (de zandmediaan M_z) en de gemiddelde diameter van de filtergrindkorrels. Deze verhouding zou 1 : 6 of eventueel 1 : 5 moeten zijn.

U-cijfer

Bij het bepalen van de definitieve stelstaat in het werk stellen we na het classificeren van het formatiemateriaal het M63-getal van de zandfractie vast. M63 is de korreldiameter van het bodemmateriaal die bepaald wordt door de zeef waar 63% van de massa van het materiaal op blijft liggen³. Dit getal bepalen we van een gedroogd monster met behulp van een zandliniaal. Wijkt de vastgestelde korrelgrootte teveel af van wat we op grond van de proefboring hadden verwacht, dan wordt het te storten filtergrind aangepast. Naast de mediaan kunnen we het U-cijfer gebruiken. Dit is de verhouding tussen de gezamenlijke oppervlakte van alle korrels van een fractie en de gezamenlijk oppervlakte van alle korrels met een gelijke massa aan korrels van dezelfde stof met een middellijn van 1 cm⁵. Hoe kleiner het U-cijfer des te grover het zand; een mediaan van bijvoorbeeld 210 μm komt overeen met een U-cijfer van circa 50.

U_c -cijfer

Ook kunnen we met de uniformiteits- of gelijkvormigheidscoëfficiënt U_c werken. Dit 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.

³ In geval van een verder grofzandig watervoerend pakket kan besloten worden ter plaatse van een fijnzandig deel een blindstuk in het filter te plaatsen, maar het filtergrind door te laten lopen.

⁴ Zie ook Kiwa-mededeling nr. 48, par. 4.1.2, blz. 90.

⁵ Zie TNO-cursus *Praktische Geohydrologie*

De keuze van de korrelgrootte is vrij kritisch: een te grove omstorting kan leiden tot teveel zandtransport en een te fijne omstorting kan, naast een grotere stromingsweerstand, eerder leiden tot verstopping van de put. Om verstopping op de boorgatwand te voorkomen kan het afhankelijk van de opbouw van de ondergrond (in theorie) gunstiger zijn een grove filteromstorting te kiezen. De put moet dan wel langer ontwikkeld worden met een groter debiet dan de bedrijfscapaciteit.

In de praktijk bestaan er voor de keuze van de korrelgrootte van het filtergrind geen uniforme regels. Elk waterleidingbedrijf hanteert zijn eigen normen. In Tabel 8-2 is een voorbeeld gegeven; tussen de haakjes is een tweede voorbeeld opgenomen. De korrelgrootte waar we over kunnen beschikken is afhankelijk van wat de leverancier op dat moment kan leveren. Wijkt de korrelgrootte veel af van de gewenste waarde dan wordt alsnog ander filtergrind aangevoerd. Te fijn filtergrind betekent onherroepelijk verstopping op de boorgatwand na enige jaren; bij te grof filtergrind blijft de put zand geven.

Tabel 8-3 Relatie korrelgrootte gronddeeltjes en korrelgrootte filtergrind en sleufbreedte.

Korrelgrootte gronddeeltjes	Zandmediaan gronddeeltjes	Korrelgrootte filtergrindomstorting	Sleufbreedte
0,1 – 0,6 mm	0,3	0,7 – 1,25 mm (0,5 – 1,0 mm)	0,5 mm (0,4 mm)
0,2 – 0,8 mm	0,4	1,0 – 1,5 mm (0,6 – 1,25 mm)	0,75 mm (0,5 mm)
0,3 – 1,25 mm	0,6	1,5 – 2,0 mm (1,0 – 1,5 mm)	1,0 mm (0,75 mm)
0,4 – 2,0 mm	0,7	2,0 – 2,5 mm (1,25 – 2,0 mm)	1,5 mm (1,0 mm)
0,5 – 3,0 mm	0,8	2,5 – 4,0 mm (1,5 – 2,5 mm)	2,0 mm (1,25 mm)

De filterbuis wordt omstort met hygiënisch betrouwbaar en gesorteerd grind⁶. Als filtergrind wordt meestal rivier- en groevezand gebruikt.

nazakken In verband met nazakken is het raadzaam om zowel aan de bovenkant als aan de onderkant van het filtertraject over een lengte van twee meter extra filtergrind aan te brengen.

8.4.2 Klei

Om de doorboorde ondoorlatende en slecht doorlatende lagen te herstellen moeten de boorgaten ter hoogte van die lagen met klei worden aangevuld. Het doel hiervan is te voorkomen dat oppervlaktewater direct infiltreert naar het filter en dat er uitwisseling van grondwater plaatsvindt tussen de verschillende lagen met een andere waterkwaliteit ('kortsluitstromingen').

In het bestek zal worden voorgeschreven met welke soorten klei de lagen moeten worden afgedicht. Veelgebruikte materialen zijn Mikolit en Ondoor. De diverse soorten klei onderscheiden zich voornamelijk door het percentage bentoniet dat het zwelvermogen van de klei bepaalt.

afdichtplaatsen Op de volgende plaatsen moeten we kleiafdichtingen om de pompput aanbrengen:

- ter hoogte van alle klei-, leem- en veenlagen
- boven het bovenste filter
- vlak onder het maaiveld.

Zo nodig kunnen we ook kleiafdichtingen aanbrengen bij overgangen naar een andere kleur, houtlagen en teruglopen van het M63-getal.

⁶ Deze en andere eisen die aan filtergrind worden gesteld staan in Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa. Productcertificaat voor zand en grind voor de drinkwaterproductie, nr. BRL-K240/02.

boorgatmeting Met behulp van een geofysische boorgatmeting kunnen we exact bepalen waar de afsluitende lagen zitten en in welke mate deze lagen doorlatend zijn. Daarna kunnen we bepalen welke lagen geheel met klei en welke lagen afwisselend met klei en aanvulgrind afgewerkt kunnen worden. Verschillend wordt gedacht over afdichting van dikke kleipakketten van bijvoorbeeld meer dan 5 m dik: geheel met klei of afwisselend met klei en grind.

Om een goede kleiafdichting te verkrijgen moet de aanvulklei aan tenminste de volgende eisen voldoen⁷:

- de korrelvorm moet tijdens het storten behouden blijven
- de korrels mogen niet te snel zwellen
- het zwelvermogen moet voldoende zijn.

Verder moet aanvulklei vochtvrij getransporteerd en opgeslagen worden. De klei wordt in plastic zakken of in big bags verpakt, zorgvuldig op pallets opgeslagen en met krimphoezen afgedekt.

steile taluds Bij de grotere putdiameters is het af te raden om (te) dunne lagen aan te brengen, anders worden er onder water steile taluds gevormd (zie ook Paragraaf 8.1.2). De waterkwaliteit is van grote invloed op het zwelgedrag. Zo zal de klei in zout water weinig zwellen.

8.4.3 Aanvulgrind

De plaatsen in het boorgat waar we geen filtergrind of aanvulklei aanbrengen, dus langs grote delen van de stijgbuis, vullen we aan met aanvulgrind. We gebruiken hiervoor hygiënisch betrouwbaar en gesorteerd aanvulgrind van 2 mm tot 5 mm.

In plaats van aanvulgrind zouden we ook de opgeboorde grond kunnen gebruiken. Nadeel is dat de aanvuksnelheid erg laag is als gevolg van de kleine uitzaknelheid van het fijnere materiaal. Verder moeten we rekening houden met (langdurige) inklinking van de uitgekomen grond.

8.4.4 Uitkomend materiaal

Soms wordt uitkomend materiaal gebruikt om een put aan te vullen. We moeten er op letten dat uitkomend materiaal niet wordt gebruikt om scheidende lagen in de ondergrond mee af te dichten. Als uitkomend materiaal wordt gebruikt is het extra van belang om het materiaal zorgvuldig op te slaan, zodat het materiaal niet hygiënisch vervuild raakt.

Dikke onverzadigde zone Putten in een gebied met een dikke onverzadigde zone (stuwwal) zijn een apart geval. Door het gebruik van aanvulgrind in een dikke onverzadigde zone creëer je als het ware een snelweg voor regenwater, afvloeiend oppervlaktewater, maar ook voor bijvoorbeeld spuiwater. Voor nieuwe putten in gebied met dikke onverzadigde zone raden we aan om vanaf de kleistop boven het filter aan te vullen met uigeboorde grond. In bestaande putten waar problemen optreden door de combinatie dikke onverzadigde zone en aanvulgrind kan injectie met cementwater een oplossing bieden. Met een puls worden enkele plekken in de omstorting aangeboord en men laat er cementwater in lopen, samen met het aanwezige grind vormt dit een soort betonlaag die voldoende weerstand biedt.

8.5 Pompputinstallatie

In deze paragraaf beschrijven we aan welke eisen de pompputinstallatie moet voldoen en op basis van welke gegevens we voor een bepaalde pomp, putkopconstructie en putkelder kiezen. Enkele veel gemaakte keuzes en veel gebruikte constructies hebben we als voorbeeld in de tekst opgenomen. De beschrijving van de pompputinstallatie verdelen we over de volgende drie delen:

⁷ Er zijn op dit moment plannen om een beoordelingsrichtlijn voor boorgatklei op te zetten.

- pomp
- putkopconstructie
- putkelder.

8.5.1 Pomp

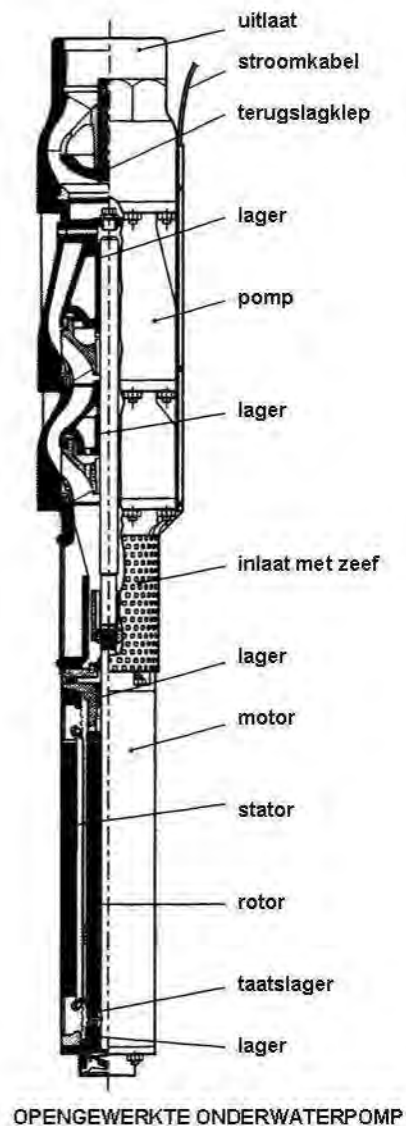
Doel van de pomp is om het grondwater uit de pompput naar de zuiveringsinstallatie te transporteren. Tegenwoordig passen we daarvoor bijna altijd een onderwaterpomp toe. In deze paragraaf bespreken we de factoren die van belang zijn voor de keuze van de pomp (type, uitvoering).

onderwaterpompen

Afhankelijk van de gebruikstoepassing worden voor waterwinputten uiteenlopende soorten pompen (wel alle centrifugaalpompen) gebruikt, zoals 'in line'-pompen (pomp in leiding), horizontale pompen, verticale pompen, deepwell-pompen (pomp met lange as) en onderwaterpompen. De toepassing is afhankelijk van onder meer de constructie van de pompput en de putkelder. Omdat we tegenwoordig praktisch elke verticale put als pompput met onderwaterpomp uitvoeren, beperken we de uiteenzetting in deze paragraaf tot de onderwaterpomp. De onderwaterpomp is een centrifugaalpomp, die voor het leveren van voldoende persdruk (opvoerhoogte) van een aantal waaiertappen is voorzien en die direct door een elektromotor wordt aangedreven (zie Figuur 8-3).

De onderwaterpomp heeft de volgende voordelen:

- omdat elke put zijn eigen pomp heeft, kunnen we naar wens pompputten bijschakelen cq afschakelen
- dank zij zijn langwerpige (staafvormige) constructie kan de pomp goed in de (verwijde) stijgbuis worden gehangen
- het grondwater kan direct worden verpompt zonder dat eerst ontlucht hoeft te worden
- bedrijfszeker door zijn eenvoudige constructie
- weinig onderhoud ook dank zij de eenvoudige constructie



Figuur 8-3 Onderwaterpomp. (SBW, 1997), rechts: opengewerkte onderwaterpomp (foto Carl van Rosmalen, Brabant Water).

De belangrijkste specificaties voor de keuze van het pompontwerp zijn: nominale capaciteit, minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte en Q/H-pompkarakteristiek. De nominale capaciteit (ontwerpcapaciteit) van de onderwaterpomp is de capaciteit bij normaal bedrijf.

nominale capaciteit

modelstudie

De nominale capaciteit van de onderwaterpomp, en dus ook van de individuele pompput, is in de eerste plaats afhankelijk van het aantal pompputten van het puttenveld. Op grond van een hydrologische modelstudie van de waterwinplaats bepalen we in het beginstadium het aantal pompputten, de nominale capaciteit per pompput en de te verwachten afpompings per pompput en verlaging van de waterwinplaats.

Het aantal pompputten bepalen we op basis van de beschikbare oppervlakte van de winplaats en de maximaal te onttrekken hoeveelheid grondwater per pompput. Daarbij moeten we tussen de pompputten een minimale afstand in acht nemen, bijvoorbeeld 100

m voor een putcapaciteit van 100 m³/h; door een hydrologische berekening uit te voeren kunnen we de minimale afstand beter vaststellen. Verder moeten we er rekening mee houden dat de omstandigheden zodanig kunnen zijn dat niet alle pompputten dezelfde putcapaciteit hoeven te hebben. Tijdens de capaciteitsmetingen, die we bij de oplevering uitvoeren, worden de maximaal toelaatbare afpompingen bepaald en mede op grond daarvan de definitieve nominale capaciteiten.

minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte

Voor het bepalen van de minimaal vereiste manometrische opvoerhoogte (= statische opvoerhoogte + dynamische opvoerhoogte) van de onderwaterpomp hebben we verschillende gegevens nodig, te weten:

- hoogteschema met NAP-hoogten van maaiveld, maximum- en minimumgrondwaterstanden en hoogste punt van de inlaat van de zuiveringsinstallatie
- minimale voordruk van de zuiveringsinstallatie
- leidingkarakteristiek
- verwachte en/of gemeten afpomping bij de nominale capaciteit
- onderlinge beïnvloeding van de pompputten op het puttenveld

pompkarakteristieken

Nadat we de nominale capaciteit en de minimaal vereiste (manometrische) opvoerhoogte hebben bepaald, kunnen we vier pompkarakteristieken samenstellen, namelijk van:

- capaciteit (Q) en opvoerhoogte (H)
- capaciteit (Q) en pomprendement (η)
- capaciteit (Q) en vermogen (N)
- capaciteit (Q_p) en opvoerhoogte (H_p) bij parallelbedrijf van een aantal onderwaterpompen.

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

De afmetingen, met name de 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 met name het materiaal van de pomp en het type elektromotor.

materiaalkeuze

waterkwaliteit De materiaalkeuze is afhankelijk van de chemische samenstelling van het opgepompte grondwater. Gebruikelijk zijn:

- brons
- rvs
- gietstaal (pomphuis) en brons (waaiers en behuizing van elektromotor).

spanningreeks Bij het toepassen van verschillende metalen in de pompput kan een spanningreeks (contactpotentiaal) ontstaan, die tot metaalcorrosie kan leiden. Metaalcorrosie kan problemen opleveren bij het trekken van de onderwaterpomp. Het is daarom noodzakelijk metaalcorrosie te voorkomen.

lagersmering De onderwaterpomp is van lagers voorzien. Die lagers bevatten een smeermiddel. De onderwaterpomp moet zo zijn ontworpen dat lekkages worden voorkomen, zodat het smeermiddel niet in aanraking kan komen met het water of in het water terecht kan

komen. Gebruik daarom een hoogwaardige onderwaterpomp met een goede asafdichting⁸. Voor sommige onderwaterpompen wordt glycerine als smeermiddel gebruikt. Doorgaans zijn onderwaterpompen voor de drinkwaterwinning met vetverpakte lagers uitgerust. De lagerfabrikant heeft die van vet voorzien, voldoende voor de gehele levensduur van het lager. Een andere mogelijkheid is om gedistilleerd water als smeermiddel toe te passen.

type elektromotor

**natte uitvoering
vermogen** Voor de aandrijving van de onderwaterpomp passen we een asynchrone draaistroommotor toe. We hebben de keuze uit de droge uitvoering en de natte uitvoering. Bij de droge is de motor waterdicht uitgevoerd en bij de natte uitvoering is de motor met een emulsie afgevuld. De natte variant passen we het meest toe. Met behulp van de nominale capaciteit, minimaal vereiste opvoerhoogte en het rendement van de pomp kunnen we het minimaal vereiste vermogen (in kW) van de elektromotor berekenen.

De gebruikelijk spanning voor de draaistroommotor bedraagt 230/400 V. Afhankelijk van de plaats van de pompputten 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%.

8.5.2 Putkopconstructie

De putkopconstructie, die de bovenkant van de pompput afsluit, is een onderdeel van de pompput dat uiteenlopende functies vervult en daarom veel aandacht verdient.

doel

De putkopconstructie:

- moet volledig afgedicht zijn
- moet de optredende zettingen tussen put en putkopconstructie kunnen opvangen
- mag geen storend element in het landschap zijn (horizonvervuiling)
- moet voldoen aan de gestelde voorwaarden in de Arbo-wetgeving
- moet voldoen aan speciale eisen om de put te mogen en te kunnen regenereren
- moet zijn voorzien van signalerings- en bewakingsapparatuur
- moet volgens NEN 1010 worden aangesloten.

Over enkele eisen maken we hieronder nog een paar opmerkingen.

afdichting	We moeten ervoor zorgen dat de putkop volledig is afgedicht. Op die manier wordt voorkomen dat er ondiep grondwater of oppervlaktewater met meen mogelijk besmettingsrisico in de put terecht komt. Speciale aandacht vraagt de afdichting van de doorvoeren, zoals van de kabel, de waarnemingsfilters en de beluchting/ontluchting. De beluchting moet boven de hoogste grondwaterstand worden aangebracht, zodat hier geen water door naar binnen kan stromen.
zetting	De zettingen, die tussen put en putconstructie ontstaan, kunnen door een constructie met een O-ring in de putkopconstructie worden opgevangen. De O-ring moet ook voorkomen dat grondwater, dat verontreinigd kan zijn, de put kan instromen. Bij het ontwerp van de putkopconstructie moet er van worden uitgegaan dat de verwijde stijgbuis boven het grondwaterniveau wordt afgewerkt.
meetinstru-	Elk waterleidingbedrijf hanteert zijn eigen scala aan meetinstrumenten dat het in de

⁸ Zie eventueel: A. Nouwen, Pompen 1 (1979), p. 46, en Pompen 2 (1981), p. 57.

- menten putconstructie opneemt en/of aansluit. Zonder te streven naar volledigheid noemen we een aantal instrumenten en mogelijkheden voor het uitvoeren van bepaalde metingen:
- ingebouwde watermeter
 - ingebouwd FF-stuk om er af en toe een watermeter in te plaatsen
 - putkopmeter voor inbouw of incidenteel gebruik
 - mogelijkheid voor het uitvoeren van een annubar-meting
 - monsterkraan voor onder andere het nemen van een grondwatermonster of het plaatsen van een deeltjester, MFI-apparatuur enz.
 - ingebouwde manometer
 - 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.

De veiligheid 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 aangetroffen 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.

eisen

De putkopconstructie:

- moet de optredende zettingen tussen put en putkopconstructie kunnen opvangen
- mag geen storend element in het landschap zijn (horizonvervuiling)
- moet voldoen aan de gestelde voorwaarden in de Arbo-wetgeving
- moet voldoen aan speciale eisen om de put te mogen en te kunnen regenereren
- moet zijn voorzien van signalerings- en bewakingsapparatuur
- moet volgens NEN 1010 worden aangesloten.

Over enkele eisen maken we hieronder nog een paar opmerkingen.

- zetting De zettingen die tussen put en putconstructie ontstaan, kunnen door een constructie met een O-ring in de putkopconstructie worden opgevangen. De O-ring moet ook voorkomen dat verontreinigd grondwater de put kan instromen. Bij het ontwerp van de putkopconstructie moet er van worden uitgegaan dat de hoogte van de verwijde stijgbuis boven het grondwaterniveau wordt afgewerkt.

- Arbo Bij de werkzaamheden in de putkelder, bijvoorbeeld aan de putkopconstructie, moeten we ons houden aan de Arbo-wetgeving. Die eist bijvoorbeeld dat we altijd met twee (of meer) personen aanwezig zijn, tenzij de medewerker die alleen is beschikt over een persoonsgebonden beveiligingssysteem dat in contact staat met de procesbewaking. In de praktijk is het laatste gangbaar.

Bij het regenereren van de put kunnen tijdens het jutteren zeer grote verticale krachten optreden. De putkopconstructie en de putkelder moeten zo zwaar zijn en zo solide zijn gebouwd dat ze de optredende krachten veilig kunnen opnemen en opdrijven kunnen voorkomen. In zettingsgevoelige gebieden, zoals bij veen en slappe klei, kan het nodig zijn de putkelder op heipalen en een fundatieplaat aan te brengen.

De putkopconstructie moet zijn voorzien van apparatuur waarmee wordt gesignaleerd of de onderwaterpomp in- of uitgeschakeld is.

Op waterwinplaatsen die, met of zonder toestemming, voor het publiek toegankelijk zijn, is het wenselijk veiligheidsvoorzieningen aan te brengen. De voorzieningen kunnen ook voor medewerkers van belang zijn. Om vandalisme, mogelijke vernielingen en

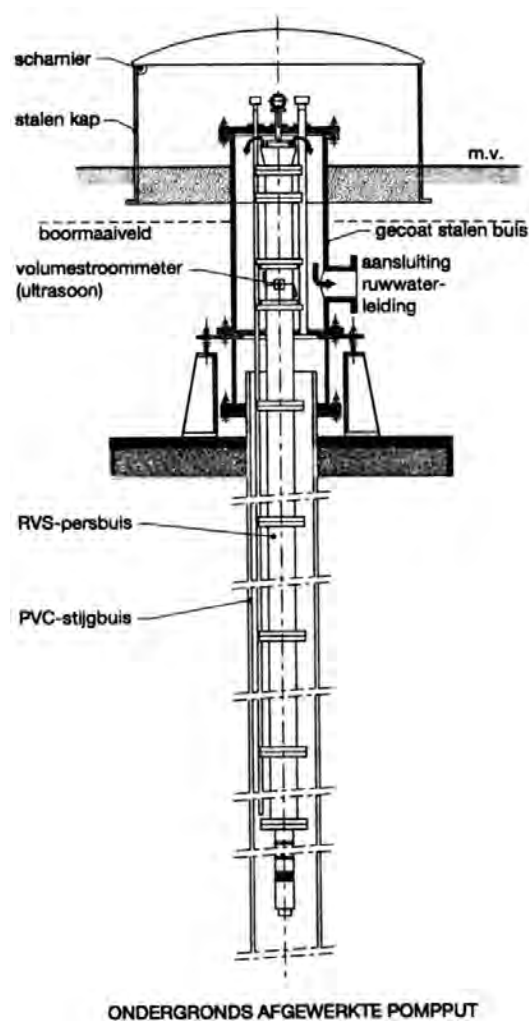
besmetting tegen te gaan, is het wenselijk om een systeem van toegangsbeveiliging, met melding naar de procesbewaking, op het toegangsdeksel aan te brengen.

materiaal voor putkop

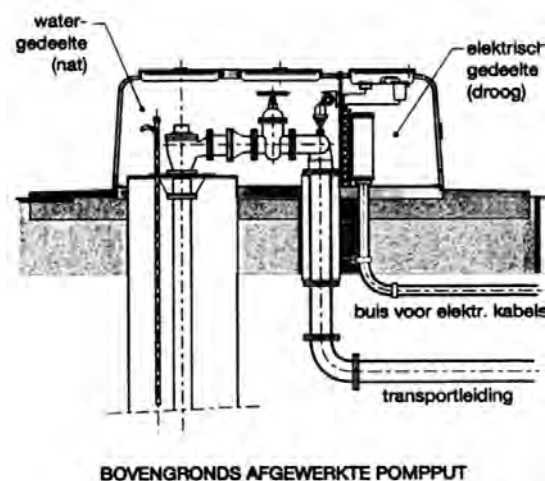
De putkopconstructie kunnen we uitvoeren in staal 37-2/C22-8 of rvs 316L. We moeten de putkopconstructie een uitwendige materiaalbehandeling geven, bijvoorbeeld thermisch verzinken en behandelen met kunststof zoals Epimid en Rilsaneren. De materiaalbehandeling moet volgens Kiwa-attest worden uitgevoerd. Bij een putkopconstructie van rvs is behandelen met kunststof niet nodig.

voorbeelden

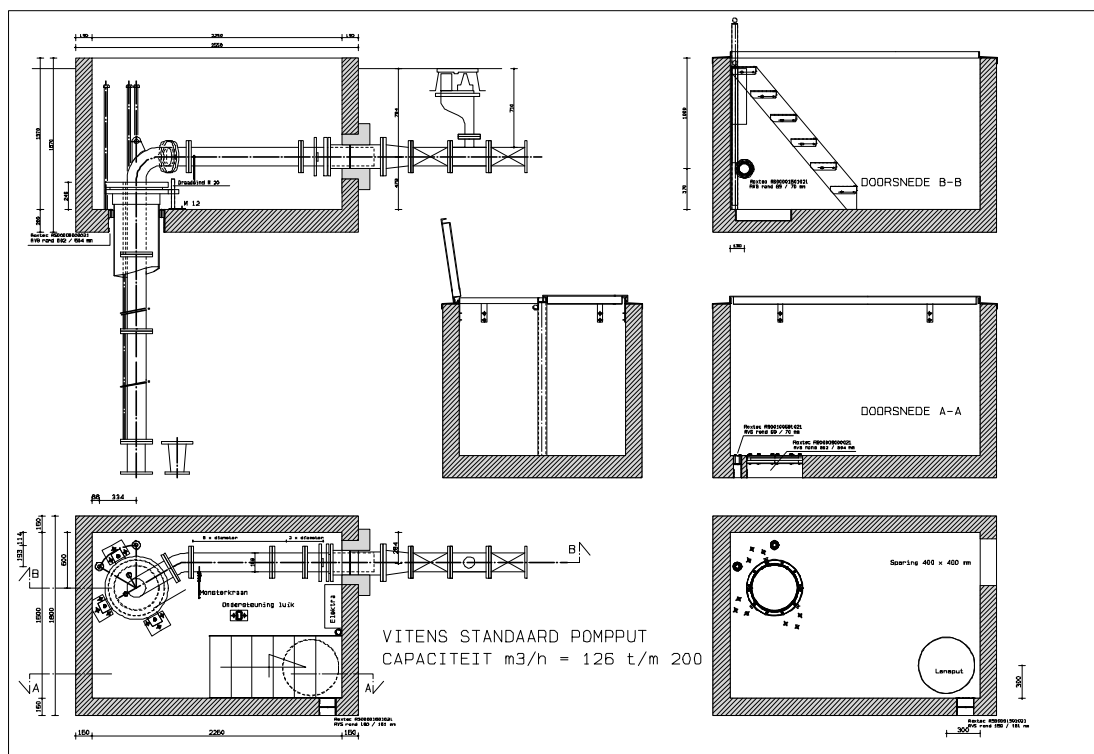
De meeste waterleidingbedrijven hebben hun eigen constructies. Om een idee te geven van de verscheidenheid hebben we een drietal voorbeelden van putkopconstructies met bijbehorende putkelders (cq behuizingen) opgenomen (zie Figuren 8-4, 8-5 en 8-6).



Figuur 8-4 Ondergronds afgewerkte pompput. (Vitens, Gelderland)



Figuur 8-5 Bovengronds afgewerkte pompput. (SBW, 1995) Rechts:: foto bovengronds afgewerkte put in Onnen (Waterbedrijf Groningen)



Figuur 8-6 Betonnen putkelder met pomp (Vitens)

8.5.3 Putkelder

De putkelder, die de putkopconstructie en apparatuur mechanische bescherming en bescherming tegen vorst en neerslag biedt, kan worden uitgevoerd in:

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

Als verwacht wordt dat de pompputten van een waterwinplaats moeten worden geregenereerd, dan kan worden overwogen de putkelder in gewapend beton uit te voeren. Zoals we eerder zagen kan een betonnen putkelder de krachten, die bij het juttren optreden, goed opnemen.

NEN 1010	De elektrische installatie in de put moet volgens NEN 1010 worden aangesloten. Zo moet er een aardelektrode worden aangebracht. Dat kan bijvoorbeeld in de omstorting tijdens de inbouw van de put, en er moeten vereffeningsleidingen naar verschillende punten worden aangelegd en aangesloten.
waterdicht	Een putkelder moet waterdicht en droog zijn. Daarom wordt een putkelder bij voorkeur boven het grondwaterniveau aangelegd. Zo wordt voorkomen dat er verontreinigd ondiep grondwater in de putkelder en zelfs in de put kan sijpelen. Als dat gebeurt kan het diepere grondwater verontreinigd raken. Bij een putkelder, die beneden het grondwaterniveau is aangelegd, kunnen lekkages ontstaan door de wand, de vloer of doorvoeropeningen voor bijvoorbeeld de put, een waarnemingsfilter of de flensverbinding van de ruwwaterleiding. Het is belangrijk dat de kleirop waarmee een put is afgewerkt niet vergraven wordt bij de aanleg van de putkelder, want als dat wel gebeurt kan er kortsluitstroming langs de put met het waterwinpakket ontstaan. Aanbevolen wordt het lekwater in de putkelder via een pomp of afvoer te verwijderen. Gebruik voor de putkelder waterdicht materiaal, zowel voor de wanden als voor de vloer, en let er in het ontwerp op dat de afdichtingen lekdicht zijn. Installeer eventueel een lekdetectie.
afsluiting	Als een afsluiter in de pompput of een keerklep in de ruwwaterleiding of spuileiding niet goed afsluit kan vervuild water overige delen van het ruwwatersysteem verontreinigen. Dat kan vooral tijdens werkzaamheden gebeuren. Bij gebruik van spuileidingen moet voorkomen worden dat terugstroming plaats vindt, want terugstroming kan ertoe leiden dat het ruwwater wordt vervuild. Spuileidingen moeten daarom altijd zo worden ontworpen dat ze niet aan het ruwwatersysteem zijn gekoppeld als ze buiten gebruik zijn. Vermijd een vaste verbinding.

Om een passende putkopconstructie en een bijbehorende putkelder te kunnen kiezen cq ontwerpen, moeten we over de volgende gegevens beschikken:

8.6 Meet- en regelapparatuur

In deze paragraaf geven we een opsomming van de meet- en regelapparatuur die we op pompputten (kunnen) aanbrengen. Het gaat om apparatuur om de pompputten tijdens de exploitatiefase goed te kunnen beheren. Daarbij maken we onderscheid tussen standaard aanwezige apparatuur, die vast is ingebouwd, en apparatuur die incidenteel wordt aangebracht.

We bespreken achtereenvolgens:

- standaard aanwezige apparatuur in de putkelder
- standaard aanwezige apparatuur in de besturingsruimte
- incidenteel aangebrachte apparatuur in de putkelder
- incidenteel aangebrachte apparatuur in de besturingsruimte.

8.6.1 Standaard aanwezige apparatuur in putkelder

We denken hierbij uitsluitend aan de debietmeter en de manometer.

debetmeter

watermeter	Met de debietmeter, ook wel watermeter genoemd, meten we per pompput de hoeveelheid onttrokken grondwater per tijdseenheid (zie Hoofdstuk 16, Paragraaf 16.1). De debietmeter gebruiken we ook om het debiet bij putverstopping vast te stellen. Van de verschillende soorten debietmeters maken we vooral gebruik van:
------------	--

- de horizontale watermeter, een pulsteller. Tegenwoordig passen we steeds meer elektromagnetische volumestroommeters en ultrasone watermeters toe
- de haakse watermeter, ook een pulsteller.

manometer

De manometer gebruiken we om de waterdruk in de uitgaande ruwwaterleiding te meten.

We kunnen dan zien of de pomp loopt als er geen watermeter aanwezig is of als deze niet goed werkt.

8.6.2 Standaard aanwezige apparatuur in besturingsruimte

Hier gaat het om de urenteller en de ampèremeter.

urenteller

De urenteller gebruiken we om het aantal uren te registreren dat de pomp draait. Samen met de debietmeter kunnen we hiermee bepalen hoe groot de onttrekkingshoeveelheid per put in de loop van de tijd is.

ampèremeter

De ampèremeter passen we toe om de (elektrische) stroomsterkte per onderwaterpomp, dus per pompput, te meten. Ook deze meter gebruiken we om te kunnen zien of de pomp goed werkt (geleverd vermogen en warmteontwikkeling).

8.6.3 Incidenteel aangebrachte apparatuur in putkelder

Bij deze apparatuur gaat het om het stroomvaantje, de elektrische afsluiter en drukopnemers.

stroomvaantje

Het stroomvaantje gebruiken we als indicator voor de werking van de pomp.

elektrische afsluiter

We gebruiken de elektrische afsluiter om het debiet van een pompput te kunnen regelen (door 'knijpen').

drukopnemers

In KWO-putten worden drukopnemers al standaard geïnstalleerd. In drinkwaterputten wordt dit ook al meer uitgevoerd.

Met de drukopnemers meten we de stijghoogte van het grondwater in de pompput en/of in het waarnemingsfilter in de omstorting. Hiermee kunnen we de verlagingen in of direct naast de put of in een puttenveld goed registreren. Op basis van deze metingen kunnen we de bedrijfsvoering in de exploitatiefase sturen.

Bij deze drukopnemers maken we onderscheid tussen:

- continue drukopnemers. Dat zijn barometrisch gecompenseerde drukopnemers, die de meetwaarden opslaan en de actuele meetwaarden op een beeldscherm laten zien
- niet-continue drukopnemers. Dat zijn opnemers die de meetwaarden periodiek opslaan. Op een later tijdstip kan de opnemer digitaal worden uitgelezen. Dit soort drukopnemers kunnen we snel en gemakkelijk inzetten. Omdat het geheugen van de opnemers een beperkte capaciteit (20.000 meetwaarden) heeft, moeten we de meetwaarden regelmatig uitlezen.

Verder kunnen we de groep niet-continue drukopnemers verdelen in:

- barometrisch gecompenseerde opnemers. Bij deze opnemers worden de meetwaarden met de actuele barometerwaarden gecorrigeerd
- niet barometrisch gecompenseerde opnemers. Bij deze opnemers worden de meetwaarden niet gecorrigeerd.

8.6.4 Incidenteel aangebrachte apparatuur in besturingsruimte

In dit geval gaat het alleen 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.

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 juist mechanische putverstopping voorkomen of vertragen. 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. Indien nodig kan daarna worden teruggetoerd naar het gewenste debiet.

9 Ontwerp meetsystemen

De meetsystemen die we in dit hoofdstuk bespreken hebben hoofdzakelijk betrekking op die systemen die op de winplaats worden toegepast. We richten ons vooral op enkele aandachtspunten die van belang zijn bij het ontwerp van de put en de meetfrequentie. Over meetsystemen die betrekking hebben op het intrekgebied van de winning maken we slechts enkele opmerkingen.

samenvatting

Er zijn meetsystemen waarmee de productiecapaciteit wordt bewaakt en meetsystemen waarmee de kwaliteit van het ruwwater wordt bewaakt. Om de productiecapaciteit te bewaken worden afpompingsmetingen uitgevoerd. De regels voor het bewaken van de waterkwaliteit staan in het Waterleidingbesluit (www.wetten.nl). Verplaatsing van het zoet/zout grensvlak wordt bij voorkeur met een zoutwachter gevolgd.

9.1 Meetsystemen op de winplaats

Onderscheid is gemaakt in meetsystemen waarmee de productiecapaciteit wordt bewaakt en meetsystemen die zich richten op de bewaking van de kwaliteit van het onttrokken grondwater (ruwwater). In deze paragraaf bespreken we beide meetsystemen. In Tabel 9-1 is een samenvatting opgenomen van de meetsystemen die we op de winplaats toepassen.

Tabel 9-1 Samenvatting meetsystemen op de winplaats.

Doelstelling	Meetsysteem	Aandachtspunten	Meetfrequentie
<i>Bewaking productiecapaciteit</i>			
afpompings- voorkomen luchthappen pomp	stijghoogtemeting in de pompput met waarnemingsfilter (eventueel datalogger)	meting op de juiste hoogte van het pompfilter; voorkom droogvallen waarnemingsfilter	1 à 2 x per jaar
putverstopping	stijghoogtemeting in pompput met waarnemingsfilter; stijghoogtemeting in omstorting met waarnemingsfilter	plaatsing waarnemingsfilters in omstorting; filter op plaats waar verstopping wordt verwacht	minimaal 1 x per jaar
<i>Bewaking waterkwaliteit</i>			
waterkwaliteits- veranderingen ruwwater	monsterpunt voor ruwwater totaal of deelstromen	voorwaarden vastgelegd in Waterleidingbesluit (www.wetten.nl) (Drinkwaterbesluit in voorbereiding)	Afhankelijk van de winning
waterkwaliteits- veranderingen pompput	monsterkraan aan putkop	slechts in geval van verontreinigingen (nitraat, DCP, bentazon enz.)	frequentie afhankelijk van mate van verontreiniging
verplaatsing zoet/zout- grensvlak	zoutwachter (waarnemingsput met voldoende waarnemingsfilters in de overgang van zoet naar zout)	met zoutwachterkabels meten verandering van geleiding, dit is een indicatie voor verzilting. Zoutwachterkabels kunnen verplicht zijn in vergunning.	afhankelijk van de winning

Doelstelling	Meetsysteem	Aandachtspunten	Meetfrequentie
		Als het diepste filter minimaal drieduims is, kan met EM metingen verzilting gemeten worden. Als waarnemingsfilters beschikbaar zijn, kan water geanalyseerd worden op chloride.	

9.1.1 Meetsystemen voor bewaking productiecapaciteit

Bij de bespreking van de meetsystemen voor bewaking van de waterkwaliteit staan we stil bij de volgende aspecten:

- bewaking kwaliteit ruwwater
- meting verontreinigingen
- zoutwachter.

bewaking kwaliteit ruwwater

inspecteur	Volgens het Waterleidingbesluit (www.wetten.nl) zijn de waterleidingbedrijven in Nederland verplicht om regelmatig de samenstelling van het ruwwater te analyseren. De inspecteur, die belast is met het toezicht op de volksgezondheid en het milieu, kan bepalen om van deze verplichting af te wijken. Enkele waterbedrijven voeren jaarlijks een volledige analyse uit voor iedere put van het puttenveld. Deze werkwijze levert meer gedetailleerdere informatie op dan wanneer het gezamenlijke ruwwater wordt geanalyseerd, zeker als we in ogenschouw nemen dat de samenstelling van het onttrokken grondwater tussen de pompputten verschillen vertoont. Wanneer het gezamenlijke ruwwater wordt bemonsterd, is het van belang om vast te leggen welke pompputten op het moment van bemonstering draaien. Bij verontreiniging is het dan mogelijk te achterhalen welke pompputten mogelijk vervuild water hebben geleverd.
monsterpunt	Speciale aandacht vraagt het monsterpunt voor de kwaliteitsbewaking van het ruwwater. Dit monsterpunt moet zodanig worden ingericht dat het geen bron van bacteriële verontreiniging wordt. Zo mag er geen slang aan de monsterkraan hangen. In het ontwerp moet daar rekening mee worden gehouden. Een slang zou in verontreinigd water kunnen hangen. Bij het in bedrijf nemen van een put kan dit water dan naar binnen worden gezogen, waardoor het ruwwater verontreinigd wordt. Bovendien maakt het gebruik van een slang bacteriologisch onderzoek van het watermonster onbetrouwbaar. Het ruwwater dat bij monsternamen door de monsterkraan is gestroomd moet buiten de put worden afgevoerd.
vlakdraaien	Om het productieproces optimaal te laten verlopen streven waterleidingbedrijven ernaar zo 'vlak' mogelijk te draaien. Dit betekent een zo constant mogelijke belasting van de put en de zuivering. Vlakdraaien is gunstig voor de belasting van de filters die het ruwwater zuiveren. Als de samenstelling van het ruwwater tussen de pompputten grote verschillen vertoont, zal het bedrijf het schakelschema van de pompputten zodanig opzetten, dat toch een zo constant mogelijke belasting van de zuiveringsfilters ontstaat. Vlak draaien is ook gunstig om chemische verstopping te beperken, door vlak te draaien kan beperkt worden dat water van verschillende kwaliteit water wordt onttrokken, waardoor chemische neerslagen ontstaan. Voor mechanische verstopping kan het echter negatieve gevolgen hebben. Vlak draaien betekent vaak dat putten op een constant debiet lang aan staan. Om mechanische verstopping te voorkomen is het juist van belang dat voldoende geschakeld wordt en dat putten voldoende uit staan.

9.1.2 Meetsystemen voor bewaking waterkwaliteit

Bij de bespreking van de meetsystemen voor bewaking van de waterkwaliteit staan we stil bij de volgende aspecten:

- bewaking kwaliteit ruwwater
- meting verontreinigingen
- zoutwachter.

bewaking kwaliteit ruwwater

In 2009 is een nieuwe Drinkwaterwet aangenomen, deze vervangt het Waterleidingbesluit. Op www.wetten.nl staat de nieuwe wet, en is aangegeven of de nieuwe wet ook al in werking is getreden. Volgens artikel 22 moet het ruwe water regelmatig onderzocht worden. In een algemene maatregel van bestuur wordt vastgelegd welke analyses en met welke frequentie nodig zijn. Waarschijnlijk zullen de analyses en meetfrequentie afhankelijk zijn van het type winning. Tijdens het schrijven was het drinkwaterbesluit nog niet in werking getreden en was de tekst van de algemene maatregel van bestuur ook nog niet bekend.

Continue bedrijfsvoering

Om het opgepompte water zo efficiënt mogelijk te zuiveren moeten we streven naar een gelijkmatige volumestroom en water van een constante kwaliteit. Een vlak aanbod van de waterhoeveelheid (vlakdraaien) kunnen we goed regelen met software die de vraag uit het voorzieningsgebied voorspelt en op basis daarvan pompen aan- of uitschakelt. Een veelgebruikt besturingsprogramma is OPIR®. Groot voordeel van vlakdraaien is de gelijkmatige kwalitatieve belasting van de zuiveringsfilters. Vlakdraaien kan ook gebruikt worden om putten gelijkmatig te belasten en dat kan helpen om chemische putverstopping te voorkomen.

inspecteur De inspecteur, die belast is met het toezicht op de volksgezondheid en het milieu, kan bepalen om van verplichtingen uit het Waterleidingbesluit of de Drinkwaterwet af te wijken. Enkele waterbedrijven voeren jaarlijks een volledige analyse uit voor iedere put van het puttenveld. Deze werkwijze levert veel gedetailleerdere informatie op dan wanneer het gezamenlijke ruwwater wordt geanalyseerd, zeker als we in ogenschouw nemen dat de samenstelling van het onttrokken grondwater tussen de pompputten verschillen vertoont.

meting verontreinigingen

drinkwaternorm Bij aanwezigheid van verontreiniging(en) in het onttrokken grondwater of bij een dreigende overschrijding van een drinkwaternorm zal het waterleidingbedrijf, al of niet op aanwijzing van de inspecteur, het onttrokken grondwater zeer frequent op de betrokken parameter(s) analyseren. De resultaten van deze analyses dienen als grondslag voor het instellen van een aanvullende maatregelen (bijvoorbeeld aanvullende zuivering of interceptieputten) of voor het opzetten van een schakelschema van de pompputten waarbij de norm voor drinkwater niet, of zo min mogelijk, wordt overschreden.

zoutwachter

Een ander probleem dat tijdens de bedrijfsvoering een rol kan spelen is het optrekken van het zoet/zout grensvlak. Om dit te meten kunnen we een zoutwachter installeren. Een zoutwachter kan verschillende vormen hebben. In het verleden werd veel gebruik gemaakt van zoutwachterkabels. Dit is een meetkabel waarop op onderling gelijke afstanden elektrodenparen zijn aangebracht. Elk elektrodenpaar meet de elektrische weerstand van het grondwater ter plaatse. Bij afnemende weerstand is het aannemelijk dat het zoutgehalte toeneemt.

Om het juiste verband te leggen tussen de gemeten weerstand en het zoutgehalte moeten we de zoutwachter voor de specifieke locatie ijken. Dit is mogelijk door op verschillende diepten waarnemingsfilters te stellen. Van de grondwatermonsters die we hiermee verkrijgen bepalen we het chloridegehalte. Ook als het verband tussen weerstand en

zoutgehalten niet bekend is, kunnen de metingen gebruikt worden als indicatie; een afname van de weerstand is een indicatie voor toename van het chloridegehalte. Zoutwachterkabels zijn bij verschillende winningen vergunningplichtig.

In de praktijk wordt vaak gebruik gemaakt van de chloridemetingen die in de waarnemingsfilters zijn gedaan, deze geven een exacte waarde voor het chloridegehalte. Deze metingen worden meestal minder vaak uitgevoerd dan de metingen aan de zoutwachterkabel, maar het blijkt dat de verandering van het zoet-brakgrensvlak meestal een traag proces is, zodat maandelijkse metingen overbodig zijn.

Voor de toekomst zijn EM metingen geschikt voor het monitoren van het zoet-brakgrensvlak. Met een EM meting krijgen we een 2D weerstandsmodel van de ondergrond. Als een ondergrond beter geleid terwijl de geologie gelijk blijft, kan dit een indicatie zijn voor een verhoogd zoutgehalte. Dit kan ook bepaald worden door te vergelijken met eerdere metingen.

Voor een EM meting is een diep, drieduims waarnemingsfilter nodig, hier moet bij de aanleg rekening mee gehouden worden.

9.2 Meetsystemen in het intrekgebied

stijghoogte

De meetsystemen die buiten de winplaats liggen zijn veel uitgebreider dan de hierboven besproken meetsystemen. Vergunningverleners stellen meestal als voorwaarde dat de stijghoogte in het invloedsgebied van de waterwinning over een lange tijd en met een relatief hoge frequentie gemeten wordt. Daarnaast is het voor het waterbedrijf van belang om te weten wat de kwaliteit van het grondwater is dat op termijn de pompputten zal bereiken.

De meetsystemen die betrekking hebben op stijghoogten en waterkwaliteit in het intrekgebied vallen buiten het kader van dit document. Voor informatie over meetsystemen voor het meten van de waterkwaliteit in het intrekgebied verwijzen we naar Kiwa-Mededeling 117, *Naar een meetsysteem waterkwaliteit bij grondwaterwinning*. 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 STOWA-rapport 9805, *Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten*.



Stand van Zaken Deel II: Aanleg

In deel II is de aanleg van pompputten en puttenvelden in de Nederlandse waterleidingsector beschreven. De werkgroep 'Uitvoering van de boring en afwerking van de put' heeft in 1999 de basis gelegd voor dit deel. In 2000 is dit deel, samen met medewerkers van waterbedrijven, nader uitgewerkt. In 2010 is een update van dit deel gemaakt.

De gezamenlijke hoofdstukken geven een volledig beeld van de wijze van aanleg van puttenvelden en pompputten. Het bestek wordt beschreven op basis van het ontwerp (zie deel I). Vervolgens wordt overgegaan op het aanleggen en afwerken van putten. In hoofdstuk 12 gaan we in op het toezicht houden en de oplevering. Tot slot komt het vastleggen van gegevens aan de orde.

Inhoud

Stand van Zaken Deel II: Aanleg	10-1
Inhoud	10-2
10 Het Bestek	10-1
10.1 Onderdelen bestek	10-1
10.2 Besteksvormen en standaardisering bestekken	10-4
10.2.1 RAW-systematiek: voor- en nadelen	10-4
10.2.2 RAW-sytematiek: opbouw	10-5
10.2.3 RAW-bestek	10-6
11 Uitvoering van de boring en afwerking van de pompput	11-1
11.1 Aandachtspunten uitvoering boring	11-1
11.1.1 Werkwatervoorziening	11-2
11.1.2 Gebruik boorspoelingen	11-4
11.1.3 Ontzanding boorspoeling	11-7
11.1.4 Veiligheid- en Gezondheidsplan	11-9
11.1.5 Vergunningen	11-12
11.2 Grond-monstername en boorbeschrijving	11-17
11.3 Metingen in boorgat en pompput	11-18
11.3.1 Spontane potentiaal	11-22
11.3.2 Soortelijke elektrische formatieweerstand	11-23
11.3.3 Natuurlijke gammastraling	11-24
11.3.4 Diameter boorgat (caliper-meting)	11-25
11.3.5 Deviatiemeting	11-26
11.3.6 Temperatuurmeting	11-26
11.3.7 Flow-meting	11-26
11.3.8 Formatieweerstand d.m.v. elektromagnetische inductie	11-27
11.4 Inbouw pompput	11-28
11.4.1 Pvc-buizen opslaan	11-28
11.4.2 Lijmen	11-29
11.4.3 Maten bijhouden en centreren	11-31
11.4.4 Waarnemingsfilters	11-31
11.5 Aanvullen boorgat	11-32
11.6 Ontwikkelen pompput	11-33
11.6.1 Mechanische ontwikkelmethoden	11-34
11.6.2 Chemische ontwikkelmethoden	11-37
11.6.3 Schoonpompen putbodem en waarnemingsfilters	11-39
11.6.4 Metingen bij het ontwikkelen	11-39
11.7 Afwerken putkop en aanbrengen putkelder	11-39
11.7.1 Putkopconstructie afwerken	11-40
11.7.2 Putkelder aanbrengen	11-40
11.7.3 Putkop installeren	11-41
11.7.4 Terrein afwerken	11-41
11.8 Leggen terreinleidingen en kabels	11-42

11.8.1	Te leggen leidingen en kabels	11-42
11.8.2	Vorbereiding leggen	11-42
11.8.3	Leggen en aansluiten	11-43
11.8.4	Afwerken en opleveren	11-45
11.9	In bedrijfstellen put(tenveld)	11-45
12	Toezicht en oplevering	12-1
12.1	Toezicht	12-1
12.1.1	Toezicht tijdens het boren en de afwerking tot pompput	12-2
12.1.2	Toezicht bij de aanleg van kabels en terreinleidingen	12-3
12.2	Oplevering	12-4
12.2.1	Opleveringseisen pompput	12-4
12.2.2	Opleveringseisen kabels en leidingen	12-5
12.3	Normen bij toezicht en oplevering	12-5
13	Vastleggen meetgegevens	13-1
13.1	Uitvoering van de boring	13-2
13.2	Inrichting van de pompput	13-3
13.3	Waterkwaliteit	13-4
13.4	Terreinleidingen en kabels	13-6
13.5	Verbeteringen in het vastleggen van meetgegevens	13-6

10 Het Bestek

Een bestek is een werkovereenkomst tussen opdrachtgever en aannemer, bestaande uit een beschrijving (en tekeningen) van een uit te voeren werk met alle inlichtingen over de uitvoering ervan, inclusief alle op het werk van toepassing zijnde en administratieve bepalingen. Het is dus enerzijds het sluitstuk van de ontwerpfase en anderzijds het startpunt van de daadwerkelijke uitvoering. Het bestek wordt gemaakt op basis van het definitieve ontwerp. In dit hoofdstuk beschrijven we wat in het bestek thuishoort. Het bestek moet in ieder geval een goede technische beschrijving bevatten van de aard en omvang van het werk en het moet ook in juridische zin een deugdelijk document zijn.

We zullen nader ingaan op:

- onderdelen bestek
- besteksvormen en standaardisering bestekken.

samenvatting

In het algemeen bestaat een bestek uit de drie delen: Algemeen, Algemene en administratieve bepalingen en Werkomschrijving. Tot nu toe maken de waterbedrijven voor de beschrijving van de aanleg van pompputten meestal gebruik van een eigen Standaardbestek. Omdat toepassing van een landelijk gestandaardiseerde besteksystematiek ook voor de waterbedrijven en grondboorbedrijven voordelen biedt, wordt er op dit moment gewerkt aan het opzetten van standaardomschrijvingen voor het maken van putten (verschillende typen) die in de Standaard RAW Bepalingen zullen worden opgenomen.

10.1 Onderdelen bestek

In deze paragraaf geven we in de vorm van tabellen aan welke onderdelen in een bestek thuishoren. Deze tabellen hebben de functie van checklist.

Het bestek bestaat uit drie hoofdonderdelen, te weten:

- Algemeen
- Algemene en Administratieve bepalingen
- Werkomschrijving.

Tabel 10-1 Onderdelen bestek: Algemeen.

Onderdeel	Inhoud
01 Aanbesteder-Opdrachtgever	meestal dezelfde rechtspersoon
02 Directie	wordt door de opdrachtgever schriftelijk aangewezen
03 Inlichtingen	door wie gegeven, wanneer en waar
04 Inschrijving	de volgens de U.A.R. (Uniform Aanbestedings Reglement) bedoelde gegevens die door de inschrijver moeten worden overlegd om in aanmerking te komen voor de opdracht van het werk
05 Aanbesteding	manier van aanbesteden en de gestandsdoeningstermijn van de aanbidding
06 Opdracht	gunningscriteria en wat nog meer wordt meegewogen
07 Locatie	plaats of terrein van het uit te voeren werk
08 Algemene beschrijving	beschrijving van wat er in hoofdzaak moet worden uitgevoerd
09 Tijdsbepaling	opleverdatum en boete bij overschrijding
10 Onderhoudstermijn	periode waarin de aannemer voor het onderhoud moet zorgen

Tabel 10-2 Onderdelen bestek: Algemene en Administratieve Bepalingen.

Onderdeel	Inhoud
01 Van toepassing zijnde bepalingen	• Uniforme Administratieve Voorwaarden: U.A.V. 1989 • Uniform Aanbestedings Reglement: U.A.R. 1986 en U.A.R.-EG 1991 • Nederlandse normen van de Stichting Nederlands Normalisatie Instituut (NNI) • Standaard Bepalingen Putten (eigen Standaard Voorschriften of Standaard RAW Bepalingen) • Voorschriften voor werken in een waterwingebied • Provinciale Milieuverordening
02 Overige Algemene bepalingen	• frequentie bouwvergadering • werktijden • schade aan het werk
03 Betalingsregelingen	regeling van aanneemsom, afwijkingen verrekenbare hoeveelheden, risico's, declaraties meer- en minderwerk en uitvoeringskosten
04 Zekerheidsstelling	waarde te handhaven zekerheid en zekerheidsstelling in de vorm van een bankgarantie
05 Kabels en leidingen	aanduiding ligging kabels en leidingen door opdrachtgever en graafmelding via Klic-online door aannemer
06 Vergunningen	vergunningen voor zover deze door aannemer moeten worden aangevraagd of nageleefd
07 Verband met andere werken	werken die in elkaar grijpen
08 Maatregelen in het belang van het verkeer	aanbrengen wegbekanking voor openbaar verkeer en waarborgen toegankelijkheid voor openbaar verkeer en/of bestemmingsverkeer
09 Kwaliteitsplan	certificering aannemer, algemeen tijdschema, werkplan, organisatie en personeel, procesbeheersing, keuringsplan
10 Bouwstoffen	keuringscertificaten, keuring, transport, opslag en verwerking
11 Verzekeringen	soort verzekering (bijvoorbeeld CAR), schade en risico's
12 Arbeidsomstandigheden	Veiligheids- en Gezondheidsplan (conform Arbowet), coördinatie

De werkomschrijving bevat:

- een deel met Algemene gegevens
- een deel met Technische beschrijvingen (hierbij verwijzen we naar de Standaard RAW Bepalingen of de eigen Standaard Voorschriften).

Tabel 10-3 Onderdelen bestek: Werkomschrijving Algemene gegevens.

Onderdelen	Inhoud
01 Tekeningen	tekeningen behorend bij het bestek (bestektekeningen)
02 Peilen en hoofdafmetingen	hoogtematen t.o.v. NAP (op bestektekeningen) hoofdafmetingen t.o.v. het maaiveld of enkele vaste punten
03 Bijlagen	alle bijlagen van het bestek
04 Grondwaterstanden en terreinhoogten	metingen t.o.v. NAP
05 Werkterrein	grootte, toegang en gebruik

Onderdelen	Inhoud
06 Energie en werkwater	beschikbaarheid, aansluitvoorziening en kosten
07 Ter inzage liggende documenten	onder meer tekeningen van kabels en leidingen

Tabel 10-4 Onderdelen bestek: Werkschrijving Technische beschrijvingen.

Onderdelen	Inhoud
08 Inrichten boorlocatie	bijvoorbeeld aanleg schottenplateau i.v.m. schoon werken en plaatsen bouwafrastering
09 Realiseren put	• soort put, bijvoorbeeld pompput, waarnemingsput, brandput, bronneringsput en infiltratieput • nieuwe of bestaande pompput • aantal pompputten
10 Maken boorgat	boormethode, diepte en diameter boorgat, vrijkomende grond, monstername, monsterbeschrijving, boorgatmeting
11 Afwerken boorgat tot pompput	• materiaalsoort, diameter en perforatie • inbouwen van putconstructie, putkop, waarnemingsfilters, aarddraad en zoutwachterkabel • aanbrengen omstortingsmateriaal en soort (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.4)
12 Ontwikkelen pompput	mechanische ontwikkelmethoden, zoals intermitterend schoonpompen en sectiegewijs rondpompen, en chemische ontwikkelmethoden (zie opsomming Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.6), schoonpompen waarnemingsfilters, schoonpompen putbodem, afvoeren spuiwater, schoonpomp capaciteiten
13 Inrichten leidingtracé	uitzetten en plaatsen bronnering
14 Grondwerk t.b.v. terreinleidingen	graven en aanvullen sleuf of aanbrengen terreinleiding in de grond m.b.v. sleufloze techniek
15 Aanbrengen terreinleidingen	soort leiding, lengte en diameter, verbindingen, hulpstukken, wijze van aanbrengen, dekhogte
16 Beproeven, meten en testen van pompput en terreinleidingen	<i>pompput:</i> • capaciteitsmeting • flow-meting • proef zandvrij controle • dieptemetingen pompput en waarnemingsfilters • controle rechtstand • nemen watermonsters voor bepaling bacteriologische betrouwbaarheid • hoogte en plaats van pompput en waarnemingsfilters (hoogten t.o.v. NAP) <i>terreinleiding:</i> • afpersen • werking afsluiters • water in leiding bemonsteren • inmeten tracé en hoogteligging leiding
17 Algemene voorzieningen	aanbrengen putkelder, pomp, hulpstukken en meetapparatuur
18 Werk algemene aard	• directieverblijf met voorzieningen • toiletvoorziening op terrein

Onderdelen	Inhoud
19 Staartkosten	1) eenmalige kosten: • inrichten werkterrein: aanvoeren en opstellen van keten en loodsen inclusief aanleggen en aansluiten van kabels en leidingen. Aanleggen parkeerplaatsen en hulpwegen • opruimen werkterrein: opbreken en afvoeren van keten, loodsen, kabels en leidingen. Opbreken parkeerplaatsen en verhardingen • werkterrein in oorspronkelijke staat terugbrengen 2) uitvoeringskosten 3) algemene kosten 4) winst en risico
20 Stelpost	uitgaven van kleine leveringen en werkzaamheden die door de directie zijn opgedragen

10.2 Besteksvormen en standaardisering bestekken

juridisch

Waterbedrijven maken voor de aanleg van pompputten nog vaak gebruik van een eigen Standaardbestek. Bij de huidige beperkte selectie van aannemers (grondboorbedrijven) voldoet deze besteksvorm. De aannemers kennen de wensen en verlangens van elk waterbedrijf waarvoor ze projecten uitvoeren. Daarom kunnen de werkomschrijvingen beperkt blijven en kan een bestek voor het ene project snel in een bestek voor een ander project worden omgezet. Bij geschillen met een andere (binnen- of buitenlandse) aannemer (of onderaannemer) kan een eigen Standaardbestek tot problemen leiden, omdat deze bestekken juridisch gezien lang niet altijd up-to-date zijn. In de eigen Standaardbestekken wordt soms nog verwezen naar verouderde administratieve bepalingen en technische voorschriften (bepalingen). Daarnaast verschillen de werkomschrijvingen in de bestekken van bedrijf tot bedrijf, wat bij een andere aannemer tot verwarring kan leiden.

Veel waterbedrijven streven naar meer standaardisering van hun bestekken, dus bestekken met eenduidige en uniforme teksten en juridisch gezien deugdelijke verwijzingen. Zij kiezen voor aansluiting bij een landelijk gestandaardiseerde bestekssystematiek.

In Nederland zijn de STABU-systematiek en de RAW-systematiek de meest gangbare bestekssystematieken. STABU staat voor Standaardbestek Burgerlijke- en Utiliteitsbouw. RAW stond ooit voor Rationalisatie en Automatisering in de Wegenbouw maar is inmiddels een merknaam. RAW wordt onderhouden door de CROW (Kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimten).

De RAW-systematiek is de standaard in de Grond-, Water- en Wegenbouwsector met inbegrip van kabel- en leidingwerk. De werken voor de aanleg van pompputten en bijbehorende leidingen komen het meest overeen met de werken waarvoor de RAW-systematiek is bedoeld. Sinds 2002 bevat de RAW-systematiek de onderdelen om bestekken voor de aanleg van pompputten op te stellen.

10.2.1 RAW-systematiek: voor- en nadelen

De RAW-systematiek biedt de benodigde hulpmiddelen, zoals inschrijvingsstaat, inschrijvingsbiljet en verrekenstaat, voor de beschrijving en aanbesteding van werken, en is door de standaardopzet ervan herkenbaar voor opdrachtgevers en aannemers.

voordelen RAW-systematiek:

- groot draagvlak: algemeen geaccepteerd en gebruikt door opdrachtgevers, aannemers en adviesbureaus
- eenduidig en duidelijkheid over het uit te voeren werk (standaardomschrijvingen)
- juridisch goed onderbouwde bestekken
- actueel (centraal bijgehouden)

- sluit aan bij EG-normen en EG-regelgeving (EG-aanbesteding)
- systematiek voor diverse soorten werken (uniformiteit binnen het bedrijf)
- schrijven van een bestek kan worden uitbesteed
- kosten worden transparant
- marktconforme aanbesteding en meer marktwerving
- werk gemakkelijk tussentijds en aan het eind te verrekenen
- betere voor- en nacalculatie.

nadelen RAW-systematiek:

- de bestekken zijn gedetailleerder dan het eigen Standaardbestek; kan ook een voordeel zijn (zie tweede bolletje bij 'voordelen')
- werk moet goed worden omschreven, anders is er (in het begin) kans op meerwerk
- voor het gebruik van de systematiek zijn aan ieder project kosten verbonden
- de systematiek wordt wel eens moeilijk gevonden; de gebruikers moeten worden opgeleid (andere werkwijze) en er moeten hulpmiddelen (software) worden aangeschaft, wat investeringen vraagt.

10.2.2 RAW-sytematiek: opbouw

De RAW-systematiek bestaat uit:

1. Standaard RAW Bepalingen
2. Catalogus met keuzebepalingen
3. Catalogus met resultaatbeschrijvingen
4. Handleiding

Met deze 4 onderdelen wordt het RAW-bestek opgesteld.

1. Standaard RAW Bepalingen

De Standaard RAW Bepalingen (1995) bestaat uit:

- hoofdstuk 01, waarin algemene en administratieve bepalingen staan, die in beginsel voor elk werk van toepassing zijn
- hoofdstuk 02, waarin alle proeven zijn beschreven waar in andere hoofdstukken naar wordt verwezen
- hoofdstukken 11 en hoger, waarin de technische bepalingen per vakgebied zijn opgenomen
- bijlagen (de U.A.R. 1986 en de U.A.V. 1989).

Deze Standaard wordt elke 5 jaar geactualiseerd en bovendien worden er tussentijds aparte aanvullingen en wijzigingen uitgegeven.

'Standaard'-
pompputten

In de Standaard zijn standaardomschrijvingen voor het maken van pompputten opgenomen (in hoofdstuk 27).

2. Catalogus met keuzebepalingen

In de Catalogus met keuzebepaling zijn bepalingen opgenomen die niet algemeen van kracht zijn maar die de bestekschrijver naar behoefte in het bestek kan opnemen

3. Catalogus met resultaatsbeschrijvingen

Met de resultaatsbeschrijvingen worden de besteksposten samengesteld.

4. Handleiding

Een uitgebreide beschrijving van de RAW-systematiek en per hoofdstuk een nadere toelichting bij bepalingen en resultaatsbeschrijvingen.

10.2.3

RAW-bestek

Het RAW-bestek bestaat uit:

- Deel 0: Totstandkoming overeenkomst
 - gegevens die van belang zijn voor aanbesteding
- Deel 1. Algemeen
 - gegevens die van belang zijn voor de gunning
 - globaal inzicht in het werk
- Deel 2. Beschrijving
 - 2.1. Algemene gegevens
 - tekeningen
 - peilen, hoofdafmetingen
 - kwaliteitsborging
 - bijlagen
 - 2.2. Nadere beschrijving
 - staat van bestekposten
- Deel 3. Bepalingen
 - algemene en administratieve bepalingen
 - technische bepalingen
- Vaste bijlagen
 - inschrijvingsbiljet
 - inschrijvingsstaat
 - V&G-plan.

resultaats-
verplichting

Uitgangspunt bij een RAW-bestek is de resultaatsverplichting. De mogelijkheid om een bepaalde werkwijze en/of product voor te schrijven is beperkt. De eisen waar een werkwijze en/of product aan moet voldoen staan in de Standaard RAW Bepalingen of kunnen in de aanvullende bepalingen in het bestek worden opgenomen.

Ten aanzien van het mechanisch boren van (pomp)putten zijn technische uitvoeringseisen vastgelegd in het VKB Protocol 2006 Mechanisch boren. Vanaf 1 januari 2011 mogen alleen daarvoor erkende bedrijven bepaalde typen mechanische boringen uitvoeren. Meer informatie over het protocol en de certificering van bedrijven voor mechanisch boren is te vinden via www.sikb.nl.

11 Uitvoering van de boring en afwerking van de pompput

Dit hoofdstuk bevat kennis die van belang is voor het uitvoeren van de boring voor de pompput, het inbouwen van de pompput en het afwerken van de pompput met bijbehorende leidingen. We noemen die aandachtspunten die van belang zijn om de werkzaamheden zo uit te voeren dat de pompput, als deze in bedrijf is, optimaal presteert en dat zo lang mogelijk blijft doen. We laten zien welke informatie er nodig is om de pompfilters op de juiste plaatsen te stellen. Naast de eisen die aan het materiaal en het materiaal worden gesteld, noemen we ook de eisen die bij de uitvoering aan de componenten, de handelingen en de arbeidsomstandigheden worden gesteld.

De kennis van bovengenoemde aandachtsgebieden is als volgt over de paragrafen verdeeld:

- aandachtspunten uitvoering boring
- grondmonsternamen en boorbeschrijving
- metingen in boorgat en pompput
- inbouw pompput
- aanvullen boorgat
- ontwikkelen pompput
- afwerken putkop en aanbrengen putkelder
- leggen terreinleidingen en kabels
- in bedrijf stellen put(tenveld).

samenvatting

Bij de gangbare boormethode roterend zuigboren/luchtliften moet worden gezorgd voor een zekergestelde toelevering van werkwater van gecontroleerde kwaliteit en voldoende hoeveelheid. Om bij exploitatie van de pompput de kans op verstopping en/of bacteriegroei zo klein mogelijk te houden, wordt bij voorkeur geboord zonder, of als dat niet anders kan, met zo weinig mogelijk boorspoelingscomponenten. Bij aanboring van veel fijn materiaal is ontzanding van de boorspoeling noodzakelijk. De boormeester moet op grond van de uitgekomen grond een zo nauwkeurig mogelijke boorbeschrijving maken. Als aanvulling op deze boorbeschrijving wordt vaak een geofysische boorgatmeting in het open boorgat uitgevoerd om nauwkeurigere gegevens te verschaffen over vooral de plaats van de grensvlakken en de aanwezigheid van (dunne) kleilagen. Op basis van de boorbeschrijving, gecombineerd met de gegevens van een eventueel uitgevoerde geofysische boorgatmeting, wordt de definitieve filterstelling vastgesteld. De putelementen worden door lijmen aan elkaar verbonden. Direct na inbouw van de pompput kan met de gammastralingmeting worden vastgesteld of de gestorte kleilagen op de juiste plaats zitten. Het lijmen van de putelementen en het aanvullen van het boorgat zijn de twee meest kritische handelingen bij de inbouw van de pompput en eisen naast geconcentreerd werken de nodige voorzorgsmaatregelen. Na inbouw van de pompput wordt de pompput ontwikkeld om uit de omstorting, de boorgatwand en de aanliggende formatie fijn materiaal en restanten van de eventueel gebruikte boorspoelingscomponenten te onttrekken. Putkopconstructie en putkelder moeten conform tekening worden afgewerkt en terreinleiding, vuilwaterleiding, voedingskabel en signaleringskabels moeten conform voorschrift worden gelegd. Na afwerking wordt de pompput aan de hand van een checklist in bedrijf gesteld.

11.1 Aandachtspunten uitvoering boring

In deze paragraaf beschrijven we punten die van belang zijn om de grondboring zo goed mogelijk uit te voeren. Daarbij gaan we vooral in op de eisen die we aan de boorspoeling stellen. Ook noemen we zaken die we nodig hebben om met boren te kunnen beginnen.

De paragraaf hebben we ingedeeld naar de belangrijkste punten waarop we moeten letten, te weten:

- werkwatervoorziening
- gebruik boorspoelingscomponenten
- ontzanding boorspoeling
- Veiligheids- en Gezondheidsplan
- vergunningen.



Foto 11-1 Uitvoering van een boring (foto Carl van Rosmalen, Brabant Water)

11.1.1 Werkwatervoorziening

instorten	Gedurende de boorwerkzaamheden moeten we volledig kunnen vertrouwen op de beschikbaarheid van werkwater, want een kleine storing kan al leiden tot het instorten van het boorgat wat tot aanzienlijke vertraging en hoge kosten kan leiden. Daarom is het raadzaam een dubbele werkwatervoorziening aan te brengen, zodat bij uitval van de reguliere watervoorziening de voorziening door een noodvoorziening kan worden overgenomen. Zo kan bijvoorbeeld een bronnering van twee pompen worden voorzien.
bronnen	Werkwater kunnen we betrekken van: • reinwaterleiding • ruwwaterleiding (puttenveld) • bronnering • aanvoer met tankwagen(s).
keuze	Afhankelijk van de wensen ten aanzien van de kwaliteit van het te gebruiken werkwater kunnen we uit één van de genoemde mogelijkheden een keuze maken. De geplande locatie van de pompput zal ook van invloed zijn op de beschikbaarheid van de genoemde werkwaterbronnen. Bij het boren van drinkwaterputten moet gebruik worden gemaakt van reinwater of water uit bestaande putten. Werkwater van drinkwaterkwaliteit heeft de voorkeur. Bij het boren van waarnemingsputten op grote afstand van bestaande waterbronnen kan eventueel gebruik worden gemaakt van bronneringswater. In dit geval moet vooraf worden bepaald of het water aan de gestelde eisen voldoet. Voor een kwaliteitsput is bronneringswater niet wenselijk. Als er geen andere keuze is dan moet ook dat water aan de gestelde eisen voldoen. In geen geval mag oppervlaktewater of ondiep grondwater (tot 1 m diep) als werkwater worden gebruikt.

	<i>rein- of ruwwaterleiding</i>
brandkraan	Als we het werkwater van een leidingnet voor rein- of ruwwater betrekken, maken we gebruik van de dichtst bij de boorlocatie gelegen brandkraan. Op deze brandkraan monteren we een standpijp, ook wel opzetstuk genoemd, van waaruit we het water met brandslangen naar het boorgat transporteren.
keerklep	Wel moeten er bepaalde voorzorgsmaatregelen worden genomen om de kwaliteit van het water in het betreffende leidingnet te beschermen. Het is raadzaam om in de toevoerleiding van het werkwater naar het boorgat een keerklep te monteren en te zorgen voor een vrije uitstroom van het werkwater boven het vloeiستofniveau in de bezinkbak(ken). Met deze maatregelen voorkomen we dat er boorspoeling in het leidingnet stroomt, als de druk in het leidingnet wegvalt.
reducereventiel	Om het werkwater op de juiste druk en het gewenste debiet te brengen nemen we in de toevoerleiding van het werkwater een reduceerventiel op. Met dit ventiel voorkomen we ook dat er ongewenste drukstoten in het leidingnet optreden.
‘knijpen’	De toevoer ‘knijpen’, zoals we dat bij het reduceerventiel doen, is bij een brandkraanafsluiter absoluut verboden. De brandkraanafsluiter moet bij gebruik geheel opengedraaid worden om te voorkomen dat de leegloopopening open blijft staan. Als de leegloop (half) open blijft, stroomt het leidingwater door de opening naar buiten waardoor het water het zand rondom de brandkraan kan wegspoelen. Weggespoeld zand kan verzakking van de leiding tot gevolg hebben, wat op haar beurt kan leiden tot leidingbreuk. Wanneer de standpijp is voorzien van een afsluiter kunnen we uiteraard ook die voor het ‘knijpen’ van de toevoer gebruiken.
watermeter	Vaak is voorgeschreven om een watermeter in de toevoerleiding van het werkwater op te nemen om de gebruikte hoeveelheid water te bepalen.
insluiseffect	Als we een standpijp op de brandkraan toepassen moeten we een bepaalde werkvolgorde in acht nemen om het zogenaamde ‘insluiseffect’ te vermijden. Dit gebeurt alleen bij onoordeelkundig gebruik van de brandkraan. De juiste werkvolgorde is: 1. standpijp monteren (en eventueel reeds de brandslang aansluiten) 2. de eventueel aanwezige afsluiter op de standpijp opendraaien 3. de afsluiter van de brandkraan (geheel) opendraaien. Als we deze volgorde aanhouden zorgen we ervoor dat het vuil, zoals zand en bladeren die meestal op de brandkraan zitten, met de waterstroom via de standpijp naar buiten wordt afgevoerd. Gaan we in een andere volgorde te werk dan kan er vuil in het leidingnet terechtkomen. Als we bijvoorbeeld direct na montage van de standpijp, waarvan de afsluiter gesloten is, de afsluiter van de brandkraan openzetten wordt het vuil met het water de standpijp ingevoerd. Daar komt het water tot rust en zakt het vuil naar beneden tot in het leidingnet. Op deze manier komt het vuil in het leidingnet terecht. Dit effect noemen we ‘insluiseffect’.
vacuümpomp	<i>bronnering</i> Als er in de buurt van de boorlocatie geen rein- of ruwwaterleiding aanwezig is, kunnen we het water eventueel door middel van een aan te leggen bronnering oppompen. Het niveau van het freatische grondwater moet dan wel zodanig zijn dat de bronnering het grondwater goed kan bereiken en dat het water met een vacuümpomp kan worden opgepompt. Om de gebruikte hoeveelheid werkwater bij te houden kan er aan het eind van de verzamelleiding van de bronnering een watermeter worden gemonteerd.
kwaliteit	In vergelijking met rein- en ruwwater uit het leidingnet is de kwaliteit van het bronneringswater vaak slechter of niet bekend. Hier moeten we rekening mee houden als we een waterbron kiezen. Anders dan bij het gebruik van het leidingnet hoeven we bij een bronnering geen beschermingsmaatregelen tegen terugstromend water te nemen.

gaten dichten Na het verwijderen van de bronnering moeten we de spuitgaten van de verwijderde bronneringsbuizen met kleibrokken aanvullen.

aanvoer met tankwagen(s)

Als geen van bovengenoemde bronnen op of bij de gekozen boorlocatie aanwezig of mogelijk is, dan is aanvoer met behulp van een tankwagen de enige oplossing om de boring te kunnen uitvoeren. Wel kunnen we dan beschikken over de gewenste waterkwaliteit. Van de genoemde bronnen is deze optie echter het duurst.

meer wagens Om ook in dit geval meer zekerheid te hebben dat er steeds werkwater aanwezig is, is het raadzaam om minimaal twee tankwagens in te zetten. Op deze manier zal er steeds minimaal één tankwagen op de boorlocatie stand-by zijn.

11.1.2 Gebruik boorspoelingen

Bij roterend zuigboren speelt boorspoeling een belangrijke rol bij het transport van het boorgruis en de instandhouding van het boorgat. Om ook later, als de pompput in bedrijf is genomen, geen verlies aan productiecapaciteit en/of waterkwaliteit te ondervinden als gevolg van het gebruik van de boorspoeling, moeten er hoge kwaliteitseisen aan de boorspoeling worden gesteld¹.

functies

De functies van de boorspoeling zijn:

- boorgruis uit boorgat verwijderen; zo nodig viscositeit verhogen om dragend vermogen te verhogen
- boorgatwand in stand houden door voldoende tegendruk op de boorgatwand uit te oefenen tegen instromend water; deze druk wordt verkregen door een overdruk van minimaal 2 m waterkolom (op grond van praktijkervaring). Zo nodig moet de dichtheid van boorspoeling worden verhoogd
- boorgatwand afpleisteren om verlies van werkwater te beperken
- zwellen van doorboorde kleilagen verhinderen
- beitel schoonhouden
- beitel koelen en smeren (alleen bij roller-bits; deze worden zo nodig gebruikt in de verharde formaties in Zuid-Limburg en het oosten van ons land).

Om er voor te zorgen dat de boorspoeling al deze functies in voldoende mate kan vervullen moeten we zo nodig spoelingsadditieven aan de boorspoeling toevoegen. Hiermee worden de gewenste eigenschappen van de boorspoeling verbeterd. Het gebruik van spoelingsadditieven werkt echter kostenverhogend en het leidt er ook vaak toe dat door indringing in de boorgatwand de doorlatendheid van de aanliggende formatie afneemt (zie Figuur 11-1). Bovendien wordt de kans op bacteriegroei vergroot.

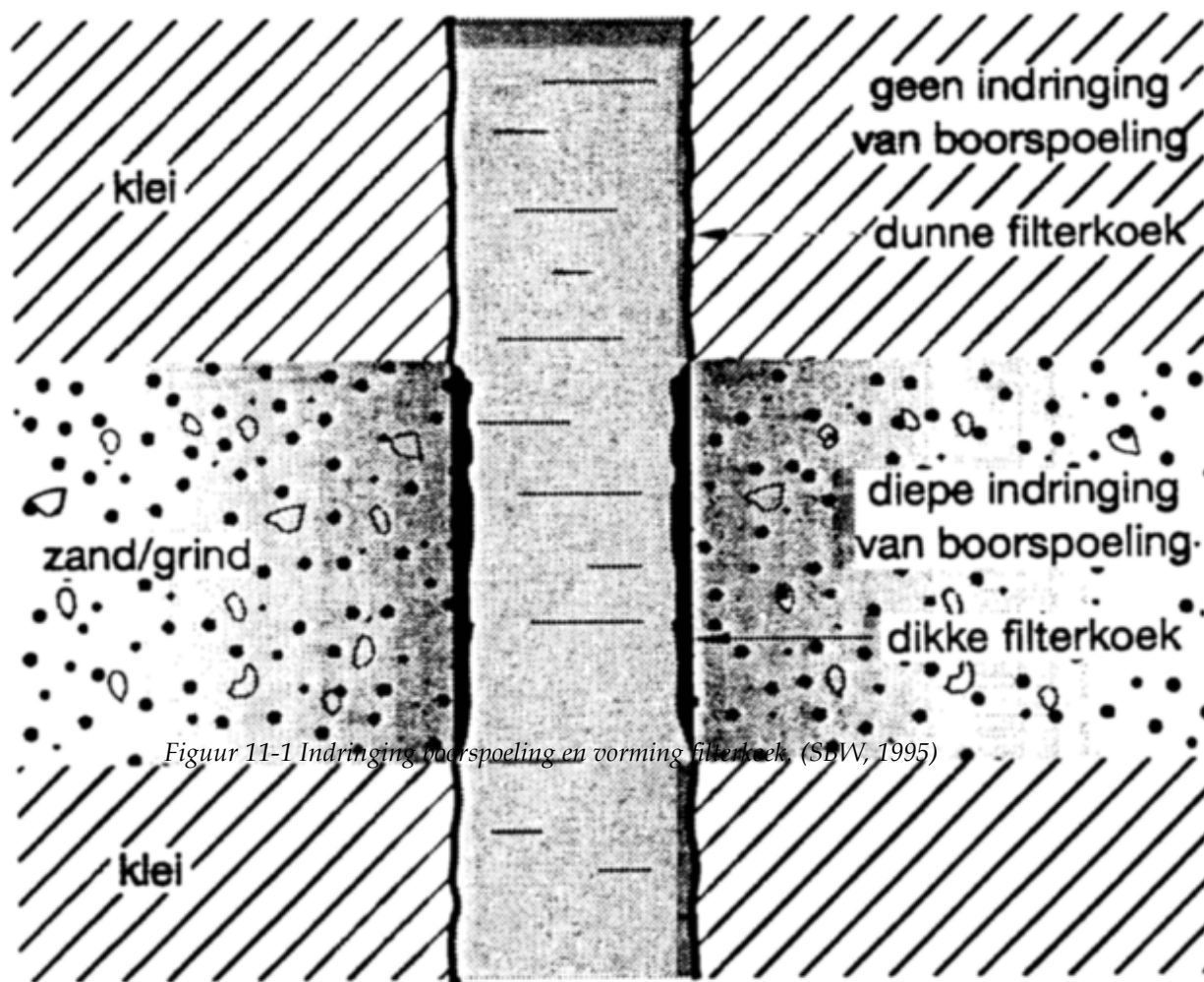
natuurlijke
boorspoeling

Als de samenstelling en doorlatendheid van de te doorboren formatie en de heersende stijghoogte in de watervoerende lagen dat toelaten, kunnen we volstaan met een boorspoeling zonder toevoegingen, de zogenaamde natuurlijke boorspoeling. Natuurlijke boorspoeling bestaat uit werkwater met zwevende deeltjes en natuurlijke kleideeltjes uit het opgeboorde boorgruis, die geen gelegenheid hebben gekregen in de bezinkbakken te bezinken. In veel gevallen voldoet natuurlijke boorspoeling om de boring naar wens uit te voeren. Als de stijghoogte in de watervoerende lagen lager is dan 1 m – mv kan in de mantelbuis de vereiste overdruk worden gecreëerd.

spoelings-
additieven

Bij het doorboren van grofkorrelige watervoerende lagen en/of een watervoerend pakket met een hoge stijghoogte, kan een natuurlijke boorspoeling onvoldoende zijn om het waterverlies te beperken en/of het boorgat in stand te houden. In die gevallen moeten wij spoelingsadditieven toevoegen.

¹ Zie voor meer informatie *Boormeester I (diepboringen)*, SBW-cursus, Gouda 1997. In hoofdstuk 'Onverbuisd boren: boorspoeling', blz. 127-148, wordt ingegaan op functies, eisen en eigenschappen van spoelingscomponenten, het aanmaken van de boorspoeling, het meten van de eigenschappen en het controleren van de eigenschappen tijdens de boorwerkzaamheden.



Figuur 11-1 Indringing boorspoeling en vorming filterkoek. (SLW, 1995)

INDRINGING BOORSPOELING EN VORMING FILTERKOEK

In Tabel 11-1 zijn de gangbare spoelingsadditieven bij het boren van pompputten en hun functies op een rij gezet.

Tabel 11-1 Spoelingsadditieven en hun functies.

Spoelingsadditief	Functie
PAC (organisch)	verdikking en beperking vloeistofverlies klei- en zandlagen
CMC (organisch)	verdikking en beperking vloeistofverlies zandlagen; wordt niet meer gebruikt bij boringen voor drinkwaterputten
Bentoniet (anorganisch)	verdikking en beperking vloeistofverlies zandlagen
Xanthaan	verdikking en beperking vloeistofverlies zandlagen
Caustisch soda (anorganisch)	pH-verhoging, vermindering klontering en naval van klei

PAC (*polyanionic cellulose*)

eigenschappen Het product met de handelsnaam Antisol, een gemodificeerd zetmeelproduct, is de bekendste PAC-component. Het zetmeelproduct wordt gemodificeerd om de stof de gewenste eigenschappen te geven, zo dat het product in water oplosbaar is en de viscositeit van de boorspoeling wordt verhoogd.

hoeveelheid	PAC-producten zijn makkelijk in het gebruik, want er zijn maar kleine hoeveelheden van nodig. De benodigde hoeveelheid is afhankelijk van factoren als grofheid van de formatie, diepte van het boorgat, boorgatdiameter, beschikbaarheid van hoeveelheid werkwater en kans op klei-naval in het boorgat. Om een idee te krijgen van de vereiste hoeveelheden moeten we eerder denken aan enkele tientallen kilogrammen per boring dan aan enkele honderden kilogrammen. PAC-componenten dienen in beperkte concentraties en hoeveelheden gebruikt te worden. In de praktijk wordt doorgaans gewerkt met concentraties tot 0,3 kg/m³, met uitschieters tot 1,0 kg/m³. Bij hogere concentraties neemt het risico toe dat de spoelingsadditieven niet meer volledig verwijderd kunnen worden.
bacteriegroei	PAC-producten zijn biologisch afbreekbaar. PAC is een bron voor bacteriegroei. Volgens onderzoek is PAC niet toxisch².
oplosbaarheid	<i>CMC (natrium-carboxy methyl cellulose)</i> CMC heeft ongeveer dezelfde structuur als zetmeel. Cellulose zelf is niet in water oplosbaar, maar door verbindingen aan te gaan met carboxy- en methylgroepen is het wel in water oplosbaar. Aanhechting van een natriumatoom maakt de stof nog beter oplosbaar.
bacteriegroei	Evenals PAC is CMC biologisch afbreekbaar, wat ook CMC bestempelt als mogelijke bron van bacteriegroei. Volgens het bij PAC aangehaalde onderzoek kan Na-CMC toxisch zijn. Daarom wordt CMC niet meer gebruikt bij boringen voor drinkwaterputten.
zwellen	<i>bentoniet</i> Bentoniet is een kleimineraal met een plaatstructuur en behoort tot de montmorilloniet-groep. Door die structuur heeft het mineraal de neiging watermoleculen te adsorberen. Deze adsorptie veroorzaakt zwellen van de bentonietkorrels. De mate waarin de korrels zwellen hangt af van de samenstelling van het bentoniet en het zoutgehalte van de vloeistof waarin de bentonietkorrels zich bevinden. De zwellen neemt af met toenemend zoutgehalte. Bentoniet kan worden verwijderd met behulp van een dispergeermiddel. Door het toepassen van een dispergeermiddel wordt de verbinding tussen de kleiplaatjes verbroken. Hierdoor wordt de bentoniet boorspoeling minder viskeus en verliest deze zijn gelvormende eigenschappen. Als dispergeermiddel kan gebruik worden gemaakt van Aquaclear (werkende stof: polyacrylamide). Dit is een flocculatiemiddel dat vooral veel in waterzuiveringsprocessen wordt gebruikt, en biodegradeerbaar is. De benodigde hoeveelheden bentoniet hangen af van dezelfde factoren als bij PAC. Voor hetzelfde resultaat hebben we van bentoniet ongeveer 10-maal zoveel nodig als van PAC.
richtlijnen	Volgens richtlijn 14 (richtlijnenboek) moet het gebruik van bentoniet zoveel mogelijk worden voorkomen. Als bentoniet beslist noodzakelijk is, bijvoorbeeld bij grote kans op instorten van het boorgat, dan wordt aangeraden het in combinatie met PAC te gebruiken. PAC zorgt ervoor dat het bentoniet zich beter en gelijkmatiger verspreidt. Op deze manier wordt de effectiviteit van bentoniet vergroot, waardoor er minder van nodig is.
voordelen	Bentoniet heeft een lage bacteriologische groeipotentie vergeleken met boorvloeistoffen op basis van polymeren. <i>xanthaan</i> Xanthaan is een boorvloeistof op basis van organische polymeren, xanthaan bestaat uit lange suikerketens en heeft gelvormende eigenschappen. Het is mogelijk om met

² S. Bloemendaal en J. Griffioen, *Milieukundige aspecten van boorspoelingen*, TNO-rapport, Delft 1991. Dit rapport bevat de resultaten van onderzoek naar onder meer de milieuhygiënische kenmerken van bentoniet en organische spoelingsadditieven, ook bij lozing en stort, en milieuwetgeving met betrekking tot boorspoelingen.

polymeren een spoeling te maken die gelijke eigenschappen heeft als bentoniet. Xanthaan lijkt het meest op een bentoniet spoeling, omdat deze een zwichtspanning geeft wanneer de spoeling in rust is. Een zwichtspanning heeft voordelen bij de vorming van de filterkoek en het dragend vermogen van de spoeling in rust. De overige spoelingen geven geen zwichtspanning. De meest optimale samenstelling van xanthaan is 5 kg/m³.

Nadelen De bacteriologische groeipotentie van xanthaan is echter groot.

caustisch soda (NaOH)
pH-verhoging Caustisch soda voegen we toe om de pH van de boerspoeling te verhogen. Een pH van 8,5 à 9,5 is in het algemeen het gunstigst voor de stabiliteit van het boorgat. Bovendien kunnen we bij deze pH-waarden de eigenschappen van de boerspoeling beter onder controle houden dan bij lagere of hogere pH-waarden.

klei-naval Organisch materiaal in doorboorde kleilagen kan door wateropname opzwellen, waardoor klei naar buiten wordt gedrukt (klei-naval). Dit kan worden beperkt door dergelijke organische kleien goed met een bentoniet spoeling af te smeren (water kan hierdoor niet in deze klei trekken) Om bentoniet goed in oplossing te houden moet de pH van de boerspoeling basisch worden gehouden dit wordt gedaan door toevoeging van caustische soda.

mica, walnootschillen, houtsnippers, cellofaansnippers
grindlaag Deze producten worden toegepast om het waterverlies bij lagen van grof materiaal te beperken. In Nederland worden ze nauwelijks gebruikt. Als we dergelijke pakketten moeten doorboren, stappen we eerder over op de verbuisde pulsboormethode.

11.1.3 Ontzanding boerspoeling

Het boorgruis dat door de beitel is losgeboord wordt met behulp van de circulerende boerspoeling uit het boorgat verwijderd. Ook de fijnere zanddeeltjes en andere meegevoerde kleine deeltjes moeten zo snel en zoveel mogelijk uit de vloeistofstroom worden afgescheiden. Om deze ontzanding uit te voeren kunnen we ontzanders (cyclonen en schudzeven) toepassen, meer suppletiebakken gebruiken, de suppletiebakken schoonmaken voordat in het watervoerende pakket wordt geboord, de boerspoeling aanpassen enz.

doel Blijven de fijne materiaaldeeltjes in de vloeistofstroom meecirculeren dan zal een deel ervan in de formaties dringen, waardoor de doorlatendheid kleiner wordt. Ontzanding voorkomt dat de doorlatendheid van de delen van de formatie die van belang zijn voor de waterwinning kleiner wordt dan wenselijk is.

Bij het boren van waterwinputten verwijderen we het boorgruis en de fijne materiaaldeeltjes met:

- bezinkbakken
- cyclonen
- schudzeven.

bezinkbakken (spoelbakken)

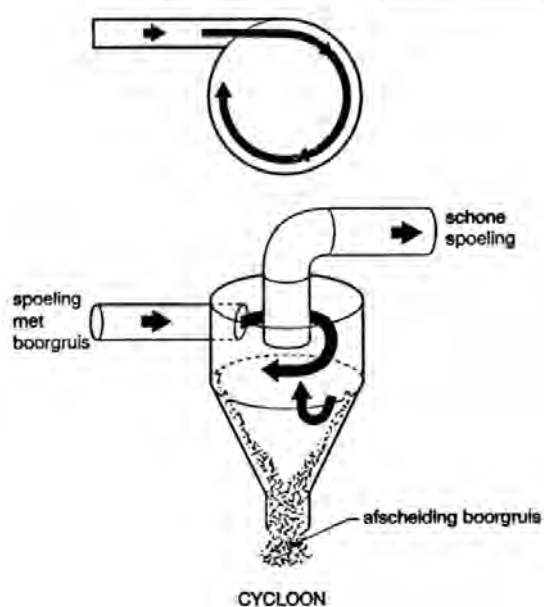
Bij roterend zuigboren plaatsen we altijd bezinkbakken. Richtlijn is minimaal twee bezinkbakken. Vaak plaatsen we twee of drie, soms vier bezinkbakken in serie. De eerste bak is de bak waarin de boorvloeistof met boorgruis vanuit de boorstang terechtkomt en waar zich de straalbreker bevindt. Hier bezinkt het grofste materiaal. Bij deze bak nemen we ook de grondmonsters waarmee we de boorbeschrijving maken. Vervolgens stort de boerspoeling over in de volgende bak(ken) waarin het fijnere materiaal verder bezinkt. De laatste bezinkbak is rechtstreeks op de mantelbuis (geen boorbuis!) van het boorgat aangesloten.

fijn zand

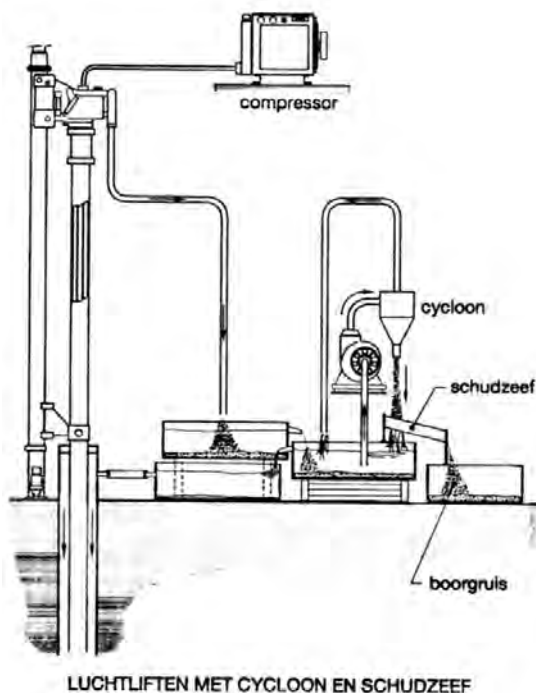
Hoe meer fijn zand er zich in de boerspoeiing bevindt, des te langer het bezinktraject moet zijn. Dat kunnen we realiseren door meer bezinkbakken te plaatsen. De afscheiding kunnen we ook verbeteren door de stroomsnelheid in het bezinktraject te beperken door brede overstortranden toe te passen of de bezinkbakken parallel te plaatsen.

verversen

Bij het doorboren van veenlagen of sterk slibhoudende lagen is het aan te bevelen de boerspoeiing te versen voordat het geplande filtertraject wordt bereikt. De bezinkbakken moeten dan in elk geval worden schoongemaakt.



Figuur 11-2 Cycloon. (SBW, 1995)



Figuur 11-3 Luchtliften met cycloon en schudzeef. (SBW, 1995)

schudzeven

Evenals cyclonen gebruiken we schudzeven om de ontzanding van de boorspoeling te bevorderen. Schudzeven gebruiken we in combinatie met bezinkbakken en cyclonen (zie Figuur 11-3). De boorspoeling wordt uit de tweede (of derde) bezinkbak opgepompt en toegevoerd naar een aantal cyclonen (100 à 125 mm) die zich boven de trillende schudzeef bevinden. De laatste bezinkbak kan als communicerend vat aan de tweede bezinkbak worden verbonden. Dank zij de schudbeweging van de zeef wordt het opgevangen materiaal naar één kant geleid waardoor het in een bak met alleen boorgruis terecht komt. De maaswijdte van de schudzeef en het type cycloon bepalen de maat van de fractie die uit de boorspoeling wordt verwijderd. Schudzeven worden zelden gebruikt.

11.1.4 Veiligheid- en Gezondheidsplan

In de deze paragraaf beschrijven we wat het belang is van de aanwezigheid van een Veiligheids- en Gezondheidsplan op de werklocatie en de verantwoordelijkheden die daarin zijn vastgelegd.

We gaan achtereenvolgens in op:

- voorschriften veiligheid en gezondheid op de werklocatie
- de bouwwerken waarvoor de voorschriften gelden
- verplichtingen per werkcategorie en situatie
- verantwoordelijkheden opdrachtgever en opdrachtnemer.

voorschriften veiligheid en gezondheid op de werklocatie

Arbobesluit

De voorschriften die betrekking hebben op veiligheid en gezondheid op de werklocatie komen voort uit het Arbeidsomstandighedenbesluit³ (kortweg Arbobesluit genoemd, zie www.wetten.nl), dat in 1994 in werking is getreden. Het Arbobesluit is een algemene maatregel van bestuur die op de Arbeidsomstandighedenwet⁴ (kortweg Arbowet genoemd) is gebaseerd. In het Arbobesluit zijn onder Hoofdstuk II, Afdeling 5 *Bouwproces*, voorschriften opgenomen die als doel hebben de verantwoordelijkheden voor de arbeidsomstandigheden op de bouwplaats te coördineren door samenwerking van de betrokken partijen.

Deze voorschriften zijn geënt op de EEG-richtlijn van de Raad van de Europese Gemeenschappen, waarin de minimumvoorschriften inzake veiligheid en gezondheid voor tijdelijke en mobiele bouwplaatsen zijn opgenomen. In deze richtlijn zijn voorschriften gegeven die de veiligheid en gezondheid van de werknemers op de bouwplaats beogen te waarborgen en die in principe gelden voor alle partijen die bij het bouwproces betrokken zijn, vanaf de ontwerpfase tot en met de uitvoeringsfase.

zorgplicht

Niet alleen werkgevers en werknemers, maar ook zelfstandigen, opdrachtgevers en ontwerpers worden op basis van hun rol en positie in het bouwproces belast met een deel van de zorgplicht voor veiligheid en gezondheid van degenen die op de bouwplaats werkzaam zijn. Deze zorgplicht brengt met zich mee dat arbeidsrisico's zoveel mogelijk moeten worden vermeden. Daarom moeten we deze risico's vroegtijdig in de ontwerpfase onderkennen. Om de arbeidsrisico's te onderkennen en te vermijden voeren we in de ontwerpfase een risico-inventarisatie en een risico-evaluatie uit en signaleren we risico's die niet te vermijden zijn. Al deze risico's leggen we schriftelijk vast in een Veiligheids- en Gezondheidsplan, dat onderdeel is van het bestek en dat daarmee onderdeel is van de overeenkomst tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

³ Mr. P.E. van der Poest Clement en Mr. A.H.M. Boere, *Handboek Arbobesluit*, 2000.

⁴ Mr. P.E. van der Poest Clement en Mr. A.H.M. Boere, *Handboek Arbowet*, 1999.

V&G-plan Het Veiligheids- en Gezondheidsplan, kortweg V&G-plan genoemd, is een document dat we regelmatig actualiseren en detailleren. Belangrijk is dat we in ieder geval vóór het begin van de uitvoeringsfase een analyse uitvoeren op veiligheids- en gezondheidsrisico's voor de desbetreffende werkzaamheden en de overige daarmee samenhangende of samenvallende werkzaamheden. De resultaten van deze analyse en (de afspraken over) de te treffen voorzieningen en maatregelen moeten we in het V&G-plan vastleggen. Verder moeten we in het V&G-plan vermelden wie er verantwoordelijk is (zijn) voor de te treffen voorzieningen en maatregelen en welke afspraken er zijn gemaakt over de controle op de uitvoering en handhaving van de voorzieningen en maatregelen.

de bouwwerken waarvoor de voorschriften gelden

(bouw)werk De voorschriften met betrekking tot het bouwproces, zoals die in het Arbobesluit zijn opgenomen, gelden voor zowel bouwwerken als civieltechnische werken. Onder het begrip (bouw)werk verstaan we het geheel van alle werkzaamheden die op de bouwlocatie worden uitgevoerd. De verplichtingen, die volgens deze voorschriften op diverse partijen rusten, zijn echter wel gekoppeld aan de aard en omvang van het bouwproject.

Ten aanzien van de genoemde verplichtingen op het gebied van de veiligheid en gezondheid onderscheiden we een aantal categorieën 'werken' en 'situaties'.

'werken' Bij 'werken' maken we onderscheid tussen drie categorieën:

- A. werken waarbij:
 - de geraamde duur van de bouwwerkzaamheden meer dan 30 dagen bedraagt en meer dan 20 werknemers tegelijkertijd op de bouwplaats arbeid verrichten, of
 - de duur van de bouwwerkzaamheden meer dan 500 mandagen omvat (indicatie bouwsom circa €350.000,-).
- B. werken die, ongeacht de omvang, als zeer gevaarlijk worden beschouwd. Er moet dan sprake zijn van arbeidsrisico's die groter zijn dan de risico's bij reguliere bouwactiviteiten. Het betreft werken waarbij ten minste sprake is van één van de volgende werkzaamheden of activiteiten:
 - werken met verhoogd risico op bedelven, vastraken of vallen;
 - werken waarbij gewerkt wordt met bijzonder gevaarlijke chemische stoffen;
 - werken met ioniserende straling;
 - werken in nabijheid van hoogspanningskabels;
 - werken met risico op verdrinking;
 - werken met een duikuitrusting;
 - werken waarbij werkzaamheden onder overdruk worden uitgevoerd;
 - het graven van putten, tunnels, ondergrondse werken;
 - werkzaamheden met springstoffen;
 - werkzaamheden in verband met de montage van zware prefab-elementen.
- C. alle overige werken, dat wil zeggen werken die niet onder bovengenoemde categorieën vallen.

Combi: onder de categorie Combi vallen de meerjarige contracten voor de gecombineerde aanleg van hoofd- en aansluitleidingen (combiwerken).

'situaties' Bij 'situaties' maken we onderscheid tussen twee categorieën:

- I bouwplaatsen waar werknemers van één werkgever werken
- II bouwplaatsen waar werknemers van twee of meer werkgevers arbeid verrichten (uitgezonderd werknemers die directie voeren en toezicht houden).

verplichtingen per werkcategorie en situatie

In Tabel 11-2 hebben we per werkcategorie en situatie de belangrijkste verplichtingen vermeld. De hierin aangeduide categorieën en situaties corresponderen met het

bovenstaande overzicht. Aan het begin van het ontwerpproces moeten we bepalen onder welke werkcategory en situatie het (bouw)werk valt.

Tabel 11-2 Verplichtingen per werkcategory en situatie.

Verplichtingen (I = één werkgever II = twee of meer werkgevers)	A		B bijzonder risico		C geen A en/of B		Combi
	I	II	I	II	I	II	I
1. Kennisgeving van uit te voeren werk: voor aanvang werk sturen naar regiokantoor Arbeidsinspectie.	X	X					
2. V&G-coördinatoren: aanstellen voor aanvang van de ontwerpfase.		X		X		X	
3. V&G-plan: opstellen in ontwerpfase en verder uitwerken en actualiseren in uitvoeringsfase.	X	X	X	X			X
4. V&G-plan in bestek: in ontwerpfase gemaakt V&G-plan moet deel uitmaken van het bestek.	X	X	X	X			
5. V&G-coördinatoren: aanstellen voor uitvoeringsfase.		X		X		X	
6. Standaard risicolijst(en)						X	
7. V&G-dossier: opstellen door V&G-coördinator in ontwerpfase, aanvullen door V&G- coördinator in uitvoeringsfase en bij oplevering overdragen aan eigenaar bouwwerk.		X		X		X	
8. Arbo-verantwoording	X	X	X	X	X	X	X

**Contract-
bepaling** Aan de in de wet verplicht gestelde contractbepaling wordt voldaan middels het tekenen van de Arboverantwoording. Hiermee verklaart de opdrachtnemer kennis te hebben genomen van taken en verantwoordelijkheden V&G-coördinator ontwerpfase/ uitvoeringsfase. Tevens verklaart hij hiermee in bezit te zijn van de vastgestelde documenten.

aanleg pompput Aan de hand van de volgende voorbeelden laten we zien met welke verplichtingen we rekening moeten houden als we pompputten aanleggen. Daarbij verwijzen we naar de tabel.

- Het renoveren of boren van een puttenveld valt al snel onder A en situatie II. Daarbij behoren dus alle verplichtingen behalve nummer 6.
- Als het renoveren of boren van een puttenveld door één aannemer wordt uitgevoerd (situatie I), hebben we te maken met verplichtingen 1, 4, 5 en 8.
- Bij het regenereren van pompputten door jutteren (overdruk) met chemicaliën (werken B), dat door één aannemer wordt uitgevoerd (situatie I), zijn verplichtingen 4, 5 en 8 van toepassing.
- Bij het boren van een of enkele pompputten/ waarnemingsputten (werken C), dat door één aannemer wordt uitgevoerd (situatie I), geldt alleen verplichting 8. Maar volgens de Arbowet blijft de aannemer verplicht voor aanvang van de uitvoeringsfase een risico-inventarisatie en een risico-evaluatie van de werkzaamheden uit te voeren.

opdrachtgever *verantwoordelijkheden opdrachtgever en opdrachtnemer*
Het Arbobesluit wijst de opdrachtgever aan als de primair verantwoordelijke voor de verplichtingen die nageleefd moeten worden in de ontwerpfase en bij de contractvorming met de uitvoerende partij(en). Op hoofdlijnen betekent dit (voor zover dat van toepassing is):

- aanstellen van een V&G-coördinator ontwerpfase

- V&G-plan opstellen en in bestek opnemen
- de ontwerpers zijn verantwoordelijk voor het naleven van de algemene uitgangspunten inzake veiligheid, gezondheid en welzijn
- V&G-dossier door de V&G-coördinator ontwerpfasen laten samenstellen
- de uitvoerende partij in een schriftelijke overeenkomst wijzen op haar verplichtingen om bij nevenaanneming de verplichtingen bij een van de aannemers neer te leggen
- de Arbeidsinspectie in kennis stellen van het uit te voeren werk.

opdrachtnemer Voor de verplichtingen die verband houden met de totstandbrenging van een (bouw)werk is de uitvoerende partij (opdrachtnemer) de primair verantwoordelijke. Op hoofdlijnen betekent dit (voor zover dat van toepassing is):

- aanstellen van een V&G-coördinator uitvoeringsfase
- ervoor zorgen dat de V&G-coördinator uitvoeringsfase de coördinatietaken, met name ten aanzien van het V&G-plan, naleeft
- zorgen voor de coördinatie van de samenwerking en het overleg tussen werkgevers en werknemers op de bouwlocatie.

Deze scheiding van verantwoordelijkheden brengt met zich mee dat de opdrachtgever bij gunning van het werk in een schriftelijke overeenkomst met de uitvoerende partij deze moet wijzen op diens verplichtingen ten aanzien van de V&G-coördinatietaken tijdens de uitvoeringsfase.

Het V&G-plan, dat deel uitmaakt van het bestek, is eveneens onderdeel van de aannemingsovereenkomst.

11.1.5 Vergunningen

Het is van belang om in het voortraject van een werk/project rekening te houden met externe regelgeving. Loop daarom de volgende checklist langs:

- Algemeen: zijn wijzigingen in overeenstemming met het toepassen van de “best beschikbare technieken”?
- Bestemmingsplan: zijn de voorgenomen werkzaamheden (nieuw op te richten bouwwerken of aanpassingen aan bestaande voorzieningen) in overeenstemming met het bestemmingsplan? Het bestemmingsplan geeft voorschriften waaraan een bouwwerk moet voldoen, zoals de toegestane te bebouwen oppervlakte, doort bouwwerk, bouwhoogtes e.d. Bestemmingsplanwijzigingen kunnen 9 maanden tot een jaar duren!
- Verdrag van Malta: heeft het gebied waar de werkzaamheden worden uitgevoerd mogelijk archeologische waarde (dit is bekend bij de provincie)?
- Natuur: check of het gebied waar de activiteiten worden uitgevoerd valt onder de Flora en Faunawet, Natuurbeschermingswet of Natura2000 (Vogel-/Habitatrichtlijn).
- Milieu: de Wet milieubeheer/ Activiteitenbesluit en Waterwet stellen regels aan de milieugevolgen van bedrijfsmatige activiteiten. Denk hierbij aan lozing, afval, opslag van gevaarlijke stoffen en energie.
- Gebouwen: gebruiksbesluit geldt voor elk gebruik van een bouwwerk. Geeft duidelijke en landelijk gelijke brandveiligheidsvoorschriften voor gebruik van gebouwen.

Voor het uitvoeren van een boring, het afwerken van een boorgat tot pompput, of regeneratiewerkzaamheden hebben we vergunningen nodig. In deze paragraaf bespreken we de benodigde vergunningen, te weten:

- opstalrecht
- bouwvergunning
- aanlegvergunning
- onttrekkingsvergunning
- WVO-vergunning

- milieuvergunning
- kapvergunning.

opstalrecht

Het opstalrecht is het recht van het waterbedrijf om op het perceel van een eigenaar of gebruiker een pompput en/of een leiding aan te leggen, in bezit te hebben en te onderhouden gedurende een afgesproken periode. Bij opstalrecht geeft de eigenaar of de gebruiker van het perceel het waterbedrijf toestemming om deze activiteiten op zijn perceel te ontplooien.

Kadaster Het opstalrecht, onderdeel van het Zakelijk recht, wordt door middel van een notariële akte opge maakt en wordt vervolgens bij het Kadaster in de openbare registers ingeschreven.

Bij eigendomsoverdracht van de grond blijft het opstalrecht gebonden aan de grond.

Een opstalrecht is niet nodig als een waterwingebied, waarin de pompputten liggen, eigendom is van het waterbedrijf, wat vaak het geval is.

Waarnemingsputten liggen meestal in particuliere grond. Om voor deze pompputten op lange termijn behoud en onderhoud te garanderen wordt een opstalrecht sterk aangeraden, vooral als het gaat om de belangrijke en kostbare pompputten.

Leidingen liggen of passeren dikwijls particulier terrein waardoor een opstalrecht noodzakelijk is.

Het duurt 4 tot 6 weken om een opstalrecht te verkrijgen.

bouwvergunning

De bouwvergunning is een vergunning, die door de Gemeente wordt afgegeven, om een bouwwerk op te zetten. Pompputten leggen we meestal aan in een gebied dat als waterwingebied is bestemd. In het gemeentelijk bestemmingsplan is dan opgenomen dat daar geen bebouwing, anders dan voor de waterwinning, mag komen.

putkelder Voor het plaatsen van een putkelder, die voor het grootste gedeelte beneden het maaiveld wordt aangelegd, kunnen we, afhankelijk van het bestemmingsplan, meestal volstaan met een melding aan de Gemeente. Er is dan geen tervisielegging nodig; na 6 tot 8 weken hebben we toestemming voor de bouw.

Soms eist het bestemmingsplan dat voor de bouw van een putkelder een vergunning nodig is. Dan moet de aanvraag wel ter visie worden gelegd. De tijd die het kost om een bouwvergunning voor een putkelder te krijgen bedraagt ongeveer 12 weken, waarbij geen rekening is gehouden met de tijd die nodig is om eventuele bezwaren te behandelen.

Vanaf oktober 2010 valt de bouwvergunning onder de omgevingsvergunning, deze kan worden aangevraagd door middel van één aanvraag bij één digitaal loket, het Omgevingsloket Online.

aanlegvergunning

De aanlegvergunning is een vergunning, die ook door de Gemeente wordt afgegeven, voor het leggen van kabels en leidingen. Volgens het bestemmingsplan is het meestal verplicht om voor het leggen van kabels en leidingen een aanlegvergunning aan te vragen.

Ook in dit geval vindt een tervisielegging plaats.

Het duurt ongeveer 12 weken voordat we een aanlegvergunning hebben. Ook bij deze termijn hebben we geen rekening gehouden met de behandeling van eventuele bezwaren.

Vanaf oktober 2010 valt de aanlegvergunning onder de omgevingsvergunning, deze kan worden aangevraagd door middel van één aanvraag bij één digitaal loket, het Omgevingsloket Online.

onttrekkingsvergunning

Waterwet

De onttrekkingsvergunning is een vergunning die we nodig hebben om tijdelijk water aan de ondergrond te onttrekken. De vergunning wordt door de Provincie afgegeven. Het onttrekken van grondwater is in veel gevallen aan regels gebonden. Op landelijk niveau zijn deze regels in de Waterwet vastgelegd.

Omdat de beschikbaarheid van grondwater van plaats tot plaats verschilt, kunnen de Provincies door middel van een verordening aanvullende regels stellen.

Of een melding moet worden gedaan of een vergunning moet worden aangevraagd is afhankelijk van de te onttrekken hoeveelheid grondwater en de duur, de locatie en het doel van de onttrekking.

We zijn verplicht een vergunning aan te vragen als:

- de te onttrekken hoeveelheid grondwater meer bedraagt dan 50.000 m³ per maand of,
- de te onttrekken hoeveelheid grondwater meer bedraagt dan 100 m³ per uur of,
- de onttrekking langer duurt dan 6 maanden.

Voor omvangrijke onttrekkingen, bijvoorbeeld onttrekkingen van meer dan 500.000 m³ per jaar of jarenlange onttrekkingen waarbij schade (zetting, gewasschade) kan ontstaan, kan de Provincie eisen dat het opgepompte water voor een deel of in zijn geheel in de bodem of ondergrond wordt geretourneerd. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij grote bronneringen in zettingsgevoelige gebieden.

Degene die het grondwater onttrekt is ook aansprakelijk voor de schade.

registratie

De vergunningsplichtige moet de hoeveelheid onttrokken grondwater meten en registreren en hiervan opgave doen aan de Provincie. In bepaalde gevallen moet een provinciale heffing worden betaald. De hoogte hiervan is gekoppeld aan de hoeveelheid onttrokken grondwater. In de Grondwaterheffingsverordening is opgenomen wanneer er een heffing moet worden betaald.

meetnet

Ook moet de vergunningsplichtige een meetnet installeren om het effect op de grondwaterstanden in de omgeving van het waterwingebied in de gaten te houden. Hij moet de waterstanden meten en registreren en hiervan verslag uitbrengen. Bij grondwatersaneringen kunnen andere vergunningvoorwaarden gelden. De tijd die nodig is voor het verkrijgen van een onttrekkingsvergunning bedraagt 12 tot 16 weken.

meldingsplicht voor onttrekking

Als voor een grondwateronttrekking een vergunning niet verplicht is en er wel meer dan 10 m³ grondwater per uur wordt onttrokken, zijn we volgens de algemene regels van de Verordening Waterhuishouding meldingsplichtig. De algemene regels zijn voorwaarden die aan grondwateronttrekkingen worden gesteld.

De meldingsplichtige moet de hoeveelheid onttrokken grondwater meten en registreren en hiervan opgave doen aan de Provincie. In bepaalde gevallen moet een provinciale heffing worden betaald. De hoogte hiervan is gekoppeld aan de hoeveelheid onttrokken grondwater. In de Grondwaterheffingsverordening is opgenomen wanneer er een heffing moet worden betaald.

We moeten de onttrekking een maand voor de start bij de Provincie melden. Hierna zal de melding worden getoetst en krijgen we een 'bericht van ontvangst'. Het duurt ongeveer 6 weken voordat we van de melding het 'bericht van ontvangst' krijgen.

Watervergunning (voor waterlozing)

Als we water dat bij productieprocessen vrijkomt op het oppervlaktewater willen lozen, dan is een vergunning in het kader van de waterwet nodig. De vergunning wordt door het Waterschap (of Hoogheemraadschap) afgegeven.

Uitgangspunt is dat we elke lozing bij het Waterschap (of Hoogheemraadschap) moeten melden. Het meldingsformulier moeten we samen met de analyseresultaten van het te

lozen water indienen. Het nut van deze melding is dat kan worden beoordeeld of de lozing mag plaatsvinden en hoe we de lozing het beste kunnen uitvoeren.

Als blijkt dat het lozingswater niet is verontreinigd, wordt aan de hand van de hoeveelheid te lozen water, de tijdsduur van de lozing en de functie van het gedoogverklaring ontvangende oppervlaktewater bepaald of een melding voldoende is of dat een WVO-vergunning of een gedoogverklaring (tijdelijke WVO-vergunning) noodzakelijk is.

brief Als volstaan kan worden met een melding, worden we op de hoogte gesteld door middel van een brief. Daarin staan enkele voorwaarden waaraan de lozing moet voldoen, te weten:

- de concentraties van de drie standaardparameters moeten voldoen aan de eisen die hieronder zijn vermeld
- de lozingshoeveelheden moeten we meten, registreren en regelmatig aan het Waterschap opgeven
- het begintijdstip en het beëindigingstijdstip van de lozing moeten we melden
- het talud van de watergang moeten we beschermen.

De standaardparameters met de vereiste waarden voor de concentraties zijn:

- zuurstofgehalte > 5 mg/l
- gehalte ijzer-totaal < 4 mg/l
- gehalte ammonium-stikstof < 5 mg/l.

Bij lozing op een watergang met een bepaalde functie (bijvoorbeeld natuurontwikkeling) kunnen de opgelegde eisen strenger zijn.

Als het bij lozing op oppervlaktewater gaat om water dat vrijkomt bij werkzaamheden aan een pompput door bijvoorbeeld schoonpompen (zonder boorspoelingscomponenten), sectiegewijs schoonpompen en regenereren (zonder chemicaliën), is in de regel een melding nodig.

Het kan ongeveer 4 weken duren voordat we de genoemde brief in huis hebben.

verontreinigd lozingswater Als uit de analyseresultaten blijkt dat het te lozen water is verontreinigd of als blijkt dat de lozing uit oogpunt van kwantiteit, tijdsduur of functie van het ontvangende oppervlaktewater niet met een melding kan worden afgedaan, is een vergunning in het kader van de Waterwet nodig.

Bij verontreinigd lozingswater is in de regel hetzelfde beleid van toepassing als bij grondwatersanering.

boorspoeling Voor het lozen van water of boorspoeling dat vrijkomt bij werkzaamheden aan een pompput waarbij boorspoelingscomponenten zijn gebruikt, is een vergunning nodig. Daarin is opgenomen dat de eerste boorspoeling (50 tot 100 m³) niet op het oppervlaktewater mag worden geloosd. We passen dan andere mogelijkheden toe, zoals:

- de boorspoeling afvoeren naar een slibdroogveld of een afgedamde sloot, in beide gevallen op het terrein van het pompstation, waar de boorspoelingscomponenten bezinken
- de boorspoeling over landbouwgrond versproeien en daarna onderwerken. Hiervoor hebben we wel toestemming van de Gemeente nodig
- de boorspoeling in overleg met het Waterschap afvoeren naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie
- de boorspoeling lozen op een gemeenteriool (zie verder hieronder).

Als het water uit de schoon te pompen pompput helder wordt, kunnen we beginnen met het lozen op de voorgeschreven watergang. Daarbij moeten we van het eerste lozingswater een monster nemen.

De gebruikelijke parameters waarop we het watermonster analyseren zijn:

- pH P-totaal
- O₂ SO₄²⁻
- BZV5 Cl⁻
- CZV Fe²⁺
- N-Kjeldahl Fe-totaal
- NH₄-N AL³⁺
- NO₂-N
- NO₃-N

Het duurt 2 tot 7 maanden voordat er een vergunning kan worden verstrekt. Deze tijd is afhankelijk van de procedure die moet worden gevolgd.

- gemeenteriool Als we gebruikt water op een gemeenteriool willen lozen, moeten we bij zowel het Waterschap als de Gemeente een melding indienen. Als het daarbij gaat om niet verontreinigd water is een melding bij het Waterschap voldoende. Als het daarbij gaat om verontreinigd water is een vergunning in het kader van de Waterwet nodig.
- Rijkswateren Voor het lozen van water, zowel niet verontreinigd water als verontreinigd water, op Rijkswateren is een vergunning in het kader van de Waterwet nodig.
- heffing Voor het lozen van water op oppervlaktewater en rioleringen wordt verontreinigingsheffing geheven. Elke 1000 m³ geloosd water wordt belast met één vervuilingseenheid volgens bijbehorend tarief.

milieuvergunning

De vergunning in het kader van de Wet milieubeheer, kortweg milieuvergunning genoemd, is een vergunning die we nodig hebben als we een inrichting willen exploiteren, waarbij gelet wordt op potentiële beïnvloeding van het milieu, zoals bodem, water en lucht (onder meer geuroverlast, trillingen en geluidsoverlast). Deze vergunning wordt door de Gemeente afgegeven.

- pompstation Een pompstation met een puttenveld is een inrichting en valt onder de Wet milieubeheer. Voorafgaand aan aanpassingen in het puttenveld moet altijd gecontroleerd worden of een aanpassing van de milieuvergunning nodig is. De tijd die nodig is voor het verkrijgen van een milieuvergunning is ongeveer 12 weken, waarbij ook hier geen rekening is gehouden met de behandeling van eventuele bezwaren. Vanaf oktober 2010 valt de bouwvergunning onder de omgevingsvergunning, deze kan worden aangevraagd door middel van één aanvraag bij één digitaal loket, het Omgevingsloket Online.

kapvergunning

Voor het kappen, verplanten of flink wilt snoeien van bomen binnen de bebouwde kom van een gemeente, is in sommige gemeenten een kapvergunning nodig. De kapvergunning vraagt u aan bij de gemeente. Vanaf oktober 2010 valt de bouwvergunning onder de omgevingsvergunning, deze kan worden aangevraagd door middel van één aanvraag bij één digitaal loket, het Omgevingsloket Online.

Als 10 are bomen of meer in een bestaand bos wordt gekapt, moet dat vooraf melden gemeld worden bij Dienst Regelingen van het ministerie van Economie, landbouw en Innovatie (ELI). Het is een verplichting de grond waarop de bomen hebben gestaan binnen 3 jaar opnieuw te beplanten of elders te compenseren.

11.2 Grond-monstername en boorbeschrijving

In deze paragraaf staan we stil bij het nemen van grondmonsters voor zover dat van belang is voor een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving van de boorstaat, te weten:

- doel van de monstername
- eisen die aan de grondmonstername worden gesteld
- nauwkeurigheid van de monstername.

doel

Doel van de grondmonstername is een duidelijk beeld krijgen van de geologische bodemopbouw over de volledige diepte van het boorgat voor de in te bouwen pompput. De grondmonsters zijn vooral van belang voor het opstellen van de boorbeschrijving (boorstaat).

filterstelling Op grond van de verkregen boorbeschrijving bepalen we de definitieve filterstelling. Zo nodig passen we de perforatie met bijbehorende grindomstorting aan. Verder kan het laboratorium zeefkrommes maken.

eisen

Tijdens het boren moeten we continu, dat wil zeggen minimaal per meter en per laagverandering, grondmonsters verzamelen en bewaren in grondmonsterkisten die de aannemer ter beschikking stelt. Nadat de grondmonsters voldoende gedroogd zijn maakt de boormeester een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving van de aangetroffen aardlagen.

Daarbij bepaalt hij per monster de volgende kenmerken:

- korrelgrootte
- korrelgrootteverdeling van de fractie zand
- silt- en lutumgehalte (schatting)
- organische-stofgehalte (schatting)
- kalkhoudendheid (schatting)
- overige kenmerken, zoals kleur, geur en bijmengingen (puingehalte, schelpen, grind, hout enz.).

NEN 5104 Bij de boorbeschrijving richt de boormeester zich naar de geldende normen, met name NEN 5104⁵. In de beschrijving van de grondmonsters moeten we ook het M63-getal vermelden.

monsterpotjes Als de opdrachtgever dat wil kan de aannemer de grondmonsters in plastic monsterzakken of glazen monsterpotjes van ¼ l doen en ze, voorzien van de nodige gegevens, aan hem beschikbaar stellen. Bij diepere boringen vullen we vaak van elk genomen grondmonster twee zakjes of potjes, waarvan we één set naar NITG-TNO kunnen opsturen voor een uitgebreide stratigrafische beschrijving.

nauwkeurigheid

boormethode De toe te passen boormethode - pulsbooren of roterend zuigbooren - bepaalt grotendeels de wijze waarop we de grondmonsters nemen. De boormethode bepaalt ook de nauwkeurigheid (kwaliteit, representativiteit) waarmee we de grondmonsters kunnen nemen. De nauwkeurigheid is bij pulsbooren veel groter dan bij roterend zuigbooren. Bij roterend boren en luchtliften moeten we het grondmonster uit een continue waterstroom opvangen. Hierdoor ontbreken in het grondmonster vooral de fijnste materiaaldeeltes, omdat die eruit zijn gespoeld. Ook moet de boormeester rekening houden met naval en eventuele spoelingsadditieven die in het grondmonster kunnen zitten.

dieptebepaling Verder moet de boormeester met name bij zuigbooren/luchtliften letten op de juiste vaststelling van de diepte waarvan het grondmonster afkomstig is. Vooral bij grotere

⁵ NEN 5104, *Geotechniek. Classificatie van onverharde grondmonsters*, NNI, Delft 1989.

diepten is de plaatsbepaling onnauwkeurig. Dat komt omdat het enkele tientallen seconden kan duren voordat het boorgruis boven is, terwijl de boorstang in die tijd verder zal zijn gezakt. Wel kan de overgang tussen duidelijk verschillende lagen vaak nauwkeurig worden vastgesteld op grond van het gedrag van de boormachine door verandering van bijvoorbeeld draaimoment en zaksnelheid van de boorstang.

ontmenging Bij roterend zuigboren (met zuigpomp) en roterend luchtliften is de snelheid van de opwaartse boorspoeling met boorgruis groter dan bij roterend spuitboren. Daarom zal het boorgruis bij zuigboren en luchtliften minder worden ontmengd dan bij spuitboren, waardoor de representativiteit van het grondmonster bij zuigboren/luchtliften groter is dan bij spuitboren. Luchtliften geeft monsters met de geringste ontmenging, omdat de stijgsnelheid van de boorspoeling nog groter is dan bij zuigboren met zuigpomp.

boorsnelheid Vooral ter hoogte van het beoogde filtertraject is een representatieve boorbeschrijving belangrijk. Voor een zo goed mogelijke monsternamen over het filtertraject moet bij de roterende boormethoden de boorsnelheid beperkt worden. Bij zuigboren mag de boorsnelheid ter plaatse niet groter zijn dan 10 m/h.

Omdat roterende boormethoden grondmonsters van slechte kwaliteit opleveren, zullen ook de boorbeschrijvingen niet heel nauwkeurig zijn. Om in deze gevallen meer zekerheid en duidelijkheid te krijgen zijn we genoodzaakt een geofysisch boorgatonderzoek te laten uitvoeren.

11.3 Metingen in boorgat en pompput

In deze paragraaf beschrijven we doel en uitvoering van de volgende metingen die in een open en/of verbuisd boorgat worden uitgevoerd:

- spontane potentiaal (SP)
- soortelijke elektrische formatieweerstand (SN en LN)
- natuurlijke gammastraling
- diameter boorgat (caliper-meting)
- deviatie-meting (ook in open boorgat)
- temperatuurmeting
- flow-meting
- formatieweerstand door middel van elektromagnetisch inductie.

Voordat we deze metingen afzonderlijk onder de loep nemen, maken we nog een paar opmerkingen over deze metingen in het algemeen.

definiëring Een belangrijk deel van deze metingen vormt samen het 'geofysisch boorgatonderzoek', ook wel geofysische boorgatmeting of 'well logging' genoemd. Volgens NITG-TNO, die deze meting vaak uitvoert, is een boorgatmeting een registratie tegen de diepte van één of meer fysische eigenschappen van de gesteenteformaties die door een meetapparaat (-sonde) in het boorgat worden gemeten.

meetsonde In het algemeen begint de meting onderin het boorgat en beweegt de meetsonde met lage maar constante snelheid van ongeveer 5 m/min omhoog. Alle metingen worden elektrisch uitgevoerd, waarbij de signalen via een kabel naar de bij het boorgat opgestelde meetwagen worden gestuurd.

doel Het doel van de geofysische meting is zoveel mogelijk objectieve informatie verzamelen over de aard, de samenstelling en de ligging van laagovergangen van de doorboorde formaties. Samen met de boorbeschrijving levert de boorgatmeting nauwkeurige informatie op over onder meer de overgangen tussen en de doorlatendheden van de formaties, de overgang van zoet naar zout grondwater en de diameter van het boorgat. Hierdoor weten we met meer zekerheid op welke diepten we pompfilters en

waarnemingsfilters moeten stellen en waar we de kleiafdichtingen moeten aanbrengen. Op basis van de gecombineerde gegevens maken we het definitieve putontwerp.

De metingen onderscheiden we in metingen in een open boorgat en metingen in een verbuisd boorgat (pompput).

open boorgat	De gebruikelijke metingen die we in een open boorgat verrichten, en die samen het geofysische boorgatonderzoek vormen, zijn: • spontane potentiaal (SP) • soortelijke elektrische formatieweerstand (SN en LN) • natuurlijke gammastraling • diameter boorgat (caliper-meting).
interpretatie	De meetresultaten van deze vier metingen worden tijdens de boorgatmeting gelijktijdig naast elkaar op een grafiek weergegeven (zie Figuur 11-4 en Foto 11-2). Voor een juiste interpretatie van de geofysische boorgatmeting combineren we de resultaten en beoordelen we ze in hun onderlinge samenhang.



Foto 11-2 NITG-TNO op locatie voor een geofysische boorgatmeting (C. van Rosmalen, Brabant Water)

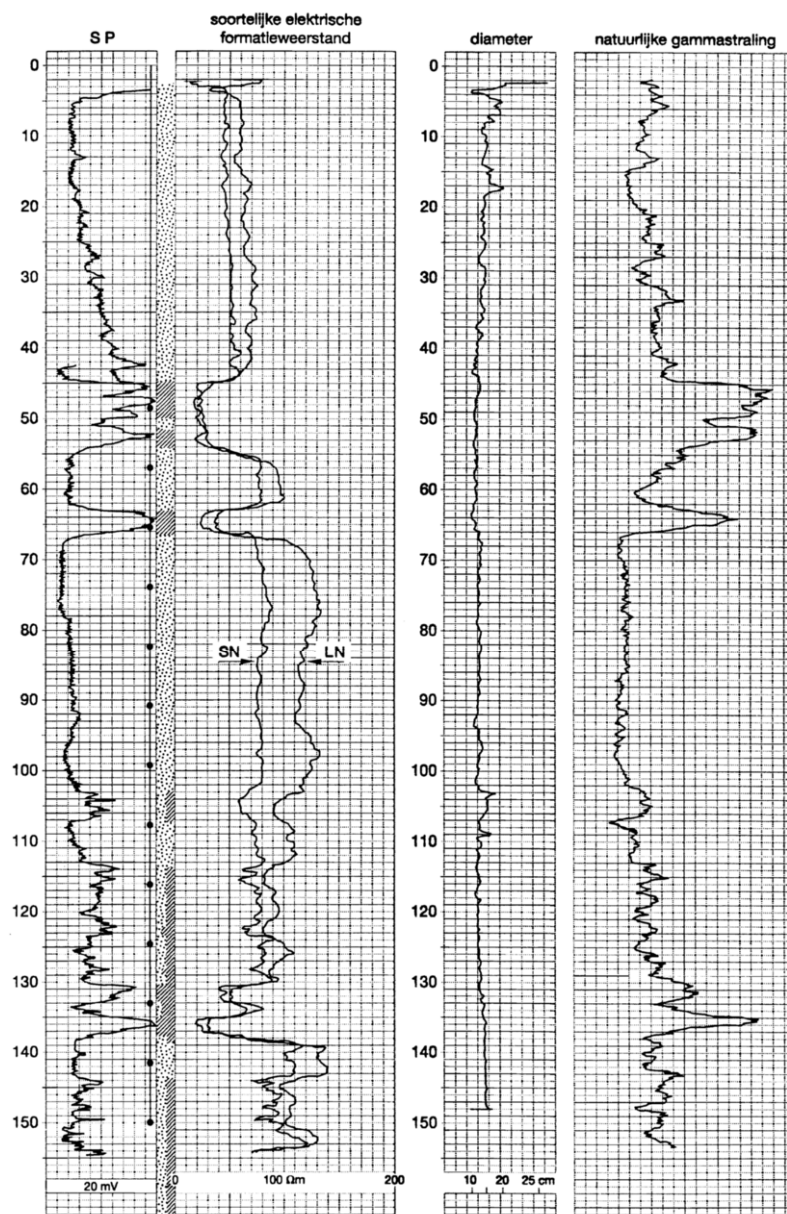


Foto 11-3 De resultaten van een geofysische boorgatmeting worden in het veld direct gepresenteerd (C. van Rosmalen, Brabant Water)

Verbuisd
boorgat

Minder gebruikelijke metingen die we (ook) in een verbuisd boorgat, zoals een pompput, kunnen uitvoeren zijn:

- deviatie meting
- temperatuurmeting
- flow-meting
- formatieweerstand door middel van elektromagnetisch inductie.



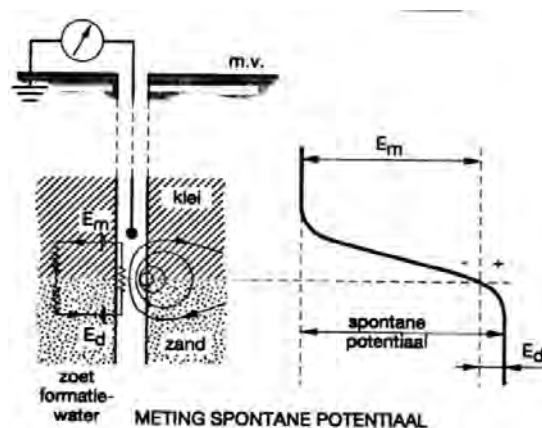
STANDAARDMETINGEN BIJ OPEN BOORGAT

Figuur 11-4 Standaardmetingen bij open boorgat. (SBW, 1997)

11.3.1 Spontane potentiaal

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) kunnen we meten. De spontane potentiaal meten we altijd in een open boorgat.

doel	De spontane potentiaal meten we om: • grensvlakken tussen formaties vast te stellen • dunne lagen te lokaliseren die zo dun zijn dat ze bij de monsternamen niet worden waargenomen • inzicht te verkrijgen in de grondsamenstelling • de formatiefactor vast te stellen • inzicht te krijgen in de kwaliteit van het grondwater.
Uitvoering	Bovengronds brengen we aardelektroden aan. We meten de spontane potentiaal met de sonde ten opzichte van aarde (nulwaarde). De spontane potentiaal kan een positieve waarde aannemen (in zand) of een negatieve waarde (in klei) (zie Figuur 11-5). Op overgangen van klei naar zand en andersom wisselt de spontane potentiaal van polariteit. Als de polariteit omslaat passeert de sonde een grensvlak.



Figuur 11-5 Meting spontane potentiaal (SP). (SBW, 1995)

grootte SP	De (grootte van de) spontane potentiaal hangt af van: • grondsoort • 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 al verandert. Bij de interpretatie van de gegevens moeten we erop letten dat de meting kan worden beïnvloed door: • verstoringen door elektrische machines en apparaten • veranderende diameter.

11.3.2 Soortelijke elektrische formatieweerstand

Met de soortelijke elektrische formatieweerstand, uitgedrukt in Ohm-meter, meten we de elektrische weerstand van de formatie. De formatieweerstand bestaat uit de weerstand van de grond en de weerstand van het grondwater. De soortelijke elektrische weerstand is grotendeels afhankelijk van de hoeveelheid en de kwaliteit (samenstelling) van het poriënwater. De formatieweerstand meten we altijd in een open boorgat.

doel De soortelijke elektrische formatieweerstand meten we om informatie te verkrijgen over:

- ligging grensvlakken
- aard formatielagen
- kwaliteit grondwater.

uitvoering De meting van de formatieweerstand verrichten we met behulp van dezelfde sonde als waarmee we de spontane potentiaal meten. Deze metingen voeren we tegelijk uit. Op de sonde zijn drie metalen ringen aangebracht die als elektroden dienst doen. De onderste ring is de stroomelektrode en de twee bovenste ringen zijn de meetelektroden waarmee de elektrische spanning ter plaatse in het boorgat wordt gemeten. Ten behoeve van de meting houden we de stroom, die we het boorgat en de aangrenzende formatie insturen, 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:

$$R = U/I.$$

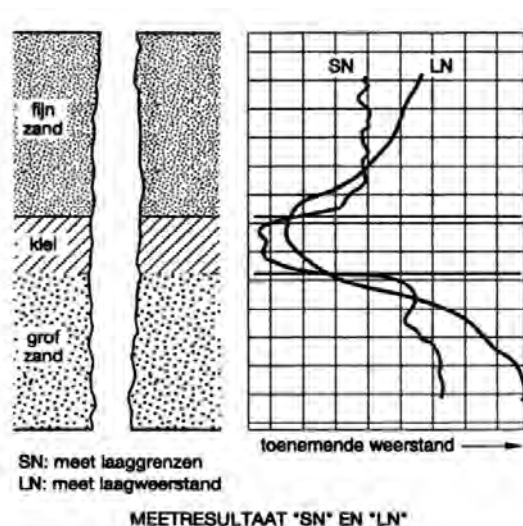
Tijdens de meting zal de formatieweerstand van twee verschillende onderzoeksgebieden worden gemeten: de 'Short Normal' (SN) van een klein bolvormig gebied en de 'Long Normal' (LN) van een groot bolvormig gebied.

Short Normal Met de (onderste) SN-elektrode meten we de elektrische formatieweerstand 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.

grensvlakken In het algemeen kunnen we uit de SN-meetresultaten de ligging van de grensvlakken tussen de formatielagen, mits deze niet te dun zijn, duidelijk afleiden en dat is ook het doel van de SN-meting (zie Figuur 11-6).

Long Normal Met de (bovenste) LN-elektrode meten we 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 over een veel groter gebied van de formatie uit. 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 over andere lagen uit.



Figuur 11-6 Meetresultaat 'SN' en 'LN'. (SBW, 1997)

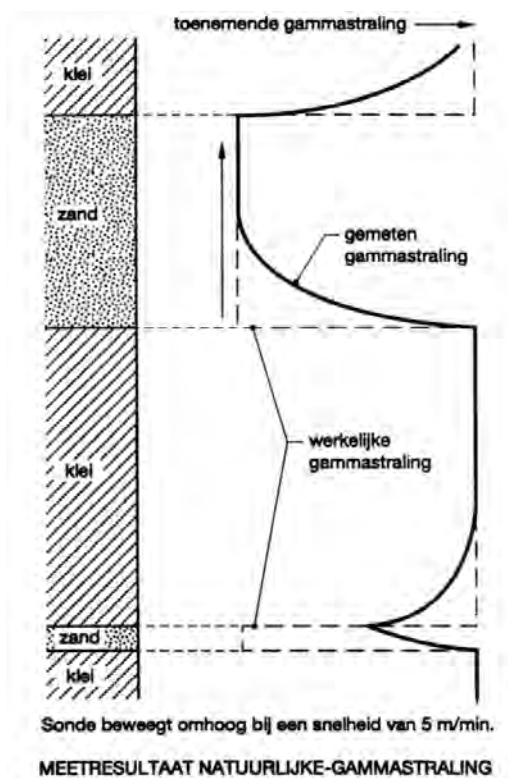
- laagweerstand Met de LN-meting krijgen we vooral informatie over de aard van de aardlagen en de kwaliteit van het grondwater.
- interpretatie Een weerstandsmeting alleen biedt weinig informatie over de aard van de grondsoort. De weerstand van bijvoorbeeld grof zand in hard water of van zand met een 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.

11.3.3 Natuurlijke gammastraling

Gammastraling is een uit elektromagnetische golven bestaande radioactieve straling. Alle grondsoorten zenden van nature gammastraling uit. Deze straling is met name 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, kunnen we een indruk krijgen 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 (diepboringen)*, SBW, blz. 173). Hieronder gaan we in op meting in een open boorgat.

- doel De natuurlijke gammastraling meten we voor het vaststellen van:
- aard formatielagen, met name kleilagen
 - ligging grensvlakken.
- uitvoering De meting verrichten we met dezelfde sonde als waarmee we de vorige twee metingen uitvoeren. De meting wordt beïnvloed door:
- bewegingssnelheid sonde
 - (variërende) diameter boorgat
- Snelheid Met name voor de gammameting mag de snelheid waarmee de sonde omhoog beweegt niet te groot zijn, anders gaat er informatie over details, zoals dunne lagen, verloren (zie Figuur 11-7).
- boorgat-diameter 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 van een kleinere diameter dan 300 mm is de invloed nog nauwelijks te merken, maar bij grotere diameters dan 1 m moeten we de sonde vlak langs de boorgatwand leiden. Ook een veranderende diameter van het boorgat kan de meting verstoren. Om hiermee rekening te houden voeren we bij deze meting ook altijd een diametermeting uit.

interpretatie	Meten van de natuurlijke gammastraling alleen is evenmin zinvol. Daarom combineren we deze meting met de meting van de soortelijke elektrische formatieweerstand.
kleiafdichting	Deze meting kunnen we ook toepassen om te kijken of bij een ingebouwde pompput de kleiafdichtingen op de juiste plaatsen zijn terechtgekomen. Daartoe leggen we de grafiek van de gammameting van na de inbouw op de grafiek van de gammameting van vóór de inbouw. Op deze manier kunnen we beoordelen of de kleiaanvullingen op de juiste dieptes zijn aangebracht.



Figuur 11-7 Meetresultaat natuurlijke gammastraling. (SBW, 1995)

11.3.4 Diameter boorgat (caliper-meting)

doel	We voeren een caliper-meting uit om te controleren of het boorgat overal de gewenste diameter (en vorm) heeft. Als gevolg van bijvoorbeeld boorsysteem, gezwollen klei, afgekalfde klei of uitgespoeld zand kan de boorgatwand een grillig verloop hebben. Duidelijk is dat we deze meting alleen in een open boorgat uitvoeren.
uitvoering	We meten de diameter op mechanische wijze met behulp van een calipersonde, die drie penne heeft die de boorgatwand aftasten. De sonde wordt vanaf de bodem van het boorgat omhooggetrokken. De penne 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 penne met de sonde maken. Deze hoeken, en dus ook de diameters, worden elektrisch gemeten.
instortgevaar	Nadeel van de penne is dat ze de pleisterlaag op de boorgatwand enigszins kunnen openkrassen. Hierdoor kan waterverlies optreden waardoor 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 dan plotseling veel waterverlies optreedt, kan hij onmiddellijk ingrijpen om het instortingsgevaar af te wenden.

Om meetfouten zoveel mogelijk uit te sluiten voeren we de caliper-meting meestal tweemaal uit. Standaard is de calipersonde uitgerust met drie pennen. Als we de diameter en de vorm nauwkeuriger in beeld willen brengen dan moeten we een sonde met vier of meer pennen toepassen.

11.3.5 Deviatiemeting

Een boorgat van redelijke diepte zal zelden over zijn hele traject zuiver verticaal zijn. Grote afwijkingen ten opzichte van de rechtstand kunnen problemen opleveren bij bijvoorbeeld het inbouwen van de pompput; de pompput kan dan tegen de boorgatwand gaan hangen.

doel	Doel van een deviatiemeting is om van een boorgat de afwijkingen ten opzichte van de rechtstand in kaart te brengen. De deviatiemeting kunnen we zowel in een open boorgat als in een verbuisd boorgat uitvoeren.
uitvoering	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.

11.3.6 Temperatuurmeting

doel	Een temperatuurmeting is minder gebruikelijk. We doen deze meting zowel in een open als in een verbuisd boorgat. Van de vele doeleinden om een dergelijk meting uit te voeren zullen we enkele voorbeelden geven. • Een bepaald temperatuurverloop in een boorgat kan wijzen op de aanwezigheid van vreemd of verontreinigd water. • Bij oeverfiltraatwinning kunnen we aan het verloop van de temperatuur in een open of verbuisd boorgat vaststellen wat in het opgepompte water de verhouding is tussen oppervlaktewater en grondwater. • De temperatuur in een open boorgat kan ook informatie verschaffen over de kalkverzadigingsindex van het grondwater. • Temperatuurmeting in een open boorgat in hard gesteente kan ons helpen bij het opsporen van scheuren; dit komt in Nederland praktisch niet voor.
uitvoering	Bij een pompput kunnen we de temperatuurmeting uitvoeren nadat de pompput goed is schoongespoeld en vervolgens enige tijd heeft uitgestaan. Zo zijn we er zeker van dat het water in de boorbuis dezelfde temperatuur heeft als het water in het omringende pakket. We voeren de meting van boven naar beneden uit, anders beroeren we het water teveel waardoor we temperatuurschommelingen meten die er in werkelijkheid niet zijn. Evenwichtsverschuivingen, die in de boorbuis onder invloed van temperatuurverschillen optreden, zijn vaak zeer gering.

11.3.7 Flow-meting

Een flowmeting voeren we uitsluitend uit in een verbuisd boorgat (pompput). De meting kan in een open boorgat plaats vinden, maar dan alleen in hard of verhard gesteente zoals dat in het buitenland veel voorkomt.

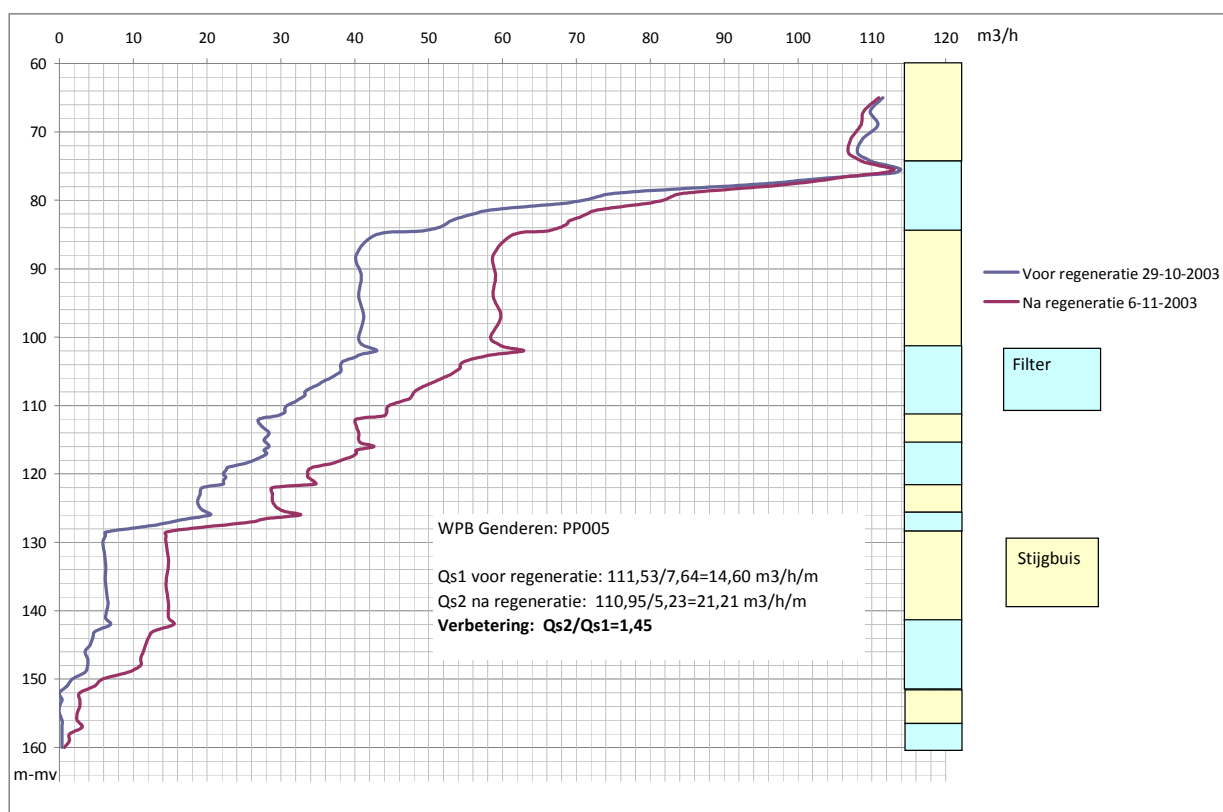
doel	De belangrijkste doeleinden van een flowmeting zijn: • vaststellen welk aandeel de verschillende watervoerende zandlagen leveren in de totale volumestroom van een pompput • de conditie van bestaande pompputten vaststellen • kortsluiting tussen verschillende aardlagen bepalen. Het is aan te bevelen een flowmeting uit te voeren bij de oplevering van de pompput en voor en na regeneraties. Bij de oplevering van de pompput leggen we de initiële stromingssituatie van de put vast. Als een put verstopt is kan met de flowmeting
------	--

bepaald worden welke delen van het filter verstopt zijn. Na een regeneratie kan bepaald worden of de verstopte delen voldoende geregenereerd zijn. Die gegevens kunnen helpen bij het verklaren van een eventuele, toekomstige putverstopping, met name op en om de boorgatwand.

uitvoering

We plaatsen de flowmeter, die aan een kabel hangt, in de stijgbuis tot de bovenkant van het bovenste filter. We pompen met een tijdelijke onderwaterpomp, die zich in de verwijde stijgbuis bevindt, een constante volumestroom grondwater op. Vervolgens verplaatsen we de flowmeter met constante snelheid van boven naar beneden. Als we de flowmeter in de andere richting bewegen krijgen we te maken met een (vertraagde) aanloopsnelheid, waardoor de meting onnauwkeuriger wordt. Het debiet wordt grafisch tegen de diepte uitgezet. In deze grafiek is zowel het debiet per gemeten sectie als het cumulatieve debiet van alle filtersecties samen uitgezet.

Een dergelijke grafiek, die bij het opleveren van de pompput is gemaakt, kan later als referentie worden gebruikt bij het vaststellen van de plaats van een eventuele verstopping (zie Figuur 11-8 (zonder debiet per sectie)).



Figuur 11-8 Flowmeting vóór en na regeneratie bij constante affomping. (Brabant Water)

De flowmeting die van boven naar beneden wordt uitgevoerd heeft het voordeel dat geen rekening hoeft te worden gehouden met de aanloopsnelheid van de propeller van de meter, waardoor de meting nauwkeuriger kan worden uitgevoerd.

11.3.8 Formatieweerstand d.m.v. elektromagnetische inductie

De soortelijke elektrische formatieweerstand kunnen we ook vanuit een verbuisd boorgat meten en wel door middel van elektromagnetische inductie. De buizen moeten wel van kunststof zijn en een minimale binnendiameter hebben om de sonde erin te laten bewegen.

doel	Evenals de meting van de soortelijke elektrische formatieweerstand in een open boorgat doen we deze meting om informatie te verkrijgen over: • ligging grensvlakken • aard formatielagen • kwaliteit grondwater.
uitvoering	Voor de meting gebruiken we een elektromagnetische-inductiesonde. Deze sonde wekt een elektromagnetisch veld op waarmee de soortelijke elektrische formatieweerstand kan worden bepaald. De soortelijke elektrische formatieweerstand mag echter niet groter zijn dan 100 Ω m.

11.4 Inbouw pompput

In deze paragraaf schenken we aandacht aan een aantal zaken die belangrijk zijn bij de inbouw van de pompput, te weten:

- pvc-buizen opslaan
- lijmen
- maten bijhouden en centreren.



Figuur 11-9 Inbouwen pompput (foto Carl van Rosmalen, Brabant Water)

11.4.1 Pvc-buizen opslaan

ondersteuning	De buiselementen die we gaan inbouwen moeten we zo op het werk opslaan, dat ze zo schoon blijven dat we ze zondermeer kunnen inbouwen en dat de kans op bacteriologische verontreiniging zo klein mogelijk is. De buizen leggen we dan ook niet op het maaiveld maar op een vlonder of een andere houten ondersteuning en we dekken ze met folie of zeil af.
warm weer	Om vooral bij hoge temperatuur doorzakking van de buizen te voorkomen moeten we niet te spaarzaam zijn met ondersteunende dwarsbalken. Op warme dagen kan de temperatuur onder de folie of het afdekzeil zo hoog worden dat de buizen kunnen vervormen. Om het niet zover te laten komen spannen we met een paar houten staken de folie of het afdekzeil los boven de buizen, zodat de wind verkoeling kan brengen.

koud weer	In koude perioden kan het pvc te koud zijn om het te bewerken en het is dan extra gevoelig voor breuk. We bewerken pvc bij voorkeur niet als het kouder is dan +5 °C. Een veel gebruikte informatiebron voor de temperatuur is het bouwweerbericht. Als we pvc toch bij lagere temperaturen moeten bewerken, moeten we de buizen vóór die tijd verwarmen. Dat kan met een heteluchtkanon, dat warme lucht onder het afdekzeil van de buizen blaast. Verder kunnen we gebruik maken van verwarmingselementen die we rondom de te verbinden delen van de buizen aanbrengen.
aanvoeren	Om te voorkomen dat de buizen op het werk óf te warm óf te koud worden, is het raadzaam het buismateriaal zo kort mogelijk voor de daadwerkelijke inbouw aan te voeren. Het wordt afgeraden om pvc-buizen bij temperaturen onder de -5 °C te vervoeren. Overigens spreekt het voor zich dat we met de nodige voorzichtigheid met het buismateriaal moeten omgaan.

11.4.2 Lijmen

	Putelementen inbouwen is secuur werk. Vooral de lijmverbindingen moeten we met de grootste zorg maken. We bouwen de putelementen één voor één in en beginnen met bodem, (eventueel zandvang), filter en stijgbuizen.
vasthouden	De buiselementen hijsen we met de lier van de boorstelling boven de pompput. Daarbij is de tromp van de buizen naar boven gericht. Voor het hijsen gebruiken we een lijmklemp (inbouwklem) die we vlak onder de tromp aanbrengen. Bij het neerlaten komt de klem op de mantelbuis te rusten en daarmee hangt de buis in de pompput. Daarna hijsen we een volgend buiselement boven de pompput en laten dit neer tot vlak boven de tromp van het buiselement dat ingeklemd zit. Vóórdat we gaan lijmen kunnen we zo nodig de te lijmen oppervlakken van beide putelementen met schuurlinnen of fijn schuurpapier opruwen. In elk geval is het gebruikelijk om de te lijmen oppervlakken met aceton schoon en vetvrij te maken.
pvc-lijm	Daarna brengen we zowel op het spie-eind als in de tromp gelijkmatig verdeeld een minimum laagje lijm aan en drukken vervolgens het spie-eind in de mof. De verbinding moet snel worden gemaakt om te voorkomen dat de lijm indroogt. De overtollige lijmresten vegen we direct weg, anders lost de lijm het pvc op waardoor er een zwakke plek ontstaat.



Figuur 11-10 Lijmen spie-eind en mof (foto Carl van Rosmalen, Brabant Water)

Vanuit de lijm kunnen stoffen afgegeven worden 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 opgelet worden

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) afgeven aan het water. Dikkere rillen hebben meer contactoppervlak waardoor de concentratie van ongewenste stoffen uit de lijm kan toenemen. Andere nadelen van lijmrillen zijn:

- een voedingsbodem voor bacteriën
- verkleinen van waarnemingsfilters waardoor apparatuur er niet meer in kan.

Een alternatief voor de lijmverbindingen van waarnemingsfilters (zeker die nodig zijn voor kwaliteitbepaling) is het toepassen van O-ring schroefverbindingen. Hierbij zorgt de O-ring voor een lekvrije afdichting. Voor de pompputbuizen is de lijmverbinding (i.v.m. de grootte) nog de veiligste.

Het is belangrijk dat lijmverbindingen van pvc-buizen een perspassing hebben. Dit zorgt voor een zeer sterke verbinding waarbij een minimale hoeveelheid lijm nodig is.

Voor perspassingen zijn er speciale lijmsoorten die ook een Kiwa-ATA hebben. De verwerkingsvoorschriften, het productblad en het veiligheidsblad van de lijm, op te vragen bij de fabrikant, bepalen de toepassing.

wachttijd	Voordat we de lijmverbinding mogen belasten, moeten we de door de fabrikant opgegeven wachttijd in acht nemen. Afhankelijk van de buitentemperatuur houden we doorgaans één tot enkele minuten aan. Naarmate de inbouw vordert en het gewicht van de putconstructie toeneemt, zullen we langer moeten wachten. Na de wachttijd hijsen we de putconstructie aan de bovenste lijmklem iets, zodat we de lijmklem van het vorige buiselement kunnen verwijderen. De verwijderde lijmklem gebruiken we weer voor het volgende buiselement. Op deze manier bouwen we de hele pompput in.
omgekeerde montage	De verwijde stijgbuis bouwen we op dezelfde manier in. In het verleden paste men hiervoor de omgekeerde montage toe. Daarbij is de tromp van de buizen naar beneden gericht. Met deze montagemethode wilde men voorkomen dat de pompput bij het trekken van de onderwaterpomp beschadigd zou worden. Er kan namelijk schade ontstaan wanneer de flenzen van de persbuizen achter de rand van een lijmverbinding blijven haken. Deze kans is vooral groot als de onderwaterpomp met een (telescoop-)kraan wordt getrokken. Het grote nadeel van de omgekeerde montage is dat de lijmklem om het spie-eind zit en dus niet is geborgd. Hierdoor bestaat het risico dat bij onvoldoende klemkracht de lijmklem over de buis schuift en de putconstructie in het boorgat valt. Om dit risico te verkleinen kan er een katrol onder het verloop worden bevestigd. Via deze katrol kan een meelopende kabel voor de vereiste borging zorgen. Tegenwoordig wordt de omgekeerde montage niet of nauwelijks meer toegepast.
afschuinen	Een alternatief voor het omgekeerd inbouwen van de verwijde stijgbuis is het afschuinen van het spie-eind van de te verlijmen buizen. We kunnen de buitenzijde of de binnenzijde afschuinen. Als we de buitenzijde van het spie-eind afschuinen kunnen we de spie verder in de tromp van de andere buis schuiven. Hierdoor krijgen we een nauwer sluitende verbinding en werken we de ruimte achter de rand praktisch geheel weg, waardoor er geen flens meer achter de rand kan blijven haken. Bij een spie-eind dat aan de binnenzijde is afgeschuind kan er evenmin een flens blijven haken, omdat in dit geval de rand is weggehaald. Conclusie is dat we voor de inbouw van de verwijde stijgbuis beter de methode van de afgeschuinde spie-einden kunnen toepassen dan de methode van de omgekeerde montage.
onderwater pomp	Om later de onderwaterpomp zonder problemen in en uit te kunnen bouwen, is het belangrijk dat de verwijde stijgbuis loodrecht in het boorgat wordt geplaatst.

veiligheid Gedurende de uitvoeringsperiode is het van belang om na iedere werkdag het boorgat en later ook de putinbouw af te sluiten om te voorkomen dat de pompput wordt verontreinigd. Uiteraard is de afsluiting er ook voor de veiligheid.

11.4.3 Maten bijhouden en centreren

werkende lengte Op basis van het definitieve ontwerp van de pompput berekenen we hoeveel hele filterbuiselementen en hoeveel hele stijgbuiselementen we nodig hebben en hoeveel elementen we op lengte moeten afzagen om aan de vereiste lengte te komen. Daarbij moeten we rekening houden met de werkende lengte van de buiselementen. Dit is de effectieve lengte van een buiselement nadat de buizen door middel van een (lijm-)verbinding aan elkaar zijn verbonden, dus buislengte min tromplengte voor zover de spie van de andere buis in de tromp zit. Bij een buislengte van ongeveer 5,00 m is de werkende lengte ongeveer 4,80 m.

nummeren Om tijdens de inbouw de maten vast te leggen en de voortgang van de inbouw bij te houden nummeren we de buiselementen en voorzien we ze van een streepaanduiding voor het vastleggen van een vaste maat, bijvoorbeeld 4,70 m gemeten vanaf de tromp naar het spie-eind. Nadat we twee buiselementen aan elkaar hebben gelijmd kunnen we de werkende lengte bepalen door de afstand te meten tussen de streepaanduiding op het spie-eind van het bovenste pvc-element en de tromprand van het onderste buiselement. Deze afstand, die dus kan variëren, tellen we bij de vaste maat op en zo verkrijgen we de werkende lengte van de opgelijmde buis.

exacte maten Vaak meten we ook nog in de verschillende stadia de lengte van de ingebouwde putconstructie. We meten dan binnendoor om de exacte maten vast te stellen van bijvoorbeeld de filterlengte, de stijgbuislengte en de positie van het verloop.

centreren We moeten ervoor zorgen dat de pompput over de hele lengte zo goed mogelijk in het boorgat wordt gecentreerd. Want als het putfilter overal goed is gecentreerd, zal ook de later aan te brengen omstorting rond het filter een gelijkmatige dikte hebben. Ook de stijgbuizen moeten we goed centreren. Als ze bijvoorbeeld de boorgatwand raken lukt het soms niet de gehele ruimte met aanvulmateriaal op te vullen. Als het om aanvulklei gaat dan bestaat het risico dat de doorboorde kleilagen niet goed worden gedicht.

ringen, beugels Voor het centreren van zowel de filterbuizen als de stijgbuizen gebruiken we meestal pvc-centreerringen of rvs-centreerbeugels. De ringen of beugels worden, zeker in het filtertraject, op elk buiselement aangebracht. Ook worden ze gebruikt om de buizen van de pompput op afstand van de boorgatwand te houden (afstandhouders).

11.4.4 Waarnemingsfilters

fixeren Meestal bouwen we gelijktijdig met de putconstructie ook twee of meer waarnemingsfilters in (zie voor doel, posities en aantal Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.3). De waarnemingsfilters bevestigen we door middel van afstandbeugels (-houders) aan de pompput en fixeren we op een vaste afstand tot het pompfilter van vaak 10 cm. Verder is er een norm die zegt dat we het waarnemingsfilter precies halverwege tussen boorgatwand en pompput moeten plaatsen. De stijgbuis van de waarnemingsfilters hoeven we niet met afstandbeugels te bevestigen. Vaak maken we deze met 'tie-rips' of tape aan de pompput vast.

doorvoeren Omdat de waarnemingsfilters op bepaalde plaatsen via doorvoeren naast de putkopconstructie in de putkelder uitmonden is de positionering van de stijgbuizen van de waarnemingsfilters ter hoogte van de verwijde stijgbuis wel van belang. Daarom moeten de waarnemingsfilters ten opzichte van de verwijde stijgbuis worden gefixeerd. Ook dit gebeurt met afstandbeugels.

11.5 Aanvullen boorgat

Zodra we de hele pompput hebben ingebouwd en haar centrisch in het boorgat hebben gesteld, vullen we de annulaire ruimte aan. In deze paragraaf tonen we het belang aan van een beheerste stortsnelheid.

voorbereiding

diepte Voordat we met aanvullen beginnen moeten we onder meer:

- de stijgbuis van een afsluitkap met overloopslang voorzien
- de diepte van het boorgat meten.

aanvoer Het aanvulmateriaal, zowel het filter- en aanvulgrind als de aanvulklei, wordt in plastic zakken of in de grotere big-bags aangevoerd. De geleverde zakken en bags moeten zorgvuldig op de boorplaats op pallets worden geplaatst en worden afgedekt met krimphoes.

hoeveelheid aanvulmateriaal

Om een schatting te maken van de vereiste hoeveelheid aanvulmateriaal berekenen we het volume van de annulaire ruimte: inhoud boorgat minus inhoud pompput.

Als er een geofysisch boorgatonderzoek heeft plaatsgevonden hebben we een duidelijker beeld van het verloop van de diameter over het hele traject. Hiermee kunnen we een betere schatting maken van de vereiste hoeveelheden. Soms zijn er bij het boren holtes gevormd die extra materiaal eisen.

controle We moeten regelmatig controleren of de aanvulling volgens het aanvulschema verloopt. Daarbij gebruiken we een peilijzer. We mogen nooit afgaan op de berekende hoeveelheid materiaal, want de berekening is alleen bedoeld om een schatting te maken van de hoeveelheid materiaal die we moeten aanvoeren. Ook moeten we er rekening mee houden dat het afgestelde filter kan nazakken (maximaal 20 cm). Verder moeten we regelmatig het waterpeil in de pompput - met een kabellichtlood - controleren.

stortsnelheid

We moeten beheerst storten, dat wil zeggen niet te snel. De stortsnelheid, die afhankelijk is van de samenstelling van de boorspoeling in het boorgat, moet zodanig zijn dat:

- het omstortingsmateriaal de tijd krijgt om op de juiste plaats terecht te komen en de betreffende ruimte volledig op te vullen zonder dat er bijvoorbeeld brugvorming optreedt
- de krachten die op de pompput worden uitgeoefend niet zo groot worden dat de filterbuis, stijgbuis en/of verwijde stijgbuis kan bezwijken.

Om later als de pompput in bedrijf is problemen te voorkomen moeten we het filtergrind ononderbroken storten. Als we tussentijds (te lang) pauzeren bestaat het risico dat er zich een laagje uitgezakt zand en slib op het al aangebrachte grind afzet. Dit kan bij de exploitatie van de pompput leiden tot nalevering van fijn materiaal in het ruwwater.

Hieronder gaan we uitgebreider in op de kans dat de pompput kan bezwijken als we te snel of op een verkeerde manier storten.

drukverhoging Door het neerdalende aanvulmateriaal stijgt de druk van het water in de annulaire ruimte. Zolang de boorgataanvulling plaats vindt ter hoogte van het putfiltertraject, vindt er een nivellering van de ontstane druk plaats via de perforatieopeningen. Maar wanneer de afsluitende kleiprop aan de bovenzijde van het filtertraject is aangebracht, is er geen verbinding meer tussen de vloeistofkolom binnen de pompput en de vloeistofkolom buiten de pompput. Het vloeistofniveau in de pompput zal dan op hetzelfde niveau komen als de stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket. Hierdoor zal in de meeste gevallen een stijghoogteverschil tussen beide

	vloeistofkolommen ontstaan, zodanig dat er in de annulaire ruimte een overdruk op de putbuis ontstaat. Tijdens het aanvullen neemt deze overdruk extra toe door de massa van het aanvulmateriaal. De grootte van de drukverhoging is afhankelijk van de aanvuksnelheid, de uitzaksnelheid en de grootte van het boorgat ⁶ .
stortkoker	Tegenwoordig gebruiken we een stortkoker waarmee we zowel de drukverlaging binnen de pompput als de drukverhoging buiten de pompput sterk kunnen beperken. De onderzijde van deze koker hangt steeds vlak boven de aanvulling. Voordeel is ook dat het boorgat sneller kan worden aangevuld.
ontlastbuis	In een enkel geval gebruikt men een zogenaamde ontlastbuis waarmee men de drukverhoging geheel denkt te kunnen elimineren. Ten onrechte, want een dergelijke buis kan slechts in beperkte mate de drukverhoging verminderen. De diameter van deze buis is ten opzichte van de diameter van het boorgat te klein. Wel kan deze buis worden gebruikt om de optredende drukken te meten en overbelasting door verlagen van de aanvuksnelheid te voorkomen.
rechtstand	<i>mantelbuis</i> Om problemen bij het verwijderen van de mantelbuis te voorkomen trekken we deze als we met het aanvulmateriaal tot aan de onderkant van de mantelbuis zijn gevorderd. In elk geval moeten we voorkomen dat bij het trekken de rechtstand van de verwijde stijgbuis niet wordt verstoord.
kleiprop	Tot slot brengen we in de bovenste meters van de annulaire ruimte een afsluitende kleiprop aan.

11.6 Ontwikkelen pompput

definitie	Onder het ontwikkelen van een pompput verstaan we het verwijderen van boorspoelingscomponenten uit de pompput, uit de omstorting en van de boorgatwand en het verwijderen van de fijnere fracties uit de formatie rondom het pompfilter. Boorspoelingscomponenten bestaan uit natuurlijke componenten, die afkomstig zijn van de doorboorde lagen (fijne materiaaldeeltes die met de boorspoeling mee worden rondgepompt), en soms ook uit spoelingsadditieven (componenten die de boormeester aan de boorspoeling heeft toegevoegd). Het ontwikkelen vindt direct na het aanvullen van het boorgat plaats.
doel	Het doel van het ontwikkelen is de pompput in optimale conditie brengen zodanig dat bij oplevering een zo groot mogelijke specifieke volumestroom wordt verkregen. Hiermee wordt voorkomen dat de pompput door restanten boorspoelingscomponenten en/of fijn materiaal verstopt raakt.
richtlijn	Om initiële putverstopping te voorkomen moet de put maximaal worden ontwikkeld.

In deze paragraaf bespreken we de verschillende methoden om een pompput te ontwikkelen (zie ook Hoofdstuk 15, Paragraaf 15.5).

De ontwikkelmethode die we toepassen is afhankelijk van de plaats en de oorzaak van de aanwezige hoeveelheid fijn materiaal en restanten boorspoelingscomponenten:

- bij gebruik van boorspoelingscomponenten kunnen restanten op de boorgatwand achterblijven en/of als tijdens het boren de spoelstroom onvoldoende wordt ontzand kan zich materiaal op de boorgatwand ophopen
- als het boorgat zonder stortkoker wordt aangevuld kan er fijn materiaal van bovenaf in de omstorting worden meegenomen waardoor het zich in de filteromstorting kan ophopen. Een goed ontwikkelde pompput zal na ingebruikname hier niet door verstopen

⁶ Voor meer informatie zie: 'Enkele aspecten bij het dichtklappen van pvc-buizen in pompputten', *H₂O*, elfde jaargang, nummer 20, 28 september 1978.

- als voor het filtergrind een te kleine korrelgrootte is gekozen kunnen fijn zand en restanten van boorspoelingscomponenten op de boorgatwand niet goed worden afgevoerd waardoor ze in de omstorting achterblijven.

De ontwikkelmethoden verdelen we in:

- mechanische ontwikkelmethoden
- chemische ontwikkelmethoden.

Deze methoden zullen we hierna bespreken.

Bovendien staan we stil bij:

- schoonpompen putbodem en waarnemingsfilters
- metingen bij het ontwikkelen.

11.6.1 Mechanische ontwikkelmethoden

We bespreken de volgende mechanische ontwikkelmethoden:

1. schoonpompen
2. intermitterend schoonpompen
3. hogedrukreinigen
4. jetten
5. sectiegewijs schoonpompen
6. sectiegewijs rondpompen
7. jutteren in combinatie met schoonpompen.

1. schoonpompen

Zodra de afdichtende kleilaag boven het putfilter is aangebracht, is het raadzaam de pompput zo gauw mogelijk (lieft binnen 24 uur) schoon te pompen om restanten van de boorspoelingscomponenten (met name op de boorgatwand) te verwijderen. Als het boorgat dan nog niet helemaal is aangevuld, moet de pompcapaciteit - afhankelijk van de toelaatbare afpomping - op een niet al te hoge waarde worden gesteld (om instorten te voorkomen). We kunnen de pompput met zowel een onderwaterpomp als een bovenwaterpomp schoonpompen; daar gaan we zolang mee door totdat het uitkomende water helder is. Gedurende het schoonpompen mogen we niet doorgaan met het aanvullen van het boorgat.

Als het boorgat geheel is aangevuld moeten we de pompput schoonpompen met een capaciteit die twee keer zo groot is als de nominale capaciteit. Fijn zand in de omstorting en restanten van boorspoelingscomponenten op de boorgatwand komen hierdoor in beweging en worden gedeeltelijk verwijderd. Dit proces zetten we ongeveer 10 uur voort totdat het water helder en zandvrij (planktonnet van 50 μm) is (zie Hoofdstuk 12, Paragraaf 12.2.1).

Dit schoonpompen is het minimum dat we moeten doen om een pompput te ontwikkelen en behoort tot de standaard opleveringsactiviteiten.

2. intermitterend schoonpompen

De bovengenoemde methode van schoonpompen kunnen we uitbreiden tot intermitterend schoonpompen. Hierbij schakelen we de pomp een groot aantal keren aan en uit. Een onderwaterpomp zal een beter resultaat opleveren dan een bovenwaterpomp, omdat het grondwater in de filterlagen dan een grotere versnelling ondergaat waardoor er meer fijn materiaal en restanten van boorspoelingscomponenten worden verwijderd.

Hierbij pompen we met een capaciteit van twee keer de nominale capaciteit en schakelen we met een interval van 10 minuten aan en 5 minuten uit. Dit proces zetten we ongeveer 12 uur voort totdat het water helder en zandvrij is. De pompput moet zandvrij zijn bij een continue volumestroom van twee keer de nominale capaciteit en bij een intermitterende volumestroom die gelijk is aan de nominale capaciteit.

In de exploitatiefase zien we dikwijls nog een toename van het specifieke debiet doordat de pompput regelmatig wordt in- en uitgeschakeld. In dat geval was de pompput niet voldoende ontwikkeld, waardoor het specifieke debiet zijn maximum nog niet had bereikt.

Het resultaat is iets beter dan bij methode 1 en weegt op tegen de extra kosten van de schakelapparatuur.

3. *hogedrukreinigen*

Tijdens hogedrukreinigen wordt boorvloeistof en formatiemateriaal verwijderd met een krachtige waterstraal op het putfilter en de filterspleten. Hierbij wordt met roterende nozzles een krachtige straal gecreëerd die de vervuiling rondom de filterspleten in beweging brengt en zo losmaakt. De toegepaste druk varieert hierbij van 20 tot 300 bar. Gelijktijdig met de hogedrukreiniging wordt het filter afgepompt, waardoor de losgekomen zanddeeltjes verwijderd worden.

4. *jetten*

Dit is een variant op de methode hogedrukreinigen. Hierbij roteren de nozzles/armen in tegenovergestelde richting waardoor krachtige schokgolven ontstaan die vervuiling rondom de filterspleten in beweging brengt en losmaakt. De toegepaste druk hierbij moet groter zijn dan 270 bar. Het risico op schade aan het putfilter (verwijderen van dammetjes of het scheuren van PVC) is bij jetten groter dan bij hogedrukreinigen.



Figuur 11-11 Bepalen zand en slib bij jetten
(Foto Brabant Water)

5. *sectiegewijs schoonpompen*

Bij sectiegewijs schoonpompen onttrekken we water aan een sectie van het putfilter door middel van een sectieapparaat.

Het sectieapparaat is een buis met grote gaten. De buis is opgesloten tussen rubbermanchetten. Uit de afgesloten sectie onttrekken we een grote volumestroom water. Het sectieapparaat is bij voorkeur ongeveer 1 m lang.

We gaan sectiegewijs pompen door middel van een onderwaterpomp, een bovenwaterpomp of luchtliften (met een lange pvc-buis).

De sectiecapaciteit is afhankelijk van boorgatdiameter, diameter van het putfilter en korrelgrootteverdeling van het watervoerende pakket.

Bij een boorgatdiameter van 600 mm, een filterdiameter van 250 mm en een korrelgrootte van 200 μm tot 350 μm is de sectiecapaciteit 40 tot 60 m^3/h bij een sectielengte van 1 m.

Met sectiegewijs schoonpompen worden het fijne materiaal en de restanten van boorspoelingscomponenten rondom de pompput beter verwijderd dan met intermitterend schoonpompen. Hierdoor zal de pompput eerder zandvrij en eerder bacteriologisch betrouwbaar zijn.

Bij sectiegewijs schoonpompen wordt het filter boven en onder de sectie afgesloten met flappen (of manchetten). In Duitsland is de laatste jaren geëxperimenteerd met de

luchtlichten	hoogte tussen de flappen (manchetten). Hydrologische modelleringen (Nillert et al., 2008⁷) laten zien dat de boorgatwand beter bereikt wordt (hogere stroomsnelheden) als de hoogte tussen de flappen verlengd worden tot ca. 1m. Doordat een groter stuk van het filter wordt afgeblind, kunnen we verder doordringen in de omstorting. Als we door middel van luchtlichten sectiegewijs schoonpompen, zal dank zij de schoksgewijze onttrekking het resultaat beter zijn dan door middel van een pomp. Wordt het sectieapparaat tijdens het sectiegewijspompen ook nog langs het putfilter op en neer bewogen, dan geeft dit een beter resultaat dan wanneer we het sectieapparaat tijdens het pompen op zijn plaats houden. Deze manier van sectiegewijspompen geeft een verbetering van het specifieke debiet van ongeveer 10% tot 15 % ten opzichte van schoonpompen. Per meter filterlengte, dus per sectie, moeten we gemiddeld 20 tot 30 minuten pompen. Voor het sectiepompen van een pompput van 180 m diep met 20 m filterlengte zijn 2 man 16 uur bezig, waarbij ze gebruik maken van een compressor, aggregaat, elektrische lier en sectieapparaat met stijgbuis. Deze methode is duidelijk duurder dan intermitterend schoonpompen. De kosten die met de toepassing van deze methode zijn gemoeid worden op termijn terugverdiend, doordat het langer duurt voordat er putverstopping optreedt en regeneratie nodig is.
stromings- richting	6. <i>sectiegewijs rondpompen</i> Bij sectiegewijs rondpompen onttrekken we water aan de sectie waar de onderwaterpomp zich bevindt en brengen we weer water in het filtertraject terug door middel van een bovenliggende sectie waarbij een gedeelte van het onttrokken water naar boven wordt afgevoerd. Het sectie-rondpompapparaat (met een totale lengte van 2,5 m) bestaat uit een onderste sectie (van 1,5 m) waar de onderwaterpomp is opgesloten tussen rubbermanchetten en een bovenste sectie (van 1 m) waar een buis met gaten is opgesloten tussen rubbermanchetten. Met deze methode kunnen we een grotere volumestroom creëren dan met sectiegewijs schoonpompen. Bovendien worden door de afwijkende stromingsrichting het fijne materiaal en de restanten boorspoelingscomponenten makkelijker verwijderd. Ten opzichte van sectiegewijs schoonpompen levert deze methode een vergelijkbaar of een iets beter resultaat. De gemiddelde sectie-rondpomptijd per meter filterlengte is 15 minuten. Voor het sectiegewijs rondpompen van een pompput van 180 m diep met 20 m filterlengte zijn 2 werknemers 12 uur bezig, waarbij ze gebruikmaken van een aggregaat, elektrische lier en sectie-rondpompapparaat met stijgbuis. Deze methode kost ongeveer even veel als sectiegewijs schoonpompen en ook hier wegen de kosten op tegen de uitgestelde regeneratie. Bijkomend voordeel is dat er bij deze methode minder water geloosd hoeft te worden wat kosten bespaard.
cyclus	7. <i>jutten in combinatie met schoonpompen</i> Bij jutten wordt de waterspiegel in de pompput met behulp van samengeperste lucht naar beneden gedrukt (bijvoorbeeld 15 tot 20 m). Bij een bepaald niveau wordt een elektrode geraakt die een luchtklep opent waardoor de lucht verdwijnt en de waterspiegel zeer snel stijgt. Daarna vult de pompput zich weer met lucht, waardoor het water weer naar beneden wordt gedrukt. Het dalen en het weer stijgen van de waterspiegel is één cyclus, die ongeveer 3 minuten duurt. Deze cyclus wordt automatisch uitgevoerd. Door deze cyclus enkele tientallen malen uit te voeren (gedurende 1 à 2 uur) en vervolgens de pompput schoon te pompen, worden het fijne materiaal en de restanten boorspoelingscomponenten rondom de pompput verwijderd.

⁷ Nillert, P., H. Basler en S. Fuchs, 2008. Intensiventnahme bei der Brunnenentwicklung und -regenerierung. Energie/Wasser-Praxis 4/2008: 22-28.

Het resultaat van deze methode is iets beter dan van intermitterend schoonpompen, maar slechter dan van methode 3 of 4. Jutten in combinatie met schoonpompen is echter duurder dan methode 3 of 4.

11.6.2 Chemische ontwikkelmethoden

boerspoeiing

De mate waarin de boorgatwand is afgepleisterd is afhankelijk van de geologische opbouw van de ondergrond, de aard en eigenschappen van de boerspoeiingscomponenten en de tijd dat de boerspoeiing in aanraking is met de boorgatwand. Soms is bij het boren toevoeging van kunstmatige boerspoeiingscomponenten onvermijdelijk. Dit kan leiden tot versnelde putverstopping. Om dit te vermijden proberen we zoveel mogelijk restanten van de natuurlijke en kunstmatige componenten van en uit de boorgatwand te verwijderen. Om de boorgatwand goed te kunnen reinigen is een mechanische ontwikkelmethode meestal niet voldoende. Gebruik van chemicaliën is dan onvermijdelijk.

Er bestaan verschillende typen chemicaliën, met verschillende werking:

- Oxidatoren
Bijvoorbeeld waterstofperoxide en chloorbleekloog.
Oxidatoren worden gebruikt voor het verwijderen van organisch materiaal, zoals biomassa. Chloorbleekloog heeft bovendien een dispergerende werking op kleideeltjes.
- Zuren
Bijvoorbeeld zoutzuur, citroenzuur, mierenzuur en koolzuur.
Zuren worden gebruikt om neerslagen zoals ijzerhydroxide, aluminiumhydroxide en mangaanoxide op te lossen.
- Reductoren
Reductoren worden gebruikt om geoxideerde verbindingen zoals ijzerhydroxiden en mangaanoxiden te reduceren (op te lossen) (Houben et al., 2000).
- Complexvormers
Bijvoorbeeld polyfosfaten.
Met complexvormers worden opgeloste metalen in oplossing gehouden. Daarnaast worden polyfosfaten ook ingezet om kleideeltjes te dispergeren (uiteen te laten vallen).

We bespreken de volgende chemische ontwikkelmethoden:

6. inbrengen van chemicaliën met buizen
7. inbrengen van chemicaliën met hogedrukreinigen (jetten)
8. inbrengen van chemicaliën met sectieapparaat
9. inbrengen van chemicaliën met sectie-rondpompapparaat
10. inbrengen van chemicaliën met buizen en jutten.
11. gebruik van dispergent

verdringen

6. inbrengen van chemicaliën met buizen

Bij deze methode brengen we chloorbleekloog of waterstofperoxide in het filtertraject van de pompput door middel van inhangbuizen die boven het filter zijn afgesteld, waarbij we deze stoffen vervolgens met water in de formatie verdringen. De hoeveelheid verdringingswater is gelijk aan 2 keer de inhoud van de betreffende boorgatsectie. Dat is bij een boorgatdiameter van 600 mm en een filterlengte van 20 m: $2 \times (\pi/4) \times 0,6^2 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} = 11,3 \text{ m}^3$. Na verdringing blijven de chemicaliën een nacht in de pompput overstaan (in de pompput laten staan), waarna we de pompput schoonpompen volgens methode 1. De kosten van deze methode zijn gering en de resultaten geven een verbetering van het specifieke debiet van circa 10% ten opzichte van schoonpompen.

7. inbrengen van chemicaliën met hogedrukreinigen (jetten)

Om met een hogedrukreiniger chemicaliën te verpompen door de nozzles is een speciale pomp nodig. Op dit moment wordt dit niet toegepast vanwege de hoge kosten van deze pomp en de kwetsbaarheid voor chemicaliën. Daarom worden de chemicaliën bijvoorbeeld met een kordelbuis ter hoogte van het filter gebracht om vervolgens door hoge druk verder te verdringen.

Bij het jetten kan alleen waterstofperoxide door de nozzles worden verpompt. Andere chemicaliën zijn te agressief voor de pomp en worden daarom bijv. met kordelbuis ter hoogte van het filter gebracht om vervolgens door jetten verder te verdringen.

De beide methoden hebben een dubbele werking, materiaal wordt losgemaakt met een zeer krachtige straal van de nozzles en tegelijkertijd wordt het regeneratiemiddel op de juiste plaats gebracht.

8. *inbrengen van chemicaliën met sectieapparaat*

Bij deze methode brengen we de chemicaliën met een sectieapparaat per sectie in het filtertraject waarna we de chemicaliën direct met water verdringen; daarbij gebruiken we dezelfde hoeveelheid water als bij methode 6.

Met het inbrengen van chemicaliën beginnen we aan de bovenkant van het filter.

Hierdoor voorkomen we dat er ontleding van waterstofperoxide onder het sectieapparaat plaats vindt en daardoor het sectieapparaat uit de put omhoog wordt gedrukt. Bij de laatste sectie onderin blijft het sectieapparaat staan. We laten de chemicaliën dan een nacht overstaan om deze de volgende dag van onder naar boven met het sectieapparaat op te pompen. Na uitbouw van het sectieapparaat pompen we de pompput volgens methode 1 schoon.

Deze methode is behoorlijk veel duurder dan methode 6. De resultaten van deze methode met sectieapparaat geven een verbetering van het specifieke debiet van ongeveer 10% tot 30% ten opzichte van schoonpompen.

9. *inbrengen van chemicaliën met sectie-rondpompapparaat*

De chemicaliën brengen we via het sectie-rondpompapparaat per sectie in het filtertraject, waarna we ze direct met water verdringen. Hiervoor gebruiken we ook nu weer dezelfde hoeveelheid water als bij methode 6. Na verdringing met water laten we de onderwaterpomp enkele minuten lopen om de chemicaliën uit de pompput, de omstorting en de formatie rondom de pompput te spoelen.

Om aantasting van het sectie-rondpompapparaat door de chemicaliën te minimaliseren, beginnen we met het inbrengen van de chemicaliën aan de bovenkant van het putfilter. Bij de laatste sectie onderin blijft het sectie-rondpompapparaat staan. We laten de chemicaliën dan een nacht overstaan om deze de volgende dag van onder naar boven met het sectie-rondpompapparaat op te pompen. Na uitbouw van het sectie-rondpompapparaat pompen we de pompput volgens methode 1 schoon.

De kosten van deze methode zijn iets hoger dan die van methode 7. De resultaten van deze methode geven een verbetering van het specifieke debiet van circa 40% tot 60% ten opzicht van schoonpompen.

10. *inbrengen van chemicaliën met buizen en jutteren*

In dit geval brengen we de chemicaliën in de pompput via inhangbuizen die we boven het filter en in het filtertraject afstellen. Daarna verdringen we de chemicaliën met water in de formatie, waarbij we ook nu weer evenveel water gebruiken als bij methode 6. Tijdens het verdringen jutteren we.

Het jutteren en verdringen voeren we verspreid over ongeveer 4 uur uit, waarna we het mengsel van water en chemicaliën een nacht laten overstaan. De volgende dag jutteren we nog 20 minuten (zonder te verdringen) om het fijne materiaal en de restanten boorspoelingscomponenten los te spoelen, waarna we de juttermaterialen uitbouwen en de pompput schoonpompen (zie paragraaf 11.6.1, punt 1 en punt 2).

losspoelen

De kosten zijn aanzienlijk en zijn hoger dan van methode 7. De resultaten van deze methode geven een verbetering van het specifieke debiet van ongeveer 20% tot 40% ten opzichte van schoonpompen.

11.6.3 Schoonpompen putbodem en waarnemingsfilters

Naast het schoonpompen en ontwikkelen van de pompput pompen we ook de putbodem en de waarnemingsfilters schoon.

schoonpompen putbodem

'air lift' Als gevolg van het ontwikkelen van de pompput kunnen er fijn zand, grindkorreltjes en organisch materiaal op de putbodem bezinken. Daarom moeten we steeds na het ontwikkelen van de pompput de putbodem schoonpompen. Soms doen we dit ook een keer vóór het ontwikkelen, namelijk als dat op grond van de dieptemeting noodzakelijk is. We pompen de putbodem met een 'air lift' schoon. Dit is een eenvoudige manier van luchtliften.

schoonpompen waarnemingsfilters

Tegelijkertijd met of na het ontwikkelen moeten we de waarnemingsfilters schoonpompen. Dit kunnen we doen met behulp van een zuigpomp, een onderwaterpompje (minimale filterdiameter 50 mm inwendig) of een 'air lift'.

11.6.4 Metingen bij het ontwikkelen

Het is raadzaam om tijdens het schoonpompen en ontwikkelen van de pompput in de verschillende ontwikkelstadia controle te houden op de uitgevoerde werkzaamheden. We kunnen dan ook bepalen wat de resultaten zijn. We denken dan aan:

- oppeilen van de putdiepte na elke processtap
- bepalen van het specifieke debiet en indien mogelijk van het doorlaatvermogen (kD) ter plaatse van de put
- controleren op zandvrije waterlevering
- uitvoeren van een capaciteitsproef en een flowmeting voor en na behandeling met chemicaliën
- bepalen of de pompput bacteriologisch betrouwbaar is.

Met dit soort metingen en controles kunnen we bij het ontwikkelen van een volgende pompput een betere afweging maken tussen kosten en resultaten.

parameters

Bij de oplevering wordt de pompput beoordeeld op de volgende parameters:

- specifiek debiet. Dit moet ten minste 90% bedragen van wat theoretisch haalbaar is
- concentratie vaste stof en spoelingsadditieven. Deze concentratie mag niet groter zijn dan 0,01 mg/l
- doorpersen. Een filterspuit moet een hoeveelheid van 0,5 l water gemakkelijk door een 0,45 µm filter kunnen persen. Na het doorpersen mag het filtertje niet zijn vervuild. Zo nodig kan met een MFI-apparaat worden gecontroleerd of het MFI-getal kleiner is dan 2,0 s/l².

Om de beginsituatie van de pompput vast te leggen wordt er na het ontwikkelen van de put een flowmeting uitgevoerd. Dat moet gebeuren bij elke pompput die gevoelig is voor putverstopping.

11.7 Afwerken putkop en aanbrengen putkelder

In deze paragraaf wijzen we op punten die van belang zijn bij het afwerken van de putkopconstructie en het aanbrengen van de putkelder.

We gaan achtereenvolgens in op:

- putkopconstructie afwerken
- putkelder aanbrengen

- putkop installeren
- terrein afwerken.

11.7.1 Putkopconstructie afwerken

Bij het uitvoeren en afwerken van de putkopconstructie moeten we:

- de putkop volgens tekening bestellen en uitvoeren
- bij een putkop van rvs 316 L de constructieonderdelen passiveren en beitsen
- bij een putkop van staal 37-2/C22-8 de constructieonderdelen thermisch verzinken en ruwstralen om de verfcoating aan te kunnen brengen
- de putkop zo nodig voorzien van kunststofbekleding (Epimid, Rilsaneren)
- de genoemde putkopbehandelingen onder Kiwa-attest en/of andere voorschriften uitvoeren.

11.7.2 Putkelder aanbrengen

De punten die bij het aanbrengen van de putkelder om aandacht vragen hebben vooral betrekking op voorbereiding, fundering, plaatsing en waterdichtheid.

	<i>voorbereiding</i>
doorvoeren	Afhankelijk van de materiaalsoort, bijvoorbeeld beton, moeten we bij het bestellen van de putkelder rekening houden met uitsparingen in de bodem en de wand voor het doorvoeren van kabels en leidingen.
bereikbaarheid	We moeten ervoor zorgen dat de pompputten goed bereikbaar zijn. Omdat dit ook geldt voor de booropstelling is in het algemeen al voorzien in een aanvoerweg.
bronbemaling	Zo nodig leggen we voor het aanbrengen van de putkelder een bronbemaling aan en een afvoerleiding naar het lozingspunt. Daarbij moeten we rekening houden met de eisen die in de WVO-vergunning staan.
hoogtematen	Om de juiste maten van de putinbouw te kunnen vaststellen moeten we de pompput waterpassen voordat we de putkelder inbouwen.
	<i>fundering</i>
hoogtematen	Bij de ontgraving van de bouwput voor de putkelder moeten we de hoogtematen die op tekening staan in acht nemen. Als we op staal funderen moeten we de bodem egaliseren en zo nodig grondverbetering toepassen.
heipalen	Als we op heipalen en fundatieplaat funderen vragen de voorbereiding en het storten van de betonspecie speciale aandacht. Om tijdens het werk zo min mogelijk gehinderd te worden, kunnen we in dit stadium de verwijde stijgbuis en de stijgbuizen van de waarnemingsfilters op werkhoogte (= definitieve hoogte) brengen.
aanvullen	Na voltooiing van de werkzaamheden in de putkelder vullen we in beide gevallen de ruimte rondom de putkelder aan; de ruimte vullen we nog niet volledig aan. Bij de onderheide putkelder monteren we profielen om horizontale verschuiving van de fundatieplaat op te vangen.
	<i>plaatsing</i>
	Bij het plaatsen van de putkelder, moeten we rekening houden met de positie van de verwijde stijgbuis en de waarnemingsfilters en de richting waarin de muurdoorvoer voor de terreinleiding moet worden aangebracht. Verder vragen de doorvoeren voor de voedingskabels, signaleringskabels en beveiligingskabels en eventueel de aarddraad aandacht.
	<i>waterdichtheid</i>
	Een putkelder moet waterdicht en droog zijn. Bij een putkelder, die beneden het grondwaterniveau is aangelegd, kunnen lekkages ontstaan door de wand, de vloer of doorvoeropeningen voor bijvoorbeeld de put, een waarnemingsfilter of de flensverbinding van de ruwwaterleiding. Zorg ervoor dat de afdichtingen lek dicht zijn. Verwijder eventueel lekwater in de putkelder via een dompelpomp of afvoer. Installeer

eventueel een lekdetectie. Het is belangrijk dat de kleiprop waarmee een put is afgewerkt niet vergraven wordt bij de aanleg van de putkelder, want als dat wel gebeurt kan er kortsluitstroming langs de put met het waterwinpakket ontstaan.

Afsluiting Het kan voorkomen dat een afsluiter in de pompput of een keerklep in de ruwwaterleiding of spuileiding niet goed afsluit en de overige delen van het ruwwatersysteem met vervuild water verontreinigt. Dat kan vooral tijdens werkzaamheden gebeuren. Bij gebruik van spuileidingen moet voorkomen worden dat terugstroming plaats vindt, want terugstroming kan ertoe leiden dat het ruwwater wordt vervuild. Spuileidingen moeten daarom altijd zo worden ontworpen dat ze niet aan het ruwwatersysteem zijn gekoppeld als ze buiten gebruik zijn.

11.7.3 Putkop installeren

Bij het installeren van de putkop moeten de volgende zaken worden uitgevoerd:

- putkopconstructie stellen en monteren en waarnemingsfilters afwerken
- bodem- en muurstukken storten
- onderwaterpomp inhangen
- putkopconstructie en meet- en monsternemingspunten monteren
- elektrische installatie, vereffeningskabels en kabels voor toegangs- en persoonsbewaking installeren.



Foto 11-4 Het installeren van een pomp, haalbuizen en watermeter (Carl van Rosmalen, Brabant Water)

11.7.4 Terrein afwerken

Nadat we de pompput op het leidingnet hebben aangesloten vullen we de ruimte rondom de geplaatste putkelder verder aan en demonteren we de eventueel aangelegde bronbemaling met het bijbehorende leidingwerk.

aanleg weg Om na oplevering de pompputten bereikbaar te houden moeten we zorgen voor een aan- en afvoerweg langs de pompputten en insteekhavens van bijvoorbeeld graskeien. Verder brengen we zonnodig de pompputten in talud aan.

11.8 Leggen terreinleidingen en kabels

Na het afwerken van de pompputten leggen we volgens de volgorde die in het ontwerp is vastgelegd de terreinleidingen en kabels die nodig zijn om het opgepompte water naar de zuiveringsinstallatie te transporteren. In deze paragraaf beschrijven we in het kort welke werkzaamheden we vóór en tijdens het leggen en aansluiten van leidingen en kabels op de waterwinplaats moeten uitvoeren en waar we zoal op moeten letten.

Daarbij staan we stil bij:

- te leggen leidingen en kabels
- voorbereiding leggen
- leggen en aansluiten
- afwerken en opleveren.

11.8.1 Te leggen leidingen en kabels

De leidingen en kabels die we op de waterwinplaats leggen en aansluiten zijn: terreinleiding, vuilwaterleiding, voedingskabel en signaalkabels.

terreinleiding	Een terreinleidingnet is een leidingnet voor ruwwater dat voorzien is van hulpstukken, afsluiters, keerkleppen, brandkranen, spuien en watermeters.
vuilwater-leiding	De vuilwaterleiding is een leiding voor het afvoeren van verontreinigd water. Deze leiding heeft aansluitmogelijkheden voor het lozen van afpompings-, schoonpomp- en regeneratiewater van een of meer pompputten, waarbij dit water op een aanwezige watergang of ander lozingspunt wordt geloosd. Er zijn echter maar enkele waterleidingbedrijven die de aanleg van een dergelijk leiding voorschrijven.
voedingskabel	De voedingskabel voor de onderwaterpomp leggen we bij voorkeur in het leidingtracé met de leidingen mee. Het aantal aders in de kabel verschilt per bedrijf. De vereiste aderdoorsnede is afhankelijk van pompvermogen en kabellengte (afstand). Voor onderwaterpompen is een spanningsverlies van maximaal 3% toegestaan. Er zijn bedrijven die tijdens inbouw van de pompput vanaf een bepaalde diepte een aardleiding meevoeren, terwijl andere bedrijven gebruik maken van een kabel waar de aardleiding in zit.
signaalkabels	Ook de signalerings- en beveiligingskabels voor pompputsignalering en toegangs- en/of persoonsbeveiliging leggen we bij voorkeur in het leidingtracé met de leidingen mee.

11.8.2 Voorbereiding leggen

vergunningen	Voor de aanleg van terreinleidingen en kabels hebben we de volgende vergunningen nodig: • WVO-vergunning, aan te vragen bij het Waterschap • Waterwetvergunning (voor lozing), aan te vragen bij de Waterschap • aanlegvergunning, als het terrein van derden is • vergunning voor het vestigen van Zakelijk Recht • graafmelding via klic-online (Wet Informatie-uitwisseling Ondergrondse Netten (WION))
Arbo	Als een waterbedrijf volgens ISO-NEN 9001 is gecertificeerd, moet het de werkzaamheden volgens deze norm uitvoeren. Afhankelijk van de grondslag kan het mogelijk zijn dat aan meerdere eisen vanuit de van toepassing zijnde normbladen (de normbladen NEN 9001) moet worden voldaan en dat ook vanuit de Arbo-wetgeving extra voorzieningen noodzakelijk zijn.
uitvoerder	Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden is een V&G-plan op het werk aanwezig. De uitvoering berust bij de op het werk aanwezige uitvoerder.
materiaal	De te leggen leidingen zijn van pvc, hpe, zpe, staal, nodulair gietijzer of beton en de appendages en hulpstukken van pvc, staal of nodulair gietijzer.

staal bekleden	Als er bij stalen leidingdelen door zwerfstromen in de grond kans op corrosie bestaat, moeten we de stalen delen kathodisch beschermen. Ook in agressieve grond moeten we met het toegepaste materiaal rekening houden. Als we appendages en hulpstukken van gietijzer of staal in agressieve grond leggen, behandelen we ze en bekleden we ze met een laag asfalt.
bronbemaling	Het ligt aan de grondsoort of we extra voorzieningen voor het leggen van de leiding moeten treffen. Soms moeten we een grondmechanisch onderzoek uitvoeren. Bij een hoge grondwaterstand kan het noodzakelijk zijn langs het leidingtracé bronbemaling aan te leggen.
opdrijven	Zo nodig moeten we bij een hoge grondwaterstand maatregelen treffen tegen opdrijven van de leiding. Opdrijven kunnen we voorkomen door bijvoorbeeld zandzakken op de leiding aan te brengen of de leiding met een zware ketting te omwikkelen. Verder kunnen we de leiding aan kespen verankeren.
funderen	Om te voorkomen dat de (gevulde) leiding in een slappe bodem wegzakt, kunnen we de leiding funderen met bijvoorbeeld leidingondersteuning, piepschuim of balken. Zowel bij opdrijven als bij wegzakken moeten we rekening houden met het materiaal waarvan de leiding is gemaakt.
	Pvc- en pe-leidingmateriaal en kabels mogen we alleen transporteren boven -5 °C en verwerken boven +5 °C. Bij zowel transport als opslag moeten we buismateriaal en hulpstukken voorzien van eindkappen om te voorkomen dat ze aan de binnenkant vervuilen en bacteriologische besmetting veroorzaken.
desinfecteren	Voordat we de leiding leggen en hulpstukken en appendages aanbrengen moeten we ze schoonborstelen en desinfecteren. Buismateriaal desinfecteren we op het maaiveld door het af te nemen met een prop die gedrenkt is in een oplossing van chloorbleekloog. Hulpstukken en appendages desinfecteren we met TEGO.
tracé uitzetten	Het leidingtracé zetten we uit met waterpastoestellen of laserapparatuur. Dat het werk goed bereikbaar moet zijn spreekt voor zich.

11.8.3 Leggen en aansluiten

Bij deze werkzaamheden gaat het om zaken als sleuf graven, verbindingen maken, leiding spuien, leiding stempelen, sleuf aanvullen en verdichten en waterslag voorkomen.

	<i>sleuf graven</i>
sleuf ontgraven	De sleuf voor de leiding wordt door een hydraulische graafmachine of minigraafmachine ontgraven op een vooraf vastgestelde diepte. De uitkomende grond wordt in van elkaar gescheiden lagen naast de sleuf gedeponneerd en wordt bij het aanvullen van de sleuf in omgekeerde volgorde in de sleuf teruggebracht.
sleufdiepte	De diepte van de sleuf staat in het bestek en is afhankelijk van onder meer de leidingdiameter en de minimaal vereiste dekking. De dekking ten opzichte van maaiveld is meestal 0,8 m tot 1,1 m. We leggen de leiding zoveel mogelijk horizontaal in het zandbed.
kabels leggen	Kabels, zowel de voedingskabel als signaleringskabels, voorzien we om de 5 m van labels waarop we tenminste het type kabel vermelden. Kabels leggen we bij voorkeur in de sleuf met de leidingen mee.
	<i>verbindingen maken</i>
keuze	Buizen en hulpstukken verbinden we met trekvlaste of niet trekvlaste verbindingen aan elkaar. We hebben de keuze uit mofverbindingen, flensverbindingen, klemverbindingen, spiegellasverbindingen (alleen voor pe-buizen) of elektrolasmoffen (alleen voor pvc-

appendages	buizen). De keuze hangt niet alleen af van het leidingmateriaal maar ook van de gestelde sterkte-eisen en de stevigheid van de ondergrond. Appendages worden in het algemeen met flensverbindingen of (trekvaste) mofverbindingen in of aan de leiding gemonteerd. T-stukken die in de leiding worden opgenomen gebruiken we bij onder meer het schoonmaken om de proppen in de leiding te brengen. Pompput en leiding verbinden we met een flensverbinding aan elkaar. Watermeters monteren we in speciaal hiervoor gemaakte voorzieningen die, zoals bij de betonnen pompput, zijn uitgerust met montage- en demontagemogelijkheden.
inmeten	Voordat we de sleuven aanvullen moeten we de ligging van de leidingen, kabels, hulpstukken en appendages inmeten en vervolgens de meetresultaten op revisietekeningen vastleggen. Inmeten en tekeningen en gegevens bewaren en verwerken vindt tegenwoordig in digitale vorm plaats.
desinfecteren chloor	<i>leiding spuien</i> Na het afpersen wordt het leidingnet volgens een spuiplan met behulp van de aanwezige brandkranen en/of spuien gespuid. De eerste keer wordt de leiding afgespuid met reinwater of bacteriologisch goedgekeurd ruwwater. Als bij de eerste monsternamen bacteriën van de coli-groep worden gevonden, wordt de leiding met een chloorbleekloogoplossing gedesinfecteerd. Daartoe wordt aan het begin van het te desinfecteren leidingtraject met behulp van een doseerpomp een oplossing van werkzaam chloor toegevoegd aan langzaam stromend water in de leiding. Aan het eind van dit traject, waar zich het spuipunt bevindt, wordt de concentratie chloorbleekloog gemeten. Deze concentratie moet 20 mg/l bedragen; dit wordt verkregen door een juiste dosering. De genoemde concentratie komt overeen met ongeveer 0,13 l verse chloorbleekloog (15%) per m³ water. Na een contacttijd van 24 uur wordt het chloorhoudend water afgespuid en met natriumthiosulfaat geneutraliseerd. Pompputten schoonspoelen/spuien en leidingen spuien kunnen we ook gecombineerd uitvoeren. Voor het spuien kunnen we de eventueel gelegde lozingsleiding gebruiken. In elk geval moeten we spuien volgens de eisen die in de WVO-vergunning zijn vermeld.
	<i>leiding stempelen</i> Om spatkrachten op bochten en T-stukken op te vangen is het gebruikelijk de leiding op deze plaatsen te stempelen. Bij zeer slappe grondslag kan er, in plaats van een stempeling, een trekvaste verbindingstechniek worden toegepast. Verbindingen in de rechte leiding hoeven we niet te stempelen.
diepte	<i>sleuf aanvullen en verdichten</i> Na het leggen vullen en verdichten we de sleuf laag voor laag. In verband met zetting moeten we de ruimtes naast de leiding goed aanvullen en verdichten. Soms passen we grondverbetering toe. Voor het aanvullen van de sleuf kunnen we niet altijd de uitgekomen grond gebruiken. We gebruiken dan speciaal zand. In deze fase vullen we de sleuf aan tot een diepte van 0,60 m.
	<i>waterslag voorkomen</i> Bij het in- en uitschakelen van de onderwaterpomp kan in de leiding 'waterslag' optreden. Waterslag wordt gedefinieerd als: het plotseling optreden van drukveranderingen in gesloten leidingen veroorzaakt door snelheidsveranderingen in de vloeistofstroom. Waterslag kan ook optreden als afsluiters snel worden gesloten en bij leidingbreuk. De grootte en frequentie van de drukveranderingen zijn afhankelijk van onder andere het materiaal, de diameter en de lengte van de leiding. De leiding is zo sterk dat de overdruk en onderdruk, die bij waterslag afwisselend in de leiding optreden, geen schade aan de leiding zal veroorzaken. Wel bestaat de kans dat bij de

zwakke punten, zoals de verbindingen, bij de overdruk lekkage kan optreden, terwijl bij de onderdruk water van buiten kan worden aangezogen. Verwachten we waterslag dan dimensioneren we de leiding daarop. Om de krachten die bij waterslag optreden op te vangen moeten we de bocht- en T-stukken in de leiding stempelen of trekvast uitvoeren.

Waterslag kunnen we voorkomen door een van de volgende voorzieningen aan te brengen:

- onderdrukbeveiliging
- toerentalregeling voor de pomp.

Het ligt voor de hand de voorziening aan te brengen op de plaats waar de waterslag ontstaat. Is de onderwaterpomp de oorzaak dan kan de voorziening bijvoorbeeld in of bij de putkopconstructie worden aangebracht.

11.8.4 Afwerken en opleveren

Nadat de leidingen en kabels met hulpstukken en appendages zijn gelegd en aangesloten voltooiën we de aanvulling en verdichting van de sleuf. In gebieden van ecologische waarde moeten we zoveel mogelijk de uitgekomen bovenlaag opnieuw aanbrengen. Na voltooiing van het aanvullen en verdichten egaliseren we het terrein.

merkpaaltjes	Bij het afwerken van het tracé voorzien we de afsluiter- en brandkraanputjes van de nodige aanduidingen en de plaats ervan van de nodige merkpaaltjes.
afpersen	Als het leidingnet gereed is wordt het net met water gevuld en in delen of in zijn geheel volgens de regels afgeperst. De maximale persdruk is afhankelijk van de nominale werkdruk in de leiding.
spuien	Na het afpersen wordt het leidingnet volgens een spuiplan met behulp van de aanwezige brandkranen en/of spuien gespuid. Om het leidingnet te ontsmetten wordt aan het eerste spuiwater chloorbleekloog toegevoegd. Na gebruik wordt het chloorbleekloog met natriumthiosulfaat geneutraliseerd. Voor het spuien kunnen we gebruik maken van reinwater uit het waterleidingnet of bacteriologisch goedgekeurd ruwwater uit de pompputten. Pompputten schoonspoelen/spuien en leidingen spuien kunnen we ook gecombineerd uitvoeren. Voor het spuien kunnen we de eventueel gelegde lozingsleiding gebruiken. In elk geval moeten we spuien volgens de eisen die in de WVO-vergunning zijn vermeld.
bacteriologische verontreiniging	Om het water uit de pompput en de leiding op bacteriën te onderzoeken moeten we watermonsters nemen. Er moeten voldoende monsterkranen aanwezig zijn om zo nodig te kunnen vaststellen welk gedeelte bacteriologisch verontreinigd is.
opleveren	Nadat de pompput en de leiding bacteriologisch zijn goedgekeurd, toetsen we of de pompput aan de opleveringseisen voldoet. Dat doen we door de pompput in een exploitatieschema op te nemen en volgens een bepaald schakelschema in bedrijf te stellen. We leveren de pompput op als alles goed is en als ook de gegevens van het leidingnet op de revisietekeningen zijn aangepast en de nodige attesten en certificaten zijn verzameld.

11.9 In bedrijfstellen put(tenveld)

Voordat we een put(tenveld) in bedrijf stellen is het verstandig aan de hand van een checklist na te gaan of aan de opleveringseisen is voldaan en welke controles nog moeten worden uitgevoerd. Het te controleren traject begint in de putkelder en eindigt bij het filtergebouw.

checklist

Met behulp van de checklist toetsen en controleren we de verrichte werkzaamheden ten behoeve van de overdracht aan de afdeling exploitatie. Door te kijken of we aan alle punten van de checklist hebben voldaan verminderen we de kans op onvolkomenheden in bovengenoemd traject.

checklist 1

- Onderwaterpomp: draairichting controleren en werking ampèremeter en debietmeter testen
- schakelkast: veiligheid elektrisch gedeelte controleren
- keerklep en afsluiter: werking controleren indien aanwezig
- afwerking pompputconstructie: kijken of uitvoering in overeenstemming is met tekening
- manometer, watermeter, monsterpunt enz.: op aanwezigheid controleren
- putkopconstructie: dichtheid testen
- putkelder: dichtheid controleren
- vaststellen of pompput bacteriologisch is goedgekeurd: aanwezigheid bericht van laboratorium
- controleren of alle vereiste metingen zijn verricht en vastgelegd, zoals de nulmeting van de pompputten afzonderlijk
- terreinleiding: vaststellen of deze is gespuid en bacteriologisch is goedgekeurd (bericht laboratorium)
- afsluiters: werking testen
- pompput opleveren aan de gebruiker, afdeling Exploitatie.

checklist 2

- Afwerking waarnemingfilters: controleren op aanwezigheid van onder andere doppen en labels
- waarnemingsfilter in pompput: werking controleren werking
- waarnemingsfilters in omstorting: werking controleren
- NAP-meting en coördinaten: controleren of ze zijn vastgelegd
- putkelder en putkopconstructie: kijken of ze schoon zijn opgeleverd
- putkelder: werking inbraakbeveiligde deksel testen
- kijken of is voldaan aan Arbo-eisen, zoals werking mangatafsluitingen, bereikbaarheid vloer van putkelder via ladder en aanwezigheid persoonsbeveiliging
- nagaan of de opleverings- en flowmetingen zijn uitgevoerd
- verkregen gegevens: controleren of ze zijn verwerkt op een stelstaat en of ze in een databestand zijn ingevoerd
- gegevens van flowmetingen: kijken of deze in een databestand zijn opgenomen (later van belang als referentie).

12 Toezicht en oplevering

In dit hoofdstuk beschrijven we de werkwijze die door de waterbedrijven wordt gehanteerd bij de aanleg en de oplevering van de pompput en het puttenveld (inclusief kabels en terreinleidingen). Bij het uitoefenen van toezicht zijn niet alle onderdelen van de uitvoering even belangrijk en ook hechten de waterbedrijven niet aan alle opleveringseisen evenveel belang. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen hebben we een schriftelijke enquête onder de waterbedrijven gehouden. We geven een overzicht van de resultaten en gaan in op de meest gebruikelijke eisen waar het werk tijdens de uitvoering en bij de oplevering aan moet voldoen.

We behandelen achtereenvolgens:

- toezicht
- oplevering
- normen bij toezicht en oplevering.

samenvatting

Alle waterbedrijven vinden toezicht bij het stellen van de pompfilters en het aanvullen van het boorgat heel belangrijk. Dan voeren ze overleg met de boorondernemer. Geen enkel bedrijf houdt gedurende de hele uitvoering van boring en inrichting van de pompput continu toezicht. Zowel voor de bepaling van de filterstelling als voor de aanvulling van het boorgat wordt met de boorondernemer overleg gevoerd. Controle vooraf kan later problemen met gebruikte materialen voorkomen. Bij de oplevering controleren de waterbedrijven of het werk conform de afspraken is uitgevoerd. Vooral een zandvrije waterlevering wordt zeer belangrijk gevonden. De levering van bacteriologisch betrouwbaar water en de putcapaciteit worden door de bedrijven niet als harde eis aan de boorondernemer opgelegd. Normen voor toezicht en oplevering zijn er nauwelijks.

12.1 Toezicht

Een goede aanleg van de pompput en de terreinleidingen kan voorkomen dat er bij de exploitatie mogelijk problemen optreden. Toezicht kan daarbij heel belangrijk zijn. Bij het uitoefenen van toezicht zijn niet alle onderdelen van de aanleg even belangrijk. Tabel 12-1 geeft een overzicht van de mate waarin de waterbedrijven belang hechten aan het toezicht. Daaruit blijkt dat meer belang wordt gehecht aan toezicht bij de boorwerkzaamheden en de afwerking tot pompput dan aan toezicht bij de aanleg van terreinleidingen en kabels.

putcapaciteit Voor pompputten is toezicht heel belangrijk bij het stellen van de filters en het aanvullen van het boorgat. Dit is niet zo verwonderlijk als we bedenken dat de putcapaciteit mede bepaald wordt door het toezicht dat daarbij wordt uitgeoefend.

Tabel 12-1 Mate van belang dat waterbedrijven hechten aan het toezicht.

Onderdeel	Belang
<i>Toezicht boring</i>	
Voor aanvang van de boring	groot
Tijdens het boren	groot
Vaststellen filterstelling	zeer groot
Inrichten pompput en aanvullen boorgat	zeer groot
Schoonpompen	groot
Uitvoeren capaciteitsproef en flow-meting	matig
Afwerken pompput	groot

Onderdeel	Belang
Arbo-omstandigheden	matig
Naleving milieuhygiënische bepalingen	groot
<i>Toezicht aanleg kabels en terreinleidingen</i>	
Voor aanvang van het werk	groot
Bij start van het werk	groot
Tijdens het werk	matig

PMV

Zowel tijdens het boren als tijdens de aanleg van de terreinleidingen en kabels wordt toegezien op naleving van de Arbo- en milieuregels. Daar waar werkzaamheden worden verricht in een grondwaterbeschermings- of waterwingebied is de geldende Provinciale MilieuVerordening (PMV) van toepassing. Deze regels richten zich met name op het voorkomen van bodem- en grondwaterverontreiniging. Bovendien worden algemene milieuregels voorgeschreven die ook buiten het grondwaterbeschermings- of waterwingebied van toepassing zijn. Het gaat dan om regels ten aanzien van de opslag van olie en chemicaliën; deze moeten we zodanig opslaan dat bij lekkage de bodem of het grondwater onmogelijk kunnen worden verontreinigd.

Het materieel dat voorzien is van verbrandingsmotoren (ook aggregaten en pompen) moet in een vloeistofdichte bak staan waarin geen regenwater mag komen; dit materieel moeten we op een verharde ondergrond aftanken. Daarnaast is over het algemeen toepassing van een chemisch toilet verplicht gesteld.

Bij het werk mogen we geen hergebruikte stoffen gebruiken. Afvalstoffen moeten we gescheiden inzamelen.

Arbo-regels

Voor de veiligheid van de medewerkers worden Arbo-regels gesteld. Hierbij moeten we niet alleen denken aan technische en persoonlijke beschermingsmiddelen, maar ook aan een plan hoe we bij brand en ongevallen moeten handelen. In Hoofdstuk 11 (Paragraaf 11.1.4) hebben we aandacht besteed aan het Veiligheids- en Gezondheidsplan.

De toezichthouder van het waterbedrijf ziet er op toe dat de regels bekend zijn bij de aannemer en dat het personeel de gestelde regels naleeft.

Nu gaan we verder in op:

- toezicht tijdens het boren en het afwerken tot pompput
- toezicht bij de aanleg van kabels en terreinleidingen.

12.1.1 Toezicht tijdens het boren en de afwerking tot pompput

De mate waarin toezicht gehouden wordt bij het boren van een pompput varieert per waterbedrijf. Vrijwel geen enkel waterbedrijf houdt continu toezicht bij de boring. Wel zijn er momenten tijdens het boren en de aanleg van de pompput dat het toezicht meer aandacht vraagt.

aanvang van de boring

locatie

Bij aanvang van de werkzaamheden vindt altijd toezicht plaats. Daarbij wordt er op gelet dat de boring daadwerkelijk op de vooraf vastgestelde locatie wordt uitgevoerd. Aandacht wordt besteed aan de milieuhygiënische bepalingen en de manier waarop het werkwater wordt geloosd. Aspecten als arbeidsomstandigheden, de inrichting van het boorterrein en de staat waarin de boorwagen verkeert (of deze voldoet aan de gestelde eisen) vinden de waterbedrijven minder belangrijk.

tijdens het boren

Bij de meeste waterbedrijven wordt tijdens de boorwerkzaamheden incidenteel toezicht gehouden. De momenten waarop toezicht plaats vindt, zijn afhankelijk van de voortgang van de boring.

boorspoeling

De waterbedrijven vinden het van belang dat wordt voldaan aan de eisen die in het bestek zijn gesteld. Nadruk ligt op arbeidsomstandigheden en de opslag van het materiaal (grind, klei, putfilters en buizen). Alle waterbedrijven letten op het gebruik van boorspoelingshulpmiddelen en zien erop toe dat er niet meer van wordt gebruikt dan strikt noodzakelijk is. Men gaat daarbij af op het woord van de boormeester: als hij aangeeft dat gebruik van boorspoeling nodig is wordt hieraan voldaan. De boormeester bepaalt de hoeveelheid. Om te bepalen waar de putfilters moeten worden gesteld, is het van belang goed inzicht te hebben in de opbouw van de ondergrond. Alle waterbedrijven onderschrijven dat het nemen van boorgrondmonsters dan ook erg belangrijk is.

Tijdens het boren zijn er diverse momenten waarop een beslissing moet worden genomen over de inrichting en afwerking van de pompput. Het waterbedrijf bepaalt hoe diep de pompput moet worden.

filterstelling

afwerking boorgat tot pompput

Zowel voor de bepaling van de filterstelling als voor de aanvulling van het boorgat wordt met de boorondernemer overleg gevoerd. Incidenteel adviseert NITG-TNO daarbij. Het advies van NITG-TNO wordt gecombineerd met het uitvoeren van een geofysische boorgatmeting. Het waterbedrijf is altijd betrokken bij de bepaling van de filterstelling en de aanvulling van het boorgat.

Voordat de filters gesteld worden ziet de toezichthouder erop toe dat het juiste materiaal gebruikt wordt. Van belang daarbij is dat het pompfilter de juiste perforatie heeft. Bij het aanvullen van het boorgat wordt vooral gelet op het gebruik van het juiste materiaal (diameter filtergrind en aanvulgrind, kleikorrels) en dat op de juiste diepten kleilagen aangebracht worden. Een enkel waterbedrijf laat de toezichthouder continu toezicht houden bij het stellen van de filters en het aanvullen van het boorgat.

Na inrichting van de pompput worden verschillende proeven uitgevoerd. Daarbij zijn de toezichthouders van de waterbedrijven aanwezig. Vrijwel geen enkel bedrijf houdt continu toezicht tijdens het uitvoeren van de proeven.

zandvrij

Het aantal en het type proeven variëren per pompput. De pompput wordt altijd schoongepompt. De manier waarop dit gebeurt, verdient extra aandacht; bij de meeste waterbedrijven is de toezichthouder dan ook bij het schoonpompen aanwezig. Daarbij wordt er op gelet dat de pompput vrijwel zandvrij is. Omdat bij schoonpompen veel water vrijkomt, verdient de lozing van het water extra aandacht.

Capaciteitsproef en (of) flow-meting worden niet altijd uitgevoerd. Als ze uitgevoerd worden zijn de waterbedrijven vooral geïnteresseerd in de eerste resultaten van de proefnemingen, die later tijdens bedrijf worden vergeleken met de pompcapaciteit van dat moment. De waterbedrijven letten bij het uitvoeren van capaciteitsproef en flow-meting vooral op de werkwijze die wordt toegepast.

overleg met de boorondernemer

Gedurende de boring en de inrichting tot pompput is er overleg tussen de boormeester van het boorbedrijf en de toezichthouder van het waterbedrijf. De moeilijkheidsgraad en de omvang van het werk bepalen de aard van het overleg, de omvang van het overleg en wie er allemaal bij betrokken worden. Bij het boren van een enkele pompput is het overleg minder uitgebreid. Gaat het om de aanleg van een heel puttenveld dan vindt regelmatig, bijvoorbeeld wekelijks, overleg plaats tussen de boormeester en de toezichthouder. Zowel bij de start van de boring als bij de oplevering van de pompput is er overleg met de projectleider van het boorbedrijf en de projectleider van het waterbedrijf.

12.1.2 Toezicht bij de aanleg van kabels en terreinleidingen

Het toezicht bij de aanleg van de kabels en terreinleidingen op de winplaats vindt gedurende het hele werk plaats. Ook hier zijn de momenten waarop toezicht wordt uitgeoefend afhankelijk van de fase waarin het werk verkeert. Bij de start wordt met name gelet op het materieel en het materiaal. Ten aanzien van het materieel richt het toezicht zich op het voorkomen van bodem- en grondwaterverontreiniging. Maar ook de

	opslag van het materiaal vormt een belangrijk punt van aandacht. Het is van groot belang om het toe te passen
controle vooraf	materiaal vooraf te controleren, want dan kunnen we voorkomen dat later bepaalde materialen uit de grond moeten worden gehaald. Tijdens het werk houden de toezichthouders van de waterbedrijven de voortgang van het werk in de gaten. Ze letten erop dat het materiaal dat gebruikt wordt niet beschadigd is (leidingen, kabels, afsluiters, flenzen enzovoort), dat afsluiters en flenzen op de juiste plaats worden gemonteerd en dat de kabels en leidingen voldoende diep beneden het maaiveld worden gelegd.
hygiëne	Punt van aandacht is ook om schade aan het terrein zoveel mogelijk te beperken, door bijvoorbeeld zo min mogelijk te vergraven. Verder wordt er gelet op de hygiëne. Als er netjes en hygiënisch wordt gewerkt hebben we later minder tijd nodig om de leidingen in bacteriologisch opzicht schoon te krijgen.

12.2 Oplevering

controle eisen	Bij de oplevering controleren de waterbedrijven of het werk conform de afspraken is uitgevoerd (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.9). Over het algemeen houdt dit in dat de eisen die in het bestek zijn vastgelegd op één of andere wijze gecontroleerd worden. Tabel 12-2 geeft een overzicht van het belang dat de waterbedrijven aan de opleveringseisen stellen. Duidelijk is dat de waterbedrijven de fase van de oplevering belangrijk vinden. Van zeer groot belang zijn de filterstelling en de aanvulling van het boorgat, evenals een pompput die zandvrij en bacteriologisch betrouwbaar water levert. Ten aanzien van de oplevering van de kabels en de terreinleidingen is het belangrijk dat het juiste materiaal is gebruikt en dat de flenzen op de juiste plaats gemonteerd zijn.
----------------	--

Tabel 12-2 Belang dat de waterbedrijven aan de opleveringseisen stellen.

Onderdeel	Belang
<i>Oplevering pompput</i>	
Diameter en diepte boorgat	groot
Aanvulling boorgat	zeer groot
Filterstelling	zeer groot
Afwerking pompput (putkelder, putconstructie)	groot
Zandvrije waterlevering	zeer groot
Bacteriologisch schone waterlevering (betrouwbaar water)	zeer groot
Kwaliteit van het onttrokken water (ten aanzien van andere parameters)	groot
Putcapaciteit	groot
Controle putcapaciteit	groot
<i>Oplevering terreinleidingen en kabels</i>	
Ligging (in het terrein, diepte, afschot)	groot
Materiaal terreinleiding	groot
Afsluiters	groot
Flenzen	matig
Waterdichtheid	groot
Schakelaars	groot

Hieronder gaan we nader in op:

- opleveringseisen pompput
- opleveringseisen kabels en leidingen.

12.2.1 Opleveringseisen pompput

bestek	De meeste eisen die gesteld worden bij de oplevering van de pompput zijn vastgelegd in een bestek. Hierin zijn de bedrijfseigen eisen opgenomen en wordt verwezen naar algemene normen die gesteld worden. Ter controle wordt ook gebruik gemaakt van de
--------	--

boorgat-diameter	diensten van NITG-TNO. Controle van de boorgatdiameter behoort tot het standaard meetpakket van de geofysische boorgatmeting, zoals die door NITG-TNO wordt uitgevoerd. Binnen dit standaardpakket wordt ook de diepte van het boorgat bepaald.
aanvulling boorgat	Als de toezichthouder van het waterbedrijf twijfelt of de aanvulling van het boorgat juist is uitgevoerd kan NITG-TNO een verbuisde boorgatmeting uitvoeren. Een andere mogelijkheid om de aanvulling na het aanvullen van het boorgat te controleren is er niet. Controle van de plaatsing van de pompfilters gebeurt op basis van de inbouwstaat van de boorondernemer. De afwerking van de pompput moet voldoen aan de eisen die in het bestek zijn gesteld. Dit wordt gecontroleerd door middel van een visuele controle bij de oplevering. De levering van bacteriologisch betrouwbaar water en de putcapaciteit worden door de bedrijven niet als harde eis aan de boorondernemer opgelegd. Deze zijn afhankelijk van aspecten die buiten de invloed van de boorondernemer vallen.
putcapaciteit	De putcapaciteit wordt bepaald door verschillende proeven, zoals de flow-meting, de capaciteitsproef (vaak met verschillende pompcapaciteiten die de productiecapaciteit overschrijden) en de bepaling van het specifieke debiet (ook hier bij verschillende pompcapaciteiten). Vaak wordt ook de maximaal leverbare putcapaciteit bepaald. Dat gebeurt bij een capaciteit van 2 à 3 keer de ontwerpputcapaciteit.
zandvrij	De waterbedrijven vinden het belangrijk dat de pompput (vrijwel) zandvrij wordt opgeleverd. Daarbij hanteren de waterbedrijven verschillende pompcapaciteiten, maar ook verschillende tijdsduren (van 15 minuten tot 8 uur) waarbij de pompput bij normaal bedrijf geen tot zeer weinig zand mag leveren. Een veel gebruikte kwaliteitseis is: - bij ontwerpdebiet is het vaste stofgehalte lager dan 0,01 mg/l (bij verpompen van 10 m³ water door gaasnet van 50 µm). - bij ontwerpdebiet is een filter van 0,45 µm niet vervuild (na doorpersen van 0,5 liter water door 0,45 µm filter met filterspuit) Aan de waterkwaliteit van het onttrokken grondwater worden nauwelijks eisen opgelegd. Wel wordt de waterkwaliteit (zowel bacteriologisch als chemisch) bepaald, maar dit heeft een ander doel (onder andere met het oog op de zuivering).

12.2.2 Opleveringseisen kabels en leidingen

steekproef	De opleveringseisen die aan leidingen worden gesteld zijn in het bestek opgenomen. De ligging van de leidingen op de juiste diepte en de montage van de juiste afsluiters op de juiste plaats zijn daarbij van belang. Dit wordt in het veld steekproefsgewijs gecontroleerd. Veel eisen worden tijdens het werk al gecontroleerd. In de meeste gevallen worden de leidingen onder druk afgeperst, zodat direct duidelijk is of de verbindingen correct zijn aangebracht. Bij de oplevering van terreinleidingen wordt de eis gesteld dat het water bacteriologisch betrouwbaar is. Dit wordt door middel van een monsternamen vastgesteld.
NEN-normen	Kabels worden bij oplevering gecontroleerd op de juiste ligging en voldoende gronddek. De verbindingen worden niet apart gecontroleerd. Wel wordt de algehele werking van de kabel gecontroleerd. Tijdens het werk wordt gelet op het leggen van de juiste kabels. In een enkel geval levert het waterbedrijf zelf de kabel, zodat controle hierop door de uitvoerende partij niet nodig is. Slechts één bedrijf geeft aan de normen NEN 1010 en NEN 3140 als opleveringseis te stellen en ook conform deze normen de controles uit te voeren (zie ook Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.5.3).

12.3 Normen bij toezicht en oplevering

Slechts voor de aanleg van de kabels maken we gebruik van normen (NEN-normen). Voor de aanleg van de terreinleidingen en bij het toezicht daarop zijn er nauwelijks algemene richtlijnen opgesteld die als handvat kunnen dienen voor de toezichthouders. Dit leidt in de praktijk tot een grote variatie in opleveringseisen en in uiteenlopende momenten waarop toezicht wordt uitgeoefend. De toezichthouder van het waterbedrijf

bepaalt, op basis van kennis, ervaring en in overleg met onder meer de boorondernemer of aannemer, wat belangrijk is en hoe daarop controle kan worden uitgeoefend. Dit geeft een gevoel dat van willekeur sprake is, waarbij de overtuiging van de boorondernemer of aannemer een rol speelt. Dit kan tot problemen leiden als beide partijen vooraf geen duidelijke afspraken over de opleveringseisen hebben gemaakt.

overleg

Wat moeten we bijvoorbeeld doen als het maken van een pompput meer tijd vergt dan vooraf is ingeschat of als de putcapaciteit bij lange na niet aan de ontwerpcapaciteit voldoet? Wie is verantwoordelijk voor de extra kosten die gemaakt moeten worden? Meestal wordt in dit soort situaties in onderling overleg gezocht naar een oplossing die voor beide partijen bevredigend is. Niet altijd is de boorondernemer verantwoordelijk voor bijvoorbeeld een te kleine putcapaciteit. Als we in een geologisch complex gebied zitten waarin de variatie over korte afstand groot is, hebben we te maken met onzekerheid. In dit geval moet de boorondernemer zich op de hoogte stellen van de situatie, zodat hij voorbereid is en in overleg met het waterbedrijf kan zoeken naar een goede oplossing.

Normen voor toezicht en oplevering zijn er nauwelijks. Wellicht kunnen de waterbedrijven samen met de boorondernemers daar meer duidelijkheid over krijgen, zodat uniforme richtlijnen en opleveringseisen ontstaan waar beide partijen profijt van kunnen hebben bij het maken van een goed stuk werk.

13 Vastleggen meetgegevens

Tijdens de uitvoering en de oplevering van de pompput of het puttenveld komen veel meetgegevens beschikbaar. Niet alle gegevens zijn even belangrijk. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen hebben we, evenals voor Hoofdstuk 12, een schriftelijke enquête onder de waterbedrijven gehouden. We weten nu (beter) welk belang de waterbedrijven hechten aan de meetgegevens die bij de aanleg worden verzameld (zie voor een overzicht van de resultaten Tabel 13-1); doel was om met name te weten te komen welke meetgegevens belangrijk worden gevonden en waarom en hoe deze gegevens worden opgeslagen.

Tabel 13-1 Overzicht van het belang dat waterbedrijven hechten aan het vastleggen van meetgegevens.

Onderdeel	Belang
<i>Uitvoering van de boring</i>	
Verleende vergunningen	groot
Voortgang uitvoering van het werk in rapporten vastleggen	matig
Boormethode/gebruikte boorspoeling	groot
Aanvulling boorgat	zeer groot
Ontwikkelen pompput	zeer groot
Afwerking pompput	zeer groot
<i>Inrichting van de pompput</i>	
Boorbeschrijving	zeer groot
Filterstelling	zeer groot
Geofysische boorgatmetingen	groot
Capaciteitsproef	zeer groot
Flow-meting	groot
Overige gegevens	uiteenlopend
<i>Waterkwaliteit</i>	
Macroparameters	groot
Microparameters	groot
Bacteriologische gegevens	zeer groot
<i>Gegevens terreinleidingen en kabels</i>	
Ligging	matig
Materiaal	groot
Afsluiters	groot
Flenzen	matig
Schakelaars kabels	zeer groot
Testgegevens (kabels, afpersing terreinleiding)	groot

De resultaten van de enquête bespreken we in de volgende paragrafen:

- uitvoering van de boring
- inrichting van de pompput
- waterkwaliteit
- terreinleidingen en kabels
- verbeteringen in het vastleggen van meetgegevens.

samenvatting

Een groot deel van de meetgegevens slaan de geënquêteerde waterbedrijven zowel op papier als digitaal in verschillende programma's (spreadsheets, tekstverwerkers, databases) op. Gezien het grote aantal verschillende opslagprogramma's, de opslag op

verschillende plaatsen en het gebruik van de gegevens voor verschillende doeleinden mag betwijfeld worden of de bedrijven efficiënt met de gegevens omgaan. Door ervaring uit te wisselen zou er meer uniformiteit kunnen komen in de vast te leggen gegevens en de wijze van opslag en beschikbaarheid.

13.1 Uitvoering van de boring

Bij de boring van de pompput komen gegevens beschikbaar over met name de boormethode, de uitvoering van de boring, de gebruikte materialen en de voortgang van het werk. Deze gegevens komen ook beschikbaar bij boringen voor waarnemingsputten, al dan niet met een zoutwachterkabel. Over het algemeen worden dezelfde gegevens vastgelegd en hechten de geëncquêteerde waterbedrijven even veel belang aan een correcte opslag. We beperken ons hier tot de pompput, het onderwerp van dit kennisdocument.

belangrijke gegevens

De waterbedrijven hechten veel belang aan het vastleggen van gegevens over de boormethode, het afwerken tot pompput, het aanvullen van het boorgat en het ontwikkelen van de pompput. Gegevens die alle bedrijven later raadplegen, bijvoorbeeld ten behoeve van het regenereren, zijn:

- gegevens over de boormethode en de gebruikte boorspoeling (hierdoor is bij verstopping de oorzaak te herleiden)
- gegevens over de aanvulling van het boorgat
- inrichting van de pompput
- de methode van putontwikkeling.

De waterbedrijven slaan de verleende vergunningen tijdelijk op voor onder andere naslag van opgelegde voorwaarden. De waterbedrijven vinden het niet zo belangrijk om rapporten te maken over de voortgang van de uitvoering van het werk. Hoofddoel van deze gegevens is om de historie van de aanleg van de pompput vast te leggen.

toezichthouder De toezichthouder van het waterbedrijf gebruikt de gegevens bij de voorbereidingen voor de aanleg van een andere pompput (zoals voor kostenberekeningen en de putconstructie).

vastleggen van gegevens

De gegevens over de uitvoering van de boring worden op verschillende manieren opgeslagen.

Dagrapporten van de aannemer worden veelal op papier in dossiers opgeslagen, evenals gegevens over het gebruik van de boorspoeling en de vergunningen. De toezichthouder van het waterbedrijf noteert vaak alleen gegevens in zijn rapport als bepaalde fasen in de uitvoering van de aanleg worden bereikt, zoals einddiepte, boorgatmeting en aanvulling. Hij slaat ze óf op papier óf digitaal (met tekstverwerker) op.

Dawaco Gegevens over de boormethode slaan de bedrijven in de meeste gevallen op papier (in dossiers) of digitaal (spreadsheets en tekstverwerkers) op. Gegevens over de boormethode worden ook in de geohydrologische databank Dawaco verwerkt. Indien de boorbeschrijving wordt aangeleverd aan NITG-TNO wordt de boring ook opgenomen in DINO (Databank voor Informatie over de Nederlandse Ondergrond).

De gegevens over de toegepaste ontwikkelmethode en de gegevens over de afwerking van de put worden door de meeste waterbedrijven op verschillende manieren opgeslagen, zowel op papier als digitaal in verschillende programma's (spreadsheets, tekstverwerkers en Dawaco).

Er worden geen eisen gesteld aan de manier waarop de meetgegevens over de uitvoering van de boring worden opgeslagen.

13.2 Inrichting van de pompput

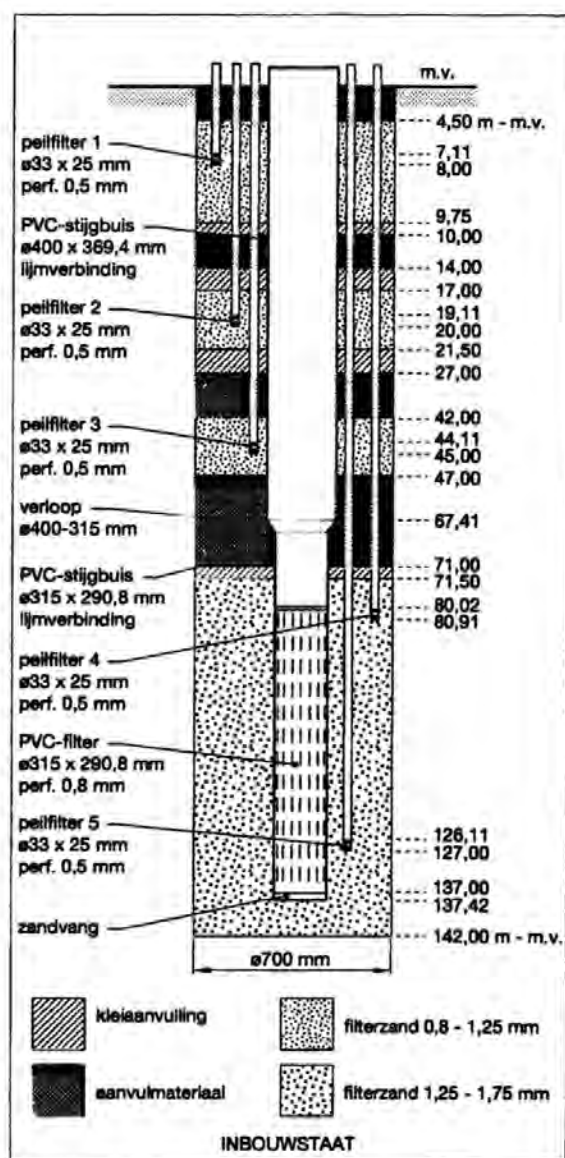
Als we het boorgat tot pompput afwerken, komen er gegevens beschikbaar over zowel de inbouw (zoals filterstelling) en aanvulling als de proeven die we met de pompput doen.

belangrijke gegevens

Het voornaamste doel van het opslaan van gegevens over de pompput is om ze op een later tijdstip te raadplegen ten behoeve van onderzoek en bedrijfsvoering; het gaat hier immers om de basisgegevens van de pompput.

Gegevens die altijd opgeslagen worden zijn de boorbeschrijving, gegevens van de filterstelling en plaatsing van de stijgbuis, soort en diepte aanvulmateriaal (zie Figuur 13-1), gegevens van het schoonpompen en gegevens van de capaciteitsproef. Niet alle bedrijven laten standaard een geofysische boorgatmeting, flow-meting en/of hoogtemeting uitvoeren.

De overige gegevens die vastgelegd worden zijn gegevens van de pomp, persbuis, constructie van de putkelder, watermeter en elektrische aansluitingen.



Figuur 13-1 Inbouwstaat. (SBW, 1995)

capaciteitsproef De gegevens van de capaciteitsproef worden opgeslagen om ze later, bij een eventuele putverstopping, te raadplegen en te vergelijken met de gegevens van de capaciteitsproef die dan wordt genomen. Hierbij gaat het om het onttrokken debiet dat gerelateerd wordt aan de afpompingsput in de put, waarmee het specifieke debiet wordt berekend, en de intree weerstand. De intree weerstand bepalen we op grond van de afpompingsput in de put en de afpompingsput in het waarnemingsfilter in de omstorting. De gegevens van de putconstructie (zoals diameter en diepte van het pompput en de stijgbuis) worden ook opgeslagen voor het bepalen van putverstopping. De gegevens van de pomp en de elektrische aansluitingen worden tijdelijk opgeslagen, zodat de bedrijven bij oplevering controle kunnen uitoefenen op bijvoorbeeld de juiste pomp, draairichting enzovoort (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.9). De gegevens van de constructie van de putkelder worden opgeslagen, zodat de bedrijven bij een nieuwe put dezelfde kelderconstructie kunnen toepassen.

vastleggen van gegevens

De gegevens van de pompput worden op verschillende manieren opgeslagen. De meeste gegevens worden zowel op papier als digitaal in verschillende programma's (spreadsheets, tekstverwerker) opgeslagen. De meeste bedrijven nemen de kenmerken van de put op in Dawaco.

korrelgrootte De manier waarop de korrelgrootte van het formatiemateriaal wordt bepaald ten behoeve van de boorbeschrijving varieert sterk per bedrijf (nat, droog, met behulp van een loep). Boorbeschrijvingen moeten vaak voldoen aan de NEN 5104-norm en soms aan de Standaard Boorbeschrijving (SBB). De gegevens van de flowmetingen slaan de bedrijven vaak alleen op papier op.

boorgatmeting Geofysische boorgatmetingen worden hoofdzakelijk door NITG-TNO uitgevoerd waardoor de gegevens eenduidig worden vastgelegd. NITG-TNO kan een 'log' zowel op papier als digitaal opslaan. De waterbedrijven maken nauwelijks gebruik van de mogelijkheid om de resultaten van een geofysische boorgatmeting digitaal op te slaan.

hoogten Van veel punten wordt de hoogte ten opzichte van N.A.P. bepaald, zoals maaiveld, bovenkant van de pompput, putkelder, rand van het putdeksel en bovenkant van de waarnemingsfilters. Gegevens van de pomp en de haalbuis (persbuis) worden zowel op papier in dossiers als digitaal in spreadsheets of in Dawaco opgeslagen. Gegevens over de constructie van de putkelder, watermeter en elektrische aansluitingen worden veelal alleen op papier opgeslagen.

13.3 Waterkwaliteit

Om de kwaliteit van het opgepompte water te beoordelen worden er waterkwaliteitsmonsters van de pompput genomen. Die watermonsters worden, behalve tijdens de jaarlijkse monsternamen, ook met name genomen:

- bij de oplevering
- na het schoonpompen vóór ingebruikname bij de exploitatie
- na regeneratie
- na herstelwerkzaamheden.

In alle gevallen worden dezelfde parameters onderzocht als tijdens de jaarlijkse monsternamen.

belangrijke gegevens

De analyse van de watermonsters is vooral gericht op de bacteriologische betrouwbaarheid, de macroparameters en de microparameters. Veel belang wordt gehecht aan de bacteriologische betrouwbaarheid.

De meeste waterbedrijven voeren veldmetingen uit waarmee de waterkwaliteit bepaald wordt. Het doel van veldmetingen (zoals EGV, pH, temperatuur, zuurstof en redox) is om een eerste indicatie te krijgen van de samenstelling van het te lozen werkwater of om een eerste inzicht in de kwaliteit van het ruwwater te geven.

vastleggen van gegevens

De meeste waterbedrijven slaan de analyseresultaten van de watermonsters en de meetresultaten van de veldmetingen op verschillende manieren op. Ze slaan de analysegegevens van de watermonsters zowel op papier als digitaal op. De laboratoria slaan de gegevens digitaal in uiteenlopende programma's op (zoals in LIMS en KOW). Enkele toets- en gidsparameters worden eveneens in Dawaco opgenomen. Ook de resultaten van veldmetingen worden zowel op papier als digitaal in deze programma's opgeslagen.

Er worden geen specifieke eisen gesteld aan de opslag van de gegevens van de waterkwaliteit.

beoordeling waterkwaliteit na werkzaamheden

Na werkzaamheden aan pompputten moet eerst worden gecontroleerd of hierdoor geen verontreinigingen zijn ontstaan.

Onder werkzaamheden aan pompputten verstaan we:

- nieuwe putten boren
- onderhoudswerkzaamheden verrichten aan pompputten
- een onderwaterpomp vervangen
- een pompput na meer dan 3 maanden stilstand in gebruik nemen
- pompputten regenereren.

De te analyseren parameters van de watermonsters, die na de genoemde werkzaamheden zijn genomen verschillen per waterleidingbedrijf. In onderstaande tabel (Tabel 13-2) staan de parameters die na deze werkzaamheden in elk geval moeten worden beoordeeld.

Tabel 13-2 Schema van parameters die na werkzaamheden in elk geval moeten worden beoordeeld.

Werkzaamheden	Te beoordelen parameters
Oplevering pompput na nieuwe aanleg	Bacteriën van de coligroep Koloniegetal 22 °C E. coli Enterococcen Clostridia
Ingebruikname pompput na nieuwe aanleg	Organische, anorganische en bacteriologische parameters
Onderhoudswerkzaamheden aan pompput	Bacteriën van de coligroep Koloniegetal 22 °C E. coli Enterococcen
Ingebruikname pompput na meer dan 3 maanden stilstand	Bacteriën van de coligroep Koloniegetal 22 °C E. coli Enterococcen
Regeneratie zonder chemicaliën	Bacteriën van de coligroep Koloniegetal 22 °C E. coli Enterococcen
Regeneratie met waterstofperoxide of chloorbleekloog	Bacteriën van de coligroep Koloniegetal 22 °C E. coli Enterococcen

	Vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen (VGK's)
--	--

Als er bij regeneratie andere chemicaliën worden gebruikt dan waterstofperoxide of chloorbleekloog, dan moet er een aangepast schema voor het beoordelen van de parameters worden opgesteld. Er moet ook worden gecontroleerd of voldaan wordt aan de eisen die de wvo-vergunning of een andere lozingsvergunning stelt.

Wat betreft de beoordeling van de waterkwaliteit gelden na werkzaamheden aan ruwwaterleidingen dezelfde richtlijnen als na aanleg, reparatie of vervanging van drinkwaterleidingen.

13.4 Terreinleidingen en kabels

belangrijke gegevens

De waterbedrijven hechten veel waarde aan het vastleggen van gegevens over terreinleidingen op het gebied van de ligging, het materiaal, de afsluiters en de afpersingstesten. Van kabels leggen de bedrijven de gegevens vast over de ligging, het materiaal en de schakelaars. Testgegevens van bijvoorbeeld afpersing van leidingen en weerstandsmetingen van kabels worden opgeslagen ten behoeve van de exploitatie en als naslagwerk.

vastleggen van gegevens

Gegevens over de ligging van het terreinleidingnet en de kabels, het materiaal, de afsluiters, de flenzen en het gebruikte materiaal worden veelal vastgelegd op papier en in leidinginformatiesystemen. Gegevens over het afpersen worden op papier opgeslagen.

13.5 Verbeteringen in het vastleggen van meetgegevens

Bij de uitvoering en de oplevering van de put of het puttenveld slaan de waterbedrijven een veelheid aan informatie op. Er bestaan geen uniforme programma's voor het vastleggen van de meetgegevens. Ook worden op verschillende plaatsen en voor verschillende doeleinden dezelfde gegevens (of een selectie hiervan) opgeslagen. Bij het raadplegen van informatie mag men zich met recht afvragen of wel de meest recente gegevens verwerkt zijn. Dit geldt zowel voor een papieren archief als voor een digitaal archief. De toegepaste programma's, waarmee gegevens worden opgeslagen, zijn gemaakt voor een specifieke doelgroep (hydrologen, bedrijfsvoerders/machinisten, chemici enz.), terwijl veel verschillende personen werken met de gegevens van de put (kwaliteitsgegevens, gegevens van de pompfilters, specifieke volumestroom enz.). Het is van belang dat een waterleidingbedrijf de basisinformatie over zijn putten op een éénduidige manier opslaat. Van oude putten is soms niet alles bekend, maar van nieuwe putten moeten in ieder geval de volgende gegevens worden opgeslagen:

- naam (TNO code + indien van toepassing interne naam/code)
- coördinaten
- beschrijving van de put (materiaal, diameter, dieptes stijgbuis en filter en waarnemingsfilter(s))
- boorbeschrijving
- inbouwstaat
- aanvulstaat
- beschrijving ontwikkelen (wanneer, hoe, resultaten)
- specifiek debiet metingen (bij oplevering en later)
- beschrijving regeneraties (wanneer, hoe, resultaten)



Stand van Zaken Deel III: Exploitatie

In deel III is beschreven hoe in de Nederlandse waterleidingsector omgaat met de exploitatie van pompputten.

De werkgroep 'Uitvoering van de boring en afwerking van de put' heeft in 1999 de basis gelegd voor dit deel. In 2000 is dit deel, samen met medewerkers van waterbedrijven, nader uitgewerkt. In 2010 is een update van dit deel gemaakt.

Vooraf op het gebied van het voorkomen en verwijderen van mechanische putverstopping is in de afgelopen 10 jaar veel extra kennis beschikbaar gekomen, die nu ook in het Kennisdocument verwerkt is.

Inhoud

Stand van Zaken Deel III: Exploitatie	1
Inhoud	2
14 Dagelijkse Bedrijfsvoering	14-1
14.1 Pompputten	14-1
14.1.1 Bewaking kwantiteit	14-2
14.1.2 Bewaking kwaliteit	14-3
14.1.3 Schakelschema's	14-3
14.2 Leidingen	14-6
14.3 Energiebeheer	14-6
15 Putverstopping en putregeneratie	15-1
15.1 Herkennen van putverstopping	15-2
15.2 Vaststellen van putverstopping	15-4
15.2.1 Uitvoering van de metingen	15-5
15.2.2 Verwerking van de meetgegevens	15-9
15.2.3 Signaleringswaarde	15-9
15.2.4 Meetfrequentie	15-10
15.3 Vormen van putverstopping	15-11
15.3.1 Chemische putverstopping	15-12
15.3.2 Deeltjesverstopping	15-15
15.3.3 Uitzonderingen en lokale omstandigheden	15-17
15.4 Overwegingen om verstopte pompputten te regenereren	15-18
15.5 Regeneratiemethoden	15-19
15.5.1 Overzicht van regeneratiemethoden	15-19
15.5.2 Regeneratiemiddelen	15-20
15.5.3 Keuze van een regeneratiemethode	15-21
15.6 Uitvoering van de regeneratie	15-21
15.6.1 Regeneratie chemisch verstopte putten	15-22
15.6.2 Regeneratie putten deeltjesverstopping	15-25
15.6.3 Overige regeneratiemethoden	15-27
15.6.4 Metingen en waarnemingen	15-30
15.6.5 Monitoring	15-31
15.7 Effect van de regeneratie	15-31
15.8 Veiligheid en milieu	15-32
15.8.1 Veilig werken	15-32
15.8.2 Milieu ontzien	15-32
15.9 Preventie van putverstopping	15-33
16 Procesbewaking	16-1
16.1 Volumestroommetingen	16-1
16.1.1 Doel van de volumestroommetingen	16-1
16.1.2 Meetinstrumenten	16-2

16.1.3	Verwerking meetgegevens	16-3
16.2	Stijghoogtemetingen	16-3
16.2.1	Doel van de metingen	16-3
16.2.2	Meetinstrumenten	16-4
16.2.3	Verwerking meetgegevens	16-5
16.3	Waterkwaliteit	16-6
16.3.1	Overzicht kwaliteitsmetingen	16-6
16.3.2	Gemengd ruwwater	16-6
16.3.3	Individuele pompputten	16-7
16.3.4	Waarnemingsfilters en zoutwachters	16-7
17	Bijsturing en correctie	17-1
17.1	Bijsturen bedrijfsvoering pompputten en puttenveld	17-1
17.1.1	Criteria	17-2
17.1.2	Werkwijze (putschakelschema)	17-4
17.1.3	Evaluatie en administratie	17-4
17.2	Onderhoud pompen	17-5
17.2.1	Criteria	17-5
17.2.2	Werkwijze	17-6
17.2.3	Evaluatie en administratie	17-6
17.3	Reconstructie van pompputten	17-7
17.3.1	Oorzaak en herkenning	17-7
17.3.2	Oplossingen	17-8
17.3.3	Kosten/baten-analyse	17-9
17.4	Regeneratie van terreinleidingen	17-9
17.4.1	Oplossingen en werkwijze	17-9
17.4.2	Analysefase	17-10
17.4.3	Vorbereidingsfase	17-10
17.4.4	Uitvoering	17-11
17.4.5	Evaluatie	17-11

14 Dagelijkse Bedrijfsvoering

De dagelijkse bedrijfsvoering op een pompstation (inclusief puttenveld) omvat alle werkzaamheden die nodig zijn voor de productie en het transport van drinkwater, zoals ten aanzien van pompputten, terreinleidingen, zuivering, metingen enz. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de dagelijkse bedrijfsvoering van de pompputten en het leidingnet van pompput tot zuiveringsinstallatie.

Dagelijks wordt aandacht besteed aan bewaking van het puttenveld. Het puttenveld vormt immers het hart van de watervoorziening. Bij de dagelijkse bedrijfsvoering onderscheiden we pompputten, waterlevering, leidingen en energiebeheer.

In dit hoofdstuk behandelen we achtereenvolgens:

- pompputten
- leidingen
- energiebeheer
- punten ter verbetering.

de taak van de bedrijfsvoerder

Werd vroeger de pomp op een pompstation nog door een machinist aan- en uitgezet, tegenwoordig kenmerkt de bedrijfsvoering zich door een grote mate van automatisering. Nu wordt het productieproces bestuurd en geregeld door een geautomatiseerd besturingssysteem, waarin vooraf instellingen en processen zijn geprogrammeerd. De taak van de bedrijfsvoerder (vroeger machinist genoemd, nu ook wel aangeduid als operator) richt zich hierdoor meer op signaleren en corrigeren, daarbij geholpen door het besturingssysteem. De kennis van het proces van drinkwatervoorziening is hierbij essentieel. De bedrijfsvoerder is een generalist geworden die weet welke actie ondernomen moet worden als er problemen optreden in of aan de pomp, de pompput, het leidingnet, de zuivering, de levering of de besturing. Kleine problemen worden over het algemeen door de bedrijfsvoerder of medewerker zelf opgelost, zodat een continue drinkwaterlevering is gewaarborgd.

De ongestoorde levering van water is bij de dagelijkse bedrijfsvoering binnen de waterbedrijven het allerbelangrijkst. Dat dit water een goede kwaliteit moet bezitten (met zo min mogelijk normoverschrijdingen) hangt hiermee samen. Milieubewust en kostenefficiënt werken is meer en meer een aspect waarop gestuurd wordt.

samenvatting

De kwantiteit van de productie wordt bewaakt door het uitvoeren van afpompsmetingen en de kwaliteit van het onttrokken water door analyse van wettelijk vastgelegde chemische parameters. Tegenwoordig wordt steeds vaker op vraagvoorspelling gestuurd, waardoor de mogelijkheid ontstaat voor sturing op basis van waterkwaliteit en energiebeheer. Energiebesparing is mogelijk door efficiënte onderwaterpompen toe te passen, de piekproductie te beperken en de afstand tussen pompput en zuiveringsinstallatie zo klein mogelijk te houden. Energiebeheer leidt tot minder energiegebruik, wat besparing van kosten oplevert en de belasting van het milieu vermindert.

14.1 Pompputten

De pompput is één van de belangrijkste schakels binnen de drinkwatervoorziening: levert de pompput geen of onvoldoende water dan kan niet in de vraag naar drinkwater worden voorzien. De bedrijfsvoerder is verantwoordelijk voor de levering van voldoende water van de gewenste kwaliteit.

In deze paragraaf bespreken we:

- bewaking kwantiteit
- bewaking kwaliteit
- schakelschema's.

14.1.1 Bewaking kwantiteit

Bij bewaking van de kwantiteit moeten we vooral denken aan het uitvoeren van putverstoppingsmetingen. We gaan eerst in op de uitvoering van deze metingen en daarna bespreken we enkele knelpunten bij de uitvoering ervan.

uitvoering putverstoppingsmetingen

Onderdeel van de bedrijfsvoering is het uitvoeren van metingen om na te gaan of putverstopping optreedt. De frequentie waarmee deze putverstoppingsmetingen uitgevoerd worden varieert van 1 keer per jaar tot continue metingen. Als uit ervaring blijkt dat er geen verstopping optreedt, wordt aanbevolen om toch jaarlijks een meting uit te voeren. De metingen worden meestal door de bedrijfsvoerder verricht. De resultaten van putverstoppingsmetingen worden door putdeskundigen verwerkt en geanalyseerd. Op basis van de analyses wordt advies uitgebracht over het al dan niet regenereren en de uit te voeren regeneratiemethode als regeneratie wordt aanbevolen.

meetijd Het uitvoeren van putverstoppingsmetingen vergt soms meer tijd en soms minder tijd. Dit is afhankelijk van de omvang van de meting (wat er moet worden gemeten, of de metingen gecombineerd kunnen worden met andere uit te voeren controles) en de voorgeschreven wachttijden (zie Hoofdstuk 15, Paragraaf 15.2.1). Bij de benodigde meetijd speelt ook het bepalen van het debiet tijdens de meting een rol. Niet alle pompputten zijn voorzien van een debietmeter. Om toch het debiet te bepalen kan een tijdelijke watermeter worden gebruikt.

Na de regeneratie worden verschillende metingen uitgevoerd ter controle; stijghoogtemeting in pompput en waarnemingsfilter (in omstorting), eventueel flowmeting, camera-inspectie en analyse van de waterkwaliteit (vooral bepalen of de pompput bacteriologisch schoon is). Uiteindelijk beslist de bedrijfsvoerder of een pompput weer ingezet wordt ten behoeve van het productieproces.

De putverstoppingsmetingen worden veelal handmatig uitgevoerd. Naast de stijghoogte in de pompput en (indien mogelijk) in het waarnemingsfilter in de omstorting worden vaak ook het specifieke debiet, de waterdruk in de ruwwaterleiding en de werking van de pomp gecontroleerd.

Specifieke Bepaal minimaal één keer per jaar voor alle pompputten de specifieke volumestroom (Q_s). De specifieke volumestroom van een pompput is het debiet (Q) gedeeld door de afpompings (m). Voer de meting steeds op dezelfde manier uit en altijd onder dezelfde omstandigheden. Meet bij het bepalen van het specifieke debiet als het enigszins kan het actuele werkelijk onttrokken debiet en ga niet uit van (in)schattingen op basis van metingen uit het verleden. Schattingen en aannames blijken erg onnauwkeurig en kunnen tot gevolg hebben dat verkeerde keuzes worden gemaakt. Als gevolg van slijtage van de waaiers van de pomp, grotere tegendruk in de terreinleiding, grotere opvoerhoogte in de put (als gevolg van een lagere stijghoogte), versmering van leidingen en verstopping van de put kunnen eerder gemeten debieten afwijken van de actuele werkelijk gemeten debieten.

knelpunten

detectie Het uitvoeren van een putverstoppingsmeting kan, vooral bij oudere pompputten, problemen opleveren. Pompputten zijn niet altijd ingericht om putverstopping te detecteren. Het komt nog regelmatig voor dat bij de aanleg van een pompput geen waarnemingsfilter in de omstorting van de pompput wordt geplaatst of dat de diameter van deze waarnemingsfilter zo klein is dat de stijghoogte niet bepaald kan worden.

Het bepalen van de putcapaciteit aan de hand van oplopend energiegebruik bij een constant veronderstelde pompcapaciteit wordt soms gezien als een alternatieve 'putverstoppingsmeting'.

watermeter	Het meten van het debiet tijdens een putverstoppingsmeting is niet altijd mogelijk, omdat niet elke pompput een watermeter heeft. Als bij een pompput zonder vaste meter ook geen tijdelijke debietmeter wordt toegepast, kan als alternatief op basis van tijdsduur en pompcapaciteit een schatting worden gemaakt van het debiet. Dit brengt een grote mate van onnauwkeurigheid met zich mee, doordat de werkelijke pompcapaciteit meestal niet precies overeenkomt met de theoretische pompcapaciteit. Daarom verdient het gebruik van een tijdelijke debietmeter de voorkeur, ook al gaat de uitvoering dan meer tijd kosten. Daarnaast kan gebruik worden gemaakt van een debietmeter die het gezamenlijke debiet van een aantal pompputten meet.
toerengeregelde pomp	Pompputten kunnen een toerengeregelde pomp hebben. Putverstoppingsmetingen voeren we steeds op dezelfde manier uit. Dus moeten we ook steeds bij dezelfde volumestroom meten (zie ook Hoofdstuk 15, Paragraaf 15.2.1). Een toerengeregelde pomp moet dan handmatig ingesteld worden op een vooraf vastgesteld debiet. Het meest eenvoudig is om uit te gaan van het maximale debiet.
gevoelige pompputten	Sommige pompputten zijn gevoeliger voor putverstopping dan andere. Gevoelige pompputten vragen veel aandacht, ook om te voorkomen dat de pompen gaan 'luchthappen'. Doordat ze vaker met problemen kampen, vormen ze een onzekere factor voor de productiecapaciteit; bij problemen of tijdens regeneratie zijn ze niet inzetbaar. Soms hangen de problemen samen met een onjuist ontwerp. Vervanging van de verkeerd ontworpen pompput, neemt die problemen weg.

14.1.2 Bewaking kwaliteit

In 2009 is een nieuwe Drinkwaterwet aangenomen. De Drinkwaterwet vervangt het Waterleidingbesluit uit 1984. Op www.wetten.nl staat de nieuwe wettekst, en daar wordt aangegeven wanneer de nieuwe wet in werking treedt. Volgens artikel 22 moet het ruwe water regelmatig onderzocht worden. In een algemene maatregel van bestuur wordt vastgelegd welke analyses en met welke frequentie nodig zijn. Waarschijnlijk zullen de analyses en meetfrequentie afhankelijk zijn van het type winning. Tijdens het schrijven van dit kennisdocument was het drinkwaterbesluit nog niet in werking getreden en was de tekst van de algemene maatregel van bestuur ook nog niet bekend. Als monsters genomen worden van het gezamenlijke ruwwater, zorg er dan voor dat bekend is welke putten er in bedrijf zijn.

meetfrequentie	De waterkwaliteit van de individuele pompputten wordt periodiek bepaald. De frequentie is bedrijfs- en situatieafhankelijk. De resultaten van de wateranalyse worden gebruikt om: • het schakelschema van de puttengroepen vast te stellen (zie Paragraaf 14.1.3) • de kwaliteit van het ruwwater te volgen en te bewaken. • de ontwikkeling van de waterkwaliteit op de langere termijn te onderzoeken. Pompputten waarvan de waterkwaliteit beïnvloed wordt door verontreinigingen worden vaker bemonsterd. De frequentie is afhankelijk van aard en omvang van de verontreiniging en het risico voor de volksgezondheid.
----------------	--

14.1.3 Schakelschema's

Bij het in- en uitschakelen van winputten ten behoeve van de drinkwatervoorziening houden we rekening met zowel de kwantiteit als de kwaliteit.

Het leveren van voldoende drinkwater om aan de vraag te voldoen heeft in de praktijk de hoogste prioriteit. In het algemeen voldoen we hieraan door meer of minder water uit

'kelderniveau' de reinwaterkelder te betrekken. Als er een bepaald aantal pompputten is ingeschakeld, is de instroming in de reinwaterkelder constant. Een wisselende vraag leidt dan tot een fluctuerend waterniveau in de kelder. Als het waterniveau in de kelder tot onder een bepaalde waarde daalt, worden er naar behoefte één of meer pompputten bijgeschakeld. Wordt het gewenste niveau bereikt, dan worden er weer pompputten afgeschakeld. Er wordt dus gestuurd op het waterniveau in de reinwaterkelder.

vraagvoorspelling Een nieuwe manier van sturen is sturen op basis van vraagvoorspelling. Op grond van het verloop van de gemeten drinkwaterafname in het (recente) verleden voeren we een vraagvoorspelling uit. Op basis van deze voorspelling wordt het minimaal gewenste peil in de reinwaterkelder vastgesteld. Deze wijze van bedrijfsvoering biedt meer ruimte om sturing op basis van kwaliteit en energieverbruik te optimaliseren.

putcombinaties De zuivering van het ruwwater verloopt het beste bij een constante belasting. Dit betekent dat het wenselijk is zowel de volumestroom ruwwater als de kwaliteit van het ruwwater constant te houden. In sommige gevallen verschilt de kwaliteit van het opgepompte water per pompput nauwelijks. Bij het schakelen van de pompputten en het opstellen van de schakelschema's hoeft dan geen rekening te worden gehouden met de waterkwaliteit. In andere gevallen varieert de kwaliteit wel, doordat bijvoorbeeld water uit verschillende pakketten wordt gewonnen. In deze gevallen kan een constante kwaliteit worden bereiken door bepaalde combinaties van pompputten in te zetten. Die combinaties worden op basis van waterkwaliteitsberekeningen bepaald. Uitgangspunt bij deze berekeningen is dat elke pompput een constant debiet levert en een constante watersamenstelling heeft. Omdat in de praktijk het debiet en de watersamenstelling in de loop van de tijd zullen veranderen, herhalen we de berekeningen periodiek of bij (een vermoeden van) verandering van debiet en/of waterkwaliteit. In Tabel 14-1 en Tabel 14-2 is een voorbeeld gegeven van een groepsindeling op basis van waterkwaliteitsberekeningen voor pompstation Noordbergum.

Tabel 14-1 Groepsindeling pompstation Noordbergum bepaald op basis van waterkwaliteit.

Groep	NH ₄	Ca	Mg	Hardheid	Cl	Fe	Mn	Levering	
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mmol/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m ³]	[% van totaal]
1	1,06	109,47	10,92	3,18	100,95	7,47	0,29	10000	83,3
2	1,02	108,50	11,69	3,19	105,88	7,29	0,27	7000	58,3
3	0,88	107,18	11,09	3,13	109,06	7,98	0,29	4500	37,5

Tabel 14-2 Waterkwaliteit van de afzonderlijke pompputten van pompstation Noordbergum (Vitens)

Pompput	Putten- groep	NH ₄ [mg/l]	Ca [mg/l]	M [mg/l]	Hardheid [mmol/l]	Cl [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
A25	1	1,24	100,80	9,34	2,90	60,12	4,37	0,15
A27	3	1,38	122,50	12,40	3,57	131,80	6,71	0,24
A28	1	1,39	116,20	13,30	3,45	70,42	4,47	0,14
A30	2	2,50	110,80	16,50	3,44	171,20	4,71	0,19
A31	1	1,87	91,30	12,80	2,80	178,60	4,11	0,17
A34	1	0,90	78,30	9,37	2,34	93,91	4,02	0,21
A35	3	1,31	97,40	11,90	2,92	62,08	4,99	0,25
A36	1	1,23	97,30	11,10	2,88	81,31	5,13	0,25
A38	2	0,75	98,10	10,20	2,87	38,74	5,87	0,26
A39	3	0,40	79,10	8,21	2,31	47,89	7,34	0,30
41	1	0,56	181,50	15,50	5,16	246,50	16,38	0,46
42	3	0,55	178,90	15,40	5,10	238,30	15,30	0,47
43	2	0,70	141,10	13,10	4,06	170,10	12,73	0,41
44	2	0,97	119,50	12,30	3,49	128,50	10,27	0,34
45	3	0,82	81,60	10,00	2,45	86,69	9,04	0,33
A46	2	0,61	101,40	9,97	2,94	78,24	4,00	0,20
A47	2	0,60	80,10	8,08	2,33	48,48	6,13	0,21
A48	1	0,63	86,40	8,00	2,48	51,44	5,34	0,20
A49	3	0,84	83,60	8,64	2,44	87,57	4,51	0,19
A50	1	0,28	83,40	6,60	2,35	34,42	6,62	0,28
A51	1	0,14	122,70	7,55	3,37	44,02	9,82	0,47
A52	1	0,22	122,90	8,66	3,42	75,81	10,51	0,44
A53	1	0,00	186,40	14,60	5,25	81,53	25,78	0,84
54	1	1,98	87,40	11,90	2,67	174,80	3,49	0,16
55	1	1,97	91,30	11,90	2,77	167,10	3,63	0,18
56	1	2,13	92,10	11,60	2,77	121,50	3,87	0,21
57	1	1,30	104,10	11,60	3,07	32,81	4,51	0,25

Deeltjes Om deeltjesverstopping (verstopping van de boorgatwand met deeltjes) te voorkomen, kunnen we gebruik maken van aanvullende schakelschema's. Op basis van beslisregels wordt bepaald welke putten wanneer en hoelang onttrekken. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat individuele putten niet te zwaar (lang) belast worden en dat na een onttrekkingsperiode een voldoende lange rustperiode (indien nodig) wordt ingebouwd. Doordat iedere put en elk winveld anders is, is het lastig om kant-en-klare ontwerpregels op te stellen. Wel is een checklist (bijlage VII) gemaakt, waarin is weergegeven waarop gelet moet worden bij het ontwerpen en implementeren van een schakelschema.

Bij chemische verstopping is vlak draaien juist gewenst in plaats van schakelen. Het is dus van belang om eerst te weten met welk type verstopping we te maken hebben.

14.2 Leidingen

Voor de terreinleidingen op het pompstation werden in het verleden verschillende soorten materialen gebruikt, zoals pvc, pe, gietijzer, staal, asbestcement en beton. De belangrijkste criteria voor de keuze van de materialen zijn kosten en hanteerbaarheid. Pvc en pe worden het meest gebruikt als er nieuwe leidingen aangelegd worden. Een nadeel van pe is dat zich op pe een biofilm kan vormen, die gevolgen kan hebben voor de kwaliteit van het water.

- waterslag Tijdens bedrijfsvoering kan door waterslag de verbinding tussen pvc-buizen of tussen pe-buizen beschadigd raken. Waterslag is een begrip uit de hydraulica en treedt op wanneer de stroming van een vloeistof in een gesloten leiding plotseling tot stilstand wordt gebracht, bijvoorbeeld door het abrupt sluiten van een kraan of het stoppen van een pomp, of wanneer de stroming plots gestart wordt (het starten van een pomp). De energie van het stromende water wordt dan omgezet in een drukgolf die door de leiding gaat lopen. Er zijn meerdere manieren om de waterslag (de over- en onderdruk) te verminderen of op te nemen:
- gebruik van flexibele leidingen;
 - verminderen van de vloeistofsnelheid;
 - het plaatsen van een bypass over de pomp, zodat de onderdruk golf die stroomopwaarts ontstaat de afsluitklep kan openen;
 - het plaatsen van luchtinlaatkleppen en overdrukkleppen, die in geval van de over- of onderdruk ofwel lucht in, of vloeistof uit de leiding laten;
 - waterslagdempers, hydro-pneumatische lichamen die in wezen de elasticiteit van de vloeistof vergroten en hierdoor de kans op waterslag verminderen.

14.3 Energiebeheer

- kostenaspect Energiegebruik en milieubewust handelen worden binnen de bedrijfsvoering steeds belangrijker, niet alleen wegens kostenbesparing maar ook vanuit de duurzaamheids gedachte. In deze paragraaf richten we ons vooral op het kostenaspect.
- piekgebruik Het blijkt dat op energie veel bespaard kan worden. Bij enkele bedrijven wordt getracht het piekgebruik (van energie) zoveel mogelijk te reduceren. Energiebesparing kan worden bereikt door tijdig te regenereren, door er voor te zorgen dat pomput en zuiveringsinstallatie dicht bij elkaar liggen en door drukverliezen te minimaliseren. Voor minimalisering van energiegebruik zijn toerengeregelde pompen met een (relatief) vlakke Q/H-kromme het gunstigst. Let op bij gebruik van toerengeregelde pompen in mechanisch verstoppende putten: bij gelijkmatig optoeren worden relatief weinig deeltjes verwijderd, wat verstopping bevordert. Bij gebruik van toerengeregelde pompen in putten die gevoelig zijn voor mechanische verstopping, moet de put vol worden aangezet en daarna teruggetoerd worden naar het gewenste debiet.
- Energiebeheer omvat energiebesparing door minder gebruik van energie en kostenbesparing door een lager energiegebruik en een lager piekgebruik. Opmerkelijk is dat bij een grotere afname van energie de kosten soms kunnen dalen. Dit komt doordat de prijs van energie gekoppeld is aan de afnamehoeveelheid. Bij afname van grote hoeveelheden geldt een lagere kWh-prijs. Een en ander is afhankelijk van het contract met het energiebedrijf.
- energiezorg Energiebeheer (energiezorg) kan alleen succesvol zijn als daarvoor draagvlak is binnen de gehele organisatie en er in het ontwerp en gedurende de gehele levenscyclus van een put actief op wordt gestuurd.
- implementatie in 7 stappen Implementatie (het ten uitvoer brengen) van energiebeheer omvat de hieronder genoemde 7 stappen.

1. Bepaal de verdeling van het energieverbruik per bedrijfsonderdeel. Voorbeeld:
 - winning 20%
 - zuivering 5%
 - transport 70%
 - overige processen 3%
 - huisvesting 2%.

Energiebeheer is alleen dan mogelijk als ook daadwerkelijk gemeten wordt wat het energieverbruik is. Op basis van deze verdeling zien we op welke onderdelen van de bedrijfsvoering energiebesparing zin heeft.

2. Bepaal de tariefverdeling op de energienota. Hierbij moeten we letten op:
 - hoogte van de vaste vergoeding
 - energieverbruik volgens laag tarief
 - energieverbruik volgens normaal tarief
 - de vergoedingen voor het geïnstalleerde vermogen
 - de hoogte van de energietoelagen.

De tariefverdeling op de energienota laat zien waar bij de bedrijfsvoering op energiekosten bespaard kan worden. Zo zal bij een relatief hoge vergoeding voor het geïnstalleerde vermogen op energie bespaard kunnen worden door het piekverbruik (van energie) te verlagen. Als het energieverbruik tijdens de uren met normaal tarief hoog is, kan dit aanleiding zijn om 's nachts, wanneer het lage tarief van kracht is, de voorraad water aan te vullen.

3. Vergelijk pompstations op basis van de kentallen:
 - energieverbruik per geleverde hoeveelheid water (kWh/m³)
 - kostprijs per geleverde hoeveelheid water (€/m³).

Hieruit kunnen we afleiden welke pompstations per geleverde m³ weinig energie gebruiken (laag energiekental). Voor de meeste waterbedrijven ligt het energieverbruik tussen 0,25 en 0,50 kWh/m³; het gemiddelde energieverbruik per geleverde m³ water bedraagt in Nederland 0,43 kWh.

Pompstations met een laag energieverbruik per geleverde m³ water dienen zoveel mogelijk benut te worden. De overige pompstations, met een hoger energiekental, kunnen hun energieverbruik nog optimaliseren en daardoor winst halen.

4. Formuleer SMART-doelstellingen (specifiek, meetbaar, acceptabel, realistisch en tijdgebonden) met betrekking tot de totale reductie van de kentallen, bijvoorbeeld:
 - het gemiddelde energieverbruik per m³ in 2001 verminderen met 2% t.o.v. 2000
 - de gemiddelde energiekosten per m³ in 2001 verminderen met 4% t.o.v. 2000.
5. Inventariseer de besparingsmogelijkheden per pompstation.
Ook hier geldt: formuleer SMART-doelstellingen met betrekking tot de totale reductie van de kentallen.
6. Onderzoek en implementeer besparingsmogelijkheden.
7. Zorg voor regelmatige monitoring en bijsturing van de besparingen
Bepaal de besparingen op basis van de registratie van het energieverbruik en de energienota's. Als de genomen maatregelen niet het gewenste effect hebben, moeten we uitzoeken hoe dat komt. Zo nodig moeten we extra maatregelen nemen.

tips

Enkele tips voor energiebeheer zijn:

- verlaag zo mogelijk de druk van het uitgaande water

- verlaag het piekgebruik door op die tijden subprocessen zoveel mogelijk achterwege te laten en (bestaande) aggregaten naar behoefte in te schakelen
- zorg voor een bedrijfsvoering waarbij de pompputten zoveel mogelijk vlakdraaien
- plan en pleeg onderhoud buiten de piekvraag naar water
- ontwerp installaties op minimaal energiegebruik; let bijvoorbeeld op het rendement van de pompen
- gebruik water van pompstations met een laag energiekental
- beperk de transportafstand
- beperk de verliesstromen (spuien en spoelen)
- let op de opbouw en samenstelling van de energienota; gebruik deze nota om de bedrijfsvoering te optimaliseren.

15 Putverstopping en putregeneratie

In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende vormen van putverstopping, de oorzaken van putverstopping en de zaken die van belang zijn om putverstopping te herkennen. Verder beschrijven we hoe we verstopte pompputten kunnen regenereren: welke stappen we kunnen doorlopen om de juiste regeneratiemethode te kiezen, welke regeneratiemethoden er zijn en hoe de regeneratie in de praktijk wordt uitgevoerd. Ook geven we aan wanneer een verstopte pompput aan vervanging toe is. Er bestaan eveneens niet-verstoppende pompputten. In dit hoofdstuk gaan we uitsluitend in op de verstoppende pompputten.

We gaan achtereenvolgens in op:

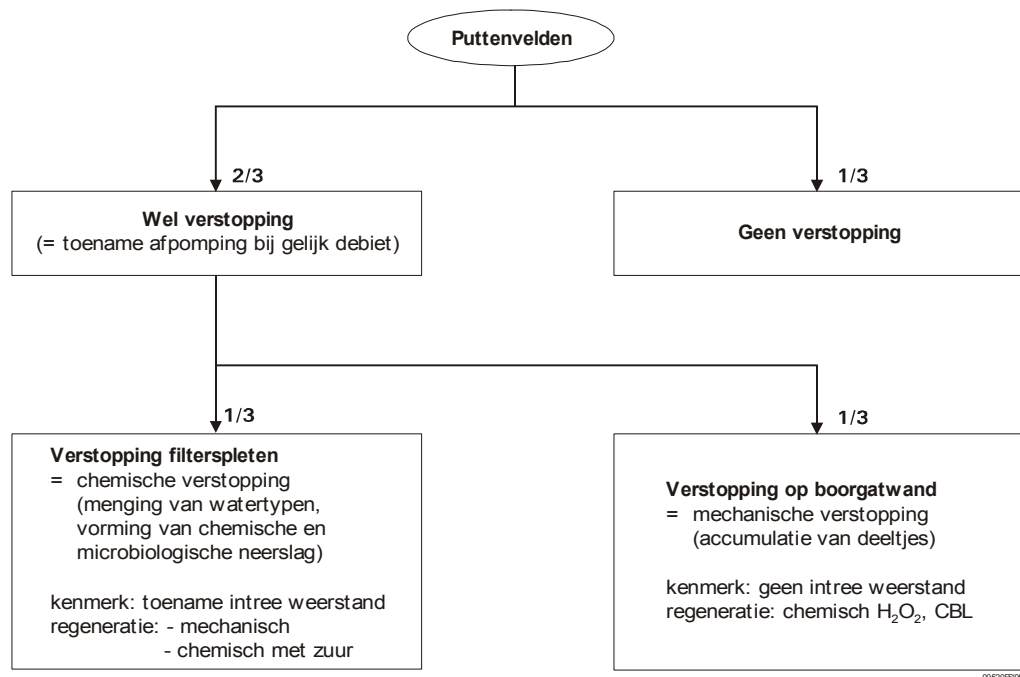
- herkennen van putverstopping
- vaststellen van putverstopping
- vormen van putverstopping
- overwegingen om verstopte pompputten te regenereren
- regeneratiemethoden
- uitvoering van de regeneratie
- effect van de regeneratie
- veiligheid en milieu
- preventie van putverstopping.

samenvatting

Putverstopping wordt gekenmerkt door een afname van de specifieke volumestroom van een pompput. Om het verloop van het verstoppingsproces te kunnen volgen meten we in het begin en daarna van tijd tot tijd de specifieke volumestroom en intreeweerstand. De meetfrequentie is lager bij een groter regeneratie-interval en een hogere meetnauwkeurigheid. Een pompput komt voor regeneratie in aanmerking als de actuele specifieke volumestroom een vastgestelde signaleringswaarde is gepasseerd. Chemische of biologische verstopping ontstaat door neerslag van bijvoorbeeld ijzerhydroxiden. Achterblijven van deeltjes op de boorgatwand is de belangrijkste oorzaak van deeltjesverstopping op de boorgatwand. Chemische of biologische verstopping begint op de filterspleten en is te met een camera-inspectie te zien. Deeltjesverstopping ontstaat op de boorgatwand en is niet te zien in een put, we zien alleen dat de afpompings toeneemt, zonder zichtbare vervuiling. In het algemeen wordt een verstopte pompput geregenereerd en pas als regenereren geen zin heeft wordt overwogen de bestaande pompput door een nieuwe te vervangen. Een pompput kunnen we het beste regenereren als de specifieke volumestroom verder dan 70% van de referentiewaarde is afgenomen. Er bestaan mechanische en chemische regeneratiemethoden, die ook gecombineerd kunnen worden toegepast. Verstopping op de boorgatwand is moeilijker te verwijderen dan verstopping van het putfilter, omdat de boorgatwand moeilijker te bereiken is. Verstopping van het filter wordt verholpen door borstelen of hogedrukreiniging, zo nodig gevolgd door een chemische behandeling. Verstopping op de boorgatwand wordt chemisch aangepakt. Bij het regenereren worden ook metingen verricht en waarnemingen gedaan. Putverstopping kan, volgens de huidige inzichten, moeilijk worden voorkomen, maar wel worden vertraagd door bijvoorbeeld:

- het putontwerp hierop af te stemmen
- de pompput zorgvuldig aan te leggen,
- verschillende watertypen gescheiden te onttrekken(bij chemische verstopping),
- frequent te schakelen (bij deeltjesverstopping).

In Figuur 15-1 is een schema opgenomen voor het vaststellen van putverstopping en regeneratie.



Figuur 15-1 Stroomschema voor het vaststellen van putverstopping en methoden voor regeneratie

15.1 Herkennen van putverstopping

In deze paragraaf laten we zien welke zaken van belang zijn bij het herkennen van putverstopping. Daarbij gaan we in op:

- specifieke volumestroom
- intreeweerstand
- afpompings
- vaststelling putverstopping
- onderwaterpomp systeem
- bovenwaterpomp systeem.

specifieke volumestroom

definitie

Putverstopping is een geleidelijk verlopend proces waarbij de toestrooming van water naar de pompput steeds meer wordt gehinderd door accumulatie van materiaal in het putfilter of op de boorgatwand. Putverstopping herkennen we aan een geleidelijk afnemende specifieke volumestroom van een pompput.

De specifieke volumestroom wordt gedefinieerd als de onttrokken volumestroom gedeeld door de bijbehorende afpompings:

$$Q_{spec} = Q/d \quad (15.1)$$

Hierin is:

$$\begin{aligned} Q_{spec} &= \text{specifieke volumestroom [m}^3/\text{h per m afpompings]} \\ Q &= \text{onttrokken volumestroom m}^3/\text{h]} \\ d &= \text{afpompings [m].} \end{aligned}$$

afpompings
Referentie-

Afpompings is het verschil tussen het waterniveau in een in bedrijf zijnde pompput en het waterniveau in een pompput 'in rust' (zie Figuur 15-2). De specifieke volumestroom

waarde

neemt dus af door afname van de volumestroom en/of door toename van de afpumping. De waarde van de specifieke volumestroom bij oplevering, ook wel aangeduid met uitgangswaarde of beginwaarde, wordt in eerste instantie als referentiewaarde beschouwd. In de loop van de tijd kan de referentiewaarde worden aangepast (zie paragraaf 15.2.1)

intreeweerstand

Ook de intreeweerstand van de pompput is belangrijk voor het bepalen van verstopping. De intreeweerstand wordt gemeten bij een in bedrijf zijnde pompput en is het verschil tussen het waterniveau in de pompput en het waterniveau in het waarnemingsfilter in de omstorting (zie Figuur 15-2). Het waarnemingsfilter in de omstorting bevindt zich gewoonlijk ter hoogte van de bovenzijde van het putfilter.

Voor de intreeweerstand geldt: $d_{iw} = d_{put} - d_{omst}$ (15.2)

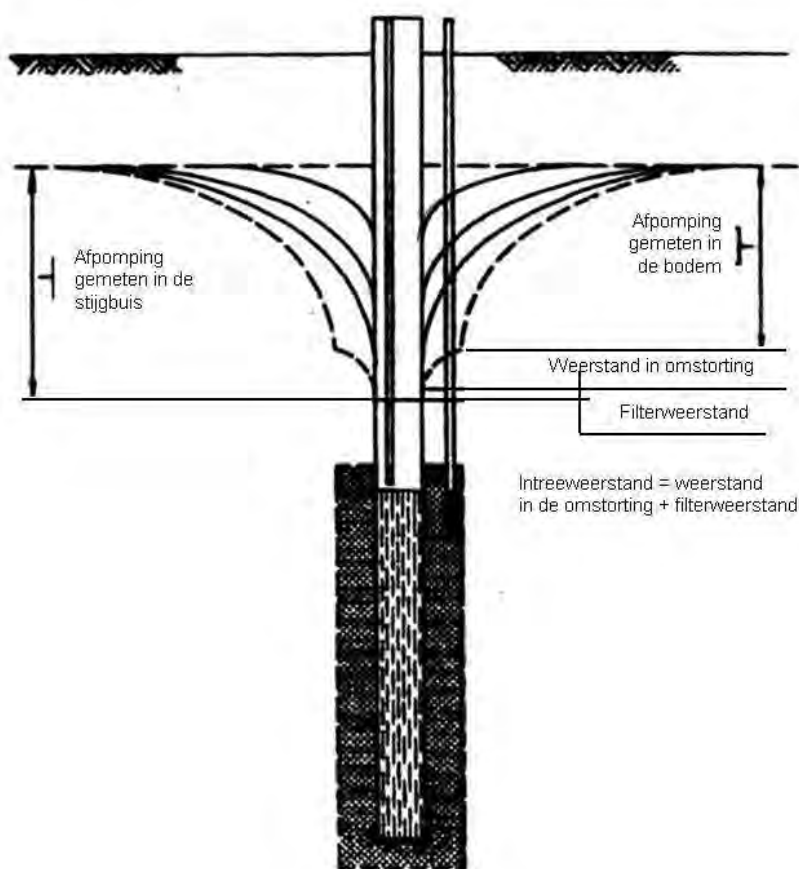
Hierin is:

d_{iw} = intreeweerstand [m]

d_{put} = waterstand in de pompput tijdens bedrijf [m t.o.v. referentiepunt, bijvoorbeeld putkop of maaiveld]

d_{omst} = waterstand in het waarnemingsfilter in de omstorting tijdens bedrijf [m t.o.v. referentiepunt, bijvoorbeeld putkop of maaiveld].

Bij een pompput 'in rust' zijn de waterstanden in de pompput en in het waarnemingsfilter in de omstorting even hoog.



Figuur 15-2 Afpomping en intreeweerstand (SBW, 1995).

vaststelling putverstopping

Door de actuele specifieke volumestroom te vergelijken met de specifieke volumestroom in de referentiesituatie, kan worden nagegaan of er sprake is van putverstopping. Als de actuele waarde gelijk is aan de referentiewaarde, is er geen sprake van putverstopping. Is de actuele waarde kleiner dan de referentiewaarde, dan is er sprake van putverstopping. Als de specifieke volumestroom is afgenomen tot een vooraf bepaalde grenswaarde (vaak wordt 70% gebruikt van de referentiewaarde), dan is regeneratie noodzakelijk. Deze norm is vastgesteld in het BTS onderzoek naar putverstopping en staat in het richtlijnenboekje (zie bijlage V, literatuurlijst, anoniem 2006).

Onderwaterpomp systeem

Als de verstoppende pompput is uitgerust met een onderwaterpomp en de capaciteit van deze pomp niet zeer gevoelig is voor de opvoerhoogte, dan zal bij voortgaande verstopping de afpomp in de pompput toenemen. Als we niet ingrijpen, kan de afpomp verder toenemen totdat het waterniveau in de pompput is gedaald tot de aanzuigopening van de onderwaterpomp; zodra dat punt is bereikt zal de onderwaterpomp gaan 'luchthappen'. Dit zal zich in de praktijk in het bijzonder gedurende pieksituaties manifesteren, als namelijk door de grotere vraag het grondwaterniveau van het hele puttenveld daalt. Regelmatige bewaking van de pompputten is dus essentieel voor een continue drinkwatervoorziening. Als we dat niet doen, zullen de problemen zich op piekdagen manifesteren.

Bovenwaterpomp systeem

Bij een onttrekkingssysteem waarbij het grondwater wordt onttrokken met behulp van een bovenwaterpomp, bijvoorbeeld een pomp die op de putkop zit, of door middel van een vacuümsysteem (met onderdruk en een vacuümtank), is sprake van een vaste zuighoogte en dus van een vaste afpomp. In dit geval openbaart een verstopping zich in een geleidelijke afname van de onttrokken volumestroom. Als deze afname door onvoldoende bewaking niet wordt opgemerkt, is de kans groot dat het bedrijf op piekdagen niet meer aan de vraag kan voldoen. Bij toepassing van een bovenwaterpomp systeem, dat vóór omstreeks 1960 gangbaar was, wordt door de teruglopende productie putverstopping direct opgemerkt. Sinds de tijd dat er onderwaterpompen worden toegepast, wordt een verstopping vaak pas laat opgemerkt, tenzij de toestand van de pompput (af te meten aan de afpomp) voortdurend en nauwgezet wordt gevolgd.

15.2 Vaststellen van putverstopping

Om te kunnen vaststellen of er sprake is van putverstopping moeten we regelmatig de specifieke volumestroom bepalen en vergelijken met de referentiewaarde, vaak de waarde bij oplevering. Als de pompput vóór ingebruikneming niet volledig is ontwikkeld, kan de specifieke volumestroom in de loop van de tijd nog toenemen. Het ligt dan voor de hand de hoogst vastgestelde specifieke volumestroom als referentiewaarde aan te houden. De mate van verstopping is gelijk aan de verhouding tussen de actuele waarde en de referentiewaarde.

Bij het vaststellen van een putverstopping meten we ook de waarde van de intreeweerstand, die we vervolgens vergelijken met de waarde van de intreeweerstand bij oplevering.

Gewoonlijk combineren we de putverstoppingsmetingen met het inspecteren van het hele puttenveld. Daarbij kunnen we denken aan inspectie van de putkelder, de pomp (voetklep, lekkage stijgbuis, luchthappen) en de elektriciteitsaansluitingen.

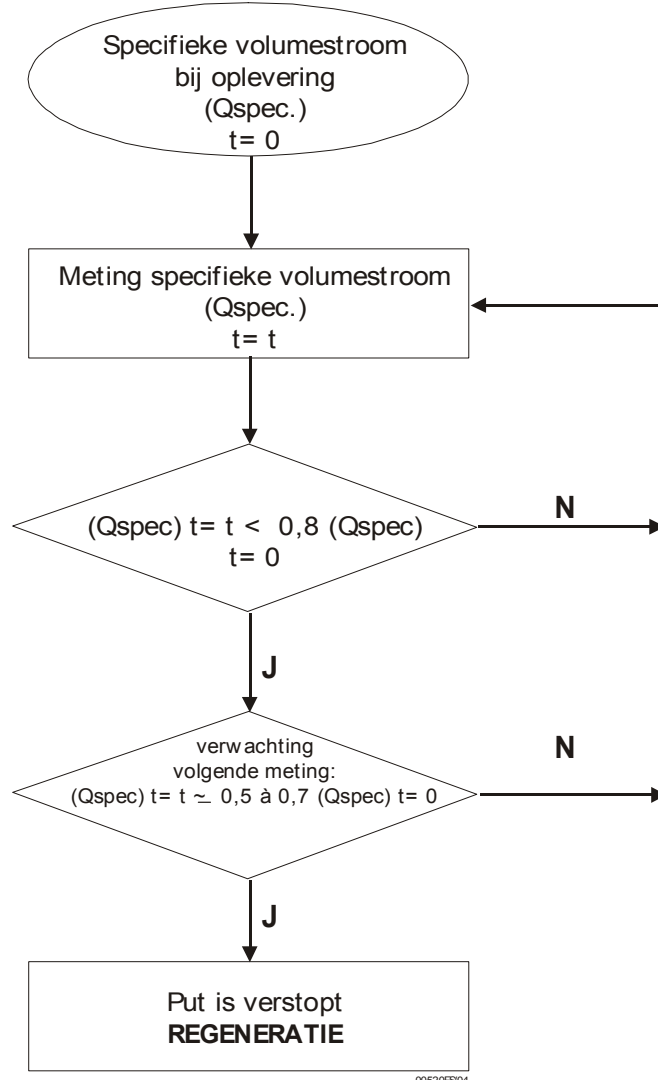
Hieronder gaan we in op de manier waarop we in de praktijk putverstopping vaststellen.

Daarbij schenken we achtereenvolgens aandacht aan:

- uitvoering van de metingen

- verwerking van de meetgegevens
- signaleringswaarden
- onderwaterpomp systeem
- bovenwaterpomp systeem.

Figuur 15-3 geeft een stroomschema voor het vaststellen van putverstopping



Figuur 15-3 Stroomschema voor vaststellen van putverstopping

15.2.1 Uitvoering van de metingen

In deze paragraaf gaan we nader in op de eisen die we stellen aan de metingen die we in de loop van de tijd uitvoeren om putverstopping vast te stellen.

beginsituatie vastleggen

Voordat we een nieuwe pompput in gebruik nemen, leggen we de beginsituatie vast. Daartoe voeren we een capaciteitsproef uit, waarbij we de afpomping bij verschillende capaciteiten vastleggen. Aan de hand van de zo verkregen gegevens kunnen we de specifieke volumestroom van de pompput berekenen.

referentiewaarde bepalen

In eerste instantie wordt de waarde van de specifieke volumestroom bij oplevering als referentiewaarde aangehouden.

Met de referentiewaarde bepalen we of er sprake is van putverstopping, en wanneer een put geregenereerd moet worden. Als de specifieke volumestroom is teruggelopen tot bijvoorbeeld 70% van de referentiewaarde is regeneratie nodig.

Er zijn verschillende redenen waarom een referentiewaarde in de loop van de tijd kan worden aangepast:

- Als een put niet (goed) is ontwikkeld bij oplevering (zie paragraaf 11.6) kan de specifieke volumestroom toenemen na ingebruikname, of hoger worden na de eerste regeneratie. De nieuwe, hogere waarde wordt dan als referentiewaarde genomen.
- Het kan zijn dat een deel van de put onherstelbaar verstopt is. Als de put nog wel voldoende levert (maar minder goed is dan bij oplevering) kan ervoor gekozen worden de nieuwe waarde als referentiewaarde.
- In de loop van jaren kan een winning of de omgeving veranderen waardoor nieuwe referentiewaarde gekozen moeten worden. Denk bijvoorbeeld aan verandering van de totale onttrekking, of veranderende invloed van rivieren in de omgeving.

Bij het aanpassen van de referentiewaarde moet er wel rekening mee worden gehouden dat vanuit leveringszekerheid en productie ook eisen worden gesteld; het puttenveld moet wel de vereiste opbrengst geven. Als de capaciteit van putten terug loopt, kan het nodig zijn extra putten aan te leggen.

Als er sprake is van lange filters, bij horizontale of verticale putten kan het gebeuren dat een deel van de put verstopt, maar dat de andere delen extra gaan leveren. In dat geval treedt verstopping op, zonder dat dit te zien is in een toename van de afpompings

monitoring

Omdat we de referentiewaarde gebruiken om verstopping te bepalen, is het belangrijk dat we nauwkeurig meten en vastleggen. Om de resultaten van de metingen te kunnen vergelijken met de referentiewaarde moeten we de metingen steeds op dezelfde manier uitvoeren. Om dit te bereiken maken we gewoonlijk gebruik van een meetprotocol. Meet bij het bepalen van de specifieke volumestroom als het enigszins kan het actuele werkelijk onttrokken debiet en ga niet uit van (in)schattingen op basis van metingen uit het verleden.

meetprotocollen Voor het uitvoeren van putverstoppingsmetingen bestaan verschillende meetprotocollen. Een meetprotocol bestaat uit een beschrijving van de meetprocedure, meetformulieren en een beschrijving van de verwerking.

Aspecten die bij de metingen aan de orde komen zijn:

- vastleggen beginsituatie (putschakeling)
- wachttijd voordat de metingen worden verricht
- welke gegevens er ten behoeve van de beginsituatie moeten worden vastgelegd
- in- of uitschakelen van een pompput (tijdens bedrijfsvoering)
- meetduur (meettijd), de wachttijd tussen moment van schakelen en meting
- welke gegevens er per pompput moeten worden vastgelegd.

Hieronder geven we een toelichting op de genoemde aspecten.

beginsituatie voor de meting

Om de afpompings te bepalen meten we het waterniveau bij de pompput 'in rust' en vervolgens bij de pompput 'in bedrijf' of andersom. Om de resultaten van de metingen met die van de voorgaande metingen te kunnen vergelijken moeten we ervoor zorgen dat we de metingen steeds op dezelfde manier en steeds bij dezelfde bedrijfstoestand (dezelfde pompputten 'in rust' en dezelfde pompputten 'in bedrijf') uitvoeren.

trend Bij de monitoring gaat het om het vaststellen van een trend. Daarbij is niet zozeer de juiste (absolute) waarde van de specifieke volumestroom van belang, als wel de trend.

Daarom is het belangrijk om bij uitvoering van de metingen steeds hetzelfde schakelschema aan te houden. Het schakelschema nemen we in het meetprotocol op.

minimale wachttijd voor de meting

Om betrouwbare meetresultaten te verkrijgen moeten we de meting bij een stationaire situatie van het puttenveld uitvoeren. Het kost enige tijd om die situatie te bereiken. In de praktijk verrichten we de meting nadat de pomp een kwartier heeft gedraaid.

vastleggen gegevens uitgangssituatie

De uitgangssituatie voor elke meting leggen we met de volgende gegevens vast:

- waterstanden in de pompput en het bijbehorende waarnemingsfilter
- onttrekkingsdebiet van elke pompput.
- putschakeling.

meetduur

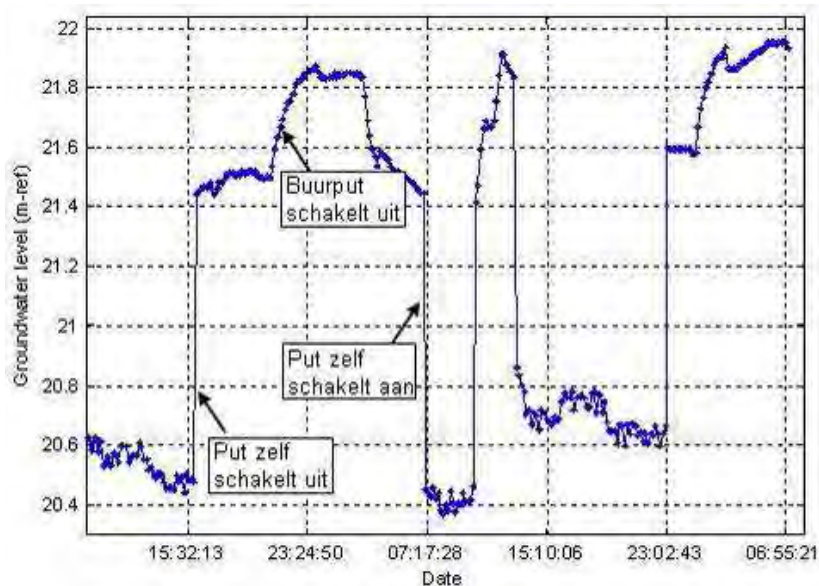
Bij putverstopping zijn we geïnteresseerd in verandering van de specifieke volumestroom, en niet per se in de werkelijke waarde (hoewel deze natuurlijk wel iets zegt over het energieverbruik van de pomp). De werkelijke waarde is de specifieke volumestroom bij maximale afpompings. De maximale afpompings van een put ontstaat pas na geruime tijd (dagen tot weken), deze maximale afpompings (of evenwichtsituatie) wordt in werkelijkheid meestal nooit bereikt omdat een put al veel eerder weer is uitgeschakeld. Omdat bepaling van de werkelijke waarde van de specifieke volumestroom veel tijd in beslag neemt, komen we er niet toe bij in bedrijf zijnde pompputten deze meting uit te voeren. Zelfs een uur meten is in de praktijk al te lang. Daarom houden we een zodanige meetduur (meettijd) aanhouden dat de verhouding inspanning/resultaat nog acceptabel is. Vaak wordt een meetduur van een kwartier aangehouden, wat betekent dat de afpompings 15 minuten na aanschakelen (of uitschakelen) van de pomp wordt bepaald. In het algemeen kunnen we stellen dat de waterstand na een putschakeling bij freatische winningen eerder reageert dan bij niet-freatische winningen.

Van belang is dat de meetduur bij de verschillende putverstoppingsmetingen steeds gelijk is, zodat de resultaten van opeenvolgende metingen onderling kunnen worden vergeleken.

We moeten erop bedacht zijn dat de metingen kunnen worden beïnvloed als tijdens de meetduur nabijgelegen pompputten worden geschakeld. Om meetfouten te vermijden mogen we bij een meetduur van een kwartier geen pompputten binnen een straal van 75 m à 200 m (afhankelijk van het type winning) rondom het meetpunt schakelen.

Automatische drukopnemers

Met behulp van automatische drukopnemers, die de stijghoogte hoogfrequent kunnen registreren, kan ook verstopping worden gemeten. De meting van een automatische drukopnemer geeft het verloop van de waterstand in een put over een langere tijd. Als de put in de meetperiode verstopt, dan wordt de afpompings steeds groter. Dit kan, rechtstreeks uit de metingen bepaald worden, maar daarbij moeten we goed opletten dat onderscheid wordt gemaakt tussen de afpompings als gevolg van schakeling van de put zelf en variaties in de waterstand die veroorzaakt worden door andere putten op het puttenveld. In Figuur 15-4 is het effect van het schakelen van een put, en een buurput te zien. Als de put geen vast debiet onttrekt (bijvoorbeeld bij toerengeregelde pompen of als er geknepen wordt), dan moet ook het onttrekkingsdebiet worden meegenomen in de analyse. De afpompings is dan ook afhankelijk van de grootte van het onttrekkingsdebiet. Een verandering van afpompings kan dan immers ook veroorzaakt worden door een wijziging van het debiet in plaats van door verstopping.



Figuur 15-4 Hoogfrequente meting van stijghoogte in een pompput. Het aan en uitschakelen van de put zelf geeft een verandering van circa 1 meter, de buurput heeft een effect van circa 40 cm

De waterstand in de put en het effect van buurputten kan ook worden geanalyseerd met tijdreeksanalyse. De waterstand in de put wordt dan verklaard uit de schakelingen van de put zelf en de overige putten op het puttenveld. Met deze methode kan een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen het effect van de put zelf en het effect van de overige putten op het puttenveld. Voor een dergelijke analyse moeten de schakelingen en/of het debiet van alle putten van het puttenveld zijn vastgelegd.

draaiuren

draaiuren en
schakel-
momenten

De oorzaak van putverstopping ligt soms in de wijze van bedrijfsvoering. Als het kan, moeten de draaiuren en schakelmomenten van elke pompput op het puttenveld geregistreerd worden. Bij het registreren van de schakelmomenten gaat het om het aantal schakelingen per dag – één schakeling is de pomp uitzetten en weer aanzetten – en de tijdsduur tussen de schakelingen. Alle tijdstippen van uitzetten en weer aanzetten van elke put moeten dus worden opgeslagen. De tijd dat een put aanstaat, de schakelingen, en de rusttijd, hebben allemaal effect op deeltjesverstopping. Door deze informatie vast te leggen, kunnen de oorzaken van eventuele verstoppingsproblemen beter worden geanalyseerd en kan de bedrijfsvoering zo nodig worden aangepast.

vastleggen gegevens per pompput

Na de meettijd worden de volgende gegevens vastgelegd:

- waterstanden in de pompput en eventueel bijbehorende waarnemingsfilters
- tijdsduur tussen putschakeling en meting
- eventuele andere bijzonderheden.

Putverstopping meten bij vacuümwinning

Bij een vacuümwinning komen een groot aantal putjes met een laag debiet uit op een verzamelleiding. Het principe van putverstoppingsmeting is hier hetzelfde; we willen weten of de afpompings toeneemt bij een gelijkblijvend debiet. De uitvoering wordt iets anders gedaan dan bij een grondwaterput. Bij een vacuümwinning wordt de druk in de verzamelleiding gemeten. Er worden dus eigenlijk een groot aantal putjes tegelijk gemeten. Als de zuigdruk hier verandert, dan wordt nader onderzoek gedaan om te bepalen welke put(ten) hiervoor verantwoordelijke zijn.

Putverstopping meten bij horizontale putten

In principe kan verstopping in een horizontale put op dezelfde manier gemeten worden als in een verticale put, door te kijken of de afpompingsnelheid toeneemt. Bij horizontale putten is het filter alleen vaak zeer lang. Hierdoor kan gebeuren dat een deel van het filter verstopt, maar dat de rest van de put meer gaat leveren, waardoor de verstopping niet wordt opgemerkt. Bij HDDW's is nog geen ervaring opgedaan met het meten van putverstopping.

15.2.2 Verwerking van de meetgegevens

Direct na de meting verwerken we de meetgegevens. Zodoende kunnen we eventuele uitschieters (afwijkende meetwaarden) direct herkennen en kunnen we de meting opnieuw uitvoeren.

Op basis van de verkregen gegevens kunnen we de afpompingsnelheid en de specifieke volumestroom per pompput berekenen.

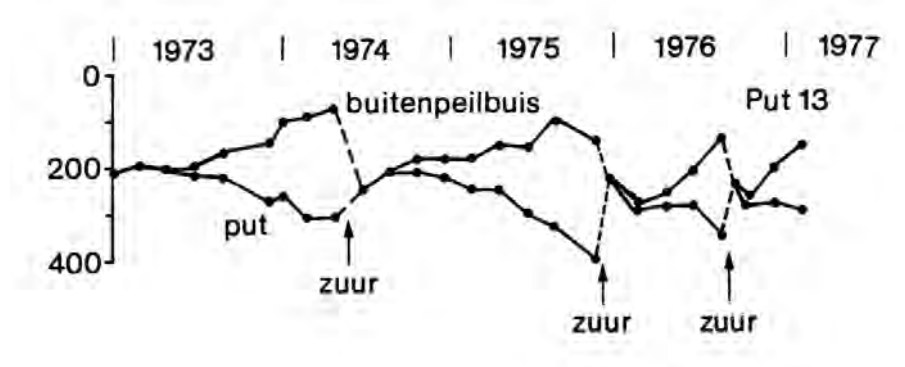
Dawaco

We bewaren de gegevens van de meetresultaten, de meetmethode, de putschakeling van de overige pompputten tijdens de meting, de berekende afpompingsnelheid en de berekende specifieke volumestroom. Hiervoor hebben we de beschikking over geautomatiseerde systemen, bijvoorbeeld Dawaco of een spreadsheet.

Om over een lange periode inzicht te krijgen in het verloop van het verstoppingsproces, presenteren we de gegevens van de afpompingsnelheid en de specifieke volumestroom in de vorm van grafieken. Indien beschikbaar, zetten we ook de gegevens van de stijghoogte in de waarnemingsfilters in de omstorting in een grafiek uit (zie Figuur 15-5). Hiermee kunnen we de filterweerstand berekenen. Uit deze grafieken kunnen we direct een trend aflezen. Als dat het geval is, kunnen we ook zien of de pompput een signaleringswaarde nadert.

Belangrijke gebeurtenissen, die invloed kunnen uitoefenen op de conditie en/of capaciteit van de pompput, moeten we eveneens vermelden. Voorbeelden zijn:

- revisie of vervanging van de onderwaterpomp
- onderzoek naar zand onderin het filter en eventuele getroffen maatregelen
- uitgevoerde regeneraties met een volledige beschrijving van de procedure en resultaten van de proeven.



Figuur 15-5 Verloop stijghoogte in pompput en in waarnemingsfilter in de omstorting.

15.2.3 Signaleringswaarde

Een pompput komt voor regeneratie in aanmerking als de actuele specifieke volumestroom een bepaalde signaleringswaarde nadert. Als signaleringswaarde hanteren we een vast percentage van de referentie specifieke volumestroom. Voor deeltjesverstopping is de signaleringswaarde 70% van de referentiewaarde.

Aspecten die bij de hoogte van de signaleringswaarde een rol spelen zijn:

- ervaring van waterleidingbedrijven met succesvol uitgevoerde regeneraties op dezelfde of soortgelijke puttenvelden
- ijzerverstopping (steeds in de filterspleten). In dit geval kan een lage signaleringswaarde worden aangehouden, omdat verstopping goed bereikbaar en te verwijderen is
- verstopping met deeltjes. Hierbij is het zaak tijdig te regenereren, omdat verstopping slecht bereikbaar is (op de boorgatwand) en anders geen volledige regeneratie meer mogelijk is
- energiegebruik van de pomp. Dit is een bijkomend aspect dat een rol kan spelen bij de afweging om wel of niet te gaan regenereren.

overwegingen Behalve bovengenoemde overwegingen kunnen er ook andere overwegingen een rol spelen om een pompput te gaan regenereren. Hierbij kan worden gedacht aan:

- overschrijding van de afpompingswaarde van een vooraf vastgestelde waarde. Dit kan het geval zijn als de verwijde stijgbuis kort is, waardoor de onderwaterpomp niet dieper kan worden geplaatst dan noodzakelijk is voor een betrouwbare werking
- door de verstopping van de pompput verandert de verdeling van de toestroming van het grondwater. Dit kan leiden tot verandering van de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater, wat consequenties kan hebben voor de zuivering.

Het is niet gebruikelijk een put in de periode met piekverbruik (zoals de zomer) te regenereren. In die periode willen we immers alle pompputten beschikbaar hebben voor de watervoorziening.

richtlijn Bij deeltjesverstopping gaan we in principe uit van de richtlijn om een put te regenereren als de actuele specifieke volumestroom is afgenomen tot 70% van de referentiewaarde. Van deze richtlijn kan worden afgeweken, bijvoorbeeld als de omstandigheden met betrekking tot de winning sterk zijn gewijzigd (bijvoorbeeld doordat de totale winning sterk is toegenomen), waardoor de oorspronkelijke referentiewaarde niet meer bruikbaar is als een reële referentie. Ook blijkt uit ervaring dat een put soms niet meer helemaal tot op het oude niveau terug te krijgen is. In dergelijke gevallen moet er een nieuwe referentiewaarde voor de put worden vastgesteld.

15.2.4 Meetfrequentie

afpompings Als de putten op een puttenveld snel verstopten, voeren we vaker een specifieke volumestroom meting uit. Als er op het puttenveld geen of bijna geen verstopping optreedt, houden we de meetfrequentie laag, bijvoorbeeld eens per jaar. Tot aan het moment waarop we een indruk hebben gekregen van het risico op verstopping houden we bij nieuwe pompputten en puttenvelden een hogere meetfrequentie aan.

nauwkeurigheid Bij het bepalen van de meetfrequentie speelt ook de meetnauwkeurigheid een rol. Als de resultaten van de putverstoppingsmetingen zeer nauwkeurig zijn, kunnen we sneller en duidelijker een trend waarnemen dan wanneer de resultaten minder nauwkeurig zijn. Bij nauwkeurige resultaten kunnen we met een lagere meetfrequentie volstaan. Als de meetnauwkeurigheid niet groot is en de resultaten van de opeenvolgende metingen niet 'netjes op één lijn' liggen, is voor een duidelijke interpretatie van de verkregen gegevens een hogere meetfrequentie noodzakelijk.

In de praktijk kunnen we met 1 tot 12 metingen per jaar volstaan. Het verdient aanbeveling ook de pompputten van niet-verstoppende puttenvelden regelmatig, dat wil zeggen één of twee keer per jaar, aan een algemene inspectie te onderwerpen.

specifieke volumestroom Bepaal minimaal één keer per jaar voor alle pompputten de specifieke volumestroom. Voer de meting steeds op dezelfde manier uit en altijd onder dezelfde omstandigheden. In de praktijk bepalen we soms direct vóór de regeneratie, maar altijd direct erna (tijdens het schoonpompen van de pompput) de specifieke volumestroom. Met deze laatste

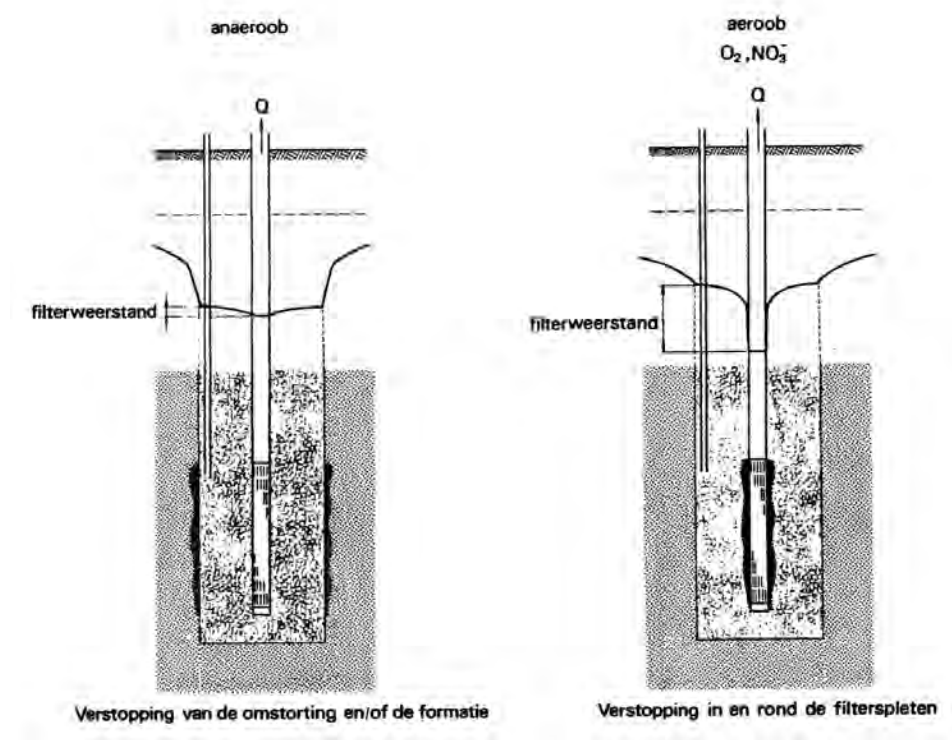
meting stellen we het effect van de regeneratie vast. Ook de meetgegevens van deze meting slaan we in het computersysteem op.

15.3 Vormen van putverstopping

Zoals we aan het begin van dit hoofdstuk zagen, zijn er twee vormen van putverstopping: deeltjesverstopping en chemische verstopping.

intreeweerstand Als we een intreeweerstand meten zit de verstopping tussen de twee meetpunten, dus tussen de pompput en het waarnemingsfilter in de omstorting. Chemische putverstopping herkennen we aan neerslagen in de onderwaterpomp, stijgbuis, terreinleidingen en filterspleten.

Als de pompput verstopt is zonder dat we een intreeweerstand meten zit de verstopping op en rond de boorgatwand in de omstorting en de aanliggende formatie. In dit geval spreken we van verstopping op de boorgatwand. Zie Figuur 15-5. Deeltjesverstopping herkennen we aan de afname van de specifieke volumestroom, terwijl er geen sprake is van vervuiling.



Figuur 15-6 De twee vormen van putverstopping (SBW, 1997).

De twee vormen van verstopping hebben een verschillende oorzaak. Chemische verstopping wordt veroorzaakt door menging van verschillende typen grondwater waarbij een neerslag wordt gevormd. Deeltjesverstopping treedt op doordat deeltjes die van nature in het grondwater voorkomen, de poriën in het zandpakket in de buurt van de put blokkeren. De twee typen verstopping kunnen ook tegelijkertijd optreden.

Chemische verstopping werd ook wel filterspleetverstopping genoemd, omdat neerslag ontstaat op de filterspleten. Het blijkt echter dat chemische verstopping ook optreedt in de omstorting. IJzerneerslagen kunnen zelfs tot enkele meters rond de put in het pakket optreden.

Deeltjesverstopping werd ook wel mechanische verstopping genoemd (als tegenstelling tot chemische). Uit recent onderzoek weten we dat bij verkittung van deeltjes waarschijnlijk ook chemische en biologische processen een rol spelen.

Hieronder gaan we verder in op aard, oorzaken en herkenning van de verschillende vormen van putverstopping. We bespreken achtereenvolgens:

- verstopping van de filterspleten
- verstopping op de boorgatwand
- uitzonderingen en locale omstandigheden.

15.3.1 Chemische putverstopping

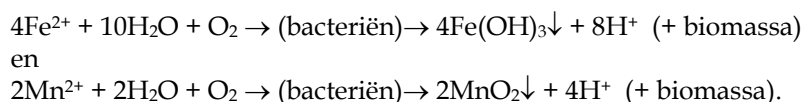
Binnen een watervoerend pakket, in het bijzonder bij freatische pakketten, kan grondwater voorkomen dat in verticale richting (met de diepte) verschillende kwaliteiten kan hebben. Bij onttrekking stromen deze verschillende watertypen in horizontale richting naar de pompput. Bij menging van de verschillende watertypen kunnen neerslagen gevormd worden. Deze neerslagen kunnen bestaan uit:

- ijzerhydroxiden, mangaanoxiden en biomassa, alleen of in combinatie
- aluminiumhydroxiden
- kalk (dit komt eigenlijk niet voor in Nederland).

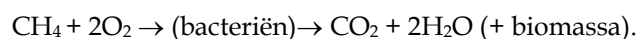
vorming van ijzerhydroxiden en mangaanoxiden, al of niet met biomassa

Bevat het grondwater aan de bovenzijde van het watervoerende pakket zuurstof en aan de onderzijde gereduceerde bestanddelen, zoals ijzer (II), mangaan (II) en/of methaan (gas), dan worden er respectievelijk ijzerhydroxiden en mangaanoxiden gevormd, al of niet met biomassa.

Als de omstandigheden gunstig zijn, zoals een hoge pH en hoge concentraties zuurstof en ijzer en/of mangaan, verloopt dit proces volledig fysisch-chemisch. Als de omstandigheden voor een fysisch-chemisch proces ongunstig zijn, zal de vorming van deze neerslagen door ijzer- en mangaanoxiderende bacteriën, zoals 'Gallionella spp' en 'Leptothrix spp' (spp= species) worden bevorderd; de omzetting vindt biochemisch plaats. Deze bacteriën bevinden zich op het grensvlak tussen aeroob en anaeroob grondwater. Ze zullen zich onder daartoe gunstige omstandigheden massaal ontwikkelen, waarbij een grote hoeveelheid biomassa (slijm) wordt gevormd:



Bij aanwezigheid van methaan en zuurstof zal alleen biomassa (slijm) worden gevormd:



De gevormde biomassa is een zeer effectief middel om materiaal dat door het grondwater wordt meegevoerd af te vangen. Hierdoor kan zich allerlei materiaal rondom de pompput ophopen.

In de gevormde biomassa-afzettingen kunnen zich geheel andere fysisch-chemische omstandigheden gaan ontwikkelen dan in het gemengde onttrokken grondwater. Zo kunnen zich onder de gevormde slijmlaag sulfaatreducerende omstandigheden ontwikkelen, waarbij ijzersulfiden kunnen worden gevormd.

Verstopping op de filterspleten komt vaak in zandgebieden voor. Omdat het gewonnen grondwater uit een mengsel van twee watertypen bestaat, zijn de gemeten concentraties ijzer, mangaan, methaan en zuurstof lager dan de concentraties in het grondwater dat in de formatie toestroomt. In de praktijk wordt in het (gemengde) onttrokken grondwater van verstoppende pompputten vaak zeer lage concentraties gemeten: minder dan 0,2 mg/l zuurstof en 0,1 à 0,2 mg/l ijzer. In de praktijk kunnen deze concentraties dus onder de meetgrens liggen. De concentratie van deze stoffen is echter niet van belang, wel de aanwezigheid van deze stoffen in het ruwwater.

Het is niet bekend of de reactiesnelheid voor de oxidatie van ijzer, mangaan en/of methaan door nitraat groot genoeg is om deze processen te laten optreden. Wel is de aanwezigheid van nitraat, bij afwezigheid van zuurstof, een handig middel om vast te stellen of er sprake is van aerobe omstandigheden.

Zolang er een constante onttrekking plaatsvindt, wordt het water met de neerslagen afgevoerd. Er ontstaan dan wel neerslagen op de pomp en in de terreinleidingen, maar nog geen verstopping van de filterspleten. Pas als de onttrekking wordt stopgezet, of er wordt regelmatig geschakeld, of buurputten gaan schakelen, dan kunnen zich neerslagen in de filterspleten vormen. Als er eenmaal een begin van verstopping van de filterspleten is ontstaan, dan neemt de verstopping snel toe.

grensvlak De verstopping van het putfilter begint op het grensvlak tussen beide typen grondwater. IJzerrijk dieper water stroomt omhoog en komt op het grensvlak in contact met zuurstofhoudend water. Bij het mengen van de watertypen kunnen neerslagen ontstaan. Tijdens stilstand kan zuurstofrijk water van boven naar beneden stromen en in het diepere deel van het filter infiltreren, waardoor ook menging ontstaat. Zodra het putfilter daar verstopt is, zal het toestromende grondwater afbuigen en naast de verstopping de pompput binnentreden met het gevolg dat na enige tijd ook daar verstopping optreedt. Dit betekent dat de verstopping zich in de loop van de tijd over het hele putfilter zal uitbreiden.

vorming van aluminiumhydroxiden

kalkloze grond Onder invloed van antropogene (door mensen veroorzaakte) zure depositie (SO_2 , NO_x , NH_3) ontstonden in kalkloze zandgronden onder bosgebieden lage pH-waarden en mede daardoor hoge concentraties aluminium. Deze effecten zijn het sterkst in ondiep grondwater en nemen met de diepte af. Onder invloed van de onttrekking zal het grondwater in horizontale richting naar de pompput stromen. In de pompput zal het zure ondiepe grondwater zich mengen met het minder zure diepe grondwater. Door deze menging kunnen in de filterspleten aluminiumhydroxiden neerslaan:



De verstopping begint ook hier op een bepaalde plaats en zal zich in de loop van de tijd eveneens over het hele putfilter uitbreiden.

vorming van kalkafzettingen

Putverstopping door accumulatie van overwegend kalkneerslag is tot nu toe in Nederland niet aangetroffen.

locatie verstopping

**neerslag buiten-
zijde pompput** Op foto's van getrokken putfilters zien we dat de neerslag ook aan de buitenzijde van het putfilter aanwezig is. Als er eenmaal initiële neerslagen zitten op de filterspleten of er zijn ijzer- en mangaanoxiderende bacteriën aanwezig, dan kan de vorming van neerslagen zich snel uitbreiden in de omstorting en zelfs buiten de put. De bedrijfsvoering speelt een belangrijke rol bij het initiëren van verstopping. Zolang constante onttrokken wordt kan zich op het filter geen neerslag vormen.

kortsluitstroming Het water, dat na uitschakelen van de pomp de afpompingsrechter opvult, stroomt op twee manieren toe: voor een deel zijdelings vanuit de formatie en voor een deel opwaarts vanuit de pompput via de omstorting. Als de opvulling vanuit de pompput naar verhouding groot is, zal de trechter worden gevuld met uit grotere diepte komend ijzerrijk water in een aeroob milieu. Na inschakelen van de pomp komt met het zakken van de grondwaterspiegel zuurstofrijk grondwater bij het putfilter. Zodoende vindt menging plaats, waardoor ook aan de buitenzijde van de pompput neerslag kan ontstaan.

herkenning verstopping van filterspleten

Verstopping van de filterspleten herkennen we aan:

- toename van de intreeweerstand. Als het waarnemingsfilter zich ter hoogte van de verstopping van het putfilter bevindt, is de waarde van de intreeweerstand vergelijkbaar met de waarde van de afpompings
- chemische samenstelling van het onttrokken grondwater. Het onttrokken water bevat zuurstof en ijzer, mangaan en/of methaan (redox-reacties) of een hoge concentratie aluminium. Omdat het ruwwater een mengsel is van verschillende typen water zijn de concentraties van ijzer (zie Foto 15-1), mangaan (Foto 15-2) en methaan zo laag dat we deze stoffen soms moeilijk kunnen detecteren. Als we door meting vaststellen dat er nitraat in het ruwwater zit, dan bevat het onttrokken grondwater gewoonlijk ook zuurstof

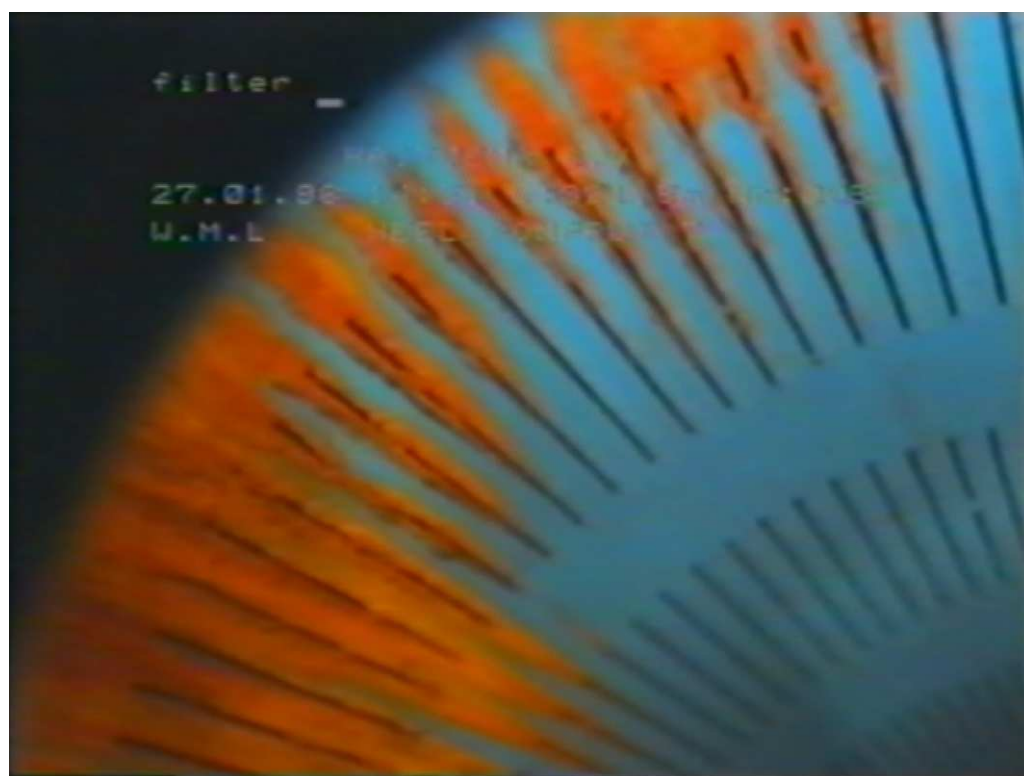


Foto 15-1 Verstopping van de filterspleten door ijzerneerslag (M. Juhász, WML)

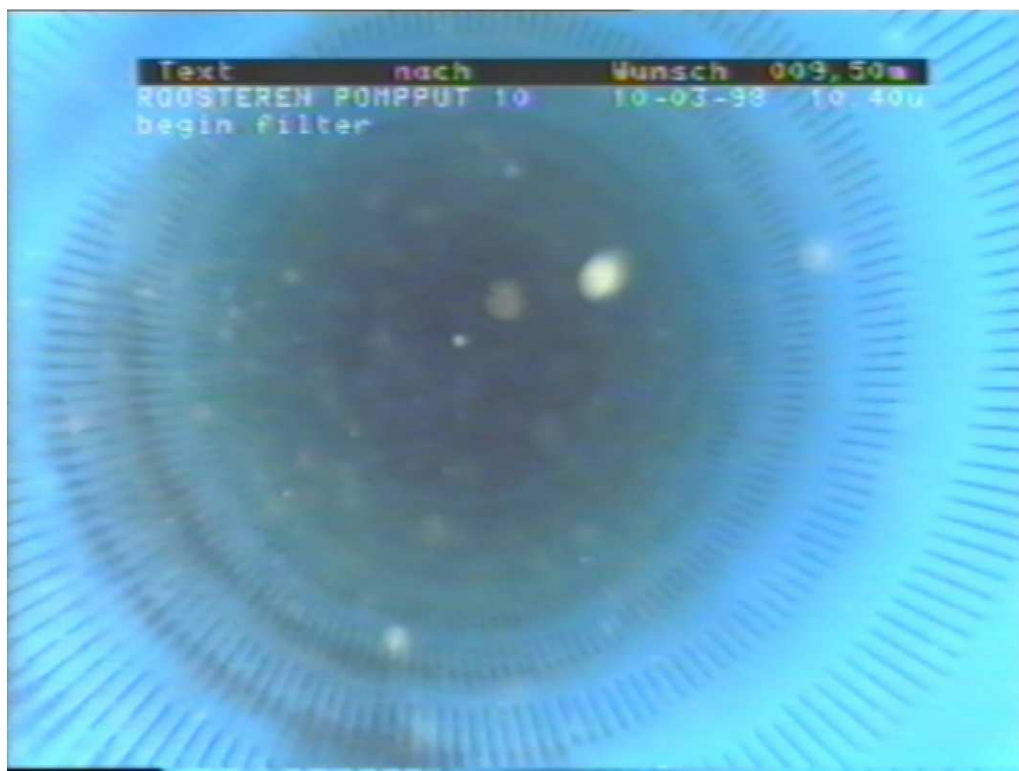


Foto 15-2 Verstopping van de filterspleten door neerslag van mangaan (M. Juhász, WML)

- neerslag in de onderwaterpomp, stijgbuis en terreinleidingen. De vorming van neerslag blijft niet beperkt tot de filterspleten, maar kan ook voorkomen in de rest van de pompput en het leidingsysteem. Onderwaterpompen bijvoorbeeld kunnen volledig door afzetting van ijzerhydroxiden en mangaanoxiden zijn vervuild en met biomassa of -slijm zijn bedekt. Met een onderwatercamera kunnen we vaststellen dat de filterspleten soms volledig zijn verstopt
- freatische winning. De menging van zuurstofhoudend en zuurstofloos water vindt plaats bij freatische winningen. Bij diepere winningen onder een afsluitende kleilaag wordt in Nederland geen zuurstofhoudend grondwater aangetroffen. Incidenteel komen we chemische neerslagen tegen bij diepe putten. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen:
 - de afpomping in de put is zo groot dat de pomp 'lucht hapt', hierdoor komt er zuurstof bij het zuurstofloze water
 - er zit een lek in de stijgbuis, of een koppeling, of in de putkelder, waardoor ondiep, zuurstofhoudend water in put pompput kan stromen.

Als deze waarnemingen alle vier voorkomen en elkaar bevestigen, dan is onze diagnose goed. Als de waarnemingen elkaar tegenspreken dan kunnen we niet zonder meer een juiste diagnose stellen.

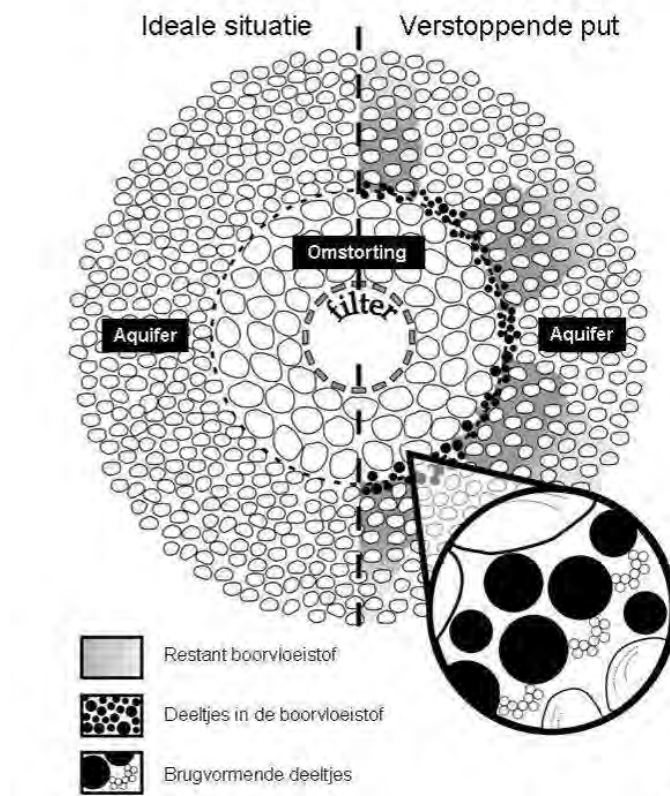
bedrijfsvoering

Bij chemische verstopping is vlak draaien gewenst; probeer zo weinig mogelijk te schakelen.

15.3.2 Deeltjesverstopping

Deeltjesverstopping speelt op de boorgatwand, dit is het grensvlak tussen de omstorting en de aquifer. Dit type verstopping werd ook wel mechanisch verstopping genoemd. Dit

Deeltjes	type verstopping wordt veroorzaakt door deeltjes in het grondwater die de poriën in het zandpakket in de buurt van de put blokkeren. Deeltjes zijn niet opgelost, maar als “suspensie” aanwezig en hebben een significante massa en grootte. Uit deeltjestellingen aan onttrokken water weten we dat er een piek in het aantal deeltjes ontstaat na het aanzetten van de put, daarna neemt het aantal deeltjes snel af tot een min of meer stationaire waarde. In alle bemeten putten worden deeltjes aangetroffen, zowel in verstoppende als in niet verstoppende putten.
Boorgatwand	Deeltjesverstopping ontstaat nabij de boorgatwand, hiermee bedoelen we de plaats waar het watervoerend pakket overgaat in de aangebrachte omstorting. Tijdens het boren van een put moet het boorgat open gehouden worden, hiervoor wordt boorspoeling gebruikt, zie paragraaf 11.1.2. Na het inbouwen van de put moet een put ontwikkeld worden om de boorspoeling weer zoveel mogelijk te verwijderen, zie paragraaf 11.6. Als de boorspoeling niet of slecht verwijderd is, ontstaat er een zone waarin een deel van de poriën al slecht toegankelijk is en waarin deeltjes snelle zullen worden afgevangen. Hiermee wordt putverstopping al geïnitieerd tijdens de aanleg van de put.
Brugvorming	Naast de filtrerende werking van achtergebleven spoeling, blijven deeltjes ook ‘hangen’ doordat er bruggen worden gevormd in nauwe poriën. Deze brugvorming zal toenemen naarmate deeltjes dichter bij de boorgatwand komen. De volgende factoren spelen een rol bij het vormen van bruggen: - hoeveelheid deeltjes (concentratie) - stroomsnelheid (aanvoer) - aspect ratio (grootte van de deeltjes in relatie tot de poriegrootte, bepaald door het watervoerende pakket) - het soort deeltje (vorm, lading, vervormbaarheid) - stroom geometrie (radiale stroming of lineaire stroming)



Figuur 15-7 Brugvorming bij verstoppende put

Tijdens een periode van onttrekking accumuleren deeltjes op de boorgatwand. Onder invloed van de kracht van het aanschakelen van een put worden deeltjes weer in beweging gebracht. Dit gebeurt zowel bij verstoppende als bij niet verstoppende putten. Blijkbaar is een startende pomp instaat een bepaald aantal deeltjes te mobiliseren. Als tijdens de onttrekking gemiddeld meer deeltjes zijn geaccumuleerd dan tijdens het starten van de pomp kunnen worden vrijgemaakt, dan zal de put beginnen te verstoppelen. Andersom, als er minder deeltjes zijn geaccumuleerd, dan een startende pomp kan mobiliseren, zal geen deeltjesverstopping optreden. Deeltjesverstopping kan dus voorkomen worden door voldoende schakelen van de put. Merk op dat deze preventiemethode tegengesteld is aan die voor chemische verstopping; bij chemische verstopping is juist een continue onttrekking van belang.

15.3.3 Uitzonderingen en lokale omstandigheden

In voorgaande paragrafen hebben we de belangrijkste vormen van putverstopping beschreven. Door lokale omstandigheden en bijzondere constructies komen er in de praktijk ook allerlei andere vormen van putverstopping voor. Deze verstoppingen hangen vaak samen met de geologie, hydrologie en chemie ter plaatse van het puttenveld. Bij een homogene situatie op het puttenveld zullen alle pompputten in gelijke mate verstoppelen en dezelfde verstoppingsverschijnselen vertonen. Als niet alle pompputten hetzelfde gedrag vertonen moeten we op onze hoede zijn. Hieronder geven we enkele voorbeelden.

homogeen veld	<i>toevallige oorzaken</i> Als van een homogeen puttenveld één pompput een afwijkende vorm van verstopping vertoont, kunnen we dat toeschrijven aan toevalligheden, zoals een slecht uitgevoerde putconstructie.
eenzijdige putverstopping	<i>heterogene situatie</i> Als water van verschillende samenstelling uit verschillende richtingen naar een puttenveld toestroomt, hoeven niet alle pompputten (in gelijke mate) te verstoppelen en hoeven de putverstoppingen niet allemaal dezelfde oorzaak te hebben. In heuvelachtige (glooiende) gebieden bijvoorbeeld kan aeroob grondwater van de hogere delen en anaeroob grondwater van de lagere delen naar een puttenveld toestromen. Hier zitten we op een grensvlak van twee gebieden die elk op zich homogeen zijn. In dit geval begint de verstopping aan één zijde van het putfilter over de hele hoogte van het filtertraject, waarna de verstopping zich geleidelijk rondom het putfilter zal uitbreiden. Een heterogene situatie op het puttenveld kunnen we ook aantreffen in een rivierengebied, bij toestroming via stroomruggen en bij (doorboorde kleilagen in) kommen.
onder kleilaag	<i>toestroming uit bekkens of oppervlaktewater</i> In Nederland is het grondwater onder een afsluitende kleilaag over het algemeen anaeroob. Dit is echter niet het geval als aeroob oppervlaktewater zijdelings kan infiltreren, zoals dat wel voorkomt bij een bekken of een rivier waar het water geen sliblaag passeert. Ook als er tussen de onderzijde van de afsluitende kleilaag en de grondwaterspiegel lucht aanwezig is, kan het grondwater onder een kleilaag aeroob zijn.

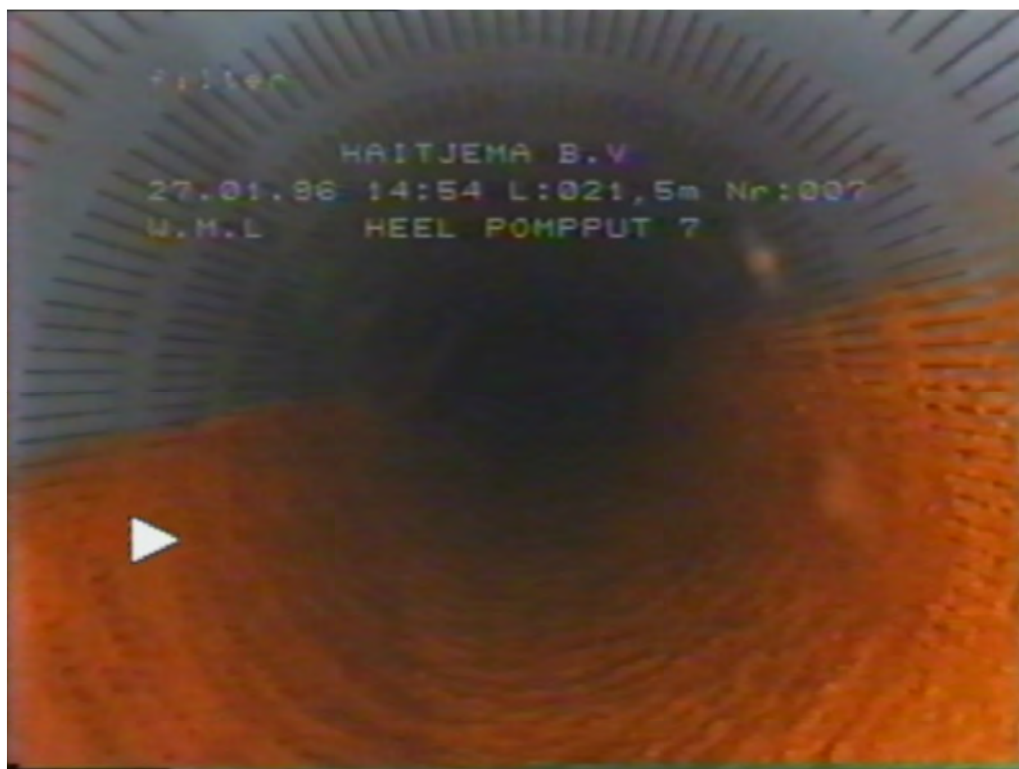


Foto 15-3 Eenzijdige putverstopping door aantrekken van water uit een bekken (Pompstation Heel, WML, M. Juhász, WML)

15.4 Overwegingen om verstopte pompputten te regenereren

Als we merken dat een pompput is verstopt, moeten we de pompput uit oogpunt van bedrijfszekerheid regenereren.

Vroeger werd een verstopte pompput soms vervangen door een nieuwe pompput. Maar ook een nieuwe pompput zal na verloop van tijd verstopt raken. Tegenwoordig wordt een verstopte pompput geregenereerd. Pas als duidelijk is dat we geen resultaat meer halen bij het regenereren van een verstopte pompput, overwegen we de bestaande pompput door een nieuwe te vervangen.

vervanging

Vervanging door een nieuwe pompput komt ook in beeld als de kosten van een nieuwe pompput lager zijn dan de kosten van regeneratie. Een bijkomende overweging om pompputten te vervangen is technische veroudering.

Voordat we een pompput regenereren moeten we van een aantal zaken een helder beeld hebben, vooral:

- doel van de regeneratie
- tijdstip van regenereren
- oorzaak van de verstopping
- toe te passen regeneratiemethode(n).

doel van de regeneratie

Regeneratie van een pompput heeft tot doel de specifieke volumestroom terug te brengen tot de referentiewaarde. Als dat niet is gelukt, is de regeneratie niet geslaagd.

Oorzaken van niet-geslaagde regeneraties zijn:

- te late regeneratie
- verstopping die niet of niet goed kan worden bereikt (hiervoor is nog geen goede oplossing voorhanden)
- onduidelijke oorzaak van de verstopping
- verkeerd gekozen regeneratiemethode
- goed gekozen regeneratiemethode die verkeerd is toegepast.

	<i>tijdstip van regenereren</i>
veroudering	We moeten steeds op tijd regenereren. In de loop van de tijd zal een gevormde chemische neerslag, die de verstopping veroorzaakt, verouderen. Als gevolg van deze veroudering zal de gevormde neerslag uitharden, waardoor we deze niet meer zo gemakkelijk kunnen verwijderen. We moeten er dus op tijd bij zijn, anders is regeneratie niet meer mogelijk. Bij deeltjesverstopping kunnen de deeltjes die de verstopping veroorzaken steeds verder verkitten, waardoor regeneraties minder effect hebben. Voor deeltjesverstopping houden we de grens van 70% aan; als de specifieke volumestroom is afgenomen tot 70% van de referentiewaarde moet geregenereerd worden.
diagnose	<i>oorzaak van de verstopping</i> Een juiste diagnose van de oorzaak van putverstopping is cruciaal. Afhankelijk van de oorzaak van de verstopping bepalen we welke regeneratiemethoden nodig zijn. Ook kan afhankelijk van het type verstopping door middel van aanpassing van de bedrijfsvoering verstopping voorkomen worden.
afwisseling	<i>toe te passen regeneratiemethode(n)</i> De kunst is die regeneratiemethode te kiezen die het beste aansluit bij de vastgestelde oorzaak van de putverstopping. Als regeneraties niet of slechts ten dele succesvol zijn verdient het aanbeveling bij de opeenvolgende regeneraties de diverse in aanmerking komende regeneratiemethoden afwisselend toe te passen.

15.5 Regeneratiemethoden

Er bestaat een groot aantal regeneratiemethoden en er zijn uiteenlopende chemicaliën beschikbaar om een pompput te regenereren. Regeneratiemethoden verdelen we in mechanische en chemische methoden. Een chemische regeneratiemethode is in feite een mechanische regeneratie waarbij we gebruik maken van chemische middelen.

Deze paragraaf bestaat uit de twee delen:

- overzicht van regeneratiemethoden
- keuze van een regeneratiemethode.

15.5.1 Overzicht van regeneratiemethoden

In deze paragraaf is een opsomming gegeven van de meest toegepaste regeneratiemethoden.

mechanische regeneratiemethoden

Gebruikelijke mechanische methoden die we tegenwoordig toepassen zijn:

1. schoonpompen. Hierbij pompen we de pompput geforceerd af; de onttrokken volumestroom is dan twee à drie keer groter dan normaal
2. borstelen. Bij deze methode borstelen we het putfilter en de putbuis, terwijl we de pompput gelijktijdig afpompen
3. hagedrukreinigen. In dit geval verwijderen we met een krachtige waterstraal het vuil van het putfilter en de filterspleten. De toegepaste druk varieert hierbij van 20 tot 200 bar



Figuur 15-8 Jetmaster; rechts in werking (foto's Carl van Rosmalen, Brabant Water)

- | | |
|--------|--|
| jutten | 4. jatten. Dit is een variant op de methode hogedrukreinigen. Hierbij roteren de nozzles/armen in tegenovergestelde richting waardoor krachtige schokgolven ontstaan die vervuiling rondom de filterspleten in beweging breng en losmaakt. |
| jutten | 6. jutteren. Bij jutteren drukken we de waterspiegel met behulp van samengeperste lucht naar beneden, waarna we de druk plotseling wegnemen waardoor het waterniveau zeer snel stijgt. Deze cyclus herhalen we een aantal keren |
| | 7. sectiegewijs schoonpompen. Hierbij onttrekken we een grote hoeveelheid grondwater aan een sectie (1 à 2 m) van het putfilter |
| | 8. sectiegewijs rondpompen. Hierbij nemen we bij een beperkte onttrekkingscapaciteit plaatselijk een verstopping (meestal in de omstorting) weg. |

Minder vaak toegepaste mechanische methoden zijn:

- | | |
|----------|--|
| | 8. de formatie rondom de putfilters bevriezen met vloeibaar koolzuur. De resultaten van deze methode zijn echter wisselend en de kans op beschadiging van de put door bevriezing is groot. |
| 'surgen' | 9. 'surgen' of 'bailen'. Met behulp van een zuiger in de pompput bewegen we het water in de formatie heen en weer. Dit noemen we 'surgen'. Als we een puls inzetten in plaats van een zuiger spreken we van 'bailen' (Olsthoorn, 1982) |
| | 10. gebruik van explosieven |
| | 11. hoogfrequent trillen (ultrasoon). |

15.5.2 Regeneratiemiddelen

De volgende regeneratiemethoden kunnen worden toegepast met toevoeging van chemicaliën:

1. hogedrukreinigen
2. jatten
3. jutteren
4. sectiegewijs rondpompen

Bij deze regeneratiemethoden gebruiken we chemische middelen; deze bestaan uit:

- | | |
|-----------------|--|
| | 1. zuren, zoals zoutzuur, citroenzuur, mierenzuur of koolzuur om de verschillende soorten neerslag, zoals ijzerhydroxide, aluminiumhydroxide en mangaanoxide, op te lossen |
| | 2. reductoren om geoxideerde verbindingen, zoals ijzerhydroxiden en mangaanoxiden, te reduceren (op te lossen) (bijvoorbeeld sodiumdithioniet) (Houben et al., 2000). Dit wordt in Nederland niet veel toegepast |
| complexvormers | 3. complexvormers (o.a. polyfosfaten) om de opgeloste metalen in oplossing te houden. Polyfosfaten passen we ook toe om kleideeltjes te dispergeren (uiteen te laten vallen). Dit wordt in Nederland niet veel toegepast |
| chloorbleekloog | 4. oxidatoren (o.a. chloorbleekloog en waterstofperoxide) voor het verwijderen van organisch materiaal, zoals biomassa. Chloorbleekloog heeft bovendien een dispergerende werking op kleideeltjes. |
| | 5. disperseermiddelen. Bentoniet kan worden verwijderd met behulp van een disperseermiddel. Hierbij wordt de verbinding tussen de kleiplaatjes verbroken, waardoor de bentoniet boorspoeling minder viskeus en deze zijn gelvormende eigenschappen verliest. Als disperseermiddel kan gebruik worden gemaakt van Aquaclear (werkende stof: polyacrylamide). Dit is een flocculatiemiddel dat vooral veel in waterzuiveringsprocessen wordt gebruikt, en biologisch afbreekbaar is. |

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

6. oppervlaktespanningverlagende stoffen
7. corrosie-inhibitoren. Dat zijn stoffen die corrosie tegengaan.

combinaties In de praktijk passen we ook combinaties van verschillende regeneratiemethoden toe. We beginnen echter steeds met een eenvoudige mechanische techniek. Als deze techniek niet voldoende effect heeft, zetten we een intensiever werkende mechanische methode in of we combineren een mechanische methode met een chemische methode.

15.5.3 Keuze van een regeneratiemethode

Om een regeneratiemethode te kiezen doorlopen we de volgende stappen:

1. de mate van verstopping vaststellen; criterium is een actuele specifieke volumestroom die lager is dan 70% van de referentiewaarde
2. de oorzaak van de verstopping vaststellen
3. de resultaten en het aanhoudende effect van eerder uitgevoerde regeneraties in samenhang met de toegepaste regeneratiemethode(n) evalueren.
4. de beschikbare methoden (met varianten) en hulpmiddelen kort inventariseren
5. bepalen welke regeneratiemethode(n) en/of regeneratiemiddel(en) kan (kunnen) worden toegepast voor de betreffende situatie
6. de voorwaarden voor de uitvoering van de regeneratie inventariseren, zoals bedrijfsvoering op het puttenveld, onderlinge afstand (beïnvloeding) van de pompputten, toegankelijkheid van het terrein, noodzaak van speciale (putkop)constructies, mogelijkheden om gebruikte chemicaliën te lozen enzovoort
7. belasting voor het milieu en kosten van de regeneratiemethoden met elkaar vergelijken
9. regeneratiemethode definitief kiezen.

15.6 Uitvoering van de regeneratie

In deze paragraaf bespreken we hoe we in de praktijk een putregeneratie uitvoeren. Bij de keuze en de uitvoering van de regeneratiemethode moeten we onderscheid maken tussen verstopping van de filterspleten en verstopping op de boorgatwand.

stroomschema's Figuur 15-9 geeft een stroomschema voor het uitvoeren van de regeneratie.

In deze paragraaf schenken we aandacht aan de volgende onderwerpen:

- regeneratie van chemisch verstopte putten (verstopping putfilter)
- regeneratie mechanisch verstopte putten (verstopping boorgatwand)
- overige regeneratiemethoden
- metingen en waarnemingen.

15.6.1 Regeneratie chemisch verstopte putten

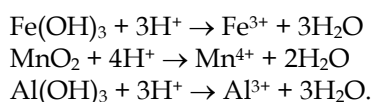
Een verstopping van het putfilter is gemakkelijk toegankelijk en daardoor goed te regenereren.

Gewoonlijk beginnen we met een mechanische behandeling. Deze bestaat uit borstelen of hoge drukreiniging (waterjetting), al dan niet gecombineerd. Tijdens deze handelingen pompen we de pompput af om het losgemaakte vuil uit de pompput te verwijderen. Op deze wijze worden de chemische neerslag (ijzer, mangaan, aluminium) en biomassa aan de binnenzijde van de stijgbuis en het filter effectief verwijderd.

Borstelen heeft echter geen effect op verstoppingen die zich buiten het putfilter in de omstorting of bij de boorgatwand bevinden. Hogedrukreiniging heeft enig effect op verstopping in de omstorting, maar hiermee kunnen we de verstopping niet effectief verwijderen. Een borstel raakt alleen de binnenkant van een filter en de mechanische actie van een waterstraal is vrijwel direct uitgewerkt buiten het filter door afbuiging van de stralen op de randen van de filterspleten en op de grindkorrels van de omstorting. Door het aantal omwentelingen per minuut te verkleinen, kan een betere verwijdering van de verstopping worden verkregen.

zuur Om het laatste vuil, ook in de pompput, en de afzettingen aan de buitenzijde van het putfilter te verwijderen zetten we de pompput in het zuur, waardoor de aanwezige neerslag (grotendeels) zal oplossen. Bij de keuze van de chemicaliën moeten we onder meer op het materiaal van het putfilter letten. Moderne pompputten bestaan uit pvc, dat nagenoeg inert is voor chemicaliën, wat echter niet het geval is voor (oude) pompputten met koperen of houten filters.

Onder invloed van het zuur vinden de volgende reacties plaats:

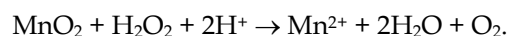


Let wel, dat we voor het verwijderen van ijzerhydroxiden geen waterstofperoxide maar een zuur gebruiken. Gebruik van waterstofperoxide kan wel effectief zijn als ook biomassa een belangrijke oorzaak is van de verstopping (biologische verstopping), of wanneer mangaanoxide een rol speelt.

koolzuur De verspreiding van het zuur moeten we beperken tot de filterspleten zelf (en de eerste centimeters van de omstorting); het zuur mag het watervoerende pakket niet bereiken. Dit mag helemaal niet gebeuren als het watervoerende pakket kalk bevat. Het zuur zal namelijk de kalk oplossen, waarbij koolzuur vrijkomt. Het gevormde koolzuur zal voor een deel als gas via de pompput ontwijken. Een ander deel zal in de poriën van de formatie achterblijven, waardoor de toestroming van het water naar de pompput zal worden belemmerd. De gevormde gasbellen zullen echter (langzaam) in het water oplossen en zo geleidelijk aan verdwijnen. Als het zuur verder de formatie binnendringt, zal de pH-waarde toenemen, waardoor de opgeloste kalk weer kan neerslaan (Treskatis en Leda, 1998).

bijmengingen De gevormde soorten neerslag zijn in chemisch opzicht niet zuiver, omdat ze doorgaans allerlei bijmengingen bevatten. Als we er niet in slagen na de eerste chemische behandeling de specifieke volumestroom terug te brengen tot de referentiewaarde, dan moeten we de verstopte pompput met een ander chemisch middel behandelen. Zo lost mangaanoxide niet goed op in zuur, maar wel in waterstofperoxide (H₂O₂). Als we een

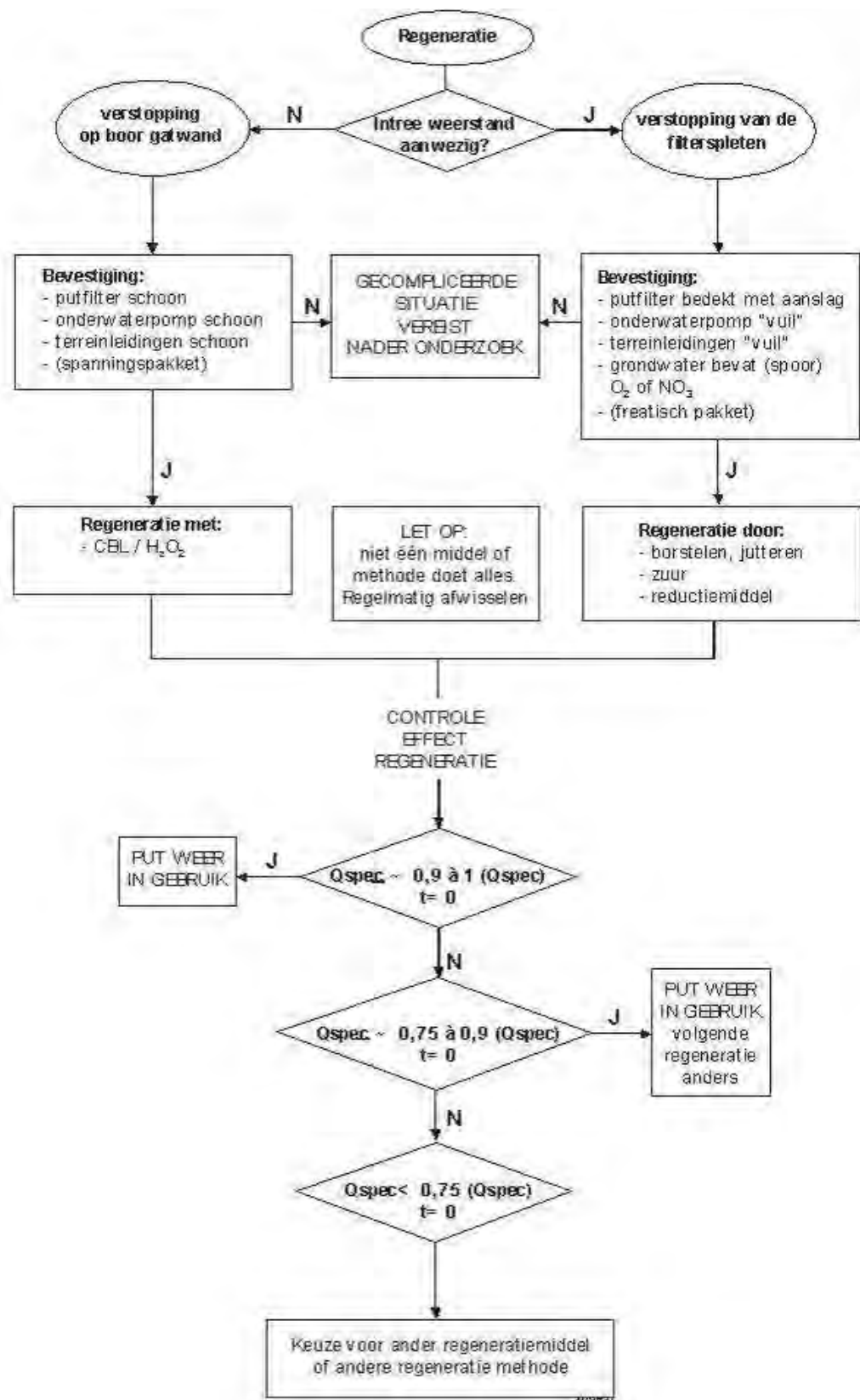
behoorlijke bijdrage van mangaanoxide verwachten verdient het aanbeveling de pompput nog een keer met waterstofperoxide te behandelen:



nagroeï

Het gebruik van organische zuren raden we af omdat de kans op bacteriologische nagroeï dan groot is.

Als zich chemische neerslagen hebben gevormd in de omstorting, of zelfs in het onttrekkingspakket, zal het moeilijker zijn om een put te regenereren. Met de huidige regeneratiemethoden zijn dergelijke verstoppingen niet te verwijderen.

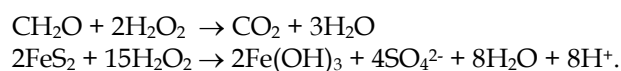


Figuur 15-9 Stroomschema uitvoering regeneratie.

15.6.2 Regeneratie putten deeltjesverstopping

Regeneratie van verstopte pompputten, waarbij sprake is van verstopping op de boorgatwand, is lastig, omdat de verstopping moeilijker te bereiken is en de oorzaak van de verstopping minder eenvoudig is vast te stellen. Vaak biedt alleen gebruik van chemische hulpmiddelen uitkomst.

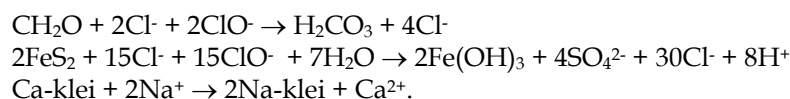
richtlijn	De beste methode voor een goede verwijdering van putverstopping op de boorgatwand is een combinatie van jutteren en het gebruik van chemische oxidatiemiddelen. Bij mechanische putverstopping speelt bij de keuze voor een regeneratiemiddel milieubelasting een belangrijke rol samen met eerdere ervaringen. Vaak wordt daarom eerst geregenereerd met waterstofperoxide, indien dit niet het gewenste effect heeft wordt de regeneratie nogmaals uitgevoerd met chloorbleekloog.
oxidatiemiddel	Een veel toegepaste methode is om een oxidatiemiddel (waterstofperoxide of chloorbleekloog) aan het water in de pompput toe te voegen en dit met behulp van een hoeveelheid water door de omstorting heen tot op de boorgatwand te brengen.
jutteren	Om ervoor te zorgen dat het middel goed contact met de verstopping maakt, gaan we de pompput jutteren. Tegelijkertijd voegen we een kleine volumestroom water toe, zodat het middel zeer langzaam de verstopping 'passeert'.
waterstofperoxide	Van beide chemicaliën heeft waterstofperoxide uit milieuhygiënisch oogpunt de voorkeur. Het oplossen van organisch materiaal en sulfiden door waterstofperoxide kunnen we als volgt uitschrijven:



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

chloorbleekloog	Daarom behandelen we de pompput in ernstige gevallen van verstopping of als de werking van waterstofperoxide onvoldoende is toch met chloorbleekloog ondanks de milieubelasting die deze stof met zich meebrengt. Chloorbleekloog heeft ten opzichte van waterstofperoxide ook het voordeel dat het dispersie van kleideeltjes bevordert, waardoor deze deeltjes met water een suspensie vormen.
-----------------	--

De chemische reacties die optreden kunnen we als volgt uitschrijven (chloorbleekloog bestaat uit een equimolair mengsel van chloride en hypochloriet):



Na regeneratie van een pompput met chloorbleekloog kan het onttrokken grondwater tijdens het schoonpompen van de pompput nog restanten chloor bevatten. Deze vloeistof moeten we eerst neutraliseren voordat we deze lozen.

zorgvuldig	Wees zorgvuldig bij het aanmaken van een oxidator/zuur. Zorg er altijd voor dat de geconcentreerde oplossing aan het verdunningswater wordt toegevoegd. Voeg dus nooit water bij de geconcentreerde oplossing ('water op zuur komt u duur').
------------	--

dosering

Voor een goede verwijdering van putverstopping op de boorgatwand dient als uitgangspunt het equivalent van circa 20 liter chloorbleekloog ($\equiv$ 20 liter 7% H_2O_2 -oplossing) per meter filter te worden gedoseerd. Afhankelijk van de diepte en de diameter moet dit worden aangepast. Onderstaande tabel (Tabel 15-1) geeft een overzicht van hoeveelheid regeneratiemiddel (per meter filter) dat in de praktijk wordt toegepast.

Tabel 15-1 Doseertabel regeneratiemiddelen (praktijk bij Brabant Water).

Boorgat-diameter (mm)	Hoeveelheid (liter) regeneratiemiddel per meter filter		
	Chloorbleekloog (15%)	H_2O_2 (35%)	H_2O_2 (7%)
500	15-20	15-20	75-100
600	20-25	20-25	100-125
700	25-30	25-30	125-150
800	30-40	30-40	150-200

- Opm. 1 Om 'spuiters' te voorkomen dienen bij een stijgbuisdiameter kleiner dan 250 mm en bij gebruik van waterstofperoxide de hoeveelheden met een derde verminderd te worden.
- Opm. 2 Om waterstofperoxide stabiel te maken wordt er soms een kleine hoeveelheid zoutzuur toegevoegd, per meter filter: 0,5 à 1,5 liter bij ondiepe pompputten en 0,25 à 0,75 liter bij diepe pompputten.

inwerken

Na het inbrengen dienen de chemicaliën met een berekende hoeveelheid water per meter filter tot op de boorgatwand verdrongen te worden. Daarbij wordt bij voorkeur direct enkele slagen gejutterd. De hoeveelheid water dient berekend te worden op basis van filterlengte, boorgatdiameter en gewenste verdringingsafstand tot op de boorgatwand. Aansluitend moeten de chemicaliën inwerken en wordt er gejutterd. De inwerktijd en juttertijd verschillen per bedrijf. Zie voor verschillende voorbeelden van wijze van uitvoeren van regeneraties het rapport *Regeneratie van mechanisch verstopte putten – huidige praktijk en mogelijkheden voor verbetering*, BTO 2008.035(s).



Foto 15-4 Regeneratie met chloorbleekloog, gereed maken van het regeneratiemiddel (C. van Rosmalen, Brabant Water)

15.6.3 Overige regeneratiemethoden

Hierboven beschreven we in hoofdlijnen hoe we verstoppingen van het filter en verstoppingen op de boorgatwand aanpakken. Daarbij bespraken we de gangbare regeneratiemethoden. Zoals we in de vorige paragraaf al aangaven, bestaan er veel regeneratiemethoden en regeneratiemiddelen met evenzoveel varianten. Hieronder maken we er nog een paar opmerkingen over, vooral:

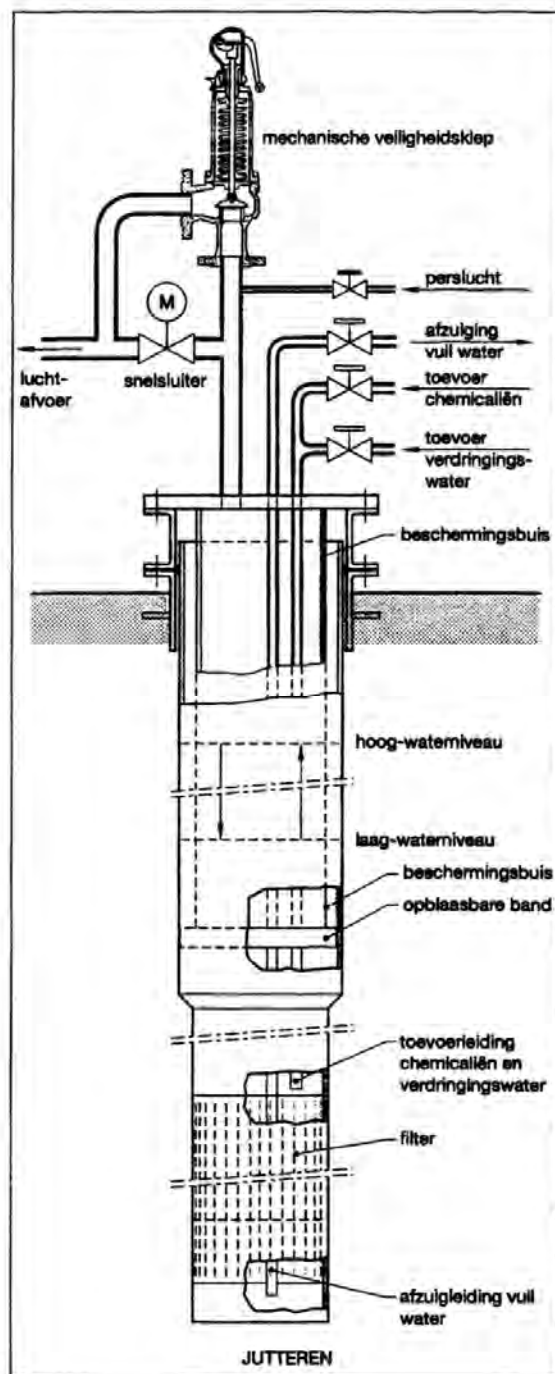
- intermitterend of sectiegewijs afpompen en jutteren
- rondpompen
- bevriezen met vloeibaar koolzuur.

intermitterend of sectiegewijs afpompen en jutteren

fijn zand, slib

Als fijn zand, slib of resten van boorspoelingshulpmiddelen de toestroming van grondwater belemmeren, kan het opvoeren van de stroomsnelheid gedurende korte tijd een remedie zijn om deze belemmering op te heffen. Het putfilter intermitterend en/of sectiegewijs afpompen levert wisselende resultaten op. Ook jutteren we de pompput wel. Bij jutteren verlagen we de waterspiegel door met perslucht het water in de pompput weg te drukken (zie Figuur 15-9). Daarna laten we de lucht in een keer ontsnappen. Afhankelijk van de diepte van het wegdrukken van de waterspiegel, ontstaat hierdoor gedurende korte een hoge stroomsnelheid.

Zoals al vermeld jutteren we ook om toegevoerde chemicaliën goed met de verstopping in contact te brengen.



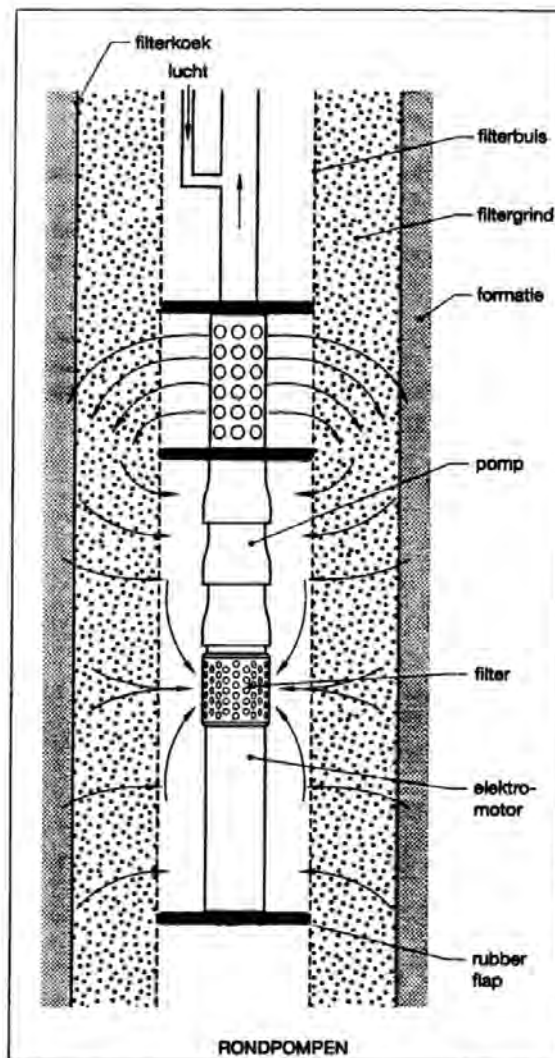
Figuur 15-10 Jutteren (SBW, 1997).

rondpompen

Voor het reinigen van het putfilter en van de filteromstorting zijn allerlei sectieapparaten met verschillende kamers (compartimenten) ontwikkeld, waarbij één kamer (de middelste) met een onderwaterpomp is uitgerust. Bij deze sectieapparaten wordt het water, al of niet met toevoeging van chemische middelen, met kracht door de omstorting en het filter rondgepompt. Om te voorkomen dat het losgemaakte vuil wordt rondgepompt, wordt vaak een deelstroom van het water afgevoerd (zie Figuur 15-10 en foto 15-5). In de literatuur zijn onder andere de 'Kieswäscher' (Paul, 1993; Berger et al.,

1992) en de 'Turbocleaner' beschreven. Momenteel is in Duitsland de Symmetrischen Doppelkolbenkammer (SDKK) populair. Bij dit sectieapparaat wordt het filter boven en onder de kamer afgesloten met extra lange flappen, waardoor het bereik tot dieper in de omstorting reikt.

Ook in Nederland wordt rondpompapparatuur toegepast. Nadeel bij alle apparatuur, waarbij de omstorting met kracht wordt behandeld, is dat de omstorting kan worden verstoord, en de pompput zand kan gaan leveren.



Figuur 15-11 Het principe van rondpompen. (SBW, 1997)

Dergelijke rondpompproducties kunnen ook worden ingezet bij het ontwikkelen van pompputten. Ook in dit geval wordt een deel van het vuile water continu verwijderd. Groot voordeel van deze werkwijze is dat de hoeveelheid te lozen water sterk wordt beperkt¹.

¹ Mededeling van Ing A.P.M. Timmermans, Westerlo Boringen, Helmond; zie ook *Boormeester I (diepboringen)*, blz. 208.



*Foto 15-5 Een sectie-rondpompapparaat gebruikt voor regeneratie .
Onderaan de pomp, bovenaan het deel waar het water terug wordt
gebracht (C. van Rosmalen, Brabant Water)*

bevrozen met vloeibaar koolzuur

Bij een aantal waterbedrijven zijn proeven gedaan met regenereren met vloeibaar koolzuur. Bij Brabant Water waren de ervaringen slecht, bij Vitens zijn wisselende resultaten behaald. De techniek is in de Nederlandse waterleidingwereld niet gangbaar.

15.6.4 Metingen en waarnemingen

Bij het uitvoeren van de regeneratie verrichten we vaak metingen en doen we waarnemingen. In alle gevallen is het noodzakelijk:

- de specifieke volumestroom te bepalen. Dat doen we voor en na iedere regeneratiestap om het effect van de regeneratie vast te stellen.

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

- flowmeting. Na vergelijking met de flowmetingen bij oplevering kunnen we zien welke filtertrajecten verstopt zijn. Omdat we de regeneratiewerkzaamheden op de

verstopte trajecten concentreren, kunnen we de putregeneratie doeltreffender uitvoeren

- bepaling van de concentratie en korrelgrootteverdeling van de deeltjes in het onttrokken grondwater en bepaling van de samenstelling van de deeltjes. Deze informatie is in het bijzonder van belang bij mechanische verstopping
- camera-inspectie om (de plaats van) een eventuele verstopping in het putfilter, een vervuiling van het filter of het effect van regeneratie te kunnen waarnemen. Een camera-inspectie voeren we uit als we vermoeden dat de oorzaak van een slecht functionerende pompput verband houdt met een (mechanische) beschadiging of een andere technische onvolkomenheid van de pompput.

15.6.5 Monitoring

Voor een goede bedrijfsvoering is monitoring van de pompputten van groot belang. De meetgegevens van de putten worden opgeslagen (vastgelegd). Het gaat om de meetgegevens uit het ontwerp, de aanleg, de exploitatie (bedrijfsvoering) en het onderhoud (inclusief regeneraties). Doel van dat vastleggen is te zorgen voor een zo efficiënt en kosteneffectief mogelijke bedrijfsvoering. Het vastleggen van al die gegevens draagt bij aan optimalisering van het putonderhoud. Daarbij wegen de meetgegevens die tijdens het regeneratieproces (of de regeneratieprocessen) zijn verkregen zwaar mee, aangezien bij veel putten een belangrijk deel van de onderhoudskosten voor rekening van de regeneratie(s) komt.

meetprotocol De ontwerpgegevens van de put en de gegevens van metingen moeten op uniforme wijze volgens een meetprotocol worden vastgelegd. Om het proces van putverstopping goed te kunnen volgen en analyseren is het belangrijk om de reguliere capaciteitsmetingen en de resultaten van regeneraties eveneens op uniforme wijze volgens een meetprotocol vast te leggen. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de van belang zijnde parameters, waarvan de (meet)gegevens worden vastgelegd, bij het ontwerp, de aanleg, de bedrijfsvoering en het onderhoud van pompputten. Dit overzicht kan als uitgangspunt dienen voor het opstellen van een meetprotocol.

15.7 Effect van de regeneratie

twee criteria Een regeneratie is geslaagd als de resultaten voldoen aan twee criteria, namelijk ten aanzien van de specifieke volumestroom en het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende regeneraties.

specifieke volumestroom

Het eerste criterium voor een geslaagde regeneratie is dat de specifieke volumestroom van de pompput na regeneratie even groot moet zijn als de specifieke volumestroom bij oplevering.

ontwikkelen In de praktijk komt het nogal eens voor dat de specifieke volumestroom na regeneratie hoger is dan bij oplevering. Dit is alleen mogelijk als de pompput bij ingebruikneming niet volledig wordt ontwikkeld. Dit effect hebben we in het bijzonder waargenomen bij pompputten met verstopping op de boorgatwand. In het uiterste geval kan dit betekenen dat de verbetering van de pompput volledig is toe te schrijven aan het (verder) ontwikkelen van de pompput, dat wil zeggen het verwijderen van de (toegepaste of natuurlijke) boorspoeling, maar dat van het verstoppende materiaal niets is verwijderd. De resultaten van regelmatig uitgevoerde flowmetingen kunnen hierover duidelijkheid verschaffen.

Als regeneratie nauwelijks effect heeft, zullen we de pompput nog een keer moeten behandelen. Als de pompput wel aanzienlijk is verbeterd, kunnen we de pompput in productie nemen.

Als regeneratie niet het gewenste effect heeft, kunnen we ons de volgende vragen stellen:

- Is de diagnose juist gesteld?
- Is de juiste regeneratiemethode gekozen?

- Is de regeneratiemethode juist toegepast?
- Hebben verschillende soorten neerslag bijgedragen aan de verstopping? Als dat het geval is, zullen we voor elk soort neerslag een specifiek regeneratiemiddel moeten toepassen. Er bestaat niet één middel waarmee alle soorten neerslagen volledig kunnen worden verwijderd.

'chronisch'
verstopt

Bij het regenereren van pompputten streven we er altijd naar de specifieke volumestroom van de pompput terug te brengen naar de referentiewaarde. Als dat bij lange na niet mogelijk is, moeten we de conclusie trekken dat de pompput 'chronisch verstopt' is en in aanmerking komt voor vervanging. Soms wordt ervoor gekozen een hardnekkig verstopte put toch in bedrijf te houden en een nieuwe (lagere) referentiewaarde te definiëren. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de totale capaciteit die het wingebied als totaal moet kunnen leveren.

Onttrekkingsregiem en schakelingen

Het onttrekkingsregiem kan invloed hebben op putverstopping. Langdurig continue onttrekking, zonder voldoende rustperiodes, kan mechanische verstopping veroorzaken. Frequent schakelen van een put kan mechanische verstopping verminderen. De klap die een schakeling veroorzaakt kan verstoppende deeltjes op de boorgatwand losmaken. Om inzicht te krijgen in de oorzaken van verstopping, en mogelijke oplossingen, is het goed om het debiet en de schakelingen per pompput te registreren. Let op: bij chemisch verstoppende putten wordt aangeraden juist zo gelijkmatig mogelijk te onttrekken en dus niet te schakelen.

15.8 Veiligheid en milieu

Regeneratie van pompputten is voor de uitvoerders niet zonder gevaar. Vaak werken ze met grote (lucht)drukken en met chemische stoffen die agressief en gevaarlijk zijn. Ook kunnen de chemische stoffen bodem- en grondwaterverontreiniging veroorzaken. In deze paragraaf noemen we maatregelen en mogelijkheden om:

- veilig te werken
- het milieu te ontzien.

15.8.1 Veilig werken

chloorgas

We wijzen nadrukkelijk op de noodzaak veilig met apparatuur en met chemische regeneratiemiddelen om te gaan. Als we onoordeelkundig omgaan met chloorbleekloog kan er chloorgas vrijkomen en bij waterstofperoxide kan door snel ontleden (contact met vervuiling) een geiser ontstaan.

zorgvuldig

Wees zorgvuldig bij het aanmaken van een oxidator/zuur. Zorg er altijd voor dat de geconcentreerde oplossing aan het verdunningswater wordt toegevoegd. Voeg dus nooit water bij de geconcentreerde oplossing, want 'water op zuur komt u duur'. Berucht is het ophopen van gassen in een putkelder. Vooral tijdens het regenereren moeten we deze ruimtes niet betreden of we gaan er alleen naar binnen als we strenge voorzorgsmaatregelen hebben genomen.

15.8.2 Milieu ontzien

spoelwater

Bij het gebruik van chemische middelen ontstaan tijdens het regenereren reststoffen die in het spoelwater terechtkomen. Omdat we meestal binnen een beschermingsgebied werken verdient het verwerken van het gebruikte spoelwater extra aandacht. Bij lozing op oppervlaktewater moeten we ons houden aan de eisen die de waterkwaliteitsbeheerder stelt. Als er een riolering aanwezig is kunnen we het gebruikte spoelwater daarop lozen, mits we daarvoor een vergunning hebben. Wat moeten we doen als er in de wijde omtrek van een pompput geen riolering aanwezig is? We mogen alleen op het maaiveld lozen als het spoelwater nog slechts sporen van de chemicaliën bevat. Als het mogelijk is lozen we het spoelwater, na neutralisatie, op de spoelwateropvang van het pompstation.

Om het milieu zoveel mogelijk te ontzien verdient het aanbeveling:

- de hoeveelheid regeneratiemiddel te beperken
- een chemisch middel te gebruiken dat het milieu zo weinig mogelijk belast (waterstofperoxide in plaats van chloorbleekloog)
- het aantal regeneraties met chemicaliën te minimaliseren
- zoveel mogelijk een techniek te kiezen waarbij geen chemicaliën worden gebruikt (borstelen, spuiten, jutteren).

voorschriften	Voorschriften op het gebied van milieubescherming bij het regenereren van pompputten zijn in Duitsland al dwingend vastgelegd in de DVGW-richtlijn W 130. In deze voorschriften worden ter bescherming van de grondwaterkwaliteit (toxicologische) eisen gesteld aan bijvoorbeeld regeneratiemiddelen en aan eventuele restproducten die na regeneratie in de bodem achterblijven.
Kiwa-Attest	Voor een aantal chemische regeneratiemiddelen is een Kiwa-Attest afgegeven. De betreffende middelen en merknamen zijn genoemd in het Jaarboek voor de Waterleiding in Nederland (VEWIN-uitgave). Het genoemde Kiwa-Attest is het Attest op Toxicologische Aspecten, dat alleen betrekking heeft op deze aspecten. Het Attest zegt niets over de geschiktheid van het betreffende middel als regeneratiemiddel.
certificering	Certificering van deze chemicaliën is zinvol. Dat blijkt uit een voorbeeld uit Amerika waar 'technisch' zoutzuur exact dezelfde samenstelling (inclusief zware metalen) had als de veel duurdere 'food grade'-kwaliteit (Sukkestead, 1993).

15.9 Preventie van putverstopping

Van het totale aantal puttenvelden (cq pompputten) in Nederland:

- verstopt 1/3 door verstopping van de filterspleten
- verstopt 1/3 door verstopping op de boorgatwand
- heeft 1/3 geen last van verstopping.

Preventie van putverstopping richt zich dus op de eerste twee situaties. Omdat putverstoppingen de wateronttrekking verstoren en de waterproductie duurder maken zouden we putverstopping het liefst willen voorkomen. De meeste pompputten hebben na verloop van tijd echter last van verstopping. Het optreden van putverstopping hangt samen met de geohydrologische en geohydrochemische eigenschappen van het watervoerende pakket waaraan het grondwater wordt onttrokken. Deze eigenschappen kunnen we niet beïnvloeden. Ook de bedrijfsvoering heeft invloed. Door de juiste bedrijfsvoering kunnen we putverstopping soms toch voorkomen of vertragen.

In deze paragraaf bespreken we uiteenlopende manieren om de verschillende verstoppingsprocessen tegen te gaan, te weten:

- putaanleg en -afwerking
- gescheiden onttrekking
- desinfectie pompput
- ondergrondse ontijzering
- gelijkmatige onttrekking (bedrijfsvoering)
- schakelen van de pompput (bedrijfsvoering)
- belasting aanpassen (bedrijfsvoering)
- optimaal putontwerp.

Tot slot staan we stil bij niet-verstoppende pompputten.

ontwikkelen	<i>putaanleg en -afwerking</i> Na afwerking van de pompput is het belangrijk dat we de pompput optimaal ontwikkelen. Daarbij pompen we de pompput sectiegewijs af. Dit is een techniek die waterleidingbedrijven veel toepassen. In de Duitse literatuur wordt het ontwikkelen van een pompput aangeduid met 'Entsanden' (DVGW, 1992). Het is van belang dat we
-------------	--

eventuele restanten van boorspoeling direct na de aanleg verwijderen, bijvoorbeeld met behulp van chemische middelen als chloorbleekloog of waterstofperoxide (Van Beek & Sprong, 1983).

gescheiden onttrekking

Chemische verstopping wordt veroorzaakt door menging van verschillende typen water. Als we menging zouden voorkomen of als we deze vooraf op een bepaalde manier zouden laten verlopen, zouden we het verstoppingsproces kunnen voorkomen, of vertragen. De meest voor de hand liggende mogelijkheid is de verschillende watertypen gescheiden te onttrekken.

binnenbuis

Het zuurstofbevattende bovenste grondwater en het ijzer- en/of mangaanbevattende diepere grondwater zouden we zodanig kunnen onttrekken dat menging van beide typen water in het putfilter wordt tegengegaan. Een dergelijke gescheiden onttrekking kan met een binnenbuis in het putfilter worden uitgevoerd (Van Beek, 1982). Een soortgelijke manier om putverstopping te vertragen is toegepast in een groot aantal ondiepe vacuümputten in de duinen bij Castricum. Daarbij is halverwege het putfilter een haalbuis op het filter aangesloten. Op deze wijze wordt het grondwater halverwege het putfilter onttrokken, waardoor het zuurstofbevattende water in het putfilter gedwongen wordt naar beneden te stromen en het ijzerbevattende water naar boven (Peters et al., 1992, 1990). De menging vindt dus voornamelijk plaats in de haalbuis en de terreinleidingen. De mate van menging in de pompput is afhankelijk van de positie van de aansluiting van de haalbuis op het putfilter ten opzichte van de ligging van het grensvlak tussen zuurstofbevattend en ijzerbevattend grondwater in het watervoerende pakket. Door deze constructie zal er voornamelijk neerslag worden gevormd in de haalbuis en de terreinleidingen. Voordeel hiervan is dat we de neerslag op deze plaatsen veel eenvoudiger kunnen verwijderen dan in de pompput en dat de verwijdering minder kostbaar is.

desinfectie pompput

In het verleden is getracht putverstopping door biomassa (biologische / biochemische verstopping) te voorkomen door de pompput regelmatig te desinfecteren. De pompputten werden gedesinfecteerd met behulp van een periodieke behandeling met chloor en in de voormalige DDR met behulp van een stralingsbron (gammastraling) in het putfilter (Wissel et al., 1985). Maar desinfectie is niet altijd effectief. Ook Moser (1978) toonde dat aan. Het spreekt vanzelf dat desinfectie alleen effectief is als de oorzaak van de verstopping van biologische aard is.

ondergrondse ontijzering

aerobe
verstopping

Bij chemische putverstopping kan in bepaalde situaties ook van ondergrondse ontijzering een preventieve werking uitgaan. Bij ondergrondse ontijzering wordt zuurstofhoudend water rond de pompput geïnjecteerd. Als het onttrokken water vrijwel geen ijzer meer bevat is verstopping van het putfilter door ijzerhydroxide immers minder aannemelijk. Ondergrondse ontijzering is echter niet altijd haalbaar wegens bezwaren van technische en wettelijke aard (er wordt geen vergunning verleend).

gelijkmatige onttrekking (bedrijfsvoering)

Gelijkmatige onttrekking van grondwater, zonder al te veel putschakelingen, heeft een gunstig effect heeft op het voorkomen van chemische putverstopping en zandleveren. In Duitsland heeft men goede ervaring met probleemloze 'Dauerläufer' (Moser, 1978). Voor het voorkomen van deeltjesverstopping is frequent schakelen juist gunstig.

kortsluitstroming

Een tweede pleidooi voor gelijkmatige onttrekking is dat tijdens stilstand van een pompput, vooral bij gedeelde putfilters, kans bestaat op kortsluitstroming en chemische reacties door menging van verschillende watertypen. Deze vorm van putverstopping kan alleen optreden als de stijghoogte van het grondwater in de watervoerende pakketten onderling verschillen.

Door de pompputten beter over het puttenveld te spreiden en/of de putdebieten te

afpompings-
trechter verkleinen kunnen we ervoor zorgen dat de afpompingsstrecther ter plaatse van een pompput of puttenveld minder diep wordt. Daardoor neemt de kans af dat watertypen die sterk van elkaar verschillen zich met elkaar mengen.

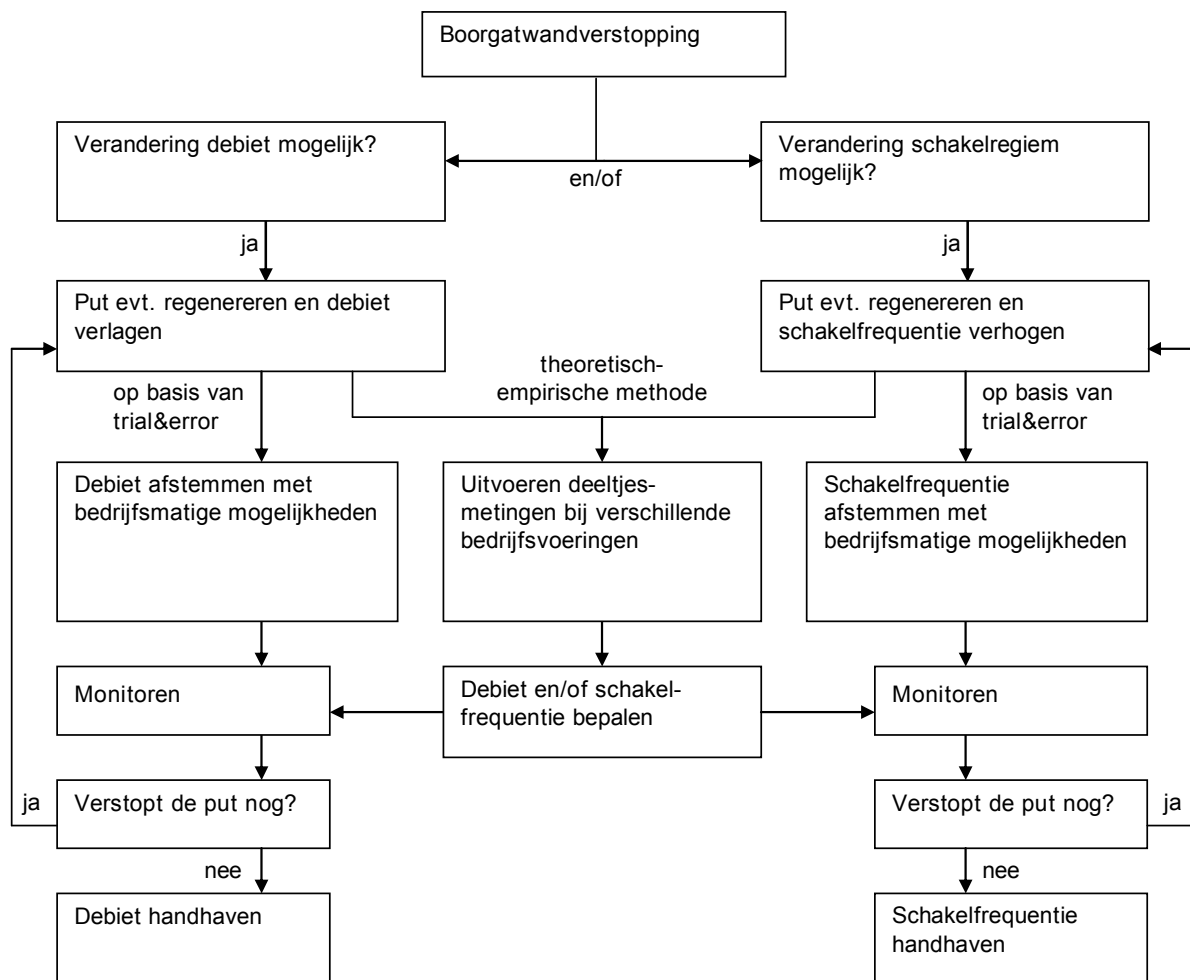
schakelen van de pompput (bedrijfsvoering)

Het schakelen van pompputten kan leiden tot het vertragen, voorkomen of zelfs verminderen van mechanische verstopping van de putten. We kennen voorbeelden van putten die bij een beperkt aantal schakelingen per dag verstoppingsvrij zijn, terwijl ze bij continubedrijf wel verstopping. Metingen tonen aan dat schakelen veel deeltjes vrijmaken. Er is geen standaard schakelregime dat bij alle puttenvelden werkt. Door 'trial and error' of op basis van analyse van het verstoppingsprobleem (deeltjesmetingen, relatie tussen bedrijfsvoering en verstopping) kan worden uitgezocht wat het optimale schakelregime is. Voorbeelden van schakelschema's worden gegeven in het rapport *Checklist schakelen*.

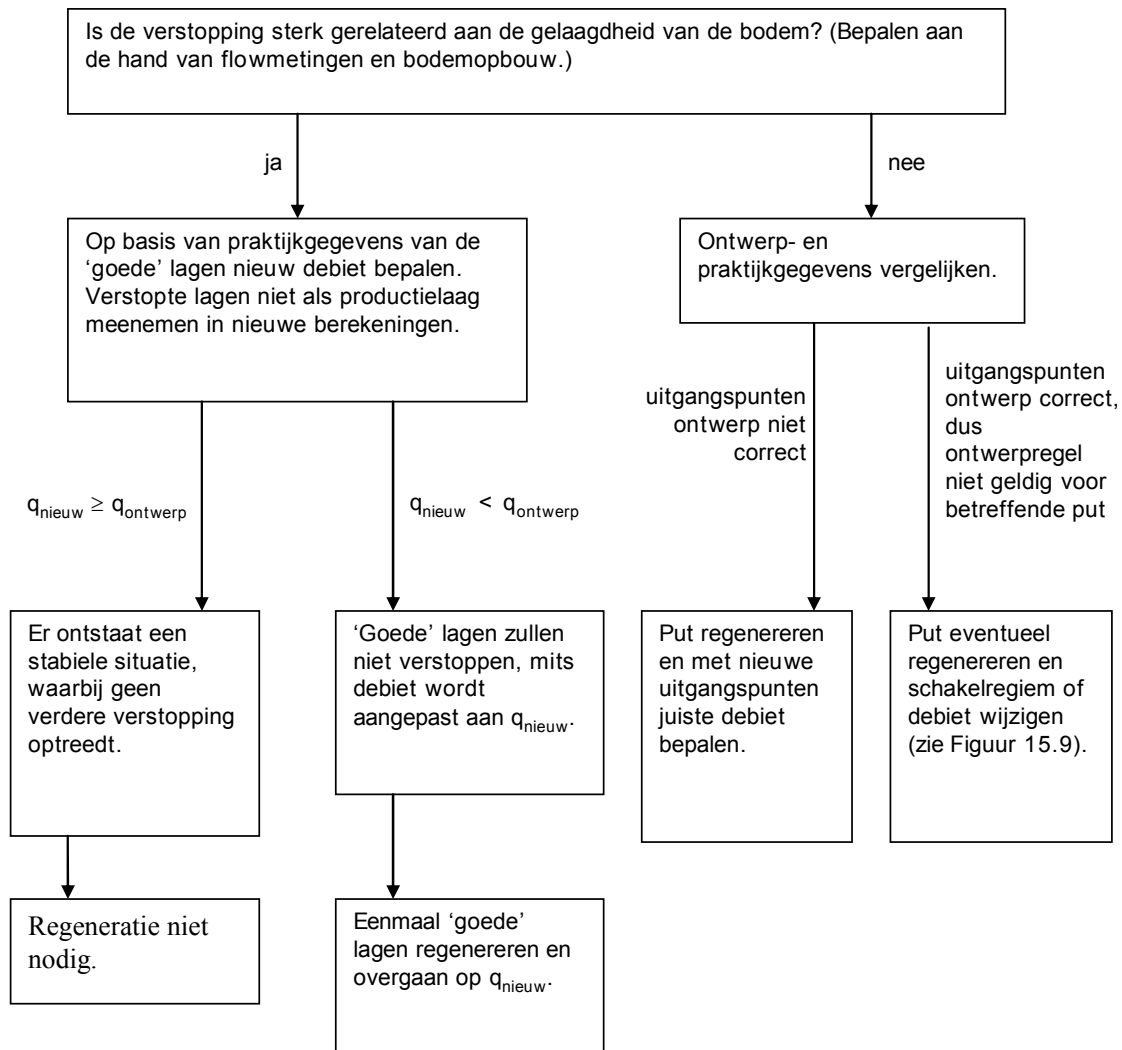
debiet aanpassen (bedrijfsvoering)

debietverlaging Er is een relatie tussen pompdebiet en de concentratie van deeltjes in het onttrokken water. Verlaging van het debiet leidt tot minder toestroom van deeltjes, waardoor putverstopping wordt tegengegaan. Als alternatief voor schakelen kan het debiet dus worden verlaagd. In dat geval zal voor de vereiste waterlevering het aantal draaiuren verhoogd moeten worden.

Aan de hand van een schema over de aanpassing van de bedrijfsvoering (Figuur 15.11) en een stappenschema (Figuur 15.12) kan worden bepaald of en welke wijzigingen in de bedrijfsvoering noodzakelijk zijn. Bij het verminderen van het debiet moeten we wel oppassen dat niet als gevolg daarvan de putten (bijna) continu gaan draaien om toch aan de watervraag te kunnen voldoen. Om deeltjesverstopping te voorkomen blijft schakelen belangrijk. In het uiterste geval moeten extra putten worden toegevoegd aan het puttenveld om toch de vereiste capaciteit te behalen.



Figuur 15-12 Aanpassen bedrijfsvoering: debiet en/of schakelregiem.



Figuur 15-13 Invloed van de gelaagdheid van de bodem op het aanpassen van het debiet.

optimaal putontwerp

Maatregelen om mechanische verstoppingen door bijvoorbeeld accumulatie van fijn zand te beperken, liggen op het vlak van het ontwerpen van een optimale putconstructie. We kunnen dan denken aan een grotere boorgatdiameter om de toestroomsnelheid van het water op de boorgatwand klein te houden of het toepassen van een aangeliemde grindomstorting (dubbele omstorting) zodat fijn zand (korrelgrootte in de orde van 50 à 110 μm) effectief wordt tegengehouden.

Conclusie

Hoewel putverstoppingen een natuurlijke oorzaak hebben, die we op zich niet kunnen beïnvloeden, zijn er mogelijkheden putverstopping te voorkomen, (sterk) te beperken of te vertragen. Aanpassing van de bedrijfsvoering biedt die mogelijkheden, zoals een bepaald schakelregiem, continubedrijf, debietverlaging of wijziging van het aantal draaiuren.

Ondanks alle voorzorgsmaatregelen kan verstopping blijven optreden en dan is periodieke regeneratie nodig.

In Tabel 15-2 zijn de genoemde preventieve maatregelen nog eens op een rij gezet.

Tabel 15-2 Oorzaken en preventie van putverstopping.

Oorzaken	Preventie
Neerslag van ijzerhydroxide, mangaanoxiden en biomassa	• constante bedrijfsvoering • gescheiden onttrekking • ondergrondse ontijzing • periodieke desinfectie • toepassing gammastraling
Neerslag van aluminiumhydroxiden	• gescheiden onttrekking
Kalkneerslag	• in Nederland niet relevant
Neerslag van (ijzer)sulfiden en biomassa	• ondergrondse ontijzing
Ophoping van deeltjes (slib) en fijn zand	• beperking van de onttrekking • schakelen van putten

niet-verstoppen- Pompputten die niet verstoppen voldoen blijkbaar aan een aantal voorwaarden,
de pompputten te weten:

- goed putontwerp en goede putconstructie
- de pompput onttrekt geen mengwater of water dat alleen zuurstof bevat of zuurstofloos water uit freatische pakketten
- afwezigheid van mechanische verstopping, dank zij
 - grondwater dat geen deeltjes bevat
 - grondwater dat wel deeltjes bevat maar die de boorgatwand passeren
- juiste bedrijfsvoering (continubedrijf of schakelregiem).

16 Procesbewaking

In dit hoofdstuk beschrijven we alle activiteiten, behalve putregeneraties, die nodig zijn om een ongestoorde en betrouwbare levering van de grondstof (grondwater) te garanderen en om aan de wettelijke voorschriften te voldoen. Bij procesbewaking gaat het om de bewaking van de toestand van de pompputten, de verlening van vergunningen en de kwaliteit van het ruwwater.

Bij de behandeling van de volumestroom- en stijghoogtemetingen gaan we in op doel, meetinstrumenten, meetfrequentie, verwerking meetgegevens en beheer van het meetnet.

Het onderwerp procesbewaking zullen we in de volgende drie paragrafen nader uitwerken:

- volumestroommetingen
- stijghoogtemetingen
- waterkwaliteit.

samenvatting

Volumestroommetingen voeren we uit voor elke pompput afzonderlijk, de totale hoeveelheid ruwwater van het gehele puttenveld en de totale hoeveelheid reinwater die het pompstation na zuivering verlaat ('af pompstation'). Actuele debieten meten we voor de bedrijfsvoering en planvorming.

Voor de debieten ruwwater gebruikt men meestal de elektromagnetische volumestroommeter. Grondwaterstand- en stijghoogtemetingen voeren we uit in een net van waarnemingsfilters in de omgeving van de winningen. De hiermee verkregen gegevens gebruiken we om bijvoorbeeld de effecten van de waterwinning te volgen en om een zo goed mogelijk beleid te voeren. Meestal voeren we de metingen tweemaal per maand uit.

16.1 Volumestroommetingen

Volumestroommetingen voeren we uit voor:

- elke pompput afzonderlijk
- de totale hoeveelheid ruwwater van het gehele puttenveld
- de totale hoeveelheid reinwater die het pompstation na zuivering verlaat ('af pompstation').

Volumestroommetingen voeren we op drie manieren uit, namelijk door:

- meting van het actuele debiet
- meting van het totale debiet over een zekere periode
- registratie van het aantal draaiuren van de pompputten, waarbij we een constant pompdebiet aannemen.

Hieronder gaan we verder in op:

- doel van de volumestroommetingen
- meetinstrumenten (en meetfrequentie)
- verwerking meetgegevens.

16.1.1 Doel van de volumestroommetingen

De twee belangrijkste doeleinden om het actuele debiet te meten zijn:

- bedrijfsvoering
1. ondersteuning van de bedrijfsvoering, ten aanzien van onder andere:
 - procesbeheersing
 - bepaling van het rendement
 - bepaling van de piekfactor
 - vaststelling van het debiet

- bepaling van het debiet per watervoerend pakket
 - bewaking van de maximumbelasting van de zuiveringsfilters
 - bepaling van verstopping
- planvorming 2. levering van gegevens voor de planvorming, ten aanzien van de operationele, tactische en strategische bedrijfsvoering.

Het totale debiet over een zekere periode meten we om:

- de financiële zaken te regelen met de afnemers van water (afrekeningen), de provincie en de belastingdienst
- verantwoording af te leggen aan overheden in het kader van vergunningen (Rijk, Provincie, Gemeente, Waterschappen).

Niet alle pompputten zijn voorzien van een vaste (putkop)meter. Indien het grondwater hoge gehalten mangaan en/of ijzer bevat is gebruik van een mechanische putkopmeter niet mogelijk omdat door ijzer- en mangaanafzetting de meter vastloopt en geen goede meting van debiet plaatsvindt. Als alternatief wordt het aantal draaiuren van de pompputten geregistreerd.

16.1.2 Meetinstrumenten

Voor het meten van de volumestroom van het ruwwater, zowel per pompput als van het hele puttenveld, bestaan verschillende soorten meetinstrumenten, zoals mechanische watermeters, venturimeters, elektromagnetische meters en ultrasone meters. Het voert te ver om in dit kader in te gaan op de voor- en nadelen van alle mogelijke methoden. Daarom beperken we de bespreking tot de meest gebruikelijke meetmethoden en de overwegingen om ze te gebruiken.

totale volumestroom

elektromagnetische meter De totale volumestroom van het verzamelde ruwwater van het puttenveld in het zuiveringsstation meten we in de praktijk vooral met de elektromagnetische volumestroommeter. De meetwaarden kunnen we direct aflezen en continu registreren. Meetinstrumenten met inwendig draaiende delen zijn voor ruwwater minder geschikt, omdat deze eerder door het ruwwater vervuild raken en daardoor afwijkingen gaan vertonen. Dit geldt vooral bij puttenvelden waaruit water van verschillende kwaliteit wordt opgepompt, waardoor de meter gemakkelijk last kan krijgen van verstopping.

volumestroom per pompput

elektromagnetische meter Ook voor het meten van de volumestroom per pompput is de elektromagnetische volumestroommeter het geschiktste meetinstrument. Voor de incidentele metingen bij pompputten zonder vaste volumestroommeter gebruiken we bij voorkeur de mechanische watermeter. Deze watermeter heeft weliswaar inwendig draaiende delen (schoepen), maar door de korte gebruiksduur is het risico van vervuiling zeer klein.

mechanische meter De mechanische watermeters werken onafhankelijk van de elektrische-stroomvoorziening en kunnen eenvoudig via een brandslang of iets dergelijks op de pompput worden aangesloten. De haakse putkopmeter kunnen we dank zij de speciale constructie van de putkop in korte tijd inbouwen.

ijken Punt van aandacht bij al deze metingen is het ijken (afstellen) van de volumestroommeters. Daarbij worden de gebruikte meters met standaard meetmiddelen vergeleken en zodanig afgesteld dat de aanwijzingen weer binnen de gegeven nauwkeurigheidsgrenzen worden gebracht. Ook moeten we ervoor zorgen dat de meters conform de inbouwvoorschriften van de fabrikant worden gebruikt.

meetfrequentie Het totale debiet meten we over het algemeen continu. Pompputten bemeten we ook wel individueel. Als het water veel opgeloste ijzer- en mangaandeeltjes bevat kan dit bij een continue meting (van de individuele pompput) tot problemen leiden. In die gevallen

maken we op basis van het aantal draaiuren van de pomp een schatting van de volumestroom van de individuele pompput en voeren we slechts af en toe een echte meting uit. Op deze manier krijg je een indicatieve schatting van het debiet.

De draaiuren en schakelingen per put kunnen met een drukopnemer worden vastgelegd. Bij het aan en uitschakelen van een pompput daalt of stijgt de waterstand in de put sterk. Zowel draaitijd als rusttijd kunnen invloed hebben op verstopping.

16.1.3 Verwerking meetgegevens

Metingen van individuele pompputten voeren we uit ten behoeve van de bedrijfsvoering. Daarnaast krijgen we hiermee inzicht in het systeem en het zwaartepunt van de winning. We bewaren zowel de gemaakte draaiuren als de per pompput gemeten debieten.

Met het oog op de financiële afhandeling en de verantwoording die we moeten afleggen, berekenen we de onttrokken volumes grondwater, die we aan derden leveren, aan de hand van de gemeten eindwaterstromen (reinwater), vermeerderd met de verliesstromen bij de zuivering (spoelwaterverlies) en eventueel voorkomende spui- en lekstromen.

De totale gemeten volumestroom ruwwater komt doorgaans niet overeen met de som van de gemeten volumestromen van de individuele pompputten en evenmin met de som van de gemeten reinwaterproductie en gemeten spoelwaterverliezen. Hiervoor bestaan de volgende verklaringen:

- grondwater en ruwwater kunnen de meetinstrumenten vervuilen
- de nauwkeurigheid van ruwwatermeetinstrumenten is betrekkelijk laag
- de omstandigheden en de omgeving waarin de meetinstrumenten zich bevinden zijn meestal niet ideaal.

16.2 Stijghoogtemetingen

Grondwaterstand- en stijghoogtemetingen voeren we uit in een net van waarnemingsfilters in de omgeving van de winningen en in pompputten.

In deze paragraaf gaan we nader in op:

- doel van de stijghoogtemetingen
- meetinstrumenten (en meetfrequentie)
- verwerking meetgegevens
- beheer van het meetnet.

16.2.1 Doel van de metingen

De belangrijkste doeleinden van de stijghoogtemetingen in de omgeving zijn:

- effect van de winning op de omgeving vastleggen
- voldoen aan vergunningsvoorwaarden
- gegevens leveren aan de databank voor geohydrologen en hun onderzoekswerkzaamheden op korte en lange termijn
- effecten van de waterwinning volgen,
- effect van de omgeving op de winning vastleggen. In een freatisch pakket fluctueert de stijghoogte als gevolg van seizoensfluctuaties en variaties in rivierstand. De freatische grondwaterstand heeft invloed op de volumestroom naar de put; hoe groter het doorlatend oppervlak hoe groter de volumestroom naar de put. Om te kunnen bepalen of er verstopping optreedt, moet de specifieke volumestroom van een put in een freatisch pakket worden gecorrigeerd voor de freatische grondwaterstand.

Het belangrijkste doel van stijghoogtemetingen in de pompput zelf is het bepalen van afpompingsrelatie tot het debiet. De afpompingsrelatie geeft een indicatie voor verstopping.

16.2.2 Meetinstrumenten

Grondwaterstanden en stijghoogten meten we met een peilapparaat. Voor artesisch grondwater waarvan de stijghoogte tot enkele meters boven het maaiveld reikt, zetten we een meetbuis op. Voor spanningswater waarvan de stijghoogte tot meer dan enkele meters boven het maaiveld reikt, hebben we een manometer nodig. Voordeel van het gebruik van opzetstukken is dat de uitgevoerde meting nauwkeuriger is.

- drukopnemers In plaats van handmatig meten kunnen we de metingen ook geautomatiseerd laten uitvoeren; we gebruiken dan drukopnemers. Voordelen van drukopnemers zijn:
- de nauwkeurigheid van de metingen is groter en het systeem is minder kwetsbaar. Bij de dagelijkse metingen zijn de interpretaties over het verloop van de grondwaterstanden betrouwbaarder
 - de toepassing leidt tot minder tijd, kosten en verreden kilometers
 - de medewerker is niet meer genoodzaakt op de voorgeschreven data te peilen
 - met drukopnemers in een pompput kan ook afpompingsniveau bepaald worden. Een toename van de afpompingsniveau wijst op verstopping van de put (maar het kan ook andere oorzaken hebben, zoals toename van het onttrekkingsdebiet).

Voor het toepassen van drukopnemers en de realisatie van een verwerkingssysteem zijn de investeringskosten in het begin hoog. Bij Brabant water is de terugverdientijd berekend op circa 8 jaar.

Daarnaast hebben drukopnemers ook nadelen. Volgens von Asmuth (2010) kunnen we constateren dat drukopnemers behept zijn met maar liefst acht verschillende typen afwijkingen en fouten:

1. Bias - een constante verschuiving van het nulpunt van de sensor. Eventuele bias wordt gecorrigeerd wanneer de inhangdiepte m.b.v. een handmeting bepaald wordt.
2. Drift - een in de tijd oplopende verschuiving van het nulpunt van de sensor. De drift blijkt in veel gevallen ongeveer lineair te verlopen, maar kan ook plots veel groter worden.
3. Meetruis - random variatie van de gemeten waarde rond de werkelijke waarde.
4. Range bias - een verschil tussen het meetbereik van de sensor en die van de werkelijke waarden. Ook een niet-lineaire relatie tussen druk en indrukking van het membraan scharen we hieronder.
5. Hysteresis - Verschil in de relatie tussen druk en indrukking bij oplopende en afnemende druk.
6. Temperatuur afhankelijkheid - afwijkingen die samenhangen met de temperatuur. Het kan hierbij om een niet afdoende correctie van de temperatuurgevoeligheid van de sensor gaan, of om fouten in de temperatuurmeting zelf.
7. Outliers - incidentele of kortstondige afwijkingen. Een van de oorzaken die genoemd wordt is de aanwezigheid van condens c.q. waterdruppeltjes of juist luchtbelletjes op het meetmembraan.
8. Tijdsverschuiving - het voor- of achterlopen van de klok van de drukopnemer.

De afwijkingen liggen in de regel in de ordegrrootte van centimeters, maar kunnen ook decimeters beslaan.

Ook kunnen drukopnemers, om uiteenlopende redenen, opeens haperen of falen en als gevolg daarvan grote afwijkingen gaan vertonen. Dit is meestal reden om de drukopnemer te vervangen. De afwijking die reden is om een drukopnemer te vervangen zal echter in meer of mindere mate ook in de meetreeks voorafgaand aan vervanging aanwezig zijn.

Belangrijk bij het inhangen en uitlezen van drukopnemers is het meten van het volgende:

1. de stijghoogte net voor het inhangen of uithalen

2. de datum en tijd van de stijghoogtemeting
 3. de precieze inhangdiepte t.o.v. het referentiepunt
- Met deze drie metingen is een afwijking van de drukopnemer te bepalen.



*Foto 16-1 Het meten van een grondwaterstand met behulp van een peillint
(foto Carl van Rosmalen, Brabant Water)*

meetfrequentie De meetfrequentie zal meestal vastgelegd zijn in de vergunningsvoorwaarden. Van oudsher meten we tweemaal per maand, zoveel mogelijk op de landelijke peildata (de 14^{de} en 28^{ste} van de maand). Als met drukopnemers wordt gemeten, dan laten we de meetfrequentie afhangen van het doel van de meting. Metingen kunnen voor verschillende meetvragen worden ingezet, de meetvraag met de hoogste frequentie is dan leidend.

Een hoge meetfrequentie is bijvoorbeeld nodig om de invloed van getijdenbewegingen vast te stellen en inzicht te krijgen in een dag-nacht ritme van een winning, maar ook ten gevolge van grondwater onttrekkingen of infiltratie werken buiten het waterwingebied. .

Als in een pompput de afpompings gemeten wordt is een hogere meetfrequentie van belang. Vaak wordt eens per 5 minuten gemeten. Met deze meetfrequentie krijgen we inzicht in de reactie van de put op het schakelen van de put zelf van de overige putten op het puttenveld.

16.2.3 Verwerking meetgegevens

De meetgegevens voeren we handmatig of automatisch in de databank in (bijvoorbeeld DAWACO of Menyanthes). Ook versturen we de gegevens naar NITG-TNO. Bij de verwerking van de meetgegevens moeten de data goed worden gevalideerd:

- handmatige controle op typefouten in de ingevoerde grondwaterstanden en stijghoogten
- automatische controle aan de hand van vooraf ingestelde minimum- en maximumwaarden (signaleringswaarden), controle van trendafwijkingen (vergelijk meerdere meetpunten met gelijke trends met elkaar), controle met de handpeilingen.

'foutlijst'

De databank genereert een 'foutlijst' op basis waarvan de gemeten waarden kunnen worden gecorrigeerd.

Afwijkende waarden voorzien we van een toelichting. Alle grondwaterstanden dienen vervolgens aan TNO te worden verstrekt.

16.3 Waterkwaliteit

We meten regelmatig de kwaliteit van het gemengde ruwwater, het ruwwater van de individuele pompputten en de watermonsters uit de waarnemingsfilters in de omgeving van het puttenveld. Al deze gegevens leveren belangrijke informatie op voor de procesvoering. Omdat het onttrokken water de grondstof voor de drinkwaterproductie is, moeten we goed inzicht hebben in de kwaliteit van dit grondwater. Door de kwaliteit voortdurend in de gaten te houden kunnen we veranderingen en trends tijdig signaleren.

Hieronder staan we stil bij:

- overzicht metingen
- gemengd ruwwater
- individuele pompputten
- waarnemingsfilters en zoutwachters.

16.3.1 Overzicht kwaliteitsmetingen

In Tabel 16-1 is een overzicht gegeven van de kwaliteitsmetingen van het ruwwater.

Tabel 16-1 Kwaliteitsmetingen ruwwater.

Procesonderdeel	Doel	Direct risico voor drinkwaterkwaliteit	Indicatieve meet-frequentie per jaar
Gemengd ruwwater	directe en lange termijn procesbewaking; voldoen aan Drinkwaterbesluit	hoog	12 à 52 veel kritische parameters; continu meten
Individuele pompputten	directe en lange termijn procesbewaking; signalering putverstopping	gemiddeld tot hoog	1 à 4 incidenteel meten
Waarnemingsfilter	lange termijn procesbewaking	laag	1 à 4
Zoutwachters	lange termijn procesbewaking	laag	1 à 12 of incidenteel

16.3.2 Gemengd ruwwater

Regelmatige bemonstering van het ruwwater behoort tot de eerstelijnsbewaking. We voeren minimaal analyses uit op wettelijk voorgeschreven parameters. Het is verstandig om de parameters die kritisch zijn voor de zuivering van het ruwwater regelmatig te analyseren. Hiervoor kunnen we continu registrerende bedrijfsmeters gebruiken. Het Drinkwaterbesluit verplicht ons om met een lagere frequentie bemonsteringen en analyses uit te voeren op een uitgebreider analysepakket waarbij we ook analyses uitvoeren op zware metalen en bestrijdingsmiddelen.

trendanalyse Trendanalyse van de gemengde ruwwaterkwaliteit geeft inzicht in de samenstelling van het ruwwater op langere termijn. Bij deze analyse is het van belang de (historie van de) totale onttrekkingshoeveelheden (liefst per pompput) en de waterkwaliteit per pompput te kennen.

fluctuatie	We moeten bedacht zijn op de dagelijkse en wekelijkse fluctuatie in het verbruik van drinkwater. Bij een hoger/lager verbruik zijn meer/minder pompputten in productie en kan de ruwwaterkwaliteit verschillen als gevolg van de verschillen in waterkwaliteit tussen de pompputten onderling. Wekelijks op een vast tijdstip een monster nemen geeft niet altijd het juiste beeld van de gemiddelde ruwwaterkwaliteit. Het is beter om telkens op een andere dag en op een ander tijdstip van de dag een monster te nemen.
welke putten	Vermeld bij de meetgegevens van elke bemonstering van het gemengde ruwwater welke putten er aan staan. Indien verontreinigingen gemeten worden, is dan meteen duidelijk welke putten verdacht zijn.

16.3.3 Individuele pompputten

Als er geen bijzondere aanleiding is, zullen we de waterkwaliteit van individuele pompputten niet vaak meten. Eén keer per jaar is vaak genoeg. Door de vaak jarenlange bodempassage is de kwaliteit van het grondwater dat aan een pompput wordt onttrokken bijna niet aan fluctuatie onderhevig.

Analysegegevens van individuele pompputten geven belangrijke informatie over de verschillen in waterkwaliteit in het puttenveld. Op basis van deze informatie kunnen we de bedrijfsvoering op kwaliteit sturen. Daarnaast kunnen we met de verkregen gegevens van individuele pompputten vroegtijdig verontreinigingen signaleren die in het ruwwater door menging gecamoufleerd worden. Dit betekent dat we naast de algemeen gangbare parameters ook bijvoorbeeld verontreinigingen en zware metalen bepalen. De noodzaak hiertoe hangt sterk af van de mate waarin deze stoffen een bedreiging voor de waterwinning vormen.

interactief meet- en regelsysteem	We meten vaker, bijvoorbeeld enkele malen per jaar, als de wininstallatie een interactief meet- en regelsysteem bevat waarbij aan de hand van analysesresultaten de bedrijfsvoering van het puttenveld wordt geregeld. Dergelijke systemen worden vaak toegepast bij verzilting van puttenvelden of andere grondwaterverontreinigingen die zich in bepaalde pompputten concentreren. De analysesresultaten van het onttrokken grondwater kunnen ook van belang zijn voor de bewaking van bepaalde vormen van putverstopping (bijvoorbeeld door ijzer).
bacteriën	Naast de fysisch-chemische analyses analyseren we de pompputten vaak ook jaarlijks op bacteriologische parameters. Dit doen we om bacteriën op te sporen, die ziekten kunnen veroorzaken. Na werkzaamheden aan de pompput nemen we de pompput pas weer in bedrijf als gebleken is dat het opgepompte water bacteriologisch betrouwbaar is. Hiervoor wordt een- of tweemaal een bemonstering uitgevoerd.

16.3.4 Waarnemingsfilters en zoutwachters

intrekgebied	We zagen hierboven dat de waterkwaliteit van het grondwater in de omgeving van het puttenveld kan worden bewaakt door regelmatige bemonstering van waarnemingsfilters. Dit kan heel doelgericht gebeuren als het waarnemingsfilter is geplaatst om een bepaald soort verontreiniging op te sporen. De verkregen gegevens kunnen we ook gebruiken om inzicht te krijgen in de waterkwaliteit en de waterkwaliteitsprocessen in het intrekgebied van het puttenveld. Dank zij de verkregen kennis van de grondwaterstroming en de processen die de grondwaterkwaliteit beïnvloeden, kunnen we voorspellingen doen over de toekomstige ruwwaterkwaliteit. Dit is van groot belang voor de langetermijnvisie op het betreffende puttenveld en de zuivering van het ruwwater.
zoet/zout-vlak	In puttenvelden die door verzilting bedreigd worden, zijn vaak zoutwachters geplaatst. Tegenwoordig maken we vooral gebruik van de chlorideanalyses van het waarnemingsfilters, om te kijken of er sprake is van upconing. Daarnaast kunnen EM metingen worden ingezet om upconing op te sporen, hiervoor moet de filterbuis wel groot genoeg zijn.

17 Bijsturing en correctie

In dit hoofdstuk beschrijven we de van belang zijnde activiteiten die we uitvoeren om het winningproces effectief te kunnen bijsturen en corrigeren. Ook geven we aan wanneer en hoe we een pompput reconstrueren en terreinleidingen regenereren.

De onderwerpen die achtereenvolgens aan de orde komen zijn:

- bijsturen bedrijfsvoering pompputten en puttenveld
- onderhoud pompen
- reconstructie van pompputten
- regeneratie van terreinleidingen.

samenvatting

De bedrijfsvoering sturen we bij op onder meer schakelvolgorde van de pompputten, totale onttrekkingsdebiet en verdeling van de onttrekkingsdebieten over de pompputten van het puttenveld. We moeten de bedrijfsvoering van het puttenveld bijstellen als we niet meer kunnen voldoen aan de gestelde kwaliteits- en/of kwantiteitseisen. Om verspreiding van verontreiniging in een wingebed tegen te gaan kan een interceptiesysteem worden aangelegd. Enkele criteria om over te gaan tot (groot)onderhoud van de pompput zijn teruglopend pomprendement, aantal draaiuren en slecht werkende pomp. We reconstrueren een pompput als hij niet meer voldoet, omdat hij bijvoorbeeld zand levert door een slecht ontwerp, een onjuiste aanleg of beschadigingen. Terreinleidingen vervuilen door sedimentatie van aanwezige deeltjes in het ruwwater en afzetting van ijzer, mangaan en/of een biofilm op de binnenwand van de leidingen.

17.1 Bijsturen bedrijfsvoering pompputten en puttenveld

De bedrijfsvoering van de pompputten en het puttenveld sturen we op de volgende punten bij:

- schakelvolgorde pompputten
- onttrekkingsdebiet per pompput (pompeuze)
- totaal onttrekkingsdebiet
- verdeling onttrekkingsdebieten over het puttenveld (horizontaal)
- verdeling onttrekkingsdebiet over watervoerende pakketten (verticaal).

putschakel-
schema

De bedrijfsvoering van de pompputten en het puttenveld is vaak vastgelegd in een putschakelschema (zie Paragraaf 17.1.2). Hierin is aangegeven in welke volgorde de pompputten worden ingezet bij oplopende of dalende vraag of dalend niveau van het water in de reinwaterkelder. Ideaal is de situatie waarbij elke pompput afzonderlijk in dit schema is opgenomen. In de praktijk worden pompputten vaak in groepen bij- of afgeschakeld.

doel

Het doel om de bedrijfsvoering bij te sturen en te corrigeren is het waarborgen van de continuïteit van zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het onttrokken grondwater, althans voor zover dat mogelijk is binnen de grenzen die gesteld worden door de zuivering (kwaliteit), de vergunning (kwantiteit), de hydrologische mogelijkheden en de beschikbare financiële middelen.

In deze paragraaf gaan we verder in op:

- criteria
- werkwijze (putschakelschema)
- evaluatie en administratie.

17.1.1 Criteria

We moeten de bedrijfsvoering van het puttenveld bijstellen als de waterwinning niet meer kan voldoen aan de gestelde kwaliteits- en/of kwantiteitseisen. Mogelijke oorzaken hiervan zijn:

1. ten aanzien van de kwaliteit:
 - optrekken van het zoet/zout-grensvlak ('upconing')
 - aantrekken van water van ongewenste kwaliteit of van water dat verontreinigingen bevat
 - waterkwaliteitsverschillen van afzonderlijke pompputten van een puttenveld;
2. ten aanzien van de kwantiteit:
 - in vergunningen vastgestelde maximum debieten
 - continue bedrijfsvoering/productie ('vlakdraaien', belasting, zuivering)
 - evenwichtige belasting van de onderwaterpompen en/of aantal draaiuren van de pompputten over het puttenveld
 - putverstopping
 - uitval individuele pompputten
 - voorkómen van schade aan de landbouw en/of gebouwen.

Hieronder zullen we deze punten nader toelichten en zullen we aangeven hoe we de bedrijfsvoering kunnen aanpassen.

optrekken zoet/zout-grensvlak

Bij grondwaterwinningen bestaat het risico dat het zoet/zout-grensvlak uit de diepere ondergrond omhoog wordt getrokken. Dit is heel reëel bij winningen waarbij het zoet/zout-grensvlak niet diep onder het watervoerende pakket (waaraan water wordt onttrokken) zit en scheidende kleilagen ontbreken of waarbij de formatielagen (waaraan water wordt onttrokken) in de buurt van een breuk liggen.

breuk

verzilting

We moeten zoveel mogelijk voorkomen dat we het zoet/zout-grensvlak optrekken. Verzilting is namelijk een vrijwel onomkeerbaar proces. Pompputten waarvoor verzilting dreigt moeten we zo weinig mogelijk inzetten.

Verzilting kunnen we tegengaan door:

- de winning te spreiden over een groter gebied
- minder grondwater, zowel per pomput als per puttenveld, te onttrekken
- op kunstmatige manier extra water in de ondergrond te infiltreren.

zoethouder

Uit proefprojecten bij waterbedrijven Vitens en Brabant Water blijkt dat de productie van drinkwater uit brak grondwater een reëel alternatief kan zijn voor gebruik van zoet grondwater. Het zoute membraanconcentraat dat als restproduct overblijft na ontzilting van het permeaat wordt hierbij terug geïnjecteerd in diepere aquifers. In het proefproject van Vitens wordt het brakke grondwater gewonnen om een (bestaande, verziltende) zoet waterput zoet te houden. In dit zoethouder-concept wordt in één put met hulp van twee filters ondiep zoet en diep brak grondwater gewonnen. Gelijktijdige onttrekking van zoet en brak grondwater zorgt ervoor dat het zoet/zout-grensvlak stabiel blijft.

aantrekken verontreinigingen

Lokale (en tijdelijk aanwezige) verontreinigingen kunnen een gedeelte van het puttenveld bedreigen. Het kan dan noodzakelijk zijn de bedreigde pompputten (tijdelijk als noodoplossing) van het ruwwaternet af te koppelen, zodat we ze kunnen spuien.

interceptie-systeem

Ook kunnen we een interceptiesysteem aanleggen. Een interceptiesysteem bestaat uit pompputten die rondom het puttenveld worden aangelegd om het grondwater met de verontreinigingen naar zich toe te trekken. Omdat op deze manier de eigenlijke pompputten van het verontreinigde grondwater worden afgeschermd, kan de waterproductie gewoon doorgaan. Het grondwater, dat door het interceptiesysteem wordt opgepompt, wordt na zuivering geloosd.

De bedreigde pompputten helemaal uitzetten is geen oplossing; over het algemeen heeft dat een averechts effect. De verontreiniging trekt dan door naar de overige pompputten van het puttenveld en verspreidt zich daardoor over het hele puttenveld.

kwaliteitsverschillen van het water tussen pompputten onderling

In die gevallen waarbij de kwaliteit van het water van de diverse pompputten onderling verschilt, moeten we soms voorwaarden aan de putschakeling stellen. Een pompput met een extreem hoog chloridegehalte bijvoorbeeld kunnen we alleen inzetten als we gelijktijdig een andere pompput met een zeer laag chloridegehalte bijzetten. Ook kunnen we verschillende putgroepen inzetten die elk van een eigen zuivering zijn voorzien.

vergunningen

In de onttrekkingsvergunning is de maximaal te onttrekken hoeveelheid grondwater per jaar, per maand en soms ook per dag vastgelegd. Meestal zijn daarbij ook eisen gesteld aan de diepte van de onttrekking. Als deze maxima worden overschreden kan aanpassing van de bedrijfsvoering van het puttenveld nodig zijn.

continue bedrijfsvoering/productie

Om het opgepompte water zo efficiënt mogelijk te zuiveren moeten we streven naar een gelijkmatige volumestroom en water van een constante kwaliteit. Een vlak aanbod van de waterhoeveelheid (vlakdraaien) kunnen we goed regelen met software die de vraag uit het voorzieningsgebied voorspelt en op basis daarvan pompen aan- of uitschakelt. Groot voordeel van vlakdraaien is de gelijkmatige kwalitatieve belasting van de zuiveringsfilters. Grote fluctuaties van het debiet en de kwaliteit van het ruwwater kunnen leiden tot doorslag van filterstappen.

Vlakdraaien kan ook helpen om chemische verstopping van pompputten te voorkomen of verminderen. Vlakdraaien is het zo constant mogelijk belasten van putten en/of zuivering. Om mechanische verstopping te voorkomen is het juist van belang dat putten voldoende geschakeld worden en voldoende lang stilstaan.

evenwichtige belasting pompen/aantal draaiuren over puttenveld

In het algemeen richt de bedrijfsvoering zich op een evenwichtige belasting van de onderwaterpompen door alle pompputten van het puttenveld hetzelfde aantal uren te laten draaien. Puttenvelden zijn voor het maximumverbruik gedimensioneerd. Voor het gemiddelde verbruik is het puttenveld dus overgedimensioneerd. Om de belasting zoveel mogelijk over alle pompputten te verdelen schakelen we de pompputten volgens een roulatiesysteem (putschakelschema).

roulatiesysteem

putverstopping

Putverstopping verlaagt het specifieke debiet. Als het actuele specifieke debiet als gevolg van putverstopping tot onder een bepaalde minimumwaarde is gedaald zal het waterbedrijf de verstopte put moeten regenereren om ervoor te zorgen dat het kan blijven voldoen aan een ongestoorde en betrouwbare levering van water. Door een juiste inzet van een schakelschema kan mechanische verstopping van pompputten worden voorkomen of vertraagd.

uitval individuele pompputten

Een individuele pompput kan incidenteel buiten werking zijn wegens bijvoorbeeld:

- regeneratie (putverstopping)
- bacteriële besmetting
- onderhoud.

reserveput

Om de winning in stand te houden moeten we een pompput, die buiten werking is gesteld, door een andere pompput (reserveput) vervangen of we moeten het debiet van de overige pompputten opvoeren.

voorkómen van schade aan landbouw en/of gebouwen

Grondwateronttrekking kan leiden tot schade aan gewassen en/of gebouwen.

Landbouwschade door droogte kunnen we alleen voorkomen door gedurende het groeiseizoen minder water te onttrekken. Meestal zal dat niet mogelijk zijn.

zetting

Gebouwen kunnen schade oplopen als gevolg van zetting. Vooral in het westen van ons land is de kans hierop groot. Om de zetting te beperken spreiden we de onttrekking vaak zoveel mogelijk over het puttenveld en bouwen we het debiet vanaf de start van de winning langzaam op tot de vergunde hoeveelheid.

17.1.2 Werkwijze (putschakelschema)

We veranderen de bedrijfsvoering van het puttenveld als we het putschakelschema wijzigen. Om verrassingen te voorkomen moeten we eerst nagaan wat de effecten van de wijzigingen hierin zullen zijn. We mogen het gewijzigde schema alleen invoeren als we dat in nauwe samenwerking met de procesvoerders doen. Al te abrupte veranderingen van de bedrijfsvoering kunnen leiden tot problemen met de zuivering.

Aandachtspunten bij het opstellen van een putschakelschema zijn:

- minimumdebiet voor vereiste zuivering
- maximumdebiet voor vereiste zuivering
- vervanging pompputten bij tijdelijke uitval (reserveputten)
- rolatiesysteem om alle pompputten in gelijke mate te gebruiken
- waterkwaliteit: afhankelijk van de kritische parameters voor de zuivering (Fe, Mn, NH₄, CH₄, O₂, pH) sturen op vracht (kg/h, gewogen gemiddelde) of concentratie (mg/l)
- bij mechanische verstopping voldoende schakelingen en rustperioden en bij chemische verstopping een zo gelijkmatige onttrekking (om de kwaliteit zo constant mogelijk te houden).

vast patroon

Bij oplopend debiet schakelen we de pompputten volgens een vastgesteld patroon bij. Door dit patroon in een spreadsheet te combineren met gegevens over de waterkwaliteit per pompput kunnen we eenvoudig de kwalitatieve en kwantitatieve effecten van een putschakelschema doorrekenen. Zie voor een voorbeeld van een eenvoudig putschakelschema Tabel 17-1.

Tabel 17-1 Putschakelschema van een fictief pompstation.

	Debiet (m ³ /h)	Opm.	Volgorde van inschakelen						
			A	B	C	D	E	F	G
Put 1	30		X						
Put 2	30			X					
Put 3	30		X						
Put 4	40				X				
Put 5	30	hoog [Cl]				X			
Put 6	60						X		
Put 7	30							X	
Put 8	30	laag [Cl]				X			
Put 9	20								X
Put 10	30	reserve							

Een schema zoals in Tabel 17-1 is niet geschikt voor een winning met mechanische verstopping. De putten achter in de rij worden nauwelijks belast en put 1 en 3 staan waarschijnlijk de hele dag aan zonder schakelingen of rustperiode.

17.1.3 Evaluatie en administratie

kwaliteits-systeem

De administratie van het opstellen, goedkeuren en implementeren van putschakelschema's kunnen we goed in een kwaliteitssysteem onderbrengen. Bovendien moeten we in het zuiveringsstation, bij voorkeur door middel van een computer,

registreren wanneer welke pompputten zijn ingeschakeld. Op deze manier kunnen we, bijvoorbeeld bij afnemende waterkwaliteit, zien welke pompputten er in de loop van de tijd waren ingeschakeld. Om te voorkomen dat we door de grote hoeveelheid gegevens de van belang zijnde gegevens moeilijk kunnen terugvinden, moeten we van tijd tot tijd een samenvatting maken van de relevante gegevens.

Door het bijhouden van de schakelingen en debieten kan bij mechanische verstopping ook worden onderzocht welk effect schakelingen en rusttijden hebben op het verloop van verstopping.

herontwerpen Een bijzondere vorm van bijsturing is het aanpassen van het puttenveld door bijvoorbeeld een paar extra pompputten aan te leggen. Maar dan zijn we bezig met het herontwerpen van het puttenveld. Hoe we een puttenveld ontwerpen is in Deel I van dit kennisdocument uitgewerkt.

17.2 Onderhoud pompen

Binnen de huidige bedrijfsvoering passen we hoofdzakelijk onderwaterpompen toe. Op een enkele plaats gebruiken we nog zuigpompen, dat wil zeggen pompen die het water uit de pompput zuigen. Waar we het in deze paragraaf hebben over pompen bedoelen we onderwaterpompen.

klein onderhoud Bij onderhoud aan de pomp maken we onderscheid tussen klein onderhoud en grootonderhoud. Klein onderhoud is het schoonmaken van de pomp. Onder grootonderhoud verstaan we het reviseren van de pomp.

Niet alle waterbedrijven voeren onderhoud aan pompen uit. Bedrijven die geen onderhoud (laten) uitvoeren doen dit op basis van economische overwegingen: het is goedkoper een defecte pomp te vervangen dan deze te (laten) reviseren.

Onderhoud aan pompen voeren we uit in combinatie met andere werkzaamheden waarbij we de pomp uit de pompput moeten halen.

doel Doel van onderhoud aan pompen is handhaving van het pomprendement, dat op zijn beurt belangrijk is voor het behoud van productiecapaciteit.

Het onderwerp ‘onderhoud pompen’ werken we verder uit in de volgende onderdelen:

- criteria
- werkwijze
- evaluatie en administratie.

17.2.1 Criteria

De belangrijkste criteria om over te gaan tot onderhoud zijn:

- teruglopend pomprendement
- aantal draaiuren
- slecht werkende pomp
- plaatselijke situatie.

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

teruglopend pomprendement

Het rendement van de pomp kan teruglopen door een slecht werkende pomp of verstopping van de pompput; het kost de pomp dan meer energie om de volumestroom op hetzelfde niveau te houden. Door metingen uit te voeren kunnen we vaststellen wat de oorzaak is. Metingen om putverstopping vast te stellen komen in Hoofdstuk 15 aan de orde. We voeren vrijwel altijd onderhoud aan de pomp uit als we de pompput regenereren. Aan de hand van het verloop van het energiegebruik van de pomp stellen we vast wanneer we onderhoud aan de pomp moeten uitvoeren. Hiervoor zijn geen criteria vastgelegd.

onderhouds-
frequentie

aantal draaiuren

We voeren onderhoud uit als een pomp 10.000 tot 30.000 uren heeft gedraaid of nadat een pomp een aantal jaren, soms wel 7 jaar, in bedrijf is geweest. Fabrikanten van onderwaterpompen noemen dezelfde criteria.

Er is een verband tussen de onderhoudsfrequentie en de kwaliteit van het onttrokken water. In het algemeen moeten we vaker onderhoud plegen naarmate de kwaliteit van het water slechter is. Een pompput die ijzer- en mangaanrijk water en zuurstofhoudend water aantrekt zal, als gevolg van de optredende neerslag, extra onderhoud vergen. De pomp zullen we dan vaker voor onderhoud uit de pompput halen.

slecht werkende pomp

Als de pomp niet meer naar behoren werkt gaan we, afhankelijk van het geconstateerde mankement, de pomp een onderhoudsbeurt geven of vervangen. We controleren de werking van de pomp:

- door de stroomsterkte in de elektriciteitskabel naar de motor te meten
- door alarmering. Als bijvoorbeeld de waterkolom boven de pomp te klein wordt (kans op drooglopen) zal de pomp automatisch worden uitgeschakeld zodat schade wordt voorkomen
- door 'het luisterend oor' van de bedrijfsvoerder
- door de werking van de voetklep te controleren.

Tijdens het bepalen van het specifieke debiet, dat over het algemeen één tot enkele malen per jaar plaats vindt, besteden we aandacht aan de werking van de pomp (zie voor bepaling specifieke debiet Hoofdstuk 15, Paragraaf 15.2.1).

plaatselijke situatie

Of we onderhoud aan de pomp zullen gaan uitvoeren is ook afhankelijk van de plaatselijke situatie.

Daarbij moeten we denken aan:

- putconstructie
- waterkwaliteit
- mate waarin de pompput verstopt is of, met andere woorden, hoe lang het nog duurt voordat we de pompput moeten regenereren.

17.2.2 Werkwijze

Tijdens normaal bedrijf combineren we onderhoud aan pompen met regeneratie van de pompput. Soms komt het voor dat we een pompput niet regenereren, omdat dat niet nodig is, maar alleen onderhoud aan de pomp uitvoeren.

Onderhoud aan de pomp bestaat uit de volgende werkzaamheden:

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

Als na inspectie van de pomp blijkt dat deze een aantal mankementen heeft, kunnen we de pomp of vervangen of reviseren.

Klein onderhoud aan de pomp wordt over het algemeen door de medewerkers van de waterbedrijven zelf uitgevoerd. Grootonderhoud (revisie dus) of reparatie van een defect wordt meestal door de pompenfabrikant uitgevoerd.

17.2.3 Evaluatie en administratie

Voordat we de pomp terughangen controleren we of de pomp goed werkt en of de juiste pomp in de juiste pompput is gemonteerd. Als we twee pompen verwisselen krijgen we een verkeerd beeld van de werking van de pomp en/of van de pompput. Om te voorkomen dat we pompen verwisselen moeten we de relevante gegevens vastleggen.

pompenkaart Zowel het uitgevoerde onderhoud als het aantal draaiuren registreren we op een pompenkaart, in het machinearchief of in een database. Alle relevante gegevens van de pomp worden hierin opgenomen, inclusief de gegevens en wijzigingen van de pompput.

17.3 Reconstructie van pompputten

Een pompput die verstopt is regenereren we en een pompput die niet meer voldoet reconstrueren we.

Van het onderwerp reconstructie van pompputten bespreken we:

- oorzaak en herkenning
- oplossingen voor vaak voorkomende problemen
- kosten/baten-analyse.

17.3.1 Oorzaak en herkenning

Redenen om een pompput te reconstrueren zijn:

- zandlevering als gevolg van een slecht ontwerp of onjuiste aanleg van de pompput
- zandlevering door beschadigingen
- problemen met de kwaliteit van het onttrokken grondwater
- blijvende verstopping.

zandlevering door slecht ontwerp of onjuiste aanleg pompput

Een slecht ontwerp of een onjuiste aanleg van de pompput kan leiden tot zandlevering.

In dit geval zijn de oorzaken van zandlevering:

- te grote filterspleetwijdte
- te grove fractie filtergrind
- filtergrind bij aanvullen onvoldoende doorgestort waardoor het zand direct tegen het filter komt te liggen
- pompput te lang ontwikkeld waardoor een te geringe omstortingshoogte ontstaat waardoor het zand eveneens tegen het filter is komen te liggen
- slecht gelijmde verbindingen tussen mof en spie. Oorzaken hiervan zijn onder meer lijmen bij te lage temperatuur of lijmen van pvc-buizen die niet voldoende zijn schoongemaakt
- contactcorrosie door onjuiste metaalcombinaties (komt voor bij oudere rvs-pompputten)
- scheur of andere beschadigingen
- kapotte 'bruggen' (de stroken pvc tussen de sleuven) bij pvc-filters, veroorzaakt door onzorgvuldige inbouw van de onderwaterpomp die in het filtertraject hangt. Daarom moeten we de pompput zodanig ontwerpen dat de pomp altijd boven het bovenste filter komt te hangen, bij voorkeur in een verwijde stijgbuis (zie Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.2.2).

zandlevering door beschadigingen

Ook beschadigingen kunnen leiden tot zandlevering, bijvoorbeeld door:

- kapotte 'bruggen' bij pvc-filters als gevolg van hogedrukreiniging
- beschadigde verbindingen. Vooral kordeldraadverbindingen kunnen beschadigd raken, vooral bij het jutteren. Beter is dat we voor pompputten geen kordeldraadverbindingen toepassen (zie Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.2.5).

problemen met waterkwaliteit

De volgende problemen met de kwaliteit van het onttrokken grondwater komen we tegen:

- bacteriële besmetting, organische microverontreinigingen en uitgevlokt ijzer.
Oorzaken hiervoor kunnen zijn:
 - lekkage van de stijgbuis of verwijde stijgbuis
 - lekkage op verbindingen (bijvoorbeeld koreldraadverbindingen, slechte lijmverbindingen of doorgeroeste verbindingen van stalen buizen)

- lekkage van oppervlaktewater of ondiep grondwater via de omstorting, als gevolg van slechte omstorting, verkeerde plaats van de omstorting of het ontbreken van kleiafdichtingen
- menging van verschillende typen grondwater
- verzilting.

Een slecht ontwerp van de pompput of beschadigingen in het filtertraject komen vaak duidelijk aan het licht doordat de pompput plotseling zand geeft of zelfs met zand volloopt. Deze verschijnselen kunnen ook optreden bij beschadigingen van verbindingen. Een slechte waterkwaliteit merken we in het algemeen niet direct op, maar komt aan het licht als we wateranalyses uitvoeren. Bij mechanische beschadigingen in de put kunnen we met behulp van een doelgerichte video-inspectie snel de oorzaak opsporen.

Onderzoek naar lekkages

Als we vermoeden dat een pompput lek is zijn er een aantal opsporingsmethoden, zoals het controleren van de waterkwaliteit, camera-inspectie en ballonproef. Met deze methoden zijn alleen lekkages van de put te vinden. Behalve de put kan er ook lek plaatsvinden via de omstorting.

In 2010 wordt onderzoek gestart naar het opsporen en repareren van lekkages bij pompputten.

17.3.2 Oplossingen

De gangbare oplossingen voor een aantal vaak voorkomende problemen hebben we in Tabel 17-2 op een rij gezet.

Daarnaast zijn er nog problemen die we alleen kunnen oplossen door maatwerk toe te passen. Een voorbeeld is de Eucostream. Deze bestaat uit een binnenbuis met een op maat gemaakte perforatie die tot doel heeft de toestroming van grondwater vanuit het watervoerende pakket naar de pompput te egaliseren. Dit wordt gerealiseerd door de toestroming vanuit de beter watervoerende secties van het filtertraject af te remmen, waardoor de andere secties (die in het normale geval minder leveren), bij gelijkblijvend pompdebiet meer worden belast.

Tabel 17-2 Oplossingen voor vaak voorkomende problemen (inclusief bijbehorende voor- en nadelen).

Probleem	Oplossing	Voor- en nadelen
Zandlevering door slecht ontwerp. Vaak over langere trajecten.	pvc-binnenfilter en binnenomstorting aanbrengen	<i>voordelen</i> • bewezen techniek • te combineren met omstortingsmateriaal <i>nadelen</i> • kleinere binnendiameter pompput • geringere opbrengst • kleiner effect na regeneratie
Zandlevering door beschadigingen. Vaak lokaal.	zelfspannende rvs-clip plaatsen	<i>voordelen</i> • geringe verkleining binnendiameter pompput • nauwelijks geringere opbrengst <i>nadelen</i> • alleen voor kleinere filterlengtes • geen omstorting mogelijk
Slechte waterkwaliteit in diepste filtertraject (verzilting).	volstorten met onderwaterbeton	<i>voordelen</i> • robuust en goedkoop <i>nadelen</i> • niet duurzaam: bij afwezigheid kleilagen

Probleem	Oplossing	Voor- en nadelen
		trekt water naar hoger gelegen filterdelen
Slechte waterkwaliteit in hoger gelegen filtertraject.	afblinden met binnenbuis	<i>voordelen</i> • relatief goedkoop <i>nadelen</i> • niet duurzaam: bij afwezigheid kleilagen trekt water naar lager gelegen filterdelen • kleinere binnendiameter pompput
Twee of meer typen grondwater, die gescheiden moeten worden onttrokken.	gescheiden filtertrajecten, af te pompen door afzonderlijke pompen	<i>voordelen</i> • in principe duurzaam <i>nadelen</i> • technisch gecompliceerd • grensvlak kan verschuiven en is soms onduidelijk

17.3.3 Kosten/baten-analyse

Voordat we een pompput gaan reconstrueren moeten we een kosten/baten-analyse uitvoeren. Vaak zal een pompput vervangen beter zijn dan een pompput 'oplappen'.

17.4 Regeneratie van terreinleidingen

Terreinleidingen transporteren ruwwater. Als gevolg van dat transport treden onder meer de volgende processen op:

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

Deze processen kunnen tot de volgende problemen leiden:

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

Om dergelijke problemen te voorkomen, maken we de terreinleidingnetten schoon. Dit noemen we regeneratie van terreinleidingen.

doel Het doel van het regenereren van terreinleidingen is een ongestoorde levering van ruwwater voor wat betreft de waterkwaliteit en de aanvoercapaciteit waarbij voor het transport een minimale hoeveelheid energie wordt gebruikt.

Hieronder gaan we verder in op:

- oplossingen en werkwijze
- analysefase
- voorbereidingsfase
- uitvoeringsfase
- evaluatie.

17.4.1 Oplossingen en werkwijze

spuien Opwervelbaar sediment in terreinleidingen kunnen we verwijderen door de leidingen te spuien. Spuien vindt plaats door water door de leidingen te pompen, met een snelheid die de normale stroomsnelheid van het ruwwater in de leidingen ruim overschrijdt (2 tot 3 keer; bij voorkeur minimaal 1,5 m/s).

schrappen De afzetting op de leidingwand kunnen we verwijderen door de wanden te schrappen of door te proppen.

werkwijze Regeneratie van terreinleidingen voeren we in de volgende vier fasen uit:
1. analysefase

2. voorbereidingsfase
3. uitvoeringsfase
4. evaluatie.

17.4.2 Analysefase

In de analysefase stellen we vast waardoor de vervuiling is veroorzaakt. Om dat vast te stellen kunnen de volgende activiteiten worden uitgevoerd:

- monitoring van de ruwwaterkwaliteit tussen de pompput en de ingang van de zuiveringsinstallatie. Analyse van de troebelheid geeft inzicht in eventuele sedimentatie en opwerveling van sediment
- monitoring van de benodigde pompenergie in verhouding tot het verpompte watervolume. Een toename van de benodigde pompenergie duidt op een toename van de aangroei op de leidingwand
- zichtbaar maken van eventuele afzetting op de leidingwand door met een endoscoop opnamen te maken van de binnenkant van de leiding.

17.4.3 Voorbereidingsfase

De voorbereiding voor de regeneratie van terreinleidingen kan worden verdeeld naar de aard van de vervuiling. We onderscheiden:

- leidingen met opwervelbaar sediment
- leidingen met afzetting op de wand.

spuiplan	<i>spuien van leidingen met opwervelbaar sediment</i> Voor het verwijderen van opwervelbaar sediment stellen we een spuiplan op. Bij het spuien van leidingen met opwervelbaar sediment vinden de hieronder genoemde activiteiten plaats. 1. Stel het te reinigen leidingnet vast. 2. Stel vast waar het schoonwaterfront begint. 3. Voor het reinigen van een uitgebreid leidingnet is het aan te raden het leidingnet te modelleren in een Aleid96® model. 4. Bepaal de plaatsen van de spui punten en de afvoermogelijkheden voor het spuiwater. 5. Bepaal het minimale spui volume (afhankelijk van de diameter), streef daarbij naar een minimale snelheid van 1,5 m/s. 6. Bepaal met behulp van Colebrook of een berekening in Aleid96® of de gekozen leiding spuibaar is. 7. Vervolg dit proces tot alle leidingen zijn doorgerekend. 8. Leg de uitgangspunten, zoals minimale volumestroom, minimale spuitijd, spui punt(en) en sluitermanipulaties, vast op een spui formulier.
schoonmaakplan	<i>regenereren van leidingen met afzetting op de wanden</i> Voor het verwijderen van de afzetting op de binnenwand van de leidingen stellen we een schoonmaakplan op. Bij het regenereren van leidingen met afzetting vinden de hieronder genoemde activiteiten plaats. 1. Stel het te reinigen leidingnet vast. 2. Stel het schoonwaterfront vast. 3. Bepaal de aard van de afzetting op de leidingwand. Een biofilm is zacht en een afzetting van ijzer en mangaan is hard. 4. Bepaal het type proppen aan de hand van de aard van de afzetting op de leidingwand. 5. Bepaal de plaatsen van inlaat voor de proppen, de spui punten en de mogelijkheden om het spuiwater af te voeren. 6. Bepaal het minimale spui volume (afhankelijk van de diameter), streef daarbij naar een minimale snelheid van 1,5 m/s.

7. Leg de uitgangspunten, zoals minimale volumestroom, minimale spuitijd, spuipunt(en) en sluitermanipulaties, vast op een spuiformulier.

17.4.4 Uitvoering

Het is aan te raden om het spuiplan en/of schoonmaakplan in samenwerking met de afdeling productie op te zetten.

De regeneratiewerkzaamheden voeren we volgens het opgestelde spuiplan en/of schoonmaakplan uit. Bij het invullen van de spuiformulieren moeten we ook eventuele bijzonderheden en wijzigingen in het spuiplan en/of schoonmaakplan vermelden.

17.4.5 Evaluatie

Na de regeneratie van de terreinleidingen evalueren we het uitgevoerde werk. We gaan dan na of het doel, dat we met de regeneratie voor ogen hebben, bereikt is. Door het uitvoeren van herhalingsmetingen (zoals monitoren van de waterkwaliteit, bekijken van het energiegebruik, eventueel uitvoeren van endoscopie) wordt het resultaat vastgesteld. Verder brengen we eventuele problemen, die zich bij de diverse onderdelen van het werk hebben voorgedaan, in kaart en bekijken we hoeveel tijd er besteed is aan de regeneratiewerkzaamheden.

Wanneer duidelijk is wat de aard van het vervuilingsmechanisme is en wat de kosten van de regeneratie zijn, kunnen we een afweging maken tussen twee oplossingen:

- de oorzaken van de problemen aanpakken (bronaanpak)
- regelmatig onderhoud/schoonmaakacties uitvoeren ('end of pipe'-oplossing).



Inhoud

I	Deelnemende waterbedrijven	2
II	Projectgroep en werkgroep	3
III	Medewerkers waterbedrijven en projectteam KWR	5
IV	Terminologielijst	8
V	Literatuurlijst	23
VI	Interessante verwijzingen	31
VII	Checklist schakelen	32

I Deelnemende waterbedrijven

Het project 'naar een kennisdocument putten(velden)' is in 1999 op initiatief van KWR (toemalig Kiwa) door elf waterbedrijven gestart. Negen waterbedrijven hebben het project in 2000 voortgezet binnen het contract onderzoek. In 2009 en 2010 is in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering een update gemaakt van het kennisdocument.

Deelnemers Platform Bedrijfsvoering (opdrachtgever in 2009):

- Brabant Water (de heer de Waal)
- Waterbedrijf Groningen (de heer Leeuwerke)
- WMD (de heer Brink)
- Vitens (de heer Heersche)
- PWN (de heer Freijters)
- Waternet (de heer Havekes)
- Dunea (de heer de Waal Malefijt)
- Evides (mevrouw van Arkel)
- WML (de heer Peters)
- Kiwa Nederland (de heer Poortema)
- KWR (de heren Vreeburg, Hofman en Meerkerk)

Opdrachtgevers in 2000:

- Waterbedrijf Groningen
- Waterleiding Maatschappij Overijssel (nu Vitens)
- Nuon Water (nu Vitens)
- Waterleidingbedrijf Midden Nederland (nu Vitens)
- Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost (nu Oasen)
- Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant (nu Brabant Water)
- Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (nu Brabant Water)
- Waterleiding Maatschappij Limburg
- Flevolandse Drinkwater Maatschappij (nu Vitens)

In 1999 hebben ook deelgenomen aan het project:

- Waterleidingmaatschappij 'Drenthe'
- Waterbedrijf Gelderland (nu Vitens)

II Projectgroep en werkgroep

In 2009 – 2010 is het project ‘Update Kennisdocument Putten(velden) begeleid door een werkgroep met de volgende leden:

Werkgroep Update Kennisdocument Putten(velden) 2009 – 2010

Ton Ebbing	(Vitens)
Ate Oosterhof	(Vitens)
Pieter Dammers	(Dunea)
Rob Lafort	(Evides)
Wim Kessels	(WML)
Carl van Rosmalen	(Brabant Water)
Inke Leunk	(KWR) (secretaris)

Agendaleden:

Nico Vanhove	(VMW)
Theo Vlaar	(Waterbedrijf Groningen)
Henk Santing	(Waterbedrijf Groningen)
Caroliene Vlieghe	(Pidpa)
Karel de Mey	(Pidpa)
Nico van der Moot	(WMD)
Pierre Kamps	(Waternet)
Harrie Timmer	(Oasen)

In 1999 en 2000 is het project begeleid door een projectgroep en drie werkgroepen:

Projectgroep putten(velden)

Voorzitter: Ir. J.H.A. Driessen

Waterleiding Maatschappij Overijssel

Secretaris: ing. E.J. Schrama

Kiwa

Leden:

Ir. J.K. Tamminga

Waterbedrijf Groningen

Mw. Ir. H. van Engelenburg (tot 31-12-2000)

Ing. A. Kok (vanaf 1-1-2000)

Nuon Water

Ing. R. Breedveld

Waterleidingbedrijf Midden-Nederland

Ing. C. van Rosmalen

Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant

Drs. H. Timmer

Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost

Ir. H.J.M. Broers

Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant

Mw. Ing. M.H.A. Juhász-Holterman

Waterleiding Maatschappij Limburg

Ing. R.M. Kollen

Flevolandse Drinkwater Maatschappij

Ir. J.W. Kooiman

Kiwa, projectmanager

Werkgroep UBAP (uitvoering van de boring en afwerking van de put)

Coördinator: ing. E.J. Schrama

Kiwa

A.W. Bechtholt

Waterleidingbedrijf Midden Nederland

Ing. C. van Rosmalen

Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant

L.J.M. van Vegchel

Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant

J. van Zeilen

Waterbedrijf Groningen

Ing. R.M. Kollen

Flevolandse Drinkwater Maatschappij

Werkgroep Procesbewaking

Coördinator: Mw. Ir. M.H. Zwamborn

Kiwa

Drs. H. Timmer

Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost

C.J.G. Jansen

Waterleiding Maatschappij Limburg

J.G.M.P. Wehrens

Waterleiding Maatschappij Limburg

Mw. Ir. H. van Engelenburg

Nuon Water

Ir. N.L. van der Moot

Waterleidingmaatschappij 'Drenthe'

Ir. C.G.E.M. van Beek

Kiwa

Werkgroep Bijsturen en Correctie

Coördinator: Ir. M.L.M. Balemans

Kiwa

Drs. H. Timmer

Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost

Mw. Ing. M.H.A. Juhász-Holterman

Waterleiding Maatschappij Limburg

A.W. Bechtholt

Waterleidingbedrijf Midden Nederland

G.J.W. Thomassen

Waterleiding Maatschappij Overijssel

H Boesschen Hospers

Waterleiding Maatschappij Overijssel

Tj. Dotinga

Waterbedrijf Gelderland

A.J.W. Ebbing

Waterbedrijf Gelderland

Ir. C.G.E.M. van Beek

Kiwa

III Medewerkers waterbedrijven en projectteam KWR

In 1999 – 2000 heeft de heer Makkink als eindredacteur een zeer grote bijdrage geleverd aan het tot stand komen van het kennisdocument. In 2009 heeft KWR de heer Makkink opnieuw gevraagd mee te werken aan de update van het kennisdocument. De heer Makkink is hieraan begonnen en heeft een groot aantal aanpassingen doorgevoerd. Helaas is hij in december 2009 overleden.

Bij de update van het Kennisdocument Putten(velden) hebben daarnaast verschillende medewerkers van waterleidingbedrijven en KWR een bijdrage geleverd:

Bedrijf	Medewerker
Vitens	Ton Ebbing
Vitens	Ate Oosterhof
Dunea	Pieter Dammers
Evides	Rob Lafort
WML	Wim Kessels
Brabant Water	Carl van Rosmalen
Oasen	Caspar van Genuchten
KWR	Kees van Beek
KWR	Gijsbert Cirkel
KWR	Klaasjan Raat
KWR	Femke Rambags

Bij het opstellen van het kennisdocument in 1999 – 2000 hebben verschillende medewerkers hun bijdrage geleverd aan het kennisdocument. De aard van de bijdrage loopt sterk uiteen, van het schrijven van tekstdelen tot het leveren van informatie middels een interview. Onderstaand is een overzicht opgenomen van de medewerkers van de waterbedrijven die aan dit kennisdocument hebben gewerkt bij het opstellen in 1999 – 2000.

Bedrijf	Medewerker
Flevolandse Drinkwater Maatschappij	Ing. R.M. Kollen
Nuon Water	Mw. Ir. H. van Engelenburg
	Ing. A. Kok
	A. Duits
	T. Hemme
	R. Diks
Waterbedrijf Groningen	J. van Zeilen
	Ir. J.W. Kieft
Waterleiding Maatschappij Limburg	Mw. Ing. M.H.A. Juhász-Holterman
	C.J.G. Jansen
	J.G.M.P. Wehrens
Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant	L.J.M. van Vegchel
	Mw. Ing. M. van der Velden
Waterleiding Maatschappij Overijssel	G.J.W. Thomassen
	H Boesschen Hospers
	H. Sluiter
Waterleidingbedrijf Midden Nederland	Ing. R. Breedveld
	A.W. Bechtholt
	Ing. Y.J. Graafsma
	R. van Rein
Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant	Ing. C. van Rosmalen
	Ing. J. Verstraelen
Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost	Drs. H. Timmer
	Ir. J.D. Verdel
Waterbedrijf Gelderland	Tj. Dotinga
	A.J.W. Ebbing
Waterleidingmaatschappij 'Drenthe'	Ir. N.L. van der Moot
	G.J. Brakel

Projectteam Kennisdocument Putten(velden)

Het interne projectteam van KWR in 2009 – 2010 dat meegewerkt heeft aan de update van het kennisdocument bestaat uit:

Naam	Functie
Inke Leunk	Geohydroloog, schrijver
Femke Rambags	Geohydroloog, schrijver
Gijsbert Cirkel	Geohydroloog, specialist HDDW
Klaasjan Raat	Geohydrochemicus, putverstopping
Kees van Beek	Hydroloog / hydrochemicus, specialist putverstopping en regeneratiemethoden
Jan Willem Kooiman	Projectbegeleiding
Martin Meerkerk	Contactpersoon Platform Bedrijfsvoering

Het interne projectteam van KWR (toenmalig Kiwa) in 1999 – 2000 dat aan het opstellen van het kennisdocument heeft gewerkt bestond uit:

Naam	Functie
Ing. M.J.C. van Baar	Hydrologische berekeningsmethoden
Ir. M.L.M. Balemans	Hydroloog; putten, putverstopping en regeneratie, berekeningsmethoden, meetsystemen, toezicht en oplevering, exploitatie
Ir. C.G.E.M. van Beek	Hydroloog / hydrochemicus, specialist putverstopping en regeneratiemethoden
Mw. A. Bekker	Visualisatie
Mw. Ir. L. Bernhardi	Planvormingsprocessen en beleid
Ing. J.C. Bunnik	Meetsystemen, toezicht en oplevering
W.J. Demmenie	Visualisatie
Mw. J.W. van Dijk	Secretariële ondersteuning
Ir. M.W. van Gerven	Specialist hydrologische berekeningsmethoden
Jan Willem Kooiman	Projectmanager
Ir. M. de Koning	Leidingnetten en energiebeheer
Ing. G.A.M. Mesman	Deskundige leidingnetten en hydraulische berekeningsmethoden
Ir. H.K. Makkink	Eindredacteur
Mw. J. van Oirschot	Visualisatie
Ing. P. Schaap	Deskundige leidingnetten
Ing. E.J.Schrama	Hydroloog; putten, putverstopping en regeneratie, wintechieken en boormethode, ontwerpcriteria, bestek
Mw. B. Smit	Secretariële ondersteuning
Ir. E.A. Trietsch	Specialist leidingnetten en hydraulische berekeningsmethoden (o.a. ALEID96®)
Mw. Ir. M.H. Zwamborn	Hydroloog, procesbewaking, berekeningsmethoden

IV Terminologielijst

Doel terminologielijst

De bedoeling van deze lijst is om een toelichting te geven op een aantal in dit kennisdocument gebruikte begrippen die op diverse plaatsen worden genoemd en waarvan de betekenis niet altijd even duidelijk is en begrippen waarvoor verschillende woorden worden gebruikt. Niet alle in dit kennisdocument genoemde begrippen zijn in deze lijst opgenomen: sommige behoeven geen nadere uitleg en andere ontbreken omdat ze gemakkelijk in de hoofdtekst zijn terug te vinden en daar duidelijk zijn verklaard. Elke term wordt kort omschreven en waar van toepassing wordt de gangbare eenheid vermeld. Ter verduidelijking van sommige termen wordt verwezen naar figuren of paragrafen uit de hoofdtekst. De omschrijvingen sluiten zoveel mogelijk aan bij bestaande verklaringen. Bij het samenstellen van deze lijst is gebruik gemaakt van onder meer de *Verklarende Hydrologische Woordenlijst (VHW)* en NEN-normen.

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
1.	aanvulgrind	Grind waarmee het boorgat, dat wil zeggen de annulaire ruimte, ter hoogte van de stijgbuis wordt aangevuld.	
2.	aanvulklei	Zie kleiafdichting.	
3.	aanvulschema	Zie stelstaat.	
4.	aanvulstaat	Zie stelstaat.	
5.	achterloops	Zie onderloops.	
6.	aëroob	Zuurstofhoudend, ofwel met zuurstof.	
7.	afpompingsmeting	Verlaging van de grondwaterspiegel c.q. van het stijghoogtevlak in een onttrekkingsput, als gevolg van onttrekking van een constant debiet aan een put. De verlaging wordt bij stationaire toestand vastgesteld, dat wil zeggen als het waterniveau niet meer verandert.	m
8.	afpompingskegel	Kegelvormige verlaging van de grondwaterspiegel c.q. van het stijghoogtevlak, als gevolg van onttrekking van grondwater aan een enkele put of aan een aantal putten die op korte afstand van elkaar zijn gelegen.	
9.	afpompingsmeting	Meting om de afpompingsput vast te stellen. Dit vindt plaats bij elke put afzonderlijk bij een constant debiet.	
10.	afpompingsproef	Zie afpompingsmeting.	
11.	afzetting, onverharde ~	De ondergrond, die voor de waterwinning van belang is, is uitsluitend opgebouwd uit losse, niet-verkitte of niet-versteende afzettingen, zoals zand, grind of klei.	
12.	anisotropie	Het verschijnsel dat de grootte van een eigenschap (bijvoorbeeld doorlatendheid) afhankelijk is van de richting.	
13.	annulaire ruimte	Ruimte, of horizontale afstand, tussen de boorgatwand en de ingebouwde put cq waarnemingsbuis.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
14.	antisol	Afbreekbaar organisch polymeer op zetmeelbasis. Antisol wordt als boorspoelingshulpmiddel toegepast.	
15.	aquifer	Aaneengesloten geologische afzettingslaag van (goed)doorlatende afzettingsgesteenten (sedimenten), waarin grondwater naar een onttrekkingspunt kan stromen. <i>Synoniem:</i> watervoerend pakket.	
16.	aquitard	Geologische afzetting met een lage waterdoorlatendheid. (zie ook: scheidende laag)	
17.	Arbowet	Arbeidsomstandighedenwet. In de Arbowet staan de rechten en plichten van werkgevers en werknemers op het gebied van veiligheid, gezondheid en welzijn.	
18.	artesisch grondwater	Grondwater afkomstig in een afgesloten watervoerende laag, waarin de stijghoogte van het grondwater boven het maaiveld uitkomt.	
19.	bacteriologische verstopping	Verstopping van een pompfilter als gevolg van bacteriegroei in en rondom de filterconstructie.	
20.	bedrijfsvoering	Dagelijkse bedrijfsvoering waarbij wordt uitgegaan van de planningscyclus: 'plannen, uitvoeren, controleren en bijsturen'.	
21.	bentoniet	Natuurlijke klei (Montmorilloniet) die in water (sterk) zwelt. Bentoniet wordt, opgelost in water, gebruikt voor boorspoeling en als droge brokjes voor het maken van klei-afdichtingen. Zie klei-afdichting.	
22.	berging (V)	Het volume water dat aanwezig is in een nader aan te geven deel van de grond.	m ³
23.	berging, specifieke $\sim (S_w)$	Berging boven een nader aan te geven referentievlak per eenheid van horizontaal oppervlak.	m
24.	bergingscoëfficiënt (S, μ)	De verhouding van de verandering in specifieke berging en de bijbehorende verandering van de stijghoogte c.q. grondwaterstand. <i>Synoniem:</i> bergingsfactor.	
25.	beschermingszone	Geen officiële benaming. Tegenwoordig praten we van 'milieubeschermingsgebied voor grondwater'. Zie milieubeschermingsgebied voor grondwater.	
26.	bestek	Werkovereenkomst tussen opdrachtgever en aannemer, bestaande uit een beschrijving (en tekeningen) van een uit te voeren werk met alle inlichtingen omtrent de uitvoering ervan, inclusief alle op het werk van toepassing zijnde technische en administratieve bepalingen.	
27.	binnenpeilbuis	Zie waarnemingsbuis (binnen-)	
28.	blindstuk	Niet geperforeerd deel in het pompfilter.	
29.	Bolegbo	Vereniging van Boorondernemers en Buizenleggers.	
30.	boorbeschrijving	Beschrijving van de bodemopbouw op basis van de grondmonsters die tijdens de boring achtereenvolgens omhoog zijn gebracht. Gegevens die in een boorbeschrijving worden opgenomen zijn onder andere: de diepte waarop een bepaald sediment is aangetroffen en eigenschappen van het sediment, zoals korrelgrootte, organische stof-gehalte, lutumgehalte en kleur.	
31.	boorbuis	Bij de pulsboormethode toegepaste tijdelijke steunbuis, aangebracht over de volledige diepte	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
		van het boorgat. Doeleinden: instorting van het boorgat voorkomen, oppervlaktewater weren en zonodig verontreinigd grondwater tegenhouden. <i>Synoniemen:</i> steunbuis, verbuizing.	
32.	boordiepte	Einddiepte of totale diepte van een boorgat.	m
33.	boorgruis	De grond die door de boor (beitel, puls) van de bodem van het boorgat wordt losgemaakt	
34.	boorkop	Draaiboorkop van een zuig- of spuitboorinstallatie waar de boorstang aanhangt.	
35.	boormeester	Werknemer van een grondboorbedrijf (boorfirma), specialist in het maken van grondboringen en pompputten en als hoofd van de boorploeg verantwoordelijk voor de uitvoering van de boring, de boorbeschrijving en de afwerking van boorgat tot pompput of waarnemingsput.	
36.	boorspoeling	Water (werkwater) dat gebruikt wordt bij roterende grondboormethoden (spuitboring en zuigboring). Aan dit water kan zonodig een boorspoelingshulpmiddel worden toegevoegd om de boorgatwand te stabiliseren. <i>Synoniem:</i> spoeling.	
37.	boorstaat	Zie boorbeschrijving.	
38.	boorstelling	Zie boorinstallatie.	
39.	boorgatmeting	Zie geofysische boorgatmeting.	
40.	boorgatstabiliteit	Mate van stevigheid van de boorgatwand tegen instorten van het boorgat.	
41.	boorgatwand	Overgang tussen het boorgat en de formatie.	
42.	bronleiding	Zie terreinleiding.	
43.	buitenpeilbuis	Zie waarnemingsbuis (buiten-)	
44.	caliper	Toestel waarmee de diameter van een onverbuisd boorgat vanaf de bodem tot aan het maaiveld wordt gemeten.	
45.	camera-onderzoek	Video-camera of foto-camera die in de pompput wordt neergelaten voor visuele inspectie van de toestand van de put. Zo kunnen beschadigingen, neerslag en bacteriologische aangroei zichtbaar worden gemaakt.	
46.	capaciteit (Q)	Zie volumestroom.	m ³ /h
47.	capaciteit, specifieke $\sim (q)$	Zie volumestroom (specifieke) .	m ³ /(h m)
48.	capaciteitsproef	Proef waarmee de specifieke capaciteit van de pompput wordt bepaald. Daartoe wordt het verband vastgesteld tussen de opgepompte volumestroom en de afpompings in de pompput zelf.	
49.	classificatiesysteem (van grondsoorten)	Verdeling van de grondsoorten naar (minerale) korrelgrootte in groepen, de zogenaamde fracties. Zie bijvoorbeeld lutum, silt en zand. Zie NEN-5104.	
50.	classificeren	Indelen en benoemen van grondmengsels, ofwel het beschrijven van grondmengsels.	
51.	cycloon	Zie ontzander.	
52.	CROW (Stichting)	Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en	

Nr.	Term (<i>grootheid</i>)	Korte omschrijving	Eenheid
		de Verkeerstechiek.	
53.	debiet (Q)	Zie volumestroom.	m ³
54.	deeltjes	In het grondwater aanwezige deeltjes: onder andere slibdeeltjes kleiner dan ongeveer 10 µm en fijne zandkorrels van ongeveer 50 µm tot ongeveer 110 µm.	
55.	deeltjestelling	Telling van deeltjes in onttrokken grondwater met speciale telapparatuur. Zie deeltjes.	
56.	Definitief Ontwerp	Putontwerp nadat het ontwerpproces is doorlopen, de vereiste proeven zijn uitgevoerd en de noodzakelijke berekeningen zijn gemaakt.	
57.	dispersie (van klei)	Het verschijnsel dat klei in water in kleinere deeltjes uiteenvalt en een colloïdale of gesuspendeerde oplossing vormt.	
58.	doorbraak	Wanneer in een meetreeks voor het eerst een bepaalde stof wordt aangetoond in een meetpunt voor grondwaterkwaliteit of in het water uit een pompput.	
59.	doorlaatpercentage	Procentuele verhouding van de buitenoppervlakte van alle filtersleuven samen en de totale oppervlakte van de buitenwand van het filter. <i>Synoniem</i> : open oppervlakte.	
60.	doorlaatvermogen (kD -waarde)	Maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom die per breedte-eenheid van het watervoerend pakket en per eenheid van stijghoogte-gradiënt door een watervoerende laag stroomt. <i>Synoniem</i> : transmissiviteit (T -waarde).	m ² /dag
61.	doorlatendheid	Het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten. Dit bepaalt de snelheid waarmee de vloeistof of het gas door een laag kan stromen.	
62.	doorlatendheidscoëfficiënt (k)	Een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom door een eenheid van oppervlakte als de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak gelijk is aan één. <i>Synoniemen</i> : doorlaatfactor, doorlaatcoëfficiënt.	m/dag
63.	drukverlies (H_w)	Zie leidingweerstand.	m
64.	filterbuis	Geperforeerd deel van de buis waar het grondwater kan binnentreden. Bij zowel een pompfilter als een waarnemingsfilter onderscheiden we filters met los-grindomstorting, geplakte grindomstorting en dubbele wand.	
65.	filterconstructie	Geperforeerde filterbuis met een omstorting van zand en/of grind.	
66.	filterdiameter	Diameter van de filterbuis.	
67.	filterfactor	De filterfactor geeft aan hoeveel keer de korrels van het filtergrind groter moeten zijn dan de gemiddelde korrelgrootte van het formatiezand. De filterfactor varieert meestal tussen 2 en 5. Zie Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.4.1.	
68.	filtergrind	Grind dat rondom het filter van een pompput of waarnemingsbuis wordt gestort. <i>Synoniem</i> : omstortingsgrind.	
69.	filterkoek	Zie pleisterlaag.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
70.	filtermateriaal	Materiaal dat voor filterbuizen kan worden gebruikt.	
71.	filteromstorting	Opvulling van de ruimte tussen de boorgatwand en het filter, meestal bestaande uit grind of zand, bedoeld om instroming van formatiemateriaal via de filterperforatie te voorkomen en daardoor mechanische verstopping tegen te gaan en de hydraulische weerstand tussen filter en grond te verlagen.	
72.	filterspleten	Zie perforatie.	
73.	filterstelling	Positionering van een filter op een bepaalde diepte.	
74.	filterstreng	Eén van de horizontaal gelegen filterbuizen van een horizontale onttrekkingsput.	
75.	filterweerstand	Zie intreeweerstand.	m
76.	flow-meting	Meting van de debietverdeling per lengte-eenheid over de diverse filtersecties van een pompput.	
77.	formatie	Een geologische afzetting, die gekenmerkt wordt door één of meer eigenschappen (bijvoorbeeld zand dat door een bepaalde rivier is afgezet). Die eigenschappen moeten duidelijk verschillen van de eigenschappen van de afzettingen in naburige formaties.	
78.	formatieweerstand	Specifieke elektrische weerstand van de grond (inclusief het poriënwater) van een formatie.	Ωm
79.	freatisch grondwater	Grondwater met een vrije grondwaterspiegel. Deze waterspiegel heeft een waterdruk die gelijk is aan de atmosferische druk.	
80.	gammameting (natuurlijke- ~)	Meting in het boorgat voordat de put wordt ingebouwd. Daarbij wordt de natuurlijke gammastraling van de formatielagen gemeten om de aard van deze lagen vast te stellen.	
81.	geo-elektrische meetmethode	Meetmethode waarbij fysische eigenschappen van de ondergrond (samenstelling, doorlatendheid, chloridegehalte) gerelateerd worden aan elektrische eigenschappen van de ondergrond (elektrische weerstand).	
82.	geofysisch onderzoek	Onderzoek naar de fysische eigenschappen van de bodem en de ondergrond. Daarbij blijven de bodem en de ondergrond intact, zoals bij toepassing van grondradar, seismiek en geo-elektrische onderzoekstechnieken.	
83.	geofysische boorgatmeting	Meetmethode waarbij, gebruik makend van de verbanden tussen fysische eigenschappen en geologische kenmerken van de ondergrond, door middel van metingen (zoals elektrische weerstand en natuurlijke gamma-straling) informatie wordt verkregen over de fysische eigenschappen van de ondergrond. De meting vindt plaats in het boorgat over de hele diepte nadat de boring gereed is, maar voordat de put wordt ingebouwd.	
84.	geohydrologie	De wetenschap die de samenhang tussen de opbouw van de geologische ondergrond en de stroming en samenstelling van grondwater bestudeert.	
85.	geothermische gradiënt	Natuurlijk verloop van de temperatuur van de ondergrond tegen de diepte.	$^{\circ}\text{C}/\text{m}$
86.	geroerd grondmonster	Grondmonster waarvan de structuur niet meer gelijk is aan die van de grond in de oorspronkelijke toestand.	
87.	grind	Fractie (korrelgroep) van de minerale korrels met korrelgroottes van 2 mm t/m 63 mm.	

Nr.	Term (<i>grootheid</i>)	Korte omschrijving	Eenheid
88.	grondwaterspiegel	Het vlak door de punten waar het grondwater een druk heeft die gelijk is aan atmosferische druk. <i>Synoniem:</i> freatisch vlak .	
89.	grondwaterstand (<i>h</i>)	De hoogte t.o.v. een referentieniveau van een punt waar de druk van het grondwater gelijk is aan de atmosferische druk.	m
90.	haalbuis	De buis die bij een vacuümsysteem in de put hangt, een in een put gehangen binnenbuis waardoor water wordt opgezogen of de buis in een pompput tussen de onderwaterpomp en putkopconstructie cq ruwwaterleiding. <i>Synoniemen:</i> inhangleiding, persbuis.	
91.	hardheid (van water)	Som van de concentraties calciumionen en magnesiumionen in water.	mmol/l
92.	hogedrukreiniging	Reinigingsmethode waarbij de perforatie van een verstopt pompfilter door middel van een waterstraal onder hoge druk wordt schoongespoten.	
93.	homogeniteit	Het verschijnsel dat de grootte van een eigenschap (bijvoorbeeld doorlatendheid) in elk punt hetzelfde is.	
94.	hydraulische weerstand (<i>c</i>)	Weerstand die een bepaalde laag biedt tegen een verticale grondwaterstroming.	dag
95.	hydrologie	De leer van het voorkomen, het gedrag en de chemische en fysische eigenschappen van water in al zijn verschijningsvormen op en beneden het aardoppervlak, uitgezonderd het water in de zeeën en oceanen. Ook de invloed van menselijk handelen wordt hier vaak onder begrepen.	
96.	hydrologische basis	De basis van het hydrologische systeem. D.w. z. de geologisch laag die niet of nauwelijks deelneemt aan het bovenliggende hydrologische systeem.	
97.	hydrostatische druk	De druk die een kolom water uitoefent.	N/m ²
98.	inbouwstaat	Zie stelstaat.	
99.	infiltratie, kunstmatige ~	Op kunstmatig manier het grondwater aanvullen door middel van infiltratieputten, kanalen of plassen. <i>Synoniem:</i> injectie.	
100.	infiltratie, natuurlijke ~	Het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt. <i>Synoniemen:</i> insijpeling, inzijging.	
101.	infiltratieput	Put gebruikt voor het injecteren van water in de ondergrond.	
102.	infiltratiesnelheid (v_i) (infiltratiedebiet (q_v))	Het volume water dat per eenheid van tijd en per eenheid van horizontaal oppervlak door infiltratie de grond binnentreedt.	m/dag
103.	infiltratieweerstand	Hydraulische weerstand die het water ondervindt bij het infiltreren in de grond.	dag/m
104.	inhangleiding	Zie haalbuis.	
105.	injectieput	Zie infiltratieput.	
106.	intredeweerstand	Zie intreeweerstand.	m

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
107.	intreesnelheid (op boorgatwand)	Zie snelheid op de boorgatwand.	
108.	intreeweerstand	De weerstand die het water moet overwinnen om naar de put te stromen. Het gaat om de totale weerstand van de boorgatwand, de filteromstorting en het filter. <i>Synoniemen:</i> intredeweerstand, filterweerstand. De term intreeweerstand heeft de voorkeur.	dag/m
109.	invloedstraal	Afstand vanaf het centrum van de onttrekking tot aan het punt waar de grondwaterstandsverlaging cq stijghoogteverlaging als gevolg van de onttrekking is te verwaarlozen of niet meer is waar te nemen.	
110.	ISO	International Standard Organisation	
111.	kathodische bescherming	Bescherming van in de grond liggende stalen buizen tegen corrosie door de buizen ten opzichte van de omliggende grond een negatieve elektrische spanning te geven. De buis fungeert dan als kathode.	
112.	kleiafdichting	Afsluitende kleiprop tussen stijgbuis en boorgatwand, die ervoor dient om doorboorde natuurlijk aanwezige kleilagen te herstellen of om kortsluitstroming van een watervoerend pakket naar een ander watervoerend pakket via het boorgat te voorkomen.	
113.	KLIC	Kabels en Leidingen Informatie Centrum.	
114.	korrelgrootte	Diameter van gronddeeltjes.	µm
115.	korrelgrootteverdeling	Grafische voorstelling van de grootte van de korrels van een bepaald grondmonster. Hierbij is de cumulatieve massa van het mengsel in procenten uitgezet tegen de korrelgrootte (zie figuur in Hoofdstuk 8, Paragraaf 8.4.1). <i>Synoniem:</i> zeefkromme.	
116.	leidingweerstand (H_w)	Stromingsweerstand van een vloeistof in een leiding. Dit leidt tot drukverlies.	
117.	lithologie	Leer van ontstaan, voorkomen en eigenschappen van gesteentelagen.	
118.	luchtlichten	Zie zuigboren.	
119.	lutum Zie NEN 5104	Fractie (korrelgroep) van de minerale korrels met korrelgrootte kleiner dan 2 µm.	
120.	mantelbuis	Buis die, bij zuig- of spuitboren, de bovenzijde van het open boorgat beschermt tegen afkalving. <i>Synoniemen:</i> stoofpijp, schachtbuis, voorbuis, start casing. De term mantelbuis heeft de voorkeur. Verwar mantelbuis niet met boorbuis, zoals de verbuizing bij pulsbooren wordt genoemd.	
121.	meetfrequentie	Aantal keren dat een meting per tijdseenheid wordt verricht.	
122.	meetnet	Samenhangend geheel van meetstations en meetpunten cq bemonsteringspunten.	
123.	meetprotocol	Voorschriften of beschrijving van procedure om metingen op een bepaalde manier uit te voeren.	
124.	milieubeschermingsgebied voor grondwater	Huidige benaming voor beschermingszone. Milieubeschermingsgebieden voor grondwater zijn door de provincie vastgestelde beschermingszones rondom waterwingebieden. We	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
		onderscheiden: waterwingebied, grondwaterbeschermingsgebied en boringvrije zone.	
125.	mof	Kort buisstuk dat twee gladde buizen met elkaar verbindt. De binnendiameter van de mof is gelijk aan de buitendiameter van de te verbinden buiselementen. Een mof is iets anders dan een tromp. (zie ook tromp)	
126.	monitoring	Bewaken; in de gaten houden.	
127.	niet-stationaire stroming	Stroming waarbij de plaatselijke snelheid in de tijd verandert.	
128.	NITG-TNO	Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO	
129.	omstorting	Aanvulling van de annulaire ruimte met filtergrind, aanvulgrind en aanvulklei.	
130.	onderloops	Situatie waarbij tijdens roterend boren boorspoeling onderlangs buiten de mantelbuis omhoogkomt. <i>Synoniemen:</i> achterloops, onderspoeling.	
131.	onderspoeling	Zie onderloops.	
132.	ondoorlatende laag	Zie scheidende laag.	
133.	ongeroerd grondmonster	Een monster waarvan de structuur en indien mogelijk ook andere eigenschappen (zoals dichtheid, vochtgehalte, poriëngehalte, korrelgrootteverdeling) gelijk zijn aan die van de grond in de oorspronkelijke toestand (in situ). De kwaliteit van grondmonsters wordt in vijf klassen ingedeeld. Hoe lager de klasse des te beter het grondmonster overeenkomt met de grond in situ en des te meer eigenschappen we ervan kunnen bepalen.	
134.	onttrekkingsdebiet	Zie volumestroom.	m ³ /h
135.	ontwikkelen pompput	Verwijderen van boorspoelingsrestanten en fijne rondgepompte materiaaldeeltjes uit de put, de omstorting en de boorgatwand en het verwijderen van de fijnere fracties van de formatie rondom het pompfilter. Ontwikkelen vindt direct na inbouw van de put en aanvulling van het boorgat plaats en heeft tot doel bij de oplevering een zo groot mogelijk specifiek debiet te verkrijgen.	
136.	ontzander	Apparaat waarmee de boorspoeling van zand (ook het fijne) wordt ontdaan. <i>Synoniem:</i> cycloon.	
137.	opvoerhoogte, vereiste ~ ($H_{p,man}$)	Dit begrip heeft met name betrekking op de pomp in de pompput. De vereiste opvoerhoogte is de opvoerhoogte (opvoerdruk, pershoogte) die de onderwaterpomp moet leveren om de statische opvoerhoogte (opvoerhoogte tussen onderwaterpomp en einde van de ruwwaterleiding bij zuivering) plus de vereiste voordruk bij de zuivering plus de leidingweerstand te overwinnen.	m _{waterkolom}
138.	opzetbuis	Zie verwijde stijgbuis.	
139.	peilbuis	Zie waarnemingsbuis.	
140.	peilfilter	Zie waarnemingsfilter.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
141.	perforatie	Spleten (sleuven) in de filterbuis van een pompput of waarnemingsbuis waardoor het grondwater naar binnen kan treden. Perforatie heeft ook de betekenis van spleetwijdte (sleufbreedte)!	
142.	persbuis	Zie haalbuis.	
143.	pH-waarde	Zie zuurgraad pH.	
144.	piekverbruik	Maximaal verbruik op één dag.	m ³ /dag
145.	piëzometer	Peilbuis met een zeer kort filter (enkele centimeters) of met alleen een opening aan de onderzijde.	
146.	pleisterlaag	Dunne, afdichtende laag op de boorgatwand, ontstaan tijdens zuig- of spuitboren door het dichtslibben met deeltjes uit de boorspoeling. <i>Synoniemen:</i> filterkoek, wall cake en skin.	
147.	pompbuis	Zie verwijde stijgbuis.	
148.	pompfilter	Zie pompput.	
149.	pompkamer	Zie verwijde stijgbuis.	
150.	pompproef	Proef om informatie te krijgen over de hydraulische eigenschappen (hydrologische parameters) van watervoerende pakketten en scheidende lagen. Daartoe wordt het verband bepaald tussen de opgepompte volumestroom en de verlaging van de stijghoogte in de waarnemingsputten die op verschillende afstanden van de pompput zijn aangebracht.	
151.	pompput	Put waaruit het grondwater met behulp van een pomp (al of niet onder water) omhoog wordt gepompt. De pompput bestaat in zijn eenvoudigste vorm uit een geperforeerd gedeelte, pompfilter of filter genoemd, en een ongeperforeerd gedeelte, stijgbuis genoemd.	
152.	pompstation	Inrichting waar het ruwwater van de pompputten wordt gezuiverd en waar het als reinwater in het drinkwaterdistributienet wordt gepompt.	
153.	poriegetal	Verhouding tussen het volume van de poriën en het volume van de vaste delen. <i>Synoniem:</i> poriëgetal.	
154.	porositeit	Verhouding tussen het volume van de poriën en de totale volume van de grond (inclusief poriën). <i>Synoniemen:</i> poriëgehalte, poriëfractie.	
155.	Preussag-methode	Specifieke methode om horizontale putten te maken. Bij de Preussag-methode brengt men een 'losse' filteromstorting aan. Bij andere methoden voor het maken van horizontale putten is geen filteromstorting mogelijk of maakt men gebruik van een geplakte filteromstorting.	
156.	proefboring	Zie verkenningsboring.	
157.	puls	Buis van ongeveer 1,5 m lang (afhankelijk van de diameter) , die aan de onderzijde is voorzien van een terugslagklep en gebruikt wordt bij pulsboringen.	
158.	pulsboren	Verbuisde boormethode waarbij de puls op de bodem van het boorgat op en neer wordt bewogen om grond los te werken waarbij telkens wat grond door de klep wordt 'gevangen'.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
		Na een aantal malen pulsen wordt de volle puls opgehesen en op het maaiveld in een bak geleegd. Pulsboringen worden voornamelijk toegepast voor milieuboringen, ondiepe verkenningboringen, waarnemingsputten en infiltratieputten.	
159.	putafdichting	Materiaal waarmee verlaten pomp-, infiltratie- en waarnemingsputten worden afgedicht. In de put worden de diverse materialen op dezelfde plaats aangebracht als bij de aanleg in de annulaire ruimte. Dus ter hoogte van scheidende lagen klei of grout en ter hoogte van watervoerende pakketten zand of grind.	
160.	putconstructie	Opbouw van een pompput, bestaande uit de filterconstructie, stijgbuis, verloop, verwijde stijgbuis en putkop.	
161.	putfilter	Zie pompput.	
162.	putkop	Bovenste deel van een put dat de overgang vormt tussen de put en de terreinleiding en dat de put van boven afsluit.	
163.	putproef	Eenvoudige proef op één pompput om informatie te krijgen over de kD -waarde van het watervoerende pakket (zonder waarnemingsputten). Zie Kruseman en De Ridder, 1990.	
164.	putschacht	Zie put (horizontale ~). Met putschacht wordt soms ten onrechte putkelder bedoeld.	
165.	putverstopping	Verminderde specifieke capaciteit van de put als gevolg van verstopping van de filterspleten of verstopping op de boorgatwand.	
166.	put, horizontale ~	Pompput, waarbij één of meer filters zich uitstrekken in het horizontale vlak. De filters komen bij elkaar in een verticale putschacht met een diameter van ongeveer 2 m.	
167.	put, onvolkomen ~	Verticale pompput waarvan het filter niet het gehele watervoerende pakket beslaat; de filterlengte is dus kleiner dan de dikte van het pakket.	
168.	put, verticale ~	Pompput waarbij het putfilter zich uitstrekt in verticale richting.	
169.	put, volkomen ~	Verticale pompput waarvan het filter het gehele watervoerende pakket beslaat; de filterlengte is dus (min of meer) gelijk aan de dikte van het pakket.	
170.	put, win~ (winnings~)	Zie pompput.	
171.	puttenveld	Terrein waarin de pompput(ten) ligt (liggen). <i>Synoniemen:</i> wingebied, winningsgebied en waterwinplaats; niet te verwarren met waterwingebied, waarmee de 60-dagen zone wordt bedoeld.	
172.	RAW(-systematiek)	Regelgeving voor Automatisering van Werken in de Grond-, Water- en Wegenbouw.	
173.	regenereren van een pompput	Terugbrengen van de capaciteit van een pompput naar de oorspronkelijke capaciteit. Dit lukt niet altijd. Bij regenereren wordt het verstoppende materiaal van het putfilter, van de boorgatwand en uit de omstorting verwijderd. Er bestaan mechanische en chemische reinigingsmethoden.	
174.	ruwwaterleiding	Zie terreinleiding.	
175.	schakelschema	Schema op basis waarvan de pompputten worden aan- en uitgeschakeld. Bij oplopende	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
		vraag worden pompputten bijgeschakeld en bij afnemende vraag worden pompputten uitgeschakeld.	
176.	scheidende laag	Aaneengesloten klei- of veenlaag. Deze laag laat het water niet of zeer slecht in verticale richting door. We spreken dan van respectievelijk ondoorlatende en slechtdoorlatende laag. In een scheidende laag vindt geen, of een verwaarloosbaar kleine, horizontale stroming plaats. <i>Synoniem:</i> weerstandbiedende laag.	
177.	silt	Fractie van de minerale korrels met korrelgroottes tussen 2 µm en 63 µm.	
178.	snelheid, effectieve $\sim (v_e)$	Snelheid van de waterdeeltjes, uitgedrukt als de verhouding van de filtersnelheid en het watergehalte. De effectieve snelheid is de doorlatendheid (k -waarde).	m/dag
179.	slechtdoorlatende laag	Zie scheidende laag.	
180.	snelheid op de boorgatwand (q)	Het volume water dat per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid de boorgatwand passeert. <i>synoniemen:</i> intredesnelheid, intreesnelheid. Intreesnelheid heeft de voorkeur.	m ³ /(h m ²) m/h
181.	snelheid op de filterwand (q)	Het volume water dat per tijdseenheid (vaak per uur) en per oppervlakte-eenheid de filterbuis intreedt respectievelijk uittreedt.	m ³ /(h m ²) m/h
182.	spanningsreeks (van metalen)	Bij contact tussen verschillende metalen wordt het metaal met de laagste normaalpotentiaal het eerst aangetast (corrodeert het eerst) <i>synoniemen:</i> edelheidsreeks, verdringingsreeks. De term spanningsreeks heeft de voorkeur.	
183.	spanningswater	Grondwater dat onder een scheidende laag onder druk staat.	
184.	spoelboren	Zie spuitboren (roterend).	
185.	spreidingslengte (λ)	(Geo)hydrologische parameter, gelijk aan de wortel van het product van het doorlaatvermogen (kD) en de hydraulische weerstand (c). Ook wel gedefinieerd als: de wortel uit het quotiënt van het doorlaatvermogen van een watervoerende laag en de som van de lekvermogens van de begrenzend slechtdoorlatende lagen. De spreidingslengte is een maat voor de verbreiding van effecten van grondwateronttrekking of infiltratie in een watervoerend pakket.	m
186.	spuitboren (met lans)	Boormethode waarbij de formatie losgewoeld wordt door de eroderende kracht van een waterstraal, die met een spuitlans op de bodem van het boorgat wordt gericht. Het vrijkomende materiaal wordt door de waterstroom mee naar boven genomen. Boren met de spuitlans wordt voornamelijk toegepast voor het plaatsen van ondiepe waarnemingsputten, de aanleg van bronbemaling en de aanleg van waterbouwkundige constructies (zoals damwanden).	
187.	spuitboren, roterend $\sim$	Boormethode waarbij het materiaal losgemaakt wordt door een draaiende beitel aan het einde van de boorstang. Door de holle boorstang wordt boorspoeling naar beneden geperst die het losgewerkte materiaal langs de buitenzijde van de boorstang omhoog voert.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
		Deze methode wordt vooral toegepast bij het maken van diepe verkenningss boringen en bij het plaatsen van diepe waarnemingsputten. <i>Synoniemen:</i> spoelboren, straight flush boren. De term 'roterend spuitboren' heeft de voorkeur.	
188.	stationaire stroming	Stroming waarbij gedurende de beschouwde periode de plaatselijke snelheid niet verandert.	
189.	stelstaat	Lijst waarop gegevens staan over de opbouw en afmetingen van de pompput, de dieptes waarop de filters zijn afgesteld en de dieptes waarop filtergrind, aanvulgrind en aanvulklei zijn gestort en de gegevens van de aanvulmaterialen. <i>Synoniemen:</i> aanvulstaat, inbouwstaat. De term stelstaat heeft de voorkeur.	
190.	stijgbuis	Ongeperforeerd gedeelte van pompput of waarnemingsbuis. Het gedeelte van de pompput dat boven het filter is geplaatst.	
191.	stijghoogte (<i>h</i>)	De stijghoogte van het grondwater in een bepaalde aardlaag is de hoogte van het waterniveau in een open waarnemingsbuis, aangegeven ten opzichte van een referentievlak. Volgens de hydrologische woordenlijst: de som van de drukhoogte en plaatshoogte. Deze grootheid kan worden gemeten met een piëzometer waarvan de hoogte t.o.v. een referentievlak bekend is.	m
192.	stopproef	Een stopproef is een proef met een pompput waarmee de veranderingen in de stijghoogten worden gemeten direct na stopzetting van het pompen. Doel is om de hydrologische eigenschappen van de ondergrond vast te stellen, zoals het bepalen van de <i>KD</i> - en de <i>c</i> -waarden. Zie Hoofdstuk 5, Paragraaf 5.3.2. De stopproef heeft hetzelfde doel als de pompproef.	
193.	suspensie	In een suspensie zweven de fijne deeltjes in de vloeistof, zolang de vloeistof in beweging is. Een dergelijke vloeistof is troebel. Komt de vloeistof tot rust, dan zakken de deeltjes uit. Een vloeistof met slib- en kleideeltjes is daar een goed voorbeeld van.	
194.	temperatuurmeting in boorgat	Meting van het verloop van de temperatuur van de ondergrond tegen de diepte in een boorgat.	
195.	terreinleiding	Leiding tussen pompput en zuiveringsinstallatie of tussen (voor)zuiveringsinstallatie en infiltratieput. <i>Synoniemen:</i> ruwwaterleiding, bronleiding. De term terreinleiding heeft de voorkeur.	
196.	Transmissiviteit (<i>T</i>)	<i>Zie doorlaatvermogen (nr. 60)</i>	
197.	tromp	Verwijd uiteinde van een buiselement. In de tromp wordt de spie van een ander buiselement bevestigd. Zie ook mof.	
198.	upconing	Het verschijnsel dat het grensvlak tussen twee soorten grondwater (zoals het zoet/zout-grensvlak) ter plaatse van een onttrekking als een kegelpunt omhoog wordt 'getrokken'.	
199.	V&G-plan	Veiligheids- en Gezondheidsplan dat verplicht (volgens Arbowet) op de boorplaats aanwezig moet zijn (zie Hoofdstuk 11, Paragraaf 11.1.4).	

Nr.	Term (<i>grootheid</i>)	Korte omschrijving	Eenheid
200.	verblijftijd (<i>T</i>)	Tijdsduur tussen het moment waarop water in de ondergrond wordt geïnfiltreerd en het moment waarop datzelfde water uittreedt of wordt onttrokken.	dag
201.	verbuizing	Zie boorbuis.	
202.	verhang (s) van grondwaterspiegel	De verhouding van het verval tussen twee punten en hun afstand. Verval is het verschil in waterhoogte tussen die twee punten.	
203.	verkenningboring	Boring die gebruikt wordt om informatie over de bodemopbouw en de textuur van de grond te verkrijgen, meestal ter aanvulling of ter verificatie van informatie uit andere bronnen. Deze boring vindt in het algemeen plaats voordat er een nieuwe put of een nieuw puttenveld wordt aangelegd. Het boorgat kan tot een put worden afgewerkt. <i>Synoniem:</i> proefboring.	
204.	verloop	Verwijding van de putbuis tussen stijgbuis en verwijde stijgbuis.	
205.	verwijde stijgbuis	Bovenste deel van de buis van de put. Bij pompputten wordt in dit deel de onderwaterpomp gehangen. Bij waarnemingsbuizen kan hierin voor het nemen van monsterneming een onderwaterpompje worden gehangen. <i>Synoniemen:</i> opzetbuis, pompbuis, pompkamer. De naam verwijde stijgbuis heeft de voorkeur.	
206.	verzadigde zone	Deel van de grond waarin de poriën geheel met water zijn gevuld.	
207.	verzamelleiding	Ruwwaterleiding die het water van een aantal pompputten transporteert.	
208.	verzanding	Verstopping van een pompput door zandophoping in de filteromstorting en in/voor het pvc-filter.	
209.	verzilting	Verschijsel dat het chloridegehalte van het onttrokken grondwater in de loop van de tijd toeneemt.	
210.	viscositeit (η)	Weerstand van een vloeistof om te stromen. Hoe stroperiger hoe groter de viscositeit.	Pa s
211.	vlakdraaien	Een zo constant mogelijk debiet aan de gezamenlijke pompputten onttrekken met het doel het productieproces zo optimaal mogelijk te laten verlopen.	
212.	volumestroom (<i>Q</i>) (bij pompputten)	Volume vloeistof dat per tijdseenheid wordt verplaatst. <i>Synoniemen:</i> capaciteit, debiet, onttrekkingsdebet, opbrengst.	m ³ /h
213.	volumestroom, specifieke $\sim (q)$ (bij pompputten)	Onttrokken debiet van een pompput per meter afpomp (in een stationaire toestand): $Q_{spec} = Q/d$. <i>Synoniemen:</i> specifieke capaciteit, specifiek debiet, specifieke opbrengst.	m ³ /(h m)
214.	waarnemingsbuis	Buis waarmee de grondwaterstand c.q. de stijghoogte kan worden gemeten en waaruit grondwatermonsters kunnen worden genomen. Evenals een pompput bestaat de waarnemingsbuis uit een geperforeerd gedeelte, waarnemingsfilter of filter genoemd, en een ongeperforeerd gedeelte, stijgbuis genoemd. De term peilbuis wordt gebruikt als de buis wordt toegepast voor het bepalen van de grondwaterstand cq stijghoogte.	

Nr.	Term (grootheid)	Korte omschrijving	Eenheid
215.	waarnemingsbuis, binnen~	In de pompput geplaatste waarnemingsbuis waarmee het grondwaterniveau of de stijghoogte van het grondwater in de pompput wordt gemeten.	
216.	waarnemingsbuis, buiten~	Direct naast de pompput geplaatste waarnemingsbuis waarmee het grondwaterniveau of de stijghoogte van het grondwater in de omstorting van de pompput wordt gemeten.	
217.	waarnemingsfilter	Zie waarnemingsbuis.	
218.	waarnemingsput	'Boorgat' waarin een aantal waarnemingsbuizen (één kan ook) is gesteld. Zo'n put dient voor het bepalen van de stijghoogte, grondwaterkwaliteit en (bij meer waarnemingsputten) richting van de grondwaterstroming.	
219.	waterbalans	De vergelijking van de hoeveelheden water betrokken bij toevoer, afvoer, onttrekking en verandering in berging over een bepaalde periode en binnen een bepaald gebied.	m ³
220.	waterhuishouding	De manier waarop water in een bepaald gebied wordt opgenomen, zich verplaatst en wordt gebruikt, verbruikt en afgevoerd; meestal beïnvloed door menselijk handelen.	
221.	watertype	Soort grondwater waarvan de kwaliteit verschilt van die van een ander soort grondwater. Er zijn veel watertypen.	
222.	waterverzadiging	Mate waarin de poriën tussen de sedimentkorrels gevuld zijn met water.	
223.	waterwingebied	Direct om de putten gelegen beschermingszone, ook wel 60-dagen zone genoemd. Zie ook beschermingszone.	
224.	watervoerend pakket	Zie aquifer.	
225.	weerstand, verticale ~ (c)	Weerstand die een bepaalde laag biedt tegen een verticale grondwaterstroming.	d
226.	weerstandbiedendelaag	Zie scheidende laag.	
227.	win- of winningsput	Zie pompput.	
228.	zand	Fractie van de minerale korrels met korrelgroottes tussen 63 µm en 2 mm.	
229.	zandvang	Onderste blinde deel (voorzien van bodem) van een pompput, waarin met het grondwater meegevoerd zand en slib kunnen bezinken.	
230.	zeefkromme	Zie korrelgrootteverdeling.	
231.	zetting	Bodemdaling (zakking) als gevolg inklinking, krimp en oxidatie en door de bouw van kunstwerken, het ophogen van de grond of het aanbrengen van enig ander materiaal.	
232.	zoet/zout-grensvlak	Denkbeeldig grensvlak gelegen in de meestal betrekkelijk smalle overgangszone tussen zoet en zout grondwater (150 mg/l).	
233.	zoutwachter	Tegelijk met de putconstructie ingebouwde meetkabel met elektrodenparen waarmee de elektrische weerstand van de ondergrond ter plaatse van de elektrodenparen wordt gemeten. De zoutwachter geeft onder meer een indicatie van de verandering van de ligging van het zoet/zout-grensvlak (Permanent Electrode System, PES).	
234.	zuighoogte, vereiste ~ ($H_{z,man}$)	Dit begrip heeft met name betrekking op het zuigboren. De vereiste zuighoogte is de zuighoogte die de centrifugaalpomp moet leveren om de statische zuighoogte	m _{waterkolom}

Nr.	Term (<i>grootheid</i>)	Korte omschrijving	Eenheid
		(hoogteverschil in meters waterkolom tussen het waterniveau in het boorgat en het hoogste punt van de stroming in de boorkop) plus de leidingweerstand plus het effect van de grotere dichtheid van de boerspoeiing door het boorgruis te overwinnen.	
235.	zuigboren, roterend ~: met centrifugaalpomp	Boormethode waarbij het materiaal losgemaakt wordt door een draaiende beitel aan het einde van de boorstang. Het losgewoelde materiaal wordt samen met de boerspoeiing door de holle boorstang met een centrifugaalpomp opgepompt.	
236.	zuigboren, roterend~: luchtliftmethode	Bij grotere boordiepten neemt de boorsnelheid (niet toerental, maar effect van het boren) af en gaat men over op luchtliften waarbij de centrifugaalpomp buiten werking wordt gesteld en lucht in de boorstang wordt geperst om de circulatie in gang te houden (luchtliften is een vorm van roterend zuigboren). De zuigboormethode wordt zeer veel toegepast bij de aanleg van win- en infiltratieputten. Voordelen van de zuigboormethode ten opzichte van de spuitboormethode zijn dat minder ontmenging van de aangeboorde sedimenten plaatsvindt (betere monstername), minder spoelingstoelag noodzakelijk is, minder erosie van de boorgatwand optreedt en grotere boordiameters mogelijk zijn.	
237.	zuurgraad (<i>pH</i>)	Maat voor de concentratie van de H_3O^+ -ionen. Er geldt: $[H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$. De pH is de (negatieve) logaritme van de concentratie H_3O^+ -ionen en varieert tussen 0 en 14. Een vloeistof is bij: • pH = 7 neutraal • pH < 7 zuur • pH > 7 basisch. De schaal is logaritmisch: neemt bijvoorbeeld van een neutrale vloeistof de concentratie van H_3O^+ -ionen met een factor 100 toe, dan daalt de pH van 7 naar 5. De vloeistof wordt zuur.	

V Literatuurlijst

Handboeken

- Bieske, E. und E. Bieske (1973): Bohrbrunnen, 6 Auflage, 389 p, R. Oldenburg Verlag, München, Wenen.
- Borch, M.A., S.A. Smith and L.N. Noble (1993): Evaluation and restoration of water supply wells, AWWA Research Foundation, 272 p.
- Driscoll, F.G. (1986): Groundwater and wells, second ed. 1089 p, Johnson Div., St Paul, Minnesota.
- DHV (1979): Shallow wells, second ed. DHV
- Flinspach, D. und C. Castell-Exner (Ed) (1996): Wassergewinnung und Wasserwirtschaft, DVGW Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Bd 1, 965 p, Oldenburg Verlag München.
- Lehr, J., S. Hurlburt, B. Gallagher and J. Voytek (Eds) (1988): Design and construction of water wells, A guide for engineers, 229 p, Van Nostrand Reinhold, New York.
- NOBIS (1998): Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen, rapportnummer 96-3-06, CUR/NOBIS, Gouda
- R.I.D. (1973): Voorschriften betreffende de uitvoering van boringen met bijbehorende werkzaamheden. Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening.
- Roscoe Moss Company (1990): Handbook of Ground Water Development, New York: John Wiley & Sons.
- Schneider, H. (1988): Die Wassererschliessung, Erkundung, Bewirtschaftung, und Erschliessung von Grundwasservorkommen in Theorie und Praxis, 3. neubearbeitete Auflage, 876 p, Vulkan-Verlag, Essen
- Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw (1995): Boormeester II, theorie. SBW rapport 656, Gouda.
- Stichting Beroepsopleidingen Weg- en waterbouw (1997): Boormeester I (diepboringen), theorie. SBW rapport 658, Gouda.
- Stichting Wateropleidingen (1996): Waterwinning, studiewijzer, Utrecht

Publicaties en rapporten

DEEL I: ONTWERP PUTTEN(VELDEN)

Hoofdstuk 4: Ontwerpfase(n)

- Behl, T. und R. Krämer (1995): Hydrogeologische Untersuchungen für den Bau einer Grundwassergewinnungsanlage mit Horizontalfilterbrunnen, BBR 46 (9) 29-32.
- Bolte, G. und K. Lichter (1997): Einsatz von nichtrostenden Stählen im Brunnenbau, BBR 48 (7) 24-29.
- Bolte, G. und J. Wiederssberg (1994): Pumpensteigrohre aus Stahl – Ausführungsarten und Einsatzkriterien, BBR 45 (9) 20-24.
- Elster, K (1995): 16 Jahre Einsatz von Wickeldrahtfilter-Brunnen in Lockergesteinen bei der Stadtwerke Mönchengladbach GmbH, BBR 46 (4) 28-29, 32-33.
- Harms, E., und P. Lang (1999): Optimierung einer geplanten Brunnenfassung im quartären Lockergestein Nordwestdeutschlands, BBR 50 (6) 24-28.
- Homrighausen, R. und U. Lüdeke (1995): Rotary-Spüllbohrverfahren im Vergleich und ihre Durchführung, BBR 46 (9) 22-28.
- Nienhaus, Chr. und Chr. Treskatis (1998): Standardkurven des Wasserandrangs und Fassungsvermögen für die Bemessung von Vertikalfilterbrunnen im Lockergestein, BBR 49 (3) 98-25.
- Paul, K.F. (1993): Filterkiesdimensionierung im Lockergestein, nachträgliche Überprüfung und Anregungen für den Brunnenbau, BBR 44 (4) 190-191.
- Priesemuth, A. (1995): EDV-Kalkulation im Brunnenbau, BBR 46 (10) 2024.
- Rumöller, K.O. (1995): Wickeldrahtfilter versus Kiesbelagfilter, Versuch einer Gegenüberstellung anhand eines Brunnenausbaues in Niederbayern, BBR 46 (7) 12-15.
- Tholen, M. (1993): Anregungen für die Bauausführung von Kiesschüttungsbrunnen im Lockergestein, BBR 44 (4) 192-198.
- Treskatis, Chr. (1995): Einflussfaktoren auf die mechanische Festigkeit von Brunnenrohren aus Stahl, BBR 46 (12) 18-22.
- Von Hofe, F., and O.J Helweg (1998): Modelling well hydrodynamics, J. Hydr. Eng. 124 (12) 1198-1202.

Hoofdstuk 5: Vooronderzoek

- Hemker C.J., 1999. Internet site: <http://www.xs4all.nl/~microfem>.
- Klotz, D. (1997): Hydraulische Eigenschaften ausgebauter Bohrungen, Teil 1: Durchlässigkeiten handelsüblicher Brunnenfilterrohre, Teil 2: Durchlässigkeiten der Filtersande und -kiese, BBR 48 (4) 37-41.
- Kruseman G.P. en N.A. de Ridder, 1990. Analysis and evaluation of pumping test data, Second Edition. Publication 47. ILRI, Wageningen.
- Paul, K.F. (1994): Zusammenhänge zwischen Brunnenbau und den verschiedenen Arten der Brunnenalterung, Teil 1, BBR 45 (4) 26-37, Teil 2, BBR 45 (7) 18-25.
- Stuyfzand P.J. J.A. Meima, 2000. Handleiding voor geochemisch onderzoek, specifiek voor watervoerende pakketten. KOA 00.021. Kiwa, Nieuwegein.
- Treskatis, C. (1996): Entwicklung eines planungstechnischen Leitfadens für die Dimensionierung von Vertikalbrunnen im Lockergestein, BBR 47 (7) 40-45.
- Treskatis, Chr. (1994): Einfluss von Filterrohrbauarten auf die hydrogeologische Beurteilung der Leistungsfähigkeit und des Grundwasserzustroms zu Brunnenbauwerken, BBR 45 (4) 25-30.
- Treskatis, Chr. (1996): Brunnendimensionierung und -ausbau, in D. Flinspach und C. Castell-Exner (Ed): Wassergewinnung und Wasserwirtschaft, DVGW Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Bd 1, p 199-236, Oldenburg Verlag München.

Hoofdstuk 6: Ontwerp: Keuze winningstechnieken en boormethoden

- Balemans, M. en S. Meekes (2000): Georadar voor grondwaterverkenning. H₂O nr. 2 p.17-18.
- Commissie Leveringszekerheid (1994): Aanbevelingen voor de leveringszekerheid van drinkwatersystemen, gereviseerd rapport. VEWIN, Rijswijk.
- Emrich, D. (1997): Bohrtechnik im teilentwässerten Lockergestein der rheinischen Braunkohle, BBR 48 (10) 14-21.
- Homrighausen, R. und M. Ranft (1996): Erkundungsmassnahmen in Morsleben mit Ramm- und Seilkernbohrungen, BBR 47 (10) 11-19.
- Schubert, J. (1995): Elektrische Ausrüstung für Abschlussbauwerke für Brunnen (nach DVGW-AB W 122), BBR 46 (5) 40-45.
- <http://heldens.com/content.asp?ContentID=Boormethoden&ID=3>

Hoofdstuk 7: Ontwerp: Berekeningen

- Bruggeman G.A. (1999): Developments in Water Science 46, Analytical solutions of geohydrological problems. Elsevier.
- Hemker C.J. (2000): Groundwater flow in layered aquifer systems. Academisch proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.
- Huisman L. (1969): Stromingsweerstand in leidingen. Mededeling nr. 14, Kiwa, Rijswijk.
- Huisman, L. (198):. De meest economische diameter van transportleidingen. H₂O nr. 5 p. 96-98.
- Kobus, E.J.M., T.N. Olsthoorn, H. Tuinzaad en A.N.G. de Vogel (1976): Omstortingen van waterwinputten en het maximaal toelaatbare putdebiet. Mededeling nr. 45, Kiwa, Rijswijk.
- Locher W.P. en H. de Bakker (1991): Bodemkunde van Nederland, Deel 1: Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.
- Maas C. en T.N. Olsthoorn (1997): Snelle Oudjes gaan Matlab, een syllabus. SWI 97.161. Kiwa, Nieuwegein.
- Quast, D. (1997): Beulgefahren beim Brunnenbau, BBR 48 (9) 20-23.
- Vaessen, H. (1980?): De contante waarde, als maatstaf voor de lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf. Mededeling nr. 59, N.V. Waterleidingmaatschappij Gelderland, Velp.
- Werkgroep Leidingnetontwerp en -berekening (1979): Het ontwerpen en berekenen van leidingnetten. Mededeling nr. 58, Kiwa, Rijswijk.
- Zwamborn, M.H. (1996): Hydrologie op maat: Modelkeuze. Interne opleiding hydrologie. Kiwa, Nieuwegein.

Hoofdstuk 8: Ontwerp: Pompput

- Horstmeier, A.J.N. (1976): Constructie en exploitatie van de put. Mededeling nr. 48, Kiwa, Rijswijk.

Hoofdstuk 9: Ontwerp: Meetsystemen

- Baggelaar, P.K. (1992): Naar een meetsysteem waterkwaliteit bij grondwaterwinning. Kiwa-mededeling 117. Kiwa, Nieuwegein.
- Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer, in samenwerking met Kiwa en NITG-TNO (1998): Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten. Stowa-rapport 9805

DEEL II: AANLEG PUTTEN(VELDEN)

Hoofdstuk 10: Het bestek

- CROW (Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek) (1993): RAW-systematiek in kort bestek...
- CROW (1998): Overwegingen voor toepassing van de RAW-systematiek.
- Schrama E.J. (1999): Vraag naar gestandaardiseerd bestek voor waterputten. H₂O nr. 16/17, p. 16.
- Van Reeuwijk, T.G., J.J.P. Kerremans en B.Ziengs (1995): Een standaardbestek voor de waterleidingsector. H₂O nr. 2, p. 39-41.

Hoofdstuk 11: Uitvoeren van de boring en afwerking van de put

- Bauer, R., K.W. Gatz und U. Obst (1993): Mikrobielle Kontaminationen durch organische Bohrspül- und Brunnenregenerationszusätze, BBR 44 (12) 584-589.
- Bloemendaal, S. en J. Griffioen (1991): Milieukundige aspecten van boorspoelingen, rapport OS 91-44B, TNO-IGG en Bolegbo
- Deelder, C. (1976): Boorspoelingen. Mededeling nr. 46, Kiwa, Rijswijk.
- Emrich, D. (1997): Bohrtechnik im teilentwässerten Lockergestein der rheinischen Braunkohle, BBR 48 (10) 14-21.
- Engert, B. (1994): Brunnenverschliessen ohne Materialrückbau, BBR 45 (11) 23-28.
- Homrighausen, R. und M. Ranft (1996): Erkundungsmassnahmen in Morsleben mit Ramm- und Seilkernbohrungen, BBR 47 (10) 11-19.
- Homrighausen, R. und U. Lüdeke (1995): Rotary-Spüllbohrverfahren im Vergleich und ihre Durchführung, BBR 46 (9) 22-28.
- Homrighausen, R. und S. Müller (1994): Tiefbohrung zur Erschliessung von Mineralwasser, BBR 45 (10) 10-16.
- Knorr, W. und W. Heimbach (1998): Brunnenanlage für die "Pinakothek der Moderne", München, BBR 49 (1) 38-42.
- Lange, T. (1997): Einbringen von Ton-Zement-Suspensionen (Beispiel für den norddeutschen Raum), BBR 48, (9) 17-19.
- Mielenz, P. (1994): Wirkungsweise polymerer Zusätze in Brunnenbohrspülungen, BBR 45 (4) 18-23.
- Noack, I., K.P. Schleicher und J. Wolff (1997): Gewinnung repräsentativer Bohrproben im Lockergestein für analytische Untersuchungen, BBR 48 (12) 29-34.
- Olsthoorn, T.N. en S. van Harlingen (1994): Infiltratieputten: schoon boren door wandschrapen. H₂O 27 (21) 636-639.
- Van der Poest Clement, Mr. P.E en Mr. A.H.M. Boere, 1999. Handboek Arbowed.
- Van der Poest Clement, Mr. P.E en Mr. A.H.M. Boere, 1999. Handboek Arbobesluit.
- Ribbeck, W. (1993): Abschlussbauwerke für Wassergewinnungsanlagen, BBR 44 (11) 546-551.
- Rübesamen, U. (1994): Bodenprobenentnahme aus Bohrungen, BBR 45 (2) 26-30.
- Tholen, M. (1993): Anregungen für die Bauausführung von Kiesschüttungsbrunnen im Lockergestein, BBR 44 (4) 192-198.
- Tholen, M. und Chr. Treskatis (1998): Planung, Durchführung und Auswertung von Leistungspumpversuchen im Brunnenbau, BBR 49 (8) 32-38.
- Tholen, M. und U. Hansen (1998): Probennahme bei Spülbohrverfahren, BBR 49 (5) 14-19.
- Trätzl, Th. (1997): Sanierung eines Tertiärtiefbrunnens durch Tiefersetzen von Sperrohren, BBR 48 (6) 10-14
- Trätzl, Th. (1995): Abdichtungen in Brunnenbau, BBR 46 (2) 10-15.
- Urban, D. (1994): Spezialtiefbau-Bohrgeräte und -verfahren im Brunnenbau und Aufschluss, BBR 45 (8) 16-24.
- Vassmer, A. (1996): Bohrverfahren und Bohrspülung, in D. Flinspach und C. Castell-Exner (Ed) Wassergewinnung und Wasserwirtschaft, DVGW Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Bd 1, p 237-268, Oldenburg Verlag München.

Wendling, G., R.P. Chapuis and D.E. Gill (1997): Quantifying the effects of well development in unconsolidated material, *Groundwater* 35 (3) 387-393.

Hoofdstuk 12: Toezicht en oplevering

Van Beek, C.G.E.M. en D. Sprong (1983): Wat te doen wanneer een put te weinig water levert, *H₂O* 16 (15) 343-347.

Lux, K.N. (1997): Einsatz geophysikalischer Messverfahren zur Qualitätskontrolle im Brunnenbau, *BBR* 48 (3) 18-23.

Ribbeck, W. und M. Tholen (1996): Qualitätsmerkmale und Qualitätskontrolle im Brunnenbau, *BBR* 47 (4) 26-33.

Tholen, M. und Chr. Treskatis (1998): Planung, Durchführung und Auswertung von Leistungspumpversuchen im Brunnenbau, *BBR* 49 (8) 32-38. copy Brunnenalterung

DEEL III: EXPLOITATIE PUTTEN(VELDEN)

Hoofdstuk 14: Dagelijkse bedrijfsvoering

Diks, R. (2000). Energiezorg, procesvoering productie en kwaliteitszorg 2000. Stichting Wateropleidingen, Nieuwegein.

Ehrhardt, G. und R. Pelzer (1992): Wirkung von Saugstromsteuerungen in Brunnen, *BBR* 43 (10) 452-458.

Heidorn, H. (1996): Unterwasserpumpen als Systemlösung, Überwachung von Pumpentechnik, Brunnen und Wasserqualität, *BBR* 47 (12) 20-24.

Klink, K. (1994): Probleme bei der Desinfektion von Brunnen, *BBR* 45 (4) 13-17.

Klaasjan J. Raat (2009): Checklist Schakelen. Tips en trucs voor ontwerp en toepassing van schakelschema's voor mechanisch verstopte putten, BTO 2009.046(s)

Hoofdstuk 15: Putverstopping en putregeneratie

Anoniem (2006). Voorkomen en verwijderen van putverstopping door deeltjes op de boorgatwand. Richtlijnen voor ontwerp, realisatie, bedrijfsvoering en regeneratie van pompputten. ISBN: 90-74741-89-4

Baudisch, R. (1989): Verstopfungen von Brunnenfiltern und Unterwasserpumpen durch Aluminiumoxide, *BBR* 40 (5) 270-274.

Bauer, R. und W. Schaffrath (1993): Mainzer Mehrfach-Vertikal-Spülverfahren, *BBR* 44 (5) 242-250. Brunnenregenerierung

Berger, H., H. Frank, S. Normann-Schmidt und K.F. Paul (1992): Brunnenregenerierung in Wiesbaden, grundsätzliche Aspekte und neue Entwicklungen.

Berger, H., M. Drews und K.N. Lux (1995): Nachweis von Regeneriereffekten bei Brunnen der Stadtwerke Wiesbaden AG, *BBR* 46 (1) 24-31.

Berlitz, B. und H. Kögler (1997): Brunnenregenerierung mit Ultraschall, *BBR* 48 (2) 19-23.

Borninkhof, H.J. en J.D. Klein (1994): Citroenzuur tegen verstopping, retourbemaling van bouwputten, *Land en Water*, (12) 45-47.

Brauckmann, B., R. Klaus, R. Sobott, K.H. Weber und E. Rogalsky (1990): Analyse von Brunnenbelägen, Untersuchungen zur Brunnenalterung,

Castell-Exner, C. (1993): Einsatz von Spüllanzen bei der Brunnenregenerierung, *BBR* 44 (5) 239-240.

Ehrhardt, G. und R. Pelzer (1992): Wirkung von Saugstromsteuerungen in Brunnen, *BBR* 43 (10) 452-458.

Gottlieb, O.J. and R.E. Blattert (1988): Concepts of well cleaning, *JAWWA* 80 (5) 34-39.

Hässelbarth, U. und D. Lüdemann (1967): Die biologische Verockerung von Brunnen durch Massenentwicklung von Eisen- und Manganbakterien,

Hellekes, R. (1994): Die Brunnenalterung und -regenerierung, *Wasser Abwasser Praxis*, 3 (2) 18,20,22.

Hettinga, F.A.M. en C.G.E.M. van Beek (red.) (1996): Putverstopping en putregeneratie, recente ervaringen en ontwikkelingen. SWI 96.211. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Houben, G., Chr. Treskatis and P. Puronpää-Schäfer (1999): Keeping the wells running, *World Water and Env. Eng.* 22 (1) 18.

Houben, G., S. Merten und Chr. Treskatis (2000): Laborversuche zur Wirksamkeit von chemischen Mitteln zur Brunnenregenerierung. *BBR* 51 (2) 41-46.

Kobus, E.J.M. en W.J. Vlasblom (1975): Putverstoppingen door ijzerneerslagen te Castricum. Mededeling nr. 38, Kiwa, Rijswijk.

- Kroening, D.E., D.S. Snipes, S.E. Brame, R.A. Hodges, V. Price and T.J. Temples (1996): The rehabilitation of monitoring wells clogged by calcite precipitation and drilling mud, GWMR 16 (2) 114-123.
- Moore, T. (?): Swaging offers hope for damaged wells, WWJ 51 (7) 52-54.
- Moore, T. (1998): New well rehab technology "burts" onto scene, Water Well J. 52 (7) 49-51.
- Munding, H., K. Munzert und G. Kremer (1998): Kontrollierte mechanisch-chemische Brunnenregenerierung, BBR 49 (6) 20-26.
- Nolte, L.P. und H. Hartwig (1998): Pflege, Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen (Teil I), BBR 49 (2) 29-32, (Teil II), BBR 49 (3) 26-34.
- Nolte, L.P. und K. Middeldorf (1996): Sanierung eines Tiefbaubrunnens und Massnahmen zum Brunnenrückbau, BBR 47 (11) 10-14.
- Paul, K.F. (1994): Zusammenhänge zwischen Brunnenbau und den verschiedenen Arten der Brunnenalterung, Teil 1, BBR 45 (4) 26-37, Teil 2, BBR 45 (7) 18-25.
- Paul, K.F. (1993): Brunnenregenerierung: Überblick über Aufgaben, Methoden, Überwachung und Neutralisation, BBR 44 (5) 251-263.
- Rogge, R. (1994): Brunnenregenerierung im Wasserwerk Curslack, Fachl. Ber. HWW 13 (2) 45-52.
- Rübesame, K. (1992): Brunnenregenerierung, Beseitigung von Inkrustationen durch schonenden Einsatz von Sprengstoff, WWT 8, 361-366.
- Rübesame, K. (1996): Schonender Einsatz von Sprengstoff zur Brunnenregenerierung, BBR 47 (3) 18-24.
- Rübesamen, U. (1995): Sanierung und Rückbau von Brunnen und Grundwassermessstellen, GWF 136 (14) 58-67.
- Sahr, M. (1996): Organische Produkte zur Brunnenregenerierung, BBR 47 (9) 26-30.
- Saunders, A. (1996): Rejuvenating a tired water well, Water Well J. L (1) 116-119.
- Schiemann, Th., B. Hofmann und D. Maier (1997): Neue Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Brunnenalterung und -regenerierung bei den Stadtwerken Karlsruhe, BBR 48 (8) 24-30.
- Steussloff, S., und A. Wicklein (1999): Entwicklung des Sprengschockens bei Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen, BBR 50 (2) 18-24.
- Treskatis, Chr. und D. Leda (1998): Nachhaltige Regenerierung von Brunnen, WWT (5) 35-38.
- Treskatis, Chr. und H-D. Leda (1998): Brunnenregenerierung - Anwendung mechanischer und chemischer Verfahren am Beispiel von Flach- und Tiefbrunnen am linken Niederrhein, BBR 49 (9) 33-39.
- Van Beek, C.G.E.M. (1982): Putverstoppen en -regeneratie, Syllabus cursus "Grondwaterwinning en kunstmatige grondwateraanvulling", Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek, TH-Delft.
- Van Beek, C.G.E.M. (1982): Regeneratie van verstopte winputten, H₂O 15 (15) 370-377
- Van Beek, C.G.E.M. (1984): Restoring well yield in the Netherlands, J Am Water Works Ass 76 (10) 66-72.
- Van Beek, C.G.E.M. (1987): Clogging of discharge wells in the Netherlands' II: Causes and prevention, in D.R. Cullimore (Ed), Proc. Intern. Symp. on Biofouled Aquifers: Prevention and Restoration, AWRA, Bethesda, Maryland, p 43-56
- Van Beek, C.G.E.M. (1987): Clogging of discharge wells in the Netherlands, II Causes and prevention, in D.R. Cullimore (Ed), Proc Intern Symp on Biofouled Aquifers, Prevention and Restoration, AWRA, Bethesda, Maryland, p 43-45.
- Van Beek, C.G.E.M. (1989): Rehabilitation of clogged discharge wells in the Netherlands, Quarterly J. Engineering Geology, London, 22 (1) 75-80.
- Van Beek, C.G.E.M. (1994): Putverstoppen en putregeneratie in Duitsland, H₂O 27 (9) 262.
- Van Beek, C.G.E.M. (1995): Brunnenalterung und Brunnenregenerierung in den Niederlanden, GWF Wasser/ Abwasser 136 (3) 128-137.
- Van Beek, C.G.E.M. en E.J. Schrama (1998): Verstoppen van diepe putten, oorzaken en mechanismen, SWI 98.176
- Van Beek, C.G.E.M. en M.C. Brandes (1977): Regeneratie van putten, H₂O 10 (24) 547-551
- Van Beek, C.G.E.M., C.J.G. Janssen, M.H.A. Juhász-Holterman en J.H. Peters (1998): Verstoppen van productieputten door deeltjes, H₂O 31 (17) 18-20.
- Van Beek, C.G.E.M., E.J. Schrama, M.W.J. Eck, J.A.M. van Hoof en J.J.P. Verstraelen (1999): Verstoppen van diepe putten door deeltjes, H₂O
- Van Steenwijk, J.M. en C.G.E.M. van Beek (1988): Putregeneratie met waterstofperoxyde, H₂O 21 (12) 310-315, 319.
- Verstraelen, J.J.P., C.G.E.M. van Beek, M.W.J. Eck, J.A.M. van Hoof en E.J. Schrama (1999): Macharen, regeneratie van meerdere vormen van putverstoppen op één puttenveld, H₂O

Wiegand, G. (1929): Inkrustierung von Brunnen und deren Beseitigung auf chemischen Wege,

Hoofdstuk 16: Procesbewaking

Barkman, J.H. and D.H. Davidson (1972): Measuring water quality and predicting well impairment

Hüttmann, S., E. Preuss und F.E.W. Eckhardt (1995): Massnahmen zur Verringerung der Verockerung von Unterwasserpumpen und Brunnen, Wasser und Boden, 47 (10) 62-68.

Klotz, D. (1975): Alterung von Brunnen, Teil 1: Beschreibung der Verschlammung von Filterrohren,

Mord, H. (1977): Überwachung, Betrieb und Wartung von Brunnen, Teil I, NDZ (10)371-372, Teil II, NDZ (12) 453-454.

Paul, K.F. (1996): Brunnenalterung und Brunnenregenerierung, in D. Flinspach und C. Castell-Exner (Ed) Wassergewinnung und Wasserwirtschaft, DVGW Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Bd 1, p 371-426, Oldenburg Verlag München.

Sutherland, D.C., P. Howsam and J. Morris (1996): Cost-effective monitoring and maintenance strategies for groundwater abstraction, Aqua 45 (2) 49-56.

Van Asmuth, J. (2010) Over de kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreksen. KWR 2010.001

Van Beek, C.G.E.M. and F.A.M. Hettinga (1990): Benefits of proper monitoring and maintenance, in P.

Howsam (Ed): Water wells, monitoring, maintenance, rehabilitation, E.& F.N. Spon, Chapman and Hall, London, England, Ch 31, p353-360.

Hoofdstuk 17: Bijsturen en correctie

Blackwell, I.M., P. Howsam and M.J. Walker (1995): Borehole performance in alluvial aquifers: particulate damage, Quart. J. Eng. Geol. 28, 151-162.

Blackwell, I.M., P. Howsam and M.J. Walker (1995): Permeability impairment around boreholes in micaceous aquifers, Quart. J. Eng. Geol. 28, 163-175.

Howsam, P., B. Misstear and Ch. Jones (1995?): Monitoring, maintenance and rehabilitation of water supply boreholes, Publications Dept, CIRIA, 6 Storeys Gate, London SW1P 3AU (35.00 pound)

Smith, S. (1995): Monitoring and remediation wells (problem prevention, maintenance and rehabilitation), @ p, Lewis Publishers

Door Kiwa in opdracht van waterbedrijven vervaardigde rapporten

Hettinga, F.A.M. en C.G.E.M. van Beek (1993): Evaluatie putverstopping en put-regeneratie bij het WLZK. SWO 92.360, Kiwa, Nieuwegein.

Maas, C. (1988): Effectenonderzoek t.b.v. de stichting van een oevergrondwater-winpplaats nabij Opperduit, deel rapport 3 hydrologisch ontwerp van het puttenveld. SWO 88.333, Kiwa, Nieuwegein.

Meeuwissen, B.A.M (1988): Advies voor de uitbreiding van het puttenveld op de winplaats Immerloopark te Arnhem-Zuid. SWO 88.230, Kiwa, Nieuwegein.

Peters J.H., M.J.C. van Baar, E.J. Schrama en W.J.M.K. Senden (1996): Boren van infiltratieputten in de Alblasserwaard en Vijfherenlanden, Advies over methode en diameter van de boring. KOA 96.221. Kiwa, Nieuwegein.

Peters, J.H. (1997): Ontwerp putten Heel, fase 2: Geohydrologische ontwerp uitgangspunten, inclusief mogelijkheden ter vermindering van putverstopping. KOA 97.044., Kiwa, Nieuwegein.

Peters, J.H. (1997): Uitgangspunten en randvoorwaarden voor hydrologisch ontwerp en inrichting infiltratiegebied PIM. SWO 91.352, Kiwa, Nieuwegein.

Schrama, E.J., C.G.E.M. van Beek e.a. (1998): Putverstopping pompstation Macharen, mogelijke oorzaken en oplossingen. KOA 98.143, Kiwa, Nieuwegein.

Schrama, E.J., J.W. Kooiman e.a. (1999): Toepassing horizontale putten onder Nederlandse omstandigheden, haalbaarheidstudies: pompstation Laren (WMN) en winning rivierwater (WG). KOA 99.033, Kiwa, Nieuwegein.

Van Beek, C.G.E.M. (1997): Deeltjestellingen in onttrokken grondwater, in relatie tot optreden van putverstopping te Panheel. KOA 97.163, Kiwa, Nieuwegein.

Werkgroep putverstopping en ontwerp puttenvelden Heel?, 1997. Ontwerp puttenvelden Heel, fase2: Geohydrologische uitgangspunten t.b.v. voorontwerp. KOA 97.155, Kiwa, Nieuwegein.

Zwamborn, M. (1997): Filterstelling winputten PIM. KOA 97.248, Kiwa, Nieuwegein.

Van Beek, C.G.E.M., M.L.M. Balemans (2000). Regeneratie pompputten Kerk-Avezaath.

Verstoppingsoorzaak, regeneratie en putcapaciteit. KOA 00.030. Kiwa, Nieuwegein.

Bedrijfseigen rapporten

- Juhász-Holterman, M.H.A. (WML), C.G.E.M. van Beek (Kiwa) en C.J.G. Janssen (WML), (1997): Heel, putverstopping/ontwerp putten Fase 1. Rapport nr. 4026, NV Waterleiding Maatschappij Limburg, Maastricht.
- Juhász-Holterman, M.H.A. (2000): Grondstof Roosteren, samenvatting beleid, capaciteit en waterkwaliteit (versie 3). Rapport nr. 4860, NV Waterleiding Maatschappij Limburg, Maastricht.
- DHV (1999): Bedrijfsvoeringshandboek Heel.

Specialistische literatuur

- Baveye, Ph., Ph. Vandevivere, B.L. Hoyle, P.C. DeLeo and S. Sanchez de Lozada (1998): Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials, Crit. Rev. Env. Sc. Techn. 28 (2) 123-191.
- Borgers, Hamm und Ribbeck (1980): Begehen von Schächten der Wasserversorgung, in denen Gefahren durch erstickende Gase bestehen,
- Eem, J.P. van der en J.H. Peters (1986): Evaluatie van een tweetal varianten voor het diepinfiltratieproject van het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland, PWN/Kiwa-rapport, 88 p, 3 bijlagen
- Eem, J.P. van der en J.H. Peters (1986): Geohydrologische aspecten diepinfiltratie Watervlak, Kiwa-rapport SWE-86.010, 40 p, 1 bijlage
- Eem, J.P. van der, A. Stakelbeek en J.H. Peters (1989): Diepinfiltratie in het Watervlak, H₂O, jrg 22, nr 7, p 194-197 en 219.
- Ford, H.W. (?): Blockage from iron and sulfur in drain lines and drip irrigation systems,
- Ford, H.W. (?): Ochre and associated slimes in drain lines,
- Hargesheimer, E.E. and C.M. Lewis (1995): A practical guide to on-line particle counting, AWWARF
- Hargesheimer, E.E., C.M. Lewis and C.M. Yentsch (1992): Evaluation of particle counting as a measure of treatment plant performance, AWWARF
- Johnson, Ph.R., N. Sun and M. Elimelech (1996): Colloid transport in geochemically heterogeneous porous media: modeling and measurements, Env. Sci. Techn. 30 (11) 3284-3293.
- Krems, G. (1969): Wassergüteprobleme bei Betrieb von Grundwasserfassungsanlagen,
- Kruijtzter (1971): Stijghoogteverliezen in en rond putfilters, H₂O 4 (8) 162-172.
- McLaughlan, R.G. and M.J. Knight (1989): Corrosion and incrustation in groundwater bores,
- Molz, F.J., G.K. Boman, S.C. Young and W.R. Waldrop (1994): Borehole flowmeters: field application and data analysis, J. Hydr. 163, 347-371.
- Mulder, M.A.A en J.H. Peters (1987): Ervaringen met regeneratie van infiltratieputten in Nederland, Kiwa-rapport SWE-87.016, 46 p
- Mulder, M.A.A. en J.H. Peters (1991): Toepassing van radiale putten voor winning en aanvulling van grondwater, Kiwa-rapport SWE 91.029, 21 p
- Olsthoorn, T.N. (1982): Verstopping van persputten, hoofdlijnen. Mededeling nr. 72. Kiwa, Rijswijk.
- Olsthoorn, T.N. (1982): Verstopping van persputten. Mededeling nr. 71. Kiwa, Rijswijk.
- Peters J.H. (redactie, 1984):, Ervaringen met diepinfiltratie in Nederland. Mededeling nr. 79, Kiwa, Rijswijk.
- Peters, J.H. (1982): Enkele mogelijkheden van persputten bij de watervoorziening, Kiwa-rapport SWE-446, 40 p
- Peters, J.H. (1982): Enkele mogelijkheden van persputten bij de watervoorziening, H₂O, jrg 15, nr 15, pp 389 t/m 395
- Peters, J.H. (1983): Wat weten we eigenlijk van persputinfiltratie, Kiwa-rapport SWE-83.012, 39 p
- Peters, J.H. (1984): Hydrologisch vooronderzoek ten behoeve van de keuze van de locatie voor persputinfiltratie, Kiwa-rapport SWE-84.003, 24 p
- Peters, J.H. (1984): State of the art of borehole recharge in Holland, Kiwa-rapport SWE-84.021, 8 p
- Peters, J.H. (1985): Borehole recharge in water supply, Kiwa-rapport SWE-85.002, 12 p
- Peters, J.H. (1985): Borehole recharge in water supply, Memoires of the 18th congress of IAHR, Part 4, Cambridge UK, p 133-144
- Peters, J.H. (1985): State of the art of borehole recharge, Water Supply, Vol 3, no 2, p 51-58
- Peters, J.H. (1985): Uses of recharge wells in water supply, J. Am. Water Works Ass., Vol 77, no 5, p 47-51
- Peters, J.H. (1985): Wat weten we van diepinfiltratie? Verslag van de studiedag 'Terugkeer vochtige duinvalleien', Stichting Duinbehoud Leiden, p 4-8

- Peters, J.H. (1985): Wat weten we van diepinfiltratie?, H₂O, jrg 18, nr 3, p 55, 56 en 62
- Peters, J.H. (1988): Artificial recharge and water supply in the Netherlands, Kiwa-report SWE-88.021, 19 p
- Peters, J.H. (1989): Artificial recharge and water supply in the Netherlands. In 'Artificial recharge of ground water' Johnson, A.I. and D.J. Finlayson (eds), Proceedings international symposium on artificial recharge of ground water, Anaheim USA, Publication of American Society of Civil Engineers, New York, p 132-144
- Peters, J.H. (1994): 'Artificial recharge and water supply in the Netherlands' proceedings van een meeting van de Akademiet for de Tekniske Videnskaber over 'Kunstig Infiltration af Overfladevand samt vand fra Utaette Kloakker', Gentofte, Denemarken, 29 september 1994
- Peters, J.H. (1994): Artificial recharge and water supply in the Netherlands, state of the art and future trends, Kiwa-rapport SWE 94.032, 11 p
- Peters, J.H. (1995): 'Artificial recharge and water supply in the Netherlands, state of the art and future trends', Proceedings of the 'Second international symposium on artificial recharge of ground water' in 'A.I. Johnson and R.D.G. Pyne (eds), Orlando Florida USA, Publication of American Society of Civil Engineers, New York, p 28-39
- Peters, J.H. (1995): 'Künstliche Anreicherung und Wasserversorgung in den Niederlanden, Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen' Schriftenreihe 83 van Institut für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt, Verslag van het '44. Darmstädter Seminar Wasserversorgungstechnik', 26 April 1995, Darmstadt, Duitsland.
- Peters, J.H. (1996): 'Are there any blueprints for artificial recharge?' Proceedings of the international symposium 'Artificial recharge of Groundwater', edited by A.L. Kivimäki and T. Suokko, Nordic Hydrological Programma Report no 38, Helsinki, Finland
- Peters, J.H., J.P. van der Eem en J.A. Meijer (eds, 1989): Diepinfiltratie, de praktijk. Mededeling nr. 105, Kiwa, Nieuwegein.
- Peters, J.H., J.P. van der Eem en J.A. Meijer (eds, 1989): Diepinfiltratie, de theorie. Mededeling nr. 106, Kiwa, Nieuwegein.
- Philips, J.G.H., J.H. Peters and S.J.L. Verheijden (1995): 'Artificial Recharge of ground water in the Maaskant area', Proceedings of the 'Second international symposium on artificial recharge of ground water' in 'A.I. Johnson and R.D.G. Pyne (eds), Orlando Florida USA, Publication of American Society of Civil Engineers, New York, p 168-176
- Ramey, H.J. (1970): Short-time well test data interpretation in the presence of skin effect and wellbore storage,
- Roebert, A.J., J. Haijken, J.H. Peters, E. Roosma and R.A. Schuurmans (1988): A new trend in artificial recharge in the Netherlands' coastal dunes, IWSA-proceedings, pp SS13-17/18
- S.W. Taylor and P.R. Jaffé (1990): Substrate and biomass transport in a porous medium, Water Res. Res. 26 (9) 2181-2194.
- S.W. Taylor and P.R. Jaffé (1991): Enhanced in-situ biodegradation and aquifer permeability reduction, J. Env. Eng. 117 (1) 25-46.
- Schmidt, M. (1997): Computer- und elektronisch gesteuerte und ausgewertete Pumpversuche, BBR 48 (11) 18-25.
- Van Beek, C.G.E.M. (1988): Microbial and hydrochemical processes around water wells, EOS Transactions AGU 69 (44) appendix p 147.
- Van Beek, C.G.E.M. and D. van der Kooij (1982): Sulfate reducing bacteria in ground water from clogging and non-clogging shallow wells in the Netherlands river region, Ground water 20 (3) 298-302.
- Vreeken, C. (1996): Grondwater kan terug de bodem in, herinfiltratie grondwater niet alleen kostbaar en storingsgevoelig, Land en Water (6) 55,57.
- Wiesner, M.R., M.C. Grant and S.R. Hutchins (1996): Reduced permeability in groundwater remediation systems: role of mobilized colloids and injected chemicals, Env. Sci. Techn. 30 (11) 3184-3191.
- Wissel, D. und W. Gerstner (?): Die Gammabestrahlung der Brunnenfilter, ein wirksames Schutzverfahren gegen Brunnenverockerung,
- WMO (?): Holten, evaluatie putverstopping 1985-1990.
- Yesiller, N., C.H. Benson and T.B. Edil (1997): Field-evaluation of ultrasonic method for assessing well seals, Groundwater Monit. Remed. 17, 3- ?.

VI Interessante verwijzingen

Enkele links naar internetpagina's met hydrologische software, of informatie over verschillende onderwerpen

Een handig hulpmiddel bij het vinden, beoordelen en testen van software is het downloaden van testversies, shareware-versies of freeware-versies van verschillende softwarepakketten. Dit kan vaak kosteloos.

<http://www.ggsd.com/>

<http://www.groundwatermodels.com/>

<http://www.epa.gov/ada/csmos/index.html>

<http://www.scisoftware.com>

<http://pcraster.geo.uu.nl/>

<http://www.putverstopping.nl>

<http://www.menyanthes.nl/>

<http://www.hddw.nl/nl/>

<http://wetten.overheid.nl/zoeken/>

VII Checklist schakelen

Stap 1		Analyseer het verstoppingsprobleem
Check	1	Bepaal de soort verstopping (mechanisch / chemisch)
Check	2	Maak een algemeen overzicht van je puttenveld (ligging, omvang, documentatie)
Check	3	Karakteriseer de opbouw van de ondergrond (lagen, korrelgrootte, deeltjes, waterkwaliteit)
Check	4	Analyseer de bedrijfsvoering van het puttenveld (draaiuren, debiet, pompen, regeneraties)
Check	5	Analyseer het (historisch) verloop van de verstopping (specifiek debiet, niveaumetingen, regeneraties)
Check	6	Maak een beschrijving van elke put en zijn geschiedenis (put-ontwerp, aanleg, prestaties, regeneraties, deeltjesbelasting)
Check	7	Maak de synthese: Wat is de oorzaak van het verstoppingsprobleem?
Stap 2		Bepaal de randvoorwaarden voor schakelschema
Check	8	Stel eisen op vanuit de waterproductie (watervraag, piekvraag, overcapaciteit)
Check	9	Stel eisen op vanuit de waterzuivering (waterkwaliteit, wateraanbod)
Stap 3		Bepaal gewenst debiet, rusttijd en schakelfrequentie
Check	10	Maak de keuze: debietverlaging en/of schakelen
Check	11	Bepaal de benodigde en beschikbare rusttijd (doorlatendheid pakket, deeltjesbelasting, deeltjestellingen)
Check	12	Bepaal de maximale onttrekkingsduur (deeltjesbelasting, deeltjesverwijdering)
Stap 4		Ontwerp een schakelschema
Check	13	Overleg en maak afspraken met alle betrokkenen van het puttenveld
Check	14	Onthoud: Ieder schakelschema is uniek
Check	15	Kijk en vergelijk: leer van ervaringen op andere pompstations
Check	16	Reken een schakelschema door voorafgaand aan de implementatie (praktijk, theorie)

Stap 5 Pas het schema toe op het puttenveld	
Check 17	Werk samen met alle betrokkenen van het puttenveld (productie, zuivering, machinisten)
Check 18	Wees alert op (tijdelijke) veranderingen in de bedrijfsvoering
Stap 6 Monitor putverstopping nauwkeurig	
Check 19	Meet de stijghoogte in putten hoogfrequent, met hulp van drukopnemers
Check 20	Blijf deeltjestellingen uitvoeren
Check 21	Noteer alle bedrijfsgegevens van put (draaiuren, schakeltijden, debiet)
Stap 7 Evalueer: Voldoet het schema?	
Check 22	Analyseer prestaties van putten (verstopping, waterstandsmetingen, deeltjestellingen, bedrijfs- en rustgegevens)
Check 23	Evalueer schakelschema met andere betrokkenen (productie, zuivering, machinisten)
Check 24	Neem de beslissing: schakelschema handhaven of aanpassen
Stap 8 Handhaaf het schakelschema	
Check 25	Blijf alert op veranderingen in bedrijfsvoering (onderhoud, regeneraties)
Check 26	Blijf monitoren op putverstopping

