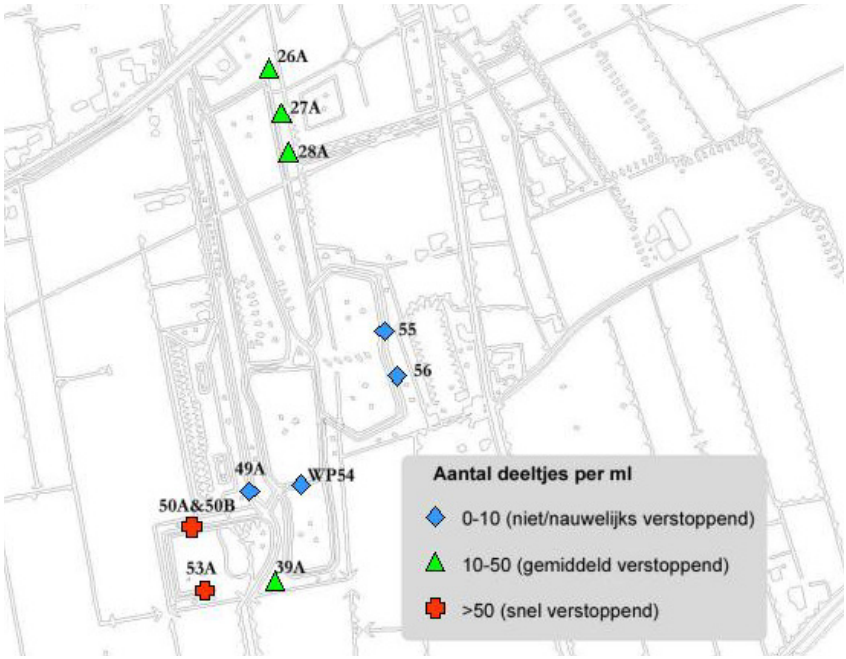
KWR 05.003
januari 2005

Verstopping van puttenveld Ritskebos

Karakterisatie van deeltjesvoorkomen en aanzet tot beheersing van putverstopping met behulp van deeltjestellingen



KWR 05.003
januari 2005

Verstopping van puttenveld Ritskebos

Karakterisatie van deeltjesvoorkomen en aanzet tot beheersing van putverstopping met behulp van deeltjestellingen

© 2004 Kiwa N.V.
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 electronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel
Verstopping van puttenveld Ritskebos
Karakterisatie van deeltjesvoorkomen en aanzet tot beheersing van putverstopping met behulp van deeltjestellingen

Projectnummer
30.6010.400
11.1456.404

Projectmanager
Jan Willem Kooiman, Marc Balemans (vanaf 1-9-2004)

Kwaliteitsborger(s)
Kees van Beek, Bert-Rik de Zwart

Auteur(s)
Jeroen Prins

Bij dit rapport hoort een apart bijlagenrapport.

Dit rapport is slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het onderzoekproject/adviesproject en is openbaar.

Samenvatting

Verschillende pompputten van puttenveld Ritskebos in Noordbergum verstoppen. Deze verstopping wordt (zeer waarschijnlijk) veroorzaakt door van nature in het grondwater aanwezige deeltjes die accumuleren op de boorgatwand. Vitens wil een beter inzicht hebben in de oorzaken van verstopping en voert onderzoek uit aan zowel de niet als wel verstoppende putten. Hiermee wil Vitens de leveringszekerheid van het puttenveld Ritskebos verhogen en de exploitatiekosten verlagen.

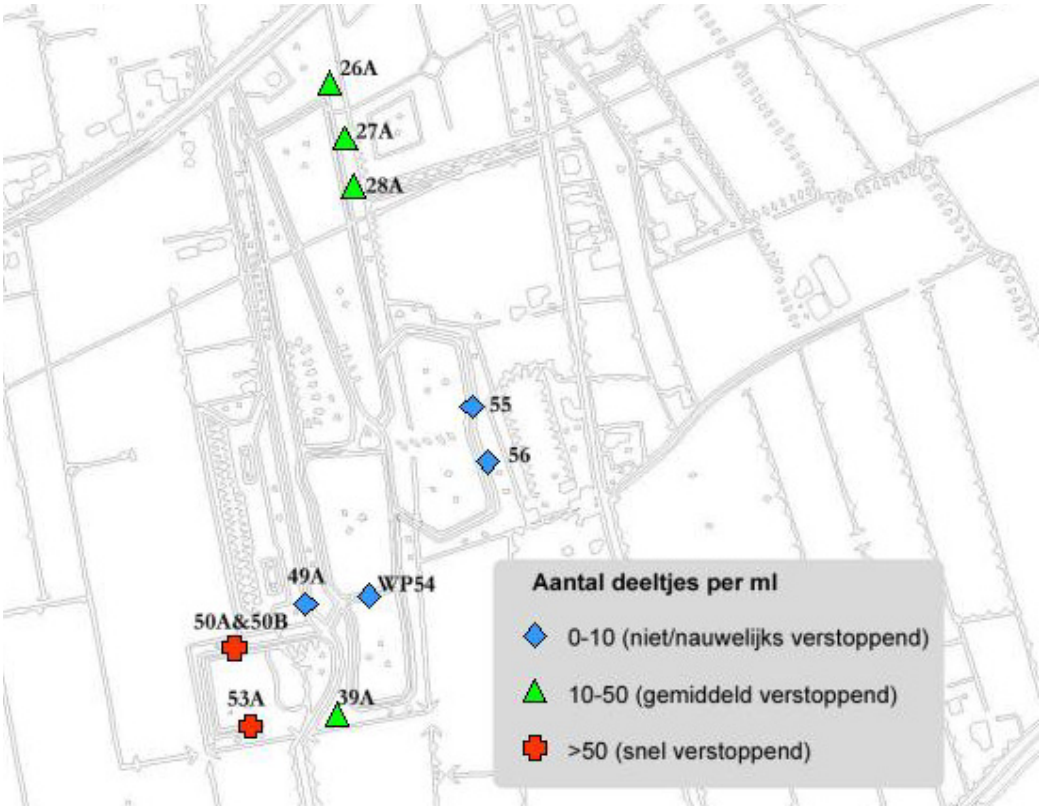
Onderzoek naar putverstopping
Onlangs zijn er op dit puttenveld een aantal nieuwe putten geboord. Hierbij is de snel verstoppende put 50A vervangen door een nieuwe put (50B). Put 50A is daarbij volledig uitgeboord en op vier verschillende dieptes langs het oorspronkelijke filter zijn horizontale steekmonsters van de boorgatwand genomen.

Met deze steekmonsters is het mogelijk om de op de boorgatwand afgezette deeltjes te karakteriseren. Het onderzoek dat in dit rapport beschreven is, is bedoeld als een begeleidend onderzoek om de resultaten van de steekmonsters beter te kunnen interpreteren. Het belangrijkste doel van dit onderzoek is daarom het karakteriseren van het deeltjesvoorkomen (deeltjesconcentratie en -grootteverdeling) met behulp van deeltjestellingen.

Doelstellingen
In het kort zijn er binnen het onderzoek de volgende doelstellingen:

1. Aard en hoeveelheden deeltjes in put 50A bepalen.
2. Vaststellen van de variatie in aard en hoeveelheid over de lengte van het putfilter.
3. Bepalen van het verschil in deeltjesconcentratie tussen put 50A en 50B.
4. Relatie tussen de volumestroom en de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken grondwater bij put 50B vaststellen.
5. Variaties in beeld brengen in de deeltjesconcentratie tussen putten in de verschillende delen van het puttenveld.

Deeltjeskarakterisatie en verstoppingsgevoeligheid
Uit het onderzoek blijkt dat de spreiding in de hoogte van de deeltjesconcentraties erg groot is (van 3,5 tot 272 deeltjes/ml). *Er bestaat een directe relatie tussen de deeltjesconcentratie en de verstoppingssnelheid.* Putten met hoge deeltjesconcentraties hebben ook een hoge verstoppingssnelheid. Putten met lage concentraties (< 10 deeltjes per ml) verstoppen niet of nauwelijks. Bovendien lijken verschillende delen van het puttenveld een eigen karakteristieke deeltjesconcentratie (en verstoppingssnelheid) te hebben. Op basis van deze karakterisatie is de verstoppingsgevoeligheid van de betrokken putten vastgesteld (figuur 1).

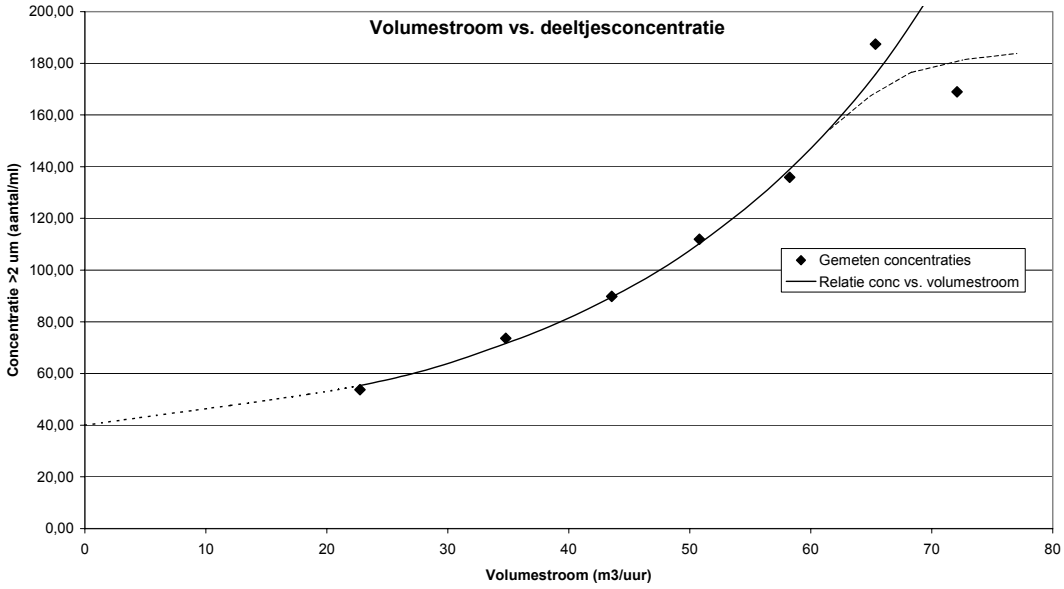


Figuur 1: locaties van pompputten, met onderverdeling in deeltjesconcentratie en verstoppingssnelheid: snel, gemiddeld en niet/nauwelijks verstoppend. De grenzen tussen de drie categorieën zijn vanwege het beperkte aantal metingen enigszins arbitrair.

Deeltjesconcentratie over de diepte
Aangezien er bij put 50A op verschillende dieptes steekmonsters zijn genomen is het van belang om te weten hoeveel die locaties afzonderlijk bijdragen aan de totale concentratie en deeltjesgrootteverdeling. Daarom zijn er bij deze put, voorafgaand aan het nemen van steekmonster, sectiegewijze deeltjestellingen uitgevoerd.

Gedurende de beschikbare tijd was het niet mogelijk om een voor de deeltjesaanvoer een evenwichtssituatie te bereiken. De sectiegewijze metingen hebben niet het gewenste resultaat opgeleverd. De manier van meten is wel goed. Toekomstige sectiegewijze deeltjestellingen kunnen op deze manier veel informatie opleveren over de variatie in deeltjesconcentratie en deeltjesgrootte verdeling over de lengte van het putfilter.

Volumestroom en deeltjesconcentratie
Voor de nieuwe put 50B is een relatie tussen deeltjes en debiet vastgesteld (figuur 2), op basis van de resultaten wordt geadviseerd de volumestroom tijdens bedrijfsvoering te reduceren met 10 tot 15 m^3/uur tot 50-55 m^3/uur.



Figuur 2: Relatie tussen volumestroom en deeltjesconcentratie voor put 50B.

Aanvoerconcentratie deeltjes
Om de aanvoerconcentratie van deeltjes te bepalen zijn deeltjestellingen aan waarnemingsput 06DP54 uitgevoerd. De aanvoerconcentratie in het pakket is vastgesteld op circa 20 deeltjes per ml.
Met behulp van de bij put 50B bepaalde relatie tussen de volumestroom en de deeltjesconcentratie is een schatting gemaakt van de achtergrondconcentratie in de directe omgeving van put 50B. Deze schatting kwam uit op ongeveer 40 deeltjes >2 µm per ml. Dit wijst erop dat het watervoerende pakket van plaats tot plaats verschillende hoeveelheden "achtergronddeeltjes" bevat.

Beheersing verstopping
De verstoppingssnelheid bij put 50B is op verschillende manieren te verminderen. De belangrijkste middelen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn:

1. vermindering van het onttrekkingsdebiet (volumestroom).
2. aanpassing van het aantal pompschakelingen (bedrijfsvoering).

Uit de deeltjestellingen met variabele volumestroom volgt dat de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken grondwater met circa 30% kan worden verminderd.

Voor het puttenveld is verstopping te beheersen door:

- Geen nieuwe putten te maken in de zuidwest hoek ("eendenkooi") van het puttenveld, omdat de putten zeer verstoppingsgevoelig zijn.
- De relatie tussen deeltjesconcentratie en volumestroom vast te stellen en te extrapoleren naar andere putten.
- Voor verstoppende én niet verstoppende putten het optimale debiet te bepalen. Voor niet verstoppende putten kan wellicht de onttrekkingscapacteit verhoogd worden.
- De invloed van waterkwaliteit op het mobiliseren van deeltjes te bepalen

- De sectiegewijze metingen waarmee de deeltjesconcentratie over de diepte wordt bepaald opnieuw uit te voeren. Dit levert handreikingen voor ontwerp (filterstelling) van nieuwe putten
- De bedrijfsvoering te optimaliseren. Naast debiet hoort daar ook een schakelfrequentie bij.

Er is een eerste stap gezet naar vergroting van leveringszekerheid en vermindering van exploitatiekosten voor puttenveld Ritskebos. De voorgestelde, en mogelijk nog voor te stellen, aanpassingen moeten wel bezien worden in het totaal van de exploitatie van de winning Ritskebos en de watervoorziening in Friesland.

Inhoud

	Samenvatting	**1**
	Inhoud	**5**
1	**Putverstopping Ritskebos**	**7**
1.1	Aanleiding	7
1.2	Onderzoek naar putverstopping	7
1.3	Steekmonsters én deeltjestellingen	8
1.4	Onderzoeksdoelstellingen	9
1.5	Uitvoering van het onderzoek	9
1.6	Opzet van dit rapport	9
2	**Deeltjestellingen bij pompputten**	**11**
2.1	Achtergrond	11
2.2	Uitvoering	11
2.3	Resultaten	11
2.4	Eerder uitgevoerde deeltjestellingen bij pompputten	15
3	**Sectiegewijze deeltjestellingen bij put 50A**	**17**
3.1	Achtergrond	17
3.2	Uitvoering	17
3.3	Resultaten	18
4	**Deeltjestellingen bij variabele volumestroom**	**21**
4.1	Achtergrond	21
4.2	Uitvoering	21
4.3	Resultaten	23
5	**Deeltjestelling bij waarnemingsput 54**	**27**
5.1	Achtergrond	27
5.2	Uitvoering	28
5.3	Resultaten	29
6	**Beperken van putverstopping bij put 50B**	**31**
7	**Conclusies**	**33**
7.1	Deeltjestellingen bij pompputten (hoofdstuk 2)	33

© Kiwa N.V.

7.2 Sectiegewijze deeltjestellingen (hoofdstuk 3) 33
7.3 Deeltjestellingen met variabele volumestroom (hoofdstuk 4) 33
7.4 Deeltjestelling bij waarnemingsput 54 (hoofdstuk 5) 34
7.5 Beperken van putverstopping bij put 50B (hoofdstuk 6) 34

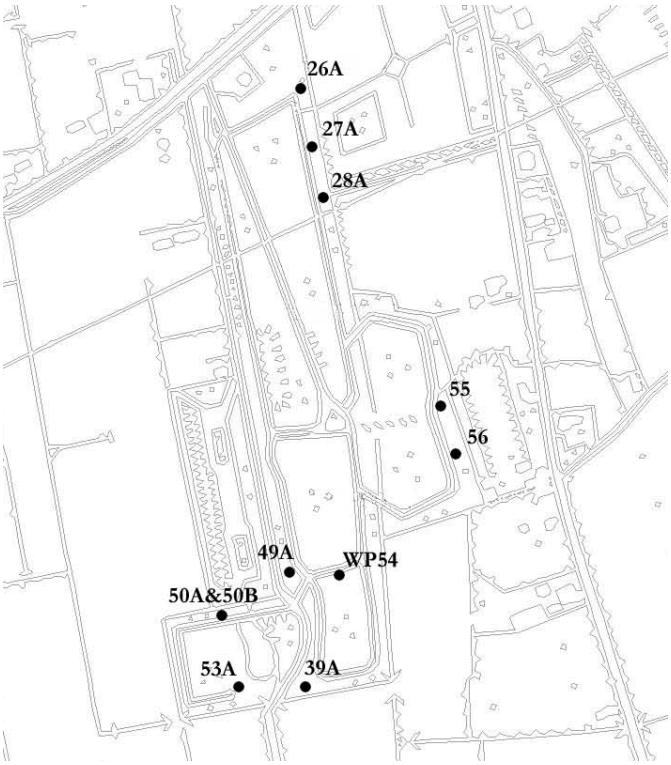
8 Aanbevelingen 36

8.1 Beheersing putverstopping Ritskebos 36
8.2 Onderzoek 36

1 Putverstopping Ritskebos

1.1 Aanleiding

Verschillende pompputten van puttenveld Ritskebos in Noordbergum verstoppen. Deze verstopping wordt veroorzaakt door van nature in het grondwater aanwezige deeltjes die accumuleren op de boorgatwand. Uit de jaarlijkse verstoppingsmetingen aan de putten blijkt dat niet alle putten gevoelig zijn voor putverstopping.
Vitens wil een beter inzicht hebben in de oorzaken van verstopping en voert onderzoek uit aan zowel de niet als wel verstoppende putten. Hiermee wil Vitens de leveringszekerheid van het puttenveld Ritskebos verhogen en de exploitatiekosten verlagen.



Figuur 1.1: Puttenveld Ritskebos.Alleen de pompputten en de waarnemingsput (WP54) waarbij deeltjestellingen zijn uitgevoerd staan aangegeven op de kaart.

1.2 Onderzoek naar putverstopping

Onlangs zijn er op het puttenveld Ritskebos een aantal nieuwe putten geboord. Hierbij is de snel verstoppende put 50A vervangen door een nieuwe put (50B), op geringe afstand van de oude.

Uit eerder (deeltjes)onderzoek is gebleken dat het onttrokken water uit put 50A zeer hoge concentraties deeltjes bevat. In het BTS-project Putverstopping wordt onderzoek uitgevoerd naar mechanische verstopping en de daarvoor

verantwoordelijke deeltjes. Doel van het BTS-project is om een beter inzicht te krijgen in de achterliggende mechanismen van mechanische putverstopping. Door combinatie van verschillende onderzoeken wil Vitens een beter inzicht krijgen in de specifieke situatie van het puttenveld Ritskebos.

Het volgende onderzoek is tot nu toe (december 2004) uitgevoerd op puttenveld Ritskebos:

1. Verstopping in relatie tot deeltjes: deeltjestellingen aan verschillende verstoppende en niet-verstoppende putten (landelijk), (Van Beek, 2000)
2. Landelijke karakterisatie van deeltjes (Prins, 2003)
3. Karakterisatie deeltjes put 50A; deeltjestellingen aan put 50A om aard en concentratie vast te stellen;
4. Steekmonsters put 50A: Put 50A is volledig uitgeboord en op vier verschillende dieptes langs het oorspronkelijke filter zijn horizontale steekmonsters van de boorgatwand genomen;
5. Deeltjesverdeling over de diepte: sectiegewijze deeltjestellingen aan put 50B om vast te stellen of er per filtersectie de deeltjesconcentratie gelijk is;
6. Karakterisatie deeltjes put 50B: deeltjestellingen aan put 50B om aard en concentratie vast te stellen en te vergelijken met de deeltjestellingen van put 50A.
7. Kritische debiet put 50B: deeltjestellingen aan put 50B bij variërend debiet.
8. Karakterisatie deeltjes en deeltjesverdeling over verschillende putten: deeltjestellingen aan put 26A, 27A, 28A, 39A, 49A, 53A, 55 en 56;
9. Vaststellen van de aanvoerconcentratie deeltjes: deeltjestellingen aan WP54

Bovenstaande onderwerpen worden in dit rapport beschreven, uitgezonderd de onderwerpen 1, 2 en 4.

1.3 Steekmonsters én deeltjestellingen

Met de steekmonsters is het mogelijk om deeltjes die op de boorgatwand zijn afgefilterd te karakteriseren. Dit levert informatie op over het verstoppingsproces en de hoeveelheid en aard van de deeltjes die verantwoordelijk zijn voor de verstopping. Met meer informatie daarover is het wellicht mogelijk om de verstopping bij de nieuwe put(ten) te verminderen.

De uitgevoerde deeltjestellingen op Ritskebos zijn bedoeld als aanvulling op het steekmonsteronderzoek. Deeltjestellingen hebben als voordeel dan ze gemakkelijker en goedkoper uit te voeren zijn dan het nemen van steekmonsters. Behalve onderzoek naar de verstopping en deeltjes bij put 50A en 50B, is er ook gekeken naar een aantal andere putten van puttenveld Ritskebos om te onderzoeken of de concentratie en de verdeling van deeltjes vergelijkbaar is met die van put 50A en 50B.

1.4 Onderzoeksdoelstellingen

Dit onderzoek is bedoeld om de resultaten van de steekmonsters beter te kunnen interpreteren. Het belangrijkste *doel* van dit onderzoek is het karakteriseren van deeltjesvoorkomen (deeltjesconcentratie en -grootteverdeling) bij een aantal andere putten op het puttenveld Ritskebos om daarmee een beter beeld te krijgen van de verstoppingsgevoeligheid.

In het kort zijn er binnen het onderzoek de volgende doelstellingen:

6. Aard en hoeveelheden deeltjes in put 50A bepalen.
7. Vaststellen van de variatie in aard en hoeveelheid over de lengte van het putfilter.
8. Bepalen van het verschil in deeltjesconcentratie tussen put 50A en 50B.
9. Relatie tussen de volumestroom en de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken grondwater bij put 50B vaststellen.
10. Variaties in beeld brengen in de deeltjesconcentratie tussen putten in de verschillende delen van het puttenveld.

1.5 Uitvoering van het onderzoek

Het onderzoek op puttenveld Ritskebos is onderdeel van het promotieonderzoek dat in het kader van het BTS wordt uitgevoerd. Het uitgevoerde onderzoek past binnen de onderzoeksvisie 'promotieonderzoek en deeltjestellingen' die als bijlage I is opgenomen.

Mede door een bijdrage uit het BedrijfsTakOnderzoek van de Nederlandse waterbedrijven (BTO) zijn deeltjestellingen en interpretatie van de gegevens mogelijk gemaakt.

1.6 Opzet van dit rapport

Om de doelstellingen te bereiken zijn er verschillende soorten onderzoek uitgevoerd. Ieder type onderzoek heeft uiteraard een andere manier van uitvoering en andere resultaten. Daarom is ervoor gekozen om elk type onderzoek in een eigen hoofdstuk te behandelen, met daarin zowel de manier van uitvoering, de resultaten en een bespreking daarvan.

Deze rapportage richt zich alleen op de deeltjestellingen. Het resultaat van de steekmonsters en de relatie met de deeltjestellingen wordt elders gerapporteerd (De Zwart, 2005. in prep.).

Binnen dit project zijn er (in chronologische volgorde) de volgende typen onderzoek uitgevoerd:

1.	Deeltjestellingen bij verschillende pompputten om een beter beeld te krijgen van de variaties in deeltjesconcentraties binnen het puttenveld.	*Hoofdstuk 2*
2.	Sectiegewijze deeltjestellingen bij put 50A om te onderzoeken hoe verschillende delen van het putfilter bijdragen aan de totale deeltjesconcentratie.	*Hoofdstuk 3*
3.	Deeltjestellingen bij variabele onttrekkingscapaciteit	*Hoofdstuk 4*

bij put 50B om de relatie tussen de deeltjesconcentratie en de onttrekkingscapaciteit te bepalen.

4. Een deeltjestelling bij een waarnemingsput om een 'natuurlijke' achtergrondconcentratie te bepalen. *Hoofdstuk 5*

Advies voor de exploitatie van put 50B is opgenomen in hoofdstuk 6. Conclusies uit de verschillende onderzoeken en integratie van onderzoeksresultaten zijn beschreven in hoofdstuk 7. Afsluitend worden in hoofdstuk 8 aanbevelingen voor vervolg aangereikt.
Bij dit rapport hoort ook een bijlagenrapport waarin achtergrondinformatie over het puttenveld (filterstelling, grondwaterstroming, geologisch profiel), verschillende grafieken en werkbeschrijvingen zijn opgenomen. Dit bijlagenrapport is alleen digitaal (PDF-bestand) beschikbaar.

2 Deeltjestellingen bij pompputten

2.1 Achtergrond

Op puttenveld Ritskebos zijn bij 9 pompputten (meestal meerdaagse) deeltjestellingen uitgevoerd. De eerste tellingen zijn uitgevoerd in april 2004. In oktober 2004 zijn een aantal aanvullende deeltjestellingen uitgevoerd, onder andere bij de put 50B en put 49A.

De meeste putten hebben filterstellingen op ongeveer 60 tot 80 meter diepte. Put 49A vormt hierop een uitzondering, deze put is namelijk veel dieper (137 meter). Een overzicht van de filterstellingen van de verschillende pompputten (en waarnemingsput) is te vinden in bijlage II.

2.2 Uitvoering

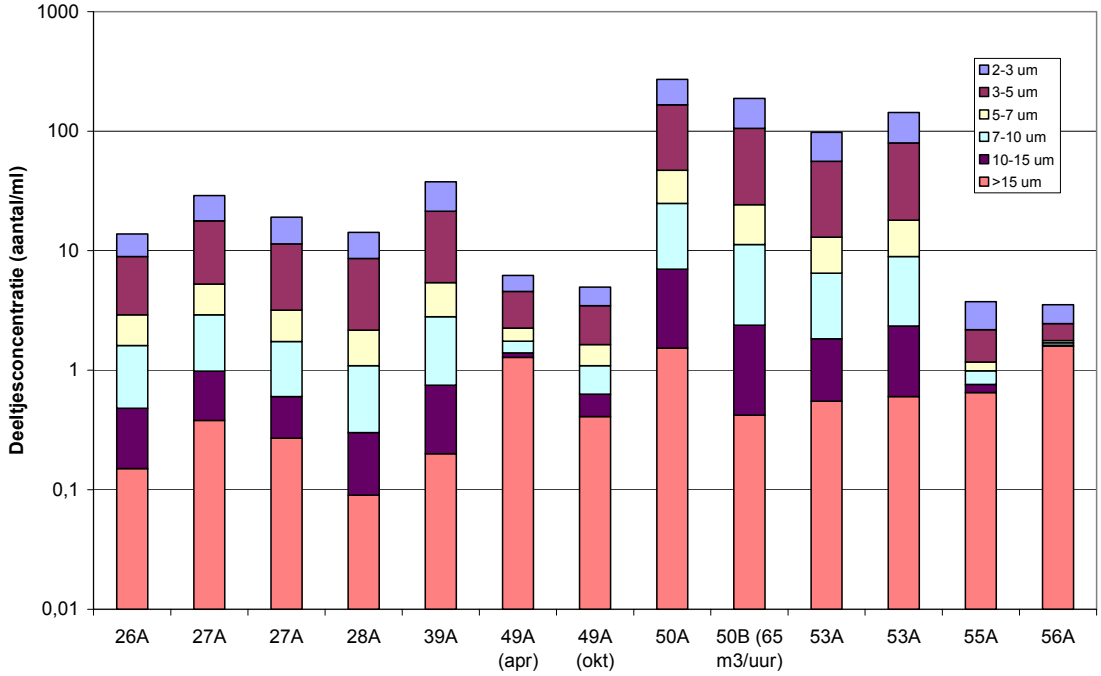
De putten stonden tijdens de deeltjestellingen op handbediening en waren daardoor de hele meetperiode continu in bedrijf. De deeltjesteller was tijdens de metingen aangesloten op de monsterkraan (kogelkraan) in de putkelder. Bij een aantal putten is er één keer kort geschakeld om te zien hoeveel materiaal hierbij loskomt.

2.3 Resultaten

In tabel 2.1 en 2.2 en figuur 2.1 zijn de resultaten te zien van de deeltjestellingen. De resultaten in grafiekvorm zijn te vinden in bijlage IX .

Tabel 2.1: resultaten (concentraties)

putnummer		sensor	deeltjesconcentratie (aantal/ml)						
Oud	nieuw		**2-3**	**3-5**	**5-7**	**7-10**	**10-15**	**> 15**	**totaal**
26A	2	4	4,88	6,01	1,30	1,13	0,33	0,15	13,81
27A	3	4	11,10	12,54	2,34	1,93	0,60	0,38	28,88
		4	7,70	8,20	1,44	1,14	0,33	0,27	19,07
28A	4	4	5,62	6,44	1,07	0,79	0,21	0,09	14,23
39A	18	4	16,38	15,97	2,60	2,06	0,55	0,20	37,76
49A (apr)	24	2	1,64	2,31	0,50	0,35	0,12	**1,28**	6,20
49A (okt)	24	2	1,48	1,82	0,55	0,46	0,22	**0,41**	4,94
50A	23	4	105,55	119,01	22,15	17,88	5,48	1,53	271,61
50B (65 m3/uur)	50B	2	81,99	81,17	13,00	8,86	1,96	0,42	187,40
53A	19	4	41,95	42,93	6,47	4,65	1,28	0,55	97,82
		4	63,38	61,70	9,07	6,58	1,74	0,60	143,08
55A	9	2	1,56	1,01	0,18	0,23	0,11	0,65	3,74
56A	10	4	1,06	0,69	0,08	0,07	0,03	1,59	3,51



Figuur 2.1: Gemeten deeltjesconcentraties (en fractieverdelingen) bij de pompputten. Opmerking bij deze figuur: door de logschaal lijken de onderlinge verschillen in deeltjesconcentratie klein. De absolute verschillen zijn echter wel behoorlijk groot.

Tabel 2.2: resultaten (fracties en pareto hellingen)

putnummer		fracties (µm)						pareto helling	
oud	nieuw	**2-3**	**3-5**	**5-7**	**7-10**	**10-15**	**> 15**	**2-5**	**2-10**
26A	2	0,353	0,436	0,094	0,082	0,024	0,011	-1,70	-2,10
27A	3	0,384	0,434	0,081	0,067	0,021	0,013	-1,86	-2,11
		0,404	0,430	0,075	0,060	0,017	0,014	-1,96	-2,16
28A	4	0,395	0,453	0,075	0,056	0,015	0,006	-2,06	-2,44
39A	18	0,434	0,423	0,069	0,055	0,015	0,005	-2,12	-2,44
49A (apr)	24	0,265	0,373	0,081	0,057	0,019	**0,206**	-1,11	-0,93
49A (okt)	24	0,300	0,369	0,111	0,092	0,045	**0,083**	-1,21	-1,28
50A	23	0,389	0,438	0,082	0,066	0,020	0,006	-1,91	-2,27
50B (65 m^3/uur)	50B	0,437	0,433	0,069	0,047	0,010	0,002	-2,23	-2,71
53A	19	0,429	0,439	0,066	0,048	0,013	0,006	-2,21	-2,48
		0,443	0,431	0,063	0,046	0,012	0,004	-2,26	-2,56
55A	9	0,424	0,273	0,049	0,060	0,028	**0,166**	-1,32	-1,05
56A	10	0,298	0,195	0,024	0,019	0,008	**0,456**	-0,75	-0,48

De vetgedrukte waarden in de kolom '> 15' bij de putten 49A, 55 en 56 zijn verdachte metingen. De fractie > 15 µm is bij deze putten erg groot in vergelijking met de andere fracties en in vergelijking met de verdelingen van deeltjes bij andere putten. De kans is daarom groot dat bij deze put gasbellen

(b.v. methaan) voor deeltjes zijn aangezien. Tijdens de deeltjestellingen bij put 49A, 55 en 56 zijn bovendien enkele gasbellen waargenomen.

Dit betekent dat de totale deeltjesconcentraties bij deze metingen in werkelijkheid lager zal zijn. Bij put 56 zal de concentratie uitkomen op ongeveer 2 deeltjes per ml.

Bij put 49A is zowel in april als in oktober een deeltjestelling uitgevoerd. Tijdens beide metingen bevatte het onttrokken grondwater gasbellen, hoewel er bij de meting in oktober minder gasbellen zijn geteld.

In tabel 2.2. (fracties en pareto) is te zien dat de verdelingen tussen de verschillende fracties over het algemeen behoorlijk goed overeenkomen (met uitzondering van put 49A, 55 en 56 t.g.v. gasbellen).

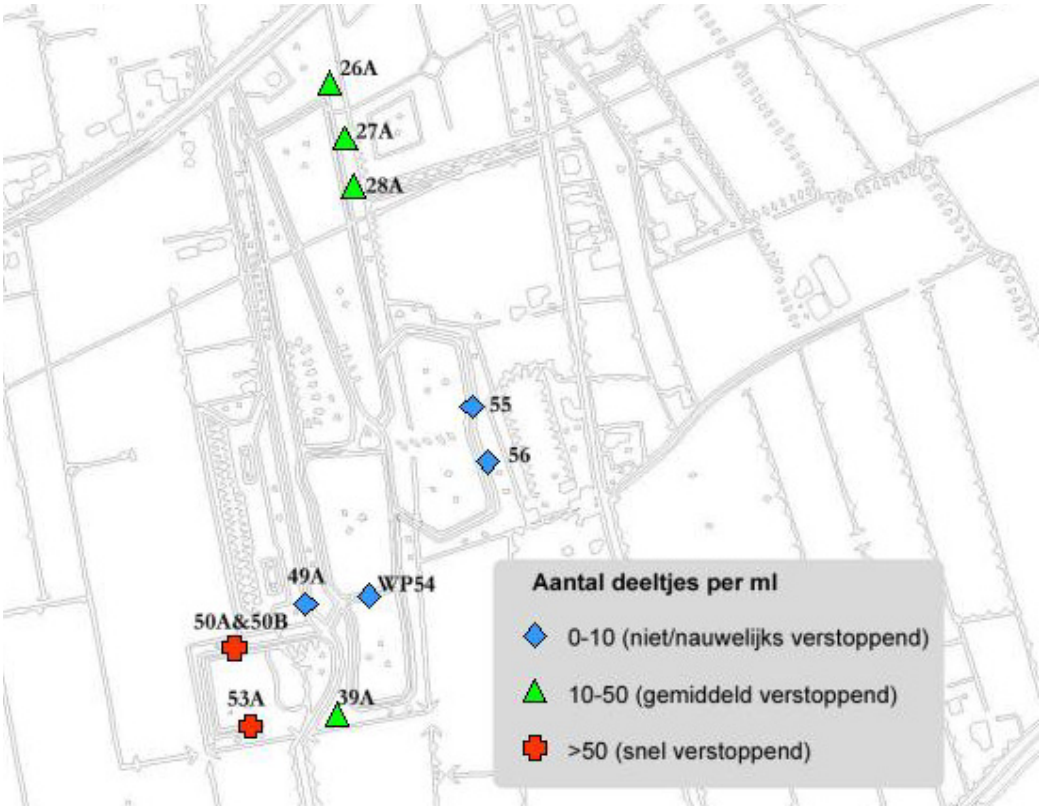
Put 27A en 53A lijken gevoelig te zijn voor het aan- of uitschakelen van andere putten. Dit is te zien aan de duidelijke sprongen in het verloop van de deeltjesconcentratie (zie bijlage IX). Door het schakelen van putten op de ruwwaterleiding verandert vermoedelijk het door put 27A en 53A geleverde debiet en daarmee ook de kracht die op deeltjes in de omgeving van het watervoerende pakket wordt uitgeoefend.

Wat opvalt aan de resultaten van de deeltjestellingen is dat putten in verschillende delen van het puttenveld een eigen karakteristieke deeltjesconcentraties hebben. Put 50A en 53A hebben een relatief zeer hoge deeltjesconcentratie, terwijl de concentraties bij put 55 en 56 zeer laag zijn. Ondanks de ouderdom van deze putten (bouwjaar 1963), zijn ze nog altijd in gebruik. Blijkbaar is de combinatie van omstandigheden ter plaatse (pakket, putconstructie, waterkwaliteit e.d.) zodanig dat putverstopping bij deze putten minder snel optreedt.

In het zuidwestelijk deel van het puttenveld (put 50 en 53) komen de hoogste concentraties voor (zie figuur 2.2). In het oostelijk deel (put 55 en 56) de laagste.

Er blijkt ook een directe relatie te bestaan tussen de deeltjesconcentratie en de verstoppingssnelheid bij de putten. Putten met hoge deeltjesconcentraties hebben een hoge verstoppingssnelheid. Putten met lage concentraties (< 10 deeltjes per ml) verstoppen niet of nauwelijks. De putten zijn ruwweg te verdelen in drie categorieën (zie ook figuur 2.2):

- snel verstoppend (binnen enkele jaren).
- gemiddeld verstoppend.
- niet of nauwelijks verstoppend.



Figuur 2.2: locaties van pompputten, met onderverdeling in deeltjesconcentratie en verstoppingssnelheid: snel, gemiddeld en niet/nauwelijks verstoppend. De grenzen tussen de drie categorieën zijn vanwege het beperkte aantal metingen enigszins arbitrair.

Er zijn een aantal factoren waarmee de verschillen (mogelijk) te verklaren zijn:

- Herkomst van het onttrokken grondwater (mogelijke variatie in waterkwaliteit). In bijlage IV is een grondwaterstromingskaart opgenomen waaruit blijkt dat de herkomst van het grondwater dat aangetrokken wordt door de putten in de zuidwest hoek afwijkt van het aangetrokken grondwater door put 55 en 56.
- In Noordbergum kan mogelijk geïnfiltreerd regenwater het watervoerende pakket bereiken doordat het afsluitend pakket (formatie van Peelo) nogal grillig is en bovendien ook nog eens heterogeen qua lithologie. Ook wordt bij sommige putten aan de noordkant van het puttenveld brak grondwater aangetrokken.
- Samenstelling (lithologie) van het watervoerend pakket zelf : afzettingen behorende tot de formatie van Urk hebben een grote spreiding in sedimentgrootte.
- Type putconstructie en ouderdom daarvan (er zijn meerdere series, met elk een andere periode van aanleg).

Opvallend is dat bij put 49A, die dicht bij de zone met snel verstoppende putten ligt (zie figuur 2.2) en ook zijn filter gedeeltelijk in hetzelfde deel van het pakket heeft als put 50A, niet of nauwelijks verstopt. De verklaring hiervoor is de filterstelling van put 49A (dieper, met een langer filter).

Vermoedelijk is een groot deel van het water dat door deze put wordt onttrokken afkomstig van de diepere delen van het putfilter. Hierdoor zal de snelheid op de boorgatwand bij het bovenste deel van het putfilter relatief laag zijn. Het zou kunnen dat het bovenste deel wel wat verstopt, maar dat de diepere delen voldoende in staat zijn om dit te compenseren door het leveren van meer water. Met behulp van een flowmeting kan hier eventueel meer informatie over worden verkregen.

De deeltjesconcentratie van put 50A was hoger dan bij put 50B. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door verschillen in de mate van verstopping tussen de putten, de verdeling van de toestroom langs de filters verschilt. Dit blijkt ook uit de flowmetingen die bij beide putten zijn uitgevoerd. Deze zijn te vinden in bijlage IV.

2.4 Eerder uitgevoerde deeltjestellingen bij pompputten

In Noordbergum zijn in het verleden al eerder deeltjestellingen uitgevoerd. In bijlage XI zijn grafieken te zien met daarin een vergelijking tussen deeltjestellingen die in november 2000 zijn uitgevoerd en de recent uitgevoerde deeltjestellingen. In de bijlage zijn alleen de putten opgenomen waarbij zowel in 2000 als in 2004 deeltjestellingen zijn uitgevoerd.

In de grafieken valt op dat bij de oude deeltjestellingen de fractie > 10 µm meestal veel groter is dan bij de recente deeltjestellingen. Vermoedelijk zijn er bij de oude metingen ook gasbellen meegeteld.

3 Sectiegewijze deeltjestellingen bij put 50A

3.1 Achtergrond

De filters van pompputten hebben meestal een behoorlijke lengte (meer dan 10 meter). Dit is nodig om voldoende water uit het watervoerend pakket te kunnen onttrekken. Bij puttenveld Ritskebos hebben de meeste putten een filterlengte van 20 tot 30 meter. Dit houdt in dat de gemeten deeltjesconcentraties en korrelgrootteverdelingen de gemiddelden zijn over het totale putfilter. Dit gemiddelde is bovendien ook een gewogen gemiddelde aangezien niet elke laag even veel bijdraagt aan de totale volumestroom van de put. Verder hebben ook verschillen in bodemeigenschappen (korrelgrootteverdeling, bijmengsels van klei, organisch materiaal e.d.) op verschillende dieptes langs het putfilter invloed op de deeltjesconcentratie en korrelgrootteverdeling.

Aangezien er bij put 50A op verschillende dieptes steekmonsters zijn genomen is het van belang om te weten hoeveel die locaties afzonderlijk bijdragen aan de totale concentratie en deeltjesgrootteverdeling. Daarom zijn er bij deze put, voorafgaand aan het nemen van de steekmonster, sectiegewijze deeltjestellingen uitgevoerd. De dieptes van de vier secties vallen samen met de dieptes waarop steekmonsters uit de boorgatwand worden genomen.

3.2 Uitvoering

Tijdens de sectiegewijze deeltjestelling bij put 50A werd er onttrokken met een capaciteit van 60 m^3/uur. Deze onttrekkingscapaciteit wordt ook gebruikt bij de normale bedrijfsvoering. Bij de verschillende secties is er steeds een ander interval van het putfilter afgesloten met behulp van tussenschotten. De dieptes van de secties staan in tabel 3.1. De intervallen waarover gemeten is waren steeds 1 meter lang.

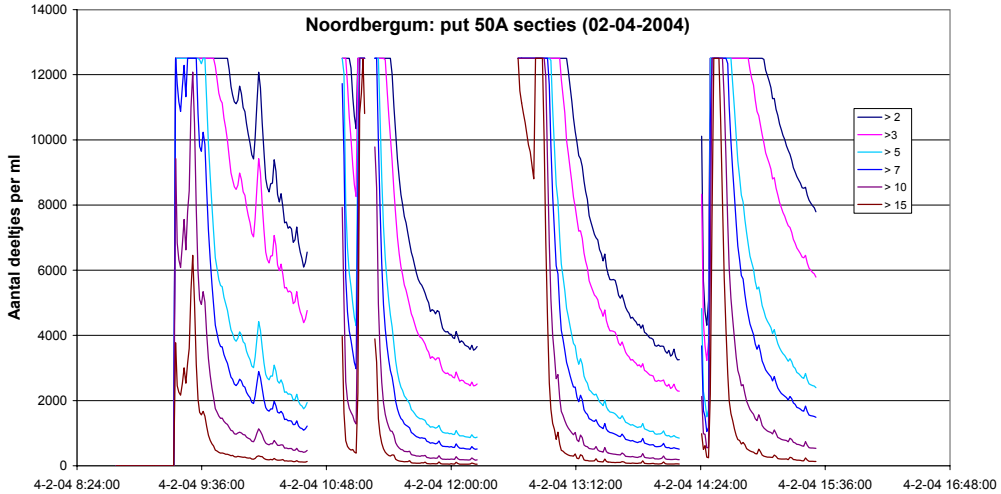
Tabel 3.1: dieptes van de vier secties.

Nummer van sectie	Diepte (m)
1	82,0 – 83,0
2	76,5 - 77,5
3	72,5 - 73,5
4	69,5 - 70,5

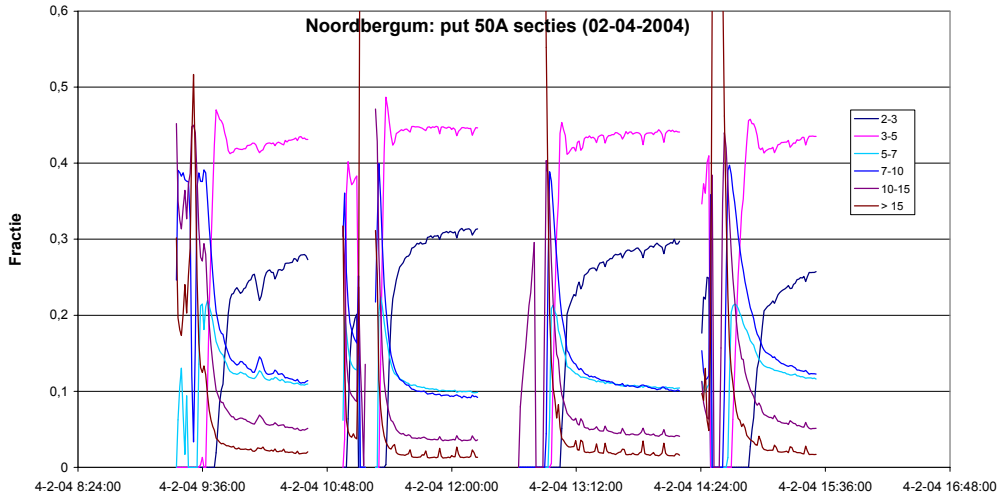
Uit de afgesloten secties is met behulp van een tweede (veel kleinere) pomp ongeveer 10 liter per minuut (0,6 m^3/uur) onttrokken. Een deelstroom van dit water ging vervolgens naar de deeltjesteller.

3.3 Resultaten

De gemeten concentraties bij de sectiegewijze metingen zijn extreem hoog (zie figuur 3.1). Het meetbereik van de deeltjesteller ligt tussen 0 en 1250 deeltjes/ml. Bij aanvang van de metingen liggen de deeltjesconcentratie buiten het meetbereik, dit verklaart de "afkapping" van onderstaande grafieken. Dit heeft ook invloed op de fractieverdeling van de gemeten deeltjes. Bij een concentratie boven de 12500 deeltjes per ml zullen de fracties met de kleinste deeltjes eerste niet (volledig) geteld worden. In figuur 3.2 is dat ook te zien.
Zowel in grafiek 3.1 als 3.2 is duidelijk dat de evenwichtssituatie van deeltjes niet bereikt wordt binnen de meetperiode.



Figuur 3.1: Grafieken met de vier sectiegewijze deeltjestellingen bij put 50A.De dieptes van de secties zijn achtereenvolgens 82-83m, 76,5-77,5m, 72,5-73,5m, en 69,5-70,5m.



Figuur 3.2: fractieverdelingen tijdens de sectiegewijze deeltjestellingen.

Wat verder opvalt, is dat er ondanks de hoge gemeten concentraties ook verschillen tussen de vier metingen zijn. Deze verschillen zijn vrijwel zeker te

wijten aan een verschillende mate van vervuiling ten gevolge van het verplaatsen van het sectieapparaat. Omdat er eerder bij put 50A een concentratie was gemeten van 271 deeltjes/ml, werd verwacht dat de concentraties bij de afzonderlijke secties ook enkele honderden deeltjes per ml zouden zijn. Deze concentraties zijn niet gemeten.

De sectiegewijze metingen hebben om een aantal redenen niet het gewenste resultaat opgeleverd:

- Een te strakke planning, en daardoor te weinig tijd per meting. Ook geen tijd om de monsterslangen bijvoorbeeld een dag lang voor te spoelen. Op één dag bij vier verschillende secties metingen uitvoeren lukt niet, want zelfs al zijn de omstandigheden verder ideaal, dan nog zal er steeds flink wat tijd nodig zijn voordat stabiele deeltjesconcentraties kunnen worden gemeten. Bij het op de juiste diepte brengen van het sectie apparaat zal namelijk al snel verstoring optreden. Nu laten alle vier de metingen op het einde nog steeds een sterke afname in de deeltjesconcentratie zien. Van een stationaire situatie is dus in geen van de vier gevallen sprake. Daarom kunnen er aan deze deeltjestellingen ook geen conclusies worden verbonden met betrekking tot de variatie in deeltjesconcentratie met de diepte.
- Behalve de te korte meettijden was het gebruikte type monsterslang niet ideaal (te grote diameter, niet goed schoon te krijgen).
- Onvoorziene vertraging van de metingen, onder andere door problemen met de stroomvoorziening bij put 50A.

Ondanks het feit dat de sectiegewijze metingen niet de gewenste resultaten hebben opgeleverd, was de manier van meten wel goed. Toekomstige sectiegewijze deeltjestellingen kunnen op deze manier veel informatie opleveren over de variatie in deeltjesconcentratie en deeltjesgrootte verdeling over de lengte van het putfilter. Dit levert gedetailleerdere data op m.b.t. putverstopping over het filtertraject.

4 Deeltjestellingen bij variabele volumestroom

4.1 Achtergrond

Uit eerdere experimenten bij de puttenvelden Helmond en Veghel (Brabant Water) is duidelijk geworden dat de volumestroom waarmee wordt onttrokken van invloed is op de deeltjesconcentratie in het onttrokken grondwater. Het verband tussen de deeltjesconcentratie en de volumestroom blijkt niet lineair te zijn. Duidelijk is geworden dat deze relatie per put verschilt. Toch is de algemene trend (op basis van de tot nu toe uitgevoerde metingen) dat naar mate de onttrekking groter wordt, de deeltjesconcentratie steeds sneller toeneemt. Doordat de stroomsnelheid van het grondwater in de omgeving van het putfilter toeneemt, neemt ook de sleepkracht van het water toe. Hierdoor kunnen er steeds meer deeltjes worden gemobiliseerd. Een hogere deeltjesconcentratie in het onttrokken grondwater zal (waarschijnlijk) leiden tot een snellere verstopping van het putfilter.

De mate waarin deeltjes worden gemobiliseerd (ten gevolge van sleepkracht) is afhankelijk van de volumestroom waarmee grondwater wordt onttrokken. Als de relatie tussen de volumestroom en de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken water bekend is kan het kritische debiet worden vastgesteld. Het kritisch debiet is het debiet waarbij het aantal deeltjes minimaal is voor het beperken van putverstopping. Verder geeft de relatie ook informatie over de achtergrondconcentratie in de directe omgeving van het putfilter.

Bij put 50B zijn deeltjestellingen uitgevoerd om de relatie tussen deeltjes en volumestroom vast te stellen. Een voordeel van het meten bij deze put is dat er nog geen verstopping plaats heeft gevonden. Daarom is het nog mogelijk om op basis van de gevonden relatie verstoppingsbeperkende maatregelen te nemen.

4.2 Uitvoering

Om een goed beeld te krijgen van de relatie is er voor put 50B bij zeven verschillende volumestromen een deeltjestelling uitgevoerd. Er is daarbij gebruik gemaakt van de normale onderwaterpomp en een frequentieomvormer. Tijdens de metingen was put 50B niet aangesloten op het leidingnet. Het onttrokken water werd geloosd in een nabij gelegen sloot. De deeltjesteller is aangesloten op de monsterkraan, op dezelfde manier als tijdens de deeltjestellingen bij de andere pompputten. In figuur 4.1 zijn foto's van de meetopstelling te zien.

Figuur 4.1: Aansluiting bij de putkop (links) en overzicht van de meetopstelling (rechts).

In tabel 4.1 is de meetvolgorde met bijbehorende volumestroom weergegeven.

Tabel 4.1: Metingen met variërende volumestroom, in volgorde van meting

nr.	m3/uur
1	65,35
2	50,80
3	34,79
4	22,73
5	43,55
6	58,26
7	72,10

Bij het meten met wisselende volumestromen is het nodig dat er per deeltjestelling minimaal een aantal uren gemeten wordt. Er moet zich namelijk een evenwicht kunnen instellen in het gebied rondom het putfilter (omstorting plus aangrenzend watervoerend pakket). Dit evenwicht hangt samen met de snelheid op de boorgatwand, die gekoppeld is aan de grootte van de volumestroom waarmee wordt onttrokken.

Een ander belangrijk punt is dat tijdens deze metingen goed bijgehouden moet worden welke andere putten grondwater onttrekken, omdat omliggende putten ook invloed kunnen hebben op de deeltjesconcentratie van de put waarbij gemeten wordt. In een normale situatie zijn er twee aspecten die invloed kunnen hebben op de gemeten hoeveelheden deeltjes:

1. Beïnvloeding ten gevolge van drukgolven door het watervoerend pakket.
2. Beïnvloeding ten gevolge van drukverschillen in het leidingennet tussen de pompputten.

Punt 2 speelde bij put 50B geen rol, omdat de put nog niet op het leidingnet was aangesloten. Het effect van punt 1 is na afloop van de zeven deeltjestellingen getest. Er is een kort experiment uitgevoerd waarbij drie buurputten één voor één met de hand werden aangeschakeld. Deze schakelingen bleken geen meetbare verandering in de deeltjesconcentratie bij put 50B te veroorzaken.

4.3 Resultaten

In tabel 4.2 zijn de gemeten deeltjesconcentraties per fractie weergegeven voor de verschillende volumestromen waarmee is onttrokken. In tabel 4.3 staan de fractieverdelingen en de pareto hellingen.

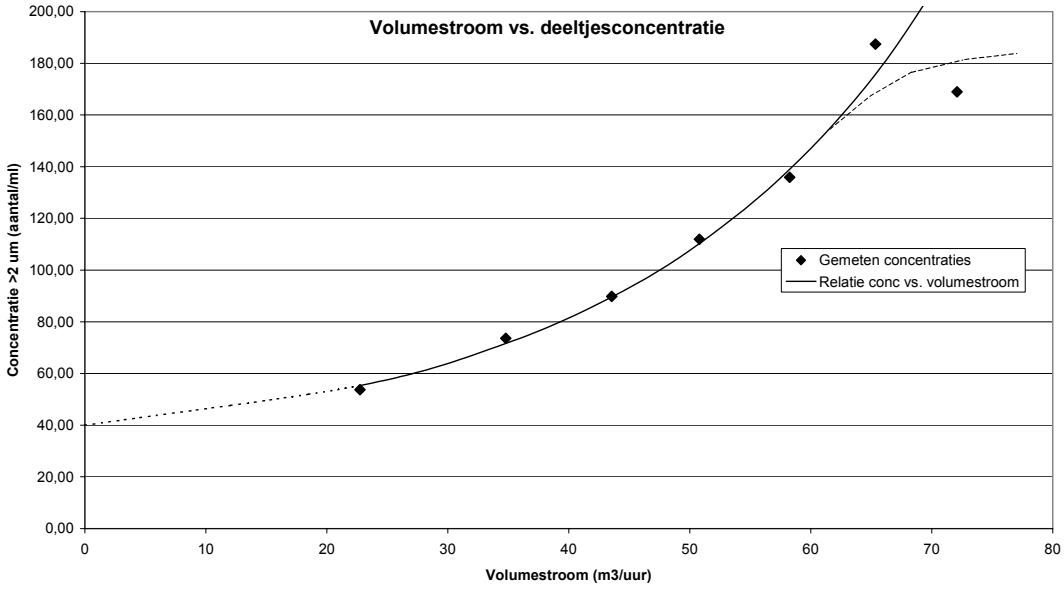
Tabel 4.2: Deeltjesconcentraties per volumestroom

	deeltjesconcentratie (aantal/ml)						
m^3/uur	**2-3**	**3-5**	**5-7**	**7-10**	**10-15**	**> 15**	**totaal**
22,73	28,18	20,77	2,52	1,56	0,49	0,20	53,72
34,79	36,03	30,37	3,99	2,43	0,57	0,25	73,64
43,55	41,77	37,86	5,40	3,54	0,92	0,31	89,81
50,80	52,82	46,91	6,70	4,25	0,97	0,29	111,93
58,26	59,91	59,14	9,11	6,08	1,25	0,38	135,87
65,35	81,99	81,17	13,00	8,86	1,96	0,42	187,40
72,10	72,76	73,91	12,06	8,09	1,82	0,30	168,94

Tabel 4.3: Fracties en pareto hellingen per (oplopende) volumestroom

	fracties (µm)						Pareto helling	
m^3/uur	**2-3**	**3-5**	**5-7**	**7-10**	**10-15**	**> 15**	**2-5**	**2-10**
22,73	0,525	0,387	0,047	0,029	0,009	0,004	-2,64	-2,71
34,79	0,489	0,412	0,054	0,033	0,008	0,003	-2,53	-2,80
43,55	0,465	0,422	0,060	0,039	0,010	0,003	-2,38	-2,66
50,80	0,472	0,419	0,060	0,038	0,009	0,003	-2,42	-2,79
58,26	0,441	0,435	0,067	0,045	0,009	0,003	-2,28	-2,75
65,35	0,437	0,433	0,069	0,047	0,010	0,002	-2,23	-2,71
72,10	0,431	0,437	0,071	0,048	0,011	0,002	-2,21	-2,72

Als de deeltjesconcentraties van de afzonderlijke metingen worden uitgezet tegen de bijbehorende volumestromen levert dit een beeld op van het verloop van de deeltjesconcentratie bij het verhogen van de volumestroom. Dit is te zien in figuur 4.2. Hieruit blijkt dat de relatie niet lineair is.



Figuur 4.2: Relatie tussen volumestroom en deeltjesconcentratie voor put 50B.

Het verloop van de concentratie versus de volumestroom is te benaderen met een e-macht functie van de vorm $C= X + Ye^{ZQ}$. Vervolgens is er door aanpassing ("trial and error") van de coëfficiënten X, Y en Z (m.b.v. een grafiek in excel) een curve bepaalt die het beste past bij de gemeten deeltjesconcentraties.
De volgende formule geeft voor put 50B een goede benadering van de relatie tussen deeltjes en volumestroom:

$C = 30 + 10e^{0,041Q}$ C = Deeltjesconcentratie >2 µm (aantal/ml)
Q = Volumestroom (m3/uur)

Tot hoeveel de deeltjesconcentratie toe zal nemen (eindconcentratie) is niet precies bekend. Het is echter onmogelijk dat de toename tot in het oneindige doorgaat. Volgens de afgeleide formule zou bij 100 m^3/uur de deeltjesconcentratie op 633 deeltjes/ml uitkomen.

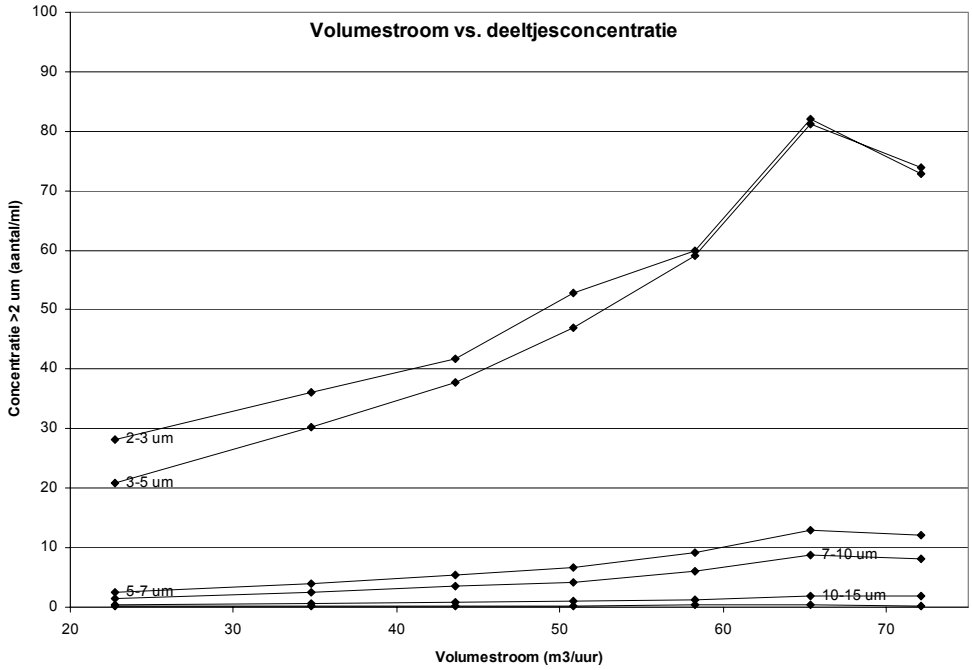
Bij grotere volumestromen wordt het verloop daarom vermoedelijk anders. Het is namelijk zeer onwaarschijnlijk dat de deeltjesconcentratie logaritmisch toe zal blijven nemen bij verhoging van de onttrekkingscapaciteit. Als alle te mobiliseren deeltjes mobiel geworden zijn, neemt de concentratie niet verder toe. In figuur 4.2 is daarom vanaf 60 m^3/uur een stippellijn getekend die het verwachte verloop weergeeft.

Deze relatie geeft meer informatie over het voorkomen en gedrag van deeltjes bij het putfilter. Onder andere in hoeverre de sleepkracht van het grondwater in staat is (extra) deeltjes los te maken.

Ook geeft het een indruk van de achtergrondconcentratie (situatie zonder onttrekking) in de directe omgeving van put 50B. Deze is ongeveer 40 deeltjes

(> 2µm) per ml. Deze waarde is de som van de coëfficiënten X en Y, die in de gevonden relatie respectievelijk 30 en 10 zijn.

Waarschijnlijk verschillen de waarden van X en Y en Z per put, ten gevolge van verschillen in bedrijfsvoering, lokale pakketeigenschappen en de mate van verstopping. De (algemene) vorm van de formule is vermoedelijk wel voor iedere put gelijk.



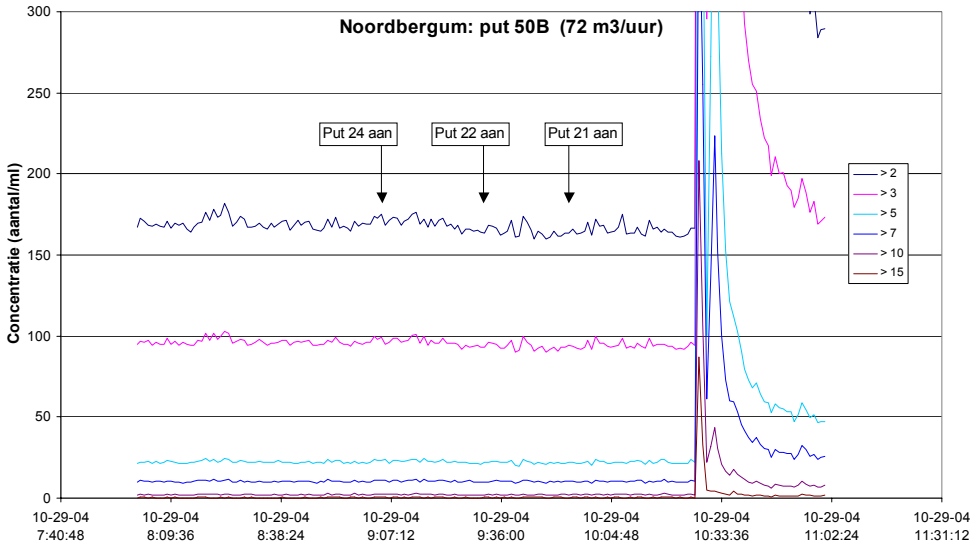
Figuur 4.3: Volumestroom versus deeltjesconcentratie per fractie voor put 50B.

In figuur 4.3 is de deeltjesconcentratie per fractie uitgezet tegen de volumestroom waarmee is onttrokken. Op basis van deze figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- Bij grotere onttrekking neemt zowel het aantal deeltjes als de gemiddelde deeltjesgrootte toe.
- Er zijn twee punten waar een (niet lineaire) stijging van het aantal deeltjes plaatsvindt: bij 35 en bij 58 m^3/uur.
- Qua bijdrage aan het totale deeltjesmassa is de fractie 3-5 µm van groot belang. De deeltjes in deze fractie zijn verantwoordelijk voor ongeveer 38% van de totale massa aan deeltjes, ongeacht de grootte van de volumestroom. Een aanname hierbij is dat alle deeltjes hetzelfde soortelijk gewicht hebben.
- Bij grotere onttrekking worden met name de bijdrage van deeltjes 5-10 µm steeds belangrijker. Bij een volumestroom van 72 m^3/uur draagt deze fractie 34% bij aan het totaal, tegenover 24% bij 22 m^3/uur.
- Veranderingen in de mate van onttrekking hebben nauwelijks invloed op de bijdrage van deeltjes met een grootte van 10-15 µm.

- De bijdrage van deeltjes groter dan 15 µm neemt af naar mate de onttrekking toeneemt. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.

Zoals al genoemd is in de vorige paragraaf, is ook de invloed van het schakelen van putten in de buurt van put 50B onderzocht. Er is een kort experiment uitgevoerd waarbij drie buurputten een voor een met de hand werden aangeschakeld. De deeltjestelling is uitgevoerd bij een volumestroom van 72 m^3/uur. Het resultaat van dit experiment is te zien in figuur 4.4.



Figuur 4.4: Invloed van schakelen van putten in de omgeving van put 50B op de deeltjesconcentratie.

Uit het experiment blijkt dat schakelingen bij putten in de omgeving van put 50B geen meetbare verandering in de deeltjesconcentratie veroorzaken. Mogelijk komt dit door het feit dat de put nog niet verstopt is.

5 Deeltjestelling bij waarnemingsput 54

5.1 Achtergrond

Van nature is er in grondwater altijd een bepaalde concentratie aan deeltjes aanwezig. Dit is de aanvoerconcentratie. Deze deeltjesconcentratie kan worden gemeten in het watervoerend pakket als de natuurlijke grondwaterstroming niet wordt beïnvloed door in bedrijf zijnde pompputten. De aanvoerconcentratie kan worden bepaald door het uitvoeren van deeltjestellingen in waarnemingsputten.

De concentratie waarin deeltjes in het onttrokken water bij pompputten voorkomen is afhankelijk van de grootte van de volumestroom waarmee het grondwater wordt onttrokken. Dit blijkt ook uit de resultaten van de deeltjestellingen met variabele volumestroom bij put 50B (zie hoofdstuk 4). Deze volumestroom-afhankelijke bestaat uit de aanvoerconcentratie, aangevuld met deeltjes die gemobiliseerd zijn door de sleepkracht die het langsstromende grondwater op hen uitoefende.

Informatie over de deeltjes in grondwater wordt normaal gesproken verkregen door middel van deeltjestellingen in het onttrokken grondwater van pompputten. Hierbij wordt dus de volumestroom-afhankelijke concentratie, ook wel put-concentratie genoemd, gemeten. Deze deeltjestellingen geven echter geen informatie over de aanvoerconcentratie of over de hoeveelheden deeltjes die op de boorgatwand achterblijven.

Om toch een schatting te kunnen maken van de hoeveelheid achterblijvende deeltjes moet de deeltjesconcentratie bekend zijn die het grondwater had voordat het de boorgatwand passeerde. Met behulp van de aanvoerconcentratie kan een (eenvoudige) massabalans worden opgesteld (zie ook bijlage I):

$$\mathbf{M}_{\text{afgefilterd op Bgw}} = \mathbf{M}_{\text{aanvoer}} - \mathbf{M}_{\text{put}}$$

Als de pompput niet verstopt is $\mathbf{M}_{\text{afgefilterd op Bgw}}$ gelijk aan nul. $\mathbf{M}_{\text{aanvoer}}$ wordt bepaald aan een waarnemingsput die dicht bij de te meten pompput ligt. Op puttenveld Ritskebos zijn er echter geen waarnemingsputten die dicht genoeg bij pompput 50A, 50B, of een van de andere pompputten liggen. Hierdoor is het is niet goed mogelijk om de aanvoerconcentratie te bepalen. Op ongeveer 30 meter afstand van pompput 49A ligt wel een waarnemingsput (WP 54). Bij deze waarnemingsput kan geen “echte” aanvoerconcentratie gemeten worden, maar er kan wel een achtergrondconcentratie worden bepaald. Deze achtergrondconcentratie is ongeveer gelijk aan de aanvoerconcentratie op het moment dat de volumestroom waarmee (tijdens het meten) wordt onttrokken zeer klein is. Daarom is het toch interessant om bij waarnemingsput 54 een achtergrondconcentratie te bepalen d.mv. een deeltjestelling. Deze achtergrondconcentratie wordt vergeleken met de berekende

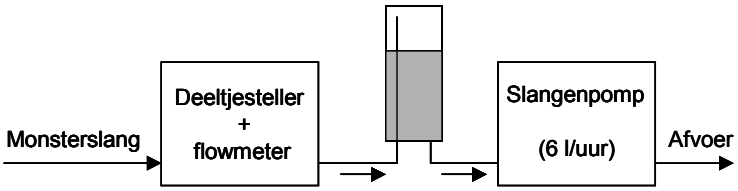
aanvoerconcentratie bij put 50B (± 40 deeltjes per ml).Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het filter van de waarnemingsput slechts één meter lang is, terwijl de filters van de pompputten minimaal 15 meter lang zijn. Een aanname is dus dat de in de waarnemingsput gemeten achtergrondconcentratie representatief is voor het totale filter van een pompput. Waarschijnlijk zullen verschillende delen van het pakket langs de putfilters verschillende hoeveelheden deeltjes afgeven. Dit komt door verschillen in de mate waarin te mobiliseren deeltjes aanwezig zijn en door verschillen in de stroomsnelheid van het grondwater ter plaatse (snelheid op de boorgatwand).

5.2 Uitvoering

Tijdens de deeltjestelling in de waarnemingsput moet met een zo laag mogelijke volumestroom grondwater worden onttrokken om zo min mogelijk verstoring in het watervoerend pakket te veroorzaken. Als de volumestroom te groot wordt zullen er teveel deeltjes t.g.v. sleepkracht worden gemobiliseerd. Het is dan niet mogelijk om een betrouwbare achtergrondconcentratie te meten.

Voor het meten van de concentraties en grootteverdelingen van deeltjes in grondwater worden door Kiwa WR deeltjestellers gebruikt. Deze apparaten hebben een doorstroomcel, waar voor een goede meting (i.v.m. callibratie) een volumestroom van 100 ml/min (6 l/uur) doorheen moet stromen. Vanwege het gebruik van een doorstroomcel is het dus per definitie niet mogelijk metingen aan een niet beïnvloede omgeving uit te voeren omdat altijd de volumestroom gehandhaafd moet worden. De aanname bij de uitgevoerde deeltjestelling is dat de gemeten deeltjesconcentratie bij een onttrekking van 6 liter/uur bij benadering gelijk is aan de aanvoerconcentratie.

In figuur 5.1 is een tekening van de gebruikte meetopstelling te zien. Daarbij is de monsterslang uit de waarnemingsput rechtstreeks aangesloten op de inlaat van de deeltjesteller. Een slangenpomp zorgt voor een volumestroom van 6 l/uur. Tussen de slangenpomp en de deeltjesteller is een glazen buisje gebouwd dat als functie heeft om de pulsen van de slangenpomp te dempen.



Figuur 5.1: schematische tekening van de gebruikte meetopstelling.

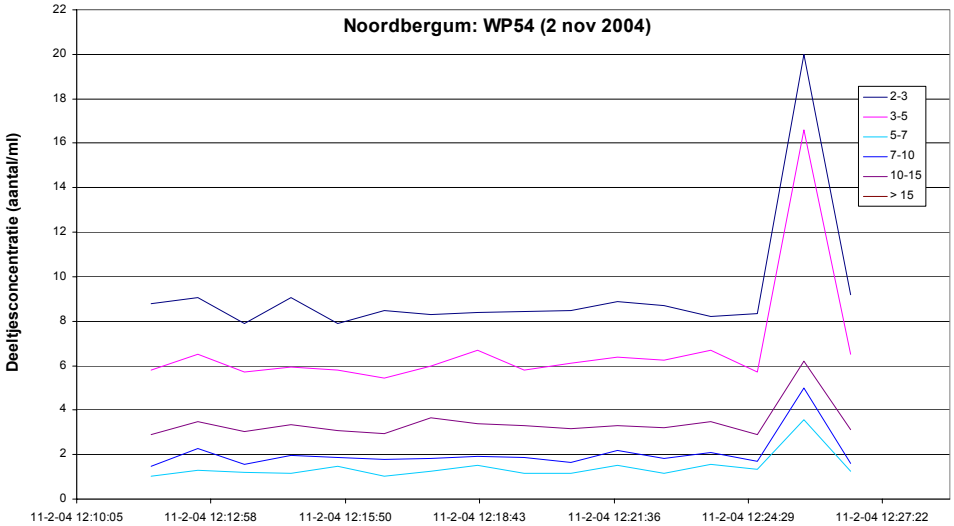
Als plaats voor het meten van de aanvoerconcentratie is gekozen voor waarnemingsput 54. Dit vanwege de filterstelling (ongeveer 70 meter diep) en het feit dat deze put relatief dicht bij een aantal putten ligt waar deeltjestellingen zijn uitgevoerd.

5.3 Resultaten

Tabel 5.1: concentraties bij waarnemingsput 54 en pompput 49A(ter vergelijking).

putnummer		sensor	deeltjesconcentratie (aantal/ml)						
Oud	nieuw		**2-3**	**3-5**	**5-7**	**7-10**	**10-15**	**> 15**	**totaal**
WP54		2	8,50	6,06	1,27	**1,86**	**3,23**		20,92
49A (apr)	24	2	1,64	2,31	0,50	0,35	0,12	1,28	6,20
49A (okt)	24	2	1,48	1,82	0,55	0,46	0,22	0,41	4,94

In het onttrokken water van de waarnemingsput vindt ontgassing plaats van vermoedelijk methaan. Dit heeft de metingen van deeltjes groter dan 7 µm verstoord. Vooral de categorie >15 µm was extreem hoog (>100 deeltjes per ml). Vanwege de verstoring zal de werkelijke totale concentratie waarschijnlijk rond de 15-20 deeltjes per ml liggen.



Figuur 5.2: Grafiek van deeltjestelling bij waarnemingsput.

In figuur 5.2 is het laatste deel van de meting bij de waarnemingsput te zien. Met behulp van dit deel zijn ook de gemiddelde deeltjesconcentraties bepaald. De volledige grafiek van de meting is te vinden in bijlage IX. De piek in figuur 5.2 is veroorzaakt door het aanschakelen van put 49A. Dit laat zien dat schakelingen (drukgolven door het pakket) van nabij gelegen pompputten de deeltjesconcentratie in de waarnemingsput beïnvloeden.

Met behulp van de bij put 50B bepaalde relatie tussen de volumestroom en de deeltjesconcentratie is in hoofdstuk 4 een schatting gemaakt van de achtergrondconcentratie in de directe omgeving van put 50B. Deze schatting kwam uit op ongeveer 40 deeltjes >2 µm per ml. De achtergrondconcentratie bij de waarnemingsput komt uit op ongeveer de helft hiervan (15-20 deeltjes per ml). Dit wijst erop dat het watervoerend pakket van plaats tot plaats

verschillende hoeveelheden “achtergronddeeltjes” bevat. Dit zijn deeltjes die zeer gemakkelijk te mobiliseren/verplaatsen zijn en daardoor een risico kunnen vormen i.v.m. putverstopping.

6 Beperken van putverstopping bij put 50B

De verstoppingssnelheid bij put 50B is op verschillende manieren te verminderen. De belangrijkste middelen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn:

1. vermindering van het onttrekkingsdebiet (volumestroom).
2. aanpassing van het aantal pompschakelingen (bedrijfsvoering).

Uit de deeltjestellingen met variabele volumestroom volgt dat de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken grondwater kan worden beperkt door met een minder grote volumestroom te onttrekken.

Bij een reductie van de onttrekking wordt de hoeveelheid op de boorgatwand afgevangen deeltjes kleiner, omdat:

1. De hoeveelheid water dat de boorgatwand passeert kleiner is.
2. Vooral de delen langs het putfilter met een minder goede doorlatendheid worden ontzien. Dit zijn juist de delen waarvan wordt verwacht dat ze het meest gevoelig zijn voor verstopping door deeltjes.
3. Er minder grote krachten (sleepkracht) worden uitgeoefend op het omliggende watervoerend pakket. Hierdoor wordt het potentiële reservoir aan deeltjes kleiner. Omdat dit volume kwadratisch evenredig is met de afstand tot de pompput kan dit voor een aanzienlijke verbetering zorgen.

Bovendien is bij een kleinere onttrekking de fractieverdeling van de deeltjes gunstiger. Er zijn namelijk relatief veel kleine deeltjes, die gemakkelijker de boorgatwand kunnen passeren.

Om dit te illustreren zijn er twee scenario's doorgerekend, één met een volumestroom van 50 m^3/uur en één met 35 m^3/uur. De volumestroom bij normale bedrijfsvoering is 65 m^3/uur.

<u>Scenario 1:</u> volumestroom wordt 50 m^3/uur.

	Oude situatie	**Nieuwe situatie**	**% verandering**
Volumestroom (m^3/uur)	65	50	- 23 %
Deeltjes (> 2 um/ml)	187	112	- 40 %
Deeltjes (2-5 um/ml)	163	100	- 39 %
Deeltjes (> 5 um/ml)	24	12	- 50 %
deeltjesvolume/ml	107	75	- 30 %

Scenario 2: volumestroom wordt 35 m^3/uur.

	Oude situatie	**Nieuwe situatie**	**% verandering**
Volumestroom (m^3/uur)	65	35	- 46 %
deeltjes (> 2 um/ml)	187	74	- 60 %
deeltjes (2-5 um/ml)	163	67	- 59 %
deeltjes (> 5 um/ml)	24	7	- 71 %
deeltjesvolume/ml	107	64	- 40 %

Scenario 2 laat zien dat het mogelijk is om de hoeveelheid deeltjes in het onttrokken grondwater meer dan te halveren. Dit zorgt voor een aanzienlijke vermindering van de snelheid waarmee de put verstopt. Het is echter niet zeker dat dit ook op langere termijn (b.v. in de orde van maanden of jaren) zo zal blijven. Het is daarom aan te raden om eerst enkele snel verstoppende putten te selecteren voor het verlagen van de onttrekkingshoeveelheid. Om het effect te volgen is monitoring met divermetingen in combinatie met deeltjestellingen noodzakelijk.

Bij de keuze in hoeverre de volumestroom verlaagd zou moeten worden spelen natuurlijk ook nog andere factoren een rol:

- Het puttenveld als geheel moet in staat blijven om voldoende water te produceren.
- Vanuit energieverbruik is het misschien niet ideaal om met heel lage volumestromen te onttrekken.

Op basis van de vastgestelde relatie tussen volumestroom en deeltjesconcentratie voor put 50B adviseren wij om de productiecapaciteit te reduceren met 10 tot 15 m^3/uur tot 50-55 m^3/uur.

7 Conclusies

7.1 Deeltjestellingen bij pompputten (hoofdstuk 2)

- Er zijn op puttenveld Noordbergum grote verschillen in gemeten deeltjesconcentratie, van zeer laag tot zeer hoog (van 3,5 tot 272 deeltjes/ml).
- Er lijken op het puttenveld verschillende zones te bestaan, met elk hun eigen deeltjesconcentraties.
- In de zuidwest hoek van het puttenveld (de eendenkooi) komen de hoogste concentraties voor. De verwachting is dat dit komt door eigenschappen van het watervoerend pakket ter plaatste en mogelijk ook door de herkomst van het grondwater.
- Er bestaat een directe relatie tussen de deeltjesconcentratie en de verstoppingssnelheid. Putten met hoge deeltjesconcentraties hebben ook een hoge verstoppingssnelheid. Putten met lage concentraties (< 10 deeltjes per ml) verstoppen niet of nauwelijks.
  snel verstoppende putten zijn put 50B en 53A
  gemiddeld verstoppende putten zijn put 26A, 27A, 28A en 39A
  niet verstoppende putten zijn put 49A, 55 en 56.
- De deeltjesconcentratie van put 50A was hoger dan bij put 50B. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de verdeling van de toestroom langs de filters verschilt. Dit blijkt ook uit de flowmetingen die bij beide putten zijn uitgevoerd.

7.2 Sectiegewijze deeltjestellingen (hoofdstuk 3)

- Uitvoering van sectiegewijze deeltjestellingen vraagt meer tijd dan 'gewone' deeltjestellingen
- De sectiegewijze metingen hebben niet geleid tot bruikbare resultaten. Hierdoor is er nog geen zicht op de variatie in (absolute) deeltjesconcentratie tussen de vier secties.
- Sectiegewijze deeltjestellingen zijn wel uitvoerbaar en kunnen zorgen voor een beter inzicht in .

7.3 Deeltjestellingen met variabele volumestroom (hoofdstuk 4)

- Deeltjestellingen met verschillende volumestromen bij put 50B hebben een niet-lineaire relatie tussen concentratie en volumestroom opgeleverd.
- Op basis van deze relatie is het mogelijk om de gewenste situatie met betrekking tot putverstopping vast te stellen. Bij het verlagen van de volumestroom zal ook de verstoppingssnelheid lager worden.
- Op basis van de metingen is een niet lineaire stijging van de deeltjesconcentratie bepaald bij 35 en 58 m^3/uur.
- Voor debieten boven de 60 m^3/uur wordt de relatie minder betrouwbaar, omdat het onwaarschijnlijk is dat de deeltjesconcentratie bij verhoging van de volumestroom logaritmisch zal blijven stijgen.

De curve (zie figuur 4.2) zal op den duur afvlakken; het aantal deeltjes bereikt een evenwichtssituatie.

- De achtergrondconcentratie (situatie zonder onttrekking) bij put 50B is ongeveer 40 deeltjes > 2µm per ml. Dit is bepaald door extrapolatie m.b.v. de vastgestelde relatie tussen deeltjesconcentratie en volumestroom.
- Vanwege de hoge deeltjesconcentratie bij 65 m^3/uur (de capaciteit bij normale bedrijfsvoering) zal de verstoppingssnelheid bij put 50B waarschijnlijk vergelijkbaar zijn met die van put 50A.
- Bij grotere onttrekking neemt zowel het aantal deeltjes als de gemiddelde deeltjesgrootte toe.
- Qua bijdrage aan de totale deeltjesmassa is de fractie 3-5 µm van groot belang. De deeltjes in deze fractie zijn verantwoordelijk voor ongeveer 38% van de totale massa aan deeltjes, ongeacht de grote van de volumestroom. Een aanname hierbij is dat alle deeltjes hetzelfde soortelijk gewicht hebben.
- Bij grotere onttrekking wordt vooral de bijdrage van deeltjes 5-10 µm steeds belangrijker. Bij een volumestroom van 72 m^3/uur draagt deze fractie 34% bij aan het totaal, tegenover 24% bij 22 m^3/uur.
- Veranderingen in de mate van onttrekking hebben nauwelijks invloed op de bijdrage van deeltjes met een grootte van 10-15 µm.
- De bijdrage van deeltjes groter dan 15 µm neemt af naar mate de onttrekking toeneemt. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.
- Schakelingen bij putten in de omgeving van put 50B veroorzaakt geen meetbare verandering in de deeltjesconcentratie.

7.4 Deeltjestelling bij waarnemingsput 54 (hoofdstuk 5)

- De meting bij waarnemingsput 54 laat zien dat het pakket op de diepte van het filter van put 50B plaatselijk lage concentraties deeltjes kan bevatten. De concentratie bij de waarnemingsput is echter hoger dan die van het onttrokken grondwater bij pompput 49A, de dichtstbijzijnde pompput. De filters van pompput 49A zijn dieper gesteld dan het filter van de waarnemingsput, wat de afwijking verklaart.
- De achtergrondconcentratie bij de waarnemingsput is ongeveer 15-20 deeltjes > 2µm per ml. Dit is dus ongeveer de helft van de (geëxtrapoleerde) achtergrondconcentratie bij put 50B.
- Schakelingen van put 49A hebben een meetbaar effect op de deeltjesconcentratie in waarnemingsput 54.

7.5 Beperken van putverstopping bij put 50B (hoofdstuk 6)

- Uit een rekenvoorbeeld is gebleken dat een verlaging van de volumestroom bij normale bedrijfsvoering (65 m^3/uur) naar 50 m^3/uur al voor een aanzienlijke vermindering zorgt van het aantal deeltjes in het onttrokken grondwater.
- Door reductie van de volumestroom verminderd waarschijnlijk de verstopping

- Geadviseerd wordt om de bedrijfsvolumestroom terug te brengen tot 50-55 m^3/uur. Op basis van een experiment kan de juist capaciteit bepaald worden.
- Aanpassing van de bedrijfsvoering van put 50B, door frequent te schakelen, kan de verstopping beheersen. Op basis van deeltjestellingen in combinatie met een variërend debiet en variërende schakelfrequentie kan het optimum vastgesteld worden.

8 Aanbevelingen

8.1 Beheersing putverstopping Ritskebos

Naar onze menig is beheersing van putverstopping op puttenveld Ritskebos mogelijk. De meetresultaten bieden een aantal handreikingen zowel voor de huidige bedrijfsvoering als voor ontwerp en aanleg van nieuwe putten.

- Beheersing van putverstopping voor het puttenveld Ritskebos is mogelijk door:

  Bedrijfsvoering
  - Verlagen van het debiet van de (meest verstoppende) putten. Het verlagen van de onttrekkingscapaciteit bij put 50B naar 55 m^3/uur (op basis van de gevonden relatie tussen deeltjes en volumestroom) kan mogelijk de verstoppingssnelheid verminderen.
  - Aanpassen van de schakelfrequenties en lengtes van perioden waarin continue grondwater wordt onttrokken.

  De maatregelen moeten worden afgestemd over het puttenveld.

  Ontwerp en aanleg
  - Geen nieuwe putten boren in de zuidwest hoek van het puttenveld. In verband met de hoge achtergrondconcentratie in dit deel is de verstoppingssnelheid van de putten hoog.
  - Nieuwe putten kunnen beter in het oostelijk deel van het puttenveld (in de omgeving van put 55 en 56) geboord worden.
  - Voor nieuw te boren putten is ook het chloridengehalte een aandachtspunt dat meegenomen wordt.

- Optimaliseren heeft de grootste opbrengst in de zuidwest hoek ("eendenkooi") van het puttenveld, omdat daar de verstoppingsploblemen het grootst zijn.

8.2 Onderzoek

Binnen het gerapporteerde onderzoek zijn een aantal opmerkelijke zaken naar voren gekomen. Aanvullend onderzoek draagt bij aan een beter inzicht in:

- **Kritisch debiet**
  - Voor put 50B ligt het kritisch debiet tussen 58 en 65 m3/uur. Aanvullende metingen meet een variërende volumestroom binnen dit traject in combinatie met deeltjestellingen kan bijdrage aan het beter bepalen van de juiste waarde van het kritisch debiet.
  - Het is echter mogelijk om door 'trial and error' het kritische debiet te bepalen.
  - Meting met variabele volumestroom uitvoeren bij een andere put met een hoge deeltjesconcentratie, bijvoorbeeld put 53A. Dit om te onderzoeken in hoeverre de relatie tussen deeltjes en volumestroom naar andere putten te extrapoleren is.

- **Verbeteren bedrijfsvoering**
  - Meting met variabele volumestroom uitvoeren bij een niet verstoppende put, bijvoorbeeld put 55. Dit om te onderzoeken of de volumestroom van niet verstoppende putten te verhogen is zonder dat verstopping optreed.
  - Voor het hele puttenveld de optimale configuratie vaststellen. Uitwerking richt zich op het bepalen van het optimale debiet per put in combinatie met een schakelschema/schakelfrequentie per put.

- **Ontwerp en aanleg**
  - Het bepalen van de relatie tussen de verschillende deeltjesconcentratie bij de pompputten en de variaties in geologie/lithologie (op diepte van de filterstellingen), zowel in de diepte (over het filtertraject) als in het horizontale vlak, geeft inzicht in de beste locatie voor nieuwe pompputten.
  - De verstoppingssnelheid is nu gecorreleerd aan deeltjesconcentratie. Interpretatie van waterkwaliteitsgegevens kan een aanvulling zijn om het inzicht in de mechanismen van putverstopping.
  - Nieuwe stroombaanberekeningen, waarmee de herkomst van het grondwater bij de huidige puttenconfiguratie wordt bepaald, in combinatie met waterkwaliteitsgegevens kunnen een beter inzicht geven in de rol die waterkwaliteit speelt bij de mobilisatie van deeltjes.
  - Opnieuw uitvoeren van sectiegewijze deeltjestellingen (maar nu tot de evenwichtssituatie is bereikt) om de filtertrajecten te bepalen die veel deeltjes leveren. In deze lagen wordt bij de aanleg van nieuwe putten geen filter geplaatst.

Er is een eerste stap gezet naar vergroting van leveringszekerheid en vermindering van exploitatiekosten voor puttenveld Ritskebos. De voorgestelde, en mogelijk nog voor te stellen, aanpassingen moeten wel bezien worden in het totaal van de exploitatie van de winning Ritskebos en de watervoorziening in Friesland. Met bedrijfsvoerders en watervoorzieners moeten vooraf de consequenties van veranderingen in het puttenveld op de andere werkvelden (waterbehandeling, transport en levering) in beeld gebracht worden.