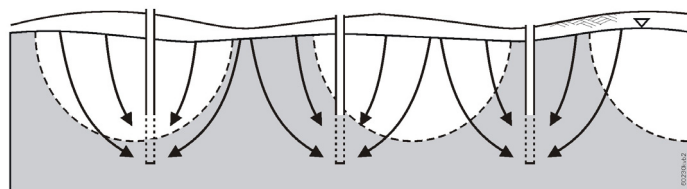
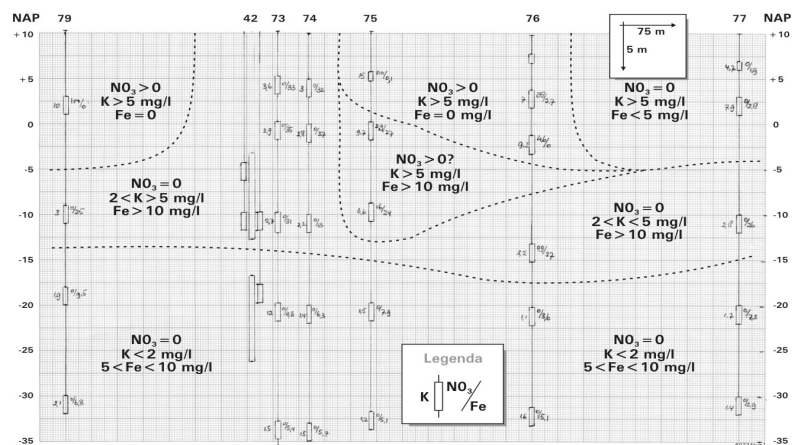


Minimaliseren putverstopping Wierdense Veld

Een verkenning



KWR 06.012
februari 2006

Minimaliseren putverstopping Wierdense Veld

Een verkenning

© 2006 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 elektronisch,
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

Tel. (030) 606 95 11
Fax (030) 606 11 65
www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Minimaliseren putverstopping Wierdense Veld,
een verkenning

Projectnummer

30.6768.400

Projectmanager

Jan Willem Kooiman

Opdrachtgever

Vitens N.V.

Kwaliteitsborger(s)

Jan Willem Kooiman

Auteur(s)

Kees van Beek

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject.
Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

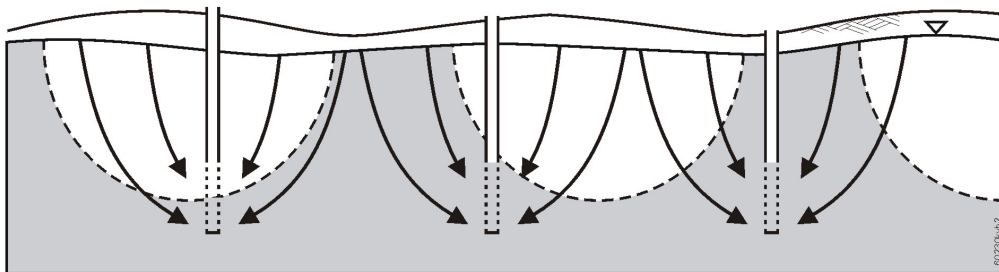
Samenvatting

Aanleiding

Vitens Overijssel start binnenkort een derde puttenveld, met een ontwerpcapaciteit van $4 \cdot 10^6$ m³/jaar, ten zuiden van Wierden, bij Rectum-Ypelo. Het onttrokken grondwater wordt voor de bereiding tot drinkwater met behulp van een transportleiding naar puttenveld Wierden I getransporteerd.

Geologie en geohydrochemie

Het grondwater wordt onttrokken aan een watervoerend pakket dat zich uitstrekt van maaiveld tot circa 45 m diepte. De chemische samenstelling van het grondwater is zeer heterogeen. Zuurstofbevattend (ijzerloos) grondwater komt voor naast ijzerbevattend (zuurstofloos) grondwater. Indien putten in een dergelijke omgeving worden geplaatst, zullen zij zowel zuurstofbevattend grondwater als ijzerbevattend grondwater onttrekken. Beide watertypen zullen in (de directe omgeving van) de put mengen, waarbij neerslagen van ijzerhydroxiden en mangaanoxiden worden gevormd, en de putten zullen gaan verstopping. Indien dit proces wordt gekatalyseerd door micro-organismen zullen ook grote hoeveelheden biomassa ontstaan. Omdat de vorming van neerslagen na de put zal doorgaan, zal ook de transportleiding gaan verstopping. Afbeelding 1 toont een schematische geohydrochemische doorsnede.



Afb. 1: Schematische geohydrochemische doorsnede door het toekomstige puttenveld Wierden III. Wit: zuurstofbevattend grondwater, grijs: ijzerbevattend grondwater.

Doelstelling

Doel van het onderzoek is het puttenveld, of de bedrijfsvoering van het puttenveld zodanig in te richten dat het risico op verstopping van de putten (en van de transportleiding) wordt geminimaliseerd.

Putverstopping zal zeker optreden!

In 2004 is een dubbele pompproef uitgevoerd, één aan een put met een ondiep putfilter en één aan een put met een diep putfilter. In beide putten bevatte het onttrokken grondwater na enige tijd ijzer en zuurstof: putverstopping en verstopping van de transportleiding zullen dus zeker optreden.

Vorming van ijzerneslagen

Bij de vorming van ijzerneslagen spelen twee aspecten een rol, namelijk de snelheid van vorming van ijzerneslagen, en de aard van de gevormde neerslagen.

De snelheid van vorming van ijzerneslagen (= oxidatiesnelheid van ijzer) wordt onder andere bepaald door de concentraties van ijzer (Fe) en zuurstof (O₂) en de zuurgraad (pH): hoe hoger de concentraties van ijzer(II) en van zuurstof en hoe hoger de pH des te sneller de reactie.

De aard van de gevormde neerslagen wordt bepaald door de omstandigheden: onder gunstige omstandigheden zal de vorming van ijzerneslagen spontaan verlopen en zullen harde neerslagen worden gevormd. Onder ongunstige omstandigheden zal het proces microbiologisch worden bevorderd waarbij een mengsel van biomassa en ijzerneslagen wordt gevormd.

Ten gevolge van veroudering zullen de gevormde neerslagen verharderen, en kunnen allerlei secundaire processen optreden, waarbij ook weer neerslagen worden gevormd.

De aard van de gevormde neerslagen heeft ook weer gevolgen voor de mogelijkheden voor regeneratie.

Een en ander is in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 1: Samenvatting van parameters van belang bij optreden van chemische putverstopping (Verstopping van filterspleten).

Omstandigheden van vorming van ijzerneslagen	Optreden van putverstopping		
	Gunstige omstandigheden: hoge conc O ₂ hoge conc Fe hoge pH	Overgangs traject	Ongunstige omstandigheden: lage conc O ₂ lage conc Fe lage pH
Aard van de gevormde neerslagen	Harde ijzerschalen, gecombineerd met kalk? (Wierden II)		Mengsel van ijzerhydroxiden en biomassa
Regeneratiefrequentie	Eens per 3 à 5 jaar		Eens per 3 à 5 jaar
Regeneratie	Lastig		Gemakkelijk
Regeneratieresultaat	Matig (capaciteit niet gelijk aan waarde bij ingebruikneming)		Goed (capaciteit gelijk aan waarde bij ingebruikneming)
Levensduur van de putten	Kort		Lang

Mitigerende maatregelen

Zowel het optreden van putverstopping als de vorming van neerslagen in de transportleiding tasten de bedrijfszekerheid aan, en brengen extra kosten met zich mee. Zijn er mogelijkheden voor mitigerende maatregelen?

Bedrijfsvoering.

Hoe gelijkmatiger de put wordt bedreven, des te geringer zal de menging van zuurstofbevattend en ijzerbevattend water zijn, en des te geringer zal de verstoppingsnelheid per onttrokken volume-eenheid zijn.

Door frequent schakelen zal voortdurend ter plaatse van de put een afpompingsstrecter worden gevormd en weer worden opgevuld, leidend tot menging van verschillende watertypen.

De wijze van bedrijfsvoering van de putten zal geen invloed hebben op de vorming van neerslagen in de transportleiding.

Positie van het putfilter

Hoe dieper het putfilter, des te geringer de kans dat zuurstofbevattend water de put zal bereiken. Echter de dikte van het watervoerend pakket stelt een grens aan de diepte van de onderzijde van het filter.

Voldoen aan beide eisen resulteert in een te kort filter om voldoende water te kunnen leveren.

Toepassing van ondergrondse ontijzering

Bij ondergrondse ontijzering wordt zuurstofrijk water via de put in de bodem geïnjecteerd, waarna een groter volume ijzerloos water kan worden onttrokken. Indien het onttrokken grondwater geen ijzer bevat, kunnen in de put en in de transportleiding geen ijzerneslagen worden gevormd.

Echter de ijzerconcentratie in het grondwater van Wierden III is te hoog om ondergrondse ontijzering met voldoende effect te kunnen toepassen.

Gescheiden onttrekking

Door het ondiepe en diepe grondwater gescheiden te onttrekken kunnen de onderhoudskosten ruwweg worden gehalveerd.

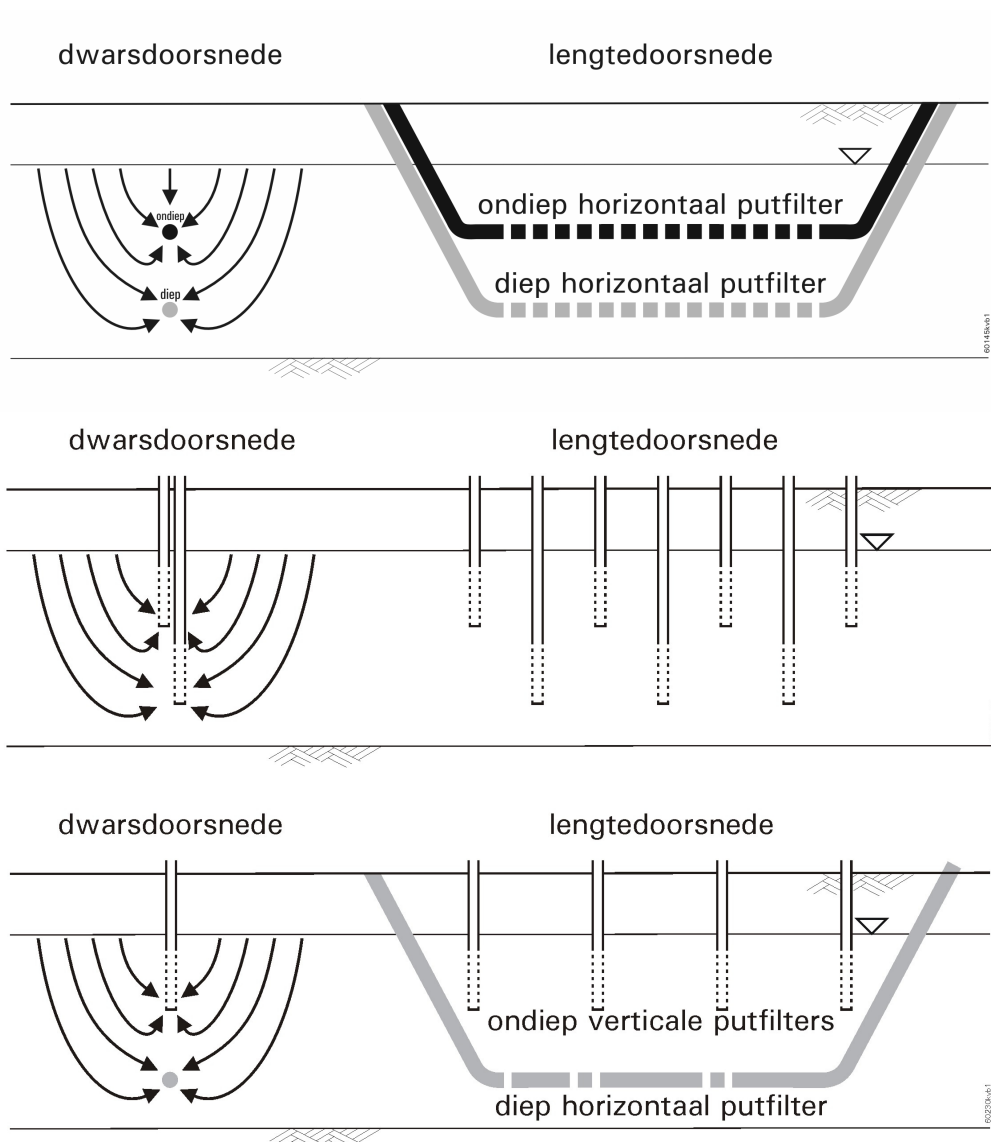
Het onttrokken ondiepe water bestaat uit een mengsel van zuurstofbevattend en van ijzerbevattend water. In de putten die dit water onttrekken zal putverstopping optreden.

Het onttrokken diepe grondwater bestaat uit alleen ijzerbevattend water. In deze putten zal geen verstopping optreden, en in de transportleiding zullen geen neerslagen worden gevormd. Voorwaarde is wel dat in deze diepe winning absoluut geen zuurstof zal toetreden (volkomen anaërobe omstandigheden).

Het grondwater onttrokken door de ondiepe winning bestaat uit ter plaatse geïnfiltrerd neerslagwater. Het onttrokken grondwater van de diepe winning wordt gedwongen van grotere afstand toe te stromen, en een langere afstand door de zuurstofloze bodem af te leggen. Dit water zal zuurstofloos zijn, en er zal geen putverstopping optreden.

Indien beide onttrokken grondwaterkwaliteiten gescheiden worden getransporteerd, zullen in de transportleiding met volledig zuurstofloos water, zolang geen zuurstof toetreedt, geen ijzerafzettingen worden gevormd. In de leiding met een mengsel van aëroob en anaëroob grondwater zal dit wel het geval zijn.

Onderstaande afbeelding geeft een schematische aanduiding van de gescheiden onttrekking. De gescheiden onttrekking kan zowel met verticale als met horizontale winmiddelen of in een combinatie van beiden worden uitgevoerd. Kern is dat geen zuurstofbevattend water (via kortsluitstromen) de diepe winning kan bereiken. Alvorens hiertoe over te gaan wordt aanbevolen de toestroming van het grondwater hydrologisch te modelleren.



Afbeelding 2: Schematische aanduiding van de gescheiden ondiepe en diepe onttrekking. Het ondiepe filter onttrekt een mengsel van zuurstofbevattend en ijzerbevattend water, het diepe filter alleen ijzerbevattend water.

Bij toepassing van horizontale winmiddelen kan onderscheid gemaakt worden tussen RCW (Radial Collector Wells) bestaande uit een centrale put met strangen in meerdere richtingen, en HDDW (Horizontal Directional Drilled Wells), bestaande uit een enkele horizontale strang.

Inhoud

Samenvatting		3
Inhoud		7
1	Inleiding en Plan van aanpak	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doelstelling	9
1.3	Aanpak	10
2	Geohydrologie en geohydrochemie	11
2.1	Landschap	11
2.2	Geologisch profiel	11
2.3	Geohydrologie en intrekgebied	12
2.4	Geohydrochemie	12
3	Putverstopping	15
3.1	Putverstopping zal optreden!	15
3.2	Nitraat als representant voor zuurstof	15
3.3	Reducerend vermogen van de ondergrond	16
3.4	Vorming van ijzerneerslagen	17
3.4.1	Snelheid van vorming van ijzerneerslagen	17
3.4.2	Aard van de gevormde neerslagen	17
3.4.3	Plaats van vorming van neerslagen	19
3.5	Regeneratiefrequentie	20
3.5.1	Ervaringen op Wierden II	20
3.5.2	Ervaringen op Holten	21
3.6	Levensduur van verstoppende putten	22
4	Mitigerende maatregelen	25
4.1	Bedrijfsvoering.	25
4.2	Diepte van het putfilter	25
4.3	Ondergrondse ontijzering	25
4.4	Gescheiden onttrekking	26
4.5	Tot slot	26
5	Geraadpleegde literatuur	29

1 Inleiding en Plan van aanpak

1.1 Aanleiding

Vitens Overijssel start binnenkort een derde puttenveld ten zuiden van Wierden, bij Rectum-Ypelo. De ontwerpcapaciteit van dit puttenveld bedraagt $4 \cdot 10^6$ m³/jaar, en vormt een uitbreiding van de bestaande puttenvelden Wierden I en II. De capaciteit van deze puttenvelden zal zodanig worden teruggebracht dat de totale capaciteit van Wierden $8 \cdot 10^6$ m³/j bedraagt. Het onttrokken grondwater wordt voor de bereiding tot drinkwater met behulp van een transportleiding naar de zuivering (intensieve beluchting en dubbele filtratie) op het eerste puttenveld getransporteerd.

De onttrekking is geplaatst in een watervoerend pakket, dat zich uitstrekt van maaiveld tot circa 45 m diepte. In dit watervoerend pakket zijn leemlagen tussengeschakeld.

De chemische samenstelling van het grondwater is zeer heterogeen. Op de ene plaats heersen tot 10 m minus maaiveld aërobe omstandigheden, tot uiting komend in nitraatconcentraties tot 180 mg/l en in vrijwel afwezigheid van ijzer. Op de andere plaats heersen vanaf maaiveld tot de basis van het watervoerend pakket anaërobe omstandigheden, met ijzerconcentraties tot 30 mg/l. Opmerkelijk is het plaatselijk voorkomen van zeer hoge sulfaatconcentraties tot 200 mg/l.

Putten die zowel aëroob (zuurstofbevattend) en anaëroob (mangaan- en ijzerbevattend) grondwater onttrekken, zullen verstopten door de vorming van mangaanoxiden en ijzerhydroxiden in de spleten van het putfilter. Omdat op het in te richten nieuwe puttenveld aërobe en anaërobe omstandigheden naast elkaar voorkomen, moet met het optreden van putverstopping rekening worden gehouden. Omdat de vorming van neerslagen na de filterspleten niet zal ophouden, moet ook met het verstopten van de transportleiding rekening worden gehouden.

1.2 Doelstelling

Doel van het onderzoek is het puttenveld, of de bedrijfsvoering van het puttenveld zodanig in te richten dat het risico op verstopping van de putten (en van de transportleiding) wordt geminimaliseerd.

Om dit doel te bereiken staan de volgende mogelijkheden open:

1. filterstelling van de putten.
Wat is uit oogpunt van tegengaan van putverstopping de optimale onttrekkingsdiepte?
2. horizontale of verticale putten.
Zijn horizontale putten minder gevoelig voor het optreden van putverstopping dan verticale putten?
3. toepassing van ondergrondse ontijzering.
Hoe effectief gaat toepassing van deze methode het optreden van putverstopping tegen?

Leeswijzer

Eerst zal in hoofdstuk 2 de geohydrologische en geohydrochemische situatie van het gebied worden geschetst. Vervolgens zullen in hoofdstuk 3 de vragen gesteld in de doelstelling worden beantwoord. Tenslotte zullen in hoofdstuk 4 mitigerende maatregelen aan de orde komen.

1.3 Aanpak

Om de doelstelling te bereiken en de drie vragen te kunnen beantwoorden is de volgende aanpak gevolgd.

Maken van dwarsdoorsneden

Dwars op het toekomstige puttenveld zijn enkele dwarsprofielen gemaakt, namelijk een geologisch dwarsprofiel en een hydrochemisch dwarsprofiel.

Kwalitatieve inschatting van het transport van zuurstof

Voor het inschatten van het verstoppingsrisico is het zuurstoftransport door de bodem van cruciaal belang. In een anaërobe matrix bevinden zich vele aërobe 'eilandjes', en het risico van het mixen van beide soorten in een pompput is erg groot.

Er is een schatting gemaakt van de (gemiddelde) neerwaartse snelheid van het oxiderend vermogen (zuurstof- en nitraatconcentratie) van het infiltrerend grondwater door de anaërobe bodemmatrix.

Optreden van putverstopping

Aan de hand van bovenstaande informatie is aangegeven of putverstopping zal optreden, en zo ja op welke termijn. Omdat het optreden van putverstopping (nog) niet in kwantitatieve termen kan worden beschreven, is deze beschouwing kwalitatief.

Mitigerende maatregelen

Op basis van bovenstaande zijn mitigerende maatregelen besproken. Hierbij kan gedacht worden aan:

1. Diepte van filterstelling van verticale putten.
2. Toepassing van ondergrondse ontijzering.
3. Toepassing van gescheiden onttrekking.

2 Geohydrologie en geohydrochemie

2.1 Landschap

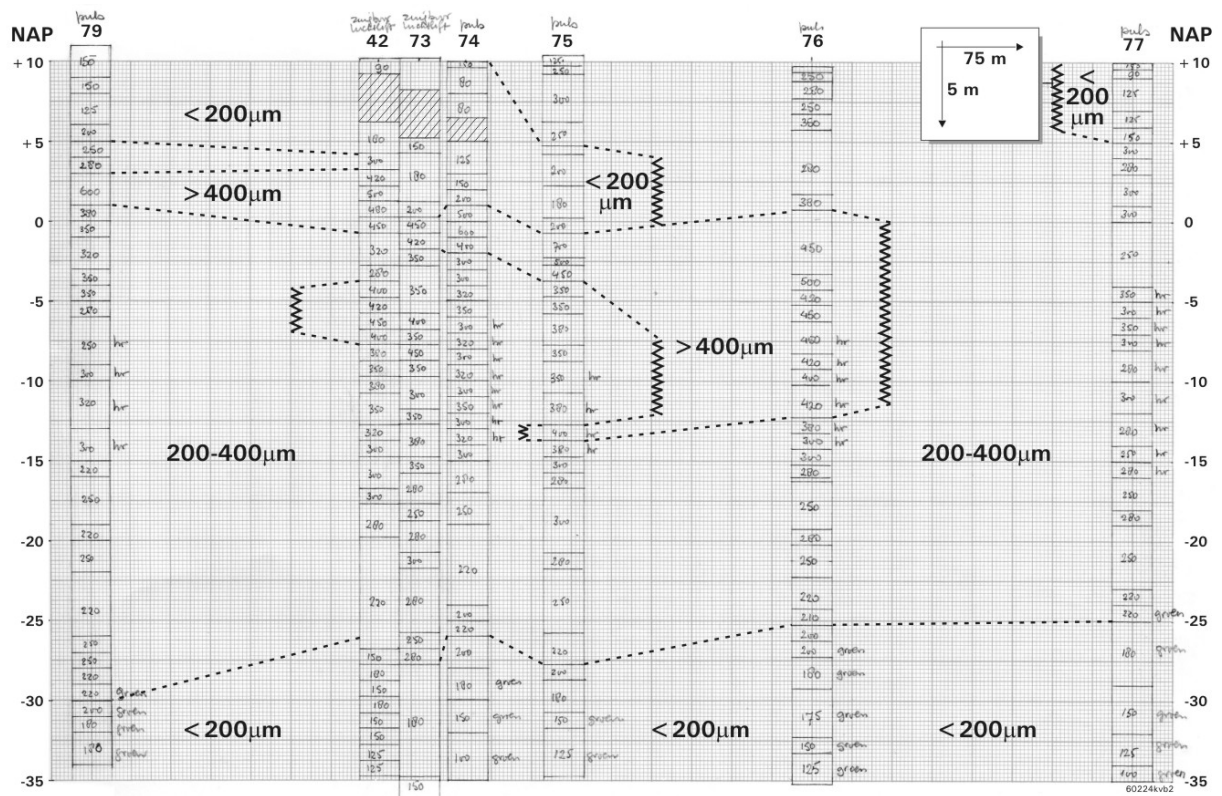
Het landschap rond het puttenveld Wierden III bestaat uit hogere kopjes in een nat landschap, doorsneden door een nat dal met wisselende breedte van de Eksosche Aa (topografische kaarten 1830-1855). Een dergelijk landschap heeft grote hydrologische consequenties: de hogere delen fungeren als (locale) infiltratiegebieden, de natte delen als kwelgebieden.

Momenteel ligt het gehele gebied in landbouw. Om dat mogelijk te maken is met behulp van sloten de basis van de ontwatering verlaagd.

2.2 Geologisch profiel

De basis van het watervoerend pakket is gelegen op circa 40 m-mv en bestaat uit Tertiaire kleien. Brak tot zout water is aangetoond op een diepte vanaf ca 70 m-mv.

Afbeelding 2.1 toont een NW-ZO geologische dwarsdoorsnede door het beoogde puttenveld tot de basis van het watervoerend pakket. Voor deze dwarsdoorsnede is gebruik gemaakt van gegevens van de volgende putten: WD04P79, WD04-42, WD04P73, WD04P74, WD04P75, WD04P76 en WD04P77.



Afb. 2.1: Geologische dwarsdoorsnede tot de basis van het watervoerend pakket ter plaatse van het beoogde puttenveld Wierden III. Aangegeven is de korrelgrootte in drie klassen. De arcering betreft de aanwezigheid van leem.

Uit afbeelding 2.1 blijkt dat het watervoerend pakket bestaat uit zandige sedimenten, met tussengeschiede grofzandige lagen. Naar de basis wordt het pakket steeds fijner. Aan maaiveld komen plaatselijk leemlagen voor.

2.3 Geohydrologie en intrekgebied

De onttrekking van puttenveld Wierden III zal $4 \cdot 10^6$ m³/jaar bedragen. Bij een nuttige neerslag (grondwateraanvulling) van 250 à 300 mm/jaar komt dit overeen met een intrekgebied van 1200 tot 1600 ha.

In het betrokken gebied speelt regionale grondwaterstroming geen grote rol. Het grondwater vertoont aan de basis van het watervoerend pakket een noordwaarts gerichte stroming ten gevolge van de onttrekking op beide andere puttenvelden.

Zoals reeds vermeld bedraagt de voeding aan de grondwaterspiegel 250 à 300 mm/jaar. Door de aanwezigheid van een slecht doorlatende basis zal de doorstroming naar een dieper pakket minder zijn (en in geval van een ondoorlatende basis zelfs geheel afwezig zijn). In infiltratiegebieden zal de voeding (doorstroming) daarom met toenemende diepte afnemen.

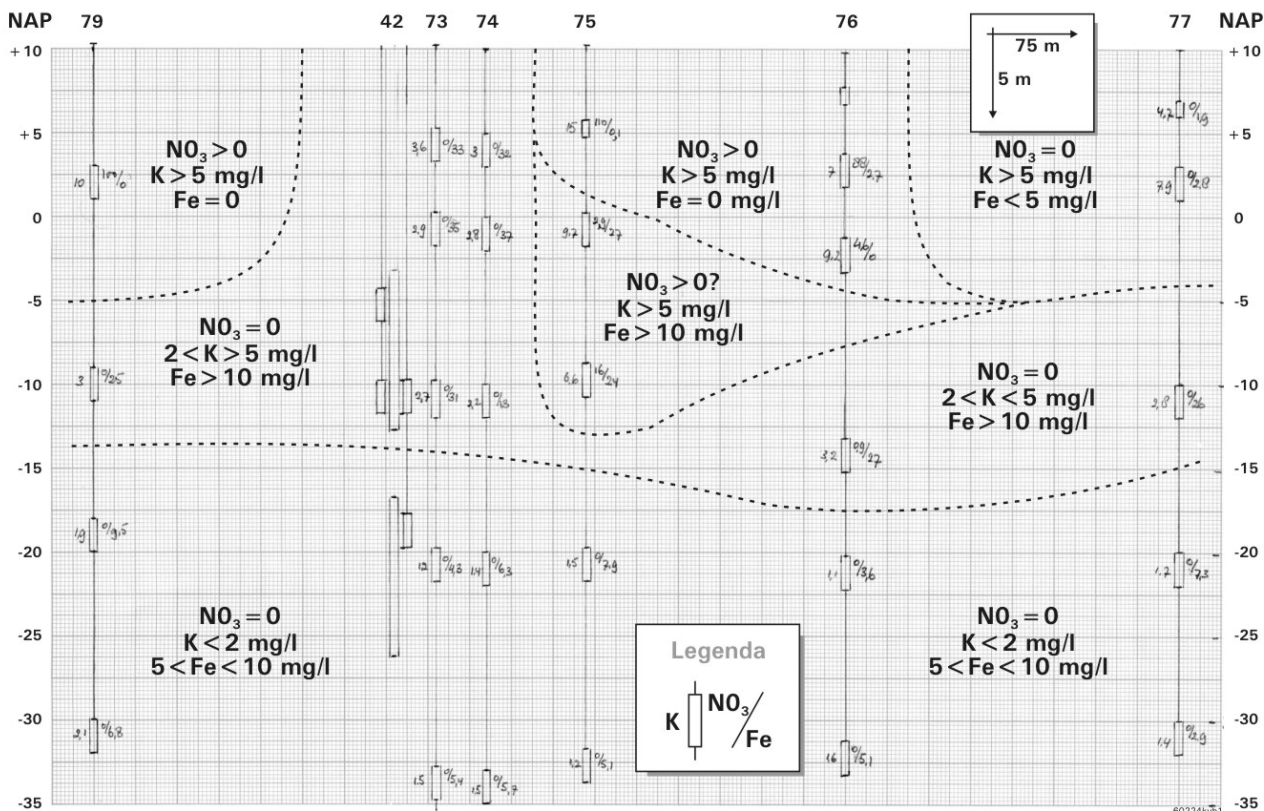
Deze afname in neerwaartse stroming wordt gecompenseerd door een opwaartse stroming in kwelgebieden. Deze stroming zal in opwaartse richting toenemen.

2.4 Geohydrochemie

Dit landschap heeft grote consequenties voor de chemische samenstelling van het grondwater. De hogere delen (de infiltratiegebieden) zijn gedurende lange tijd doorstroomd en uitgeloozd, waardoor tot enige diepte aërobe omstandigheden heersen. In de oorspronkelijk natte gebieden is, na de ontwateringsmaatregelen in de 50-er en 60-er jaren de stromingsrichting van het water wel omgekeerd (infiltratie in plaats van kwel), maar deze bodems bevatten nog zo veel organisch materiaal dat al op geringe diepte anaërobe omstandigheden heersen.

Om de aanwezigheid van dit beeld te toetsen zijn ter plaatse van de geologische dwarsdoorsnede enkele chemische dwarsdoorsneden gemaakt, namelijk van de concentraties van kalium als representant van landbouwkundige beïnvloeding, van nitraat als representant van aërobe omstandigheden en van ijzer als representant van anaërobe omstandigheden, zie afbeelding 2.2.

Een concentratie van kalium kleiner dan 2 mg/l wordt beschouwd als achtergrondconcentratie, en een concentratie groter dan 4 mg/l als duidelijk beïnvloed door landbouwkundig landgebruik. Uit afbeelding 2.2 blijkt dan dat aan de basis van het watervoerend pakket niet door landbouwkundige praktijken beïnvloed grondwater voorkomt. Aan de NW en aan de ZO zijde van het profiel is landbouwkundige beïnvloeding van het grondwater tot 5 à 15 m-NAP doorgedrongen. Daartussen bevindt zich een overgangszone. Merk op dat deze zone ter plaatse van put 42 tot aan maaiveld reikt. Niet verwonderlijk aangezien juist daar ondiep een leemlaag aanwezig is, die de neerwaartse stroming van water belemmert.



Afbeelding 2.2: Dwarsdoorsnede ter plaatse van puttenveld Wierden III met de concentraties van kalium, nitraat en ijzer.

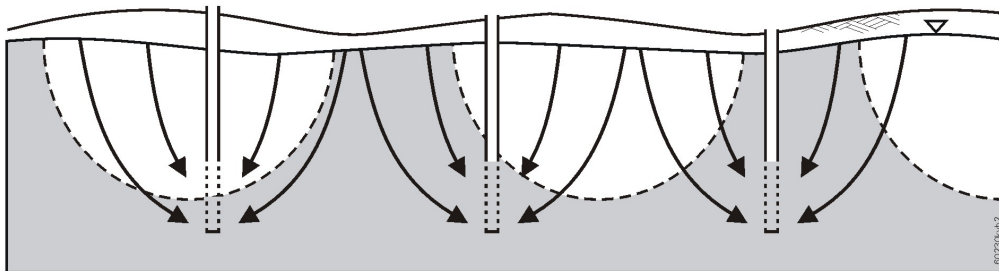
Onder natuurlijke omstandigheden is de concentratie van nitraat niet hoger dan 1 à 2 mg/l. Hogere concentraties duiden op landbouwkundige beïnvloeding. Merk op dat de verbreiding van nitraat niet samenvalt met die van kalium: blijkbaar treedt denitrificatie op. Merk op dat juist aan weerszijden van de leemlaag ter plaatse van put 42 tot zeker 5 m-NAP, en mogelijk nog iets dieper, nitraat wordt aangetroffen. Is dit een effect van versterkte infiltratie ten gevolge van de aanwezigheid van de leemlaag? Waar nitraat aanwezig is kan geen ijzer aanwezig zijn. Bij enkele waarnemingsfilters is dat niet het geval: blijkbaar is het filter zo lang (2 meter) dat zowel aëroob nitraatbevattend grondwater als anaëroob ijzerbevattend grondwater wordt onttrokken. Merk op dat aan de basis van het watervoerend pakket ijzerconcentraties tot 5 à 10 mg/l worden aangetroffen, en dat de intermediaire concentraties van kalium vaak samenvallen met zeer hoge concentraties van ijzer, tot 35 mg/l.

Getracht is bovenstaande indeling te onderbouwen met de kleur van het sediment. Aërobe sedimenten zijn bruingekleurd, anaërobe sedimenten grijs. Echter, de kleur van de sedimenten was op de boorstaten onvoldoende nauwkeurig weergegeven om hiervan gebruik te kunnen maken.

3 Putverstopping

3.1 Putverstopping zal optreden!

Uit voorgaande blijkt dat in een overwegend anaëroob pakket plaatselijk tot wisselende diepte aërobe omstandigheden aanwezig zijn. Onder invloed van de onttrekking zullen ten gevolge van de aanwezigheid van grofzandige lagen kortsluitstromen ontstaan. Deze grofzandige lagen zullen nitraatbevattend water “aantappen” wat dan versneld naar de put zal stromen, in de filterspleten of omstorting van de put zal mengen met ijzerbevattend water dat van grotere diepte wordt onttrokken, en daar neerslagen vormen van ijzerhydroxiden. In onderstaande afbeelding is dit proces schematisch weergegeven.



Afb. 3.1: Onttrekking door één put van zowel zuurstofbevattend (wit) en ijzerbevattend (grijs) grondwater.

Dit proces van neerslagvorming zal doorgaan in de terreinleidingen en in de transportleidingen, totdat een van beide reactanten is verbruikt.

Dat putverstopping zal optreden is al bevestigd door de uitgevoerde pompproeven. Zowel bij de pompproef op het ondiepe putfilter, als op het diepe putfilter bevatte het grondwater aan het eind van het experiment nitraat.

3.2 Nitraat als representant voor zuurstof

Ijzerhydroxiden worden gevormd door reactie tussen ijzer(II) en zuurstof. Of ook nitraat in de praktijk in staat is ijzer(II) te oxideren is niet bekend. Echter zolang bij de monsterneming en analyse van zuurstof geen bijzondere voorzorgen worden genomen ter preventie van verontreiniging met atmosferische zuurstof, worden deze resultaten als onbetrouwbaar beschouwd.

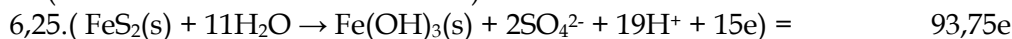
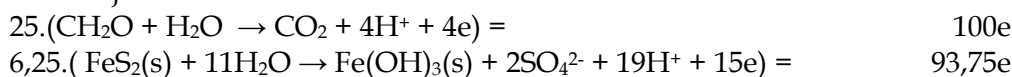
Daarom is in voorgaande nitraat gebruikt als “stand in” voor zuurstof. In de praktijk blijkt nitraatbevattend grondwater ook zuurstof te bevatten.

Dat behoeft theoretisch niet altijd het geval te zijn. Bij redoxprocessen wordt eerst (alle?) zuurstof verbruikt, vervolgens (alle?) nitraat, etcetera. Echter aan de concentratie van nitraat is niet af te lezen of het nog steeds de beginconcentratie betreft dan wel of al een gedeelte is gereduceerd.

3.3 Reducerend vermogen van de ondergrond

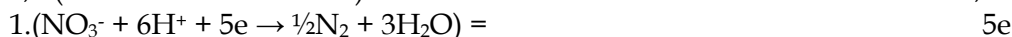
Ter plaatse van waarnemingsput WD04P74 is uitgebreid geochemisch onderzoek uitgevoerd (Stuyfzand, 2005). Achteraf blijkt, zie afbeelding 2.1, dat op deze locatie de bodem door de aanwezigheid van een ondiepe slecht doorlatende laag vanaf maaiveld anaëroob is. Op korte afstand van deze locatie is de bodem vanaf maaiveld eerst aëroob, en gaat pas op enige diepte over in een anaërobe situatie. Een aërobe bodem bevat lagere gehalten (of geen) gereduceerde parameters. Om toch van deze locatie gebruik te kunnen maken, zijn uit de beschikbare reeks van gehalten van de relevante parameters waarden onder het gemiddelde genomen.

Het reducerend vermogen van de ondergrond bestaat uit de som van de gehalten van organisch materiaal en van pyriet (ijzersulfide). Voor deze gehalten zijn de volgende waarden aangehouden, namelijk 0,05 gew% organisch materiaal (CH₂O) en 500 mg/kg pyriet (FeS₂). Uitgaande van een dichtheid van 1,5 kg/l van de bodem, komen deze waarden overeen met 750 mg CH₂O/l bodem (= 25 mmol/l) en 750 mg FeS₂/l bodem (= 6,25 mmol/l). Uitschrijven levert:



Het reducerend vermogen van de ondergrond wordt dus geschat op 193,75 mmol/l e bodem. Hierin staat e voor een electron.

Het oxiderend vermogen van het infiltrerend neerslagwater bestaat uit de som van de concentraties van zuurstof en nitraat. Voor deze concentraties zijn de volgende waarden aangehouden, namelijk 6,4 mg/l zuurstof (=0,2 mmol/l) en 61 mg/l nitraat (=1 mmol/l). Uitschrijven levert:



Het oxiderend vermogen van infiltrerend grondwater bedraagt dus 5,8 mmol/l e.

De grondwateraanvulling bedraagt onder grasland 250 mm/jaar. De aanvoer van oxidatiemiddelen bedraagt dus 5,8 mmol/l e vermenigvuldigd met 2,5 l water/dm² bodem.jaar = 14,5 mmol e/dm² bodem.jaar.

Zoals aangegeven bedraagt de reductiecapaciteit van de bodem 193,75 mmol e/l bodem. Deling levert de neerwaartse snelheid van het oxidatiefront, is gelijk aan 0,75 cm/jaar.

Op basis van veldmetingen, worden in de literatuur waarden van 1 à 2 cm/jaar genoemd. Bovenstaand geschatte waarde komt daar goed mee overeen.

De vraag is wel hoe realistisch deze waarde is voor een schatting van het optreden van putverstopping. Bovenstaande geschatte waarde geeft een gemiddelde neerwaartse snelheid van het oxidatiefront. Echter deze neerwaartse snelheid zal veel groter zijn via kortsluitstromen.

Kortsluitstromen treden op langs tussengeschakelde grofzandige lagen: deze lagen zijn beter doorlatend én bezitten een lager gehalte reducerend materiaal dan de omgevende lagen. De neerwaartse snelheid van het oxidatiefront is via deze grofzandige lagen veel groter dan in de omgevende lagen.

Dat kortsluitstromen met oxiderend materiaal optreden bleek al uit de aanwezigheid van nitraat in het onttrokken grondwater tijdens de pompproef in 2004.

3.4 Vorming van ijzernerslagen

Bij de vorming van ijzernerslagen spelen twee aspecten een rol, namelijk de snelheid van vorming van ijzernerslagen, en de aard van de gevormde nerslagen.

3.4.1 Snelheid van vorming van ijzernerslagen

De oxidatiesnelheid van ijzer(II) tot ijzer(III) kan worden weergegeven als (Stumm and Morgan, 1981, p 465):

$$\frac{d[Fe(II)]}{dt} = -k_{obs} \frac{[O_2(aq)]}{[H^+]^2} [Fe(II)]$$

Hierin is:

[Fe(II)]:	concentratie van ijzer(II)
k_{obs} :	reactieconstante
[O ₂ (aq)]:	concentratie van zuurstof
[H ⁺]:	concentratie van protonen (H ⁺)

Uit bovenstaande vergelijking volgt dat de snelheid van oxidatie evenredig is met de concentratie van zuurstof en van ijzer(II) en omgekeerd evenredig met de concentratie protonen; met andere woorden hoe hoger de concentraties van ijzer(II) en van zuurstof en hoe hoger de pH des te sneller de reactie.

De oxidatie van ijzer is een proces waarbij energie vrijkomt; met andere woorden, dit proces zal onder gunstige omstandigheden spontaan verlopen en onder ongunstige omstandigheden biologisch worden gekatalyseerd. Bij dit laatste proces spelen de bacteriën *Gallionella* spp en *Leptothrix* spp een belangrijke rol, en worden naast ijzerhydroxide grote hoeveelheden biomassa gevormd.

Van het door de put onttrokken grondwater zijn resultaten van chemische analyses beschikbaar. Complicatie bij de interpretatie van deze resultaten is dat de resultaten niet de werkelijke situatie weergeven. Op vele plaatsen in Nederland vertonen freatische pakketten een horizontale gelaagdheid in chemische samenstelling van het grondwater: zuurstofbevattend water ter hoogte van de grondwaterspiegel en ijzerbevattend water aan de basis van het pakket. Afhankelijk van de positie van het putfilter in deze chemische gelaagdheid zal meer of minder zuurstof- en ijzerbevattend water worden onttrokken. Hoe het zij, de gemeten concentraties van zowel zuurstof als ijzer zullen door menging lager zijn dan de in de put binnenstromende concentraties.

3.4.2 Aard van de gevormde nerslagen

Ten gevolge van de grote verschillen in wijze van vorming, vertonen de gevormde ijzerhydroxiden een grote verscheidenheid in voorkomen. Aan het ene uiterste staat de biologische vorming van ijzerhydroxiden waarbij

ijzerhydroxiden “verpakt” in grote hoeveelheden biomassa worden gevormd, en aan het andere uiterste de zuiver fysisch-chemische vorming waarbij harde ijzer“schalen” worden gevormd. De zachte ijzerhydroxiden zijn gemakkelijk te verwijderen, de harde niet.

Bekend is (van Beek en Vogelaar, 1995) dat in de ruwwaterleiding van de putten 29 t/m 32 van puttenveld Wierden II een hard neerslag wordt gevormd, dat moeilijk is te verwijderen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de chemische samenstelling van het grondwater onttrokken aan het eind van de pompproef op het ondiepe en het diepe filter op beoogd puttenveld Wierden III en van het grondwater onttrokken door de putten 29 t/m 32 van puttenveld Wierden II.

Tabel 3.1: Chemische samenstelling van het onttrokken grondwater van de aangegeven putten op puttenveld Wierden.

Chemische parameter	Dimensie	Putnummer					
		WD04-42 ondiep putfilter	WD04-42 diep putfilter	WD 1972-29	WD 1972-30	WD 1982-31	WD 1978-32
Datum monsterneming		2004-10-11	2004-09-30	2003	2003	2003	2003
EGV	mS/m	36	35	45	48	45	52
pH	-	5,4	6,2	6,8	6,7	6,9	7,1
Kaliumperman-ganaatverbruik	mg/l	11	8,8	na	na	na	na
Chloride	mg/l	37	35	33	35	31	25
Nitraat	mg/l	28	12	11,0	8,6	<	<
Sulfaat	mg/l	85	65	70	80	75	70
Waterstofcarbonaat	mg/l	14	55	153	162	168	243
Vrij koolzuur	mg/l	117,2	69,6	na	na	na	na
Fosfaat	mg/l	<0,05	0,39	na	na	na	na
Ammonium	mg/l	0,1	0,18	0,24	0,44	0,37	0,32
Ijzer	mg/l	13	12	7,30	14,0	13,0	9,0
Mangaan	mg/l	1,1	0,75	0,90	1,20	0,95	0,60
Calcium	mg/l	17	28	63	64	65	91
Magnesium	mg/l	10	6,8	8,5	8,4	6,7	7,2
Natrium	mg/l	22	20	14,0	18,0	15,0	14,0
Kalium	mg/l	4,7	2,9	4,1	6,7	1,9	1,7
Totale hardheid	mmol/l	0,86	0,98	1,92	1,94	1,90	2,57
Sicalciet		-3,92	-2,32	-0,98	-1,03	-0,85	-0,37
Opgelost organisch koolstof (DOC)	mg/l	1,6	2,2	na	na	na	na

na: niet aanwezig

Uit tabel 3.1 blijkt dat de concentraties van ijzer, mangaan en nitraat in het onttrokken grondwater van puttenveld Wierden III vergelijkbaar zijn met de concentraties in Wierden II. Echter de concentratie van waterstofcarbonaat en de hardheid, en daarmee de verzadigingsindex ten opzichte van calciet, zijn veel lager dan in Wierden II.

Het is mogelijk dat in de putten 29 t/ m 32 van Wierden II neerslagen van CaCO_3 , calciet (en van sideriet, FeCO_3 ?) worden gevormd, die bijdragen aan de waargenomen harde neerslagen. Indien dat zo is, zal dat in Wierden III vanwege de agressiviteit van het water niet het geval zijn.

Houben et al. (1999) deden onderzoek naar de minerale samenstelling van neerslagen aangetroffen in putten. Hun resultaat is in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 3.2: Samenstelling van neerslagen in putten (uit: Houben et al., 1999)

Puttenveld	Aard van het gevormde neerslag													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Forstwald										XXX				
Viersen	X									XXX				X
Barby 1	X	X	X							XXX				
Barby 2	X	X	X							XXX				
Geilenkirchen													XXX	
Bürrig 1 P	X											X	XXX	
Leverkusen 6												X	XXX	
Karnap		X										XX	XXX	
Krefeld	XX	X	X	X	X	(X)						(?)	XXX	X
Grevenbroich	X			X		(X)						X	XXX	(?)
Wesseling	X	X	X	X		(X)					X	X	XXX	
Bürrig 2P									XXX					
Bürrig 5A	X	X							XXX					
Bürrig 5P									XXX					
Meisthof		X						XXX						
Mühlfeld	X			XXX	XX		X						X	
Erlangen				X	X	X					XX		XXX	
Falkenberg	X	X				X	XX			XXX				

XXX: hoofdbestanddeel, XX: middenbestanddeel, X: nevenbestanddeel, (X): spoor, (?): aanwezigheid onduidelijk.

1: kwarts (SiO_2), 2: kleimineraal, 3: veldspaat, 4: calciet (CaCO_3), 5: dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), 6: ijzersulfiden ($\text{FeS}_{0,9}$, Fe_3S_4), 7: elementair zwavel (S), 8: amorf mangaanoxide, 9: kristallijn mangaanoxide, 10: ferrihydriet (amorf ijzerhydroxide, $\text{Fe}(\text{OH})_3$), 11: sideriet (FeCO_3), 12: lepidokroket ($\gamma\text{-FeOOH}$), 13: goethiet ($\alpha\text{-FeOOH}$), 14: maghemiet ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

Uit tabel 3.2 volgt dat de overheersend aanwezig gevormde neerslagen zeer verschillend kunnen zijn, voornamelijk ijzerhydroxiden, mangaanoxiden en kalk. De verschillende vormen mangaanoxiden en ijzerhydroxiden gaan door veroudering in elkaar over.

3.4.3 Plaats van vorming van neerslagen

Tijdens onttrekking zullen zuurstofbevattend en ijzerbevattend water gescheiden naar de put toestromen: zuurstofbevattend water aan de bovenzijde van het putfilter en ijzerbevattend water aan de onderzijde. Het eerste contact tussen ijzerbevattend en zuurstofbevattend grondwater is dus pas mogelijk als het diepe ijzerbevattend water de bovenzijde van het putfilter passeert, dat wil zeggen in de filterspleten met het toestromende

zuurstofbevattende water. Neerslagen van ijzerhydroxiden zullen dus in de filterspleten en verder “stroomafwaarts” worden gevormd.

Het putfilter zal dus boven beginnen te verstopten. Ten gevolge van de verstopping wordt het zuurstofrijke water gedwongen steeds dieper het putfilter binnen te stromen. De verstopping zal zich dus in de loop van de tijd in het putfilter van bovenaf naar beneden uitbreiden.

Tijdens onttrekking zal ter plaatse van de put in de grondwaterspiegel een onttrekkingtrechter ontstaan. Bij uitschakelen van de onderwaterpomp zal deze trechter weer worden opgevuld. Het water benodigd voor dit opvullen kan geleverd worden door de put: water treedt uit de put naar buiten en stroomt via het opgevulde boorgat naar boven. Aangezien dit water een mengsel is van zuurstof- en van ijzerbevattend water zullen ook in de omstorting en in de boorgatopvulling neerslagen van ijzerhydroxiden worden gevormd. De mate van vorming is afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, bij voorbeeld de aanwezigheid van een kleiafdichting aan de bovenzijde van het putfilter.

Het spreekt vanzelf dat putten waarbij ijzerhydroxiden alleen aanwezig zijn in filterspleten gemakkelijker zijn te regenereren dan putten waarbij ijzerhydroxiden ook buiten de put in de omstorting aanwezig zijn.

3.5 Regeneratiefrequentie

3.5.1 Ervaringen op Wierden II

Onderstaande tabel geeft enige informatie over frequentie van regeneratie van verstopte putten op Wierden II.

Tabel 3.3: Regeneratiefrequentie van enkele putten van puttenveld Wierden II.

Put-nummer	Regeneratiefrequentie												regeneratie		
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	laatste	volgende
67-25												X		19950620	20060617
70-26							X							20001023	20061007
70-27														20010328	
70-28						X								20010410	20060409
71-29	O			X										20020610	20050609
72-30				X										20010405	20040404
82-31						X								20001015	20051024
87-32					X									20020712	20060711

O: schoonmaken van de onderwaterpomp, X: regeneratie van de put

Uit tabel 3.3 blijkt dat de regeneratiefrequentie van de putten 29 t/m 32 varieert tussen 1x per 3 tot 5 jaar.

Deze frequentie is gebaseerd op kalendertijd; een betere maat zou zijn geweest frequentie per onttrokken volume-eenheid.

Op puttenveld Wierden III zijn 12 putten geprojecteerd voor een productie van $4 \cdot 10^6$ m³/jaar. Dat wil zeggen per put gemiddeld 333.333 m³/jaar.

Puttenveld Wierden I bestaat uit 17 putten en Wierden II uit 12 putten met een gezamenlijke productie van circa 8.10^6 m³/jaar. De gemiddelde productie per put bedraagt dan 266.667 m³/jaar.

De putten op Wierden III zullen dus zwaarder worden belast dan de putten op Wierden I en II. Bij vergelijkbare bedrijfsvoering zal de regeneratiefrequentie op Wierden III zeker niet lager zijn dan op Wierden I en II.

3.5.2 Ervaringen op Holten

Beschouwing van de resultaten van chemische analyses per put leert dat van de puttenvelden geëxploiteerd door Vitens, de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater op puttenveld Holten het meest vergelijkbaar is met dat van Wierden.

Onderstaande tabel toont de resultaten van de voor dit onderzoek meest relevante parameters van de chemische analyses.

Tabel 3.4: Chemische samenstelling van het onttrokken grondwater in de aangegeven putten van puttenveld Holten in 2003.

putnr	Chemische parameter								
	EGV	pH	NO ₃	HCO ₃	Fe	Mn	O ₂	TH	SI
	mS/m		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
59-05	29	5,0	17	40	2,7	1,1	4,5	0,95	-3,73
61-07	34	7,2	15	94	0,12	0,04	7,4	1,46	-0,85
61-08	32	6,7	9,8	67	3,5	0,39	4,5	1,23	-1,65
62-13	25	5,3	33	9	0,11	0,40	2,0	0,75	-4,26
67-19	32	5,6	54	18	0,25	0,28	4,0	1,03	-3,49
71-20	18	5,6	17	15	1,2	0,50	2,9	0,41	-4,00
71-21	37	5,7	13	22	16	2,1	1,6	0,87	-3,42
72-22	19	5,5	24	8	0,17	0,10	6,3	0,57	-4,20
72-24	45	5,6	50	16	0,7	1,9	1,2	0,90	-3,59
72-26	16	5,4	21	7	0,01	0,06	4,8	0,43	-4,50
72-27	29	6,1	3,8	18	15	1,0	1,4	0,92	-3,05
72-28	28	5,9	<	20	14	1,6	<	0,80	-3,26
72-29	25	5,5	31	6	0,75	0,43	6,2	0,76	-4,16
73-31	29	5,8	<	28	16	1,3	<	0,76	-3,22
77-32	25	7,0	<	100	11	0,55	<	1,12	-1,12
85-33	19	6,8	<	101	3,6	0,37	1,0	0,89	-1,39
85-34	34	7,2	<	133	6,3	0,55	<	1,57	-0,68
85-35	43	7,0	<	189	9,7	0,65	<	1,96	-0,65
91-37	29	5,6	<	13	17	0,65	<	0,69	-3,88

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de aanwezigheid van nitraat in de meeste gevallen samengaat met die van zuurstof.

Het onttrokken grondwater van de putten 28, 31, 32, 34, 35 en 37 bevat geen zuurstof. Deze putten kunnen dus geen verstopping door accumulatie van ijzerhydroxiden in de filterspleten vertonen.

Onderstaande tabel geeft informatie over regeneratiefrequentie van de verstopte putten op puttenveld Holten.

Tabel 3.5: Regeneratiefrequentie van verstopte putten op puttenveld Holten.

Put-nummer	Regeneratiefrequentie													regeneratie	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	17	laatste	volgende
59-05	O				X									20010506	20090604
61-07			O				X							20020227	20090225
61-08				X										20020221	20060220
62-13			X											19980326	
67-19				X										20020307	20060306
71-20										X				20001109	20101107
71-21						X								20001124	20061123
72-22													X	19890628	20060624
72-24					X									20001106	20051105
72-25	O			X										19980414	
72-26													X	19940927	20060924
72-27	O	X												20040204	20060203
72-28							X							19990621	20060619
73-29										X					20060305
73-31										X				19960528	20060306
77-32															
85-33															
85-34															20050205
85-35												X		19970326	20090323
91-37								X						19980407	20060624

O: schoonmaken van de onderwaterpomp, X: regeneratie van de put

Uit tabel 3.5 blijkt dat de regeneratiefrequentie van de meest ernstig verstoppende putten varieert tussen eens per 2 à 5 jaar. Dit interval is vergelijkbaar met dat op puttenveld Wierden II.

Met name de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater van put 72-27, met een regeneratiefrequentie van eens per 2 jaar, is goed vergelijkbaar met die van het diepe putfilter op Wierden III.

3.6 Levensduur van verstoppende putten

De levensduur van verstoppende putten wordt bepaald door de aard van de afzetting en de locatie van de afzetting. Bovendien speelt het regeneratie-interval van de putten een rol. Onder biomassa en onder schaalvormige afzettingen zullen na verloop van tijd anaërobe omstandigheden ontstaan. In een dergelijke omgeving treden geheel andere (chemische en biologische) processen op, zoals sulfaatreductie, waarbij geheel andere neerslagen zullen worden gevormd. Hierbij kan gedacht worden aan de vorming van ijzersulfiden, en vanwege de pH verhoging aan kalkneerslagen. Dat de gevormde neerslagen niet chemisch zuiver zijn, bleek al uit tabel 3.2, overgenomen uit het onderzoek van Houben et al. (1999).

Afhankelijk van de vorm van de ijzernerslagen en de lokatie van de verstopping kunnen de volgende situaties onderscheiden worden, zie onderstaande tabel.

Tabel 3.6: Wijze van regeneratie en verwachte levensduur als functie van vorm van gevormde ijzernerslagen en van locatie van verstopping.

Lokatie van de verstopping	Vorm van de ijzernerslagen	
	Accumulatie van ijzerhydroxiden en biomassa	Accumulatie van schaalvormige afzettingen van voornamelijk ijzerhydroxiden
Alleen binnenzijde van het putfilter (filterspleten)	Deze putten zijn mechanisch gemakkelijk te regenereren (borstelen, jutteren of jetten onder voortdurend afpompen), en indien op tijd wordt geregenereerd is de levensduur van deze putten onbeperkt.	Deze neerslagen zijn lastig te verwijderen door een combinatie van mechanische methoden en chemische middelen.
Binnen en buitenzijde van het putfilter (filterspleten en aangrenzende omstorting)	Deze putten zijn lastiger te regenereren. De accumulatie aan de binnenzijde van het putfilter kan mechanisch worden verwijderd. De accumulatie in de omstorting kan mechanisch niet worden bereikt, hiervoor zijn chemische middelen nodig.	Deze putten zijn nauwelijks te regenereren, en hebben een beperkte levensduur.

Na regeneratie dient de specifieke volumestroom gelijk te zijn aan de waarde bij oplevering. De binnenzijde van de put is bereikbaar voor camera-inspectie, en dient na regeneratie brandschoon te zijn.

Indien na regeneratie de specifieke volumestroom van de put niet gelijk is aan de waarde bij oplevering is niet de juiste methode toegepast of is de juiste methode verkeerd toegepast. In een dergelijke situatie dient direct of na korte tijd een andere methode te worden toegepast, zodat wel de waarde bij ingebruikneming wordt bereikt.

4 Mitigerende maatregelen

Bij de inzet van verticale putten op Wierden III zal onvermijdelijk putverstopping optreden. Bovendien zal in de transportleiding een neerslag worden gevormd. Zowel het optreden van putverstopping als de vorming van neerslagen in de transportleiding tasten de bedrijfszekerheid aan, en brengen onderhoudskosten met zich mee.

Zijn er mogelijkheden voor mitigerende maatregelen?

4.1 Bedrijfsvoering.

Hoe gelijkmatiger de put wordt bedreven, des te geringer zal de verstoppingsnelheid per onttrokken volume-eenheid zijn.

Gedurende de onttrekking zal in de grondwaterspiegel een onttrekkingtrechter ontstaan. Bij uitschakelen van de onderwaterpomp zal deze trechter worden opgevuld door aëroob en anaëroob water, waarbij neerslagen van ijzerhydroxiden worden gevormd. Deze neerslagen zullen dus ook buiten de put gevormd.

Tijdens onttrekking is het eerste contact tussen anaëroob en aëroob water mogelijk in de filterspleten van de put. Neerslagen van ijzerhydroxiden zullen dus in de filterspleten en verder "stroomafwaarts" worden gevormd. Het spreekt vanzelf dat putten waarbij ijzerhydroxiden alleen aanwezig zijn in filterspleten gemakkelijker zijn te regenereren dan putten waarbij ijzerhydroxiden ook buiten de put in de omstorting aanwezig zijn.

De wijze van bedrijfsvoering zal geen invloed hebben op de vorming van neerslagen in de transportleiding.

4.2 Diepte van het putfilter

Hoe dieper het putfilter, des te geringer de kans dat zuurstofbevattend water de put zal bereiken. Echter de ontwerpcapaciteit van de put stelt een grens aan de minimale lengte van het putfilter, en daarmee aan de bovenzijde van het putfilter.

De aanwezigheid van nitraat reikt tot een diepte van circa 10 m-NAP. Indien een "buffer" van 10 m dikte wordt aangehouden tegen het "doorbreken" van nitraat in de put, bevindt de bovenzijde van het putfilter zich op circa 20 m-NAP of dieper. Om nitraatloos water te onttrekken moet de bovenzijde van het putfilter zich waarschijnlijk op nog grotere diepte bevinden: uit de pompproef bleek al dat het onttrokken grondwater van het diepe filter nitraat bevatte. Dan resteert tot de basis van het watervoerend pakket een korte lengte voor het putfilter.

(Korte) diepe putfilters zijn daarom geen optie.

4.3 Ondergrondse ontijzering

Bij ondergrondse ontijzering wordt zuurstofrijk water via de put in de bodem geïnjecteerd, waarna een groter volume ijzerloos water kan worden onttrokken. Indien het onttrokken grondwater geen ijzer bevat, kunnen in de put en in de transportleiding geen ijzerneslagen worden gevormd.

De bovengrens van de ijzerconcentratie voor toepassing van ondergrondse ontijzering met belucht water ligt bij 5 à 10 mg/l (van Beek, 1983).

Echter in het grondwater van Wierden III zijn ijzerconcentraties tot 30 mg/l aangetroffen, die in een (te) lage efficiëntie van toepassing zullen resulteren. De efficiëntie geeft de verhouding tussen het onttrokken ijzerloze volume grondwater en het geïnjecteerde volume water, en bedraagt voor de gegeven omstandigheden 2 à 3.

Bovendien beïnvloedt de lage waarde van de pH toepassing van ondergrondse ontijzering op Wierden III nadelig.

Het onderste gedeelte van het watervoerend pakket bevat voor toepassing van ondergrondse ontijzering acceptabele concentraties van ijzer en een voldoende hoge waarde voor de pH. Echter hier is geen zuurstof aanwezig, zodat toepassing voor het gegeven doel, namelijk tegengaan van verstopping, niet relevant is.

4.4 Gescheiden onttrekking

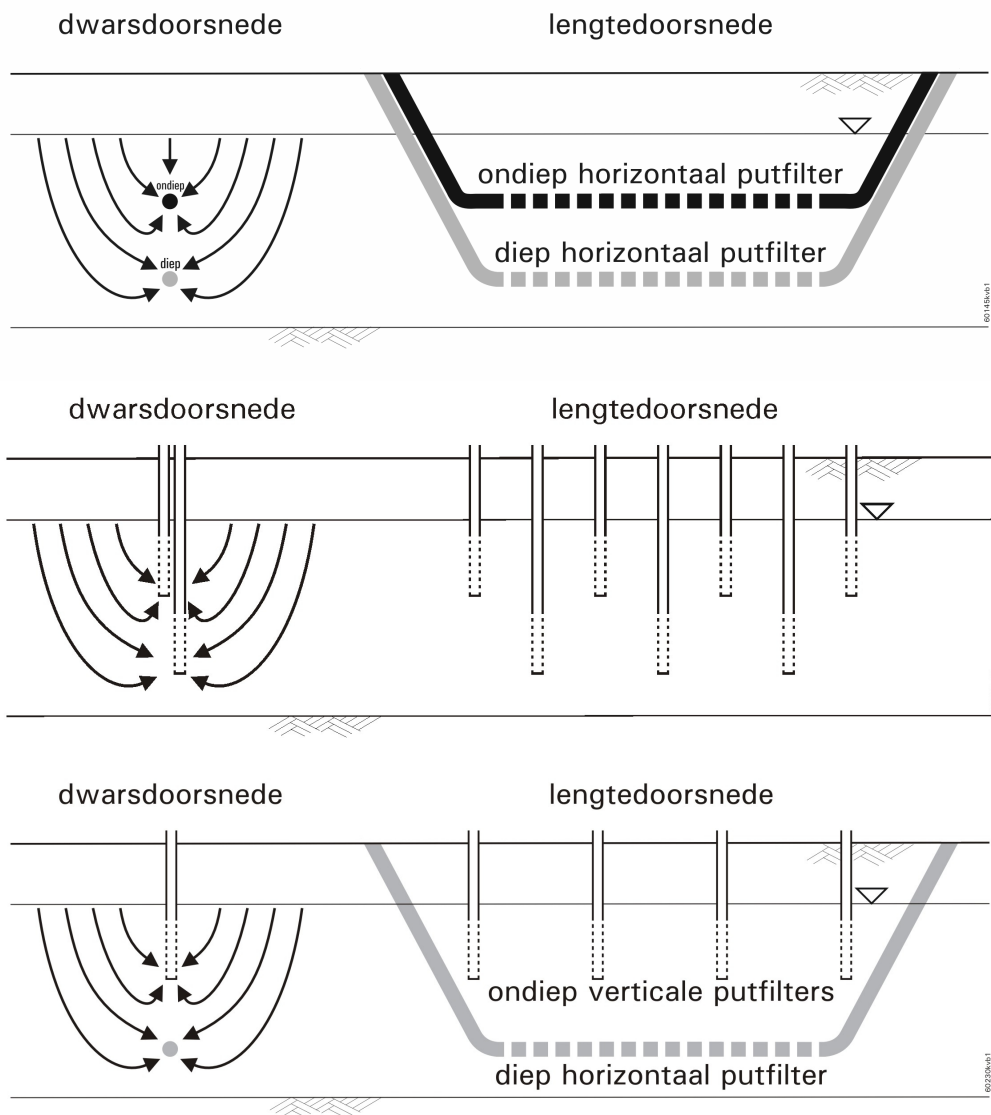
Bij toepassing van horizontale winmiddelen met strangen op twee diepten zullen de ondiepe strangen een mengsel van zuurstofbevattend en van ijzerloos grondwater onttrekken. Het grondwater dat wordt onttrokken via de diepe strangen zal van verder weg toestromen en wordt gedwongen een langere weg door de anaërobe bodem af te leggen. Dit water zal derhalve zuurstofloos zijn, en er zal geen putverstopping optreden. Indien beide onttrokken grondwaterkwaliteiten gescheiden worden getransporteerd, zullen in de transportleiding met volledig anaëroob water, zolang geen zuurstof toetreedt, geen ijzerafzettingen worden gevormd. In de leiding met een mengsel van aëroob en anaëroob grondwater zal dit wel het geval zijn. Op deze wijze kunnen de onderhoudskosten ruwweg worden gehalveerd. Afbeelding 4.1 geeft een schematische aanduiding.

De gescheiden ondiepe en diepe onttrekking kan zowel met horizontale, verticale of een combinatie van beiden worden bereikt. Kern is dat het ondiepe nitraatbevattende grondwater volledig wordt onttrokken, en dat geen nitraatbevattende kortsluitstromen de diepe onttrekking kunnen bereiken. Alvorens hiertoe over te gaan wordt aanbevolen de toestroming van het grondwater hydrologisch te modelleren.

Bij toepassing van horizontale winmiddelen kan onderscheid gemaakt worden tussen RCW (Radial Collector Wells) bestaande uit een centrale put met strangen in meerdere richtingen, en HDDW (Horizontal Directional Drilled Wells), bestaande uit een enkele horizontale strang.

4.5 Tot slot

Putverstopping en verstopping van de transportleiding zullen altijd optreden. Door toepassing van horizontale winmiddelen kan een besparing tot 50% op de onderhoudskosten worden bereikt.



Afbeelding 4.1: Schematische aanduiding van gescheiden ondiepe en diepe onttrekking. Het ondiepe filter onttrekt een mengsel van zuurstofbevattend en ijzerbevattend water, het diepe filter alleen ijzerbevattend water.

5 Geraadpleegde literatuur

- van Beek, C.G.E.M., en A.J. Vogelaar (1995): Vorming van neerslagen in de ruwwaterleidingen op het puttenveld Wierden, notitie, Kiwa SWO 95.288
- van Beek, C.G.E.M (1983): Ondergrondse ontijzering, een evaluatie van uitgevoerd onderzoek, Kiwa mededeling 78
- Capel, H.W., en F.J. Koop (2005): Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit Wierden, TAUW
- Houben, G., S. Mertens und Chr. Treskatis (1999): Entstehung, Aufbau und Alterung von Brunneninkrustationen, BBR 50 (10) 29-35.
- Stuyfzand, P.J. (2005): Conclusies geochemisch onderzoek Wierden III
- Stumm, W. and J.J. Morgan (1981): Aquatic Chemistry, an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, 780 p. 2^o ed, John Wiley.