

Legenda	
	Suboxisch stuwwal water
	Anoxisch Stuwwalwater:
	Stedelijk water
	Landbouw water
	Diep grondwater:
	Winput
	Klei, leem, fijn zand

BTO 2017.018 | Maart 2017

BTO rapport

Optimalisatie van de winning Ellecom via systeemanalyse

BTO

Optimalisatie van de winning Ellecom via systeemanalyse

BTO 2017.018 | Maart 2017

Opdrachtnummer

400917

Projectmanager

ir M.L. (Martin) van der Schans

Opdrachtgever

BTO – Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger

prof. Dr. P.J. (Pieter) Stuyfzand

Auteurs

drs. A. (Annemieke) van Doorn,
ing. H. (Harry) Boukes,
ing. H. (Hans) Huiting,
ir M.L. (Martin) van der Schans

Begeleidingsgroep

ing. R. (Rob) Breedveld, ir. A. (Ate) Oosterhof,
ing. T. (Ton) Ebbing, L. (Leo) Berenschot,
P. (Paul) Keizer (allen Vitens)

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Jaar van publicatie

2017

Meer informatie

Ir. M.L. van der Schans

T +31 30 6069 537

E martin.van.der.schans@kwrwater.nl

Keywords

putmanagement, putschekeling,
hydrochemie

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



BTO 2017.202(s) | Maart 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Samenvatting

Inbedding project: BTO Speerpuntonderzoek

Binnen het BTO speerpuntonderzoek is afgelopen jaren onderzoek gedaan naar de aansturing van winputten op de productielocaties Sint Jans klooster, Ellecom en Ridderkerk. Gemeenschappelijk probleem op deze locaties is dat putschakeling leidt tot zodanig grote fluctuaties in de samenstelling van het ruwwater, dat de zuivering incidenteel overbelast raakt met anoxische bestanddelen zoals ijzer (Fe), mangaan (Mn) en ammonium (NH₄). Deze problemen worden verergerd doordat het aandeel gereduceerd water in de winputten afgelopen decennia is toegenomen.

In dit rapport zijn alleen de bevindingen van het BTO onderzoek voor de locatie Ellecom gerapporteerd. Daarnaast komt er een separate, overkoepelende samenvatting met lessons learned uit de case studies.

Aanleiding

De winning Ellecom ligt in een gestuwd gebied. Het water wordt onttrokken uit het eerste watervoerende pakket, waarin zich onderin een overgang van aerob naar gereduceerd water bevindt. Bijna alle winputten onttrekken een menging van aerob en gereduceerd water. Wisseling van concentraties, mogelijk als gevolg van verschuiving van het grensvlak leidt tot incidentele overschrijding van bedrijfsnormen voor met name mangaan in het reinwater en levert bruinwaterklachten.

Het doel van dit onderzoek is het formuleren van oplossingsrichtingen om het water in de toekomst op een slimme en duurzame wijze te onttrekken, zodanig dat de grenswaarden van de zuivering niet meer overschreden worden. De nadruk ligt hierbij op het optimaliseren van de bedrijfsvoering. Dit wordt afgezet tegen alternatieve maatregelen zoals herinrichting van het puttenveld en de zuivering.

Werkwijze

Middels een systeemanalyse is gezocht welke factoren de ruwwaterkwaliteit beïnvloeden en welke mogelijkheden er zijn om deze te sturen.

Om de aanwezigheid van kleischotten te bepalen is een proef uitgevoerd met hoog frequente stijghoogtemetingen in de winputten en twee monitoringsfilters. Door de reactie van het schakelen van de ene winput in de buurputten te analyseren is de aanwezigheid en de ligging van de kleischotten vastgesteld.

De relatie tussen de bedrijfsvoering (schakelschema) en de belasting van de zuivering op korte termijn (uurbasis) is onderzocht met een soft sensor (= virtuele sensor door verwerking van bestaande debiet- en kwaliteitsmetingen).

Resultaten en conclusies

De proef met hoogfrequente stijghoogtemetingen bevestigt het vermoeden dat er kleischotten op het winveld aanwezig zijn in noordwestelijke richting. Maar ook in andere richtingen en in het verticale vlak is hydraulische weerstand aanwezig. De compartimentering draagt er mogelijk toe bij dat de winning anoxisch grondwater aantrekt uit diepere lagen. De bodemopbouw is helaas te complex om te vangen in een lokaal grondwatermodel om de aansturing van individuele winputten te optimaliseren.

Uit hydrochemische analyse blijkt dat de ijzer- en mangaanconcentratie in de winning afgelopen decennia toenemen. Oorzaak is het aantrekken (upconing) van anoxisch grondwater uit diepere bodemlagen door de winning zelf. Het is niet uitgesloten dat de mangaan- en ijzerconcentraties verder zullen toenemen in de toekomst.

Daarnaast worden gewasbeschermingsmiddelen en metabolieten (waaronder BAM en chloridazon-desphenyl) aangetroffen in de winning. De concentratie BAM in het reinwater vertoont afgelopen decennium een dalende trend. Chloridazon-desphenyl wordt pas sinds 2012 gemonitord. Deze termijn is te kort om uitspraken te doen over trends. Maar, mede gezien de met het grondwatermodel berekende reistijd, is de verwachting dat er nog altijd organische microverontreinigingen onderweg zijn naar de winning. Dit ondanks de verminderde toepassing van gewasbeschermingsmiddelen en extensivering van landbouwpercelen rondom Ellecom.

De opzet van de zuivering maakt de aansturing van het puttenveld complex en kwetsbaar voor veranderingen in de ruwwaterkwaliteit van individuele winputten. De eerste deelstroom, afkomstig van de ijzer- en mangaanrijke winputten (8 stuks) wordt gezuiverd met vijf marmerfilters en kan in theorie 675 m³/h leveren met een kwaliteit die voldoet aan de bedrijfsnormen van Vitens. Een tweede deelstroom (5 winputten) ondergaat alleen loogdosering en kan in theorie 580 m³/h leveren. In de praktijk zijn deze debieten niet haalbaar. Het grootste probleem is dat mangaan in 4 van de 5 winputten rond of boven de bedrijfsnormen schommelt van 0.01 mg/l, en weggemengd moet worden met water afkomstig van de marmerfilters. Er mag dus geen mangaan doorslaan bij de marmerfilters, wat hun maximale capaciteit beperkt tot 500 m³/h.

Ellecom is een piekstation en levert gemiddeld 600 m³/h. Pieken in de reinwater vraag bedragen tot 1225 m³/h en worden deels gebufferd door de reinwaterkelder en deels opgevangen door het opschroeven van de productie tot ten minste 850 m³/h.

De afgelopen decennia zijn de bedrijfsnormen voor mangaan en ijzer regelmatig overschreden in het reinwater, waarschijnlijk met name gedurende piekproductie. Achterliggende oorzaak is de *ad hoc* bedrijfsvoering op Ellecom. Er wordt te weinig begrepen wat er precies in de ondergrond gebeurt en welke sleutels men dan heeft om hier mee om te gaan. Hierdoor is in het verleden stelselmatig gekozen om de winputten met de gewenste kwaliteit zwaarder te belasten en die met een mindere kwaliteit te ontzien. Dergelijke oplossingen blijken bij Ellecom een paar jaar goed te gaan. Daarna verschuiven de hogere concentraties naar andere winputten. De afgelopen 2 jaar is er meer stabiliteit in de bedrijfsvoering gebracht en is de zuivering efficiënter ingezet. Dit heeft geleid tot minder frequente overschrijdingen van de bedrijfsnormen voor ijzer en mangaan in het reinwater.

De grootste bedreiging voor de toekomstige duurzaamheid van de winning Ellecom is overschrijding van de bedrijfsnormen voor mangaan in het reinwater. Met name bij levering van piekdebieten. Deze overschrijdingen zullen komende jaren naar verwachting toenemen doordat een aantal winputten nog altijd onevenredig zwaar wordt belast.

Aanbevelingen voor optimalisatie van de productielocatie Ellecom

Vitens staat nu voor een keuze uit verschillende oplossingsrichtingen:

- Doorgaan met de huidige wijze van bedrijfsvoering, en accepteren dat de bedrijfsnormen soms overschreden worden (=autonome ontwikkeling).
- Doorgaan met de huidige wijze van bedrijfsvoering en 0.9 tot 1.2 M€ investeren in extra capaciteit van de zuivering om overschrijdingen te voorkomen (=in dit rapport aangeduid als oplossingsrichting 9).
- De bedrijfsvoering van de winning optimaliseren zodat het ruwwater binnen de grenswaarden van de zuivering blijft (=oplossingsrichting 1, 2 of 3). **Vitens kan hiermee waarschijnlijk forse investeringen voorkomen.**

De oplossingsrichting om de bedrijfsvoering te optimaliseren is uitgewerkt in onderstaand stappenplan. Het is op voorhand overigens niet zeker of dit stappenplan zal resulteren in een schakelschema dat op de lange termijn kan garanderen dat de winning aan de bedrijfsnormen zal voldoen. In dat geval leveren de onderzoekskosten een deugdelijke onderbouwing van de noodzaak van extra zuiveringsmaatregelen plus een nauwkeurige bepaling van de benodigde aanvullende zuiveringsprestaties.

Intermezzo: Stappenplan optimalisatie van de bedrijfsvoering

Stap 1: Registratie van de nominale debieten en het effect van wegdrukken van putten

Op dit moment is niet 100% duidelijk wat de capaciteit is van iedere winput. De capaciteit vormt de basis voor ieder schakelschema, dus belangrijk om eerst vast te stellen.

Stap 2: Ontwikkelen van één of meer alternatieve schakelschema's.

Belangrijkste randvoorwaarde voor een toekomstig schakelschema is het stabiliseren van de ruwwaterkwaliteit door alle winputten op maandbasis gelijkmatig te belasten. Dit betekent dat winputten met een lage pompcapaciteit frequenter aan staan dan winputten met een hogere pompcapaciteit.

Vervolgens moet nagedacht worden over benodigde pompen en belasting van winputten. Een 1^e oplossingsrichting gaat uit van een toekomstige schakelschema met de huidige pompconfiguratie. Maar geadviseerd wordt om ook een 2^e oplossingsrichting uit te werken waarbij de pompcapaciteit én onttrekkingshoeveelheid gereduceerd wordt, met name in de winputten die leveren via de loogdosering. Dit om de faalkansen door het aantrekken van meer ijzer en mangaan te reduceren. Tot slot kan nog een 3^e oplossingsrichting overwogen worden, waarbij gewerkt wordt met frequentiegestuurde pompen. Dit minimaliseert de fluctuatie van de ruwwaterkwaliteit en maakt het eenvoudiger om te anticiperen op veranderingen in de ruwwaterkwaliteit van een winput door aanpassing van het debiet.

Voor het bufferen van **dagelijkse piekvragen** kan vermoedelijk nog meer gebruik gemaakt worden van de beschikbare watervoorraad in de reinwaterkelder. Bovendien heeft de reinwaterkelder door menging een behoorlijk bufferend effect op de reinwaterkwaliteit, waardoor het mogelijk niet erg is als aan het eind van de zuivering het water tijdelijk te hoge mangaanconcentraties heeft.

Voor het bufferen van langduriger meerdaagse piekvragen in een **hittegolfsituatie** kan overwogen worden om tijdelijk alleen de winputten met weinig ijzer en mangaan in te zetten. Mogelijk dat de capaciteit van de marmerfilters hierdoor toeneemt. Geadviseerd wordt om dit te testen.

Een andere randvoorwaarde van het schakelschema is het voorkomen van putverstopping. Voor het deel van de winputten waar een vermoeden bestaat van boorgatwandverstopping is regelmatig

schakelen wenselijk. De winputten met alleen chemische verstopping van de filterspleten moeten juist zo min mogelijk schakelen (zie aanbevelingen nader onderzoek).

Het is overigens de vraag of aansturing middels een schakelmatrix voldoende flexibiliteit biedt om te voldoen aan alle bovenstaande randvoorwaarden. Mogelijk dat beter kan worden overgestapt naar een carousel systeem in combinatie met prognoses van de reinwaterkwaliteit om pieken in de ruwwatervraag zoveel mogelijk af te vlakken.

Stap 3: Testen van schakelschema's met soft-sensor model

Alvorens het schakelsysteem in praktijk te brengen, wordt het schakelschema getest door de historische watervraag door te rekenen met een soft-sensor model (predictor). De resultaten worden getoetst aan de bedrijfsnormen van Vitens en er wordt vooraf gecontroleerd op overbelasting van individuele winputten. Mogelijk is aansluiting wenselijk met SLIMM2.

Stap 4: Implementatie van het schakelschema in de praktijk en monitoring

Tot slot is het belangrijk om het schakelschema jaarlijks te evalueren en aan te passen indien de waterkwaliteit in winputten verandert.

Aanbevelingen voor nader onderzoek op de productielocatie Ellecom

Om de optimalisatie van de bedrijfsvoering mogelijk te maken, zijn een aantal proeven wenselijk die het inzicht in het functioneren van de winning en zuivering vergroten:

- Herhaling schakelproef: meten hoe het aan- en uitschakelen van winputten de stijghoogte in omliggende winputten beïnvloed. Dit omvat het tijdelijk installeren van drukopnemers in alle winputten en waarnemingsfilters, inclusief de nieuwe winput 04-21 en alle overige winputten en peilbuisfilters die vorige keer niet zijn meegenomen. Doel is vergroten van het inzicht in de ligging kleischotten en risico dat de nieuwe winput 04-21 de kwaliteit van bestaande winputten negatief beïnvloed. De metingen kunnen eventueel aangevuld worden met verkennende conceptuele modelberekeningen om het risico op upconing van anoxisch water te bepalen bij verschillende putconfiguraties en schakelschema's.
- Herhaling proef marmerfilters: meten van verwijderingscapaciteit voor oplopende debieten bij verschillende pH en ijzer- en mangaanconcentraties. Doel is beter bepalen van de grenswaarden van de zuivering.
- Nadere analyse oorzaken putverstopping en verstoppingsmateriaal: Doel is om inzicht te krijgen of, naast chemische putverstopping van de filterspleten, verstopping van de boorgatwand ook een rol speelt en voorkomen kan worden door aanpassing van de bedrijfsvoering. Door verstopping is de specifieke volumestroom (SV) van de winputten teruggelopen tot gemiddelde 64%.
- Multidepth sampling: meten van de waterkwaliteit op verschillende diepte in enkele winputten. Doel is om inzicht te verkrijgen of Mn en Fe alleen toeneemt door het aantrekken van dieper water of dat er ook toestroming plaatsvindt vanuit ondiepere kleipockets. Dit kan helpen om beter te voorspellen/ verklaren hoe de ruwwaterkwaliteit op lange termijn zal ontwikkelen in individuele winputten die langdurig aan- of uitstaan.

Tot slot wordt geadviseerd om de monitoring van het omliggende grondwater te versterken. Probleem is dat er geen zicht is op de kwaliteit van het water dat op grotere diepte (>20 m-mv) toestroomt vanuit stedelijk gebied. Daarnaast ontbreken peilbuizen tussen de landbouwpercelen en de winputten. Er is geen inzicht in de kwaliteit van het grondwater onderin het eerste watervoerend pakket ter plaatse van het winveld.

Inhoud

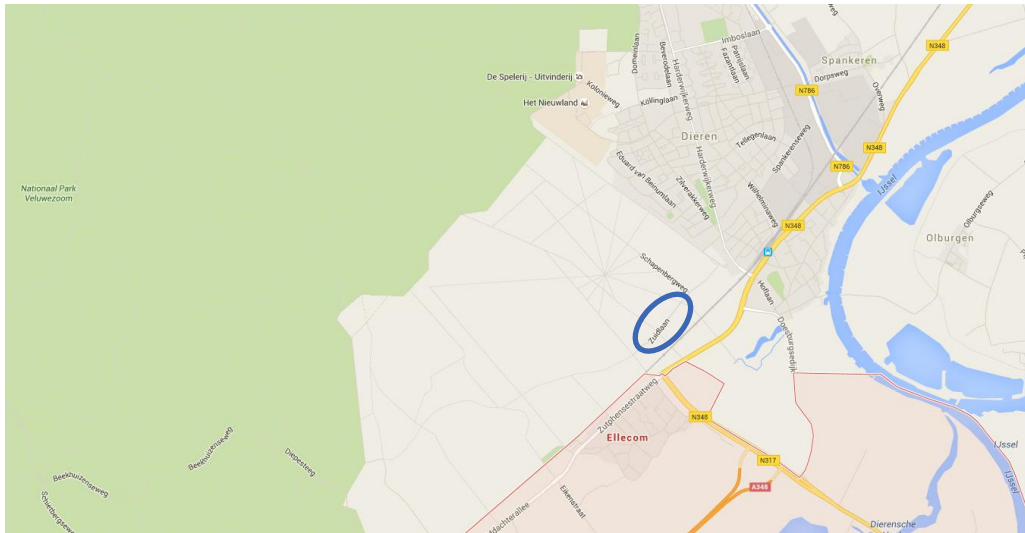
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en doel	7
1.2	Kader: Speerpuntonderzoek Slim Puttenveld	7
1.3	Leeswijzer	9
2	Beschikbare gegevens	10
2.1	Winputten en winveld	10
2.2	Bodemopbouw en –parameters	11
2.3	Monitoringsmeetnet	11
3	Geohydrologische karakterisatie	14
3.1	Inrichting van gebied rondom winning	14
3.2	Bodemopbouw en stuwing	15
3.3	Drinkwaterwinning	19
4	Proef hoog frequente stijghoogtemetingen op winveld	22
4.1	Aanleiding	22
4.2	Materiaal en methoden: hoog frequente stijghoogtemetingen	22
4.3	Resultaat proef	22
5	Grondwaterstroming en intrekgebied	25
5.1	Materiaal en methode: Azuremodel	25
5.2	Controle modelopbouw	25
5.3	Controle grondwaterstanden en stijghoogten	26
5.4	Intrekgebied en hydrologische response curce	28
5.5	Geschiktheid model voor toekomstverkenningen	31
6	Hydrochemische karakterisatie	32
6.1	Materiaal en methoden: HydroGeoChemcal	32
6.2	Landgebruik en mogelijke verontreinigingsbronnen	32
6.3	Ruimtelijke waterkwaliteitspatronen (in peilbuizen)	34
6.4	Ruimtelijke waterkwaliteitspatronen (in winputten)	36
6.5	Trends ruwwaterkwaliteit in winputten: aantrekken Fe en Mn	42
6.6	Trends in gezamenlijk ruw- en reinwaterkwaliteit	46
6.7	Proef ondergronds ontijzeren	48
6.8	Toetsing reinwaterkwaliteit aan normen	48
7	Invloed putschakeling op prestaties productielocatie	50
7.1	Materiaal en methoden: predictor ruw- en reinwaterkwaliteit	50
7.2	Randvoorwaarden: waterzuivering en reinwatervraag	51
7.3	Schakelschema	55
7.4	Invloed schakelschema op ruwwaterkwaliteit per winput	56
7.5	Invloed schakelschema op gezamenlijke ruw- en reinwaterkwaliteit	57
7.6	Invloed schakelschema op putverstopping	60
7.7	Aanbevelingen korte termijn: no regret maatregelen	62

8	Oplossingsrichtingen	63
8.1	Conclusie systeemanalyse en analyse bedrijfsvoering	63
8.2	Randvoorwaarden voor oplossingsrichtingen	63
8.3	Oplossingsrichtingen	64
8.4	Uitwerking en beoordeling oplossingsrichtingen	64
8.5	Aanbevelingen en vervolgstappen	73
9	Referenties	75
Bijlage I	Boringen in 3-D op het winveld	
Bijlage II	Analyse hoogfrequente stijghoogtemetingen in putten	
Bijlage III	Overzicht Redoxovergangen en relatie tussen belasting winput met mangaan- en ijzerconcentraties	
Bijlage IV	Relatie tussen belasting winput en putverstoppingsmetingen	
Bijlage V	Investeringskosten oplossingsrichtingen	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het winveld Ellecom ligt tussen de plaatsen Ellecom en Dieren in een bosrijke omgeving op de rand van de Veluwe (zie Figuur 1-1).



Figuur 1-1 Locatie winveld Ellecom (bron: googlemaps)

Het water wordt onttrokken uit het eerste watervoerende pakket. De overgang van aëroob naar gereduceerd water bevindt zich onderin dit watervoerende pakket. De diepte kan lokaal variëren. Dit komt omdat de deklaag ontbreekt en het gebied gestuwd is. Ten gevolge hiervan onttrekken bijna alle winputten een menging van aëroob en gereduceerd water, waardoor de grenswaarden van de zuivering voor ijzer (Fe) en mangaan (Mn) overschreden worden. Dit levert bruinwaterklachten.

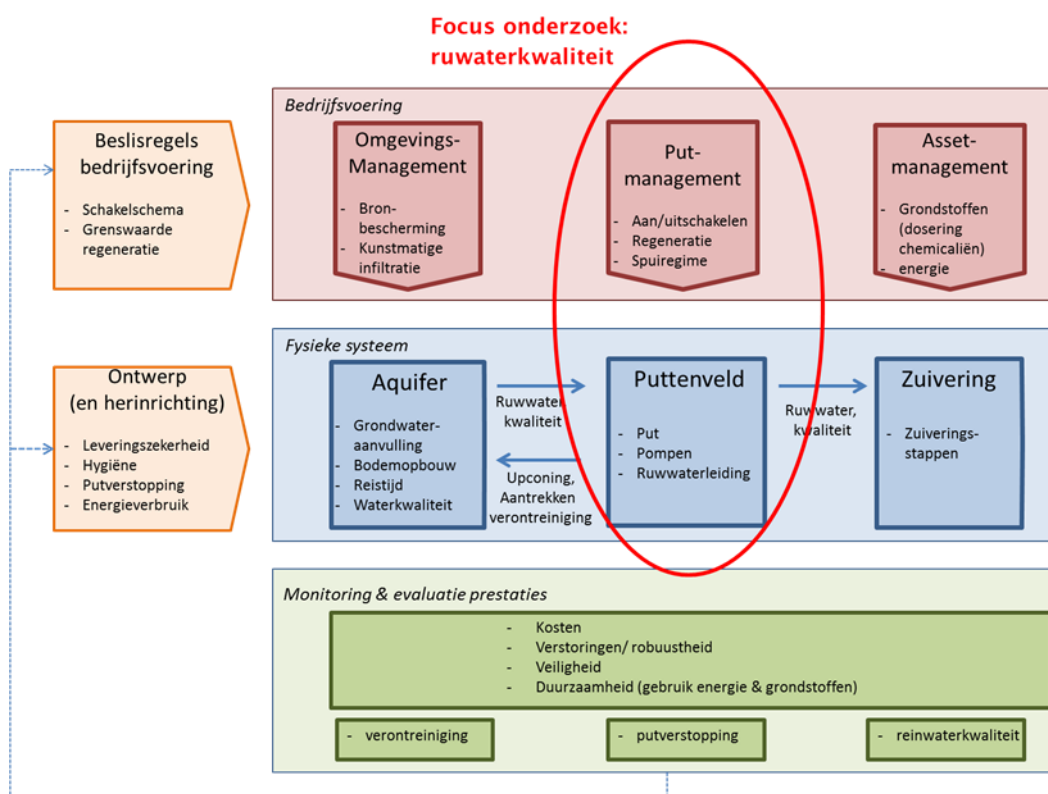
Het doel van dit onderzoek is het formuleren van oplossingsrichtingen om het water in de toekomst op een slimme en duurzame wijze te onttrekken, zodanig dat de grenswaarden van de zuivering niet meer overschreden worden. De nadruk ligt hierbij op het optimaliseren van de bedrijfsvoering. Dit wordt afgezet tegen alternatieve maatregelen zoals herinrichting van het puttenveld en de zuivering.

1.2 Kader: Speerpuntonderzoek Slim Puttenveld

Waterbedrijven ervaren op meerdere productielocaties problemen in de bedrijfsvoering door variatie in de ruwwaterkwaliteit. Vitens heeft de afgelopen jaren dan ook verschillende concepten ontwikkeld om de ruwwaterkwaliteit te verbeteren en te stabiliseren. Zo zijn binnen het project SLIMM (Self Learning Integrated Model-based Management) technieken ontwikkeld om de binnenkomende ruwwaterkwaliteit real-time te monitoren. Een volgende stap is om het aan- en uitschakelen van putten real-time te sturen, zodanig dat de zuivering gelijkmatiger belast wordt. Echter, de huidige schakelschema's waaronder die op Ellecom kennen geen terugkoppeling met de lange termijn ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit. Terwijl uit ervaring bekend is dat het aanpassen van schakelschema's kan leiden tot verplaatsing van het zwaartepunt van de winning en een gewijzigde ruimtelijke verdeling van de ruwwaterkwaliteit.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van het BTO speerpuntonderzoek Slim Puttenveld. KWR wil met de waterbedrijven technieken testen om de aansturing van puttenvelden te optimaliseren. Hierbij wordt als denkkader gehanteerd dat de aansturing van puttenvelden het best is te optimaliseren door winputten, leidingwerk en zuivering als één geheel (asset) te zien (zie Figuur 1-2). Door winputten op de juiste manier te schakelen, worden regeneraties beperkt en wordt minder energie verspild doordat winputten elkaar wegdrücken. Het ombuigen van een stijgende trend in de ruwwaterkwaliteit kan mogelijk een aanzienlijke investering in de uitbreiding van de zuivering voorkomen. Verder leidt een gelijkmatiger ruwwaterkwaliteit tot een effectiever verloop van het zuiveringsproces. De verwachting is dat optimalisatie van de bedrijfsvoering kan bijdragen tot aanzienlijke verbeteringen in de prestaties van productielocaties in termen van kosten, milieubelasting (verduurzaming, reductie CO₂ footprint) en verstoringen van de bedrijfsvoering (leveringszekerheid).

De nadruk van dit onderzoek ligt op het optimaliseren van de bedrijfsvoering en inrichting van het puttenveld, gericht op prestatieverbetering van de zuivering.



Figuur 1-2 Denkkader voor het optimaliseren van inrichting en beheer van puttenvelden. Dit speerpuntonderzoek past in de trend om meerwaarde te zoeken door winputten, leidingwerk en zuivering als één geheel (asset) te zien.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de bevindingen voor de winlocatie Ellecom. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de beschikbare informatie. Deze is gebruikt om de winning en ondergrond te karakteriseren (hoofdstuk 3) en de grondwaterstroming te analyseren (hoofdstuk 4 en 5). Vervolgens is de hydrochemische samenstelling van het grondwater geanalyseerd (hoofdstuk 6). In hoofdstuk 7 is de relatie tussen putschakeling en ruwwaterkwaliteit beschouwd. Hoofdstuk 8 geeft een uitwerking van enkele oplossingsrichtingen voor de langere termijn waaronder verbetering van het schakelschema.

De conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in de samenvatting aan het begin van dit rapport.

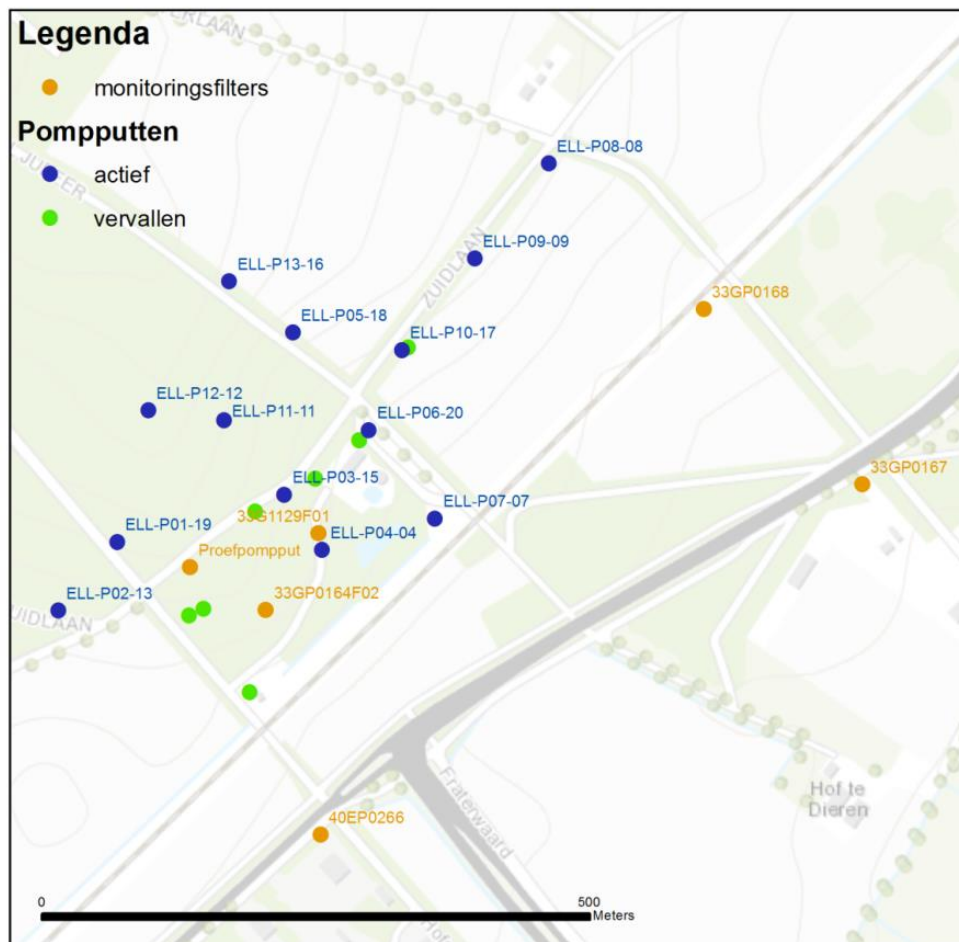
2 Beschikbare gegevens

Vitens heeft gegevens van de winning en het functioneren van de winning aangeleverd. Dit hoofdstuk geeft een overzicht daarvan.

2.1 Winputten en winveld

Figuur 2-1 geeft een overzicht van de winputten op het winveld. Er zijn 13 actieve winputten op het winveld. Zeven winputten zijn in loop van de tijd een keer vervangen door een nieuwe winput. De volgende gegevens van de winputten zijn aangeleverd:

- Boorstaten, bronconstructie, pompgegevens, pompcurve;
- Bedrijving van de winputten van 2007 tot 2015;
- Pdf van het geschreven logboek over de periode 1996 t/m 2006;
- Verschillende overzichten van het putdebiet.
- Metingen van het specifieke debiet en (onvolledig) overzicht regeneraties



Figuur 2-1 Locatie van de winputten en waarnemingsputten op en nabij het winveld

Winput P04-04 is onlangs (in de zomer van 2016) verplaatst: circa 200 m in noordwestelijke richting van winput P13-16 langs de Lange Juffer. De nieuwe winput heet P04-21. Omdat alle metingen zijn uitgevoerd voor 2016, wordt in deze rapportage altijd de oude locatie (zie Figuur 2-1) bedoeld.

Onderstaande informatie van het winveld is aangeleverd:

- Jaardebiten van de winning;
- Huidig schakelschema;
- Ruw- en reinwaterkwaliteitgegevens 1999 – 2015, maandelijkse monsternamen;
- Ruwwaterkwaliteitgegevens 1957 – 2008 uit het bestand KIDAP (een afgeleide van REWAB + VEWIN database); het betreft jaargemiddelden (bron: Pieter Stuyfzand);
- Memo over waterkwaliteitsmetingen aan de zuivering tijdens proef met verschillende debieten van de marmerfilters;
- Reeds beschikbare plannen van Vitens voor toekomstige renovatie;
- Gebiedsdossier van de provincie Gelderland uit 2009.

2.2 Bodemopbouw en -parameters

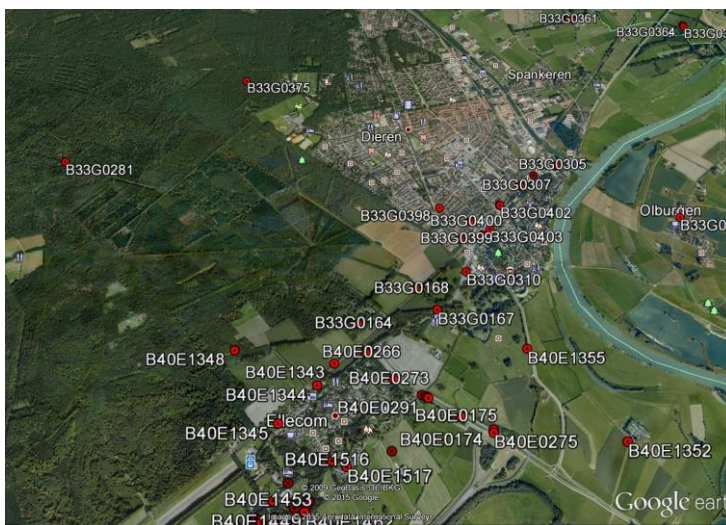
Voor dit onderzoek is een database opgesteld met informatie over de bodemopbouw. De volgende informatie is gebruikt:

- Boorstaten afkomstig van DINO-loket;
- Boorbeschrijvingen van alle winputten en de meeste waarnemingsputten, aangeleverd door Vitens;
- REGIS 2.1;
- Memo “Pompproef in het tweede watervoerende pakket” van Vitens uit 2010.

2.3 Monitoringsmeetnet

2.3.1 Stijghoogtemeetnet

De waarnemingsputten met gegevens uit DINO-loket zijn weergegeven in Figuur 2-2. Er zijn geen stijghoogtegegevens aangeleverd door Vitens. De meeste meetpunten bevatten slechts enkele stijghoogtemetingen. Waarnemingsput B33G0281 en B33G0164 hebben filters op meerdere dieptes met drukopnemers.



Figuur 2-2 Overzicht waarnemingsputten met stijghoogtemetingen in DINO-Loket

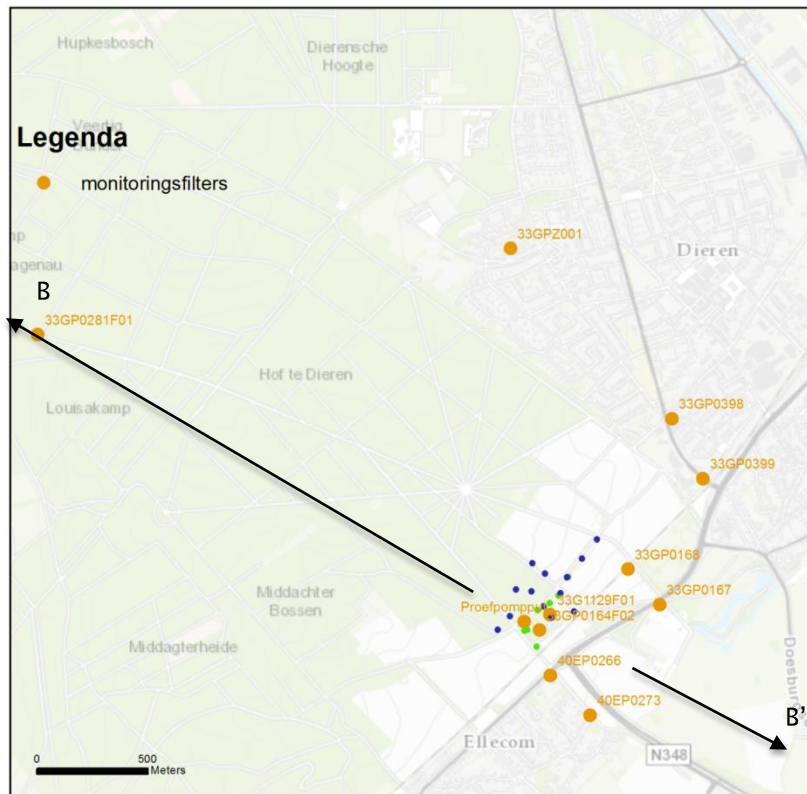
2.3.2 Waterkwaliteitsmeetnet

Op en rondom het winveld Ellecom zijn waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd door Vitens. De meeste analyses zijn uitgevoerd op watermonsters uit de winputfilters (circa 20 m lang) vanaf 1983. Vanaf 2005 zijn ook waarnemingsputten rondom het winveld bemonsterd. Figuur 2-3 geeft een overzicht van de meetlocaties. Direct stroomopwaarts van de winputten zijn geen monitoringsfilters geplaatst.

De monsternames op macro-ionen zijn gecheckt door de berekende geleidbaarheid te vergelijken met de gemeten geleidbaarheid. Er zijn 569 monsters waarvan macro-ionen bepaald zijn. Voor 302 monsternamen geldt dat voldoende parameters geanalyseerd zijn om met het programma HydroGeoChemical (Stuyfzand, 2012) een geleidbaarheid te berekenen. De gemiddelde absolute afwijking voor al deze monsternamen tezamen bedraagt 5 %. Slechts één monster wordt op basis van deze analyse afgekeurd omdat de afwijking te groot was.

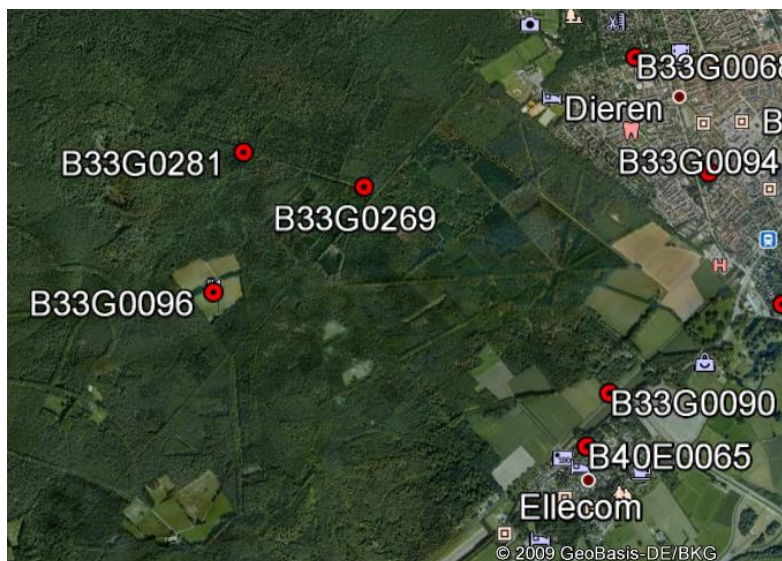
Tabel 2-1 Overzicht van type kwaliteitsmetingen

	macro-ionen en nutriënten	Spore-elementen	Organische micro-verontreinigingen
Analyses in winputten	<ul style="list-style-type: none"> • 1951–1983 sporadisch uitgevoerd • Vanaf 1983 ongeveer jaarlijkse analyse • Extra: vanaf 2010 in meeste winputten hoog frequentere metingen (1–3 maandelijks) op Fe en Mn 	<ul style="list-style-type: none"> • 1999–2009 circa 3 metingen • 2010–2015 jaarlijkse meting 	<ul style="list-style-type: none"> • 1999 tot 2011 en 2015 ongeveer jaarlijkse meting voor BAM en dichlobenil • 2005–2010 en 2015 jaarlijkse meting bromacil • Overige stoffen circa 3 metingen tussen 1999–2015
Analyses in monitoringsfilters	<ul style="list-style-type: none"> • Vanaf 2005 à 2009 tot 2015 1 tot 2 jaarlijkse analyse 	<ul style="list-style-type: none"> • In de periode 2009–2015 van jaarlijks tot enkele malen in deze periode 	<ul style="list-style-type: none"> • Peilbuizen in stedelijk gebied 1 tot 2 jaarlijks tussen 2009–2015 • Overige peilbuizen niet



Figuur 2-3 Overzicht locaties met waterkwaliteitsmetingen door Vitens. In hoofdstuk 3 worden dwarsdoorsneden langs B-B' gepresenteerd

In DINO-loket zijn enkele éénmalige waterkwaliteitsanalyses opgenomen. De locaties zijn in Figuur 2-4 weergegeven. De analyses betreffen maar enkele parameters en een enkele meting. Een kwaliteitscheck van de meting kan daarom niet uitgevoerd worden. De metingen geven daarom weinig meerwaarde.

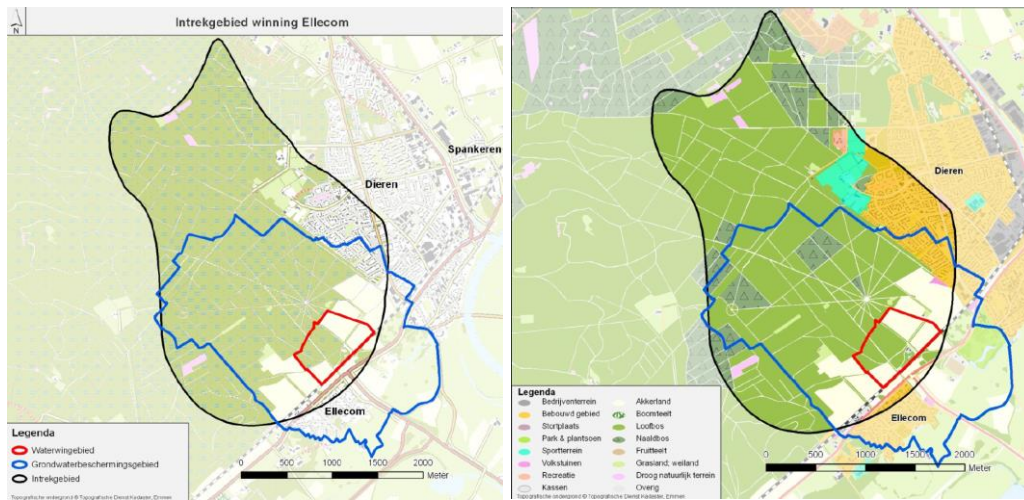


Figuur 2-4 Overzicht locaties met waterkwaliteitsmetingen in DINO-loket

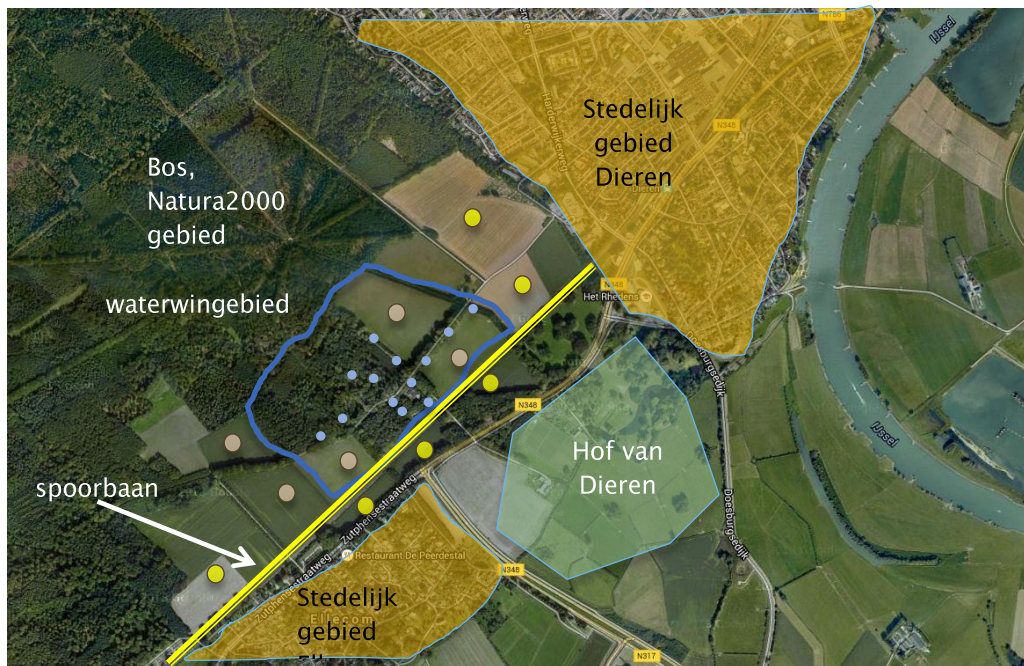
3 Geohydrologische karakterisatie

3.1 Inrichting van gebied rondom winning

Het grondwaterbeschermingsgebied is gelegen in de gemeente Rheden. Delen van het stedelijke gebied van Ellecom en Dieren vallen net binnen dit grondwaterbeschermingsgebied, zie Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Links: Ligging waterwingebied, grondwaterbeschermingsgebied en berekend intrekg gebied met oud modelinstrumentarium. Rechts: Landgebruik op basis van CBS en TOP10. Bron: gebiedsdossier



Figuur 3-2 Overzicht landgebruik en waterwingebied. ● Perceel 1970-1995 intensief bedreven (mais en gras) en nu in extensief gebruik, ● Perceel, nu nog in intensief gebruik, ● : winput

Figuur 3-1 en Figuur 3-2 geven het landgebruik weer in de omgeving van de waterwinning. Het landgebruik bestaat uit bosgebied (78%), agrarisch gebied (10 %), wonen en sportterreinen (11 %) en spoorlijn (1 %). Het bosgebied is in beheer voor houtproductie door landgoedeigenaar Twickel.



Figuur 3-3 Foto van Koningswegen in bosgebied ten noorden van winput P13-16 (links) en perceel aan westkant van waterwingebied (rechts)

Het landgoed Hof te Dieren ligt benedenstrooms (ten zuidoosten) van de winning aan de andere kant van de spoorbaan (zie Figuur 3-2). Op dit landgoed worden tal van verschillende functies uitgevoerd, o.a. recreatie, landbouw en druiventeelt. Er is geconstateerd dat er verdroging optreedt op dit landgoed (bron: mondelinge mededeling Rob Breedveld, Vitens). Om deze reden heeft Vitens met de landgoedeigenaar enkele afspraken gemaakt. Deze zijn als volgt:

- Het geklaarde spoelwater van de zuivering wordt naar de vijvers op het landgoed geleid, om deze op peil te houden;
- Waterhuishoudkundige ingrepen (dichten van sloten en drainage) worden plaatselijk uitgevoerd;
- Winputten van Vitens worden niet verplaatst in de richting van het landgoed zonder overleg.

3.2 Bodemopbouw en stuwing

De meeste boorbeschrijvingen betreffen de winputten op het winveld. De diepte hiervan varieert van 60 tot 80 meter onder maaiveld. Daarnaast zijn, op het puttenveld en stroomopwaarts van het puttenveld, enkele diepe boringen beschikbaar tot in het tweede watervoerende pakket. In DINO-loket zijn richting de IJssel geen andere diepe boringen beschikbaar.

Tabel 3-1 geeft de bodemopbouw ter plaatse van het puttenveld weer. De bodemopbouw is gebaseerd op de diepe boringen 33GP1192 en 33GP0164 op het puttenveld, REGIS en de diepe pompproef Ellecom (Vitens, 2010). Bijlage I geeft in twee figuren de lithologie en de kleurbeschrijving van de winputboringen op het winveld weer.

Tabel 3-1 Bodemopbouw bij winveld Ellecom

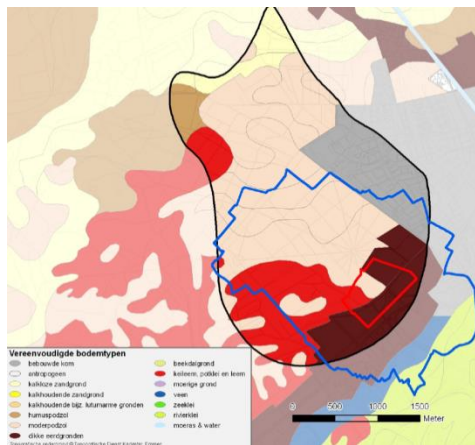
Diepte van - tot [m] *	Beschrijving laag	Geohydrologische eenheid	Bodemparameter	Formatie
0 - 95	Grof tot uiterst grof zand, lokaal klei-inschakelingen van enkele meters dik en grindlagen	1° wvp	2000 - 3000 m ² /d	Boxtel Urk en Peize gestuwd
95 - 120	Klei, leem en fijn zand	1° sdl	2,000 - 8,000 d	Waalre/Maassluis
120 - 160	Zeer fijn tot matig fijn zand	2° wvp	400 m ² /d	Oosterhout
> 160	Zeer fijn tot uiterst fijn zand	Hydrologische basis	-	Breda

*Het maaiveldniveau loopt op van +20 tot +30 mNAP op het winveld. Wvp = watervoerend pakket; sdl = slecht doorlatende laag

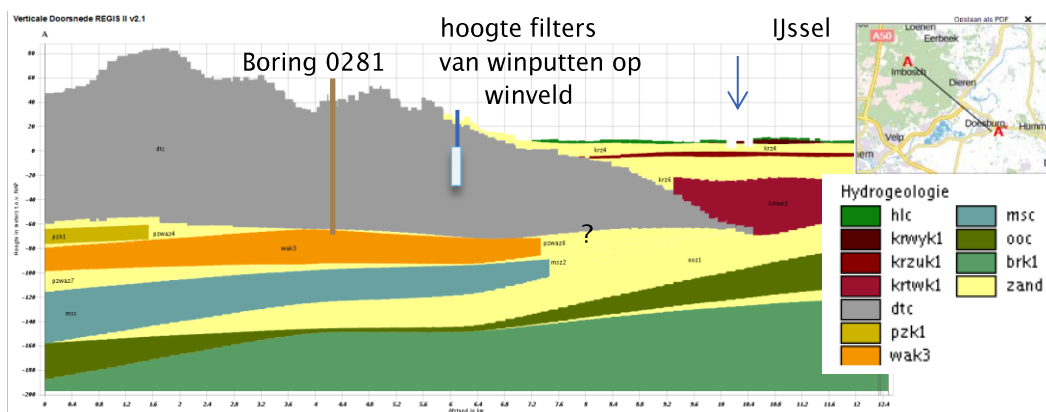
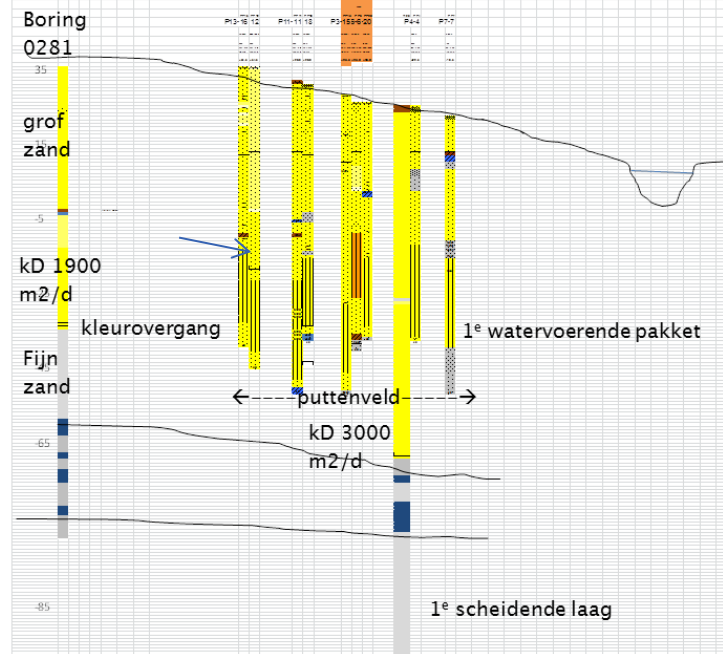
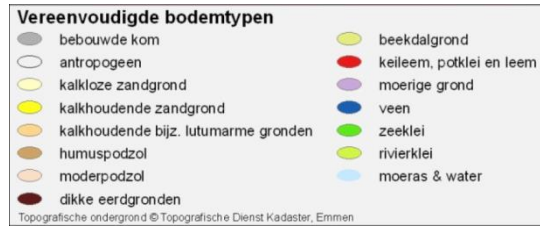
De bodem is overwegend zandig, zie Figuur 3-4. Het hemelwater kan hierdoor op de meeste plaatsen goed infiltreren. Op sommige plekken is leem in de bodem aanwezig.

Het eerste watervoerende pakket is gestuwd en bestaat voornamelijk uit matig grove tot uiterst grove (grindige) zandlagen. Lokaal komen dunne kleilagen (tot 1 m dik) voor, zandlagen met harde leem- of kleibrokken en sterk kleiige grove zandlagen. Dit is met name zichtbaar in de boorbeschrijving van winput 10-17. In enkele boorbeschrijvingen zijn matig fijne zandlagen aanwezig in het traject van 10 tot 25 m-mv (meter minus maaiveld). Zichtbaar is in Bijlage I dat het zand in het eerste watervoerende pakket zowel in het horizontale als in het verticale vlak varieert in grofheid.

In de boorbeschrijvingen zijn kleuren beschreven van geel, bruin, rood, wit en grijs. Geel en bruin zand is indicatief voor een (sub)oxische toestand en grijs voor (diep) anoxisch. ; al moet deze interpretatie voorzichtig gemaakt worden omdat anaerobe bodemmonsters ook kunnen verkleuren door blootstelling aan lucht wanneer er niet direct een boorbeschrijving wordt gemaakt. In meerdere boringen komen grijsgekleurde zandlagen voor tussen geelgekleurde zandlagen. Soms hangt dit samen met het voorkomen van een dunne kleilaag of een fijnere zandlaag, maar niet altijd. Zo worden in de boorbeschrijving van winput 10-17 geen grijze zandlagen aangetroffen en is het zand bij winput 06-20 grof maar grijs gekleurd. Uit de diepe boringen blijkt dat overgangen van geel naar grijs en weer terug naar geel in het eerste watervoerende pakket niet ongewoon zijn. Geelgekleurde zandlagen komen enkele meters boven de eerste scheidende laag niet meer voor in de diepe boorbeschrijvingen. Dit is een aanwijzing dat bovenin het eerste watervoerend pakket mogelijk op lokale schaal gereduceerde condities optreden, bijvoorbeeld wanneer grondwater door leem- of kleipockets stroomt.

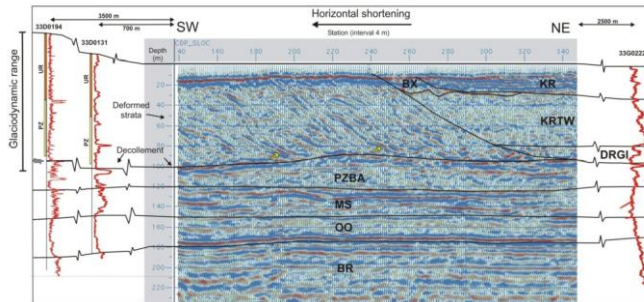


Figuur 3-4 Bodemkaart. Bron: gebiedsdossier



Figuur 3-5 Boven: dwarsdoorsnede langs B-B' (zie Figuur 2-3) van de bodemopbouw op basis van de boringen. Onder: dwarsdoorsnede langs A-A' (zie rechts van figuur) uit REGIS 2.1 (bron: DINO-loket)

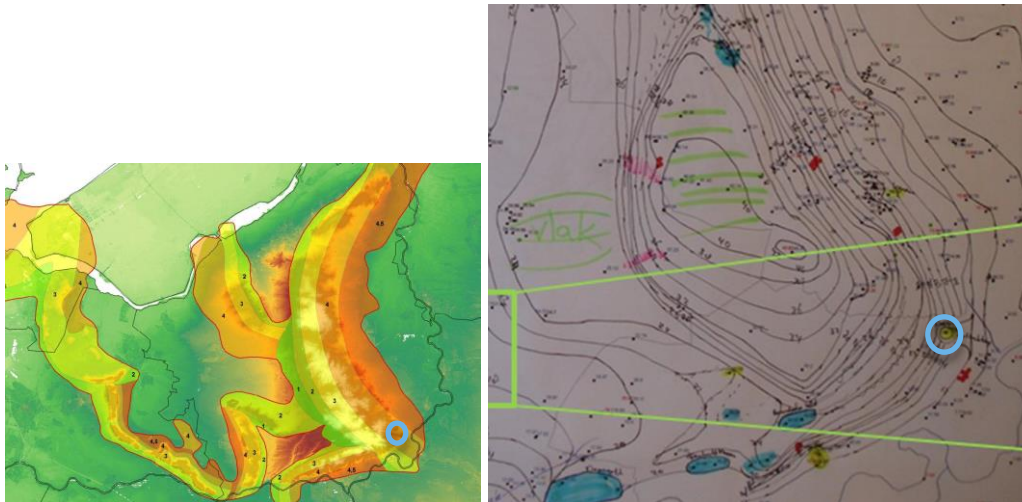
De stuwwal is gevormd door stuwning van het landijs in de op één na laatste ijstijd. De grove grind- en zandlagen, eerder neergelegd door de Rijn en Maas, zijn toen gestuwd door het ijs in westelijke richting. Figuur 3-6 geeft ter informatie een gestuwde laag weer zoals deze in een seismisch profiel is gedetecteerd.



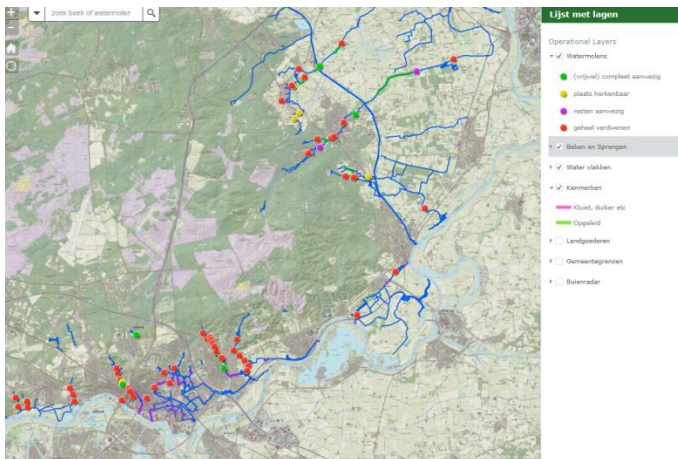
Figuur 3-6. Proces van stuwwalvorming (Hambrey, 1994)

Figuur 3-7 geeft de stuwingsrichting weer die is vastgesteld bij het opzetten van het grondwatermodel Azure. Bij de opzet van het Azuremodel (Deltares, 2014) is nader gekeken naar de stuwingsrichting en stuwingsgradiënt, mede op basis van literatuur, boringen, VES-metingen, ligging beken (Figuur 3-8), enkele seismische profielen en stijghoogtemetingen. Voor het zuidelijk deel van de Veluwe zijn in deze studie (Deltares, 2014) de volgende conclusies getrokken:

- De basis van de gestuwde lagen wordt gevormd door de scheidende kleilagen van Waalre en Maassluis. Het is aannemelijk dat de kleilaag ter plaatse van de winning aaneengesloten is, doch er zijn niet zoveel boringen beschikbaar om dit te toetsen. Naar het noorden toe ontbreekt de kleilaag en is de overgang alleen detecteerbaar door overgang naar een minder grof zand pakket.
- Op basis van de beschikbare gegevens kunnen geen duidelijke kleilagen gedetecteerd worden binnen het eerste watervoerende pakket, welke kunnen duiden op de aanwezigheid van kleischotten. Doch op basis van de berekende grondwaterstanden en de gemeten grondwaterstanden, is geconcludeerd dat er meer weerstand in het pakket aanwezig moet zijn dan op basis van de informatie het geval lijkt.



Figuur 3-7 Stuwrichting en handgeschetst isohypsenpatroon op basis van stijghoogtemetingen (jaarlijkse metingen is onbekend). Bron: Deltares, 2014.



Figuur 3-8 Ligging van de beken op de stuwwal (bron: kaartenatlas website provincie Gelderland).

3.3 Drinkwaterwinning

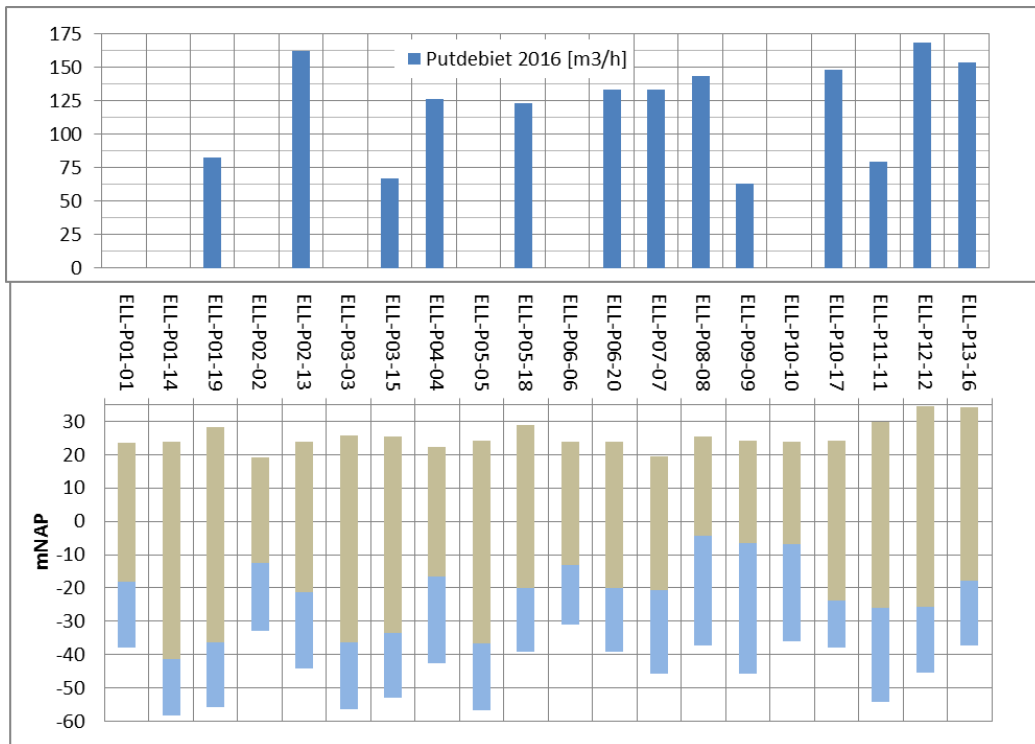
De winning is gestart in 1951 met 2 winputten (bron: gebiedsdossier). Vanaf 1960 neemt het onttrekkingsdebiet toe en zijn er steeds winputten bijgeboord. Op dit moment zijn 13 winputten actief.

3.3.1 Filterdiepte

De winputten zijn allemaal gepositioneerd in het eerste watervoerende pakket tussen -60 mNAP en -5 mNAP. De maaiveldhoogte van de winputten varieert van +20 mNAP tot +30 mNAP. In de loop der jaren zijn twintig winputten geboord, waarvan er zeven inmiddels weer gedempt zijn. De winputcodes bevatten twee cijfers, waarbij het eerste cijfer aangeeft op welke plaats de winput op de zuivering is aangesloten, en het tweede cijfer de volgorde waarin deze in de loop der jaren geboord is. Het putnummer met het hoogste tweede nummer is zo altijd de winput die nog gebruikt kan worden. Soms zijn de nieuwe winputten geplaatst naast de oude winput met een iets andere filterdiepte en soms zijn de winputten verplaatst op het terrein. Verplaatst ten opzichte van de vorige winput zijn de winputten P01-19, P02-13, P03-15 en P05-18. Bij enkele winputten zijn delen van het filter blind, dit geldt voor de winputten P06-20, P08-08, P09-09 en P11-11.

3.3.2 Zwaartepunt

Het zwaartepunt van de winning wordt bepaald door welke winputten in bedrijf zijn en hun windebiet. Welke winputten precies aanstonden in het verleden is niet bekend. Tevens zijn de pompdebieten soms aangepast. Dit maakt dat het niet mogelijk is om deze aspecten bij het bepalen van het zwaartepunt in de tijd mee te nemen. Als alleen gelet wordt op de locaties van de winputten op het puttenveld dan is het zwaartepunt in de tijd 200 m in noordoostelijke richting verplaatst van ongeveer tussen winput 01-01 en p02-02 van 1951-1965 naar rondom winput 06-20 van 1965 tot heden.

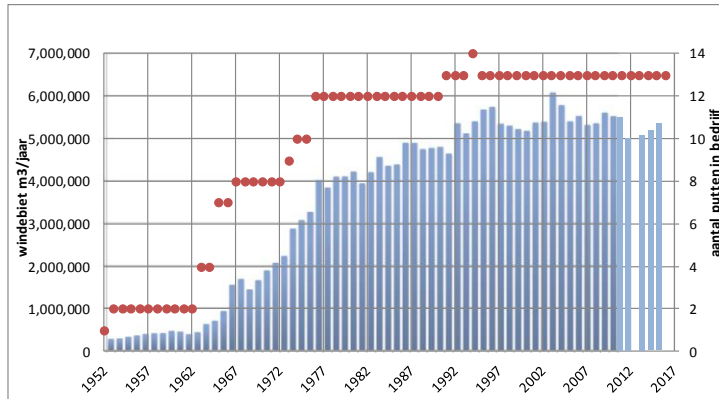


Figuur 3-9 Onder: overzicht van de diepte van de putfilters (lichtblauw) en de maaiveldhoogte van de winputten. Boven: het gemiddelde putdebiet in 2016

3.3.3 Onttrekkingshoeveelheid

Vanaf 1965 nam het totale windebiet toe van 1 Mm³/jaar naar 5 Mm³/jaar. Van 2005 tot 2016 is met een vrij constant totaaldebiet water gewonnen op het winveld, circa 450.000 m³/maand (st. dev. 32.000 m³/maand) en gemiddeld 5,4 Mm³/jaar, zie Figuur 3-10. Er zijn 5 tot 6 winputten nodig om dit gemiddelde jaardebiet (à 615 m³/h) te leveren. Het maximaal beschikbare debiet met 13 winputten is 1,510 m³/h. Gedurende

het jaar wordt dus gemiddeld 40 % van de wincapaciteit gebruikt.



Figuur 3-10 Windebiet per jaar en het totaal aantal winputten dat beschikbaar is op het winveld (rood bolletje) van 1952 tot 2015

De winputten hebben pompen met een vaste capaciteit. Deze capaciteit verschilt per winput tussen de 60 tot 160 m³/uur. Uit de putverstoppingstesten blijkt dat de pompcapaciteit over de jaren heen onverklaarbare verschillen vertonen. Waarschijnlijk hebben de winputten niet altijd met hetzelfde putdebiet gedraaid (redenen kunnen zijn: andere pomp, verstopping etc..).

4 Proef hoog frequente stijghoogtemetingen op winveld

4.1 Aanleiding

Bij discussies over de mate waarin de kwaliteit van het onttrokken water op productiebedrijf Ellecom beïnvloed kan worden door bepaalde winputten (vaker) aan of juist uit te zetten, diende de vraag zich aan of het watervoerend pakket waaruit het grondwater onttrokken wordt als een eenheid mag worden beschouwd. Het productiebedrijf bevindt zich immers in een stuwwal: een heuvel waar onder invloed van landijs bodemlagen voor het gletsjerijs uit omhoog gestuwd zijn. Dit kan er onder meer toe leiden dat kleilagen die oorspronkelijk horizontaal afgezet zijn, door de stuwings scheef gesteld zijn en op die manier het watervoerend pakket in compartimenten opdelen.

Wanneer er sprake is van één aaneengesloten watervoerend pakket, zal het water bij een uitgeschakelde winput langzaam door een buurput worden aangetrokken. Als er sprake is van compartimenten, zal afhankelijk van de mate van doorlatendheid van het betreffende 'kleischot', deze verplaatsing versneld, vertraagd of mogelijk helemaal niet plaatsvinden.

4.2 Materiaal en methoden: hoog frequente stijghoogtemetingen

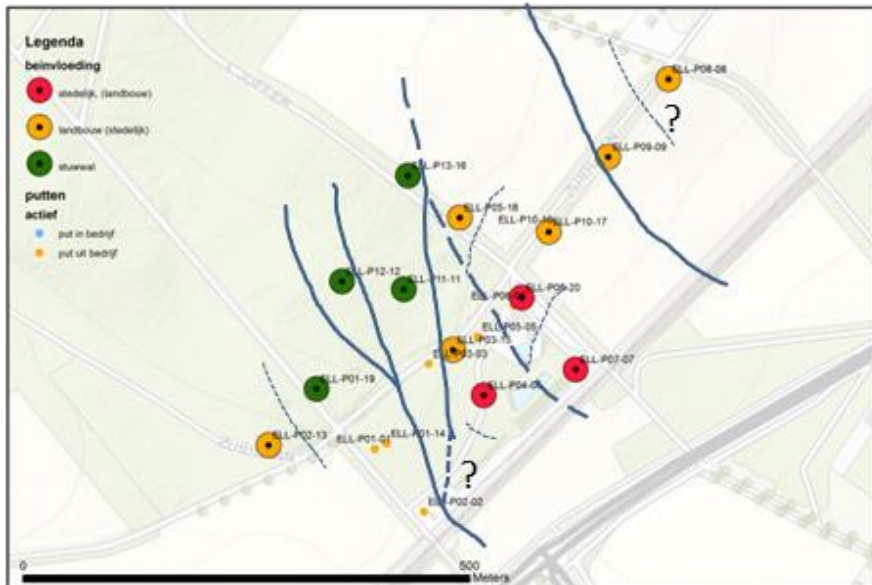
Om een indicatie te krijgen of er met deze compartimenten rekening gehouden moet worden, is besloten om hoogfrequente stijghoogtemetingen uit te voeren. Dit is gedaan door plaatsing van automatische drukopnemers in de 13 winputten van het productiebedrijf en in de drie waarnemingsfilters van waarnemingsbuis 33GP0164, die op het winveld ligt. Aan de hand van hoogfrequente drukmetingen in de winputten kunnen de drukreacties op het schakelen van buurputten worden geanalyseerd.

Deze proef is uitgevoerd gedurende januari tot maart 2016 en is uitgewerkt in Bijlage II.

4.3 Resultaat proef

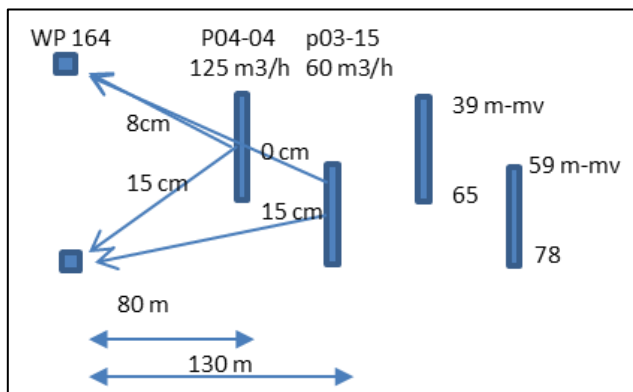
Uit de interpretatie van deze reacties blijkt duidelijk dat er binnen het winveld van Ellecom sprake is van compartimenten. Daarnaast is aangetoond dat er geringe weerstands biedende lagen in andere richtingen en in het verticale vlak aanwezig zijn.

De ligging van de compartimenten kan op meerdere manieren ingetekend worden, een weergave hiervan staat in Figuur 4-1. In de bijlage is een alternatieve weergave weergegeven. De kleischotrichting komt op hoofdlijnen goed overeen met de stuwrichting die in de literatuur wordt aangegeven (zie & 3.2).



Figuur 4-1 Globale weergave van ligging kleischotten op het winveld, zie ook Bijlage II

In Bijlage II is met MLU (Hemker et al, 2014) geprobeerd de gemeten effecten binnen het grootste compartiment te reconstrueren. Uit deze analyse blijkt dat er weerstand aanwezig is tussen de winputten P06-20/P10-17 en winput p07-07. Gemodelleerd als boven elkaar liggende watervoerende lagen, bedraagt de weerstand ertussen ongeveer 30 dagen.



Figuur 4-2 Overzicht van de putkentallen en afstanden en de gemeten effecten (in cm) van twee winputten bij de waarnemingsput.

In hetzelfde compartiment als winput 04-04 en winput 03-15 is een waarnemingsfilter (33G0164), waarin drukhoogten gemeten zijn op 2 diepten. De drukhoogte reageert op het schakelen van de winputten 04-04 en 03-15, zie Figuur 4-2. Hier moet verticale weerstand in het pakket aanwezig zijn om de gemeten verschillen in de drukreactie te kunnen verklaren.

Tabel 4-1 geeft voor enkele putcombinaties in hetzelfde compartiment het gemeten effect op elkaar weer. Ook hier geldt dat er naast de compartimentering nog aanvullende weerstand in het pakket aanwezig moet zijn of dat het doorlaatvermogen per compartiment verschilt

Tabel 4-1 Overzicht van effecten van buurputten op elkaar binnen een zelfde compartiment

Putcombinatie	Informatie ligging filters	Gemeten effect in buurput t.g.v. schakelen genoemde put	Effect verschaald naar gelijk debiet (150 m ³ /h) en afstand (80 m)
Winput 01-19 (75 m ³ /h) en 02-13 (150 m ³ /h),	Ongelijke hoogte, loodrecht op anisotropie, afstand 80 m	P01-19=15cm en p02-13=27cm	Effect circa 28 cm
Winput 06-20 en 10-17 (beide 133 m ³ /h)	Gelijke hoogte, loodrecht op anisotropie, afstand 80 m	54 cm	Effect circa 60 cm
Winput 03-15 (62 m ³ /h) en 04-04 (125 m ³ /h)	Ongelijke hoogte, in de anisotropierichting, afstand 70 m	P03-15=20 cm	Effect circa 35-42 cm

5 Grondwaterstroming en intrekgebied

5.1 Materiaal en methode: Azuremodel

Door Vitens is aangegeven dat het Azuremodel het meest recente en accurate model is voor de winning Ellecom. Dit model draait op de server van Deltares en is in een IMOD-omgeving opgezet. De opbouw van het model is vergeleken met de brondata. Daarna is een berekening met het model uitgevoerd om het intrekgebied van de winning te bepalen. Als laatste is een uitspraak gedaan in hoeverre het model geschikt is om berekeningen op putniveau uit te voeren om toekomstscenario's te toetsen.

5.2 Controle modelopbouw

Voor een toelichting op de opzet van het model wordt verwezen naar de handleiding (Deltares, 2014). Alleen de belangrijkste parameters zijn getoetst aan brondata.

5.2.1 Laagopbouw

Tabel 5-1 geeft een overzicht van de modelparameters weer zoals deze in het model zijn opgenomen ter plaatse van het winveld. (X-coördinaat: 203.150 en Y-coördinaat: 450.500). In de omgeving van de winning veranderen alleen de c-waarden in het eerste watervoerende pakket significant.

Tabel 5-1 Overzicht parameters grondwatermodel Azure op het winveld Ellecom

laag	Top [mNAP (m-mv)]	Bot [mNAP (m-mv)]	Dikte laag [m]	kD [m ² /d - m/d]	C [d]	Anifactor [-]	Anihoek ** [-]
1	34 (0)	11 (13)	23	0 - 0	10	0.06	127
2	11 (13)	2 (32)	9	148 - 16	10/100*	0.4	127
3	2 (32)	-5 (39)	7	110 - 16	10/100*	0.31	127
4	-5 (39)	-17 (51)	12	176 - 15	10/100*	0.23	127
5	-17 (51)	-39 (73)	22	329 - 15	100	0.04	127
6	-39 (73)	-52 (86)	13	195 - 15	18	0.07	127
7	-52 (86)	-63 (97)	11	159 - 15	10	0.14	127
8	-63 (97)	-71 (105)	8	460 - 57	164,000	0.06	127
9	-71 (105)	-93 (127)	22	709 - 32			

*Deze waarde geldt voor het gebied ten noorden van de winning. ** een richting van 127 graden komt overeen met een zuidoostelijke strekkingsrichting (het noorden is 0 graden).

Op basis van een vergelijking van deze parameters met de brondata worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- Het horizontale doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket (modellaag 1 t/m 8) bedraagt 1600 m²/d. Dit is lager dan het doorlaatvermogen dat op basis van boring 33G1129 is ingeschat, maar dit komt wel overeen met het berekende doorlaatvermogen in hoofdstuk 4 op basis van de stijghoogtemetingen. De doorlatendheid in het eerste watervoerende pakket bedraagt in het model meestal 15 m/d. Alleen onderin het pakket bestaat het watervoerende pakket uit grof zand (k-waarde van 57 m/d). De boorbeschrijvingen beschrijven vooral grove zandlagen, soms afgewisseld met fijnere zandlagen. De fijne zandlagen zijn echter niet op een bepaalde diepte

- veel voorkomender dan op andere diepten. Een doorlatendheid van 15 m/d lijkt aan de lage kant voor het watervoerende pakket;
- In het model is stroomopwaarts van het winveld een grotere verticale weerstand tussen de verschillende modellagen, die tezamen het eerste watervoerende pakket vormen, gedefinieerd (100 d in plaats van 10 d). Uit de analyse in hoofdstuk 3 en 4 blijkt dat er inderdaad verticale weerstand in het pakket voorkomt. Deze bestaat meestal uit dunne laagjes klei en/of leem van maximaal een meter dik. Daarnaast zijn er fijne zandlagen aanwezig. Of de hogere weerstandswaarden ten noorden van het winveld plausibel zijn, kan niet op basis van de gegevens gecontroleerd worden. De weerstand zoals deze op het winveld is gedefinieerd komt overeen met de brondata;
 - De weerstand van de eerste scheidende laag (164.000 d) is erg hoog. Uitwisseling met het onderliggende pakket treedt in het model niet op;
 - De stuwingsrichting wordt door middel van een anisotropiefactor en α -hoek in het model opgelegd. Deltares heeft gebieden gedefinieerd waarin de stuwingsrichting uniform is. De stuwingsrichting komt overeen met andere bronnen en stijghoogteanalyse (Deltares, 2014). Uit de analyse in hoofdstuk 4 blijkt dat er duidelijke kleischotten zijn, maar ook dat er in andere richting weerstand tussen winputten aanwezig is. Op putniveau is de anisotropie in werkelijkheid dus gecompliceerder dan in het model is opgenomen.

Winputten

De locaties van de winputten en de filterdiepten zijn gecontroleerd. Deze komen overeen met de brondata. Er stond nog één inmiddels verlaten winput aan (P06-06). Deze winput is uitgezet. De 13 winputten zijn toegekend aan de modellagen waarin de winputten gepositioneerd zijn en het debiet is evenredig met de filterlengte in het pakket verdeeld over de modellagen. Iedere winput heeft in het model een totaaldebiet van 1092 m³/dag of 45,5 m³/h (in totaal komt dit neer op 5.2 Mm³/jaar). In werkelijkheid staan niet alle winputten tegelijkertijd aan en is dus het momentane putdebiet hoger. Voor effectberekeningen op de regionale hydrologie is deze aanpak gangbaar, maar voor het berekenen van intrekgebieden van individuele winputten kan dit tot fouten leiden wanneer winputten afgelopen decennia veel meer- of minder hebben onttrokken dan gemiddeld.

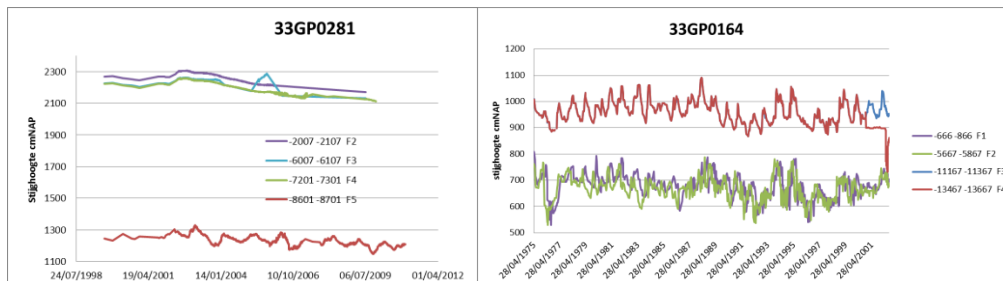
5.3 Controle grondwaterstanden en stijghoogten

5.3.1 Waterstanden

Twee waarnemingsputten hebben meerdere waarnemingsfilters waarin over een langere periode stijghoogtemetingen zijn uitgevoerd. Waarnemingsput 33GP0164 ligt aan de zuidwestkant het puttenveld en waarnemingsput 33GP0281 ligt circa 2,8 km ten noordwesten van het winveld. Beide waarnemingsputten hebben meerdere filters in het eerste watervoerende pakket.

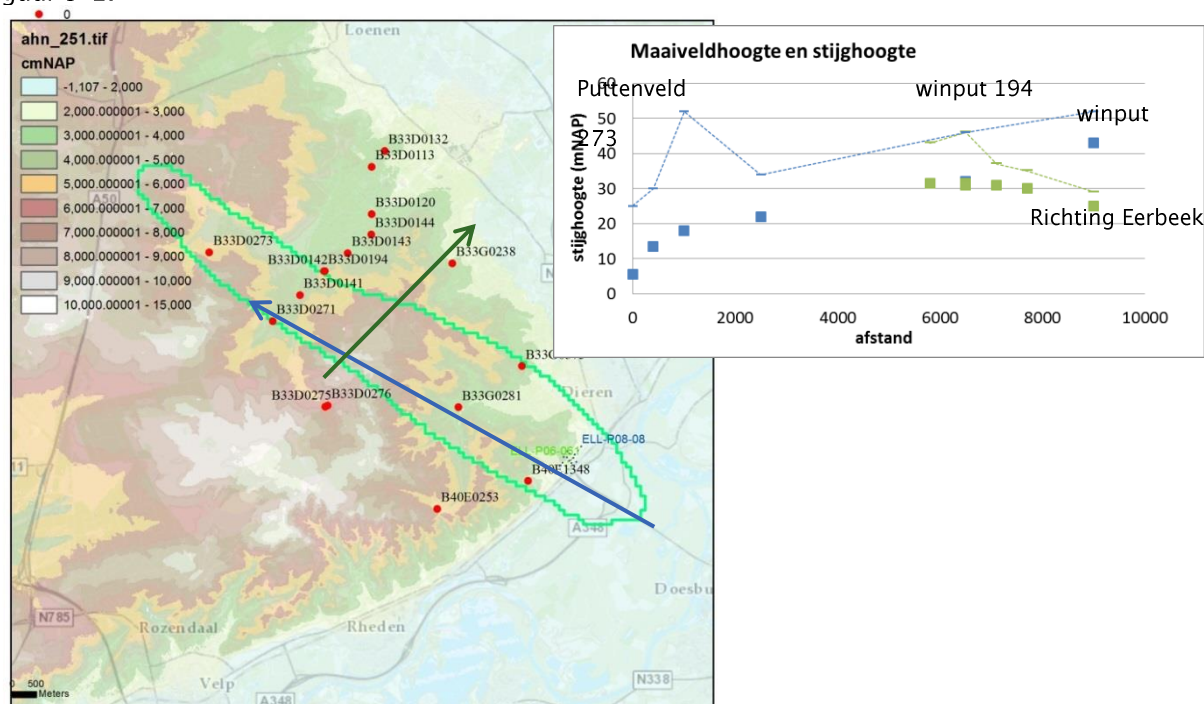
Uit de stijghoogtemetingen in waarnemingsput 33GP0164 (gelegen op het puttenveld op een hoogte van 21,5 m+NAP) blijkt dat de stijghoogte onder de scheidende laag (dieper dan 100 m-mv) circa 3 m hoger is dan in het eerste watervoerende pakket. Er is sprake van stroming van het tweede naar het eerste watervoerende pakket. De stijghoogte in filter 1 is gemiddeld 20 cm hoger dan de stijghoogte in filter 2 (beide in het eerste watervoerende pakket), maar op sommige momenten is filter 2 juist hoger dan filter 1. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat de filters in verschillende mate beïnvloed worden door omliggende winputten en duidt op verticale weerstand in het pakket tussen de filters.

2,6 km bovenstrooms van het puttenveld (maaveldhoogte 33 m+NAP) is de verticale stromingsrichting omgekeerd. Hier infiltreert het water vanuit het eerste naar het tweede watervoerende pakket. Ook hier is de stijghoogte boven in het eerste watervoerende pakket hoger dan onderin, ongeveer een halve meter.



Figuur 5-1 Stijghoogtemetingen in waarnemingsputten. Links: 2.8 km ten noordwesten van het winveld. Rechts: op het winveld. In de legenda wordt de filterdiepte weergegeven in cmNAP.

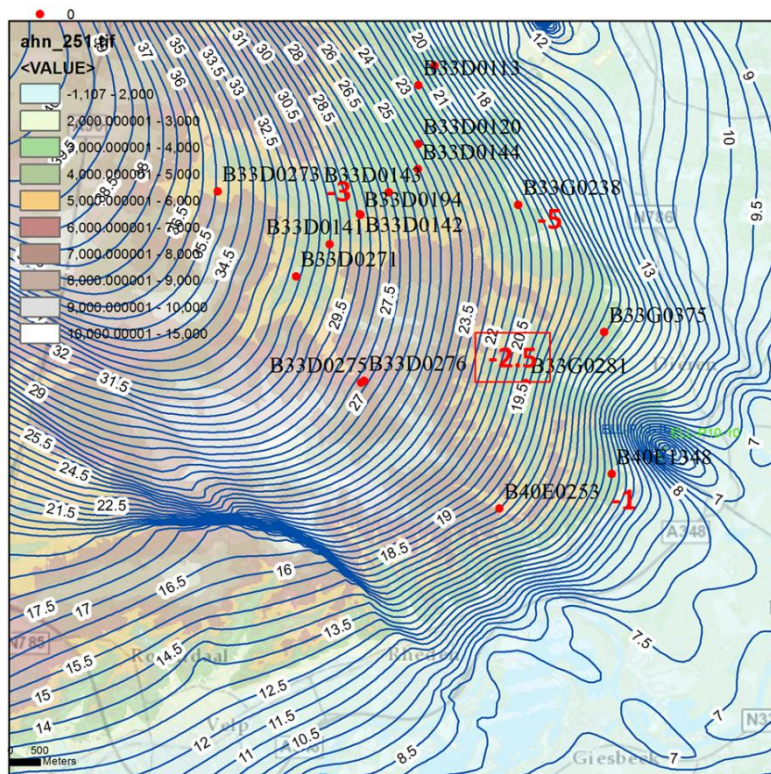
In DINO-loket zijn naast deze metingen nog enkele locaties met enkele stijghoogtemetingen beschikbaar zie Figuur 5-2.



Figuur 5-2 AHN-kaart met twee lijnen waarlangs het stijghoogteverloop in 2006 is geprojecteerd. Blauw is noordwest-zuidoost, groen is zuidwest-noordoost. Ook het intrekgebied is weergegeven op de kaart (groene omlijning).

De berekende waterstanden met het model zijn vergeleken met de gemeten waterstanden in enkele peilbuizen. Het berekende isohypsenpatroon heeft een structureel lagere positie ten opzichte van de meetwaarden.

Op het winveld is de berekende stijghoogte ongeveer een meter te laag en hoger op de Veluwe loopt het verschil op tot 2,5 à 5 meter.

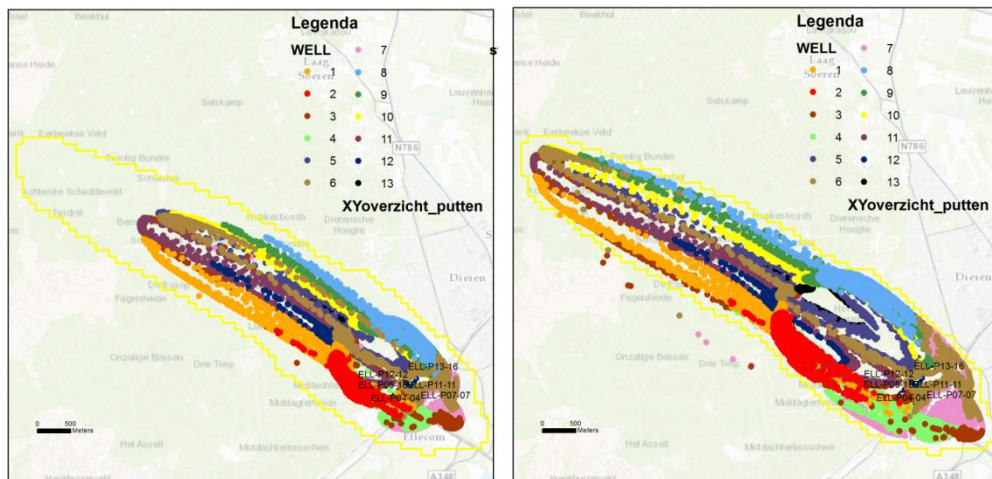


Figuur 5-3 Overzicht isohypsenpatroon berekend met model Azure en de verschillen met enkele gemeten waterstanden (rood) in meters.

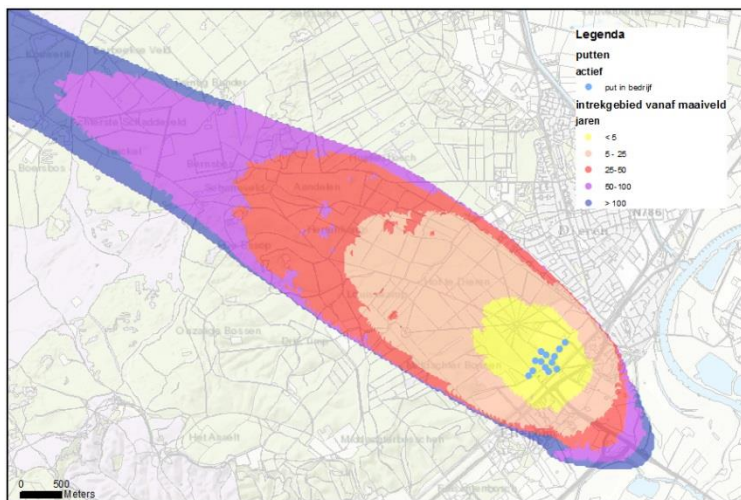
5.4 Intrekgebied en hydrologische response curce

Met het model zijn stroombanen berekend. Figuur 5-4 geeft het intrekgebied na 10 en na 25 jaar onttrekking van 5 Mm³/jaar weer, berekend vanaf de winputten. De omhullende gele contour is de 25-jaarszone, berekend door Vitens met een eerdere versie van het Azure-model. Het resultaat komt goed overeen, wat er op duidt dat de modelversies weinig verschillen.

Figuur 5-5 geeft het berekende intrekgebied vanaf maaiveld weer. In 2015 heeft de winning een hoeveelheid water gewonnen die overeenkomt met ongeveer 42 jaar winnen van 5 Mm³/jaar.



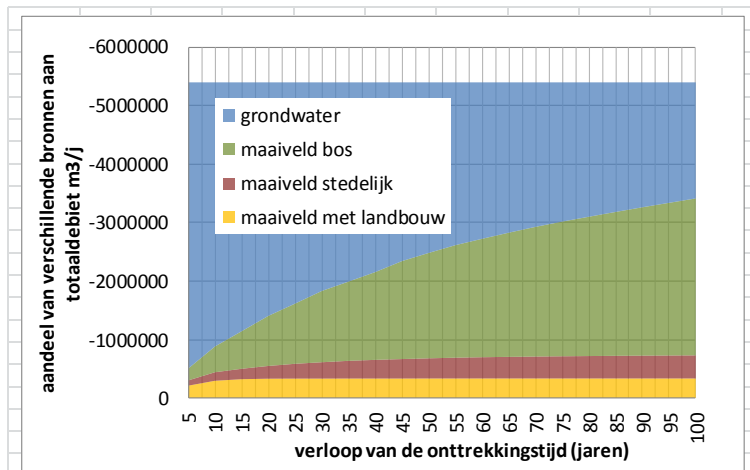
Figuur 5-4 Intrekgebied van winning Ellecom per winput na 10 jaar (links) en na 25 jaar (rechts). De gele omhullende contour is het 25-jars intrekgebied berekend door Vitens met Azure.



Figuur 5-5 Berekende intrekgebied van de winning Ellecom vanaf maaiveld. Weergegeven wordt de reistijd van het grondwater vanaf grondwaterspiegel naar de winputten..

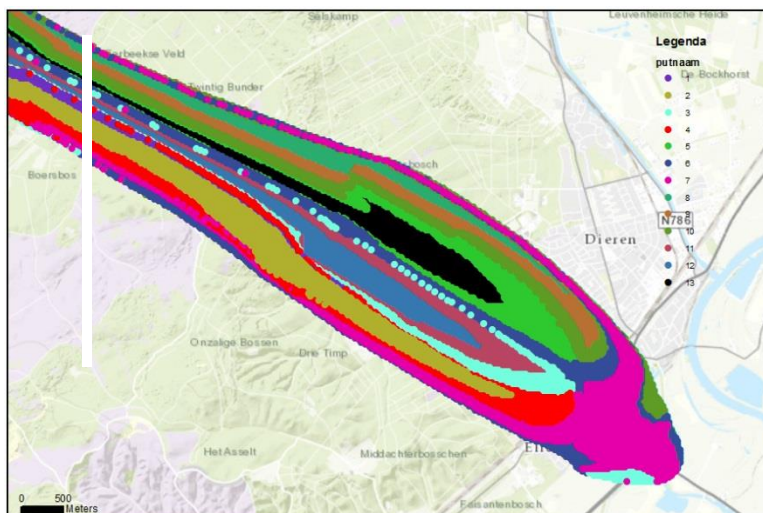
In de situatie zonder winning stroomt het water vanaf de Veluwe naar de IJssel. Het aandeel stuwwalwater is bij aanvang van de winning dus 100 % in alle winputten. Figuur 5-6 geeft per landgebruik het aandeel infiltratiewater weer in de winputten ten opzichte van het grondwater dat al in de ondergrond aanwezig bij aanvang van de winning. Uit het model blijkt dat al het water afkomstig van het maaiveld in landbouwgebied na ongeveer 10 jaar bij de winning is. Dit wordt bevestigd door de dalende trend van nitraat en chloride in de winputten die zich, na het omzetten van de landbouwpercelen, over een periode van ongeveer 10 jaar voltrok. Voor het stedelijk gebied geldt dat al het water van het maaiveld in circa 40 jaar naar de winputten is gestroomd volgens het model. Nu (na 42 jaar winning met 5 Mm³/jaar) is volgens het model ongeveer 13 % van het water in de winning afkomstig uit landbouw of stedelijk gebied. Omdat een duidelijke tracer voor invloed van het stedelijke gebied ontbreekt kan dit niet goed geverifieerd worden met waterkwaliteitsmetingen (zie hoofdstuk 6).

Uitgaande van het model is het voor de huidige kwaliteit van de winputten dus van belang wat er de afgelopen 15 jaar op het landbouwgebied is ingestroomd en het afgelopen 50 jaar in het stedelijke gebied is ingespoeld.

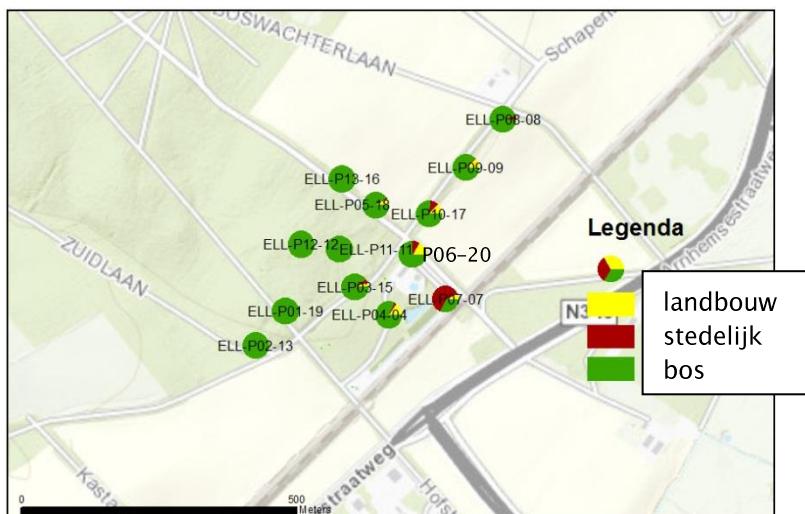


Figuur 5-6 Overzicht van de verblijftijden vanaf het maaiveld per landgebruik

Figuur 5-7 geeft het intrekgebied per winput weer. Aandachtspunt is dat in deze berekening alle winputten continu aan staan met een lager debiet dan in werkelijkheid. Zichtbaar is dat nu het meeste water vanuit stedelijke gebied naar winput 07-07 stroomt. In werkelijkheid staat deze winput meestal uit. Deze waterkwaliteit zal dan dus door de winputten p06-20 en p10-17 aangetrokken worden. Het is zichtbaar dat volgens het model alleen vanaf de uiterste westgrens van Dieren het water naar de winning toestroomt. Vanuit Ellecom stroomt er meer water toe. Dit blijkt ook uit de chemische analyse (zie hoofdstuk 6), de winputten p04-04, P07-07 en P06-20 laten stedelijke beïnvloeding zien.



Figuur 5-7 Intrekgebied per winput vanaf het maaiveld



Figuur 5-8 Het aandeel water in de winput vanaf het maaiveld met de verschillende typen landgebruik

5.5 Geschiktheid model voor toekomstverkenningen

De resultaten van dit model komen beter overeen met de bevindingen uit deze systeemanalyse dan de resultaten van het oude modelinstrumentarium (gebruikt bij de berekening van het intrekgebied in het gebiedsossier). De chemische samenstelling van het water in de winputten is in lijn met de stromingsrichting die het model berekent (zie hoofdstuk 6).

Daarnaast valt op dat de berekende grondwaterstanden meters verschillen van de gemeten waarden. In hoofdstuk 3 en 4 is ook beschreven hoe complex de bodem is met heterogeniteiten in de vorm van compartimenten en weerstandbiedende laagjes binnen het watervoerende pakket. Er is te weinig informatie om deze heterogeniteiten tot in detail in het model op te nemen. De in het model verwerkte anisotropie is op regionaal niveau een gangbare werkwijze, die niet meer dan een indicatie geeft van de werkelijkheid. De verschillen tussen gemeten en berekende waarden in de orde van meters bevestigen dit gebrek aan nauwkeurigheid.

Het is voor te stellen dat juist de toestroming vanuit het noordoosten en zuidwesten (haaks op de stuwingsrichting) op hoofdlijnen nog wel goed door het model wordt berekend. Dit zijn immers de richtingen met de minste weerstand, en dus de grootste toestroming. De vraagstelling voor de winning Ellecom speelt echter op putniveau: het gaat er om of de ene winput een andere kwaliteit gaat leveren als een andere winput meer of minder onttrekt. Dat wordt nog complexer als ook de invloed van de bodemchemie hier gaat meespelen: in welke mate onttrekt een winput meer of minder water dat door de anaerobe zone is gestroomd?

Om dergelijke vragen modelmatig te beantwoorden, is een gedetailleerdere modellering nodig dan nu met het regionale model AZURE beschikbaar is. De beschikbare kennis van de bodemopbouw is ook onvoldoende. Er kan wel aangetoond worden dat er kleilagen en -schotten voorkomen, maar waar precies ze liggen en welke weerstandwaarden er aan gekoppeld moeten worden, is onbekend. De inspanning om deze informatie alsnog te verkrijgen wordt binnen het perspectief van dit project te groot beoordeeld.

6 Hydrochemische karakterisatie

In dit hoofdstuk wordt de waterkwaliteit rondom de winning Ellecom beschreven. Hierbij wordt regelmatig verwezen naar de waterkwaliteitsnormen. Deze normen staan aan het eind van dit hoofdstuk in Tabel 6-3

6.1 Materiaal en methoden: HydroGeoChemcal

Voor het controleren en verwerken van de chemische gegevens is gebruik gemaakt van het programma Hydrogeochemical (Stuyfzand, 2012), hierna "HGC" genoemd. Het programma biedt diverse controles van ionenbalans, correlatiematrixes en berekeningen van evenwichtsparameters.

Voor een hydrologische systeemanalyse is het noodzakelijk om de watersoorten te onderscheiden naar herkomst en ouderdom. De chemische analyse is vooral gericht op de parameters die belangrijk zijn voor de zuivering, zoals ijzer (Fe) en mangaan (Mn). Andere stoffen worden beschouwd omdat deze informatie geven over de herkomst van het water. Ook is beoordeeld voor alle waterkwaliteitsparameters voldoen aan het Drinkwaterbesluit uit 2010 (bron: webpagina vermelding in literatuurlijst).

6.2 Landgebruik en mogelijke verontreinigingsbronnen

De informatie in deze paragraaf is afkomstig uit het Gebiedsdossier.

6.2.1 Landbouwpercelen

Rondom de winning liggen enkele agrarische percelen, welke van 1970 –1995 intensief beheerd zijn (mais en gras). Daarna zijn deze extensief beheerd.

Aannemelijk is dat het grondwater ten gevolge van het intensieve beheer verhoogde nitraatconcentraties bevat. Chloridazon–desphenyl is een product dat nog weleens gebruikt wordt bij houtproductie.

6.2.2 Spoorbaan

Direct ten zuiden van het waterwingebied ligt een spoorbaan. Het is goed mogelijk dat stoffen, gebruikt bij het onderhoud en beheer van de spoorbaan of de berm zoals BAM, uitgespoeld zijn naar het grondwater in het verleden. Prorail heeft aangegeven dat op dit traject inmiddels geen bestrijdingsmiddelen meer gebruikt worden.

6.2.3 Onkruidbestrijdingsmiddelen

De gemeente Rheden past al 10 jaar geen chemische bestrijdingsmiddelen meer toe in het openbaar groen binnen het grondwaterbeschermingsgebied, erbuiten worden zij alleen incidenteel toegepast. Ook op de sportvelden worden geen bestrijdingsmiddelen gebruikt. Op landgoed Twickel zijn enkele moestuinen gelegen. Het is niet bekend of hier onkruidbestrijdingsmiddelen gebruikt worden.

Stoffen die mogelijk uitspoelen of uitgespoeld zijn in het verleden, zijn: BAM, bromacil en chloridazon (en afbraakproducten van onkruidbestrijdingsmiddelen).

6.2.4 Riolering

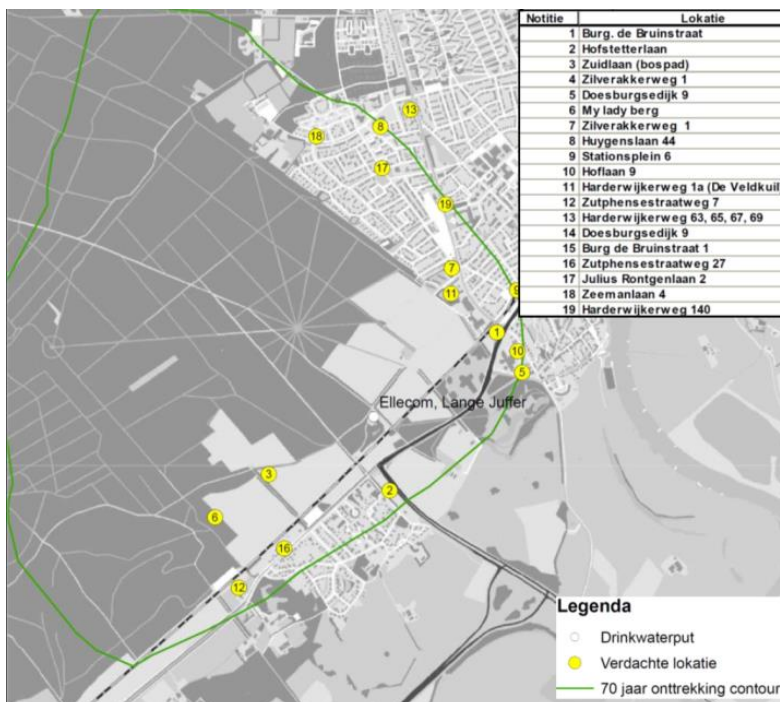
In Ellecom zijn daken afgekoppeld van het rioolstelsel. Het water infiltreert in de bodem via een lamellenfilter en infiltratieputten of -kratten. In Dieren-west komt dit ook voor, maar buiten het grondwaterbeschermingsgebied. De gemeente heeft aangegeven dat in de omgeving van de winning gemengde stelsels en drukriolering aanwezig zijn (met uitzondering van het afgekoppelde hemelwater) die in de jaren '50 en '60 zijn aangelegd en in matige tot voldoende staat verkeren.

Stoffen die kunnen uitspoelen via het rioolstelsel, zijn o.a. nitraat, kalium, chloride, sulfaat, chloraat, gechloreerde koolwaterstoffen, antropogeen gadolinium, geneesmiddelen en zoetstoffen (acesulfaam en sucralose).

6.2.5 Bodemverontreinigingen

Door Tauw is onderzoek gedaan naar de mogelijk risico's van verontreinigingen in de omgeving van de winning Ellecom (Tauw, 2010). Uit de inventarisatie komen 5 potentiële probleemlocaties naar voren. Deze zijn allen gelegen buiten het waterwingebied:

- Locatie 1: Burgemeester de Bruinstraat 1 te Dieren (tolueen, benzeen en MTBE), benzinestation.
- Locatie 5: Doesburgsedijk 9 te Dieren (benzeen, tolueen) autobusstation remise.
- Locatie 6: Zutphensestraatweg te Ellecom (voormalige stortplaats My lady berg) (dichloormethaan, vinylchloride 1,2-dichloorethaan, 1,1-dichlooretheen, 1,2-dichlooretheen, dichloorpropan, 1,3,5-trimethylbenzeen, tetrahydrofuraan en 1,3-dichloorbenzeen).
- Locatie 7: Zilverakkerweg 1 te Dieren (benzeen, tolueen) benzinestation.
- Locatie 11: Harderijkerweg 1a te Dieren (dichloorpropan, dichloormethaan, sulfaat, fenolen en tetrahydrofuraan) stortplaats op land.



Figuur 6-1
Overzicht van de
potentiële
verontreinigingslocati
es uit het onderzoek
van Tauw. Bron:
Tauw, 2010.

6.2.6 Oppervlaktewater

Binnen het grondwaterbeschermingsgebied is de Ruitersbeek gelegen. Het water infiltreert vanuit de beek naar het grondwatersysteem. Voor zover bekend vormt de waterkwaliteit van deze beek geen bedreiging voor de winning (bron: gebiedsdossier).

Ten oosten van de winning (op een afstand van circa 1.3 km) ligt de rivier de IJssel. In de periode 1981 tot 1990 bedroeg de stand in de IJssel gemiddeld +6.2 mNAP en varieerde tussen +5.6 en +8.3 mNAP gedurende het jaar (bron: Waterbase statistieken 1980–1990 Rijkswaterstaat). Het grondwaterniveau nabij de winning varieert tussen +6 en +7.5 mNAP (zie Figuur 5–1). Op basis hiervan is het niet aannemelijk dat er veel water vanuit de IJssel naar het winveld toestroomt.

6.3 Ruimtelijke waterkwaliteitspatronen (in peilbuizen)

6.3.1 Clustering van waterkwaliteitsparameters

De lineaire Pearson correlatie tussen de verschillende parameters in de winputten is bepaald. Tabel 6–1 laat zien dat de meeste parameters in de winputten onderling positief gecorreleerd zijn. Nitraat en chloride zijn sterk positief gecorreleerd omdat vermisting en belasting met zouten vaak tegelijk optreden in ondiep grondwater. Het anoxische, diepere grondwater is ouder en vaak nog vrij van verontreinigingen met meststoffen en zouten.

De parameters Fe en Mn zijn negatief gecorreleerd met de EC, Cl en vooral NO₃, ook al is het verband niet sterk. Deze negatieve correlatie is ook in lijn met de verwachtingen dat Fe en Mn pas oplossen op grotere diepte wanneer alle nitraat uit het grondwater verdwenen is.

Tabel 6–1 Correlatie alle analyse resultaten in winputten

Parameter	EC	pH	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Ba	Mn	Fe	Ca	MOC-	TDS	K	Na	Mg
EC	1.00														
pH	0.10	1.00													
Cl	0.96	0.07	1.00												
SO ₄	0.85	-0.18	0.77	1.00											
HCO ₃	0.87	0.30	0.76	0.68	1.00										
NO ₃	0.95	0.04	0.91	0.80	0.77	1.00									
Ba	0.87	0.19	0.83	0.62	0.81	0.85	1.00								
Mn	-0.34	0.33	-0.42	-0.18	-0.04	-0.52	-0.41	1.00							
Fe	-0.33	0.31	-0.38	-0.36	0.01	-0.46	-0.31	0.75	1.00						
Ca	0.98	0.12	0.91	0.84	0.92	0.93	0.87	-0.24	-0.24	1.00					
MOC-	0.82	-0.76	0.81	0.89	0.48	0.97	1.00	-0.46	-0.58	0.75	1.00				
TDS	0.99	0.12	0.93	0.85	0.92	0.94	0.88	-0.28	-0.27	0.99	0.80	1.00			
K	0.89	0.17	0.82	0.72	0.89	0.79	0.90	-0.32	-0.33	0.91	0.89	0.91	1.00		
Na	0.96	0.07	0.95	0.82	0.82	0.89	0.79	-0.36	-0.34	0.91	0.84	0.95	0.85	1.00	
Mg	0.98	0.04	0.92	0.86	0.87	0.95	0.86	-0.31	-0.37	0.98	0.85	0.98	0.88	0.93	1.00

6.3.2 Indeling watertypen

De waterkwaliteit in de omgeving van het winveld is ingedeeld in 6 typen:

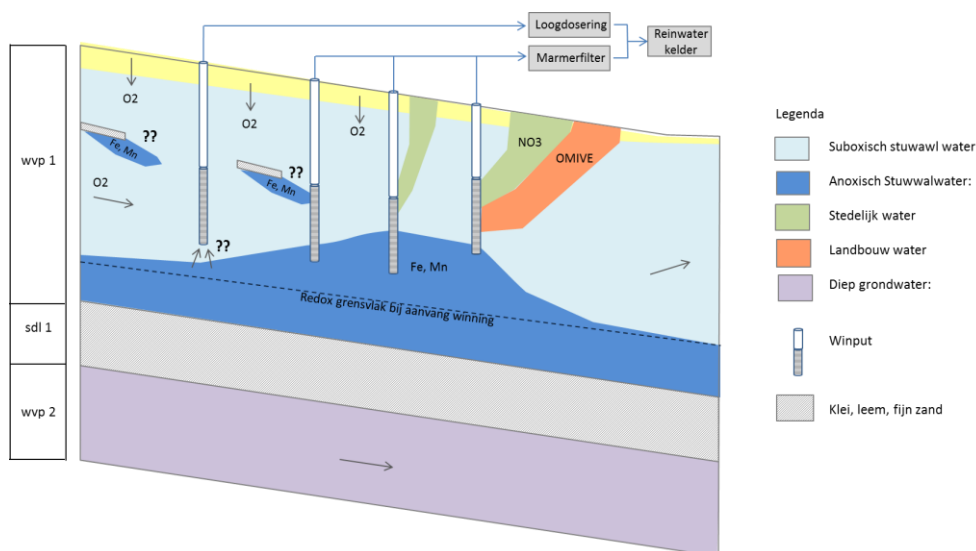
- (sub)oxisch stuwwalwater. Hiermee wordt het water bedoeld dat vanaf de Veluwe stuwwal via het eerste watervoerende pakket toestroomt. Stroomopwaarts van de winning is één waarnemingsput met meerdere filters in dit pakket aanwezig. De kwaliteit van het stuwwalwater is hierop gebaseerd. Dit water kenmerkt zich door een EC van circa 12 mS/m, een pH van 6.5, voornamelijk een g0CaMix0 watertype.
- Anoxisch stuwwalwater. In het eerste watervoerend pakket is een overgang van (sub)oxisch naar anoxisch water (Fe-reducerend). De redoxovergang bevindt zich in het onderste derde deel van het watervoerende pakket. Mogelijk komt deze overgang lokaal ondieper of dieper voor;
- Diep stuwwalwater. De overgang naar het diepe stuwwalwater treedt op in de eerste scheidende laag rond 115 m–mv. Het tweede watervoerende pakket is

marien en hardt het zure ondiepe Veluwewater op tot type G2CaHCO₃. Het water heeft een duidelijk andere samenstelling dan in het eerste watervoerend pakket. De EC loopt met de diepte op van 22 tot 72 mS/m en de pH van 7.8 tot 8.2. Het water heeft hogere bicarbonaat- en calciumconcentraties, en is (diep) anoxisch (ijzer- tot sulfaatreducerend);

- **Stedelijk water.** In het stedelijk gebied staan 6 peilbuizen. De waterkwaliteit in deze peilbuizen verschilt per locatie en in de tijd. Het water is overal (sub)oxisch en nitraat reducerend. In Dieren-zuid (peilbuizen 33GP0399 en 33GP0398 gelegen langs de hoofdweg) en in Ellecom (33GP0167 ook langs de hoofdweg), worden hoge chlorideconcentraties aangetroffen (rond 100 mg/l). Het water, afkomstig uit de peilbuizen in Ellecom en peilbuis 33GP0399, heeft een pH van 7.1 en hogere concentraties bicarbonaat, sulfaat, nitraat en calcium. Van de organische microverontreinigingen is allen BAM (een metaboiet/ afbraakproduct van glyfosaat) aangetroffen in meerdere peilbuizen. Peilbuis 33GP0399 (in Dieren) laat van de meeste stoffen de hoogste concentraties zien en eenmalig lage doses VOCl-afbraakproducten (VOCl = Vluchtige OrganoChloor-verbindingen);
- **Landbouw water.** In de omgeving van de winputten zijn landbouwpercelen gelegen, welke nog steeds intensief geëxploiteerd worden. Helaas zijn geen waarnemingsputten benedenstrooms van de landbouw percelen geplaatst. Verwacht wordt dat vanaf deze percelen water kan infiltreren met verhoogde concentraties aan o.a. nitraat, sulfaat en kalium. Ook is het mogelijk dat dit water organische microverontreinigingen zoals BAM/ bromacil) bevat.

Uit de typering blijkt dat er geen tracers zijn die eenduidig de herkomst van het water uit landbouw of stedelijk gebied kunnen onderscheiden. Hogere chlorideconcentraties in een winput kunnen bijvoorbeeld afkomstig van wegzout uit stedelijk gebied, maar in het landbouwgebied direct ten zuiden van de winning liggen ook enkele hoofdwegen.

Figuur 6-2 toont de ruimtelijke samenhang van de verschillende watertypen.



Figuur 6-2 Conceptueel model van de grondwaterstroming, hydrochemie en waterzuivering rondom de winning Ellecom.

Tabel 6-2 Samenstelling van de drie van de vier onderscheiden waterkwaliteitstypen op basis van de beschikbare waarnemingsfilters

Watertype	Ondiep stuwwalwater (midden)	Ondiep stuwwalwater (onderin)	Diep stuwwalwater	Stedelijk water
Diepte filter	25 en 55 m-mv	95 m-mv	> 115 m-mv	15 tot 20 m-mv
Parameter				
EC (mS/m)	11	12	21	16-100
TDS (mg/l)	82-80	106	170	100-700
O2 (mg/l)	ng*	ng	ng	ng
NO3 (mg/l)	3 -4	0.5	<MDL	14-62
SO4 (mg/l)	22 - 16	6	<2 tot 2	25-46
Mn (mg/l)	0 - 0.03	0.6	0.1	0-0.3
Fe (mg/l)	0.01-0.04	9	0.25	<MDL
NH4 (mg/l)	<MDL **	<MDL	0.1	<MDL
CH4 (µg/l)	<10	6-9	40	<MDL
MOC- (me/l)***	1.5-2	0.3	0.3 en lager	4 tot 7
SI	-2.5	-2	-0.2	-4 tot -0.5
TH (mmol/l)	0.4	0.4	1	0.5 - 4
pH (-)	6.5	6.7	7.8	5.5-7.2
Ca (mg/l)	14	12	40	13-127
HCO3 (mg/l)	26-31	64	132	6-342
Cl (mg/l)	7	5	6	22-115
Na (mg/l)	6.5	6	7	12-76
K (mg/l)	0.6	0.6	0.7	3-12
Mg (mg/l)	1.5	2	3	2-17
Al (µg/l)	<5 tot 6	<2	<2	Tot 50
As (µg/l)	<2	5	<2	Tot 3.5
Cd (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	Tot 0.2
Co (µg/l)	<0.2	<0.2	<0.2	Tot 0.2
Cu (µg/l)	<5	<5	<5	<MDL
Ni (µg/l)	<2	<2	<2	Tot 4
Zn (µg/l)	<5	<5	<5	Tot 40
Ba (µg/l)	3-5	5-10	70	20-80
Som VOCL	ng	ng	ng	<MDL
Chloraat (µg/l)	ng	ng	ng	ng
Bromacil (µg/l)	ng	ng	ng	<MDL
Bentazon (µg/l)	ng	ng	ng	<MDL
BAM (µg/l)	ng	ng	ng	0.1-2

*ng = niet gemeten, **<MDL = lager dan detectielimiet

6.4 Ruimtelijke waterkwaliteitspatronen (in winputten)

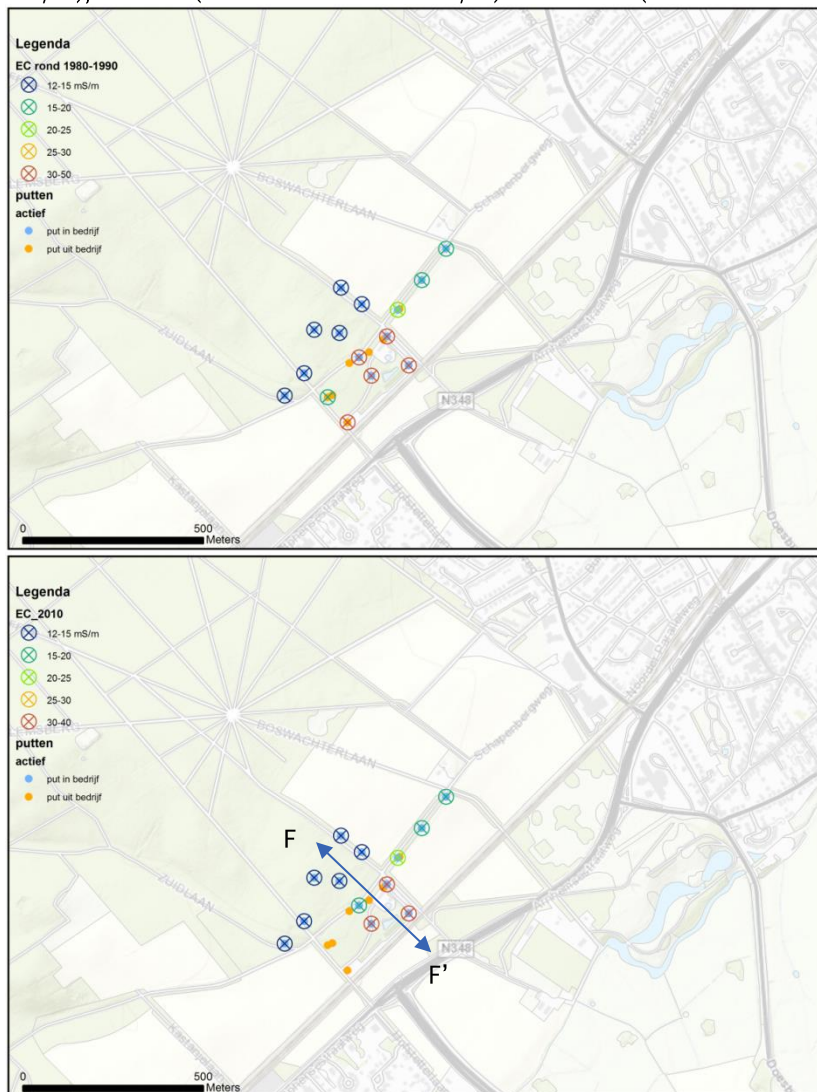
6.4.1 Fluctuaties waterkwaliteit

De waterkwaliteit in winputten is sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering. Vaak is de bemonsterde waterkwaliteit van een winput anders, als de winput een tijd heeft uitgestaan. De meest voorkomende situaties zijn dat de put, als deze een tijdje uit staat, een waterkwaliteit heeft met minder beïnvloeding van bovenaf (afname van nitraat en chloride) of van onderaf (afname van Fe en Mn). Dit betekent dat om de waterkwaliteitsontwikkeling in een winput te beoordelen, de bedrijfsvoering van de winput ook meegenomen moet worden. Deze is helaas maar voor een beperkte periode bekend. In hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op de relatie tussen bedrijfsvoering en waterkwaliteit.

6.4.2 Redoxparamaters en nutriënten

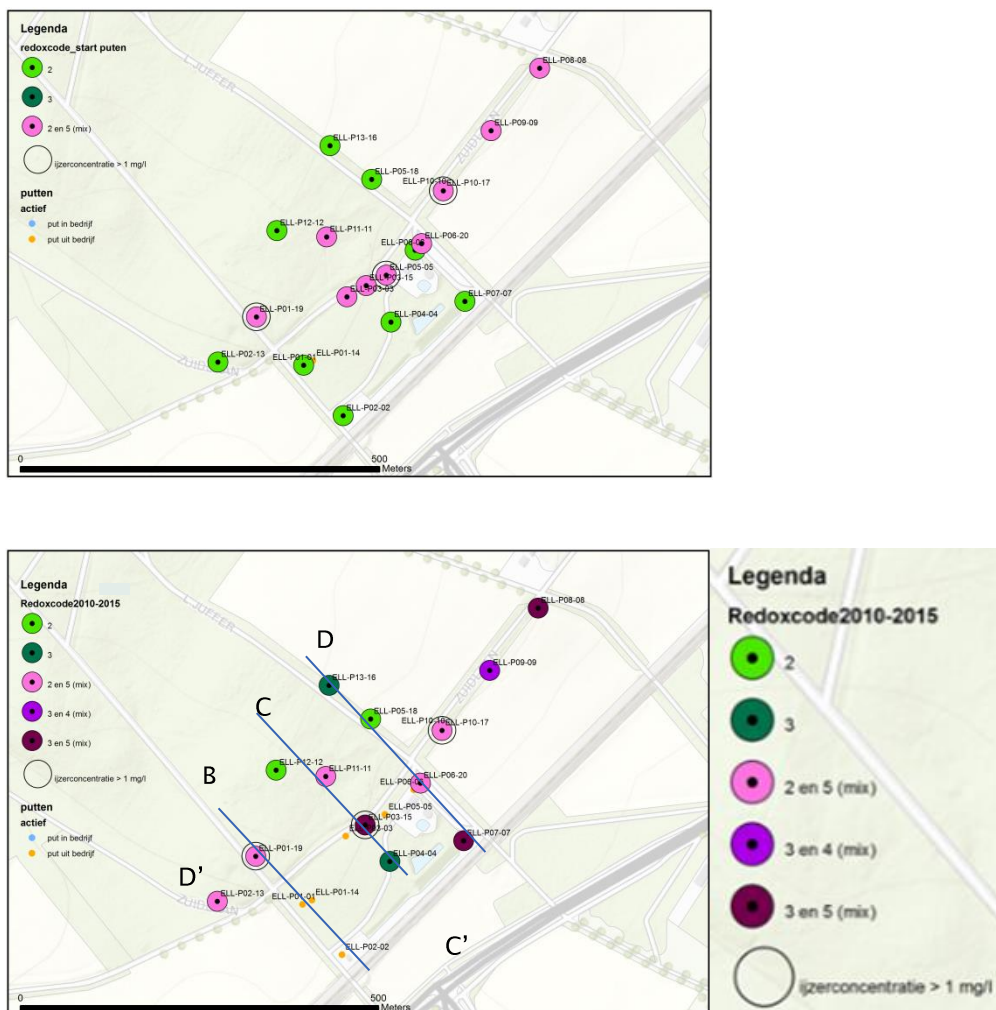
Figuur 6-3 geeft de EC-waarden in de winputten weer. Het water dat opgepompt wordt in de noordelijkst gelegen winputten, komt sterk overeen met de karakteristieken van het stuwwalwater. Het water dat benedenstrooms wordt gewonnen laat een duidelijke invloed van het stedelijke/landbouw gebied zien. De winputten midden op het winveld hebben meestal maar een beperkt hogere EC ten opzichte van de meest noordoostelijk gelegen winputten.

In enkele winputten neemt de EC rond 1995 af. Dit hangt samen met een afname van de chloride- en nitraatconcentratie in de winputten. Een verklaring hiervoor is het omzetten van het agrarisch landgebruik van intensief naar extensief binnen het waterwingebied. Dit is goed zichtbaar in de winputten P03-15 (EC van 35 naar 20 mS/m), P04-04 (EC van 50 naar 35 mS/m) en P08-08 (EC van 20 naar 16 mS/m).



Figuur 6-3 Overzicht vande EC gemeten in het ruwwater uit de winputten voor de periode 1980 - 1990 (boven) en het jaar 2010 (onder). Dwarsdoorsnede C-C' is gebruikt in Figuur 6-10

Bijlage III geeft een overzicht van de verschillende fasen die optreden bij een redoxovergang (Stuyfzand, 2012). De waterkwaliteit in de winputten is op basis hiervan geclassificeerd.



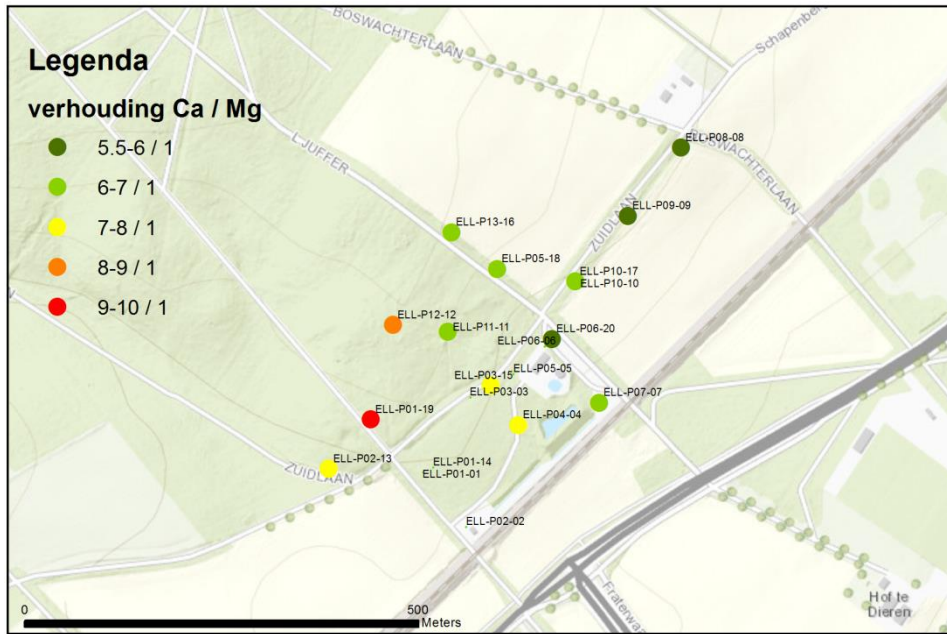
Figuur 6-4 Overzicht van de redoxcode in de winputten. Boven: code bij aanvang van winput of code van een inmiddels verlaten winput. Onder: code in periode 2010-2015.

6.4.3 Verhouding calcium- en magnesiumconcentratie

Vitens heeft geconstateerd dat bij veel winningen de verhouding tussen calcium en magnesium in een watermonster in agrarisch gebied anders is dan in stedelijk of niet beïnvloed grondwater, namelijk 5 op 1 in plaats van 10 op 1.

In de monitoringspeilbuizen in het stedelijke gebied blijkt dat de verhouding nogal verschilt. Soms is de verhouding inderdaad ongeveer 10 op 1 maar soms ook veel lager tot 3 op 1. Het water in de (ondiepe) monitoringspeilbuizen ten noordwesten van de winning in het gestuwde gebied, laten een verhouding van ongeveer 9 op 1 zien.

Figuur 6-5 geeft de verhouding weer zoals deze is aangetroffen in de analyses in de pompfilters. De winputten langs de agrarische percelen (p08-08, p09-09, p13-16, p05-18, p06-20 en p07-07) geven inderdaad een verhouding van 5 à 6 op 1 aan. Enkele stroomopwaarts gelegen winputten (p01-19, p02-13, p12-12) laten een hogere verhouding zien. Ook deze aanpak kan invloed vanuit het stedelijke gebied niet goed onderscheiden van de andere herkomstgebieden.

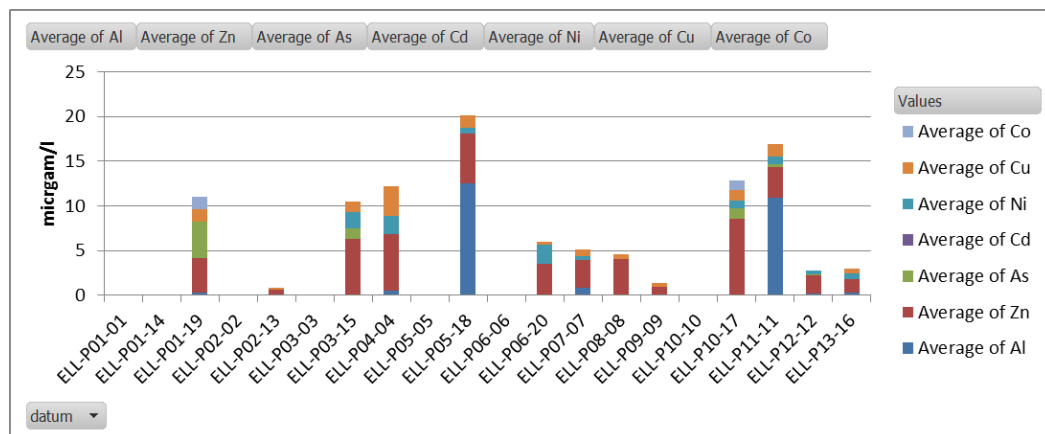


Figuur 6-5 Verhouding tussen de calcium- en magnesiumconcentratie in de winputten

6.4.4 Spore-elementen

Figuur 6-6 geeft weer welke 7 spore-elementen in de winputten voorkomen boven hun detectiegrens. Spore-elementen zijn alleen recentelijk gemeten. In de putten, die water met een hoge concentratie Fe aantrekken (P01-19, P03-15 en P10-17), is arseen > 1 µg/L aangetoond. Mogelijk wordt de grens voor arseen in het reinwater in de toekomst aangescherpt naar 1 µg/l. Een aandachtspunt daarvoor is dat de concentratie arseen in deze winputten varieert tussen 1 en 5 µg/l.

In de meeste winputten komt zink voor met een concentratie tussen 1 en 7 µg/l. In de winputten P05-18 en P11-11 komt aluminium voor met een concentratie van 10 µg/l. Deze winputten liggen naast elkaar. De eisen voor de maximale concentratie van deze spore-elementen in drinkwater is ruimschoot hoger (0.2 mg/l voor aluminium en 3 mg/l voor zink). Er is geen trend zichtbaar dat spore-elementen in de winputten nabij het stedelijke gebied toenemen.



Figuur 6-6 Overzicht van de gemiddelde concentratie per spore-element per winput.

6.4.5 Organische microverontreinigingen (OMIVE)

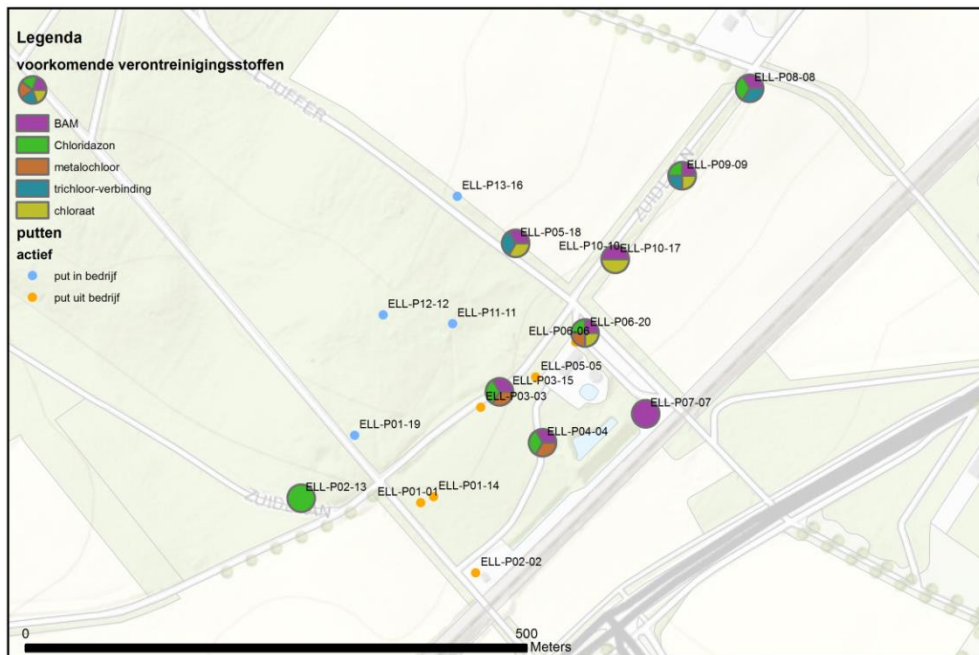
De winputten zijn tevens geanalyseerd op microverontreinigingsstoffen. De frequentie van de metingen verschilt per winput. Hieronder volgt een overzicht van de aangetroffen stoffen, en in Figuur 6–7 staat aangegeven in welke winputten overschrijdingen zijn aangetroffen. Overigens vindt nergens overschrijding plaats van de bedrijfs- en drinkwaternorm

- **Trichloormethaan (chloroform):** Deze stof is in 10 verschillende winputten aangetroffen, bijna altijd in het jaar 1999. De concentratie bedroeg toen 0.1 µg/l. Alleen in winput 05–18 zijn hogere concentraties aangetroffen, namelijk 1.1 µg/l in 1999 en 0.4 µg/l in 2007 (eerstvolgende meetmoment). In winput 09–09 is ook 1,1,1-trichloorethaan gemeten (0.1 µg/l) en trichlooretheen 0.1 µg/l. In winput 08–08 is tevens trichlooretheen à 0.2 µg/l aangetroffen. Chloroform kan in lage concentraties voorkomen in oxisch Veluwewater. Het wordt geproduceerd in de strooisellaag door schimmels. Vitens geeft aan dat de aangetroffen VOCL-concentraties vermoedelijk het gevolg zijn van monsternamen of labanalysefouten. Dit omdat de stof maar eenmalig is aangetroffen en niet in latere meetronden.
- **Chloraat:** Deze stof komt in enkele winputten voor in concentraties van 1 tot 15 µg/l. De stof is afkomstig van gewasbeschermingsmiddelen of biocode of het is een bijproduct van desinfectie (RIVM, 2009). Voor deze stof is geen eis opgenomen in het drinkwaterbesluit. In de richtlijnenstudie (WHO, 2004) is aangegeven dat de concentratie chloraat lager dan 0.2 mg/l dient te zijn. Hier voldoen de winputten ruimschoots aan;
- **BAM:** Deze stof (2,6-dichloorbenzamide) wordt het meest wijdverbreid op het puttenveld en in de waarnemingsfilters in het stedelijke gebied aangetroffen. Het is een afbraakproduct van het onkruidbestrijdingsmiddel dichlobenil. Dichlobenil is gebruikt in stedelijk gebied, in de landbouw en op spoorwegen. Concentraties tot 0.44 µg/l zijn aangetroffen; Voor humaan toxicologisch niet relevante metabolieten zoals BAM geldt een drinkwaternorm van 1 µg/l. Het ruwwater voldoet in alle winputten.
- **Metolachloor:** De metaboliet metalochloor (ESA) is recentelijk net boven de detectiegrens aangetroffen in een aantal winputten. Éénmaal in de winputten 03–15, 04–04 en 06–20 met concentraties tussen 0.01 – 0.04 µg/l. Het ruwwater voldoet aan de norm van 1 µg/l voor niet-relevante metabolieten.
- **Dimethenamide-p:** In winput 02–13 is éénmalig dimethenamide (ESA) (metaboliet van dimetheamide-p) aangetroffen met een concentratie van 0.06 µg/l.
- **Chloridazon-desphenyl:** Chloridazon-desphenyl is een metaboliet van herbicide chloridazon welke wordt toegepast bij houtproductie. In 2014 en 2015 is deze stof () in de winputten 02–13, 03–15, 04–04, 06–20, 08–08, 09–09 aangetroffen met een concentratie van 0.07 tot 0.3 µg/l. Het ruwwater voldoet aan de norm van 1 µg/l voor niet-relevante metabolieten.

De aanwezigheid van de metabolieten van de herbiciden metolachloor, dimethenamide-p en chloridazon in het grondwater geeft aan dat de samenstelling van het gewonnen water beïnvloed wordt door het (voormalig) agrarisch gebruik van de percelen in en rond het waterwingebied.

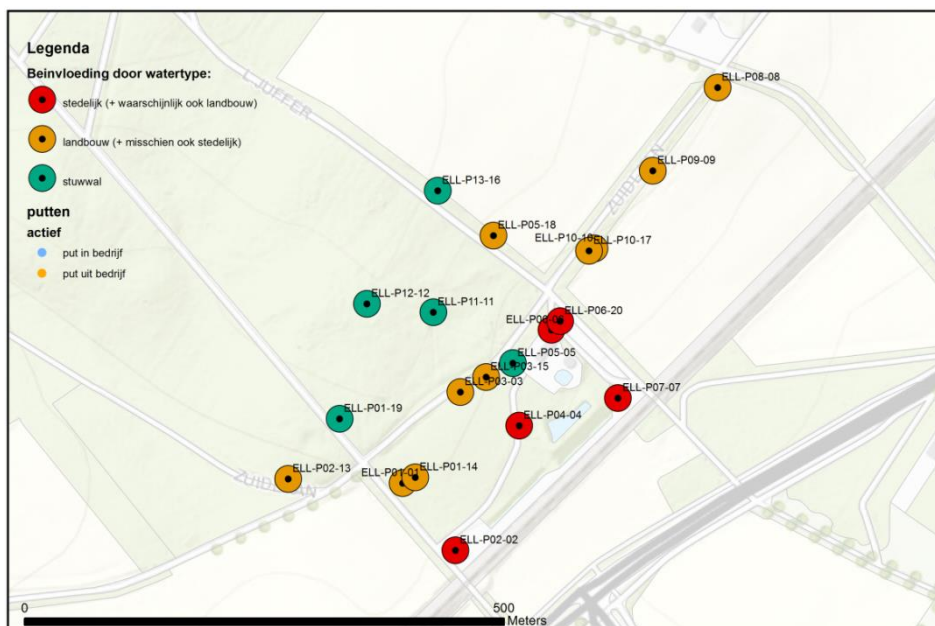
Voor BAM geldt dat de concentratie in de winputten gedurende de periode 2000 tot 2015 meestal een dalende trend laat zien. Dit past in het beeld dat het laatste decennium op de meeste locaties geen onkruidbestrijdingsmiddelen meer gebruikt mogen worden.

De metabolieten van metolachloor, dimethenamide-p en chloridazon worden pas de laatste paar jaar gemeten. Een trend is daarom niet vast te stellen.



Figuur 6–7 Overzicht van de winputten met aangetoonde organische microverontreinigingen (boven detectielimiet).

In Figuur 6–8 is, op grond van de samenstelling van het ruwwater, een inschatting gemaakt welke winputten beïnvloed zijn door grondwater afkomstig uit stedelijk gebied en landbouwpercelen. Hierbij is gebruik gemaakt van de in de voorgaande paragrafen besproken waterkwaliteitsmetingen.



Figuur

6-8 Inschatting welke winputten op grond van de waterkwaliteit vermoedelijk beïnvloed zijn door stedelijk gebied of landbouw. Overigens onttrekken de winputten met stedelijk- en landbouwwater vermoedelijk ook deels water afkomstig van de natuur/ stuwwal.

6.5 Trends ruwwaterkwaliteit in winputten: aantrekken Fe en Mn

Figuur 6-10 geeft het verloop van een aantal waterkwaliteitsparameters weer langs een dwarsdoorsnede voor drie tijdsperiodes (rond 1983, 1998 en 2015). Voor de laatste periode geldt dat gecontroleerd is of de winput wel in bedrijf was tijdens de monsternamen. Indien dit niet het geval was, is de analyse van een eerder meetmoment genomen. Van de twee tijdsperiodes ervoor is het niet mogelijk dit te controleren.

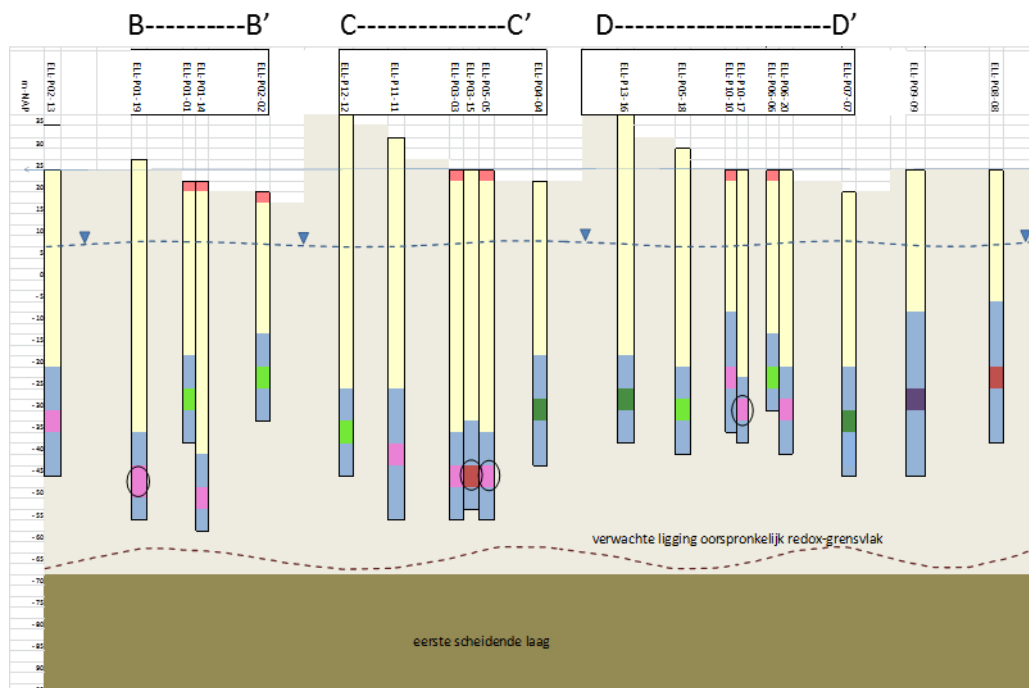
In eerste instantie worden de winputten aan de noord- en zuidkant nagenoeg aeroob water. De winputten in het midden van het winveld, hebben vanaf het begin af aan al een gemixte waterkwaliteit aangetrokken. De filters van deze winputten staan ook meestal net iets dieper. winput 10-17 (en de winputten P09-09 en P08-08 in mindere mate) vormen hierop een uitzondering. Het redoxgrensvlak is hier kennelijk ondieper aanwezig. Mogelijk hangt dit samen met de bodemopbouw in dit deel van het winveld.

Uit de redoxcoden blijkt dat de meeste winputten inmiddels meer gereduceerd water onttrekken. In Bijlage III worden de concentratie Fe en Mn in de tijd van 2007 t/m 2014 weergegeven. Daarbij is ook aangegeven hoeveel de winput per maand heeft aan gestaan. Zichtbaar is dat sommige winputten een relatief hoge redoxcode hebben P-03-15, P07-07, P09-09 en P08-08. Dit zijn winputten die in de periode 2007-2014, waarin weinig geschakeld is, veel aan hebben gestaan. Ook is zichtbaar dat sommige winputten alleen verhoogde concentraties Fe hebben en andere winputten alleen verhoogde concentraties Mn.

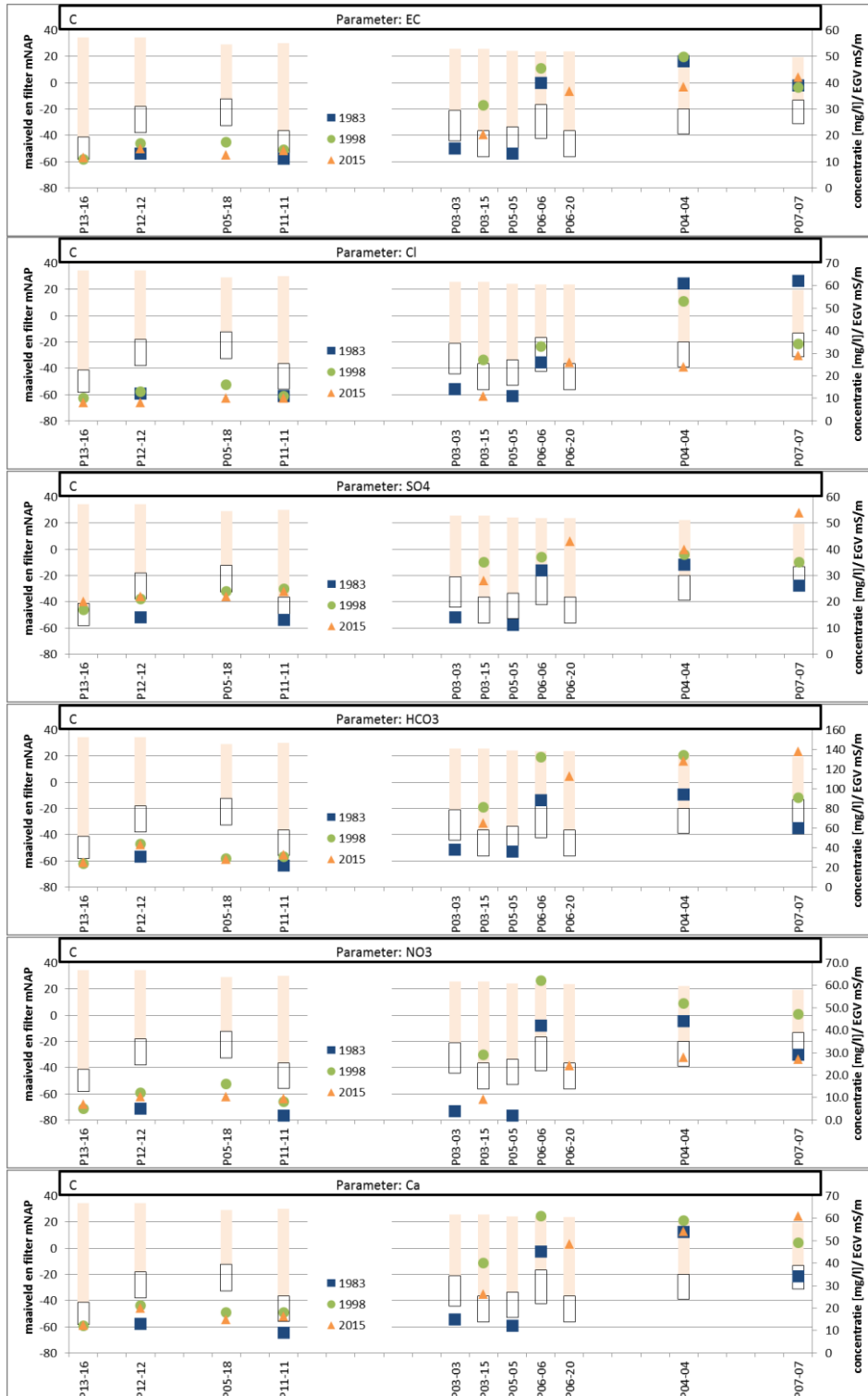
Opvallend is dat bij herplaatsingen, putfilters vaak verdiept zijn, naast de oorspronkelijke winput. De waterkwaliteit is dan altijd minder aeroob (ongunstiger voor de zuivering) dan in de voorgaande winput.

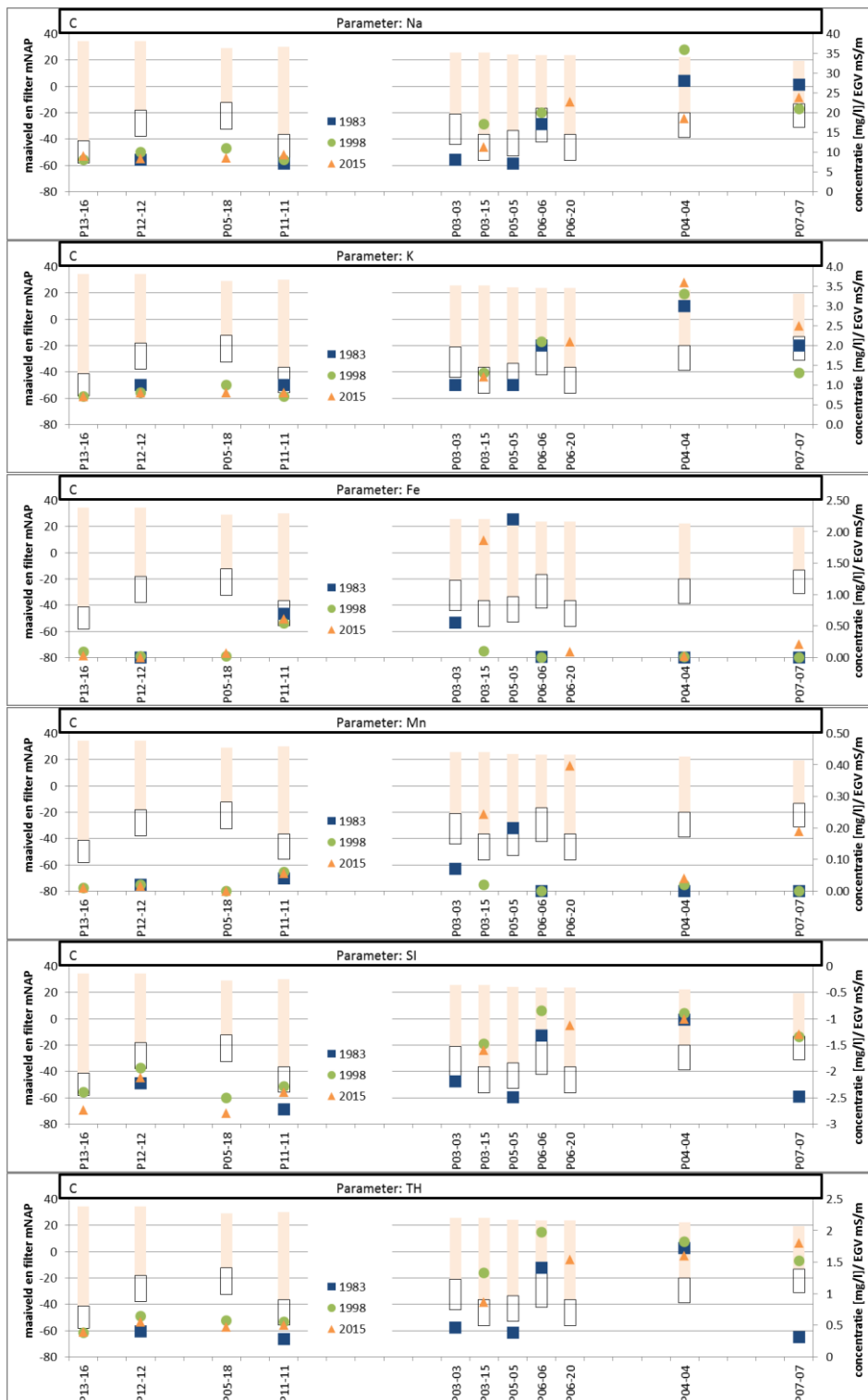
Geen van de winputten op het winveld onttrekt water dat altijd voldoet aan de bedrijfsnormen van Vitens voor Fe en Mn. Zelfs in de winputten P5-18, P12-12 en P13-16, welke niet over de marmerfilters worden geleid, wordt de grens voor Mn (0.01 mg/l) overschreden.

Op basis van de waargenomen waterkwaliteitsverandering en logische redeneren mag worden verondersteld dat de concentratie Fe en Mn in de winput afhankelijk is van (1) de hoogte van het filter in relatie tot de diepte van het redoxgrensvlak, (2) de ligging van (dunne) weerstandbiedende lagen in de omgeving van de put, die bepalen vanwaar het water naar de winput toestroomt en (3) de mate waarin de winput belast is. Een leemte in kennis is of het Fe en Mn alleen van onderen toestroomt naar de winput of ook van opzij.



Figuur 6-9 Overzicht van redoxcode in de dwarsdoorsneden. Roodgetipte winputten zijn inmiddels buiten bedrijf. Voor de doorsnedelijnen en legenda zie Figuur 6-4.





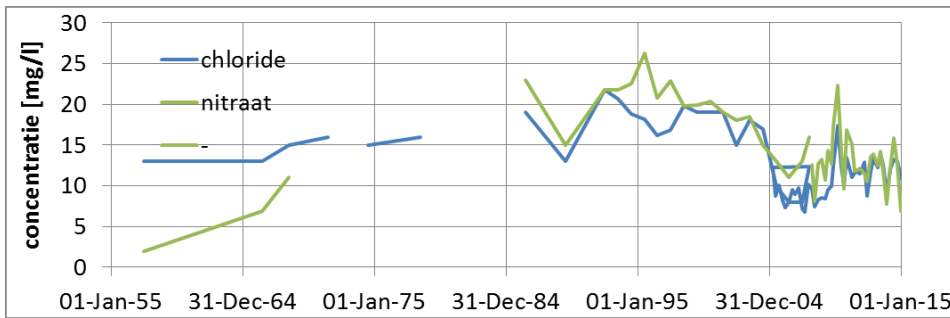
Figuur 6-10 Overzicht langs dwarsdoorsnede F—F' (Figuur 6-3) voor een aantal chemische parameters. De linker y-as geeft de diepte van het winfilter. Op de rechter y-as staat de concentratie in het jaar 1983, 1998 en 2015.

6.6 Trends in gezamenlijk ruw- en reinwaterkwaliteit

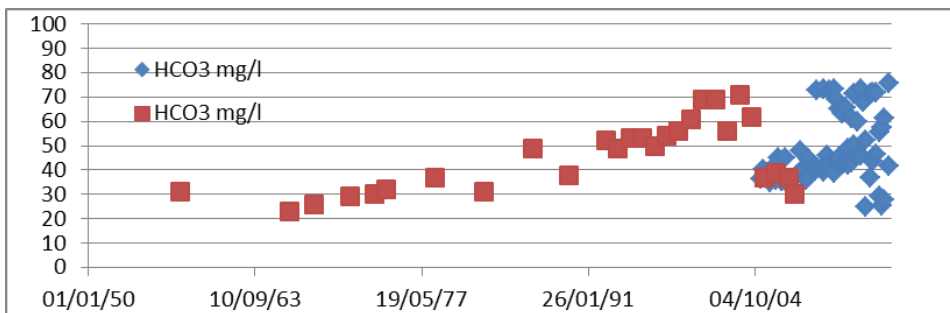
In de gezamenlijke ruwwaterkwaliteit zijn enkele patronen zichtbaar:

- In 2005 dalen voor meerdere parameters de concentraties abrupt. Dit geldt voor de EC, HCO₃, Cl, Ca, K, Mg, Fe en Mn, zie Figuur 6-12. Na enkele jaren lopen de concentraties weer op naar de oorspronkelijke waarde. De verwachting is dat dit te maken heeft met een aanpassing van de in bedrijf staande winputten naar de meest gunstige winputten op het puttenveld of met de overgang van het lab van Zwolle naar Leeuwarden in 2005 (mededeling Vitens). Dit effect is tijdelijk.
- Vanaf 1995 is in de chloride- en nitraatconcentratie een neerwaartse trend zichtbaar, zie Figuur 6-11. Voor kalium en sulfaat geldt dit niet. In 1995 is op een aantal percelen rondom de winning het landgebruik aangepast. Dit heeft niet alleen bijgedragen aan de verminderde belasting met o.a. Cl en NO₃ uit meststoffen, maar ook aan een verminderde verdamping en daardoor verminderde evapoconcentratie (indikking van chloride aanwezig in hemelwater);
- De arseenconcentratie is het laatste decennium ruim onder de grens van 1 µg/l;
- BAM is gemeten in het ruw- en reinwater vanaf 1998, zie Figuur 6-13. Deze stof laat vooral na 2009 een afname zien van circa 0.12 µg/l naar 0.05 µg/l in het reinwater. Na 2009 worden nagenoeg geen overschrijdingen van 0.1 µg/l meer aangetroffen. Dit komt overeen met het beeld dat de concentratie BAM in de winputten ook een dalende trend laat zien;
- De laatste drie jaar is chloridazon-desphenyl gemeten in het ruw- en reinwater (meetfrequentie 1x per jaar). De concentraties bedragen 2013 - 0.16 µg/l, 2014 - 0.09 µg/l en 2015 - 0.07 µg/l. Op basis van deze drie metingen kunnen geen uitspraken worden gedaan over een op- of neerwaartse trend;
- De pH in het reinwater schommelt na het aanpassen van de zuivering in 2009 veel minder en valt meestal binnen de eisen van Vitens aan de pH (tussen de 7.7 en 8.3), zie Figuur 6-14. De pH van het ruwwater bedraagt gemiddeld 6.7 en varieert tussen 6.4 en 6.9;
- De verzadigingsindex schommelt rond de ondergrens uit het waterleidingbesluit, zie Figuur 6-15. Het naar achteren verplaatsen van de loogdosering, zodat beide ruwwaterstrengen loogdosering ondergaan, zal de verzadigingsindex in het reinwater verhogen.
- Het aanpassen van de deelstromen naar het marmerfilter en loogdosering is goed zichtbaar in de totale hardheid van de ruwwaterdeelstromen, zie Figuur 6-16. Zichtbaar is dat voor 2014 vooral de winputten met lagere concentraties Fe en Mn (en lagere hardheid) op de ruwwaterstreng naar het marmerfilter hebben aangestaan en de winputten met meer Fe en Mn (hogere hardheid) op de ruwwaterstreng naar de loogdosering.

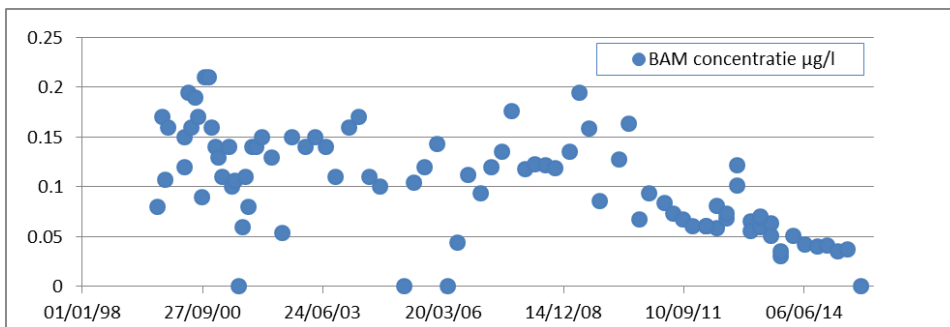
In hoofdstuk 7 wordt verder ingegaan op de invloed van de bedrijfsvoering en het schakelschema op de ruw- en reinwaterkwaliteit.



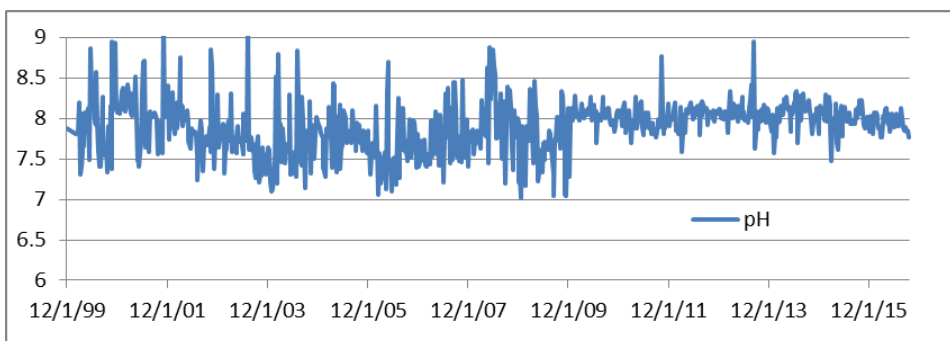
Figuur 6-11 Nitraat- en chlorideconcentratie in het ruwwater



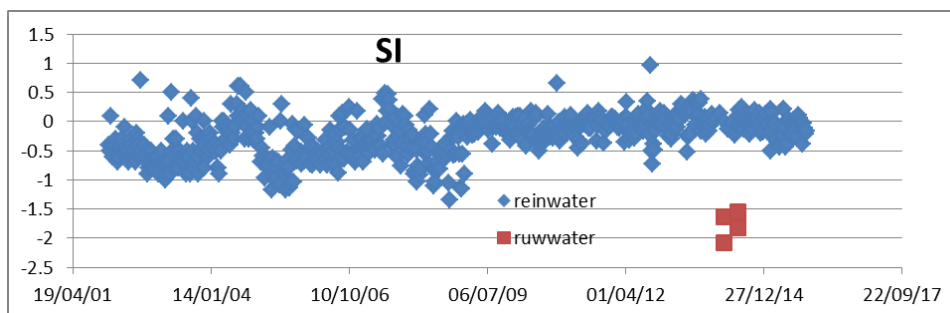
Figuur 6-12 concentratie bicarbonaat in het ruwwater



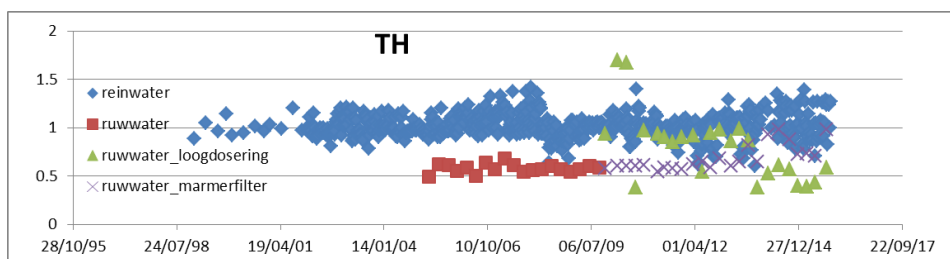
Figuur 6-13 concentratie BAM in reinwater



Figuur 6-14 pH in reinwater



Figuur 6-15 Verzadigingsindex rein- en ruwwater



Figuur 6-16 Totale hardheid rein- en ruwwater (mmol/l)

6.7 Proef ondergrondse ontijzering

In het aangeleverde analyseoverzicht is bij winput P05-05 aangegeven dat in het jaar 1985 ondergrondse ontijzering heeft plaatsgevonden. Uit navraag bij Vitens blijkt dat hier geen detailinformatie van bekend is. De concentraties Fe en Mn zijn toen gedaald van circa 1.5 mg/l naar 0.04 mg/l en van 0.2 mg/l naar 0.04 mg/l gedurende een periode van circa 4 jaar. Het is niet bekend of de winput in deze periode ook daadwerkelijk aan heeft gestaan en op welke wijze en hoe vaak ondergrondse ontijzering is uitgevoerd. De pH van het grondwater bedroeg ongeveer 6.5. Deze pH is in principe niet heel geschikt voor ondergrondse ontijzering. Op basis van deze gegevens kan daarom niet geconcludeerd worden of deze proef succesvol was of niet.

Door Vitens is mondeling medegedeeld dat het voorkomen van ijzervlokken in het ruwwater na gedeeltelijke ondergrondse ontijzering, die moeilijk door de filters in de zuivering verwijderd worden, een reden is om af te zien van ondergrondse ontijzering.

6.8 Toetsing reinwaterkwaliteit aan normen

Tabel 6-3 geeft een overzicht van de belangrijkste parameters waaraan waterkwaliteitseisen gesteld zijn voor deze winlocatie. De eisen (bedrijfsnormen) voor de reinwaterkwaliteit van Vitens zijn soms strenger dan de eisen uit het drinkwaterbesluit. Alleen de metingen van de laatste 5 jaar zijn gebruikt om de huidige toestand van de ruw- en reinwaterkwaliteit te bepalen.

De afgelopen 5 jaar voldoet de gemiddelde reinwaterkwaliteit niet aan de bedrijfsnormen van Vitens voor Mn. Daarnaast worden de concentraties bicarbonaat, Si en pH soms onder de onderrandvoorwaarde in kwaliteitsmetingen aangetroffen. De waarden van deze parameters worden ook door het marmerfilter en de loogdosering verhoogd, maar blijkbaar niet in alle omstandigheden voldoende. Overigens is het aantal overschrijdingen met de invoering van een nieuw schakelschema in 2014 drastisch teruggelopen. Dit wordt toegelicht in hoofdstuk 7.

Tabel 6-3 Beoordeling van waargenomen concentraties van enkele waterkwaliteitsparameters (gemiddeld over 2010-2015) aan de hand van de normen uit het drinkwaterbesluit en de bedrijfsnormen van Vitens. ■ voldoet, ■ valt soms onder de ondergrens ■ voldoet niet

Parameter	ruwwater gem/ min. / max.	reinwater gem./ min. / max.	Eis drinkwaterbesluit	Eis Vitens
Fe (mg/l)	0.57 / 0.08 / 1.6 (marmer) 0 / 0.03 / 0.09 (loog)	0.01 / 0 / 0.08	<0.2	< 0.05
Mn (mg/l)	0.18 / 0.1 / 0.36 (marmer) 0.022 / 0 / 0.067 (loog)	0.012 / 0 / 0.034	<0.05	< 0.01
Verzadigings- index (SI)	-1.6 (marmer) -1.94 (loog)	-0.05 / -0.73 / 0.96	>-0.2 (jaargemiddelde)	
pH	6.7 / 6.5 / 6.9 (marmer) 6.7 / 6.4 / 6.9 (loog)	8.0 / 7.5 / 9.0	7 - 9.5	7.7 - 8.3
HCO ₃ Bicarbonaat (mg/l)	52 / 38 / 75 (marmer) 53 / 25 / 73 (loog)	102 / 69 / 141	>60 mg/l	> 90 mg/l
Organische Microveront- reinigingen (µg/l)	BAM : 0.05 / 0 / 0.13 chloridazon-desphenyl: 0.16/0/0.46	BAM: 0.07 / 0.03 / 0.16 Chloridazon-desphenyl: 0.06/0/0.16	< 1*	
Arseen (µg/l)	0.8 / 0.4 / 2.0 (marmer) 0.5 / 0.26 / 0.73 (loog)	0.3 / 0 / 2.6	< 10 µg/l	

*per parameter bij niet relevante metabolieten

7 Invloed putschakeling op prestaties productielocatie

In dit hoofdstuk wordt ingezoomd op het schakelschema en welke gevolgen dit heeft voor de stabiliteit van de ruwwaterkwaliteit, de prestaties van de waterzuivering en putverstopping.

7.1 Materiaal en methoden: predictor ruw- en reinwaterkwaliteit

In dit onderzoek is de ruwwaterkwaliteit voor Mn berekend als het gewogen gemiddelde van de concentratie van de winputten die aanstaan. Voor het berekenen van de reinwaterkwaliteit is, voor de deelstroom over de marmerfilters, rekening gehouden met een zuiveringsrendement welke afhankelijk is van het debiet. Dit rendement is toegelicht in Figuur 7-2.

Aannames/vereenvoudigingen: De berekeningen zijn uitgevoerd met tijdstappen van één dag. Voor de debieten (Q_p) is uitgegaan van het nominale debiet per winput. Er zijn geen gegevens beschikbaar over afwijking van het vermeende debiet ten gevolge van het wegdrukken van winputten aan de ruwwaterleiding, onderlinge beïnvloeding van de afpomping (door nabij gelegen putten), verstopping of verslechtering van de pompkarakteristieken voor de desbetreffende winput. Voor de concentratie per winput is gerekend met de gemiddelde concentratie van de metingen in de periode 2012–2015. Bij de discussie van resultaten wordt ingegaan op de gevolgen van deze aannames op de betrouwbaarheid van het model.

Deze methode sluit aan bij de wens van Vitens om de gezamenlijke ruwwaterkwaliteit te voorspellen en sturen middels een soft sensor. Een soft sensor is programma (software) dat een parameter berekent door aggregatie van verschillende metingen en vaste instellingen.

Intermezzo: formules gebruikt voor berekening ruw- en reinwater

In formules uitgedrukt ziet de berekening van Mn in ruw- en reinwater er als volgt uit:

$$c_{ruw,M} = \frac{\sum_0^i c_p Q_p f_p}{\sum_0^i Q_p f_p}$$

$$c_{ruw,L} = \frac{\sum_0^j c_p Q_p f_p}{\sum_0^j Q_p f_p}$$

$$c_{rein,M} = a + b * \sum_0^i Q_p$$

$$c_{rein,L} = c_{ruw,L}$$

$$c_{rein} = \left(\sum_0^i Q_p * c_{rein,M} + \sum_0^j Q_p * c_{rein,L} \right) / \left(\sum_0^i Q_p + \sum_0^j Q_p \right)$$

Met: $c_{ruw,M}$ = ruwwaterkwaliteit deelstroom met marmerfiltratie in mg/l; $c_{ruw,L}$ = ruwwaterkwaliteit deelstroom met alleen loogdosering in mg/l; c_{rein} = reinwater in mg/l; f_p = het aantal draaiuren van de winput in de beschouwde periode (dag/dag). Q_p = debiet winput in m³/h; i = de verzameling winputten die is aangesloten op de marmerfilters; j = verzameling winputten die buiten de marmerfilters om leveren. a ($2.4 * 10^{-4}$) en b ($-2.8 * 10^{-2}$) zijn empirische factoren die het rendement van de zuivering bepalen.

7.2 Randvoorwaarden: waterzuivering en reinwatervraag

7.2.1 Zuiveringsstappen

Het ruwwater op Ellecom voldoet voor verschillende stoffen niet aan de drinkwaternormen: IJzer (Fe) en Mangaan (Mn) zijn te hoog en de verzadigingsindex (SI), zuurgraad (pH) en hardheid (HH) zijn te laag.

Tot 2009 werd al het ruwwater over een dolomietenfilter geleid waar, naast verwijdering van Fe en Mn, ook de SI, pH en HH werden verhoogd. Waarschijnlijk ging toen al het ruwwater over het dolomietenfilter, maar dit is niet 100 % zeker (mededeling van Vitens).

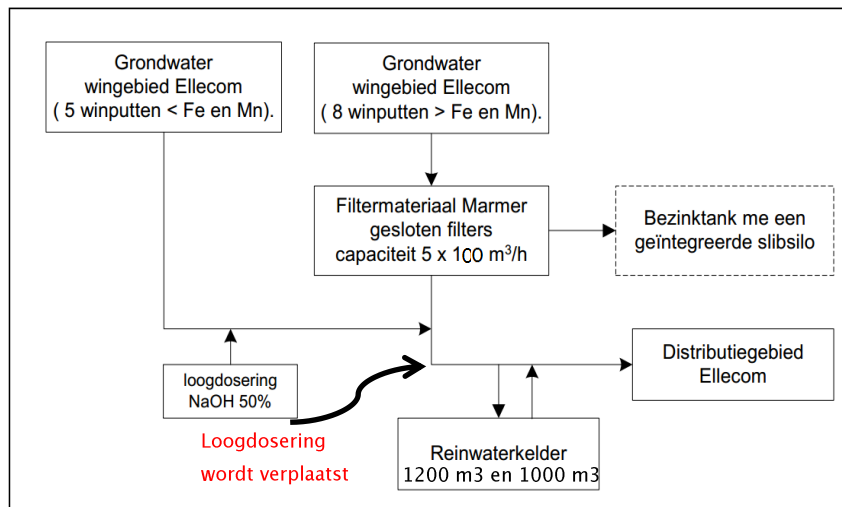
Het zuiveringsproces is in 2009 aangepast omdat er steeds frequenter doorslag plaatsvond van Mn in het reinwater boven de bedrijfsnorm. De dolomietenfilters zijn vervangen door marmerfilters en de ruwwaterstroom is in tweeën gesplitst, met ieder een eigen zuiveringsproces (zie Figuur 7-1):

- Ruwwaterstroom 1 – Marmerfilters: Het ruwwater afkomstig uit de 8 winputten met de hoogste Fe concentratie wordt over 5 marmerfilters geleid. Alle filters hebben een nominale capaciteit van 100 m³/uur; dus een totale capaciteit van 500 m³/uur. Voor een stabiele waterkwaliteit is het gunstig als de marmerfilters zoveel mogelijk gelijkmatig belast worden op 80 –100 % van de nominale capaciteit. Het water wordt ook net voldoende opgehard zodat na menging met deelstroom 2 aan de eis voor hardheid wordt voldaan. De pH en de SI nemen door het opharden ook toe.
- Ruwwaterstroom 2: Het ruwwater afkomstig uit de winputten met de minste Fe en Mn (04-04, 05-18, 07-07, 12-12 en 13-16) wordt buiten de marmerfilterzuivering om geleid. Dit water krijgt alleen een loogdosering zodat het aan de eisen voor pH en de SI voldoet. De loogdosering past zich automatisch aan de waterkwaliteit aan door een pH meting. De loogdosering kan niet uitgezet worden, dus één van deze winputten moet altijd in bedrijf blijven.

De consequentie van deze opzet is dat de Fe en Mn ruwwaterconcentraties in de winputten die zijn aangesloten op deelstroom 2 zodanig laag moeten zijn dat deze na menging met deelstroom 1 voldoen aan de eisen voor Fe, Mn en SI. Vitens geeft aan dat de loogdosering binnenkort verplaatst zal worden naar een punt na menging van beide deelstromen. De maakt het makkelijker om de pH en SI te sturen.

Het water van beide ruwwaterstrengen wordt door de bronpompen naar de reinwaterkelders gepompt. De reinwaterkelder wordt gebruikt om schommelingen in vraag en aanbod deels op te vangen zodat de winputten en zuivering gedurende de dag weinig hoeven te schakelen.

De kelder ligt hoog zodat het water onder vrij verval het distributienet in gaat.



Figuur 7-1 Overzicht zuiveringsproces (bron: Gebiedsdossier en mededeling Leo Berenschot, Vitens)

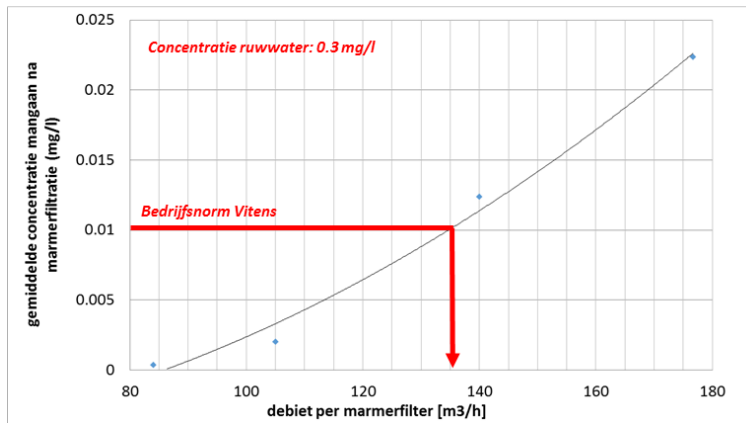
7.2.2 Rendement Fe en Mn verwijdering door marmerfilters

Vitens heeft in 2013 een proef uitgevoerd met de marmerfilters om de verwijdering van Fe en Mn uit het ruwwater te testen.

De proef bestond uit het stapsgewijs opvoeren van het debiet van het filter, terwijl voor en na filtratie waterkwaliteitsmetingen zijn uitgevoerd. Tijdens de proef stonden 4 van de 8 winputten aan (p06-20, p08-08, p09-09, p10-17). Winput 10-17 wint relatief hoge concentraties Fe en Mn. De gemiddelde concentratie in het ruwwater bedroeg voor Fe 1.2 mg/l en voor Mn 0.3 mg/l, zie (Vitens, 2013).

In Figuur 7-2 is weergegeven hoe de concentratie Mn in het reinwater oploopt met toenemend debiet. Bij ruwwaterconcentraties van 0.3 mg/l kan deelstroom 1 maximaal 675 m³/h (135 m³/h per filter) leveren dat voldoet aan de bedrijfsnorm voor Mn. Om te voldoen aan de drinkwaternorm (0,05 mg/l) kunnen de marmerfilters meer dan 1000 m³/h leveren (>200 m³/h per filter).

De maximaal haalbare capaciteit van deelstroom 1 is in de praktijk ook afhankelijk van de samenstelling en het debiet in deelstroom 2. Vitens beschouwt een totaaldebiet van 500 m³/h met concentratie van 0.002 mg/l in deelstroom 1 als realistisch om de gangbare Mn concentratie in deelstroom 2 van 0.025 mg/l te verdunnen tot beneden de bedrijfsnormen. In de praktijk kunnen incidenteel overigens hogere concentraties Mn optreden in deelstroom 2 waardoor alsnog niet aan de bedrijfsnorm wordt voldaan (zie §7.5).



Figuur 7-2 Relatie tussen het ruwwaterdebiet in een marmerfilter (x-as) en de concentratie Mn in reinwater (y-as). De metingen zijn in 2013 door Vitens uitgevoerd in de zuivering van Ellecom in het kader van een proef.

7.2.3 Is het mogelijk om de capaciteit van de marmerfilters tijdelijk te verhogen?

Het is de vraag of de doorslag van Mn bij hogere debieten wordt veroorzaakt door onvolledige verwijdering of heroplossing van marmer.

Bij een onvolledige verwijdering neemt de concentratie van het reinwater evenredig af wanneer de marmerfilters met een lagere concentratie Fe en Mn wordt belast. Dit zou betekenen dat Vitens de capaciteit van de zuivering in theorie dus (tijdelijk) kan opvoeren door de winputten met een verhoudingsgewijs lagere Fe en Mn concentratie aan te schakelen. Mogelijk biedt dit kansen voor het opvangen van piekvragen tijdens hittegolven.

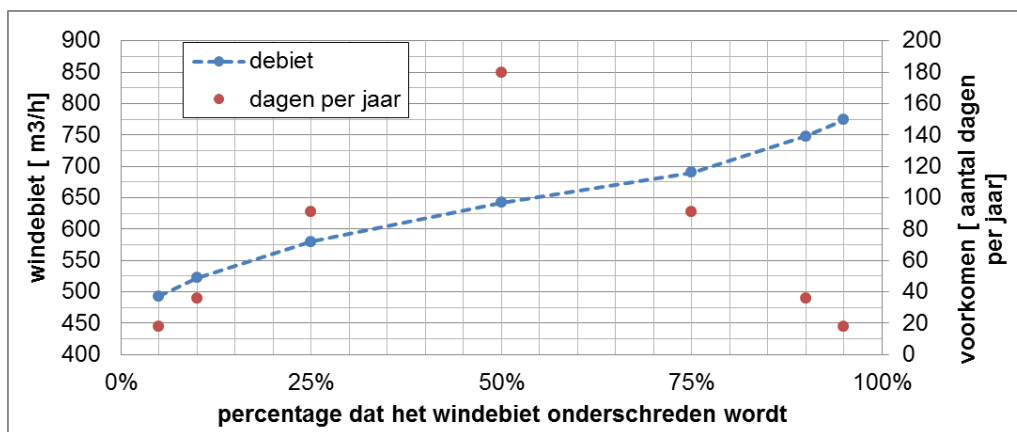
De tweede mogelijke verklaring voor doorslag is het oplossen van marmer onderin het filter, waardoor in het verleden neergeslagen Mn weer vrijkomt en uitspoelt. In dat laatste geval zal verlaging van Mn in het ruwwater geen invloed hebben op doorslag maar eerder de pH omdat een lagere pH leidt tot een hogere consumptie van marmer en daarmee een grotere heroplossing van Mn.

Aangeraden wordt de proef om het rendement van de marmerfilters te bepalen te herhalen bij verschillende concentraties Mn en pH. Dit kan vrij eenvoudig door een andere combinatie van winputten aan te schakelen en CO₂ te doseren. Zo leveren de winputten p02-13, p06-20, p08-08, p09-09 en p11-11 een lagere gemiddelde concentraties Fe – en Mn van respectievelijk 0.2 mg/l en 0.18 mg/l.

7.2.4 Piektoproductie reinwater

Ellecom is een pieklastproductiebedrijf wat betekent dat dagelijks fluctuatie optreedt in het debiet af-productiebedrijf. Gedurende de dag (vooral tijdens warme zomerperioden) kan de piekbelasting (reinwaterdebiet) oplopen tot 850 à 1225 m³/h.

Figuur 7-3 geeft de verdeling van het gewonnen debiet weer, berekend op basis van de putschakelingen en putdebieten 2007 t/m 2014 op dagbasis. Deze getallen liggen iets hoger dan de getallen op basis van het maandoverzicht (waarschijnlijk omdat de putdebieten niet helemaal kloppen). Gemiddeld wordt 650 m³/h gewonnen op het winveld. 5 % van de tijd is het windebiet lager dan 500 m³/h en hoger dan 775 m³/h.

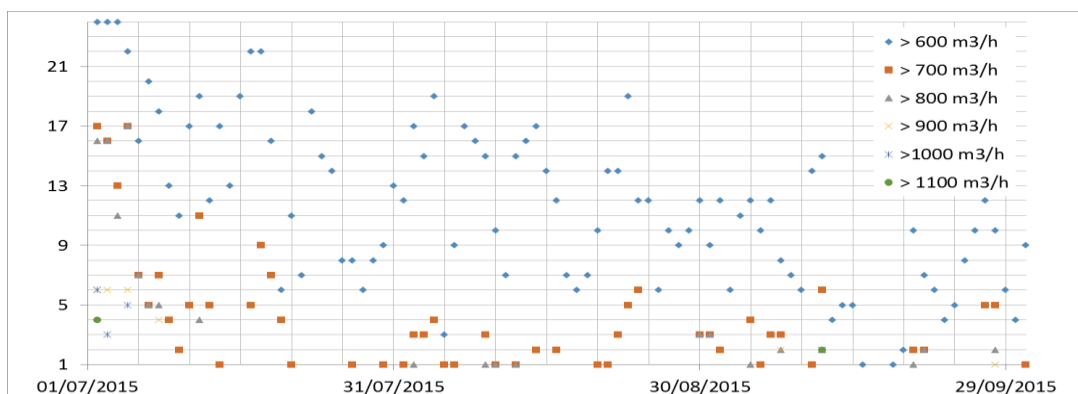


Figuur 7-3 Overzicht van de verdeling van het windebiet door het jaar heen over de periode 2007 t/m 2014

Door Vitens zijn de reinwaterdebieten in de zomer van 2015 en 2016 geleverd. De winning heeft de beschikking over 2 reinwaterkelders, één van 1000 m³ en één van 1200 m³ (mededeling Leo Berenschot, Vitens).

Piek-reinwaterdebieten komen doorgaans maar enkele uren per dag voor (zie Figuur 7-4 op 02/07/2015) en kunnen daarom deels opgevangen worden door de reinwaterkelders op dat moment meer leeg te laten lopen. Op basis van de waterleveringsgegevens in 2015 en 2016 is bepaald dat met een maximaal debiet van 850 m³/h voor de ruwwaterproductie en fluctuaties in het niveau van de reinwaterkelders alle piekdebieten voor het reinwater geleverd kunnen worden in deze periode. Dit vergt wel dat de reinwaterkelders voldoende gevuld worden als een zeer warme periode met hoge piekbelastingen verwacht wordt. De meest extreme periode waren de eerste paar dagen van juli 2015. Volgens de berekening loopt de waterhoeveelheid in de reinwaterkelder (als het ruwwaterdebiet constant op 850 m³/h wordt gehouden zolang de reinwaterkelders niet vol zijn) terug van 2200 m³ naar 500 m³.

Er zijn door Vitens geen gegevens aangeleverd waaruit blijkt of de reinwaterkelder op dit moment inderdaad optimaal benut wordt om pieken te bufferen.



Figuur 7-4 Per dag (x-as) wordt weergegeven hoeveel uur (y-as) het reinwaterdebiet boven een bepaald uurdebiet (zie legenda) ligt in de zomer van 2015

7.3 Schakelschema

7.3.1 Putschakeling voor 1996

Helaas is geen informatie beschikbaar over het schakelschema in de periode voor 1996, zie Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Historisch overzicht van de gegevens over het schakelen van de putten

Tijdsperiode	Brondata	Type schakelen	schakelfrequentie
Voor 1996	Geen	Geen informatie	Geen informatie
1996-1999	Handgeschreven schakelschema-wijzigingen	Middels 3 niveau's, alle winputten doen mee met het schakelen	2 wekelijks tot 3 maandelijks
1999-2007*	Handgeschreven putwijzigingen, steeds onvollediger en minder goed leesbaar	Niet volgens schema, maar in reactie op problemen op het winveld	Waarschijnlijk weinig frequent
2007-2013	Put aan en uit overzicht	Niet volgens een schema	Schakelen van winputten wordt weinig frequent uitgevoerd
Vanaf 2014	Put aan en uit overzicht	Schakelschema aangepast	2-wekelijks

7.3.2 Putschakeling 1996 – 1999

Voor de periode van 1996 tot en met 2007 is een handgeschreven overzicht aangeleverd door Vitens met het schakelschema en wijzigingen op het puttenveld. Volgens dit schema is van 1996 tot 1999 gewisseld tussen drie schakelniveau's. Het interval waarmee werd gewisseld varieerde van 2-wekelijks tot 3-maandelijks.

7.3.3 Putschakeling 1999 – 2007

In 1999 verandert de bediening van het winveld volgens dit overzicht, maar het overzicht is vanaf dit moment niet goed meer te volgen. Het vermoeden bestaat dat wisselingen van de schakelniveau's vanaf dit moment niet (consequent) meer genoteerd zijn in het overzicht. Het lijkt erop dat vanaf halverwege 1999 veel minder wordt gewisseld tussen de schakelniveau's waardoor alle winputten langduriger aan of uit hebben gestaan. Winputten worden met name in een ander schakelniveau bijgeplaatst of uitgezet wanneer verandering van de ruwwaterkwaliteit leidt tot overschrijdingen van Fe en Mn of te lage pH.

7.3.4 Putschakelingen 2007 – 2013

De draaiuren per winput per dag zijn exact bekend vanaf het jaar 2007. Tot 2013 is het regelmatig voorgekomen dat winputten langdurig (3 maanden tot jaren) achtereenvolgens aan of uit stonden.

7.3.5 Putschakelingen vanaf 2014

Het huidige schakelschema is sinds 2014 in gebruik en is volgens Vitens (mondeling mededeling) erop gericht om (1) alle winputten te belasten waardoor de bedrijfsduur van de winputten zo gelijkmatig mogelijk is, (2) winputten tegelijkertijd te gebruiken die zoveel mogelijk verspreid liggen over het winveld om upconing van anoxisch water te beperken en (3) om zoveel mogelijk gebruik te maken van de zuiveringscapaciteit van de marmerfilters.

Tabel 7-2 toont het vigerende schakelschema. Bij het gemiddelde windebiet staan er doorgaans 4 tot 5 winputten aan op deelstroom 1 en één winput op deelstroom 2. winputten die achteraan staan in de schakelmatrix worden alleen aangeschakeld bij een hoge watervraag. Om de twee weken wordt er gerouleerd tussen de drie schakelschema's.

Opvallend is dat de winputten 10-17 en 08-08 in meerdere roulaties vooraan staan, waardoor ze verhoudingsgewijs zwaar belast worden. Deze situatie kan onwenselijke bijeffecten hebben zoals het op termijn aantrekken van meer Fe en Mn.

De winputten 04-04 en 07-07 staan juist heel weinig aan omdat ze buiten de marmerfilters leveren en de concentraties Mn veel hoger zijn dan de bedrijfsnorm van 0.01 mg/l. (NB: winput 04-04 is onlangs verplaatst en thans nog niet in gebruik genomen) winput 11-11 was verstopt, maar kan nu na regeneratie, weer vaker aan.

Tabel 7-2 Overzicht van schakelschema data vanaf 2014 in gebruik is. De schakelmatrix wordt iedere twee weken gewisseld. Winputten die achteraan staan in de schakelmatrix worden alleen aangeschakeld bij een hoge watervraag.

Put	Eigenschappen winput				Schakelmatrix			Belasting putten (2014)	
	nominale capaciteit	Fe	Mn	Zuivering	matrix 1	matrix 2	matrix 3	Draaiuren	m3/jaar
	m3/uur	mg/l	mg/l		Volgorde put in schakelmatrix				
P 13-16	153.1	0.03	0.010	alleen loog	1			40%	531,000
P 05-18	123.4	0.04	0.006	alleen loog	6	7	1	12%	130,000
P 12-12	168	0.10	0.027	alleen loog		1		54%	801,000
P 04-21	126.3	0.02	0.038	alleen loog				6%	69,000
P 07-07	132.8	0.11	0.088	alleen loog				3%	35,000
P 11-11	78.6	0.41	0.032	marmerfilter				0%	1,000
P 08-08	143.3	0.37	0.086	marmerfilter		2	4	62%	775,000
P 02-13	162.4	0.09	0.127	marmerfilter	4		3	31%	439,000
P 09-09	62.7	0.04	0.191	marmerfilter	2		2	46%	251,000
P 01-19	81.8	1.984	0.27	marmerfilter	5	5	6	47%	340,000
P 03-15	66.7	1.89	0.293	marmerfilter	7	6	5	32%	187,000
P 06-20	133.1	0.03	0.343	marmerfilter		3		55%	641,000
P 10-17	147.6	3.05	0.421	marmerfilter	3	4	7	81%	1,052,000

7.4 Invloed schakelschema op ruwwaterkwaliteit per winput

Figuur 7-5 geeft aan dat er voor sommige winputten een relatie is tussen de ruwwaterkwaliteit en hoe frequent (en met welk debiet) een winput heeft aan- of uitgestaan in de periode voor monsternamen.

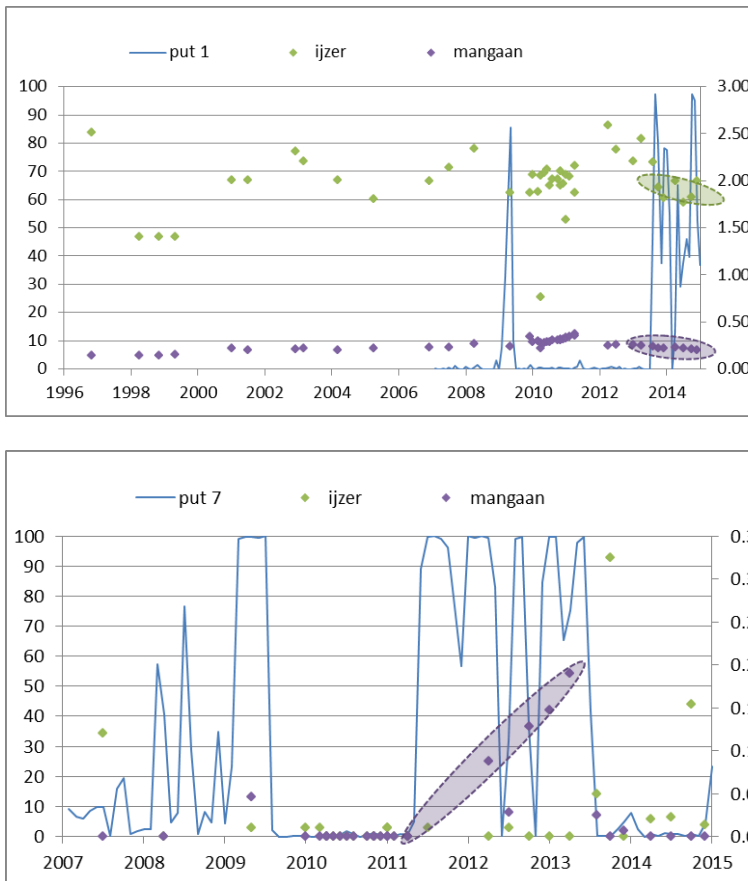
In winput 1 nam de concentratie Fe af van circa 2 naar 1.5 mg/l vanaf het moment dat deze zwaar belast werd in juli 2013. Deze winput heeft een verhoudingsgewijs ondiep filter en is vermoedelijk meer ondiep, oxisch water gaan aantrekken.

Winput 7 laat een omgekeerd effect zien. Hier is de concentratie Mn juist sterk toegenomen in perioden dat de winput veel aan stond in de jaren 2008-2009 en 2011-2013. Deze winput heeft een verhoudingsgewijs diep filter.

In Bijlage III is voor alle winputten de belasting en het verloop van de Fe en Mn concentraties weergegeven. Er is geen duidelijk algemeen verband gevonden hoe de ruwwaterkwaliteit reageert op een periode waarin de winput langdurig aanstaat. Vermoedelijk is dit ook een zeer complex verband vanwege interactie met andere winputten. De interpretatie wordt verder bemoeilijkt omdat afgelopen jaren enkele

pompen zijn vervangen door exemplaren met een hogere of lagere capaciteit zonder dat dit duidelijk is geregistreerd.

Bij de meeste winputten lijkt het erop dat Fe en/ of Mn oploopt bij een belasting groter dan 75%. Hoe zwaar winputten daadwerkelijk duurzaam belast kunnen worden hangt waarschijnlijk ook samen met de capaciteit van de pomp. Om die reden wordt geadviseerd om winputten niet meer dan bijvoorbeeld 50 m³/h (450.000 m³/jaar) te belasten, beschouwd over een periode van enkele maanden.

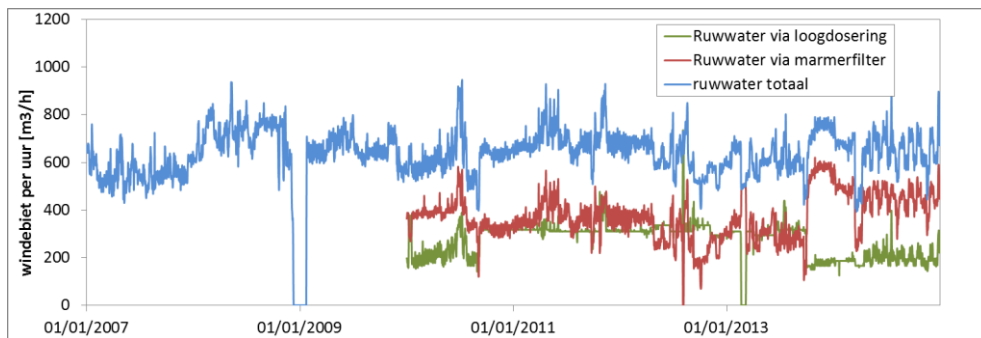


Figuur 7-5 Vergelijking van waargenomen concentratie Fe en Mn (rechter y-as) en de onttrekkingshoeveelheid (linker y-as) voor de winputten 1 en 7.

7.5 Invloed schakelschema op gezamenlijke ruw- en reinwaterkwaliteit

De ruw- en reinwaterkwaliteit wordt bepaald door de samenstelling en het debiet van de winputten die op dat moment aan staan en het rendement van de zuivering.

Figuur 7-6 presenteert het ruwwaterdebiet van 2007 tot 2015. Vanaf 2009 wordt het water gewonnen middels twee deelstromen. Tussen 2009 en 2013 waren deze deelstromen ongeveer even groot. Sinds 2014 is de deelstroom naar de marmerfilters zo vlak mogelijk. Pieken zijn opgevangen met de deelstroom die naar de marmerfilters gaat.



Figuur 7-6 Overzicht van windebiet per ruwwaterstroom. De structurele verandering in het gebruik van de zuivering in 2014 is omcirkeld.

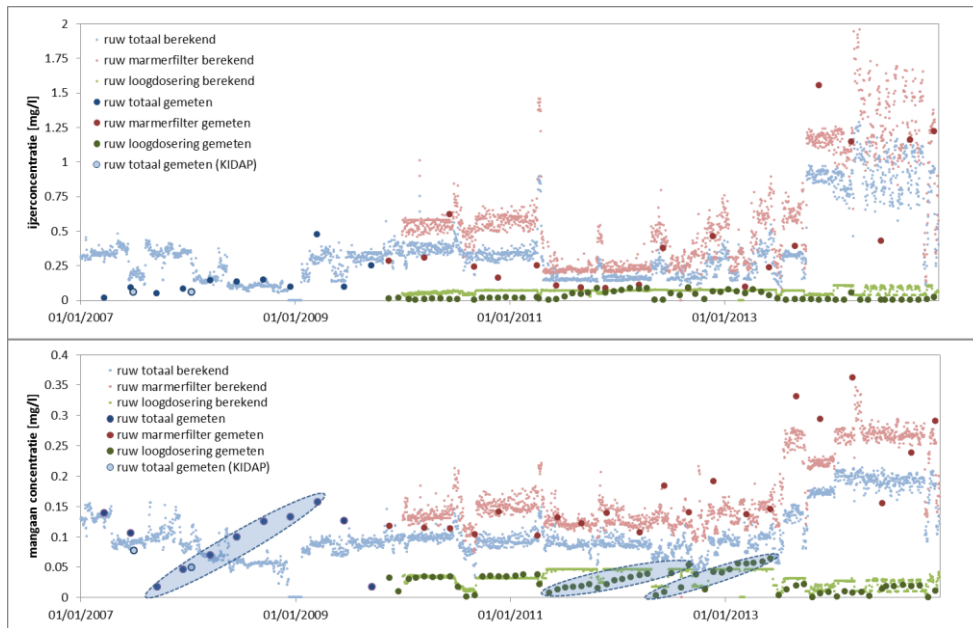
Figuur 7-7 toont de waargenomen en berekende ruwwaterkwaliteit. In de waarnemingen zijn twee duidelijke sprongen zichtbaar in 2009 en 2014. De sprong in 2009 hangt samen met de wijzigingen in het schakelschema door ingebruikname van de marmerfilters. De sprong in 2014 is veroorzaakt door aanpassing van de winverdeling tussen de ruwwaterstromen als gevolg van het nieuwe schakelschema.

Daarnaast zijn er oplopende trends waargenomen in de periode 2008-2009 en in mindere mate in 2011 en 2012. De trends in 2011 en 2012 vallen samen met oplopende concentratie Mn in winput 7 in een periode dat deze winput langdurig aanstond. Het uitschakelen van deze winput leidde tot een (tijdelijke) daling van Mn in het gezamenlijk ruw.

Figuur 7-7 toont dat de berekende gemiddelde concentratie en de fluctuaties goed overeenkomen met de waarnemingen. De berekeningen bevestigen het vermoeden dat de schommeling in ruwwaterkwaliteit grotendeels het gevolg zijn van putschakelingen.

Overigens wordt de gemeten trendmatige toename van Mn in de jaren 2008, 2011 en 2012 niet berekend. Dit komt omdat in de berekening geen rekening is gehouden met de hiervoor beschreven oplopende ruwwaterkwaliteit in de individuele winputten.

Dit betekent dat een soft sensor goed bruikbaar is om in de toekomst de ruwwaterkwaliteit te voorspellen en schakelschema's bij te sturen. Voorwaarde is wel dat de waterkwaliteitsanalyse voldoende frequent (2x/jaar) worden uitgevoerd om te compenseren voor trends in individuele winputten.

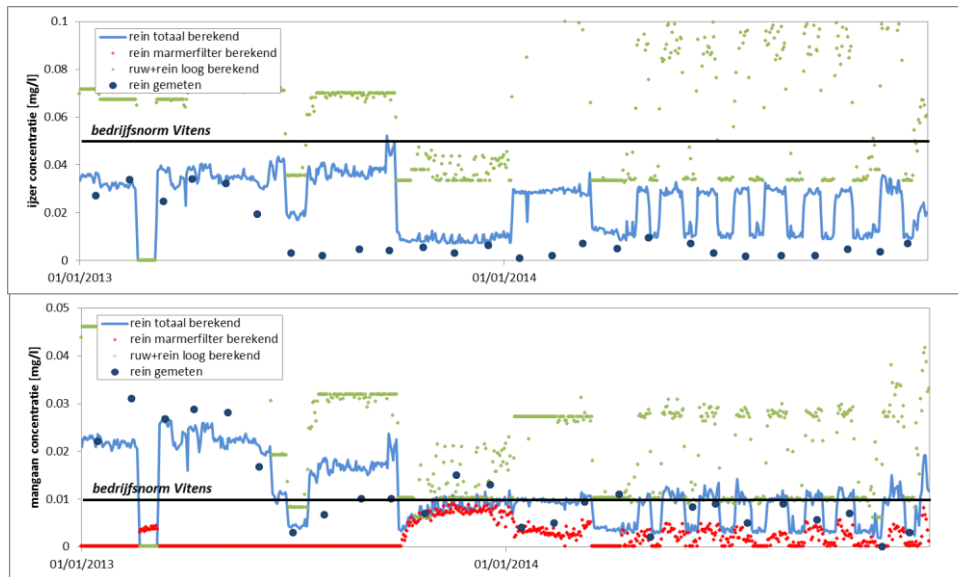


Figuur 7-7 Gemeten en berekende waterkwaliteit van de totale en de gesplitste ruwwaterstromen

Figuur 7-8 geeft de waargenomen en berekende reinwaterkwaliteit weer voor Fe en Mn. De splitsing en separate zuivering van de ruwwaterstroom in 2009 leidde aanvankelijk tot een frequente overschrijding van de bedrijfsnormen voor Fe en Mn (niet weergegeven in figuur). De belangrijkste oorzaak is de hoge Mn concentratie in winputten die alleen loogdosering krijgen. Meestal stonden ofwel de winputten p12-12 en p04-04 dan wel p13-16 en p07-07 tegelijk aan. De verhoogde concentraties komen vooral van de winputten p04-04 en p07-07.

De metingen geven aan dat het reinwater vanaf de implementatie van het nieuwe schakelschema in 2014 voldoet aan de bedrijfsnormen voor Fe en Mn. Uit de berekeningen met de soft sensor blijkt echter dat het water gemiddeld aan de bedrijfsnormen voldoet maar deze nog wel incidenteel overschrijd. De overschrijdingen zijn periodiek en hangen samen met de 2-wekelijkse roulatie van het schakelschema. De problemen treden met name op in de roulatie waarin P13-16 permanent aanstaat. Iedere verdere toename van Mn in P13-16 zal, met het vigerende schakelschema, direct leiden tot een grotere overschrijding van de bedrijfsnormen.

In het hoofdstuk met oplossingsrichtingen wordt geadviseerd om het risico op overschrijdingen van de bedrijfsnormen verder te beperken door aanpassing van het schakelschema.



Figuur 7-8 Overzicht van de gemeten en berekende reinwaterkwaliteit voor Fe (boven) en Mn (onder).

7.6 Invloed schakelschema op putverstopping

Door Vitens zijn vanaf 1990 jaarlijks capaciteitsmetingen uitgevoerd. Daarnaast zijn sinds 2010 bij 8 winputten HD-reiniging uitgevoerd en zijn 2 winputten chemisch geregenereerd. Vitens heeft aangegeven dat dit overzicht waarschijnlijk niet volledig is. De gemiddelde SV (Specifieke volumestroom) van de winputten bedroeg 64% van de hoogst gemeten waarde in de jaren 2010 – 2015. Overigens is door Vitens mondeling medegedeeld dat putverstopping geen groot probleem vormt voor de bedrijfsvoering en kosten.

In Tabel 7-3 is aangegeven dat een aantal winputten verstopten op de filterspleten, een aantal op de boorgatwand en een aantal door een combinatie van beide. Verstopping op het filter betekent dat er tijdens pompen een stijghoogteverschil optreedt tussen het pompfilter en het waarnemingsfilter in de omstorting. Bij verstopping op de boorgatwand neemt de afpompings van het winfilter toe (bij genormaliseerd debiet), zonder dat er filterweerstand is waargenomen. Figuur 7-9 illustreert de metingen aan een winput waar vermoedelijk zowel de boorgatwand als filterspleten verstopten. De verstoppingsproeven voor de overige winputten zijn weergegeven in bijlage IV.

Tabel 7-3 Overzicht van putverstoppingskenmerken

Winput	Specifieke volumestroom bij oplevering [m3/h/m]	Specifieke volumestroom 2010 –2015 [%] *	Vermoeden verstopping filterspleet **	Vermoeden verstopping boorgatwand ^	Regeneraties 2010-2015 ^^
P01-19	49	89%	Ja	Nee	
P02-13	60	83%	Ja	Nee	
P03-15	40	47%	Ja	Ja	2x HD
P05-18	30	74%	Ja	Nee	1x HD
P07-07	18	30%	Ja	Ja	
P08-08	60	86%	Ja	Nee	
P09-09	52	48%	Ja	Ja	2x HD; 1x H2O2 "
P10-17	33	47%	Ja	Nee	
P11-11	41	34%	Ja	Ja	3x HD; 1x H2O2
P12-12	54	68%	(voor 2004)	Ja	
P13-16	44	95%	(voor 2004)	Nee	

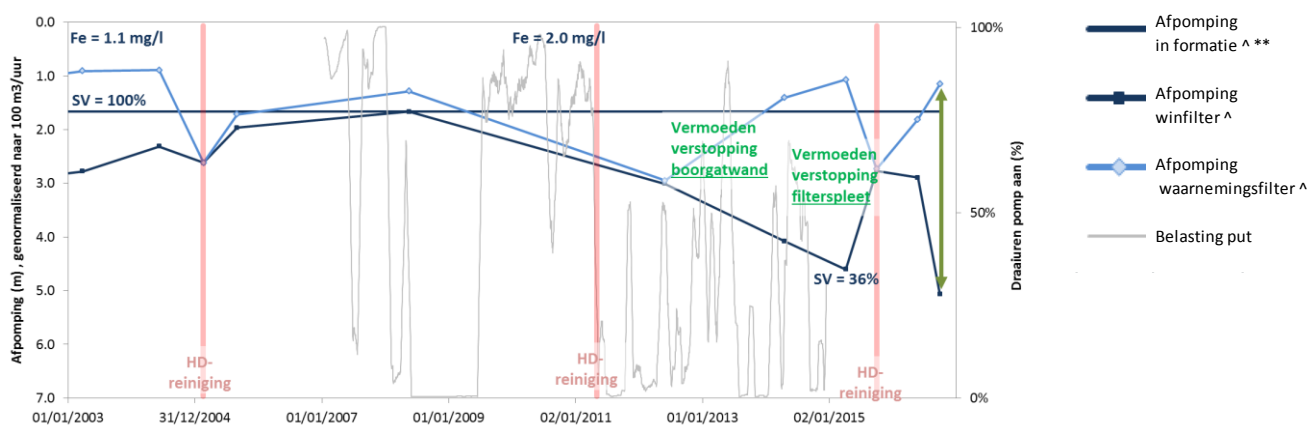
(*) Een verstoppingsvrije winput heeft een specifieke volumestroom van 100% die afneemt bij putverstopping.

(**) Gebaseerd op oplopend verschil stijghoogte in pompfilter en waarnemingsfilter.

(^) Gebaseerd op toename afpompingsdruk in pompfilter, voor zover niet verklaard uit verstopping waarnemingsfilter.

(^^) HD = hogedruk reiniging; H2O2 = waterstof peroxide 10% aangezuurd met HCl 1%.

(") Geen HD reiniging geregistreerd bij chemische regeneratie. Klopt registratie DAWACO?



Figuur 7-9 Voorbeeld van capaciteitsmetingen in winput waar vermoedelijk zowel de boorgatwand als filterspleten verstopen. (SV= specifieke volumestroom). (^) genormaliseerd naar pompdebiet van 100 m3/h (**) De theoretische afpompingsdruk van de formatie is gelijk aan de laagst gemeten afpompingsdruk sinds 1990 en bij oplevering (*) percentage van de tijd dat winput aan staat, 30-daags doorlopend gemiddelde.

Het is overigens de vraag of op Ellecom daadwerkelijk boorgatwandverstopping optreedt. Er kan ook sprake zijn van een meetfout. Zo wordt in sommige gevallen een filterspleetverstopping ten onrechte niet gedetecteerd doordat het waarnemingsfilter is gepositioneerd op een diepte waar de filterspleten niet verstopen. Ook kan het voorkomen dat het waarnemingsfilter ten onrechte geen drukverschil vertoont t.o.v. het winfilter wanneer deze te dicht tegen elkaar aan liggen, bijvoorbeeld doordat er bij de aanleg geen afstandhouders zijn geplaatst tussen het pompfilter. Overigens is boorgatwandverstopping niet ondenkbaar aangezien er ook een chemische reiniging nodig bleek om een aantal winputten te regenereren. De chemische reiniging is volgens

Vitens bedoeld om Mn-neerslagen te verwijderen in en rond het putfilter, die na HD-reiniging zijn achtergebleven.

Er zijn verschillende verklaringen denkbaar voor de (vermeende) boorgatwandverstopping:

- Belasting met deeltjes (mechanische verstopping) in combinatie met te weinig frequent schakelen van de winputten
- Neerslag van ijzerhydroxiden en mangaan door regelmatige verschuivingen van het redox-grensvlak in de omstorting en formatie rondom de winput.
- Kortsluitstroming in perioden dat de winput niet in bedrijf is. Op Heel is aangetoond dat stroming tijdens rustperiode migratie van Fe-hydroxiden naar de boorgatwand kan veroorzaken. De aanwezigheid van kleischotten en verticale weerstandsbiëdende lagen op Ellecom maakt het bovendien aannemelijk dat er gedurende rustperioden ook verticale gradiënten optreden rondom een winput.

De chemische samenstelling van het gewonnen water, namelijk een combinatie van oxisch water en ijzerrijk water, maakt het aannemelijk dat chemische putverstopping kan optreden. Vitens anticipeert hierop door het aantal schakelmomenten van de winputten te beperken tot één maal per twee weken. Overigens worden de winputten die aan-/ uit pendelen om gedurende de dag fluctuaties in de watervraag op te vangen frequenter geschakeld.

De remedie tegen putverstopping is afhankelijk van de diagnose:

- Bij mechanische verstopping ligt de oplossing in voldoende frequent schakelen en rustperioden
- Bij neerslag door verschuiving van redox-grensvlak is het zaak om de winning zo continue mogelijk te bedrijven
- Bij kortsluitstroming kan overwogen worden om een winput nooit helemaal uit te zetten, maar altijd een heel laag windebiet in stand te houden. Dit vergt frequentiegestuurde pompen.

Helaas zijn de putverstoppingsgegevens pas bij afronding van het project door Vitens aangeleverd waardoor geen tijd was om deze uitgebreider te bestuderen. Geadviseerd wordt om de oorzaken van putverstopping en de relatie met putschakelingen beter in beeld te brengen via nader onderzoek.

7.7 Aanbevelingen korte termijn: no regret maatregelen

De winput 7 heeft Mn concentraties tot 0,20 mg/l wanneer deze langer aanstaat. Deze waarden liggen ver boven de bedrijfsnormen terwijl het ruwwater alleen loogdosering ondergaat. Geadviseerd wordt om deze winput aan te sluiten op de marmerfilters.

Daarnaast wordt geadviseerd om de winputten P13-16 en P05-18 zo min mogelijk tegelijkertijd te bedrijven. Dit omdat de winputten binnen hetzelfde kleischot gepositioneerd zijn, waardoor gelijktijdig onttrekken met een te groot debiet het risico vergroot dat de winputten het anaerobe water omhoog trekken. Dit kan direct tot hogere Mn concentratie in winputten leiden omdat het water niet naar de marmerfilters gaat.

8 Oplossingsrichtingen

8.1 Conclusie systeemanalyse en analyse bedrijfsvoering

Bij de bedrijfsvoering van Ellecom wordt niet altijd even goed begrepen wat er precies in de ondergrond gebeurt en welke sleutels men dan heeft om hier mee de kwaliteit van het onttrokken water te beïnvloeden. Zo is er in het verleden vaak voor gekozen om de winputten met de gewenste kwaliteit zwaarder te belasten en die met een mindere kwaliteit te ontzien. Dergelijke oplossingen blijken bij Ellecom een paar jaar soelaas te bieden. Daarna verschuiven de hogere concentraties naar andere winputten en voldoet het reinwater alsnog niet meer aan de bedrijfsnormen.

Bij een krap gedimensioneerde zuivering is de voorspelbaarheid van concentraties van groot belang: fluctuaties moeten voorkomen worden voor parameters die kritisch zijn voor het voldoen aan de norm (zoals Mn op Ellecom). Voor een duurzame oplossing voor het productiebedrijf Ellecom is daarom in de eerste plaats stabiliteit en consistentie in bedrijfsvoering noodzakelijk: een grondwatersysteem reageert traag, zodat de problemen pas op termijn zichtbaar worden. Omgekeerd duurt het een paar jaar voordat van een optimale, stabiele bedrijfsvoering geprofiteerd kan worden. Een stabiele bedrijfsvoering begint met het stabiliseren van de concentraties in de afzonderlijke winputten. Stabiel en beheerst is belangrijker dan 'laag'. Hiervoor is een strikt uitgevoerde geplande bedrijfsvoering noodzakelijk.

De afgelopen 2 jaar is er al meer stabiliteit in de bedrijfsvoering gebracht en is de zuivering efficiënter ingezet. Dit heeft geleid tot minder frequente overschrijdingen van de normen voor Fe en Mn in het reinwater.

Het belangrijkste knelpunt van de productielocatie Ellecom is nog altijd dat de bedrijfsnormen voor Mn vermoedelijk incidenteel worden overschreden. Weliswaar zijn vanaf 2014 geen overschrijdingen voor Mn meer waargenomen in reinwater, maar uit indicatieve berekeningen blijkt dat er wel degelijk incidenteel overschrijdingen plaatsvinden op momenten dat niet is gemeten. De verwachting is dat de Mn concentratie komende jaren zal stijgen doordat een aantal winputten nog onevenredig zwaar wordt belast. In de afgelopen decennia is sowieso een geringe trendmatige toename te zien van het aandeel anoxisch (ijzerrijk) grondwater, mogelijk ter compensatie van het bovenmatig benutten van de winputten met aerob water.

8.2 Randvoorwaarden voor oplossingsrichtingen

Samen met Vitens zijn randvoorwaarden vastgesteld waaraan de winning in de toekomst moet voldoen. Harde eisen zijn:

- Geen overschrijding van de bedrijfsnormen van Vitens in het reinwater. Dit geldt met name voor Fe (tot 0.05 mg/l) en Mn (tot 0.01 mg/l) omdat voor deze stoffen de situatie kritisch is, leidend tot bruinwaterklachten en op termijn vervuiling van de distributieleidingen.
- In een normale bedrijfssituatie: leveringscapaciteit reinwater van gemiddeld 650 m³/h op dagbasis met een dagelijkse piek van 850 m³/h.

- Gedurende een hittegolf van 10 aaneengesloten dagen: leveringscapaciteit reinwater van gemiddeld 750 m³/h op dagbasis met een dagelijkse piek van 1250 m³/h.

Daarnaast zijn een aantal wensen opgesteld:

- Afname van het aandeel water dat vanuit het stedelijk gebied naar de winning komt toestromen.
- Afname van de invloed van de winning op grondwaterafhankelijke natuur.
- Geen toename van putverstopping, liefst preventie.

8.3 Oplossingsrichtingen

In eerste instantie is gekeken naar mogelijkheden om de ruwwaterkwaliteit beter te sturen, gebruik makend van de huidige infrastructuur. Daarnaast zijn oplossingsrichtingen verkend die aanpassingen vergen in de infrastructuur van de winning.

Slimmer sturen met huidige infrastructuur

- Oplossingsrichting 1: Aanpassing schakelschema

Aanpassen pompen

- Oplossingsrichting 2: aanpassen debiet pompen
- Oplossingsrichting 3: plaatsing frequentiegestuurde pompen

Aanpassen winputten

- Oplossingsrichting 4: bijplaatsen winputten
- Oplossingsrichting 5: per winput op gescheiden diepte winnen
- Oplossingsrichting 6: Ondergronds zuiveren
- Oplossingsrichting 7: Infiltratie van aerob water uit andere bron
- Oplossingsrichting 8: verplaatsen winning naar noordwesten

Aanpassen zuivering

- Oplossingsrichting 9: uitbreiding capaciteit marmerfilters

Andere oplossingsrichtingen, zoals het reduceren van het gemiddelde windebiet of het reduceren van de piekfactor (reinwater) zijn in dit onderzoek niet beschouwd.

8.4 Uitwerking en beoordeling oplossingsrichtingen

Tabel 8-1 geeft een overzicht van de verschillende oplossingsrichtingen. De oplossingsrichtingen worden in de navolgende paragrafen toegelicht, waarbij steeds de volgende zaken aan bod komen:

- Een omschrijving van de oplossingsrichting.
- Investeringskosten. De investeringskosten zijn zeer globaal berekend, mede vanwege kennishiaten. De investeringskosten zijn bepaald op basis van de kostenstandaard van RHDHV en worden nader toegelicht in Bijlage V. Er is geen rekening gehouden met verandering in operationele kosten en vooronderzoek/monitoring.

- De effecten, afgezet tegen de wensen en eisen die met Vitens zijn geformuleerd.
- Robuustheid van de oplossing, onzekerheden, en aanbevelingen hoe deze onzekerheden te verminderen.

Tabel 8-1 Overzicht afwegingen per oplossingsrichting

Oplossingsrichting	Indicatie investeringskosten	Effectiviteit en faalkansen				
		reinwater-kwaliteit	reinwater-capaciteit	stad	natuur	put-verstopping
autonome ontwikkeling		--	+	0	0	0
1: Aanpassing schakelschema		+ / --	+	0	0	0
2: Aanpassen pompcapaciteit en belasting putten		+ / -	+	0	0	0
3: Plaatsing frequentiegestuurde pompen	0.3 M€ *	+ / -	+	0	0	+??
4: Bijplaatsen winputten	0.6 M€ **	+ / --	+	0	+ / -	0
5: Water op gescheiden diepte winnen	1.1 M€	+ / --	+	0	0	0
6: Ondergronds zuiveren	niet geraamd	--	+	0	0	+?
7: Infiltratie aerob water uit andere bron		niet haalbaar			0	0
8: Verplaatsen winning naar noordwesten	2.2 M€	+ / --	+	+	+	0
9: uitbreiding capaciteit marmerfilters	0.9 tot 1.2 M€	+	+	0	0	0

legenda

- oplossing voldoet niet aan eis
- 0 geen/ neutraal effect
- + oplossing voldoet aan eis en is robuust
- + / - oplossing voldoet aan eis, risico's zijn beheersbaar door aanvullende vooronderzoek
- + / -- oplossing voldoet vermoedelijk aan eis, maar risico's zijn op termijn lastig beheersbaar

(*) kosten afhankelijk van beschikbare bekabeling

(**) door Vitens is aangegeven dat de kosten waarschijnlijk hoger zullen uitvallen dan berekend is in bijlage 4.

8.4.1 Oplossingsrichting 1: Aanpassing schakelschema's

Beschrijving oplossing

Bij aanpassing van het schakelschema is het van belang om de ruwwaterkwaliteit in alle winputten te stabiliseren. De meest stabiele situatie wordt verkregen door alle winputten gelijkmatig te belasten c.q. per maand evenveel m³ onttrekken. Dit betekent dat winputten met een lage pompcapaciteit frequenter aan staan dan winputten met een hogere pompcapaciteit, zie voorbeelduitwerking in Figuur 8-1.

In diverse winputten die buiten het marmerfilter om leveren, is de Mn concentratie afgelopen jaren zo ver opgelopen dat ze niet meer voldoen aan de bedrijfsnormen. Idealiter wordt winput P07-07 aangesloten op het marmerfilter vanwege de hoge Mn concentratie. Dit zou tot meer flexibiliteit leiden tussen de winputten die leveren via het marmerfilter en een betere benutting van de ruimte op het winveld. Echter, volgens opgave van Vitens vergt het aansluiten op leidingwerk een aanzienlijke investering in leidingwerk. Als alternatief wordt geadviseerd om de winning op het marmerfilter te houden maar minder zwaar te belasten in de hoop dat de Mn concentraties snel dalen.

De grootste kwetsbaarheid van de productielocatie is dat er nog maar 3 winputten (P05-18, P13-16 en P12-12) zijn met een waterkwaliteit die geschikt is om buiten het marmerfilter om leveren. (NB: het is onbekend wat de samenstelling is van de nieuwe winput P04-21; NB2: P12-12 voldoet niet aan de bedrijfsnormen maar kan nog weggemengd afhankelijk van de samenstelling van het water dat levert via de marmerfilters). Oplopende concentraties Mn in deze winputten kunnen direct leiden tot overschrijdingen van de bedrijfsnormen. Daarom wordt geadviseerd om deze winputten preventief minder zwaar te belasten dan de overige winputten.

Ook kan overwogen worden om de winputten die recent niet meer voldoen aan de bedrijfsnormen voor Mn (P07-07 en P 12-12) gedurende enkele maanden tot jaren

minder zwaar te belasten of uit te schakelen. Dit ter compensatie van de overproductie van de afgelopen jaren. Mogelijk dat de Mn concentraties teruglopen zodat ze op termijn weer buiten het marmerfilter om kunnen leveren.

Het huidige schakelschema leidt tot sprongen in de ruwwaterkwaliteit waardoor het reinwater periodiek niet voldoet aan de bedrijfsnormen. Een aangepast schakelschema moet zorgen voor combinaties van winputten waarbij de samenstelling van het ruwwater altijd binnen de grenswaarden van de zuivering blijft en liefst zo vlak mogelijk.

Voor het bufferen van **dagelijkse piekvragen** kan vermoedelijk nog meer gebruik gemaakt worden van de reinwaterkelder. Bijvoorbeeld door grotere waterniveaufluctuaties in de reinwaterkelder toe te staan. Uit indicatieve berekeningen van KWR voor de representatieve droge periode in juli 2015 bleek dat het mogelijk was om de benodigde 1250 m³/h reinwater te leveren met een maximaal ruwwaterdebiet van 850 m³/h. Bovendien heeft de reinwaterkelder door menging een behoorlijk bufferend effect op de reinwaterkwaliteit, waardoor het mogelijk niet erg is als aan het eind van de zuivering het water gedurende beperkte tijdspannes tijdelijk te hoge concentraties Mn heeft.

Voor het bufferen van langduriger piekvragen in een **hittegolf situatie** kan overwogen worden om (tijdelijk) alleen de winputten met een zo laag mogelijke Fe en Mn concentratie in te zetten. Deze scheve situatie moet dan in de aansluitende periode weer gecompenseerd worden om verstoring van de stabiele situatie te voorkomen. Mogelijk dat de capaciteit van de marmerfilters hierdoor toeneemt. Dit moet worden uitgezocht door de prestaties van het marmerfilter te testen bij verschillende concentraties ruwwater.

Het is de vraag of aansturing middels een schakelmatrix voldoende flexibiliteit biedt om te voldoen aan alle bovenstaande wensen t.a.v. de maandelijkse belasting, beperking van fluctuaties reinwaterkwaliteit en het juiste aantal schakelmomenten per jaar. Mogelijk dat beter kan worden overgestapt naar een carousel systeem in combinatie met prognoses van de reinwaterkwaliteit om pieken in de ruwwatervraag zoveel mogelijk af te vlakken.

Tot slot is het belangrijk om het schakelschema jaarlijks te evalueren en aan te passen indien de waterkwaliteit in winputten verandert.

Winput	Eigenschappen winput				Schakelschema		
	nominale capaciteit m3/uur	Fe	Mn	Zuivering	Hittegolf	Reguliere situatie	
		mg/l	mg/l		Draaiuren	Draaiuren	m3/jaar
Randvoorwaarden per put							
P 05-18	123.4	0.04	0.006	alleen loog	100%	34%	368,000
P 04-21	150	#	#		30%	28%	368,000
P 13-16	153.1	0.03	0.010	alleen loog	30%	27%	368,000
P 12-12	168	0.10	0.027	alleen loog ^	0%	25%	368,000
P 07-07	132.8	0.11	0.088	alleen loog ^^	100%	32%	368,000
P 11-11	78.6	0.41	0.032	marmerfilter	100%	70%	482,000
P 08-08	143.3	0.37	0.086	marmerfilter	100%	38%	482,000
P 02-13	162.4	0.09	0.127	marmerfilter	100%	34%	482,000
P 09-09	62.7	0.04	0.191	marmerfilter	30%	88%	482,000
P 01-19	81.8	1.984	0.27	marmerfilter	0%	67%	482,000
P 03-15	66.7	1.89	0.293	marmerfilter	0%	82%	482,000
P 06-20	133.1	0.03	0.343	marmerfilter	0%	41%	482,000
P 10-17	147.6	3.05	0.421	marmerfilter	0%	37%	482,000
Gezamenlijk ruw- en reinwater							
Reguliere situatie	168	0.04	0.011	alleen loog		29%	1,472,000
	440	0.98	0.220	* marmerfilter		57%	3,856,000
	608	0.01	0.005	reinwater		46%	5,696,000
Hittegolf	214	0.03	0.006	alleen loog			
	403	0.25	0.097	** marmerfilter			
	617	0.01	??	reinwater			

(*) reinwater circa 0.0025 mg/l; (**) rendement zuivering / concentratie reinwater onbekend

(^) Mn boven bedrijfsnorm, wegmengen met marmerfilter (^^) aansluiten op marmerfilter vergt leidingwe

(#) aanname: zeer lage Fe en Mn concentratie in nieuwe put

Figuur 8-1 Voorbeeld met gewenste aantal draaiuren per winput (randvoorwaarden) voor schakelschema. De draaiuren van de winputten die alleen loogdosering ondergaan zijn in een reguliere situatie zodanig gekozen dat er altijd één aanstaat.

Investeringskosten

Deze oplossingsrichting kan uitgevoerd met de bestaande infrastructuur. Wel is tijd/ budget nodig voor vooronderzoek (zie aanbevelingen).

Effectiviteit

De oplossing voldoet in theorie aan de gestelde eisen voor capaciteit en waterkwaliteit. De maatregel heeft geen effect op de natuur en stedelijk gebied.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Deze oplossingsrichting kent een aantal onzekerheden. Deze worden hierna toegelicht.

Het is nog de vraag of de piekcapaciteit van de marmerfilters verhoogd kan worden tijdens piekvragen door deze tijdelijk te belasten met lagere concentraties Fe en Mn dan in het verleden is getest. De achterliggende vraag is wat de doorslag van Mn veroorzaakt: is dit een onvolledige verwijdering, of komt dit door het oplossen van marmer onderin het filter, waardoor in het verleden neergeslagen Mn weer vrijkomt en uitspoelt. In dat laatste geval zal verlaging van Mn in het ruwwater geen invloed hebben op doorslag maar eerder de pH omdat lagere pH leidt tot een hogere consumptie van marmer en daarmee een grotere heroplossing van Mn.

Aanbeveling → Proef: rendement van marmerfilters bij oplopende debieten en verschillende pH en concentraties Mn en Fe in ruwwater. Dit betekent het herhalen van de proeven uit 2013 met/ zonder CO₂ dosering en bij verschillende combinaties van winputten. Dit kan vrij eenvoudig door een andere combinatie van winputten aan te schakelen en CO₂ te doseren. Zo leveren de winputten p02-13, p06-20, p08-08, p09-09 en p11-11 een lagere gemiddelde concentratie Fe en Mn van respectievelijk 0.2 mg/l en 0.18 mg/l.

Het is onbekend wat de samenstelling is van de nieuwe winput 04-21. Daarnaast genereert inzet van deze winput een kans dat winput p13-16 en p05-18, die stroomafwaarts liggen en mogelijk in hetzelfde kleischot zitten, meer anoxisch water gaan aantrekken. Deze winputten zijn momenteel (bijna) volledig oxisch en leveren water buiten de marmerfilters om.

Aanbeveling → De hoog frequente stijghoogteproef opnieuw uitvoeren, inclusief de nieuwe winput p04-21, de winputten die eerder niet bemeten zijn en alle monitoringsfilters in het eerste en tweede watervoerende pakket;

Aanbeveling → Uitvoeren van verkennende conceptuele modelberekeningen om het risico op upconing van anoxisch water te bepalen bij verschillende putconfiguraties en schakelschema's. Een uitkomst hiervan zou kunnen zijn dat winput 04-21 en stroomafwaarts gelegen oxische winputten nooit tegelijkertijd mogen draaien.

Het proces waardoor winputten verstopping heeft invloed op het gewenste schakelpatroon. In het huidige schakelschema worden winputten regelmatig aan-/uitgeschakeld om putverstopping te voorkomen. Dit helpt echter alleen bij winputten die mechanisch verstopping, maar het heeft waarschijnlijk een averechts effect op de winputten die chemisch verstopping. Voor een deel van de winputten is helemaal niet duidelijk hoe ze verstopping (chemisch, mechanisch, kortsluitstroming in rust). Deze informatie is belangrijk om te achterhalen, teneinde te besluiten welke winputten juist frequent en welke beter zo min mogelijk kunnen aan- en uitschakelen.

Aanbeveling → Nadere analyse van oorzaken putverstopping: (1) camera-inspectie (2) meten van putcapaciteit na HD reinigen, HD reinigen met chemicaliën en volledig chemisch reinigen en (3) analyseren van de samenstelling van het verstoppingsmateriaal winputten, (4) filterflowmeting winput in rusttoestand

8.4.2 Oplossingsrichting 2: Aanpassen pompcapaciteit en belasting van winputten die alleen loogdosering ondergaan

Het grootste risico van oplossingsrichting 1 is dat de concentratie Mn toch gaat oplopen in de drie winputten die buiten de zuivering om leveren, omdat het reinwater dan direct niet meer voldoet aan de bedrijfsnormen. Dit risico is te beperken door zo min mogelijk water te winnen met deze winputten. De productie is op dit moment slechts in geringe mate te beperken omdat permanent één van de winputten aan moet staan. Verdere reductie is echter mogelijk door de pompcapaciteit van deze winputten preventief te verlagen naar 100 m³/h.

Mogelijk dat het in de toekomst wel mogelijk wordt om de winputten die niet over het marmerfilter lopen uit te schakelen, wanneer Vitens het loogdoseringpunt verplaatst.

Daarnaast kan overwogen worden om de onttrekkingshoeveelheid en het pompdebiet te beperken in winputten met een lage specifieke volumestroom (met name P05-18).

8.4.3 Oplossingsrichting 3: Frequentiegestuurde pompen

Beschrijving oplossing

De incidentele overschrijdingen van de bedrijfsnormen in reinwater worden veroorzaakt door fluctuaties in de samenstelling van het ruwwater. Deze fluctuaties worden groter bij sterk wisselende patronen in het aan- en uitschakelen van winputten. Een manier om deze fluctuaties beter te beheersen is de toepassing van frequentiegeregelde pompen.

Om te zorgen dat de winputten die momenteel alleen loogdosering ondergaan “schoon” blijven, wordt geadviseerd om deze debieten lager te maken dan de overige pompen. Dit om het risico op upconing van Fe en Mn te minimaliseren.

Investeringskosten

De benodigde investeringen bestaan uit het aanleggen van frequentieomvormers, vervangen van pompen en aanpassing van de aansturing.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Het gebruik maken van andere pompen maakt het winveld robuuster dan oplossingsrichting 1 omdat gemakkelijker kan worden bijgestuurd door aanpassing van de pompcapaciteit. Dit vergroot de kans op een meer stabiele ruwwaterkwaliteit te kunnen onttrekken voor beide ruwwaterstromen. Er treden minder fluctuaties op in de ruwwaterkwaliteit, met navenant minder kans op doorslag. Een dergelijk systeem biedt de operator bovendien maximale flexibiliteit om in te spelen op tijdelijke verstoringen, bijvoorbeeld bij onderhoudswerkzaamheden. Ook kan sneller geanticipeerd op onverhoopte veranderingen in de ruwwaterkwaliteit van een winput door aanpassing van het debiet.

De aanbevelingen zijn verder vergelijkbaar met de 1^e oplossingsrichting.

8.4.4 Oplossingsrichting 4: Bijplaatsen winputten

Beschrijving oplossing

Het idee achter deze oplossingsrichting is om extra winputten te boren op zodanig slim gekozen locaties dat weinig Fe en Mn wordt aangetrokken; ook in de toekomst. De meest kansrijke locaties liggen stroomopwaarts van de huidige winning in door kleischotten gescheiden compartimenten waarin maar één winput in ligt of in compartimenten waar alle bestaande winputten al Fe en Mn aantrekken (zie

Figuur 8-2). Het ondiep plaatsen van de filters tussen -15 en -35 mNAP vergroot de kans dat de winput weinig tot geen anoxisch water aantrekt. Bijkomend voordeel van het verplaatsen van winputten is dat het intrekgebied wat meer naar het noordwesten opschuift waardoor minder stedelijk water wordt aangetrokken.

Het boren van nieuwe winputten in een compartiment met Fe- en Mn-vrije winputten (zoals onlangs is gedaan met winput 04-21) wordt afgeraden omdat de nieuwe winput er dan voor kan gaan zorgen dat de bestaande winputten dieper Mn-rijk water gaan aantrekken.

Hierbij is een nuancering op zijn plaats, in de zin dat upconing mogelijk minder snel optreedt in grote compartimenten met voldoende onderlinge afstand. Het plaatsen van winputten naast een inmiddels verlaten winput wordt ook afgeraden omdat rond deze locatie het redox grensvlak mogelijk al naar boven is verplaatst.

Overigens vraagt deze oplossingsrichting dat Vitens zelf kan kiezen waar ze nieuwe winputten positioneert. Dit is momenteel niet het geval, aangezien Vitens het terrein met geschikte locaties voor waterwinning niet in eigendom heeft.

Effectiviteit

De extra winputten kunnen direct ingezet worden om de Fe en Mn concentratie van het ruwwater te verlagen. Een bijkomend voordeel van extra winputten is dat het gemiddelde debiet van de overige winputten verlaagd kan worden naar bijvoorbeeld 100 m³/h en dat de winning over een groter oppervlak verspreid wordt. Dit reduceert het risico op toename van Fe en Mn in de overige winputten door upconing van dieper water.

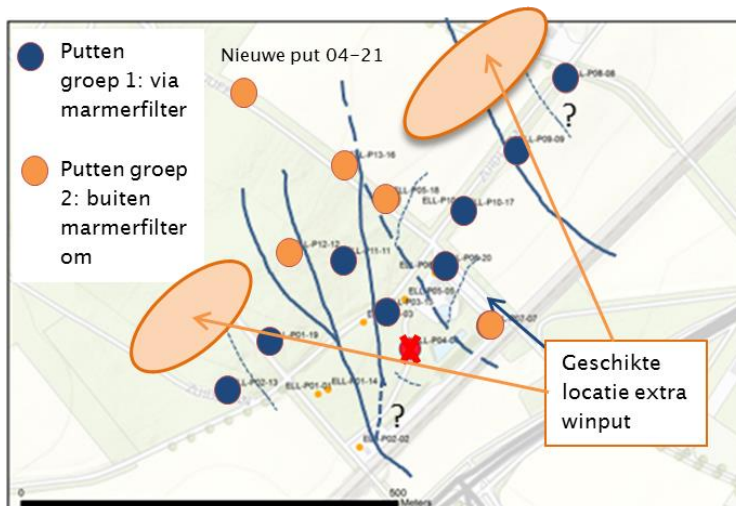
Investeringskosten

De investeringskosten zijn geraamd op M€ 0.6 voor 2 winputten.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Het grootste risico van deze oplossingsrichting is dat de nieuwe winputten toch Fe of Mn-houdend water bevatten.

Aanbeveling → Het boren van een waarnemingsput en het nemen van waterkwaliteitsmonsters kan dit risico maar in beperkte mate verkleinen, omdat de toekomstige winput zelf mede van invloed is op de diepteligging van het redoxgrensvlak.



Figuur 8-2 Indicatie van locaties die mogelijk geschikt zijn om nieuwe Fe- en Mn-vrije winputten te plaatsen.

8.4.5 Oplossingsrichting 5: Water op gescheiden diepte winnen

Beschrijving oplossing

Als vaststaat dat het meeste Fe en Mn van onderen komt, dan kan gescheiden winnen binnen een winput helpen. Daarbij wordt het ondiepe ijzer- en mangaanarme water gewonnen met separate haalbuizen. Het diepe en ondiepe deel van het filter worden van elkaar gescheiden door een packer. Het ondiepe water gaat naar de loogdosering, en het diepere naar de marmerfilters. Een globale schatting op basis van de beperkte set waarnemingsfilters is dat circa een derde tot de helft van het toestromende grondwater aeroob is en dus vrij van mangaan en ijzer. Dit is in theorie voldoende. Maar de vraag is of het in de praktijk ook zal lukken om een voldoende aandeel van het Mn-vrije water gescheiden te winnen.

Investeringskosten

De investeringskosten voor het ombouwen van de winputten en het leggen van een smallere ruwwaterleiding naast de huidige leiding zijn grofweg geschat op M€ 1 voor alle winputten tezamen.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Belangrijke kennisvraag bij deze optie is of het Fe en Mn alleen uit het onderste deel van het watervoerend pakket afkomstig is, of ook uit hoger gelegen kleipockets toestroomt.

Aanbeveling → Binnen dit project is een apparaat ontwikkeld om winputten op verschillende diepte te bemonsteren, maar vanwege bedrijfstechnische redenen zijn de metingen niet uitgevoerd. Geadviseerd wordt om deze metingen alsnog uit te voeren.

8.4.6 Oplossingsrichting 6: Ondergronds zuiveren

Beschrijving oplossing

Ondergronds ontijzeren is een techniek om Fe in de ondergrond te laten neerslaan door periodiek oxisch water te infiltreren.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Vanwege de lage pH in het grondwater in Ellecom bestaat de kans dat bij ondergrondse ontijzering het Fe niet volledig verwijderd wordt. Bij onvolledige ontijzering kunnen ijzervlokken in het ruwwater ontstaan. Afhankelijk van hoe de verneveling plaatsvindt is er een kans dat deze vlokken door het zand/marmerfilter stromen, resulterend in een overschrijding optreedt van Fe in het reinwater.

Ondergronds ontijzeren wordt op Ellecom dan ook gezien als een risicovolle oplossing en is om die reden niet verder uitgewerkt.

8.4.7 Oplossingsrichting 7: Infiltratie van aeroob water uit andere bron

Vitens geeft aan dat er geen geschikte bron beschikbaar is om aeroob water te infiltreren ter plaatse van winveld. Deze oplossingsrichting is daarom niet verder uitgewerkt.

8.4.8 Oplossingsrichting 8: Verplaatsen winning

Beschrijving oplossing

Een laatste mogelijkheid is om de winning helemaal te verplaatsten. Met het grondwatermodel is berekend dat de winning 1000 m naar het noordwesten verplaatst moet worden om te zorgen dat het intrekgebied buiten het stedelijke gebied van Ellecom en Dieren komt te liggen, zie Figuur 8-3.

Investeringskosten

De kosten van het plaatsen van 13 nieuwe winputten en een ruwwaterleiding van een kilometer zijn ingeschat op € 2.2 Mm.

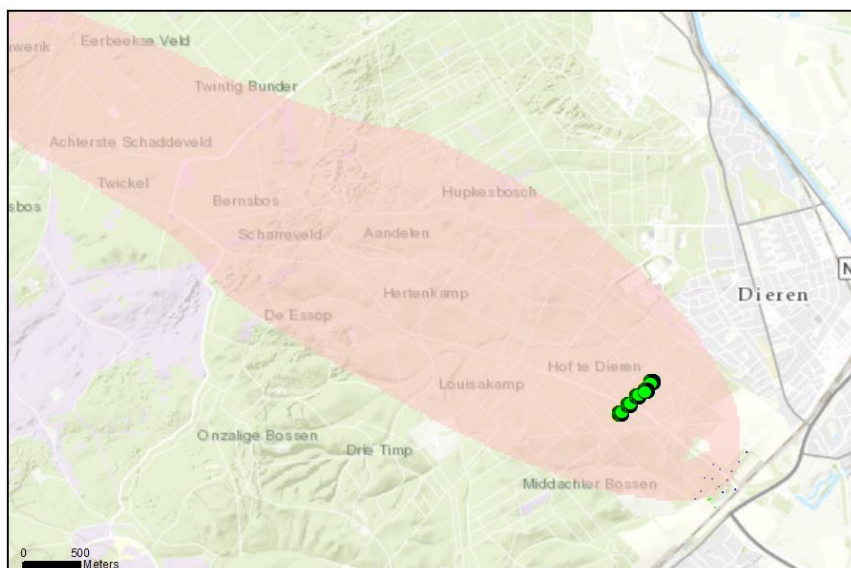
Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

Het grootste risico van deze oplossingsrichting is dat op voorhand niet kan worden gegarandeerd dat de Fe- en Mn-concentraties in het ruwwater voldoende laag zijn voor de huidige zuivering. In dat geval zou alsnog aanvullende zuiveringscapaciteit nodig zijn.

De Fe- en Mn- concentraties zijn lastig te voorspellen omdat er weinig bekend is over de bodemopbouw op de beoogde alternatieve locatie; name wat betreft de ligging van kleischotten. De best beschikbare informatie over de opbouw van de ondergrond is de boring B33G0281, welke 2.8 km ten noorden van de huidige winning ligt en 1.8 km ten noorden van de beoogde locatie. Hier loopt het eerste watervoerende pakket tot 100 -mv. Op een diepte van 40 m-mv is een veen- en kleilaag aangetroffen. De redoxovergang zit op basis van kleurbeschrijvingen precies halverwege het onderste gedeelte van het watervoerende pakket op 70 m-mv. Ter plaatse van deze boring lijkt de ondergrond dan ook minder geschikt voor een winveld dan de huidige winlocatie.

Aanbeveling → Indien gekozen wordt voor deze oplossingsrichting, dan wordt geadviseerd om de ondergrond beter in beeld te brengen middels proefboringen en het plaatsen van peilbuizen met filters op meerdere diepten tot de eerste scheidende laag.

Aanbeveling → Bovendien wordt het aangeraden om de effecten van de huidige winning richting het natuurgebied beter te verifiëren met een (langdurige) pompproef waarbij het totale windebiet gedurende een periode van enkele maanden fors veranderd wordt. Dit is in de praktijk moeilijk uit te voeren, tenzij dit samen kan vallen met bv. werkzaamheden op de winlocatie, of een moment dat een andere winning back-up kan verzorgen.



Figuur 8-3 Berekende intrekgebied vanaf maaiveld bij verplaatsing winning, circa 1 km naar het noordwesten

8.4.9 Oplossingsrichting 9: uitbreiding capaciteit marmerfilters

Beschrijving oplossing

Naast aanpassing in de winning kan ook gekozen worden voor uitbreiding van de capaciteit van de marmerfilters.

Om ten alle tijden bij alle combinaties van winputten / ruwwaterkwaliteiten een debiet van 850 m³/h te leveren zijn 2 à 3 extra filters nodig.

Investeringskosten

De investeringskosten bedragen M€ 0.9 voor 2 extra filters en M€ 1.2 voor 3 extra filters.

Robuustheid, onzekerheden, aanbevelingen

De benodigde capaciteit is afhankelijk van de toekomstige ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit. De oplossing is vervolgens wel zeer robuust in het perspectief van de preventie van te hoge concentraties Fe en Mn in het reinwater.

Ook in dit geval wordt het aangeraden om met gerichte monitoring het functioneren van de huidige filters beter in kaart te brengen. Dit leidt tot een deugdelijke onderbouwing van de noodzaak van extra zuiveringsmaatregelen en een nauwkeuriger bepaling van de benodigde aanvullende zuiveringsprestaties.

8.5 Aanbevelingen en vervolgstappen

De oplossingsrichtingen overziend, is voor dit moment nog niet aangetoond dat het onmogelijk is om met de huidige infrastructuur het productiebedrijf zodanig te bedrijven dat het afgeleverde water ten allen tijde voldoet aan de eisen die Vitens er aan stelt. Dit wordt bevestigd door de afwezigheid van gemeten overschrijdingen in de laatste paar jaar. Om de situatie verder te beheersen zijn een strikte bedrijfsvoering en een onderzoeksinspanning nodig. De situatie kan verbeterd worden door aanpassingen aan het puttenveld. Mogelijk is ook de zuivering beter te benutten.

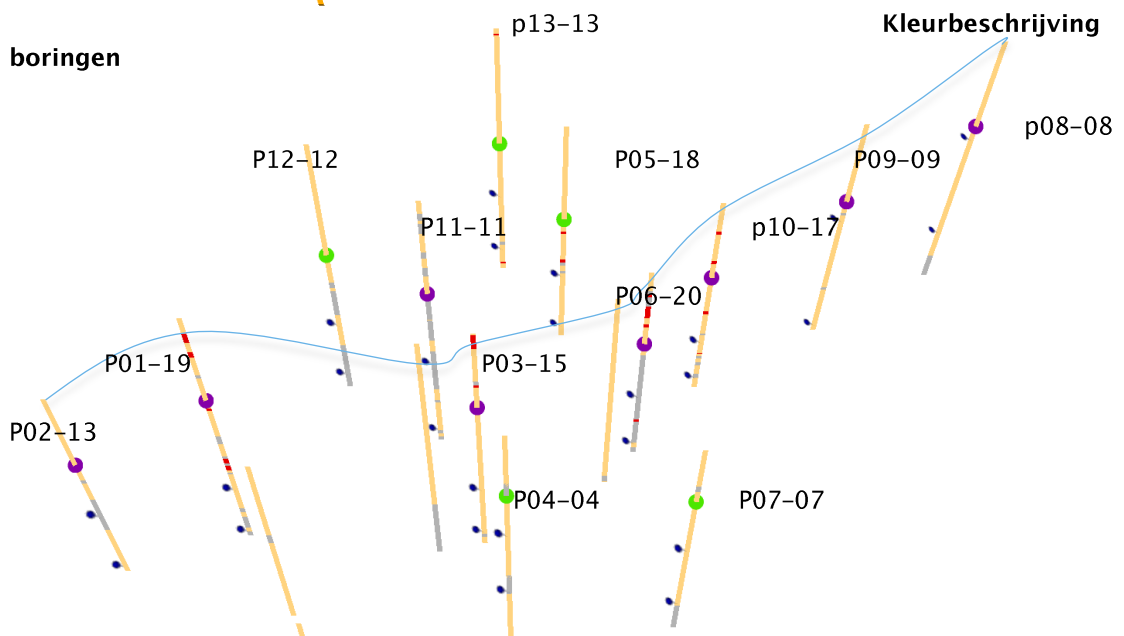
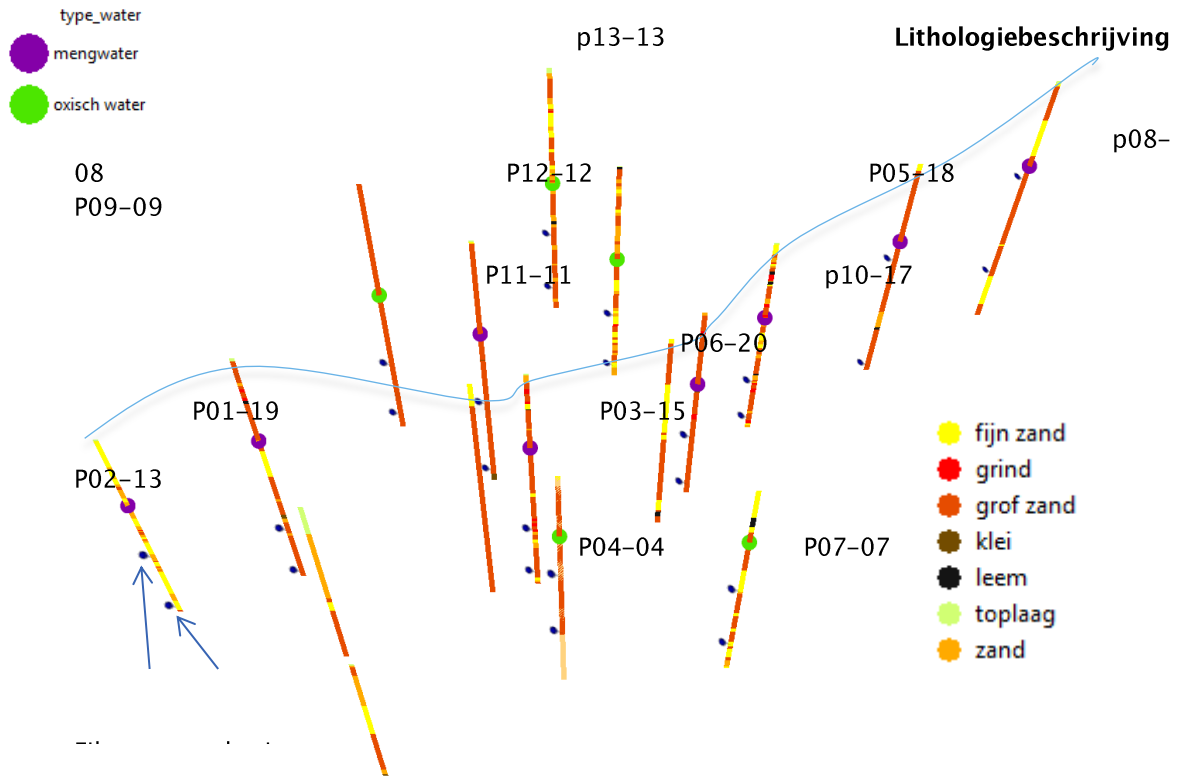
Het is echter ook niet uit te sluiten dat de eindbalans na nader onderzoek luidt dat uitbreiding van de zuivering onvermijdelijk is. Dit wordt gezien als de meest robuuste oplossing voor de kwaliteitsproblematiek van Ellecom. Qua kosten is deze oplossing niet heel veel duurder dan aanpassingen aan het puttenveld.

In de samenvatting van dit rapport is een stappenplan uitgewerkt hoe de bedrijfsvoering van het productiebedrijf te optimaliseren.

9 Referenties

- Deltares, 2014. Grondwatermodel AZURE versie 1.0.
- DINOLOket.
- Hambrey, M.J., 1994. Glacial Environments. UCL Press, London, 296 pp.
- Hemker et al, 2014. MLU for windows, well flow modeling in multilayer aquifer systems.
- Provincie Gelderland, 2012. Gebiedsdossier Gelderland; winning Ellecom.
- Provincie Gelderland, website kaartenatlas.
- RHDHV, kostenstandaard.
- RIVM, 2009, Kwaliteit van het drinkwater in Nederland in 2009.
- Stuyfzand, 2012: Hydrogeochemical (HGC 2.2), for storage, management, control, correction and interpretation of water quality data in Excel spread sheet, updated version july 2015 available;
- Tauw 2010, Bodemonderzoek Gelderland drinkwaterwinningen perceel 7 waterwingebied. Ellecom. Projectnummer 4708595.
- Vitens, 2010. Ellecom, resultaten diepe pompproef.
- Vitens, 2013. Memo onderzoek zuivering Pb Ellecom, door Keizer, P.
- Vitens, 2015. Notitie herinrichting puttenveld Ellecom.
- Webpagina: <https://rvs.rivm.nl/zoeksysteem/stof/detail/444>.
- Webpagina: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2015-11-28#BijlageA>
Drinkwaterbesluit
- WHO, 2004, Guidelines for drinking-water quality, third edition Volume 1, Recommendations.

Bijlage I Boringen in 3-D op het winveld



- Grijs: grijs zand
- Rood: rood zand
- Lichtoranje: overige kleuren zand (vooral (mengelingen met) geel zand)

Bijlage II Analyse hoogfrequente stijghoogtemetingen in putten

Aanleiding

Bij discussies over de mate waarin de kwaliteit van het onttrokken water op productiebedrijf Ellecom beïnvloed kan worden door bepaalde winputten (vaker) aan of juist uit te zetten, diende de vraag zich aan of het watervoerend pakket waaruit het grondwater onttrokken wordt als een eenheid mag worden beschouwd. Het productiebedrijf bevindt zich immers op een stuwwal: een heuvel waar onder invloed van landijs bodemlagen voor het gletsjer-ijs uit omhoog gestuwd is. Dit kan er onder meer toe leiden dat kleilagen die oorspronkelijk horizontaal afgezet zijn, door de stuwingen scheef gesteld zijn en op die manier het watervoerend pakket in compartimenten opdelen.

Wanneer er sprake is van één aaneengesloten watervoerend pakket, zal het water bij een uitgeschakelde winput langzaam door een buurput worden aangetrokken. Als er sprake is van compartimenten, zal afhankelijk van de mate van doorlatendheid van het betreffende 'kleischot', deze verplaatsing vertraagd of mogelijk helemaal niet plaats vinden.

Om een indicatie te krijgen of er met deze compartimenten rekening gehouden moet worden, is besloten om een meetprogramma uit te voeren in de dertien winputten van het productiebedrijf en de drie waarnemingsfilters van waarnemingsbuis 33GP0164, die op het terrein van het productiebedrijf ligt.

Denktrant

Als een pomp in een winput aanschakelt, zal dit leiden tot een verlaging van het waterniveau in het betreffende filter. Als gevolg hiervan zal het grondwater vanuit het pakket het winfilter instromen. In het pakket zal de waterdruk hierdoor afnemen, het sterkst vlak bij het winfilter, en geleidelijk minder naarmate de afstand tot de winput groter wordt. De vorming van zo'n 'verlagingskegel' vergt enige tijd, maar zal in homogene pakketten al vrij snel na het aanschakelen ook in buurputten een meetbare drukverlaging te zien geven, onafhankelijk van de vraag of in zo'n buurput de pomp op dat moment aan- of uitstaat. In homogene pakketten kunnen uit de reactiepatronen gegevens worden afgeleid over de mate van doorlatendheid van bodemlagen (kD- en c-waarden). Als de buurput door een kleilaag van een schakelende winput wordt afgescheiden, zullen dergelijke drukreacties niet of gedempt worden waargenomen. Bovendien kan de verlaging binnen een bepaald compartiment buitensporig hoog worden ten opzichte van de situatie zonder slecht-doorlatende breukwanden.

Door nu alle winputten van drukopnemers te voorzien, hoogfrequent (1x per minuut) waar te nemen hoe ze reageren op de dagelijkse schakelpatronen, kan tegen een geringe meetinspanning informatie worden verkregen over de aanwezigheid van kleischotten en compartimenten binnen het bepompte pakket.

Uitvoering van de metingen

Drukmetingen

De meetreeksen van de dertien winputten startten op 19 januari 2016, maar gaven toen allemaal waarden ter grootte van de luchtdruk. Op 21 januari 2016 zijn ze in de ochtend ingehangen en 's middags om 15:00 zijn ook de drukopnemers in de drie filters van 33GP0164 opgestart. Bij het inhangen bleek het technisch niet mogelijk om winput 03–15 van een drukopnemer te voorzien. Omdat de schakelmomenten ook via het PI-systeem geregistreerd worden, wordt dit niet als onoverkomelijk gezien. De reacties van winput 3 op het schakelen van buurputten wordt dan niet waargenomen, omgekeerd zijn wel de reacties van de buurputten op het schakelen van winput 3 waar te nemen.

Omdat de drukopnemers een opslagcapaciteit hebben van 16,7 dagen, zijn ze op 5 februari 2016 uitgelezen. De eerste reeksen eindigen op 5 februari om 9:59 uur, de laatste om 11:45 uur. Het blijkt dan dat de drukopnemers van winput 08–08, 09–09 en 11–11 abusievelijk op 19 januari niet zijn opgestart. Er is ter plekke besloten om de drukopnemers opnieuw op te starten.

Op 22 februari 2016 zijn de metingen van de tweede meetperiode uitgelezen. Bij oplevering van de databestanden blijken de metingen van winput 09–09 en van de filters 2 en 3 van 33GP0164 verloren te zijn gegaan.

Tabel 1: Overzicht meetperioden drukmetingen

	meetperiode 1		meetperiode 2	
	start 21 jan	einde 5 feb	herstart 5 feb	einde 22 feb
P 01–19	13:19	9:59	10:30	2:24
P 02–13	13:25	9:59	10:44	2:41
P 03–15	–	–	–	–
P 04–04	12:03	9:59	11:31	3:28
P 05–18	11:50	9:54	10:01	1:58
P 06–20	14:14	9:59	12:16	4:13
P 07–07	11:36	9:59	12:24	4:21
P 08–08	–	–	10:00	29 feb 11:29
P 09–09	–	–	–	–
P 10–17	9:54	9:46	9:49	1:46
P 11–11	–	–	10:57	29 feb 11:44
P 12–12	13:45	11:02	11:16	29 feb 11:49
P 13–16	11:45	10:07	10:10	29 feb 10:47
33GP0164–1	15:00	11:27	11:39	03:34
33GP0164–2	15:00	11:33	–	–
33GP0164–3	15:00	11:40	–	–

Schakelmomenten

Door Vitens is een Excel-bestand aangeleverd met daarin per winput het aantal draaiminuten per kwartier. Als in dat bestand aangegeven staat dat een winput na 13:30 uur nog 8.75 minuten draaide, is deze dus om 13:38:45 uur uitgeschakeld.

Op het productiebedrijf wordt gewerkt met een aantal schakelschema's. Zo'n schakelschema geldt voor een aantal dagen. Per schakelschema staat een aantal winputten continu aan. Afhankelijk van de vraag naar water worden andere winputten in een vaste volgorde één voor één bij- of uitgeschakeld.

Tabel 2: Schakelpatroon van winputten binnen een schakelschema (1 = aan, 0 = uit, niet vermelde winputten staan uit)

		P02-13	P05-18	P08-08	P07-07	P01-19	P10-17
18-02-16	14:30:18	1	1	1	0	0	0
19-02-16	0:03:18	1	1	1	1	0	0
19-02-16	20:27:18	1	1	1	0	0	0
19-02-16	21:02:18	1	1	0	0	0	0
19-02-16	23:46:18	1	1	1	0	0	0
20-02-16	1:53:18	1	1	1	1	0	0
20-02-16	6:05:18	1	1	1	0	0	0
20-02-16	6:23:18	1	1	0	0	0	0
20-02-16	8:20:18	1	1	1	0	0	0
20-02-16	9:15:18	1	1	1	1	0	0
20-02-16	9:44:18	1	1	1	1	1	0
20-02-16	10:41:18	1	1	1	1	1	1
20-02-16	13:41:18	1	1	1	1	1	0
20-02-16	19:28:18	1	1	1	1	0	0
20-02-16	21:26:18	1	1	1	0	0	0
20-02-16	21:48:18	1	1	0	0	0	0

Een unieke schakeling houdt in dat één winput afzonderlijk bij- of uitgeschakeld wordt. Als er na een paar dagen overgestapt wordt op een ander schakelschema, schakelen meerdere winputten vrijwel tegelijkertijd aan of uit. Deze meervoudige schakelmomenten zijn veel lastiger te interpreteren, omdat niet altijd helder is van welke putschakeling een waargenomen reactie het gevolg is.

Tabel 3: Schakelpatroon van winputten van het ene naar het andere schakelschema (1 = aan, 0 = uit, niet vermelde winputten staan uit)

		P02-13	P05-18	P08-08	P07-07	P01-19	P10-17	P06-20	P11-11	P12-12
16-02-16	23:26:18	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17-02-16	13:05:18	0	0	0	0	1	1	1	1	1
17-02-16	16:36:18	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18-02-16	3:10:18	0	0	0	0	1	1	1	1	1
18-02-16	13:31:18	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18-02-16	14:30:18	1	1	1	0	0	0	0	0	0
19-02-16	0:03:18	1	1	1	1	0	0	0	0	0
19-02-16	20:27:18	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Debiten

De pompen van de winputten worden geselecteerd op basis van hun nominaal debiet: dat is het debiet wat ze leveren bij een bepaalde opvoerhoogte (=tegendruk). Het blijkt dat het werkelijke debiet tot tientallen procenten van dit nominale debiet kan afwijken wanneer de tegendruk afwijkt van de tegendruk waarbij het nominale debiet is vastgesteld. De tegendruk in het ruwwatersysteem verschilt bovendien van moment tot moment. Zo zal de tegendruk oplopen naarmate er meer winputten aan staan. De werkelijke debieten worden niet per winput geregistreerd. Door Vitens is een poging gedaan om de werkelijke debieten te reconstrueren. Dat bleek complexer dan verwacht, en het eindresultaat lijkt nog niet helemaal bevredigend.

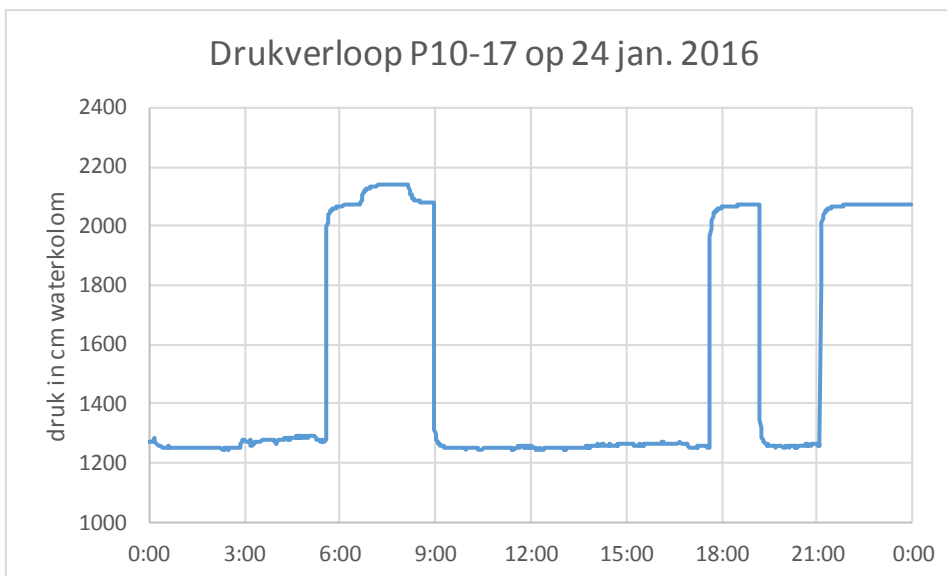
Aanname bepaling debiet: de nominale debieten zijn per dag vermenigvuldigd met het aantal draaiuren. Dat is vergeleken met dagwaarden die geregistreerd zijn als 'ACE-GE-PELL grondwaterverbruik'. Aan de hand hiervan zijn op dagbasis correctiefactoren bepaald. Als over beide meetperioden hiervan het gemiddelde wordt bepaald, volgen onderstaande debieten voor de momenten dat de winputten aan hebben gestaan.

Tabel 4: Overzicht van gemiddelde putdebieten

	gemiddelde productie (m ³ /h)
P 01-19	81.8
P 02-13	162.4
P 03-15	66.7
P 04-04	126.3
P 05-18	123.4
P 06-20	133.1
P 07-07	132.8
P 08-08	143.3
P 09-09	62.7
P 10-17	147.6
P 11-11	78.6
P 12-12	168.0
P 13-16	153.1

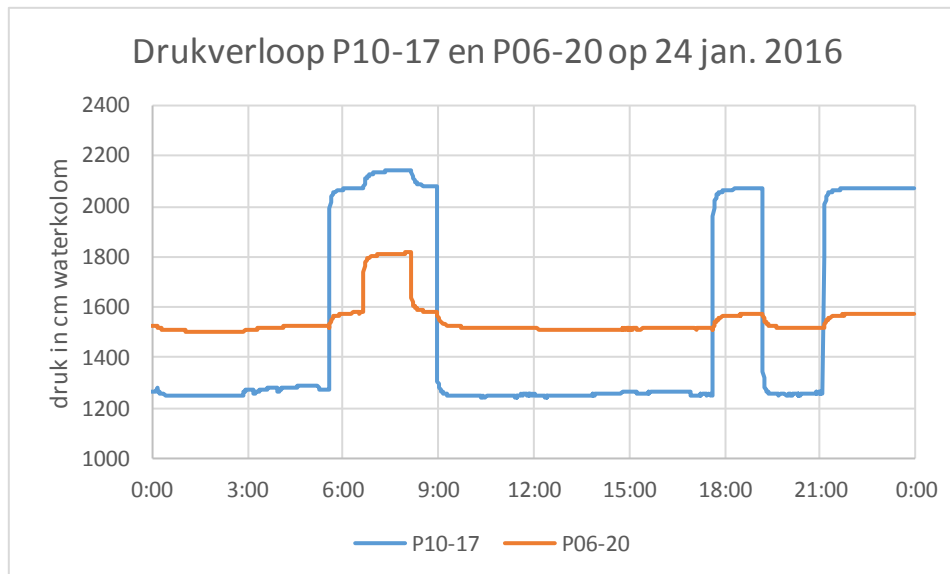
Beschouwing van de drukmetingen

Op de momenten dat er een putschakeling plaats vindt, is er een duidelijke drukreactie waarneembaar in de betreffende winput. Bij een aanschakelende winput daalt de druk in het winfilter binnen 15 minuten tussen 1,67 (winput 01-19) en 8,41 meter (winput 10-17). Als dezelfde winput weer uitschakelt neemt de druk even snel weer toe.



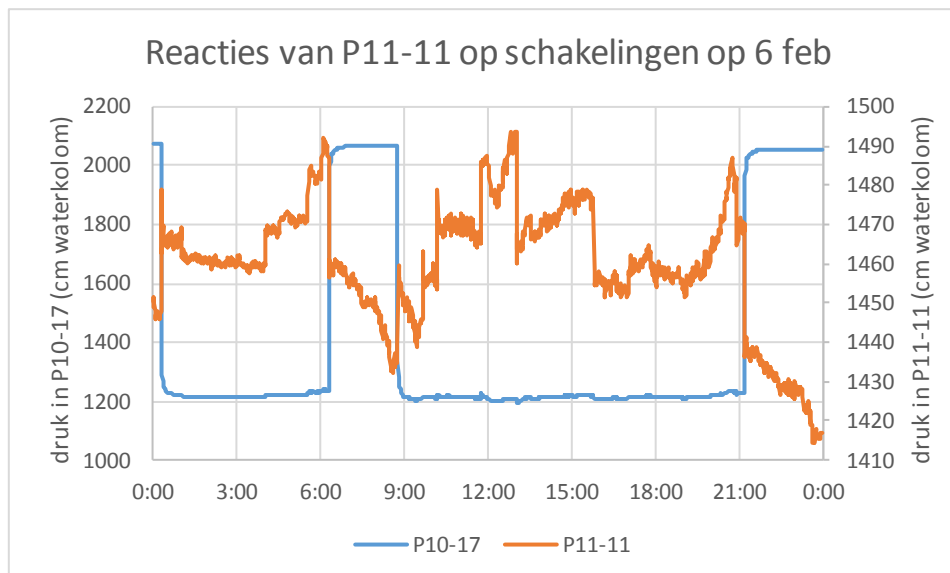
Figuur 1: Drukverloop in het winfilter van P10-17 op 24 januari 2016.

Omliggende winputten die op dat moment uit staan, fungeren feitelijk als waarnemingsfilter. Bij beschouwing van alleen de unieke schakelmomenten beschouwen, reageren de waterniveaus van 0,00 tot 0,55 meter op het schakelen van een buurput. Als er een duidelijke reactie is, is dit een aanwijzing dat beide winputten in hetzelfde hydrologische compartiment zitten. Als er geen reactie wordt waargenomen, is dit een aanwijzing dat er tussen beide winputten een kleischot zit.



Figuur 2: Interactie tussen het drukverloop in de winfilters van P10-17 en P06-20.

Omliggende winputten die aan staan op het moment dat een buurput bijschakelt, laten in veel gevallen momentaan een stijging zien in de orde van centimeters tot enkele decimeters. Hierna wordt er, afhankelijk van tussenliggende kleischotten, alsnog een daling waargenomen. De stijging wordt toegeschreven aan de toenemende tegendruk in het ruwwatersysteem als gevolg van het bijschakelen. In een buurput die op het moment van schakelen al aan staat, zal het debiet hierdoor iets teruglopen, waardoor de druk in het winfilter iets oploopt.



Figuur 3: Drukmeting in winput P11-11. Als deze winput aanstaat dan reageert de druk tegengesteld aan het aan- en uitschakelen van buurputten, in de figuur is alleen het schakelen van P10-17 weergegeven.

Interpretatie van de drukmetingen

Voor beide meetperioden zijn alle unieke schakelmomenten beschouwd. Voor alle meetreeksen is de reactie hierop beschouwd. Omdat de schakelmomenten op de seconde precies plaatsvinden en de drukmetingen op de minuut nauwkeurig

geregistreerd worden, is niet de eerste waarneming na aanschakelen genomen (die immers 1 tot 60 seconden na het aanschakelen is geregistreerd, en dus slecht vergelijkbaar is met waarnemingen na latere schakelmomenten) maar die na 15 minuten. Aangenomen mag worden dat de reactie na 14:01 minuten vergelijkbaar is met die na 15:00 minuten. Er is ook verkend of de waarnemingen na 30 minuten bruikbaar zijn, maar dan vallen er al weer schakelmomenten af omdat er een aantal keren binnen die 30 minuten alweer een volgende schakeling plaats vond.

Binnen meetperiode 1 geven de winputten P09-09, P11-11, P12-12 en P13-16 geen unieke schakelmomenten, alle andere winputten wel. Van de winputten 03-15, P08-08, P09-09 en P11-11 is om eerder vermelde redenen geen meetreeks beschikbaar.

Een winput kan in meetperiode 1 meerdere keren uniek schakelen. Per schakeling is een verlaging bij aanschakelen beschouwd als een positieve waarde, evenals een verhoging bij uitschakelen. In principe zijn alleen de reacties beschouwd waarbij de betreffende buurput uit staat, omdat de waarnemingen dan niet beïnvloed worden door eventuele debietfluctuaties in de reagerende buurput. Alleen als er uitsluitend reacties zijn waarbij de reagerende buurput aan staat, zijn deze waarnemingen gebruikt. Dat kan dan leiden tot negatieve waarden voor de reacties. Van alle reacties in de buurputten is het gemiddelde bepaald.

Tabel 5: weergave van de gemeten effecten van putschakelingen ter plaatse van buurputten in cm tijdens meetperiode 1

Meetperiode 1		Reactieputten															
	P01-19	P02-13	P03-15	P04-04	P05-18	P06-20	P07-07	P08-08	P09-09	P10-17	P11-11	P12-12	P13-16	33GP016	33GP016	33GP016	
Schakelputten																	
P01-19	168.6	15.9		0.0	-0.2	-0.5	-0.2			-10.3		0.1	0.0	-0.1	0.1	-0.4	
P02-13	28.6	328.4		0.2	-0.3	-0.3	0.0			0.0		0.3	0.2	0.0	0.2	-0.4	
P03-15	-0.6	-0.2		20.4	1.1	1.4	1.1			-0.9		0.4	0.1	1.3	15.4	-1.1	
P04-04	0.1	-2.1		601.5	0.7	2.3	1.8			-5.4		0.1	-3.1	8.1	14.5	-1.0	
P05-18	-0.4	0.0		1.6	611.7	13.1	3.1			5.2		0.2	3.4	0.1	1.1	-0.2	
P06-20	0.1	0.1		4.0	10.6	225.7	23.1			55.1		-4.3	0.0	0.4	1.6	-0.7	
P07-07	0.1	-1.5		2.2	-4.5	15.3	675.1			12.0		0.1	0.3	0.3	0.9	-0.2	
P08-08	-0.3	-3.5		-0.1	-4.9	-0.4	-0.1			-0.7		0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	
P09-09																	
P10-17	0.3	0.2		2.6	14.2	52.9	17.0			832.8		0.2	0.3	0.2	1.4	-0.2	
P11-11																	
P12-12																	
P13-16																	

Binnen meetperiode 2 geven dezelfde winputten als in meetperiode geen unieke schakeling. Van de winputten 03-15 en P09-09 is om eerder vermelde redenen geen meetreeks beschikbaar.

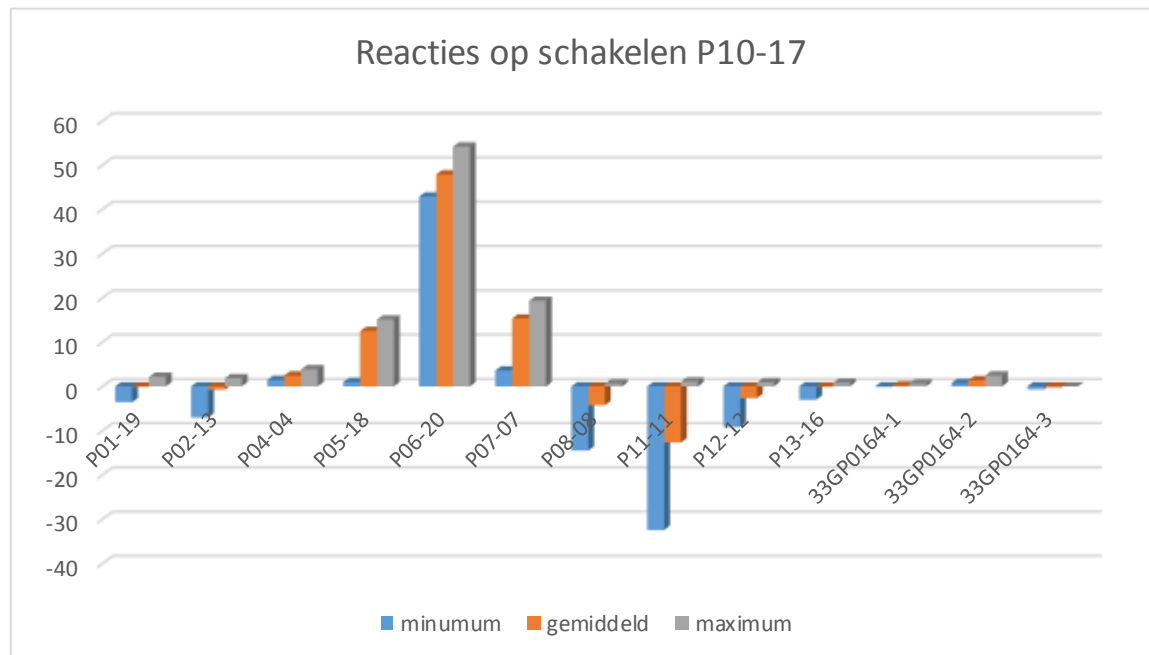
Op deze manier kon er voor beide perioden een kruistabel samengesteld worden van de reacties in de ene winput op het schakelen van de ander.

Tabel 6: weergave van de gemeten effecten van putschakelingen ter plaatse van buurputten in cm tijdens meetperiode 2

Meetperiode 2	Reactieputten													
	P01-19	P02-13		P04-04	P05-18	P06-20	P07-07	P08-08		P10-17	P11-11	P12-12	P13-16	33GP016
Schakelputten														
P01-19	166.7	15.6		0.3	-0.1	0.5	-0.2	-0.2		0.5	0.1	0.4	-0.1	0.1
P02-13	25.1	347.5		0.5	-0.1	-0.4	0.0	0.0		-8.4	0.1	0.3	-1.4	0.1
P03-15	0.0	-0.1		21.4	1.0	0.4	1.1	0.1		0.5	-15.7	-2.6	-0.2	1.4
P04-04	0.0	-2.1		606.5	0.7	2.0	1.8	-0.1		-1.3	0.4	0.1	-1.4	7.8
P05-18	-0.2	0.0		1.5	614.6	13.3	3.2	-0.1		10.9	3.2	0.1	3.0	0.1
P06-20	0.1	0.1		3.7	10.4	224.0	23.7	-0.3		55.0	-17.7	-3.5	-0.1	0.3
P07-07	0.0	-1.6		2.1	-4.1	15.0	684.8	-1.8		12.1	0.2	0.1	0.0	0.3
P08-08	-0.3	-3.0		0.3	-4.1	0.5	0.7	310.4		0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0
P09-09														
P10-17	0.5	0.4		2.3	13.8	50.3	16.6	0.1		841.1	0.5	0.2	0.2	0.2
P11-11														
P12-12														
P13-16														

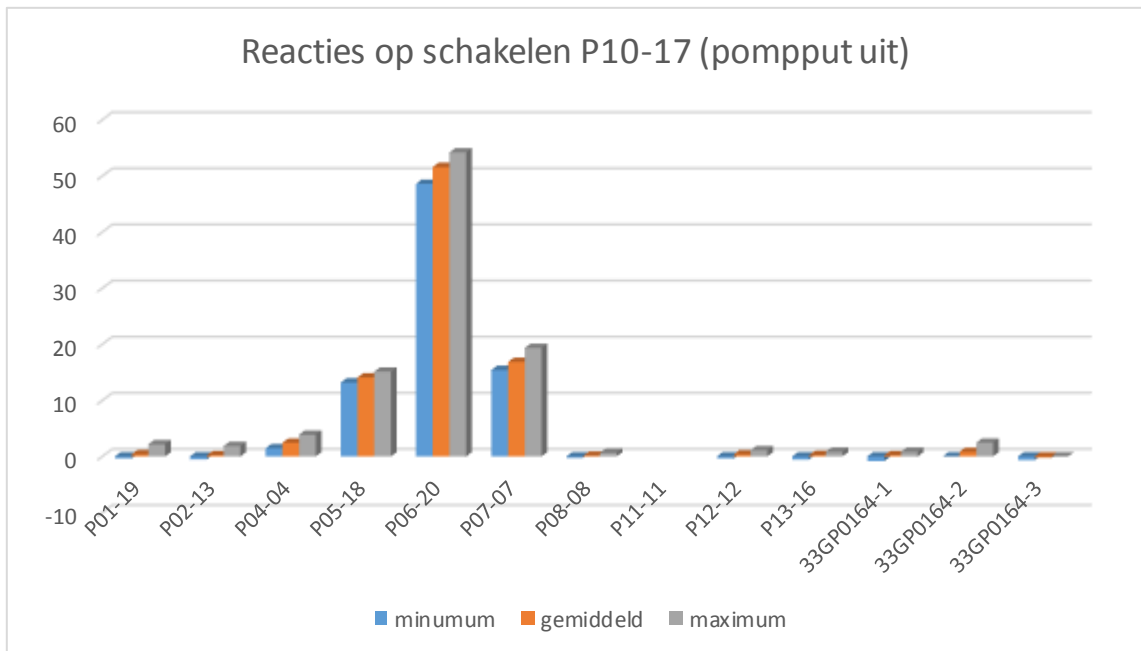
Consistentie van de reacties

Om een indruk te geven van de consistentie en reproduceerbaarheid van de reacties, zijn alle reacties op het schakelen van winput 10 in beide meetperioden nader beschouwd. Dit betreft 17 schakelmomenten in de eerste periode en 16 in de tweede.



Figuur 4: Overzicht van de reacties van het schakelen van één winput op alle buurputten, waarbij de reagerende winputten aan of uit staan.

Het blijkt dat de positieve reacties (verlaging als winput 10-17 aanschakelt) behoorlijk consistent zijn. De negatieve reacties (de reactie op een veranderde tegendruk als de winput aan staat) is dat veel minder. Als alleen de reacties worden meegenomen als de reagerende winput uit staat, vervallen de negatieve effecten.



Figuur 5: Overzicht van de reacties van het schakelen van één winput op alle buurputten, waarbij de reagerende winputten uit staan.

De standaarddeviatie blijkt bij alle reeksen minder dan 1 cm, met uitzondering van P06-20, waar bij een gemiddelde van 51,6 cm de standaarddeviatie 1,57 cm bedraagt.

Interpretatie van de kruistabellen

Op basis van bovenstaande kruistabellen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- winputten 1 en 2 zitten samen in één compartiment, afgescheiden van de rest.
- winput 8 zit in een eigen compartiment;
- winput 12 zit in een eigen compartiment;
- winputten 3 en 4 zitten samen in één compartiment dat gedempt reageert op het middencompartiment;
- in het middencompartiment reageren winputten 6 en 10 extreem op elkaar. Winputten 5 en 7 horen ook bij dit compartiment, maar reageren minder uitgesproken;
- winputten 11 en 13 reageren gedempt op winput 5, maar niet op andere winputten in het middencompartiment. Mogelijk zitten beide winputten in één eigen compartiment;
- Over winput 9 is geen informatie beschikbaar. De winput heeft niet afzonderlijk geschakeld en de metingen zijn in beide meetperioden verloren gegaan;

Op basis van filter 2 ligt 33GP0164 in het compartiment bij de winputten 3 en 4. Filter 1 reageert nog wel op winput 4, maar amper op winput 3. Dit zou met de verticale plaatsing van het pompfilter te maken kunnen hebben. Filter 3 reageert op geen enkele winput.

Verkennde bepaling bodemparameters

Op basis van bovenstaand overzicht is geprobeerd om de metingen te vertalen naar bodemparameters met het model MLU. Gezien de meest duidelijke interactie tussen winputten P06-20 en P10-17 mag worden aangenomen dat er tussen deze twee winputten geen weerstand aanwezig is. Om de berekening eenvoudig te houden zijn

alleen de gemiddelde verlagingen ingevoerd na 5, 10, 15 en 30 minuten. Er is gerekend met een éénlaagsmodel met een afdekkende c -waarde van 100.000 dagen. N.B.: de analytische berekening gaat uit van een oneindig uitgestrekte laag. De aanwezigheid van kleischotten maakt deze schematisatie eigenlijk inadequaaf. De berekening is daarom slechts indicatief.

De reactie van winput 6 op het schakelen van winput 10 geeft een kD -waarde van 1653.1 m²/dag en een berging van $3.18 \cdot 10^{-4}$. De reactie van winput 10 op het schakelen van winput 06-20 geeft een kD -waarde van 1529.4 m²/dag en een berging van $2.36 \cdot 10^{-4}$.

Als vervolgens winput 07-07 in deze twee modellen wordt ingebracht, dan berekenen de modellen grotere verlagingen dan die gemeten worden, zie tabel 7.

Tabel 7: Overzicht van berekende (MLU) en gemeten reacties in buurputten ten gevolge van putschakelingen in cm

	Berekende reactie P07-07 op onttrekking P10-17	gemeten	Berekende reactie P07-07 op onttrekking P06- 20	gemeten
kD -waarde	1653.1		1529.4	
5 minuten	13.5	4.92	28.0	11.21
10 minuten	22.9	12.54	38.8	19.28
15 minuten	29.0	17.01	45.4	23.12
30 minuten	39.9	23.03	56.6	28.68

Het ziet er dus naar uit dat er tussen PP07-07 en de twee andere winputten sprake is van een weerstand. Om een indruk te krijgen van de omvang van die weerstand, wordt een berekening uitgevoerd met PP07-07 in een fictieve laag onder het bepompde pakket, waar PP06-20 en PP10-17 in zitten. Voor de kD -waarden worden in beide pakketten de eerder bepaalde waarde overgenomen, de berging S en de c -waarde tussen de pakketten worden door MLU geoptimaliseerd.

De overeenkomst tussen gemeten en berekende waarden oogt niet slecht. Bij de berekening aan de hand van de reactie op winput 06-20 loopt voor één van de acht waarnemingen het verschil op tot 9 cm, maar over de acht waarnemingen bedraagt de gemiddelde absolute afwijking 2,76 cm. De weerstand tussen winput 06-20 en 07-07 wordt bepaald op 27.95 dagen. Als dezelfde berekening wordt uitgevoerd op de onttrekkingen vanuit winput 10-17, bedraagt de gemiddelde absolute fout 2,91 cm. en komt de weerstand tussen winput 10-17 en 07-07 op 28.97 dagen.

Dat winput 07-07 minder op het schakelen van 06-20 en 10-17 reageert dan beide winputten op elkaar, komt dus niet uitsluitend door een grotere afstand. Er zit ook enige laterale weerstand in het pakket.

Interpretatie van de meervoudige schakelmomenten

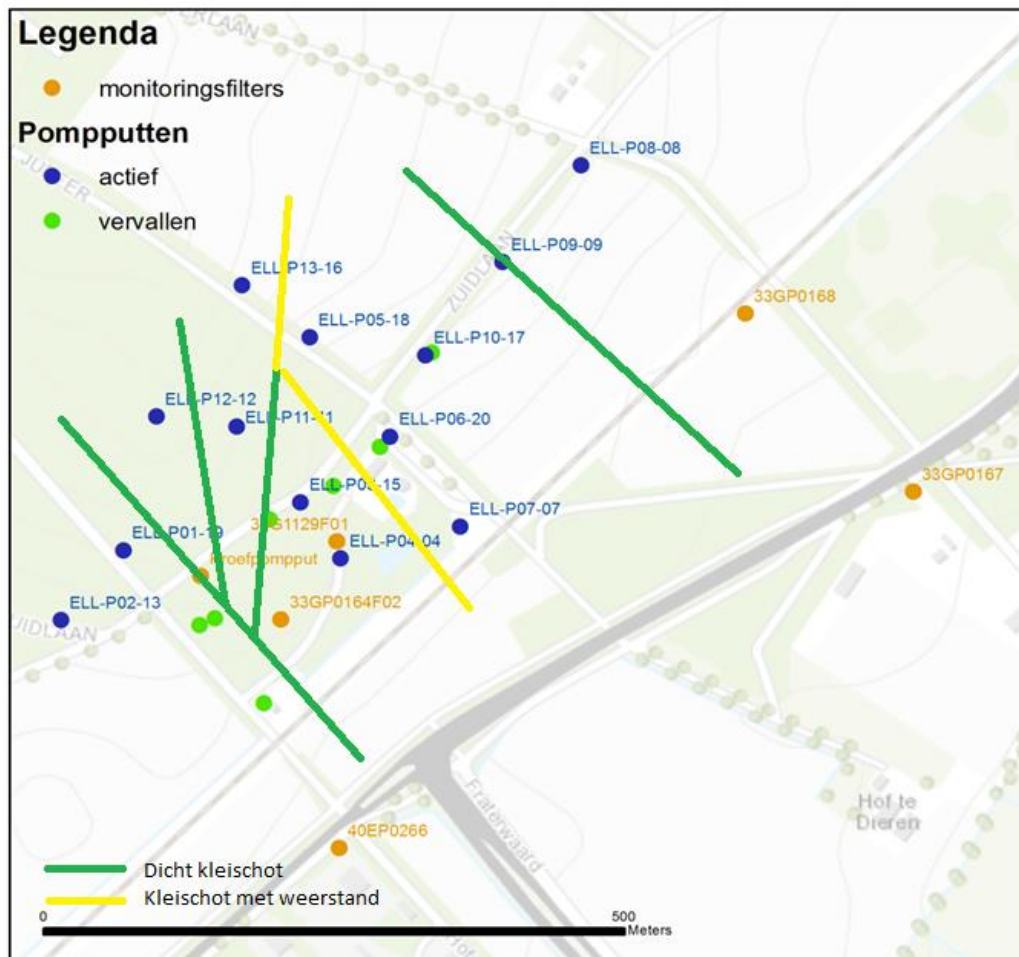
Als er meerdere winputten tegelijk aan- of uitschakelen geeft dit ook per drukopnemer een reactie. Van een aantal schakelende winputten is bekend welke reactie zij veroorzaken, van een aantal is dat via unieke schakelmomenten niet vast te stellen. Er is aan de hand van de meervoudige schakelmomenten verkend of aan de hand van bekend veronderstelde reacties nog informatie te halen is over de resterende interacties.

Dit blijkt inderdaad het geval. Op schakelmomenten blijkt de reactie tussen winputten P11-11 en P13-16 over en weer ca. 22 centimeter te bedragen, wat aangeeft dat beide winputten inderdaad in één compartiment zitten.

Uit het schakelmoment van 5 februari 13:51 uur valt op te maken dat winput P05-18 3,4 cm reageert op het schakelen van winput 11-11. Dat is in lijn met de omgekeerde reactie die 3.2 cm bedraagt. Er is dus sprake van een gedempte reactie: er is wel weerstand, maar beide compartimenten zijn niet potdicht afgesloten.

Conclusies

Aan de hand van hoogfrequente drukmetingen in de winputten kunnen de drukreacties op het schakelen van buurputten worden waargenomen. Uit de interpretatie van deze reacties blijkt dat er binnen het winveld van Ellecom sprake is van compartimenten. De ligging van de compartimenten is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6: Interpretatie van ligging kleischotten op basis van stijghoogtemetingen

Bijlage III Overzicht redox-overgangen en relatie tussen belasting winput met mangaan- en ijzerconcentraties

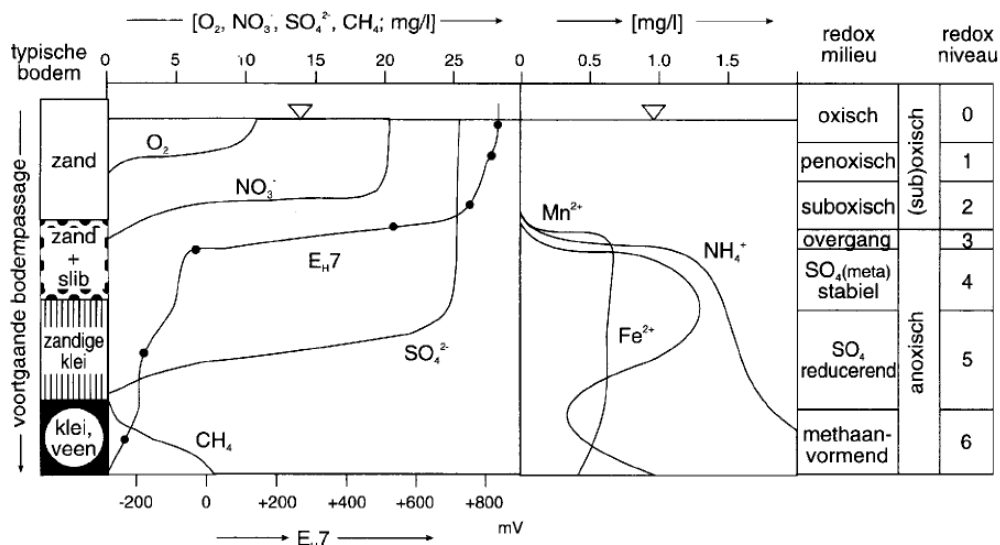
Bijlage IIIA Overzicht redoxovergangen

Level	Unmixed redox environment	Redox cluster	Criteria [mg/L]						
			O ₂	NO ₃ ⁻	Mn ²⁺	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	H ₂ S [#]	CH ₄
1	Oxic	(sub)oxic	O ₂ ≥ 0.8 (O ₂) _{SAT}		< 0.1	< 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
2	O ₂ -reducing		1 ≤ O ₂ < 0.8 (O ₂) _{SAT}		< 0.1	< 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
3	NO ₃ -reducing	anoxic	< 1	≥ 1	< 0.1	< 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
4	Mn-reducing		< 1	< 1	≥ 0.1	< 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
5	Iron reducing	deeply anoxic	< 1	< 1		≥ 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.2
6	Sulfate reducing		< 1	< 1			0.2-0.8 (SO ₄) _o	yes	0.2 - 0.5
7	Methanogenic		< 1	< 1			< 0.2 (SO ₄) _o	yes	≥ 0.5

Level	Mixed redox environment	Mix of levels	Criteria [mg/L]						
			O ₂	NO ₃ ⁻	Mn ²⁺	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	H ₂ S [#]	CH ₄
2.4	O ₂ - Mn	2 + 4	≥ 1		≥ 0.1	< 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
2.5	O ₂ - Fe	2 + 5	≥ 1			≥ 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
2.6	O ₂ - H ₂ S	2 + 6	≥ 1				0.2-0.8 (SO ₄) _o	yes	< 0.1
2.7	O ₂ - CH ₄	2 + 7	≥ 1				< 0.2 (SO ₄) _o		> 0.1
3.5	NO ₃ - Fe	3 + 5	< 1	≥ 1		≥ 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	no	< 0.1
3.6	NO ₃ - H ₂ S	3 + 6	< 1	≥ 1			0.2-0.8 (SO ₄) _o	yes	< 0.1
3.7	NO ₃ - CH ₄	3 + 7	< 1	≥ 1			< 0.2 (SO ₄) _o		< 0.1
3.7	NO ₃ - CH ₄	3 + 7	< 1	≥ 1					> 0.1
5.6	Fe - H ₂ S	5 + 6	< 1	< 1		≥ 0.1	0.2-0.8 (SO ₄) _o	yes	< 0.1
5.6	Fe - H ₂ S	5 + 6	< 1	< 1		≥ 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o	yes	0.2 - 0.5
5.7	Fe - CH ₄	5 + 7	< 1	< 1		≥ 0.1	≥ 0.8 (SO ₄) _o		≥ 0.5
6.7	H ₂ S - CH ₄	6 + 7	< 1	< 1			< 0.2 (SO ₄) _o	yes	< 0.5
6.7	H ₂ S - CH ₄	6 + 7	< 1	< 1			0.2-0.8 (SO ₄) _o	yes	≥ 0.5

yes/no = yes/no clear H₂S-smell in field, or H₂S ≥ / < 0.1 mg/L. If data unavailable not a criterion
(O₂)_{SAT}: see Eq.10.1. (SO₄)_o = original SO₄ concentration [mg/L], see text

Overzicht redox-overgangen met code (Stuyfzand, 2012 tabel 8.4)



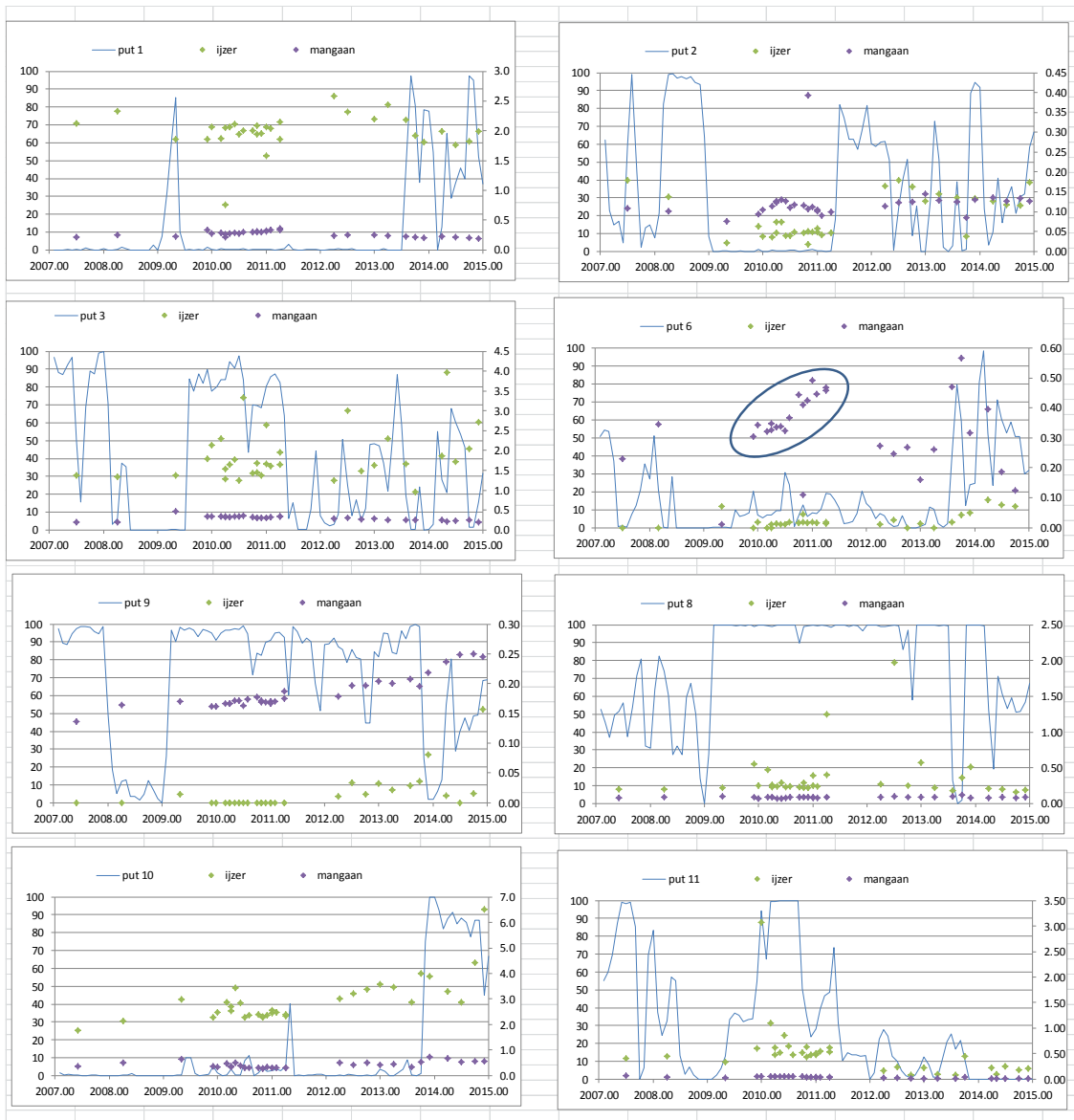
Bron: Stuyfzand, 1994

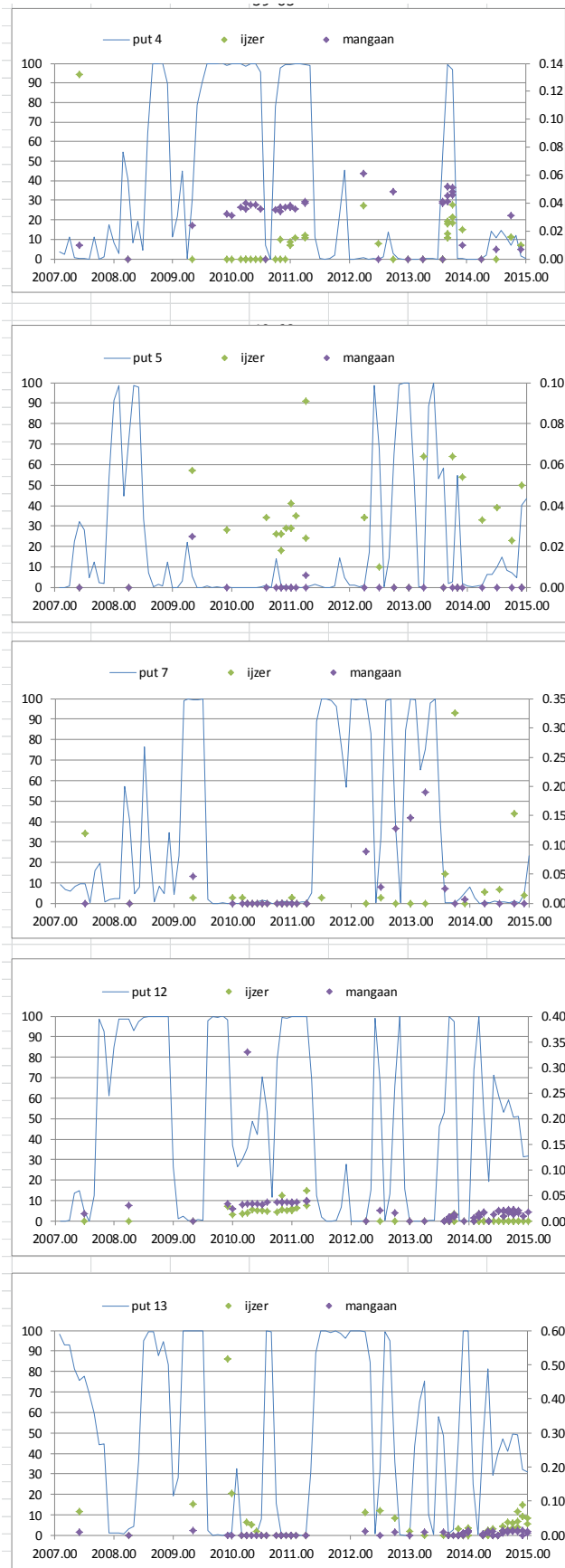
Bijlage IIIB relatie tussen belasting winput met mangaan- en ijzerconcentraties voor winputten die leveren via marmerfilter

Op deze pagina staan de winputten waarvan het ruwwater naar het marmerfilter gaat. De volgende pagina geeft een overzicht voor de winputten waarvan het ruwwater alleen loogdosering ondergaat.

Legenda:

- linker y-as: percentage dat een winput aan staat per maand (blauwe lijn),
- rechter y-as: concentratie Fe (groen bolletje) en Mn (paars bolletje) in mg/l.





Bijlage IIC relatie tussen belasting winput met mangaan- en ijzerconcentraties voor winputten die alleen loogdosering ondergaan

Legenda:

- Linker y-as: percentage dat een winput aan staat per maand (blauwe lijn),
- Rechter y-as: concentratie Fe (groen bolletje) en Mn (paars bolletje) in mg/l.

Bijlage IV Relatie tussen belasting winput en putverstoppingsmetingen

Legenda

- Theoretische afpompings in formatie **, genormaliseerd naar pompdebiet van 100 m³/h
- Afpompings winfilter, genormaliseerd naar pompdebiet van 100 m³/h
- Afpompings waarnemingsfilter, genormaliseerd naar pompdebiet van 100 m³/h
- Percentage van de tijd dat put aan staat, 30-daags doorlopend gemiddelde
- Regeneratie met hogedruk reiniging
- Regeneratie met chemicaliën (H₂O₂ of NaOCl)

(**) De theoretische afpompings van de formatie is gelijk aan de laagst gemeten afpompings sinds 1990

