

**PP WD NTU 11 –
Finaal rapport
Peilputplaatsing en
'Well Development'**

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER**



**PP WD NTU 11 –
Finaal Rapport
Peilputplaatsing en 'Well
Development'**

Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*
PP WD NTU 11 – Finaal Rapport Peilputplaatsing en 'Well Development'

2. *Verantwoordelijke Uitgever*
Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

4. *Aantal bladzijden*
123

5. *Aantal tabellen en figuren*

6. *Prijs**

7. *Datum Publicatie*

8. *Trefwoorden*

9. *Samenvatting*
Finale rapportage literatuurstudie, terreinwerk en gegevensinterpretatie beleidsstudie
'Peilputplaatsing en "Well Development" (PP WD NTU 11)'

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*
Lennert Lammens (ARCADIS), Karen Van Geert (ARCADIS), Wouter Gevaerts (ARCADIS),
Joris Tallon (OVAM), Bert van Goidsenhoven (OVAM)

11. *Contactperso(o)n(en)*
Joris Tallon, jtallon@ovam.be , 015/28.42.87

12. *Andere titels over dit onderwerp*

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

Inhoudstafel

	Kader	9
	Deel I: Literatuurstudie	11
1	Algemene aanpak	13
2	Overzicht technieken	15
2.1	Overpompen (overpumping)	15
2.1.1	Omschrijving techniek	15
2.1.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	15
2.1.3	Benodigd materiaal	16
2.1.4	Impact op kostprijs	16
2.1.5	Samenvattend overzicht	16
2.1.6	Ervaringen	17
2.2	Washing/Backwashing/rondpompen/Rawhiding	17
2.2.1	Omschrijving techniek	17
2.2.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	17
2.2.3	Benodigd materiaal	18
2.2.4	Impact op kostprijs	18
2.2.5	Samenvattend overzicht	18
2.2.6	Ervaringen	19
2.3	Jetting in combinatie met pompen	19
2.3.1	Omschrijving techniek	19
2.3.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	20
2.3.3	Benodigd materiaal	21
2.3.4	Impact op kostprijs	21
2.3.5	Samenvattend overzicht	22
2.3.6	Ervaringen	22
2.4	Airlifting in combinatie met pompen	23
2.4.1	Omschrijving techniek	23
2.4.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	23
2.4.3	Benodigd materiaal	24
2.4.4	Impact op kostprijs	24
2.4.5	Samenvattend overzicht	24
2.4.6	Ervaringen	25
2.5	Jutten (Surging met luchtdruk)	25
2.5.1	Omschrijving techniek	25
2.5.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	26
2.5.3	Benodigd materiaal	26
2.5.4	Impact op kostprijs	26
2.5.5	Samenvattend overzicht	27
2.5.6	Ervaringen	27
2.6	Mechanical surging/Surge and bail	28
2.6.1	Omschrijving techniek	28
2.6.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	29
2.6.3	Benodigd materiaal	29
2.6.4	Impact op kostprijs	29
2.6.5	Samenvattend overzicht	29
2.6.6	Ervaringen	30
2.7	Knikkerpuls ('inertial lift pump')	30
2.7.1	Omschrijving techniek	30
2.7.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	31
2.7.3	Benodigd materiaal	31
2.7.4	Impact op kostprijs	32
2.7.5	Samenvattend overzicht	32
2.7.6	Ervaringen	32

2.8	Chemische ontwikkeling	33
2.8.1	Omschrijving techniek	33
2.8.2	Randvoorwaarden en voor- en nadelen	33
2.8.3	Benodigd materiaal	34
2.8.4	Impact op kostprijs	34
2.8.5	Samenvattend overzicht	34
2.8.6	Ervaringen	34
3	Conclusie literatuurstudie	37
4	Randvoorwaarden toepasbaarheid en “efficiëntie” peilbuisontwikkeling	39
4.1	Materiaal peilbuis	39
4.1.1	Filters van PVC/HDPE	39
4.1.2	Filters van roestvrij staal (RVS-filters)	39
4.2	Constructie peilput: sleufbreedte, korrelgrootte filtergrind, filterkous en zandvang	40
4.3	Rustperiode na installatie	40
4.4	Kosten	40
	Deel II: Veldwerktesten	43
5	Algemeen plan van aanpak	45
5.1	Peilbuisplaatsing	45
5.2	Parameterbepaling en laboratoriumanalyses	45
5.3	Weerhouden ontwikkelingstechnieken en constructie	46
5.3.1	Overpompen	46
5.3.2	‘Mechanical surging’	46
5.3.3	Jutten	48
5.4	Verloop ontwikkelingstesten	49
5.5	Testen tijdsgevoeligheid turbiditeitsmetingen	50
6	Site 1 – Antwerpen	51
6.1	Sitegegevens	51
6.1.1	Algemeen	51
6.1.2	(Hydro)geologie	51
6.1.3	Verontreinigingssituatie	51
6.2	Veldwerkgegevens en interpretatie	51
6.2.1	Installatiefase	51
6.2.2	Evaluatie veldparameters	57
6.3	Laboratoriumanalyses en interpretatie	64
6.3.1	Minerale olie	64
6.3.2	PAK's	65
6.3.3	BTEX	66
6.3.4	Zware metalen	67
6.3.5	Fe- en Mn-analyses	68
6.4	Conclusie veldtesten site 1	69
7	Site 2 – Vilvoorde	71
7.1	Sitegegevens	71
7.1.1	Algemeen	71
7.1.2	(Hydro)geologie	71
7.1.3	Verontreinigingssituatie	71
7.2	Veldwerkgegevens en interpretatie	72
7.2.1	Installatiefase	72
7.2.2	Ontwikkelen van peilbuizen	75
7.2.3	Evaluatie veldwerkparameters	80
7.3	Laboratoriumanalyses en interpretatie	85
7.3.1	Minerale olie	85
7.3.2	BTEX	86
7.3.3	VOC's	86
7.3.4	Zware metalen	87
7.4	Conclusie veldtesten site 2	87
8	Site 3 – Dendermonde	89

8.1	Sitegegevens	89
8.1.1	Algemeen	89
8.1.2	(Hydro)geologie	89
8.1.3	Verontreinigingssituatie	89
8.2	Veldwerkgegevens en interpretatie	90
8.2.1	Installatiefase	90
8.2.2	Ontwikkelen van peilbuizen	92
8.2.3	Evaluatie veldwerkparameters	96
8.3	Laboratoriumanalyses en interpretatie	101
8.3.1	Minerale olie	101
8.3.2	BTEX	102
8.3.3	VOC's	102
8.3.4	Zware metalen	102
8.4	Conclusie veldtesten site 3	104
9	Site 4 – Hasselt	105
9.1	Sitegegevens	105
9.1.1	Algemeen	105
9.1.2	(Hydro)geologie	105
9.1.3	Verontreinigingssituatie	105
9.2	Veldwerkgegevens en interpretatie	105
9.2.1	Installatiefase	105
9.2.2	Ontwikkelen van peilbuizen	107
9.2.3	Evaluatie veldparameters	109
9.3	Laboratoriumanalyse en interpretatie	113
9.3.1	Minerale olie	113
9.3.2	BTEX	113
9.3.3	Zware metalen	113
9.4	Conclusie veldtesten site 4	113
10	Algemene conclusies veldtesten	115
Bijlage 1:	Lijst van tabellen	117
Bijlage 2:	Lijst van figuren	119
Bijlage 3:	Bibliografie	121
Bijlage 4:	Boorbeschrijvingen	123

Kader

In het kader van de omschakeling van de klassieke (volumegebaseerde) grondwaterbemonstering naar een bemonstering door middel van micropurging (Low Flow Sampling) wordt in opdracht van OVAM een studie uitgevoerd naar de ontwikkeling van monitoringspeilputten. Deze studie kan als basis dienen voor het uitwerken van een werkbare CMA-procedure of een kennisdocument met betrekking tot peilputontwikkeling.

De studie is tweeledig:

- Uitwerken van een literatuurstudie: bespreking van verschillende ontwikkelingstechnieken en randvoorwaarden en selectie van enkele technieken die op de testsites zullen uitgetest worden.
- Toepassen en testen van de meest geschikte technieken op een aantal sites om zo eventuele randvoorwaarden van de techniek verder te kunnen verfijnen. In deze fase wordt specifieke aandacht besteed aan de toepasbaarheid, efficiëntie, invloed en rendabiliteit (kosten/baten) van de weerhouden ontwikkelingstechnieken.

Een startvergadering in aanwezigheid van afgevaardigden van ARCADIS en OVAM werd gehouden op 13/01/2012. Hierbij werden aanvullend volgende aandachtspunten meegegeven:

- Bijzondere aandacht dient besteed te worden aan de invloed van troebelheid op de geanalyseerde concentraties aan verontreiniging. Kaderend hierbinnen wordt nagegaan hoe tot een objectivering van troebelheidsmetingen kan gekomen worden.
- Bijzondere aandacht naar de kostprijs van putontwikkeling. Er dient gestreefd te worden naar een beperkte impact op de kostprijs van een “doorsnee” bodemonderzoek ten gevolge van extra uit te voeren werkzaamheden (vb. ontwikkelen, troebelheidsmetingen,...).

Samenvattend zal de studie dus proberen een antwoord te formuleren op de vragen:

- Op welke manier kunnen peilputten ontwikkeld worden (zonder een al te grote meerkost) en welke randvoorwaarden?
- Is het nuttig om deze peilputontwikkelingen uit te voeren op peilbuizen bestemd voor bemonstering?

Deel I: Literatuurstudie

1 Algemene aanpak

De eerste fase van deze studie bestaat uit een literatuurstudie. Enerzijds wordt de bestaande literatuur gescreend, anderzijds wordt gebruik gemaakt van de ervaring van ARCADIS wereldwijd en in België.

Aangezien peilputontwikkeling sterk samenhangt met een aantal randvoorwaarden zoals de constructie/manier van plaatsen van de peilbuis, de diameter van de peilbuis, het type materiaal, (hydro)geologische ter hoogte van de filterstelling,...wordt ook per techniek nagegaan wat de eventuele randvoorwaarden per toepassing zijn.

Voorafgaand dient benadrukt te worden dat het –direct na plaatsing – proper pompen van de peilbuis, niet als ‘ontwikkeling op zich’ aanzien wordt. Er wordt sowieso uitgegaan dat na plaatsing van de peilput het werkwater e.d. terug verwijderd wordt.

2 Overzicht technieken

Op basis van een screening van de literatuur, kunnen volgende technieken voor peilputontwikkeling weerhouden worden:

- Overpompen- standaardtechniek te vergelijken met de huidige situatie
- Washing/Backwashing/Rondpompen/Rawhiding
- Jetting in combinatie met pompen
- Airlifting in combinatie met pompen
- Surging met luchtdruk
- Surge and bail
- Chemische ontwikkeling

Regelmatig worden echter ook combinaties tussen bovenstaande technieken toegepast, vaak met een beter resultaat dan de individuele technieken ([1] en [2]).

Alle ontwikkelingstechnieken moeten finaal resulteren in een gesorteerd filtergrind (grovere partikels naar het filterscherm toe), waardoor het hydraulisch contact met de aquifer geoptimaliseerd wordt en de turbiditeit in het opgepompte grondwater geminimaliseerd. Om dit te bereiken moet een ontwikkelingstechniek effect hebben tot op de boorgatwand. Bijgevolg dient hiermee rekening gehouden te worden in de bepaling van de dikte van het filtergrindpakket.

Afhankelijk van verschillende factoren (vb. geologie, beoogde gebruik peilbuis, toegepaste boor- en ontwikkelingsmethode,...) kan de tijd waarin ontwikkeld moet worden, variëren van 2 uur tot 3 dagen ([1]).

In onderstaande paragrafen worden de meest toegepaste technieken voor putontwikkeling besproken.

2.1 Overpompen (overpumping)

2.1.1 Omschrijving techniek

Door het pompen van de peilbuis aan een hoog debiet met een hoogdebietspomp (bijv. MP1, motorpomp,...) (in goed doorlatende bodems) of peristaltische pomp (in minder doorlatende bodems) worden de fijne delen uit het filtermateriaal en mogelijk uit de aquifer in de directe omgeving van de peilbuisfilter gespoeld. Indien mogelijk wordt er overgepompt aan een debiet dat vele malen (tot 10x) hoger ligt dan het debiet tijdens bemonstering. Dit is de standaardmethode die momenteel gebruikt wordt voor het ontwikkelen van filters.

De techniek wordt vaak in combinatie met andere technieken toegepast en vormt een ideale eerste stap binnen het ontwikkelingsproces.

2.1.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Door zijn eenvoud is deze techniek erg makkelijk toe te passen. De techniek is voornamelijk efficiënt in grofkorrelige aquifers. In aquifers die gekenmerkt worden door een fijnere granulometrie, is het mogelijk dat het gecreëerde instroomdebiet niet voldoende is om fijne partikels af te voeren, aangezien de toestroming in de peilbuis hier de beperkende factor zal zijn ([1]). Daarnaast resulteert de techniek in een unidirectionele grondwaterstroom (naar de peilbuis

toe), waardoor geen extra opwoeling van de fijne fractie plaatsvindt ([1] en [3]). De kans bestaat daarenboven dat de effecten beperkt blijven tot het bovenste gedeelte van het filterscherm ([4]).

De diameter van de te ontwikkelen peilbuizen is een beperkende factor bij de keuze van het pomptype. Het is mogelijk dat de standaard peristaltische pomp niet het gewenste overpompdebiet kan bereiken in goed toestromende peilbuizen, waar het gebruik van andere standaardpompen (vb: motorpomp, MP1-pomp,...) verhinderd wordt door de kleine diameter van de peilbuis.

2.1.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Pomp en slangen
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden.

2.1.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

Doordat het benodigde materiaal deel uitmaakt van de standaarduitrusting van een boorploeg, dienen hiervoor geen grote meerkosten in rekening gebracht te worden.

2.1.5 Samenvattend overzicht

	Overpompen
Eenvoud	++ (enkel pomp nodig)
Aquifertype	Geen beperking, efficiënter in grofkorrelige aquifers
Diameter	+/- (beperkende factor pomptype)
Materiaal filterscherm	++ (alle materialen)
Agressiviteit	- (unidirectionele stroming, mogelijk beperkt tot bovenste deel filter)
WATERVERBRUIK	++ (geen watertoevoeging)
Volume opgepompt water	+/- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	++ (geen)
Rustperiode vóór staalname	++ (geen, analoog aan klassieke bemonstering)
Kost	++ (standaardmateriaal)
Veiligheid	++ (geen specifieke risico's, zelfde als schoonpompen)
Materiaal	Pomp Slangen (containers/emmers afvoer water) (actief-koolvat)

Tabel 1: Samenvattend overzicht overpompen

Tabel 1 geeft een samenvattend overzicht van de techniek.

2.1.6 Ervaringen

In Vlaanderen ruime ervaring met deze techniek omwille van het standaard gebruik ervan na de plaatsing van peilbuizen.

Het voorafgaand schoonpompen aan bemonsteren, zoals standaard in de klassieke volume-gebaseerde bemonsteringsmethode, laat in het merendeel van de gevallen toe, om grondwater met een beperkte turbulentie en stabiele parameters te bemonsteren. Het verwijderen van fijne fractie uit de onmiddellijke omgeving van de peilbuis heeft een (tijdelijk) positief effect op de turbiditeit en de toestroming van de peilbuis.

Af en toe, echter, wordt door de Arcadis boorploeg vastgesteld, dat een peilbuis, die kortelings na plaatsing goed toestroomt, een duidelijk verslechterde toestroming heeft bij een bemonstering in een later stadium van het onderzoek. Vermoedelijk ligt de oorzaak voor deze verminderde toestroming in het unidirectionele karakter van schoonpompen (overpompen) en grondwaterbemonstering.

2.2 Washing/Backwashing/rondpompen/Rawhiding

2.2.1 Omschrijving techniek

'Washing and backwashing' is een uitgebreidere versie van de (over)pomp-techniek. De techniek beperkt zich niet tot het oppompen van grondwater, maar omvat eveneens een terugstroom van opgepompt grondwater. Op die manier wordt een stroom gecreëerd in twee richtingen die zorgt voor het opwoelen en verwijderen van de aanwezige fijne fractie ([1] en [2]). De techniek wordt vaak in combinatie met andere technieken toegepast en vormt een ideale eerste stap binnen het ontwikkelingsproces ([2]).

Door zowel het oppompen als het herinjecteren sectiegewijs uit te voeren (i.e. water uit een beperkte sectie oppompen en in een naburige beperkte sectie terug herinjecteren) kan een sterke kortsluitstroom gecreëerd worden, die voor een extra stromingscomponent, evenwijdig aan het filterscherm, zorgt. Deze techniek, het zogeheten rondpompen, zorgt voor een optimalisatie van de fijne fractie-verwijdering ([5]). Het sectiegewijs oppompen en herinjecteren kan bekomen worden door het aanbrengen van rubberen flappen rondom de pomp(slang) en tussen de verschillende secties. Het opgepompte water kan, afhankelijk van onder andere de aangewende pompmethode, al dan niet over een bezinkbekken of een bezinkvat geleid worden.

Wanneer de pomp niet uitgerust is met een terugstroomklep, kan een vereenvoudigde versie van 'Backwashing' toegepast worden, 'Rawhiding' genaamd. Het eenvoudigweg aan- en uitschakelen van de pomp veroorzaakt de bidirectionele stroming. Hierbij wordt het opgepompte water niet over een bezinktank of -vat geleid. Het opgepompte water dient uiteraard wel afgevoerd te worden ([6]).

2.2.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Door de stroom van water in twee richtingen, heeft de methode meer potentieel tot het opwoelen van fijne fractie. Belangrijk is echter dat de aldus opgepompte fijne fractie de tijd krijgt om te bezinken uit het opgepompte grondwater, voordat dit opnieuw geïnjecteerd wordt ([2]). In zijn vereenvoudigde vorm, wordt het opgepompte water niet via een bezinkbak geleid. Hiermee wordt de methode minder efficiënt, maar worden ook de kosten gedrukt, door het weglaten van het tijdrovende bezinkingsproces.

Net als bij overpompen, bestaat de kans dat het effect van de ontwikkeling eerder beperkt blijft tot het bovenste gedeelte van het filterscherm, met een onevenwichtige ontwikkeling tot gevolg ([4]). Bij sectiegewijs voorpompen valt dit probleem uiteraard weg.

Daarnaast kan de methode ook aanleiding geven tot wijziging van de fysico-chemische omstandigheden in de peilbuis (bijvoorbeeld beluchting tijdens bovengrondse bezinking fijne fractie). Voldoende tijd dient dus gelaten te worden tussen de toepassing van deze techniek en de effectieve staalname.

In principe zou de methode, en dan voornamelijk het sectiegewijs rondpompen, ook aanleiding kunnen geven tot ongewenste verspreiding van verontreiniging naar minder verontreinigde zones. Een correcte plaatsing van de peilbuis en de kleistop zou dit echter ten dele moeten vermijden.

2.2.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Pomp en slangen
- Eventueel 'sectiescheidingen' (rondpompen)
- Bezinkvat/bak (niet bij 'Rawhiding')
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden. De herinjectie van opgepompt grondwater vereist ook dat steeds een nieuw of grondig gereinigd bezinkbekken of bezinkvat gebruikt wordt en dat de pomp grondig gereinigd werd indien het grondwater rechtstreeks contact maakt met de pomp.

2.2.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

De noodzaak tot het voorzien van een bezinkbekken of een bezinkvat en de afvoer van het hierin vergaarde slib en grondwater, die beiden mogelijk verontreinigd zijn, kan een extra meerkost betekenen. Doordat de rest van het benodigde materiaal deel uitmaakt van de standaarduitrusting van een boorploeg, dienen hiervoor geen grote meerkosten in rekening gebracht te worden.

2.2.5 Samenvattend overzicht

Tabel 2 geeft een overzicht van de techniek.

	Washing/Backwashing/Rawhiding/Rondpompen
Eenvoud	+ / ++ (al dan niet bezinkvat nodig)
Aquifertype	Geen beperking, efficiënter in grofkorrelige aquifers
Diameter	+/- (beperkende factor pomptype)
Materiaal filterscherm	++ (alle materialen)
Agressiviteit	+/- (Bidirectionele stroming, mogelijk beperkt tot bovenste gedeelte filter (uitzondering voor sectiegewijs rondpompen))
Waterverbruik	++ (geen watertoevoeging)
Volume opgepompt water	+/- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	+ en – (techniek afhankelijk)
Rustperiode vóór staalname	+ en – (techniek afhankelijk)
Kost	++ en +/- (afhankelijk: al dan niet bezinkvat en afvoer slib)
Veiligheid	++ (geen specifieke risico's, zelfde als schoonpompen)
Materiaal	Pomp en slangen (‘sectiescheidingen’ (rondpompen)) Bezinkvat/bak (niet bij ‘Rawhiding’) (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk))

Tabel 2: Samenvattend overzicht washing/backwashing/rawhiding/rondpompen

2.2.6 Ervaringen

Voor het ontwikkelen van peilbuizen die in het kader van bodemonderzoek geplaatst wordt, werd deze techniek door ARCADIS Belgium nog niet toegepast.

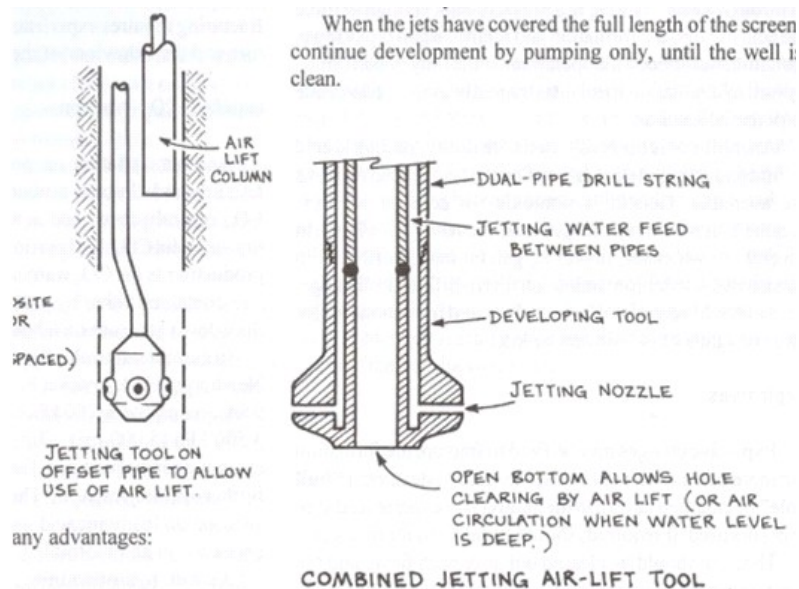
2.3 Jetting in combinatie met pompen

2.3.1 Omschrijving techniek

Deze methode is volgens de literatuur voornamelijk geschikt voor het ontwikkelen van filters in minder doorlatende aquifers. Er wordt een waterstroom doorheen een zijwaarts gerichte spuitkop gestuurd die op en neer bewogen wordt ter hoogte van de filter (zie Figuur 1). Op deze manier worden de fijne delen uit de aquifer gespoeld. Het water dient met een snelheid van minstens 30 m/sec de spuitkop te verlaten om effectief te zijn, hoewel de beste resultaten behaald worden bij snelheden in de range van 45 tot 90 m/sec ([7] en [8]). Hierbij dient de druk onder 700 kPa te blijven om de plastic filters niet te beschadigen ([9]). Metalen filters kunnen drukken tot 1380 kPa verdragen. Het water zal bovenaan de filter opgevangen worden of tijdens de jetting-procedure uit de filter gepompt worden. Door aan een hoger debiet water op te pompen dan te injecteren, wordt eveneens een bidirectionele stroming gecreëerd. Na de jetting-procedure wordt de put verder proper gepompt om het eventueel toegevoegde water uit de filter te verwijderen. Er zal gepompt worden tot stabiele EC: op deze manier zal bepaald worden of al het toegevoegde water verwijderd werd.

Bij deze methode kan ook gebruik gemaakt worden van hercirculatie. Het opgepompte water dient vooraf aan de herinjectie sedimentvrij gemaakt te worden, door middel van een filter. De aanwezigheid van sedimentpartikels in het geherinjecteerde water kan schade veroorzaken aan de ‘jetting’-installatie en het filterscherm ([8]).

Daarnaast bestaat deze techniek ook in een variant met een luchtstroom. Het oppompen van peilbuiswater gebeurt hier meestal door middel van airlifting.



Figuur 1: Schematisch overzicht jetting-spuitskop ([4])

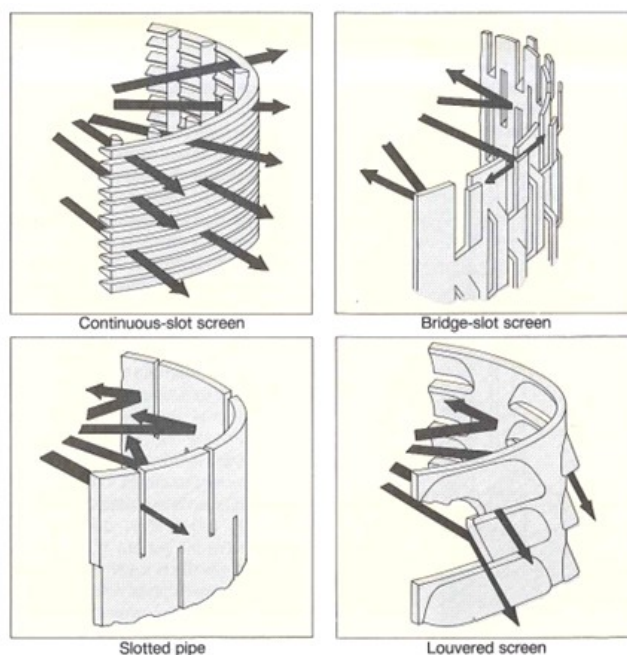
2.3.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Hoewel de grote, lokale drukken waarmee gewerkt wordt, jetting tot een erg succesvolle ontwikkelingstechniek maken, kunnen ze ook schade aanrichten aan het filterscherm wanneer de techniek niet correct wordt toegepast ([2]). Daarnaast bestaat de kans dat onder invloed van de grote lokale drukken, verontreiniging vrij komt, die voorheen immobiel was (bv. capillair vastgehouden puur product,...). Deze nieuw vrijgezette verontreiniging dient na de jetting-procedure volledig weggepompt te worden.

Wanneer met een luchtstroom en airlifting gewerkt wordt, kan er mogelijk een luchtslot ('airlock') ontstaan, waardoor de toestroming van de peilbuis sterk afneemt. Wanneer het grondwater verontreinigd is met vluchtige componenten, kan het aanbrengen van een luchtstroom, ook zorgen voor een toenemende concentratie aan contaminanten in de omgevingslucht. Het vrijkomen van verontreinigde lucht dient dus in rekening gebracht te worden bij de keuze qua techniek en het evalueren van veiligheidsrisico's.

Uiteraard dient ook steeds de introductie van water of lucht, vreemd aan de aquifer, grondig geëvalueerd te worden ([10]). Werken met recirculatie van opgepompt grondwater kan hier een oplossing bieden. De wijziging van fysico-chemische karakteristieken van het grondwater rondom de peilbuis, vereist een rustperiode tussen de ontwikkeling en staalname.

In het ideale geval is de omtrek van de spuitkop 2,5 cm kleiner dan de binnendiameter van de te ontwikkelen peilbuis. Dit legt een beperking op wat betreft de peilbuisdiameter waarin de methode toegepast kan worden. Daarenboven hangt de efficiëntie van de techniek eveneens af van het type filteropeningen (zie Figuur 2). Filteropeningen die een groot deel van de waterstroom tegenhouden of van richting doen veranderen (vb.: 'bridge-slot screen', 'slotted pipe' en 'louvered screen'), zijn minder efficiënt ([4]). Het al dan niet aanbrengen van een filterkous zou een gelijkaardig resultaat kunnen hebben, hoewel hierover geen informatie beschikbaar is in de literatuur.



Figuur 2: Invloed filteropeningen op jetting ([4])

2.3.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Spuitkop
- Compressor voor drukopbouw
- Pomp
- Slangen geschikt voor de aangelegde drukken
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)
- Eventueel sedimentfilter

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen en het steeds grondig reinigen of vervangen van de spuitkop, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden. Indien water geherinjecteerd wordt en hierbij in contact komt met de pomp/compressor, dient deze vooraf grondig gereinigd te worden om geen nieuwe verontreiniging te introduceren. Lucht/water van de compressor dient gefilterd te worden om te vermijden dat olie van de compressor in het grondwater terechtkomt.

2.3.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

De kost voor de huur/aankoop van het materiaal om deze techniek toe te passen dient ook in rekening gebracht te worden, aangezien de techniek niet alleen gebruik maakt van de standaarduitrusting van een boorploeg.

2.3.5 Samenvattend overzicht

Onderstaande tabel (Tabel 3) geeft een overzicht van de techniek.

	Jetting + pompen
Eenvoud	- (Veel materiaal nodig + Omzichtig gebruik)
Aquifertype	Voornamelijk fijnkorrelig
Diameter	- (spuitkop 2,5 cm minder qua diameter dan peilbuis)
Materiaal filterscherm	+/- (Minder kans op schade bij metalen filterscherm)
Agressiviteit	++ (Hoge gerichte drukken en bidirectionele stroming door combinatie jetting en pompen)
WATERVERBRUIK	-/++ (toevoeging water vereist, tenzij recirculatie)
Volume opgepompt water	- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij) + verwijderen geïnjecteerde volume water en eventueel vrijgezette verontreiniging)
Invloed fysico-chemie	- (Injectie van water/lucht)
Rustperiode vóór staalname	- (Herstel fysico-chemische parameters ± 7 dagen)
Kost	+ (aankoop/huur materiaal)
Veiligheid	- (hoge drukken gevaarlijk bij contact huid)
Materiaal	Spuitkop + compressor voor drukopbouw Pomp Slangen geschikt voor de aangelegde drukken (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)) (Sedimentfilter)

Tabel 3: Samenvattend overzicht jetting + pompen

2.3.6 Ervaringen

Arcadis Belgium

Op een terrein in Vilvoorde werd getracht peilbuizen te ontwikkelen door middel van jetting. De slangen die door de onderaannemer gebruikt werden, konden echter geen hoge drukken aan, waardoor de methode niet efficiënt bleek. Dit geeft duidelijk aan dat het aangewende materiaal voldoende drukbestendig dient te zijn om een efficiënte ontwikkeling toe te laten.

De uitvoering van de jetting-techniek op injectieputten te Dendermonde verliep dan weer zonder problemen. Hoewel er weinig lijn te trekken viel doorheen, de resultaten van de uitgevoerde 'falling head'-testen, leek de methode toch niet het gewenste resultaat (i.e. het verhogen van het injectie-debiet) teweeg gebracht te hebben.

Arcadis US

Arcadis US heeft een uitgebreide ervaring met het gebruik van deze ontwikkelingsmethode, voornamelijk met betrekking het ontwikkelen van extractie-, injectie- en drinkwaterputten. De toepassing voor monitoringspeilbuizen is eerder beperkt.

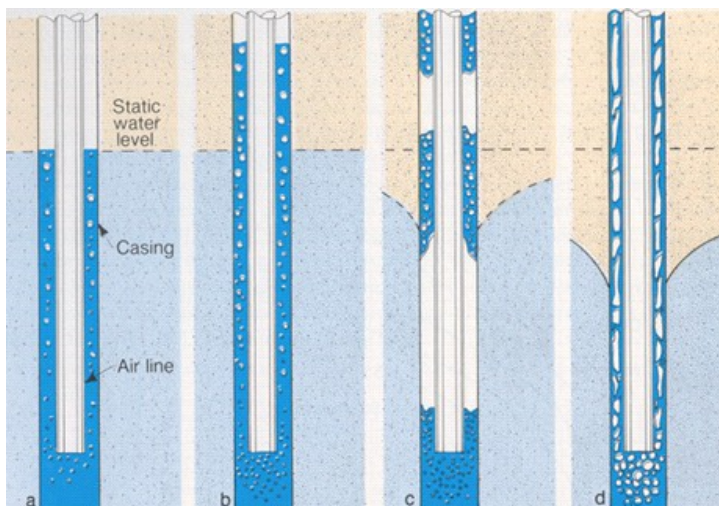
Jetting is toepasbaar in alle sedimenten, alsook in vaste gesteenten, maar biedt geen meerwaarde ten opzicht van de eenvoudigere 'mechanical surging'-techniek wat betreft grofkorrelige afzettingen. Voor fijnere sedimenten wordt wel overgeschakeld op jetting. In tegenstelling tot 'mechanical surging' wordt jetting steeds in staat geacht de volledige filteromstorting, alsook de boorgatwand te beïnvloeden tijdens de ontwikkeling.

Wanneer het correcte materiaal, voornamelijk wat betreft de spuitkop, gebruikt wordt, betreft het een erg agressieve techniek, doordat de energie op een beperkte oppervlakte gefocust wordt door de spuitkop. De techniek bewijst zijn waarde voor het vrijzetten van fijne fractie (turbiditeit) in het filtergrind en de aquifer rondom, maar dient noodzakelijkerwijze gevolgd te worden door een techniek die de vrijgezette fijne fractie afvoert (vb. afpompen, airlifting,...), aangezien de techniek op zich hier niet in voorziet.

2.4 Airlifting in combinatie met pompen

2.4.1 Omschrijving techniek

Bij deze methode wordt een luchtslang in een peilbuis gebracht en onder druk geïnjecteerd. Zo wordt een continu flux van water naar het oppervlak gecreëerd (zie Figuur 3). Er dient achteraf nog gepompt te worden gezien het zand dat zich verzameld heeft op de bodem van de filter te zwaar is om met de luchtstroom naar het oppervlak gevoerd te worden.



Figuur 3: Principe airlifting ([4])

2.4.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Deze techniek is erg geschikt om fijne partikels uit de peilbuis te verwijderen, maar heeft weinig tot geen effect buiten de peilbuis ([1]). Daarenboven kan de techniek niet gebruikt worden voor peilbuizen met een snijdende of ondiepe filterstelling, aangezien hierbij de lucht doorheen het filtergrind naar het oppervlak geblazen wordt.

De techniek introduceert lucht in het grondwater, waardoor de fysico-chemische omstandigheden rondom de peilbuis veranderen ([6]). Een herstelperiode tussen ontwikkeling en staalname dient dus zeker voorzien te worden. De geïnjecteerde lucht dient bovendien gefilterd te worden, opdat geen olie, afkomstig van de compressor, in het grondwater geïntroduceerd wordt.

De grote drukken waarmee de lucht geïnjecteed wordt, kunnen onherstelbare schade veroorzaken aan de peilbuis ([6]). Daarnaast kan een 'airlock' ontstaan, doordat het ontstaan van luchtbellen binnen het filtergrind en de aquifer de permeabiliteit negatief beïnvloedt ([1] en [4]). Door de grote drukopbouw, kan 'cracking' ontstaan in de geologie nabij de peilbuis. Op deze manier kunnen voorkeurspaden en migratiewegen voor verontreinigd grondwater ontstaan, wat niet wenselijk is.

Door de grote drukken die gepaard gaan met airlifting, kan verontreinigd grondwater ongecontroleerd vrijkomen. Hierdoor verhoogt de kans op contact van de boorploeg met verontreinigd grondwater. Wanneer het grondwater verontreinigd is met vluchtige componenten, kan het aanbrengen van een luchtstroom naar het oppervlak toe, ook zorgen voor een toenemende concentratie aan contaminanten in de omgevingslucht. Zowel het vrijkomen van verontreinigd grondwater als het vrijkomen van verontreinigde lucht dient dus in rekening gebracht te worden bij de keuze qua techniek en het evalueren van veiligheidsrisico's tijdens de toepassing ervan.

2.4.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Compressor voor drukopbouw
- Pomp
- Slangen geschikt voor de aangelegde drukken
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden. Lucht uit de compressor dient gefilterd te worden om te vermijden dat olie van de compressor in het grondwater terechtkomt.

2.4.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

De noodzaak tot aanschaf van een compressor, drukbestendige slangen en een koppelstuk waarmee de compressorslangen op de peilbuis kunnen bevestigd worden, kan een (eenmalige) beperkte meerkost betekenen.

2.4.5 Samenvattend overzicht

Tabel 4 geeft een overzicht van de techniek.

	Airlifting + pompen
Eenvoud	+ (Beperkte hoeveelheid materiaal nodig + eenvoudig)
Aquifertype	Geen beperking
Diameter	+ (mits aanpassingen alle diameters mogelijk)
Materiaal filterscherm	+/- (Minder kans op schade bij metalen filterscherm)
Agressiviteit	- (Geen effect buiten peilbuis)
WATERVERBRUIK	++
Volume opgepompt water	+/- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	- (Injectie van lucht)
Rustperiode vóór staalname	- (Herstel fysico-chemische parameters ± 7 dagen)
Kost	+ ((eenmalige meerkost) compressor en slangen)
Veiligheid	- (verhoogd risico op contact verontreinigd grondwater en verontreinigde lucht)
Materiaal	Compressor voor drukopbouw Pomp Slangen geschikt voor de aangelegde drukken (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk))

Tabel 4: Samenvattend overzicht airlifting + pompen

2.4.6 Ervaringen

Deze methode werd door een aannemer in opdracht van ARCADIS toegepast voor het ontwikkelen van filters op sites te Antwerpen en in Noorderkempen.

Peilbuizen op de site in de Noorderkempen werden geplaatst door middel van een zuigspoelboring tot op een diepte van ongeveer 30 m-mv. De grondwaterstand bedroeg ±2 m-mv. Zand dat zich op de bodem van de peilbuis had geaccumuleerd kon door eenvoudig afpompen niet verwijderd worden. Het belangrijkste doel van het airliften was derhalve het verwijderen van deze hoeveelheid zand. Het geaccumuleerde zand kon volledig verwijderd worden. Een eventueel effect op toestroming en/of turbiditeit van het grondwater kon niet gekwantificeerd worden, aangezien geen test uitgevoerd werd voor de toepassing van airlifting. Op basis van de vergelijking qua toestroming en turbiditeit elders op de site wordt de invloed van de ontwikkeling hierop minimaal geacht.

Op een terrein te Antwerpen werden door spoelboring geplaatste injectieputten eveneens ontwikkeld met behulp van airlifting. Ook hier zijn de gevolgen van de ontwikkeling moeilijk in te schatten. Er werd voorafgaandelijk geen bepaling van de toestroming of turbiditeit uitgevoerd, waardoor geen kwantificering van de ontwikkelingsefficiëntie mogelijk is.

2.5 Jutten (Surging met luchtdruk)

2.5.1 Omschrijving techniek

Bij deze methode wordt lucht in de blinde buis van de peilbuis onder druk aangebracht. Hierbij daalt het water in de peilbuis en wordt dit water in de omgekeerde richting doorheen de peilbuis

gestuurd. Hierna wordt de druk van de peilbuis gelaten en stroomt het water opnieuw in de juiste richting doorheen de filter en stijgt het water opnieuw in de blinde buis. Door het periodiek toepassen van deze methode, worden de fijne deeltjes uit het filtergrind getrokken. Deze methode wordt door een aantal boorders in België toegepast voor het ontwikkelen van putten.

2.5.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Deze techniek, die een voordelige bidirectionele stroming veroorzaakt rondom de peilbuis, kan niet gebruikt worden voor peilbuizen met een snijdende of ondiepe filterstelling, aangezien hierbij de aangelegde druk doorheen het filtergrind naar het oppervlak ontsnapt. Daarnaast is er bij een hogere waterkolom boven de filter meer water, dat kan gebruikt worden voor de bidirectionele in/uit de filter, beschikbaar, waardoor de techniek aan efficiëntie wint.

De techniek introduceert lucht in het grondwater onder grote druk, waardoor de fysico-chemische omstandigheden van het grondwater, in beperkte mate, kunnen veranderen ([1] en [6]). Een beperkte herstelperiode tussen ontwikkeling en staalname dient dus voorzien te worden. Wanneer de grondwaterstand tot binnen het filterscherminterval daalt, zal wel injectie van lucht, via het filterscherm naar het filtergrind en de aquifer, plaatsvinden. Hierdoor versterkt het effect op de lokale fysico-chemie. Desgevallend dient ook een langere herstelperiode voorzien te worden vooraleer staalname kan gebeuren.

De geïnjecteerde lucht dient bovendien gefilterd te worden, opdat geen olie, afkomstig van de compressor, in het grondwater geïntroduceerd wordt.

De grote aangebrachte drukken kunnen onherstelbare schade veroorzaken aan de peilbuis ([6]). De standaard HDPE-stijgbuizen (50 mm x 41 mm) kunnen een interne druk van minstens 6 bar weerstaan, wat voldoende is om de techniek efficiënt te kunnen toepassen. Daarnaast kan een 'airlock' ontstaan, doordat het ontstaan van luchtballen binnen het filtergrind en de aquifer de permeabiliteit negatief beïnvloedt ([4] en [1]). Door de grote drukopbouw, kan 'cracking' ontstaan in de geologie nabij de peilbuis. Voorkeurspaden en migratiewegen voor verontreinigd grondwater kunnen zo ontstaan, hetgeen niet wenselijk is.

Door de grote drukken die gepaard gaan met jutteren, kan verontreinigd grondwater ongecontroleerd vrijkomen. Hierdoor verhoogt de kans op contact van de boorploeg met verontreinigd grondwater.

2.5.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Compressor voor drukopbouw
- Afsluitmechanisme peilbuis
- Pomp
- Slangen geschikt voor de aangelegde drukken
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden. Lucht uit de compressor dient gefilterd te worden om te vermijden dat olie van de compressor in het grondwater terechtkomt.

2.5.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

De nood aan een compressor en drukbestendige slangen kan een (eenmalige) beperkte meerkost betekenen.

2.5.5 Samenvattend overzicht

Onderstaande tabel (Tabel 5) geeft een overzicht van de techniek.

	Jutten
Eenvoud	+/- (Beperkte hoeveelheid materiaal nodig)
Aquifertype	Geen beperking
Diameter	+ (mits aanpassingen alle diameters mogelijk)
Materiaal filterscherm	+/- (Minder kans op schade bij metalen filterscherm)
Agressiviteit	++
WATERVERBRUIK	++
Volume opgepompt water	+/- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	+/- (Opbouwen luchtdruk, geen echte injectie, tenzij grondwaterstand onder filterscherm zakt)
Rustperiode vóór staalname	+/- (Beperkte herstel fysico-chemische parameters)
Kost	+ ((eenmalige meerkost) compressor en slangen)
Veiligheid	- (verhoogd risico op contact verontreinigd grondwater + drukken)
Materiaal	Compressor voor drukopbouw Afsluitmechanisme peilbuis Pomp Slangen geschikt voor de aangelegde drukken (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk))

Tabel 5: Samenvattend overzicht jutten (surging met luchtdruk)

2.5.6 Ervaringen

Een aannemer in opdracht van Arcadis Belgium heeft deze techniek reeds toegepast voor peilbuizen in glauconietzanden te Genk. De peilbuizen werden geplaatst door middel van sonische boringen, met desintegratie van het glauconiet tot klei in de nabijheid van de peilbuizen tot gevolg. De ontwikkeling werd gestopt na herhaaldelijk aanleggen van de hoge druk waarbij geen verbetering van de toestroming vastgesteld werd. De erg slechte toestroming in deze peilbuizen werd niet verholpen. Het gebrek aan resultaat wordt niet toegewezen aan de ontwikkelingsmethode, maar is puur het gevolg van een verkeerde boortechniek.

Ook deze techniek werd op de site in de Noorderkempen (zie 2.4) toegepast door een aannemer in opdracht van Arcadis Belgium. De peilbuizen waarop de techniek toegepast werd, werden geplaatst door middel van zuigspoelboringen. De techniek werd toegepast op ondiepe zowel als diepe peilbuizen. Doel van de techniek was om na te gaan of de toestroming, die reeds goed was, nog verbeterd kon worden.

Voor de ondiepe peilbuizen bleek de methode ongeschikt, aangezien de opgelegde druk via het filtergrind naar de onverzadigde zone kon ontsnappen, zoals reeds bij de randvoorwaarden

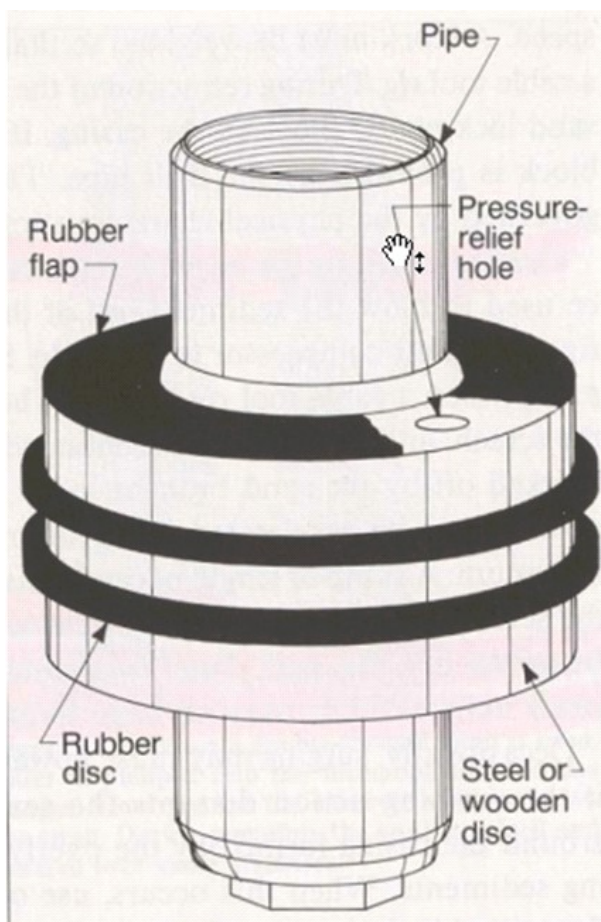
aangehaald werd. Op diepe peilbuizen kon de techniek wel toegepast worden. De aannemer die de ontwikkeling uitvoerde, had een zelfgemaakte installatie om deze techniek (in combinatie met airlifting) uit te voeren. Door het regelmatig losschieten van slangen onder invloed van de aangelegde druk, scoorde deze installatie niet goed op het vlak van veiligheid.

Doordat de toestroming voordien reeds goed was, kon geen significant verschil qua toestroming gemeten worden. Wel kon duidelijk vastgesteld worden dat er na het jutteren een significante hoeveelheid fijn materiaal in de filter terechtgekomen was, wat wijst op een ontwikkeling van het filtergedeelte door verwijdering van de fijne fractie. Een positieve invloed op de turbiditeit van het toestromende grondwater kan dus verwacht worden.

2.6 Mechanical surging/Surge and bail

2.6.1 Omschrijving techniek

Bij deze methode wordt een cilinder, eventueel uitgerust met een rubberen flap, 'surge block' genoemd (zie Figuur 4) op een neer bewogen (surging) in een peilbuis waardoor water in en uit de formatie stroomt en de zwevende delen uit het filtergrind worden getrokken. Daarna of gelijktijdig ('surge and bail') wordt het water met de fijne delen uit de peilbuis gepompt door middel van een bailer, knikkerpuls of pomp. Het op en neer bewegen wordt ter hoogte van de stijgbuis of op verschillende dieptes van de filter uitgevoerd. Wanneer de methode ter hoogte van de stijgbuis toegepast wordt, zal de pompende beweging over het volledige filterscherm verdeeld worden. De toepassing van deze techniek ter hoogte van het filterscherm, zorgt voor het ontstaan van lokale stromingen, waardoor voor de desbetreffende sectie een betere opwoeling en verwijdering van de fijne fractie plaatsvindt.



Figuur 4: Typevoorbeeld 'surge block' ([4])

Deze methode wordt in de VS dikwijls gebruikt, maar wordt in België zelden gebruikt door de boorfirma's. Deze methode is echter handig gezien weinig materiaal nodig is en ze gebruikt kan worden in combinatie met een pomp. Verder kan deze methode aanvullend gebruikt worden aan de jetting methode in fijnzandige formaties.

Enkel een surge block voor peilbuizen met een binnendiameter van 51 mm is standaard in de handel verkrijgbaar. Uit navraag bij een Nederlandse boorfirma die een dergelijke ontwikkeling aanbiedt, bleek dat de firma zelf 'surge blocks' aanmaakt. Volgens de opgebouwde expertise van de boormeesters wordt aan de hand van het boorprofiel ter hoogte van de filterstelling de stijfheid van het rubber, dat rondom houten schijven aangebracht wordt, gekozen.

2.6.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Deze methode is een intensieve ontwikkelmethode die voornamelijk gebruikt wordt in meer grovere formaties, hoewel de aanwezigheid van hoekige fragmenten voor een inefficiënte sortering zorgt. In fijnkorrelige formaties kan dit leiden tot het uitspoelen van te veel fijne fractie en het blokkeren van het filterscherm ten gevolge van versmering van deze fijne fractie.

De methode is eenvoudig in gebruik en omvat geen toevoeging van stoffen (lucht, water of chemicaliën) vreemd aan de aquifer. De hoeveelheid water die vrijkomt is gelijkaardig aan peilbuizen waarbij enkel gepompt wordt ter ontwikkeling. Nadeel van de methode is, naast de kans op het dichtslippen van het filterscherm (zie hoger), de agressiviteit, waardoor HDPE- of PVC-filters niet steeds ongeschonden blijven tijdens toepassing van de methode. Een omzichtig gebruik of het plaatsen van RVS-filters kan hier echter soelaas brengen.

2.6.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- 'Surge block' + mechanisme
- Pomp/bailer
- Slangen
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen en het steeds grondig reinigen of vervangen van het 'surge block', wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden.

2.6.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost en de eventuele afvoer van verontreinigd grondwater. Deze zijn functie van de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

Het benodigde materiaal maakt geen deel uit van de standaarduitrusting van een boorploeg, maar zal geen grote extra meerkost betekenen, aangezien het na reiniging steeds herbruikbaar is.

2.6.5 Samenvattend overzicht

Onderstaande tabel (Tabel 6) geeft een overzicht van de techniek.

	Mechanical surging
Eenvoud	++ (Beperkte hoeveelheid materiaal nodig + eenvoudig)
Aquifertype	Minder geschikt voor fijnkorrelige aquifertypes
Diameter	+ (mits aanpassingen alle diameters mogelijk)
Materiaal filterscherm	+/- (Minder kans op schade bij metalen filterscherm)
Agressiviteit	++ (Sterk effect zowel binnen als buiten filterscherm)
WATERVERBRUIK	++
Volume opgepompt water	+ (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	+ (Beperkt mogelijk door puls-beweging)
Rustperiode vóór staalname	+ (Beperkt)
Kost	++ ((eenmalige beperkte meerkost) materiaal)
Veiligheid	+ (Ergonomie indien handmatig)
Materiaal	'Surge block' + mechanisme Pomp/bailer Slangen (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk))

Tabel 6: Samenvattend overzicht 'mechanical surging'

2.6.6 Ervaringen

Arcadis Belgium

Op het terrein in de Noorderkempen werd deze techniek toegepast op peilbuizen die door middel van een puls boring geplaatst werden. De onderaannemer gebruikte een 'surge block' dat eenvoudig op de boorstangen van een edelmanboor gemonteerd kon worden. De methode werd zowel op de blinde buis als op het filterscherm zelf toegepast. De kracht die uit te oefenen valt wanneer de techniek manueel toegepast wordt, is echter eerder beperkt, met een matig resultaat tot gevolg. Om de methode efficiënt toe te passen, lijkt een mechanische opstelling, waarmee voldoende kracht ontwikkeld kan worden, dus noodzakelijk.

Arcadis US

Arcadis US past deze techniek regelmatig toe in grofkorrelige sedimenten, daar de techniek vaak volstaat om in dergelijke afzettingen ter degen te ontwikkelen. Voor fijnkorrelige sedimenten schakelen zij echter over op jetting, aangezien 'mechanical surging' vaak niet in staat geacht wordt de volledige filteromstorting en de boorgatwand te beïnvloeden tijdens ontwikkelen.

2.7 Knikkerpuls ('inertial lift pump')

2.7.1 Omschrijving techniek

De knikkerpuls bestaat uit een kogelklep die aan het uiteinde van een flexibele slang bevestigd wordt. De kogelklep opent bij de neerwaartse beweging, waardoor water en gesuspendeerde fractie uit de peilbuis in de flexibele slang loopt. Bij de opwaartse beweging verhindert het sluiten

van de kogelklep een uitstroom van dit water. Het continu uitvoeren van deze bewegingen zorgt voor een flux van het peilbuiswater naar het oppervlak doorheen de flexibele slang ([1]).

De methode is uitermate geschikt voor peilbuizen met een kleine diameter, aangezien de flexibele slangen en knikkerpuls in uitvoeringen met beperkte diameter beschikbaar is. Een aangepaste keuze qua knikkerpulsdiameter (beperkt verschil knikkerpulsdiameter ten opzichte van binnendiameter peilbuis) kan een stuwende kracht ontwikkeld worden, die een opwoeling en verwijdering van de fijne fractie in de hand kan werken ([1]). Zo sluit de knikkerpuls in de standaard uitrusting van de Arcadis boorploegen in diameter nauw aan bij de binnendiameter van een 32mm-peilbuis. Om een gelijkaardig effect te creëren kan een milde versie van een 'surge block' geconstrueerd worden, door het aanbrengen van een rubberen flap rondom de knikkerpuls of de flexibele slang. Eventueel kunnen borstels (bv. borstels voor het reinigen van steekbussen, dewelke geschikt zijn qua grootte) aangebracht worden om de binnenkant van de stijgbuis en het filterscherm te 'borstelen' zodat ook de fijne fractie die zich daarop vastgehecht heeft verwijderd kan worden.

De knikkerpulsmethode kan echter ook louter als oppompmethode aangewend worden. Ze wordt vaak gebruikt om geaccumuleerd en geconsolideerd zand en slib op de bodem van een peilbuis op te pompen. Hierbij dient de knikkerpuls minder nauw aan te sluiten aan de peilbuis waarop de methode toegepast wordt. In deze vorm is de methode in se geen ontwikkelingsmethode, hoewel ze uiteraard bijdraagt aan het zand- en slibvrij maken van de peilbuis.

De pulsbeving kan ook uitgevoerd worden door een gemotoriseerde kogelkleppomp, ook wel 'Hydralift' of 'ja-knikker'. Dit apparaat voert zelfstandig de pulsbeving uit en kan zowel elektrisch als met een dieselmotor aangedreven worden. Het ontwerp van dit apparaat staat toe verschillende slangdiameters te gebruiken. Idealiter dient de te ontwikkelen peilbuis afgewerkt te worden met een beschermkoker, waaraan de 'hydralift' bevestigd kan worden.

2.7.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

Deze eenvoudige methode met voornamelijk toepassing in peilbuizen met smalle diameters, kan problemen veroorzaken in fijnkorrelige formaties, doordat overmatig oppulsen van water het dichtslibben van het filterscherm met fijne partikels kan veroorzaken. Om dit te vermijden kan het noodzakelijk zijn de turbiditeit tijdens het toepassen van de knikkerpuls te verminderen door een tweede pomptechniek toe te passen, naast het pulsen.

De methode is minder geschikt om peilbuizen met grotere diameter te ontwikkelen, aangezien het maximale volume/debiet dat opgepompt kan worden door middel van een knikkerpuls vrij laag ligt.

2.7.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Flexibele slang
- Knikkerpuls (kogelklep)
- Eventueel hydralift
- Eventueel plastieken of rubberen boord
- Eventueel bevestigbare 'surge block'
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen en het steeds grondig reinigen of vervangen van de knikkerpuls, wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden.

2.7.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de werkurenkost, dewelke bepaald wordt door de duur van de ontwikkeling, de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,...

De eventuele kost voor de afvoer van verontreinigd grondwater is erg beperkt aangezien het volume opgepompt water met deze techniek beperkt is.

Doordat het benodigde materiaal deel uitmaakt van de standaarduitrusting van een boorploeg, dienen hiervoor geen grote meerkosten in rekening gebracht te worden.

2.7.5 Samenvattend overzicht

Onderstaande tabel (Tabel 7) geeft een overzicht van de techniek.

	Knikkerpuls
Eenvoud	++ (Weinig materiaal + eenvoudige uitvoering)
Aquifertype	Geen beperkingen, <i>clogging</i> mogelijk in fijnkorrelige aquifertypes
Diameter	+/- (Niet toepasbaar op peilbuizen met diameter > 2")
Materiaal filterscherm	++ (alle materialen)
Agressiviteit	+/-
Waterverbruik	++ (geen watertoevoeging)
Volume opgepompt water	+ (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij))
Invloed fysico-chemie	+ (Beperkt mogelijk door puls-beweging)
Rustperiode vóór staalname	+ (Beperkt)
Kost	++ (standaardmateriaal)
Veiligheid	+ (Ergonomie indien handmatig)
Materiaal	Flexibele slang Knikkerpuls (kogelklep) (Hydralift) (Plastieke of rubberen boord) (Bevestigbare 'surge block') (Container/emmers voor afvoer opgepompte water) (Actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk))

Tabel 7: Samenvattend overzicht knikkerpuls

2.7.6 Ervaringen

De knikkerpuls zit in de standaarduitrusting van de meeste boor- en waterstaalnameploegen. Ze wordt onder andere aangewend om diepere peilbuizen voor te spoelen (in kader van de klassieke, volume-gebaseerde bemonstering) met behulp van een 'Hydralift'. Daarnaast wordt ze aangewend om de pompkamer van motorpompen voor het aanschakelen op te vullen.

Deze methode werd door ARCADIS gebruikt om meer dan 200 injectieputten op een project in Vilvoorde zandvrij te pompen. Op deze manier werden alle putten zandvrij gepompt; het was echter niet mogelijk om alle putten volledig helder te krijgen.

Ook op een site te Rixensart werd de methode aangewend om extractieputten, die door middel van pulsboringen geplaatst waren, zandvrij te maken. De uitvoering van dit werk gebeurde volledig manueel. De techniek was succesvol in het zandvrij maken van de extractieputten.

2.8 Chemische ontwikkeling

2.8.1 Omschrijving techniek

De toevoeging van chemische producten aan het grondwater in een peilbuis wordt vrijwel steeds aangewend in combinatie met andere technieken ([5]). De efficiëntie van beide technieken neemt toe door deze combinatie.

De meeste componenten worden gravitair toegevoegd via een slang die in de peilbuis aangebracht wordt. Door de toevoeging van chemische componenten te combineren met drukgebaseerde technieken, zoals bijvoorbeeld jetting of jutteren, wordt de verspreiding van de chemische componenten, en zo ook hun werking, geoptimaliseerd. De toegevoegde componenten dienen een beperkte periode (meestal volstaat een nacht) in de peilbuis gelaten te worden, zodat ze de tijd krijgen om te reageren. Er dient nadien gepompt te worden om de toegevoegde componenten te verwijderen en het herstel van de fysico-chemische parameters toe te staan ([2] en [5]).

Uitzondering hierop vormt de toevoeging van CO₂ (vb. Fresh Flow ®-methode voor grondwaterwinningsputten). In een eerste fase wordt gasvormig CO₂ geïnjecteerd, waardoor de poriën rondom de filter watervrij gemaakt worden. Het resterende vocht rondom de korrels wordt vervolgens door middel van vloeibare CO₂ gecontroleerd tot bevrozing gebracht. De ijskristallen resulteren in een wrikkende werking, waardoor fijne fractie vrijgezet wordt. Natuurlijke opwarming van het vloeibare CO₂ zorgt voor gasvorming die een turbulentie creëert, dewelke bijdraagt aan het in suspensie brengen van de vrijgemaakte fijne fractie ([11]). De beschreven Fresh Flow ®-methode wordt toegepast op grondwaterwinningen, maar mogelijk zijn ook milieukundige toepassingen mogelijk.

De selectie van toegevoegde componenten gebeurt op basis van het beoogde doel (Tabel 8).

Component	Reactie
Polyfosfaten	Decoagulatie van kleimineralen (opbreken koeken)
(zout)zuur	Oplossen klakneerslag en metaal(hydr)oxides
Chloorbleekloog	Afbraak organisch materiaal en biologie
Waterstofperoxide	Afbraak organisch materiaal en biologie
CO₂	- Gasvormig CO₂ maakt poriën watervrij - Vloeibaar CO₂ zorgt voor ijskristallen en vrijzetten minerale fase - Vloeibare CO₂ naar gasfase zorgt voor turbulentie en suspensie

Tabel 8: Types en toepassing frequente chemische ontwikkelingsmethodes

2.8.2 Randvoorwaarden en voor- en nadelen

De methode is vrij eenvoudig qua toepassing, hoewel er op vlak van veiligheid toch voldoende voorzorgen genomen dienen te worden. Ze is erg makkelijk te combineren met andere, fysische ontwikkelingsmethodes, waardoor beide processen geoptimaliseerd worden.

De introductie van grondwater-vreemde componenten is ongetwijfeld het grootste, erg belangrijk nadeel aan deze methode. De toegevoegde stoffen kunnen de fysico-chemische parameters sterk wijzigen (bijvoorbeeld sterke pH-daling na injectie van zuur). Volgens uitvoerders van de Fresh Flow ®-methode zou dit echter niet van toepassing zijn op de injectie van CO₂. In de literatuur wordt aangegeven dat alle geïnjecteerde CO₂ via de gasfase terug naar de atmosfeer ontsnapt, zonder enige wijziging van de fysico-chemie tot gevolg ([11]). Daarnaast zijn er steeds ongewenste reacties met de aanwezige verontreiniging mogelijk, ten gevolge van wijziging van de fysico-chemie of ten gevolge van rechtstreekse interactie. Daarenboven dient het filtermateriaal en het type toegevoegde componenten op elkaar afgestemd te worden, om reactie met en vernietiging van het filterscherm te voorkomen.

2.8.3 Benodigd materiaal

Voor deze techniek is volgend materiaal noodzakelijk:

- Chemische component
- Eventueel een mengvat om de chemische component te vermengen vóór injectie
- Chemisch-resistente slangen (voor zowel oppompen als injecteren)
- Pomp
- Eventueel container/emmers voor afvoer opgepompte water
- Eventueel actief-koolvat voor opgepompte water (site-afhankelijk)

Door het telkens gebruiken van nieuwe slangen wordt de ongewenste verspreiding van verontreiniging via het materiaal vermeden.

2.8.4 Impact op kostprijs

De kostprijs zal voornamelijk bepaald worden door de aankoopprijs van de componenten die geïnjecteerd worden, de eventuele afvoer van opgepompt grondwater en de werkurenkost. Deze zijn functie van de geologie, de toestroming, de diepte van de peilbuis,... Doordat de geïnjecteerde componenten pas enkele uren tot een nacht na injectie opgepompt worden, kunnen respectievelijk wacht- en reistijden de werkurenkost aanzienlijk doen oplopen.

Doordat het benodigde materiaal grotendeels deel uitmaakt van de standaarduitrusting van een boorploeg, dienen hiervoor geen grote meerkosten in rekening gebracht te worden.

2.8.5 Samenvattend overzicht

In Tabel 9 Wordt een overzicht van de techniek gegeven.

2.8.6 Ervaringen

Deze techniek met het chemisch ontwikkelen van peilbuizen werd door Arcadis Belgium nog niet toegepast in het kader van putontwikkeling bij bodemonderzoek.

Op specifieke putontwikkeling in het kader van saneringen (injectie- of pompputten) wordt niet verder ingegaan.

	Chemische ontwikkeling
Eenvoud	++ (Weinig materiaal + eenvoudige uitvoering)
Aquifertype	Geen beperkingen
Diameter	++ (Geen beperking)
Materiaal filterscherm	+/- (Filterscherm moet resistent zijn ten opzichte van geïnjecteerde componenten)
Agressiviteit	++
WATERVERBRUIK	++ (geen watertoevoeging)
Volume opgepompt water	- (afhankelijk van duur ontwikkeling (slib- en zandvrij + volledige verwijdering geïnjecteerde componenten))
Invloed fysico-chemie	- (Injectie chemische componenten)
Rustperiode vóór staalname	- (Chemische componenten moeten verwijderd + fysico-chemie moet herstellen)
Kost	- (aankoop componenten, wachturen,...)
Veiligheid	- (Afhankelijk van geïnjecteerde componenten)
Materiaal	Chemische component (Mengvat) Chemisch resistente slangen Pomp (containers/emmers afvoer water) (actief-koolvat)

Tabel 9: Samenvattend overzicht chemische ontwikkeling

3 Conclusie literatuurstudie

Onderstaande tabel (Tabel 9) geeft een overzicht van de belangrijkste ontwikkelingsmethodes.

	Over- pompen	Back- washin g	Jetting + pompen	Airlifting + pompen	Jutten + pompen	Mechanical surging	Knikker- puls	Chemische Ont- wikkeling
Eenvoud	++	+ / ++	-	+	+ / -	++	++	++
Aquifertype	Alles ++ Grof	Alles ++ Grof	Alles ++ Fijn	Alles	Alles	++ Grof - Fijn	++ Grof - Fijn	Alles
Diameter	+ / -	+ / -	-	+	+	+	+ / -	++
Materiaal Filterscherm	++	++	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	++	+ / -
Agressiviteit	-	+ / -	++	-	++	++	+ / -	++
Waterverbruik	++	++	- / ++	++	++	++	++	++
Volume Opgepompt Water	+ / -	+ / -	-	+ / -	+ / -	+	+	-
Invloed Fysico- chemie	++	+ en -	-	-	+ / -	+	+	-
Rustperiode vóór Staalname	++	+ en -	-	-	+ / -	+	+	-
Kost	++	++ en + / -	+	+	+	++	++	-
Veiligheid	++	++	-	-	-	+	+	-
Materiaal	++	++ en -	-	-	-	+	++	+ / -

Tabel 10: Samenvatting voor- en nadelen van de verschillende ontwikkelingstechnieken

Uit deze evaluatie volgt dat onderstaande 3 ontwikkeltechnieken het meest beloftevol zijn om verder geëvalueerd te worden in een veldproef gezien deze technieken redelijk eenvoudig kunnen toegepast worden zonder een grote investering in materiaal:

- Overpompen met een vuilwaterpomp of peristaltische pomp
- 'Surge and bail' met aangepaste kogelkleppomp of 'surge block'
- Jutten

Hoewel uit de literatuur blijkt dat een combinatie van verschillende ontwikkelingsmethoden efficiënter is, zal slechts één techniek per peilbuis toegepast worden, om de evaluatie te vereenvoudigen.

De gekozen technieken werden gekozen in het licht van de ontwikkeling van peilbuizen bestemd voor staalname in alle stadia van een bodemonderzoek tot en met sanering. Voor ander type peilbuizen, zoals bijvoorbeeld pomp- of injectieputten, kunnen bepaalde technieken uiteindelijk meer toepasbaar of gunstig blijken. Vooral de toepasbaarheid van chemische ontwikkeling neemt toe in het geval van pomp- of injectieputten om aanwezige biologische verstopping ('biofouling') of ijzer(hydr)oxideneerslag te verwijderen. Daarnaast vormt de toevoeging van lucht of water vreemd aan de aquifer minder een probleem bij pomp- of injectieputten, waardoor ook technieken die daarop steunen, eenvoudiger toepasbaar worden.

4 Randvoorwaarden toepasbaarheid en “efficiëntie” peilbuisontwikkeling

Bij het toepassen van peilbuisontwikkeling dient rekening gehouden te worden met een aantal bijkomende randvoorwaarden. Het is vaak de combinatie van enerzijds techniek en anderzijds materiaalkeuze, constructie peilput en diameter die resulteert in een al dan niet goede peilputontwikkeling.

Er dient rekening gehouden te worden met het materiaal van de peilbuizen, de diepte van de filters en de diameter van de peilbuizen. Daarnaast dient een rustperiode voorzien te worden na de plaatsing van de peilbuizen.

Bij het evalueren van de toepasbaarheid van de methode dient naast de technische aspecten, ook rekening gehouden te worden met de extra kosten die het ontwikkelen van een peilbuis met zich meebrengen.

4.1 Materiaal peilbuis

4.1.1 Filters van PVC/HDPE

De peilputten die in het kader van onderzoek of opvolging van sanering geplaatst worden zijn in Vlaanderen standaard in PVC of HDPE.

Voordelen

- Voordelige prijs

Nadelen

- minder sterk dan filters van roestvrij staal: gevolg: enkel minder agressieve putontwikkelingstechnieken kunnen gebruikt worden.
- Beperkte doorlaat in vergelijking met filters van roestvrij staal. Bijgevolg kan de fijne fractie die ontstaat of vrijkomt tijdens de peilbuisplaatsing minder eenvoudig uitgespoeld worden

4.1.2 Filters van roestvrij staal (RVS-filters)

Voordelen:

- Sterker dan filters van PVC of HDPE, waardoor agressievere putontwikkelingstechnieken kunnen gebruikt worden
- Grotere doorlaat in vergelijking met filters van PVC of HDPE. Bijgevolg kan de fijne fractie die ontstaat of vrijkomt tijdens de peilbuisplaatsing eenvoudiger uitgespoeld worden.

Nadelen:

- Hoge kostprijs

De materiaalkeuze heeft belangrijke gevolgen voor de keuze van een putontwikkelingstechniek. De beperkte doorlaat heeft als gevolg dat fijne deeltjes ontstaan bij putplaatsing moeilijker uit te spoelen zijn. Omwille van deze redenen bestaat het risico dat plastic putten nooit helemaal kunnen ontwikkeld worden tot volledig helder grondwater opgepompt kan worden.

4.2 Constructie peilput: sleufbreedte, korrelgrootte filtergrind, filterkous en zandvang

Voor het verkrijgen van zandvrije filters is de constructie van de peilbuis even belangrijk, zo niet belangrijker dan putontwikkeling:

- De korrelgrootteverdeling van het filtergrind dient in principe gedimensioneerd te worden op basis van de korrelgrootteverdeling van de formatie. In de praktijk wordt echter standaard gewerkt met filtergrind van circa 0,5 - 1,0 mm of circa 0,8 – 1,25 mm. Voor de sites zullen bestaande korrelgrootteverdelingen van de aquifer(s) bekeken worden, om het ideale filtergrind te selecteren. Driscoll ([4]) geeft een gedetailleerde beschrijving van een dergelijke methode. In Remediation Hydraulics ([9]) worden enkele verschillende selectiemethodes voor het filtergrind aangehaald, specifiek voor peilbuizen bedoeld voor bemonstering. Uit ervaringen met pompputten binnen Arcadis Belgium blijkt echter dat dergelijke methodes vaak uit de Verenigde Staten afkomstig zijn, waardoor ze in Vlaanderen niet steeds toepasbaar zijn, omwille van de ietwat andere calibratie van de standaard voorhanden zijnde grinden. Daarom wordt de voorwaarde, zoals aangegeven in Vlare II, gevolgd, waarbij gebruik gemaakt wordt van de granulometrie (d_{30}) van de aquifer om een geschikt filtergrind te selecteren.
- De sleufbreedte dient afgestemd te worden op het filtergrind. Indien bijvoorbeeld een te grote sleufbreedte wordt gekozen in een fijnzandige formatie, kan zand blijven toestromen naar de peilbuis ([9]). De sleufbreedte dient zo gekozen te worden, dat op basis van de korrelgrootteverdeling van het filtergrind, 90% van het filtergrind weerhouden wordt door de filteropeningen ($\sim d_{90}$).
- Zoals aangegeven in de CMA van 2012 ([6]), dient een annulaire ruimte van 1,5 cm voorzien te worden rondom de peilbuis. Een te dik pakket filtergrind verhindert echter een efficiënte ontwikkeling, doordat de invloed van de toegepaste techniek niet tot aan de boorgatwand reikt ([4] en [9]). Een filterpakket met een dikte tot 203 mm ([4]) staat een goede ontwikkeling van de peilbuis toe.
- Het aanbrengen van een filterkous kan in zekere mate reeds bijdragen aan het slibvrij houden van een peilbuis. Doordat hierdoor echter een extra 'obstakel' toegevoegd wordt rondom het filterscherm, is het niet ondenkbaar dat een filterkous de efficiëntie van bepaalde ontwikkelingsmethodes (vb. jetting, jutteren,...) negatief beïnvloed.
- De plaatsing van een zand/slib-vang kan het verzanden van een peilbuis ter hoogte van het filterscherm vermijden. Tijdens bemonsteringen of onderhoud van de peilbuis, dient de zand/slib-vang regelmatig geledigd te worden.

4.3 Rustperiode na installatie

Een rustperiode (minstens 24 uur ([6]); 48 uur ([1] en [12])) dient gerespecteerd te worden, zodat het filtergrind kan compacteren, de kleistop volledig kan uitzwellen en eventuele bentonietgrout kan uitharden. De uiteindelijke rustperiode hangt af van de afwerking van de peilbuis en de toe te passen ontwikkelingsmethode. Minder agressieve methodes kunnen sneller na plaatsing van de peilbuis toegepast worden, omdat de interferentie met de peilbuisomstorting kleiner is.

4.4 Kosten

De kosten voor het ontwikkelen van peilbuizen zijn sterk afhankelijk van:

- De toegepaste techniek
- Het aantal peilbuizen dat ontwikkeld dient te worden
- Het doel van de ontwikkeling
- Het doel van de peilbuis (in deze studie louter monitoringsputten)
- Site-specifieke factoren
- ...

Het kostenplaatje vormt een integraal onderdeel bij de keuze van een ontwikkelingsmethode. Voor monitoringsputten in het kader van een bodemonderzoek, is het creëren van een grote extra meerkost niet altijd opportuun.

De kosten dienen in principe site per site, situatie per situatie bekeken te worden, waarbij alle factoren die een invloed uitoefenen, beschouwd worden. Er werd toch geprobeerd een kosteninschatting per techniek op te maken, gebaseerd op informatie uit de literatuurstudie en ervaringen. Op basis van de veldwerkttest en daarbij opgedane praktijkervaring kunnen hier nog aanpassingen aan gebeuren.

Deel II: Veldwerktesten

5 Algemeen plan van aanpak

5.1 Peilbuisplaatsing

Het plan van aanpak omvat voor elk van de sites de installatie van een aantal ondiepe niet-snijdende peilbuizen en/of diepere peilbuizen, telkens zonder filterkous. Per site wordt in de volgende hoofdstukken de configuratie specifiek toegelicht. De plaatsing van de peilbuizen is uitgevoerd steeds zoals beschreven in het CMA/1/A.2 (MB 18/01/2012; [6]). Om de invloed van een filterkous op de turbiditeit en de efficiëntie van het ontwikkelen van een peilbuis in kaart te brengen, werd beslist om op elke site een vierde ondiepe peilbuis mét filterkous te plaatsen.

Voor zowel de stijgbuizen als de filters wordt voor HDPE gekozen, aangezien dit de meest toegepaste materialen zijn voor monitoringspeilbuizen in het kader van bodemonderzoeken in Vlaanderen. Rondom de peilbuis wordt een annulaire ruimte van 1,5 centimeter voorzien zoals aangegeven in het CMA 2012.

Per site worden beschikbare korrelgrootteverdelingen (zoals bekend uit eerdere studies op de sites) aangewend om een geschikte korrelgrootteverdeling voor het filtergrind te bepalen, zoals aangegeven in Vlarem II. De sleufbreedte van de HDPE-filter zal zo gekozen worden dat 90% van het filtergrind weerhouden wordt door de filteropeningen (~d90).

Elk van de peilbuizen wordt met een slibvang uitgerust. Deze laat toe om de peilbuis eenvoudig slibvrij te maken vooraf aan de ontwikkeling. Daarnaast kan op basis van het aanwezige slib in deze slibvang een inschatting en vergelijking gemaakt worden van het effect van de ontwikkeling op slib in de directe omgeving van de peilbuis.

De peilbuizen worden uitgerust met een kleistop van bentoniet of eventueel, in het geval van diepere peilbuizen, gegrout.

Het schoonpompen van peilbuizen gebeurt direct na plaatsing, met uitzondering van de peilbuizen die gegrout werden, waar het schoonpompen de dag na plaatsing uitgevoerd wordt, zodat het grout kan uitharden. Er dient benadrukt te worden dat dit schoonpompen van de peilbuizen niet als ontwikkeling aanzien wordt. Er wordt sowieso uitgegaan van een verwijdering van het werkwater na plaatsing van de peilbuis.

5.2 Parameterbepaling en laboratoriumanalyses

Vooraleer overgegaan werd tot de ontwikkeling van de peilbuizen werden onderstaande parameters bepaald als 'baseline':

- Turbiditeit met een turbiditeitsmeter in situ
- Doorlatendheid door middel van een slug test
- Veldparameters: pH, geleidbaarheid, ORP en zuurstof
- Verontreinigingsconcentraties (laboratoriumanalyse)

De specificaties en de precisie van de meettoestellen worden per parameter samengevat in Tabel 11. Alle grondwaterstalen die voor laboratoriumanalyse bestemd zijn (verontreinigingsconcentraties), zowel tijdens de 'baseline' als tijdens de latere fasen van de veldtest, zijn genomen door middel van Low Flow Sampling (LFS). Hierbij werd de methodiek toegepast, zoals omschreven in CMA 2012 ([6]).

HANNA Instruments HI98703-02	
<i>Parameter</i>	<i>Precisie</i>
Turbiditeit	± 2%
HACH HQ40d multi portable meter	
<i>Parameter</i>	<i>Precisie</i>
Zuurtegraad (pH)	± 0,002
Oxido-reductiepotentiaal	0,1 mV
Temperatuur	± 0,3 °C
Electroconductiviteit	± 0,5 %
O2-gehalte	± 0,5 %

Tabel 11: specificaties en precisie van de aangewende meettoestellen

Om het effect van verschillende ontwikkelingsmethodes op de toestroming in de peilbuizen te onderzoeken werden putproeven uitgevoerd op verschillende tijdstippen voor en na de peilbuisontwikkelingen. De putproeven werden uitgevoerd door de peilbuis leeg te pompen waarna het toestromende grondwater het water in de peilbuis opnieuw op niveau kon brengen (recovery). Er werden elektronische meettoestellen, 'divers', gebruikt om het verloop van het waterpeil te registreren. Deze methode werd toegepast op de verschillende locaties, met uitzondering van de site te Hasselt.

5.3 Weerhouden ontwikkelingstechnieken en constructie

Onderstaande paragrafen geven een overzicht van de 3 ontwikkelingstechnieken die weerhouden werden en die op meerdere sites praktisch werden toegepast.

5.3.1 Overpompen

Een peilbuis wordt afgepompt aan een debiet dat ruim hoger ligt dan het bemonsteringsdebiet. Op die manier wordt getracht de fijne fractie die vrijkomt bij pompen aan een hoog debiet te verwijderen, zodat bij pompen aan het lagere bemonsteringsdebiet (Low flow sampling) helder water onttrokken wordt. De methode beperkt zich tot het aanleggen van een unidirectionele stroming naar de peilbuisfilter toe, waardoor de techniek minder agressief is dan de andere methodes die toegepast werden tijdens deze test.

Voor het overpompen werd gebruik gemaakt van één of meerdere (afhankelijk van de toestroming) peristaltische pompen.

5.3.2 'Mechanical surging'

Een inox 'surge block' (zie Figuur 5) wordt manueel op en neer gelaten in de stijgbuis om een bidirectionele stroming te creëren in de peilbuisomstorting en het nabije aquifermateriaal. Toepassing van de op- en neergaande beweging ter hoogte van het filterscherm veroorzaakt lokale kortsluitstromen waarbij eveneens fijne fractie vrijgezet kan worden. Een knikkerpuls wordt op het 'surge block' bevestigd om simultaan het water en het vrijgezette slib te onttrekken.

Enkel een surge block voor peilbuizen met een binnendiameter van 51 mm is standaard in de handel verkrijgbaar. Omdat standaard met peilbuizen met kleinere diameter gewerkt wordt, werd geopteerd een eigen ontwerp van surge block voor peilbuizen met binnendiameter 41 mm aan te laten maken (zie Figuur 5). Een standaard knikkerpuls werd op het 'surge block' bevestigd om simultaan het water en het vrijgezette slib te onttrekken.



Figuur 5: Ontwerp 'Surge Block' met hierop bevestigd een knikkerpuls ter afpompings van water en vrijgezet slib



Figuur 6: Tweede ontwerp van het 'Surge Block'

Tijdens het ontwikkelen van peilbuizen op de site te Vilvoorde (zie § 7.2.2) geraakte dit surge-block echter verloren. Een nieuwe versie van het 'surge block' werd gemaakt, waarbij enkele aanpassingen, met name het aanbrengen van een bout doorheen de PE-slang waarop het blok bevestigd werd, uitgevoerd werden, opdat het blok steviger bevestigd zou zijn. Dit tweede 'surge block' wordt weergegeven in (zie Figuur 6).

De methode kan zowel manueel als gemechaniseerd (aan de hand van een gemotoriseerde kogelkleppomp, ook wel 'ja-knikker' of hydalift genoemd) uitgevoerd worden. Idealiter dienen de peilbuizen, die aan de hand van de 'ja-knikker' ontwikkeld worden, uitgerust te zijn met een metalen beschermkoker, waaraan de 'ja-knikker' bevestigd kan worden (zie Figuur 26). De techniek kan ook toegepast worden zonder beschermkoker, hoewel de noodzakelijke verankering van de gemotoriseerde kogelkleppomp in dat geval voor problemen kan zorgen.

5.3.3 Jutten

Door het aanleggen van een luchtdruk in de stijgbuis van een peilbuis, wordt het peilbuiswater terug het filtergrind en de aquifer ingestuwd. Het afwisselend aanleggen en aflaten van deze luchtdruk, creëert een bidirectionele stroming, waarbij fijne fractie vrijgezet wordt.

Via een kopstuk (zie Figuur 7) wordt een compressor op de peilbuis aangesloten, alsook een sonde voor opvolging van het grondwaterniveau. In onderstaande testen werden 2 sondes getest: sonde gebaseerd op geleidbaarheid van grondwater enerzijds en anderzijds een weerstandsmeter.



Figuur 7: Kopstuk voor peilbuisontwikkeling door middel van jutten

De installatie van een bolkraan op het kopstuk staat toe de druk erg snel af te laten, in tegenstelling tot het ventiel dat hiervoor voorzien werd op de compressor.

Na ontwikkeling wordt het kopstuk verwijderd en dient de peilbuis voldoende afgepompt te worden om de vrijgezette minerale fractie te verwijderen.

De techniek kan niet toegepast worden in snijdende peilbuizen of peilbuizen met een te geringe diepte, aangezien de aangelegde luchtdruk het ontsnappen van geïnjecteerde lucht via het filtergrind of de lokale geologie tot gevolg kan hebben, waardoor verontreiniging kan vervluchten en migreren, de fysico-chemie kan wijzigen of voorkeurspaden kunnen ontstaan.

Hoe dieper de filterstelling ten opzichte van het grondwaterniveau, hoe meer water 'beschikbaar' is om tijdens het juttieren de aquifer in te stuwen. Hiervoor zijn echter hogere drukken nodig. De koppeling tussen het kopstuk en de peilbuis kan een druk van 10 bar weerstaan, waar de stijgbuizen een interne druk van 6 bar kunnen verdragen. Het is echter noodzakelijk dat elk van de peilbuisonderdelen via een vaste verbinding (vb. schroefdraad, lasverbinding,...) gekoppeld wordt. Het gebruik van een klemmof bij de installatie van een peilbuis kan het aanleggen van een druk onmogelijk maken en aanleiding geven tot onveilige situaties (zie § 7.2.2).

5.4 Verloop ontwikkelingstesten

Het algemene plan van aanpak voor de veldwerktesten wordt samengevat in Tabel 12. Per site kunnen eventuele aanpassingen hierop van toepassing zijn, zoals besproken in de relevante hoofdstukken.

Actie	Ondiepe peilbuizen (Uitgevoerd op)	Diepe peilbuizen (Uitgevoerd op)
Plaatsing	Dag 0	Dag 0
Schoonpompen	Dag 0	Dag 1
Parameters lab + veld 'baseline'	Dag 8	Dag 8
Ontwikkeling 1 (obv veldparameters)	Dag 8	Dag 8
Parameters lab + veld 'na 1 week'	Dag 15	Dag 15
Parameters lab + veld 'na 4 maanden'	Maand 4	Maand 4
Ontwikkeling 2 (obv veldparameters)	Maand 4	Maand 4
Parameters lab + veld 'na ontwikkeling 2'	Maand 4 + 1 week	Maand 4 + 1 week

Tabel 12: Algemene planning veldwerktesten

Acht dagen na de plaatsing van de peilbuizen zijn de peilbuizen een eerste keer ontwikkeld. Op die manier werd zowel de (in de literatuur) voorgeschreven rustperiode van 48u, voor het compacteren van het filtergrind, het opzwellen van de kleistop en de uitharden van grout, als de wachttijd van 7 dagen na schoonpompen van de diepe peilbuizen vóór bemonstering gerespecteerd.

De drie weerhouden ontwikkelingstechnieken werden elk toegepast op één van de peilbuizen, zodat de efficiëntie van de toegepaste methodes onderling vergeleken kan worden, binnen eenzelfde geologische context. De invloed van de diepte van de peilbuizen en de eventuele variatie qua geologie op de resultaten van de ontwikkeling werd onderzocht door het toepassen van de testen op peilbuizen met elk een verschillende filterstelling. Eén van de ontwikkelingsmethodes werd ter vergelijking toegepast op een ondiepe peilbuis met filterkous.

Elke ontwikkelingsmethode is gedurende 10-15 minuten toegepast, waarna de turbiditeit gemeten werd. Wanneer de turbiditeit van de peilbuis niet significant verbeterde, werd de peilbuisontwikkeling stopgezet. De parameters zoals bepaald bij de 'baseline', werden opnieuw bepaald, om het effect van de peilbuisontwikkeling te kunnen evalueren.

Om het effect van een week rust tussen ontwikkeling en staalname in kaart te brengen, is een week na de ontwikkeling een tweede bemonstering uitgevoerd.

Voor site 1 werden deze parameters na 4 maanden opnieuw bepaald, voorafgaand aan een nieuwe ontwikkelingsstap (zie Tabel 12). Tot slot werden een week na deze tweede ontwikkeling de parameters een laatste keer bepaald ter evaluatie.

5.5 Testen tijdsgevoeligheid turbiditeitsmetingen

Uit observaties en metingen in het kader van de veldtest op site 1 te Antwerpen, werd duidelijk dat de gemeten turbiditeitswaarden van eenzelfde staal toenamen in de tijd (zie § 6.2.2.2), mogelijk onder invloed van temperatuurswijzigingen na oppompen of het contact met zuurstof.

Ten gevolge van deze observatie werd in overleg met OVAM een beperkte test, waarbij de variabiliteit in turbiditeitsmetingen in functie van de tijd opgevolgd werd, toegevoegd aan het plan van aanpak voor elk van de sites.

De variatie van de turbiditeitsmetingen in functie van de tijd wordt hierbij opgevolgd. Indien een evolutie waargenomen werd, werd een tweede test uitgevoerd waarbij de invloed van temperatuurswijzigingen en het contact met zuurstof op deze evoluties nagegaan is.

6 Site 1 – Antwerpen

6.1 Sitegegevens

6.1.1 Algemeen

De onderzoekslocatie 'site 1' is ten zuidwesten van de stad Antwerpen gelegen, in een voormalig polder- en industriegebied. Momenteel is het terrein braakliggend. Er worden geen saneringsactiviteiten uitgevoerd op de site.

6.1.2 (Hydro)geologie

De geologische opbouw (zie Tabel 13) is bepaald op basis van boorbeschrijvingen uit voorgaande bodemonderzoeken en uit de voorliggende studie.

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Beschrijving	Hydrogeologie
0,0-1,0	Antropogeen	Matig fijn tot grof ophoogzand	Watervoerende laag
1,0-2,0	Kwartair ("Polderklei")	Pakket alluviale afzettingen met mix van klei, veen en zandlaagjes	Scheidende laag
2,0-6,0	Kwartair	Watervoerende laag bestaande uit siltige tot middelgrove zanden.	Watervoerende laag (licht gespannen)
>6,0	Formatie van Boom	Klei	Scheidende laag

Tabel 13: Bodemprofiel op site 1 te Antwerpen

6.1.3 Verontreinigingssituatie

Binnen de testzone, werden in het verleden ondiepe grondwaterverontreinigingen met zware metalen, BTEX, minerale olie, en PAK's vastgesteld.

In diepere peilbuizen, met een filterstelling beneden de alluviale klei, werden in het verleden geen tot slechts licht verhoogde concentraties aan contaminanten vastgesteld.

6.2 Veldwerkgegevens en interpretatie

6.2.1 Installatiefase

In totaal werden 4 peilbuizen geplaatst (volgens de procedure CMA/1/A.2 ([6])) door middel van een manuele edelman- en puls boring. De peilbuizen werden de dag van plaatsing schoongepompt.

Aangezien op de site te Antwerpen geen diepe grondwaterverontreinigingen aangetroffen werden in het verleden, werd enkel het trio van ondiepe peilbuizen en de vierde centrale ondiepe peilbuis met filterkous geplaatst.

De alluviale kleilaag (zie Tabel 13) werd minder diep dan verwacht aangetroffen, waardoor de filters in de dieper gelegen zanden (onder de Polderklei) werden geplaatst. Op deze wijze kon

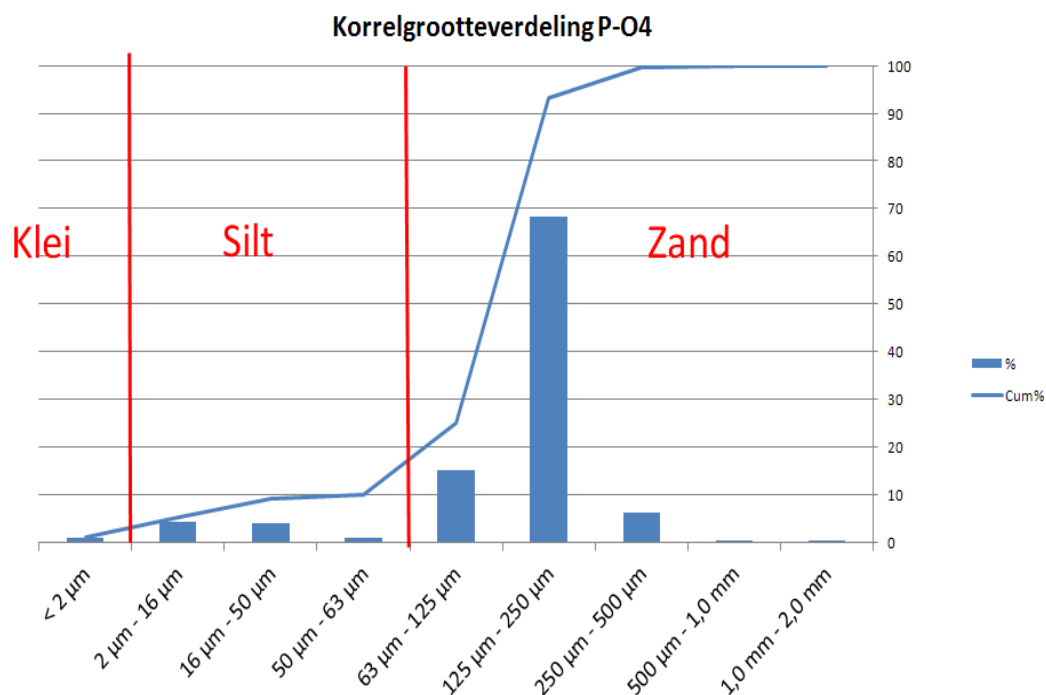
de toepasbaarheid van het jutteren nog steeds getest worden. De peilbuizen werden bovengronds afgewerkt.

De boorbeschrijvingen van de peilbuizen zijn terug te vinden in Bijlage 4. De peilbuizen werden uitgerust met een filter van 2 m en een slibvang van 25 cm. Peilbuizen P-O1 (filterstelling 2,9-4,9), P-O2 (filterstelling 2,8-4,8) en P-O3 (filterstelling 2,62-4,62) werden zonder filterkous afgewerkt. Peilbuis P-O4 (filterstelling 3,15-5,15) werd afgewerkt met filterkous. Een samenvatting van de technische gegevens van elk van de peilbuizen wordt gegeven in Tabel 14.

Zintuiglijk werd een sterke geur waargenomen in de ondiepe secties van de boringen (zie boorprofielen Bijlage 4).

Ter hoogte van de filterstelling in P-O4 werd aan de hand van een steekbus een ongeroerd staal genomen (van 4,00 tot 4,20 m-mv) ter bepaling van de korrelgrootteverdeling (zie Figuur 8). Het resultaat, duidend op fijn zand, kon geëxtrapoleerd worden naar de 3 andere peilbuizen, omwille van de beperkte ruimtelijke verspreiding van de peilbuizen en omwille van een analoge bodemopbouw ter hoogte van de filter zoals blijkt uit de boorbeschrijvingen.

In de ondiepe secties (< 2 m-mv) verschilt de bodemopbouw echter wel tussen de 4 peilbuizen. Zo varieert het kleigehalte en de dikte van het zandige kleipakket dat onder de puinhoudende toplaag aangetroffen wordt. Daarnaast varieert de dikte van het veenpakket onder deze zandige kleilaag van onbestaande tot een 50 cm dikke laag. Deze ondiepe variaties zijn niet relevant voor de beoordeling van parameterwaarden en analyseresultaten in het kader van deze studie.



Figuur 8: Korrelgrootteverdeling P-O4 ter hoogte van de filterstelling (3,15-5,15 m-mv; staal 4,00-4,20 m-mv)

	Diepte (m-mv)	Slibvang (m)	Filter (m-mv)	Filtergrind (m-mv)	Korrel-grootte filtergrind (mm)	Buitendiameter / Binnendiameter Peilbuis (mm/mm)	Filterkous	Hoeveelheid werkwater (liter)
P-O1	5,15	0,25	2,90 – 4,90	2,50 - 5,15	1,0 – 1,6	50/41	Nee	20
P-O2	5,05	0,25	2,80 – 4,80	2,50 – 5,05	1,0 – 1,6	50/41	Nee	20
P-O3	4,87	0,25	2,62 – 4,62	2,00 – 4,87	1,0 – 1,6	50/41	Nee	20
P-O4	5,40	0,25	3,15 – 5,15	2,50 – 5,40	1,0 – 1,6	50/41	Ja	20

Tabel 14: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 1 te antwerpen Ontwikkelen van peilbuizen

De verschillende fases van de peilputontwikkeling en de onderlinge tijdsintervallen worden in onderstaande Tabel 15 samengevat.

	P-O1	P-O2	P-O3	P-O4
04/06/2012	Plaatsing	Plaatsing	Verscheidene pogingen	Plaatsingen
06/06/2012	-	-	Plaatsing	-
14/06/2012	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutten (10 min) 4. Helderpompen (60 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Knikkerpuls (7 min) 4. Surge block (10 min) 5. Helderpompen (50 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Overpumping (270 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Surge block (11 min; 12 l) 4. Helderpompen (35 l) 5. Surge block (10 min; 5 l) 6. Helderpompen (70 l)
21/06/2012	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust
01/10/2012	1. LFS 2. Parameters 3. Jutten (7 min; 20x) 4. Helderpompen (30 l)	1. LFS 2. Parameters 3. Surge block (15 min; 20l) 4. Helderpompen (50 l)	1. LFS 2. Parameters 3. Overpumping (25 min; 300 l)	1. LFS 2. Parameters 3. Surge block (15 min; 20 l) 4. Helderpompen (50 l)
11/10/2012	LFS na minstens week rust	LFS na minstens week rust	LFS na minstens week rust	LFS na minstens week rust

Tabel 15: Tijdsverloop peilputontwikkeling op site 1 te Antwerpen

De 4 peilbuizen werden onmiddellijk na plaatsing schoongepompt en werden na 1 week bemonsterd via *low flow sampling*, aanvullend werden de baseline-parameters bepaald.

De stalen werden geanalyseerd op BTEX, Minerale olie, PAK en zware metalen. Doordat de filter beneden de alluviale klei geplaatst werd, waren de aangetroffen concentraties aan verontreinigingen eerder beperkt, tot maximale waarden van enkele honderden µg/l. Uit de zintuiglijke waarnemingen bleek dat de verontreiniging boven de Polderklei veel sterker was dan eronder.

De hydraulische conductiviteit werd enkel bepaald voor peilbuis P-O3, aangezien het uitvoeren van een putproef eveneens de grondwaterstanden in de omliggende peilbuizen beïnvloedde. Daarnaast geldt voor deze site, dat de invloed van ontwikkeling op de toestroming erg klein wordt geacht, aangezien de natuurlijke toestroming reeds erg goed is. Enige variatie tussen baseline-waarden en waarden na ontwikkeling, zullen voornamelijk aan meetfouten toegeschreven kunnen worden.

De ontwikkeling van de 4 peilbuizen werd zowel een week na, als 4 maanden na plaatsing uitgevoerd. Peilbuizen P-O1, P-O2 en P-O3 werden elk aan de hand van een andere techniek ontwikkeld. Peilbuis P-O4 werd op dezelfde wijze als P-O2 ontwikkeld, ter bepaling van de invloed van een filterkous op de ontwikkeling van peilbuizen. De toegepaste ontwikkelingsmethode per peilbuis wordt in onderstaande Tabel 16 samengevat.

Peilbuis	Ontwikkelingsmethode
P-O1	Jutten
P-O2	'Mechanical surging'
P-O3	Overpompen
P-O4	'Mechanical surging'

Tabel 16: Toegepaste ontwikkelingsmethode per peilbuis

De bemonstering volgens de LFS-methode en de bepaling van de parameters nam voor de 4 peilbuizen 3 uur in beslag. Het ontwikkelen van de 4 peilbuizen nam 4 uur in beslag per ontwikkelingsfase.

6.2.1.1 Overpompen (overpumping')

Ontwikkeling 1 (14/06/2012)



Figuur 9: Opgepompt water tijdens overpompen van peilbuis P-O3 op site 1 te Antwerpen

Peilbuis P-O3 werd ontwikkeld volgens de techniek van het overpompen. Er werd 270 l afgepompt aan een debiet van ± 18 l/min ($\pm 1\text{m}^3/\text{h}$), hetgeen 36 maal het maximale bemonsteringsdebiet bij LFS (i.e. 0,5 l/min) is. Het opgepompte grondwater had een beperkt

troebelheid, zoals duidelijk zichtbaar is in Figuur 9. Het overpompen werd stopgezet wanneer het opgepompte water visueel niet meer troebel was.

Ontwikkeling 2 (01/10/2012)

Tijdens de tweede ontwikkelingsfase voor P-O3 werd op een tijdsspanne van 25 minuten, 300 liter afgepompt (± 12 l/min of $0,7$ m³/h). Dit is 24 maal groter dan het maximale bemonsteringsdebiet van Low Flow Sampling. De turbiditeit van het opgepompt grondwater was zowel visueel als op basis van de meetgegevens erg gelijkaardig aan de ontwikkelingsfase van 14 juni (zie Tabel 17 en Figuur 16). Het overpompen werd stopgezet wanneer de gemeten turbiditeitswaarden niet meer significant wijzigden (variëtes grootteorde hondersten NTU).

6.2.1.2 Surge block ('Mechanical surging')

Ontwikkeling 1 (14/06/2012)

De methode werd zowel op P-O2 als P-O4 toegepast.

Peilbuis P-O4 (met filterkous) werd gedurende 11 minuten ontwikkeld, waarbij 12 liter slibrijk water opgepompt werd (zie Figuur 10 en Figuur 11). De hoeveelheid opgepompt water bleef beperkt, doordat de knikkerpuls blokkeerde onder invloed van het opgepompte zand en slib. Na ontwikkeling werd de peilbuis schoongepompt, met behulp van een knikkerpuls gecombineerd met een peristaltische pomp. De minerale fractie bestond uit slib zowel als zand. Er werd 35 l water onttrokken vooraleer het opgepompte water visueel helder werd. De peilbuis werd nadien nog een tweede keer ontwikkeld gedurende 10 minuten. Hierbij werd 5 liter water onttrokken tijdens de ontwikkeling en 70 liter water tijdens het helderpompen van de peilbuis.



Figuur 10: Opgepompt water tijdens 'Mechanical Surging' in peilbuis P-O4 op site 1 te Antwerpen



Figuur 11: Zand onttrokken tijdens de eerste toepassing van 'mechanical surging' in P-O4 (foto in emmer genomen)

Ter vergelijking werd peilbuis P-O2 (zonder filterkous) eerst ontwikkeld aan de hand van een knikkerpuls, waarbij eveneens slib- en zandrijk water onttrokken werd. Na 7 minuten en een bepaalde (niet gemeten) hoeveelheid opgepompt water werd het onttrokken water helderder, waarna overgeschakeld werd naar ontwikkelen met de 'surge block'. De 'surge block'-ontwikkeling werd 10 minuten toegepast en zorgde voor een vernieuwde verhoging van troebelheid in het opgepompte water. Achteraf werd 50 l water uit de peilbuis onttrokken vooraleer het opgepompte water visueel helder werd.

Ontwikkeling 2 (01/10/2012)

Tijdens de tweede ontwikkelingsfase op 01/10/2012 werd peilbuis P-O4 gedurende 15 minuten ontwikkeld, waarbij 20 liter slibrijk water opgepompt werd. Na ontwikkeling werd de peilbuis schoongepompt met een peristaltische pomp, zodat de vrijgekomen minerale fractie verwijderd werd. De minerale fractie bestond uit slib zowel als zand. Er werd 50 l water onttrokken vooraleer de turbiditeitsmetingen stabiliseerden (variëties grootteorde hondersten NTU).

De 'surge block'-ontwikkeling werd 15 minuten toegepast op P-O2 en zorgde voor een verhoging van troebelheid in het opgepompte water. Achteraf werd meer dan 50 l water uit de peilbuis onttrokken vooraleer de gemeten turbiditeitswaarden stabiliseerden (variëties grootteorde enkele hondersten NTU).

Bevindingen

Om voldoende krachtontwikkeling zowel als een ergonomische houding toe te laten, dienen de peilbuizen niet te hoog bovengronds afgewerkt te worden. Een hoge bovengrondse afwerking beperkt immers de neerwaartse beweging van de slang met het 'surge block'.

De pulsende beweging van het 'surge block' ter hoogte van het filterscherm of de stijgbuis veroorzaakt de afschilfering van HDPE zoals duidelijk bleek uit de aanwezigheid van HDPE-schilfers in het opgepompte water. Mogelijk veroorzaakt de veelvuldige of te krachtige toepassing van de techniek derhalve onherstelbare schade aan de peilbuis. Ook in de literatuur is dit fenomeen beschreven.

6.2.1.3 Jutten ('Surging with air pressure')

Ontwikkeling 1 (14/06/2012)

De techniek werd een tiental minuten toegepast op P-O1, waarbij de druk een zestal keer opgebouwd en afgelaten werd. Nadien werd 60 l water onttrokken om de peilbuis helder te pompen. Initieel werd een hoeveelheid zand en slib onttrokken, vergelijkbaar aan het afpompen na 'mechanical surging'. De hoeveelheid zand en slib nam in het onttrokken grondwater echter sneller af dan bij 'mechanical surging'.

Aangezien de door de grondwatersonde aangelegde spanning niet voldoende geleid werd door het grondwater, was het niet mogelijk de grondwaterstand in de peilbuis gedurende de ontwikkeling op te volgen. Om te vermijden dat het grondwaterniveau tot binnen de filterstelling daalde, werd de aangelegde druk derhalve gelimiteerd tot een maximaal toelaatbare waarde in functie van de diepte van het grondwater. Aangezien het grondwater ongeveer op 2,6 m-mv aanwezig is, mag er maximaal ongeveer 0,25 bar overdruk aangelegd worden.

Ontwikkeling 2 (01/10/2012)

De efficiëntere toepassing van deze techniek (bij deze tweede ontwikkelingsfase werd een groter uitlaatventiel voorzien) liet toe om 20 x druk op- en af te bouwen in peilbuis P-O1 in een tijdsspanne van 7 minuten. Nadien werd 60 l water onttrokken, vooraleer de turbiditeitsmetingen stabiliseerden (variëtes grootteorde enkele hondersten NTU).

Bevindingen

De bovengrondse afwerking van de peilbuis stond een eenvoudige bevestiging van het kopstuk op de peilbuizen toe. De opbouw van druk was erg eenvoudig en verliep snel. Op basis van de test op 14 juni leken enkele aanpassingen aan het kopstuk en de grondwatersonde echter opportuun.

Het aflaten van de druk via het ventiel dat hiervoor voorzien was op de compressor verliep erg langzaam. De installatie van een bolkraan op het kopstuk stond een vrijwel ogenblikkelijke drukaflaat toe. Dit liet een efficiëntere toepassing van de methode toe aangezien meer cycli van drukopbouw en -aflaat uitgevoerd konden worden binnen eenzelfde tijdsspanne. Daarnaast zorgt deze snelle omschakeling tussen hoge druk en de atmosferische omstandigheden voor een grotere spanning op het grondwater en de peilbuisomgeving.

De grondwatersonde werd uitgebreid met een weerstandsmeter, die gevoeliger is voor wijzigingen met betrekking tot geleidbaarheid/weerstand dan het oorspronkelijke lampje. De nieuwe sonde bleek effectief in het opvolgen van de maximale daling in grondwaterstand.

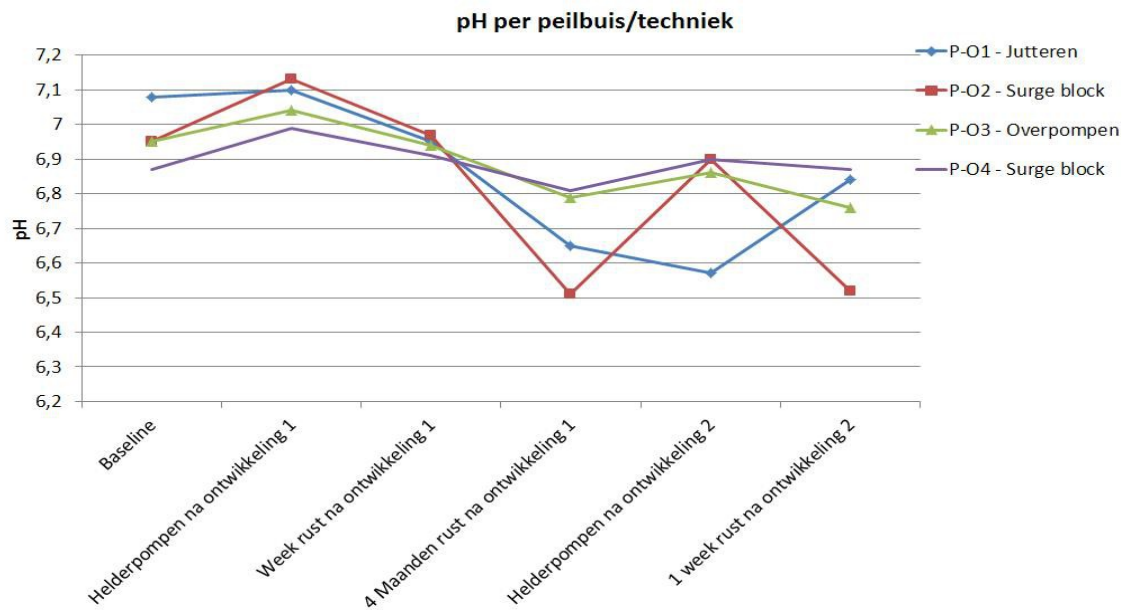
6.2.2 Evaluatie veldparameters

De fysico-chemische baseline parameters van de 4 peilbuizen lagen allen in dezelfde grootteorde. Een groter onderscheid werd echter aangetroffen op het vlak van troebelheid. Dit onderscheid was visueel zichtbaar en werd bevestigd aan de hand van troebelheidsmetingen, waarbij meetwaarden varieerden van 5,36 NTU voor P-O1 tot 34,4 NTU voor P-O4 zoals in onderstaande paragrafen verder wordt toegelicht.

6.2.2.1 Fysico-chemie

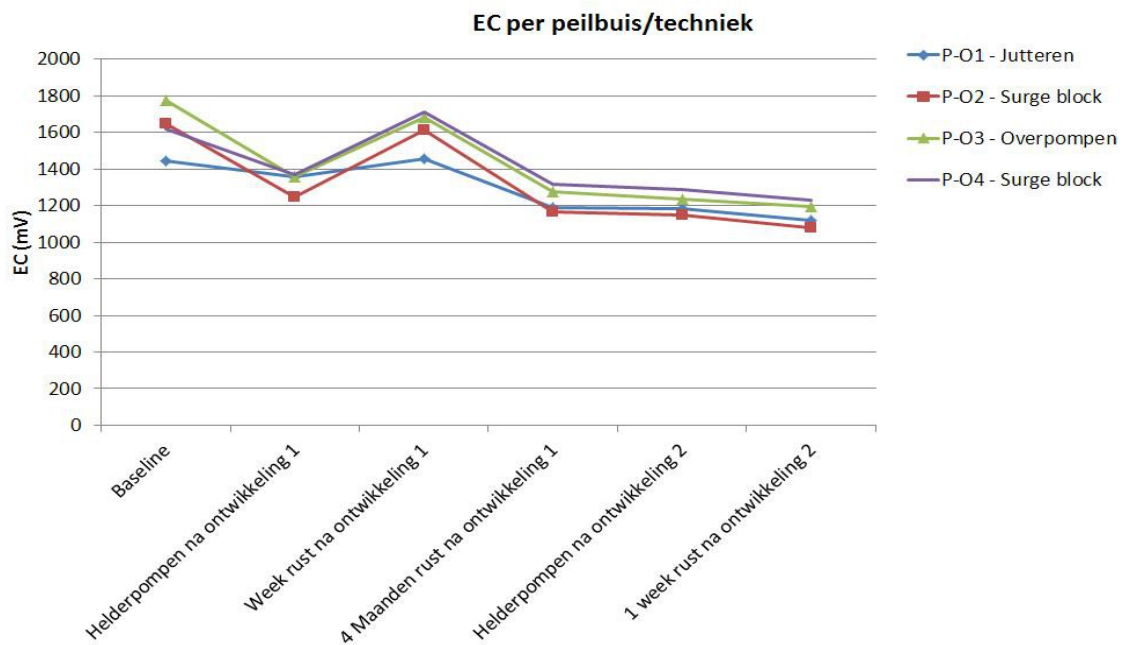
pH

Elk van de ontwikkelingsmethodes heeft een beperkte invloed op de pH onmiddellijk na ontwikkeling. Het respecteren van de rustperiode zorgt echter voor een terugkeer naar de oorspronkelijke pH-waarden (zie Figuur 12). De variatie over langere periode (de rustperiode van 4 maanden) is het gevolg van natuurlijke variaties.



Figuur 12: pH-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

EC



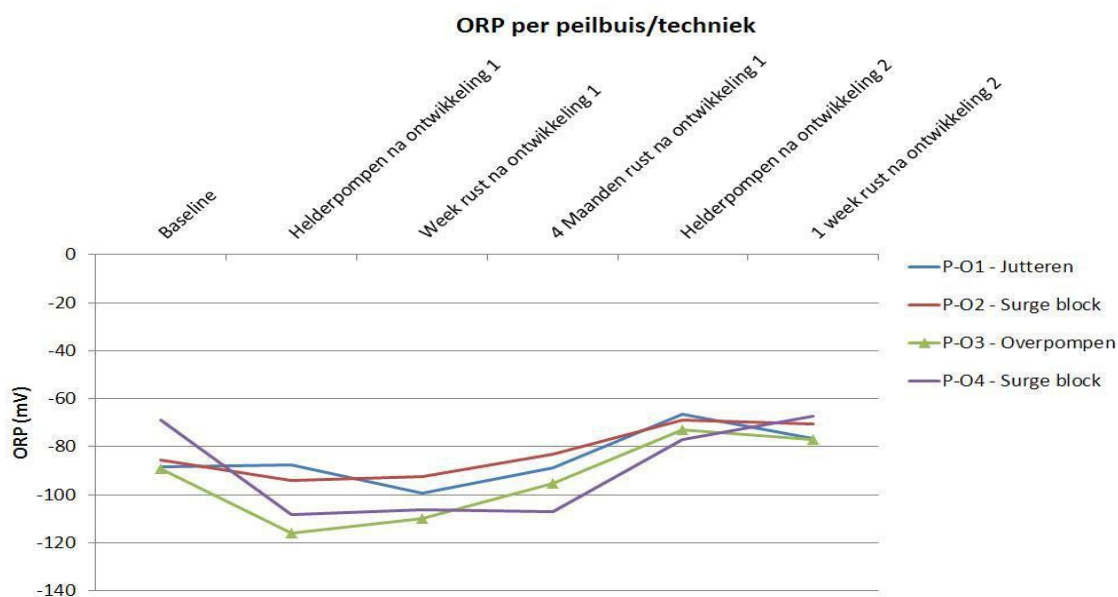
Figuur 13: EC-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

De EC-waarden van de 4 peilbuizen daalden lichtjes na de eerste ontwikkeling en helderpompen, om nadien, na een week rust, hun waarde uit de baseline te benaderen (zie Figuur 13). Bij de tweede veldtestfase in oktober werd quasi geen invloed van het ontwikkelen op de conductiviteit van het grondwater waargenomen.

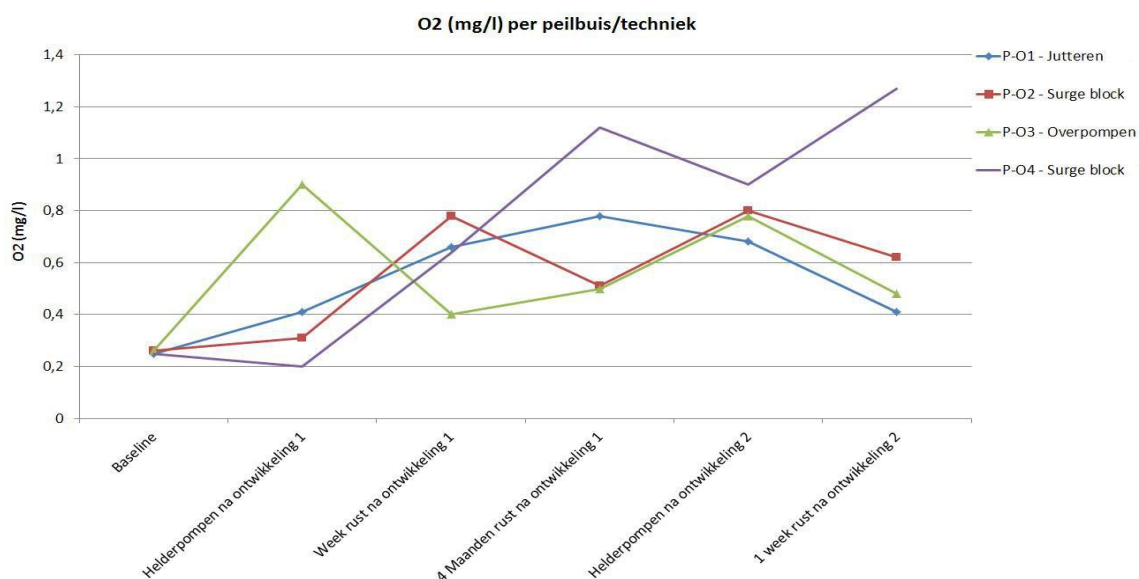
Redox en zuurstofgehalte

Er is geen eenduidig besluit te trekken over de invloed van de verschillende ontwikkelingsmethodes op het zuurstofgehalte en de redoxpotentiaal in het grondwater (zie Figuur 14 en Figuur 15).

Er is een lichte stijging van de ORP en het zuurstofgehalte tussen de twee ontwikkelingsfases waar te nemen.



Figuur 14: ORP-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek



Figuur 15: O2-gehaltes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

Algemene interpretatie fysicochemische parameters

Algemeen kan gesteld worden dat de ontwikkeling van peilbuizen een lichte invloed heeft op de fysico-chemie van het grondwater nabij de peilbuis. De natuurlijke variatie is echter groter dan de invloed van het type putontwikkeling.

Daarenboven dient opgemerkt te worden dat de vastgestelde spreidingen en evoluties meestal kaderen binnen de normale variaties binnen een aquifer die waargenomen worden bij grondwaterbemonsteringen verspreid over een langere periode.

Tot slot is er geen onderscheid te maken tussen de effecten van de verschillende putontwikkelingstechnieken op de uitgevoerde metingen van pH, Ec, ORP en zuurstof.

Er is ook geen significant en verklaarbaar verschil waar te nemen tussen de peilbuis met en zonder filterkous.

6.2.2.2 Turbiditeit

Invloed van putontwikkeling op de turbiditeit

Turbiditeit (NTU)	P-O1	P-O2	P-O3	P-O4
	jutten	Surge block zonder filterkous	overpompen	Surge block met filterkous
Baseline	5,36	20,2	13,8	34,4
Tijdens ontwikkeling 1	Buiten meetbereik	-	-	630
Na helderpompen ontwikkeling 1	521	221	2,5	38,7
Na helderpompen ontwikkeling 1bis	-	-	-	110
Week rust na ontwikkeling 1	2,19	3,52	3,76	3,77
4 maanden rust na ontwikkeling 1	1,81	0,79	1,24	1,31
Na helderpompen ontwikkeling 2	105	187	1,81	1,83
> Week rust na ontwikkeling 2	1,29	0,67	0,64	1,10

Tabel 17: Turbiditeitswaarden (NTU) zoals opgemeten tijdens de verschillende stadia van de veldwerkttest

‘-’ Niet gemeten

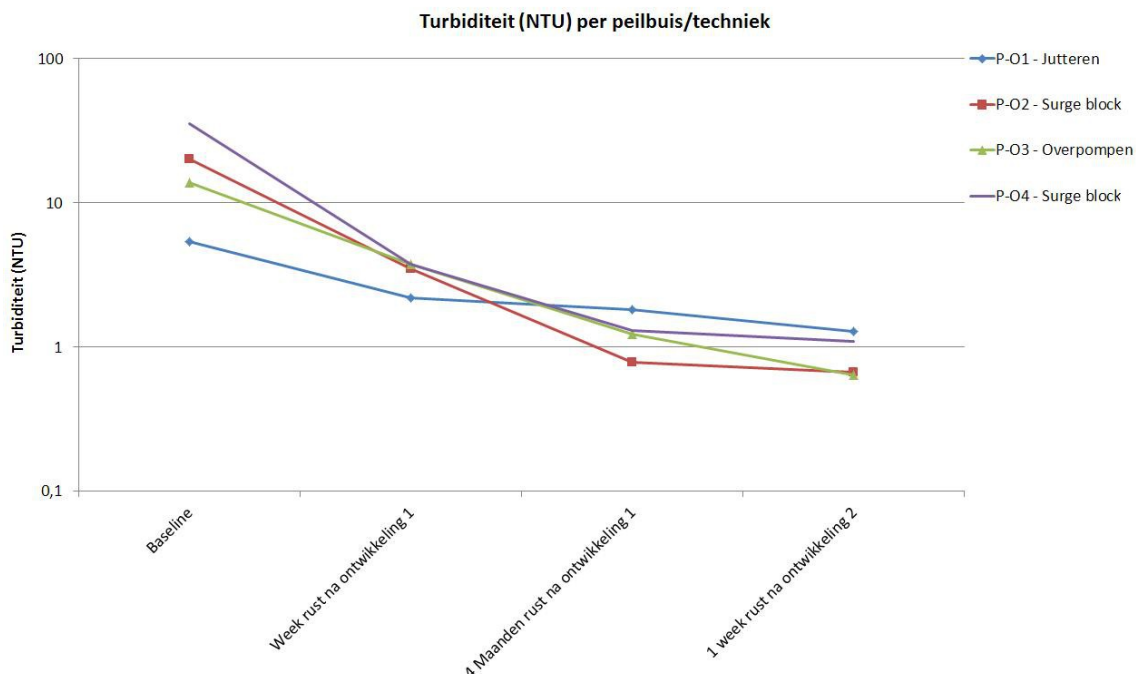
Uit de turbiditeitsmetingen tijdens het ontwikkelen en onmiddellijk na het helderpompen van de ontwikkelde peilbuizen (zie Tabel 17; met uitzondering van ‘P-O4 helderpompen na ontwikkeling 2’) blijkt duidelijk dat de agressievere ontwikkelingsmethodes (i.e. ‘mechanical surging’ en jutten) meer turbiditeit vrijzetten tijdens het ontwikkelingsproces dan de overpomptechniek.

De langetermijn resultaten op het vlak van turbiditeit zijn echter voor elk van de toegepaste methodes gunstig, zoals blijkt uit Tabel 17 en Figuur 16.

Naast een daling van de turbiditeitswaarden voor elk van de peilbuizen, nam ook de variantie tussen de verschillende peilbuizen af van 121 voor de baseline tot 0,08 een week na de laatste ontwikkeling van de peilbuizen.

De dalende turbiditeitswaarden en de afgenomen variantie worden verklaard door een herstel van de turbiditeit tot het natuurlijke niveau (van voor de boorwerken). Hoewel elk van de

peilbuizen schoongepompt werd na plaatsing, leek dit achteraf nog niet voldoende om een volledig herstel tot het natuurlijke niveau te bewerkstelligen. Een meer doorgedreven schoonpompen van pasgeplaatste peilbuizen lijkt dus noodzakelijk en kan mogelijk de noodzaak tot ontwikkelen (gedeeltelijk) wegnemen.



Figuur 16: Turbiditeitswaarden zoals opgemeten tijdens de verschillende stadia van de veldwerkttest (logaritmische schaal; exclusief meetwaardes onmiddellijk na helderpompen)

Invloed filterkous op turbiditeit

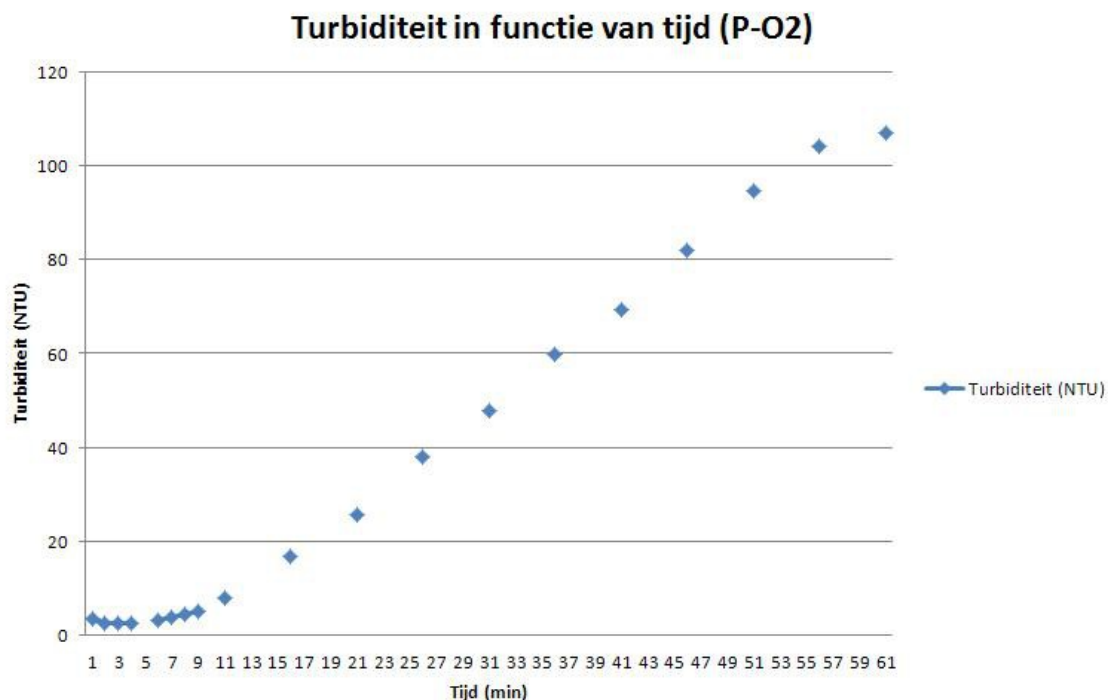
Peilbuis P-O4 is de enige peilbuis die met een filterkous uitgerust werd. Ondanks de toepassing van een agressieve ontwikkelingsmethode (nl. 'mechanical surging') op deze peilbuis, steeg de turbiditeit tijdens en onmiddellijk na ontwikkelen in mindere mate dan in peilbuis P-O2, dewelke eveneens aan de hand van het 'surge block' ontwikkeld werd. Nochtans lag de turbiditeit vooraf aan de ontwikkeling binnen dezelfde grootteorde. Dezelfde conclusie kan getrokken worden uit een vergelijking met peilbuis P-O1 die ontwikkeld werd volgens de juttertechniek, eveneens een agressieve methode. Het aanbrengen van een filterkous lijkt dus het vrijzetten van turbiditeit tijdens ontwikkeling te beperken, hoewel het uiteindelijke (gunstige) resultaat qua turbiditeit gelijkaardig is aan de andere peilbuizen.

Tijdsafhankelijkheid turbiditeitsmetingen

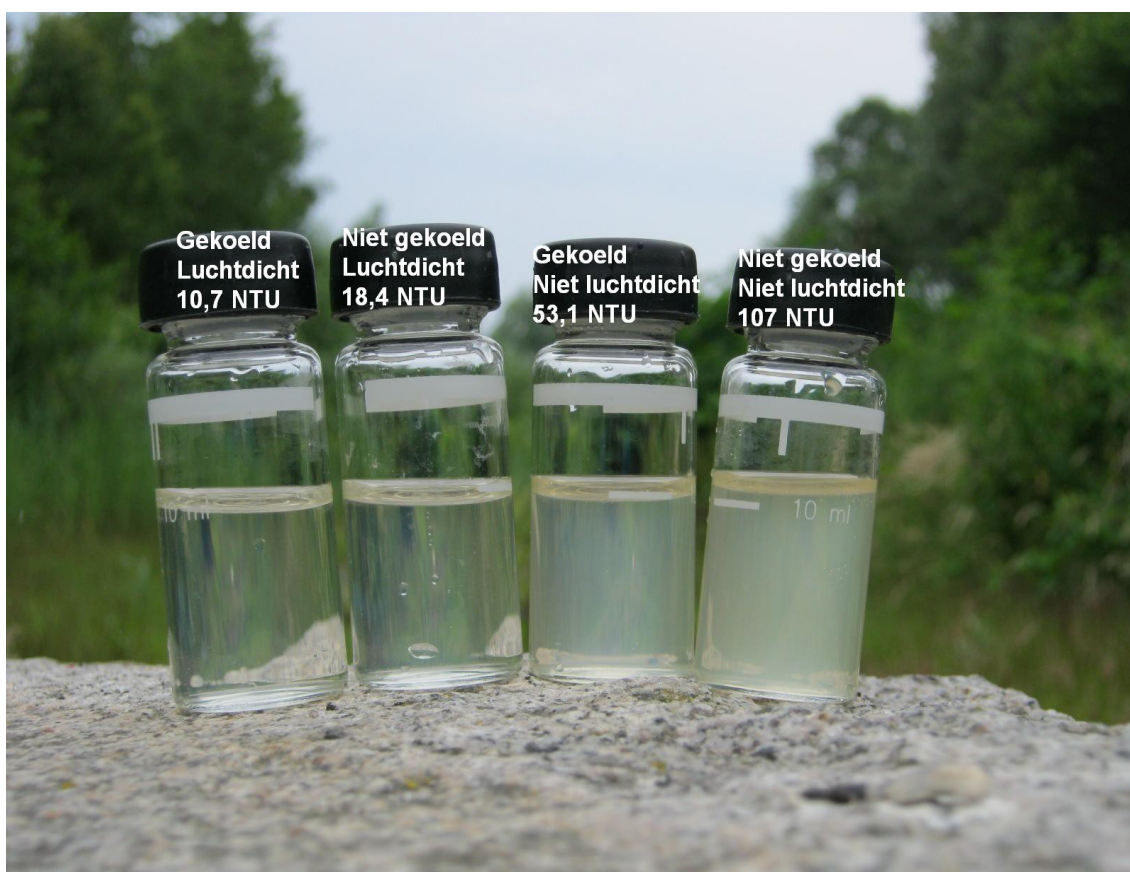
De bovenvermelde turbiditeitsmetingen werden steeds onmiddellijk na het nemen van een waterstaal uitgevoerd, aangezien er een toename in waarde van de turbiditeit gemeten werd na staalname. Deze toename duidt niet op een toenemende turbiditeit, maar op een verstoring van de meting door het vertroebelen van het staal. Na een beperkte tijd werd ook visueel een vertroebeling van de stalen waargenomen.

Een beperkt extra onderzoek naar de oorzaak van deze troebelheidswijzigingen werd uitgevoerd. De toename in turbiditeitsmetingen werd voor P-O2 uitgezet ten opzichte van de tijd (zie Figuur 17). Initieel werd een beperkte verlaging van de turbiditeit gemeten, gevolgd door een sterke lineaire stijging, die ongeveer een uur na staalname afnam. Daarnaast werd op water van peilbuis P-O1 een beperkte test uitgevoerd om het belang van temperatuur en contact met de atmosfeer in te schatten (zie Figuur 18). Beide parameters oefenden een invloed uit. Tot slot

werden er extra Fe- en Mn-analyses uitgevoerd, om na te gaan of de oxidatie van deze parameters de vertroebeling van het water kan verklaren. Deze Fe- en Mn-analyses gaven geen definitief uitsluitsel met betrekking tot de exacte oorzaak van de geobserveerde verstoring van de turbiditeitsmetingen.



Figuur 17: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor een staal uit P-O2



Figuur 18: Beperkte test wijziging waarde turbiditeitsmetingen (P-O1)

6.2.2.3 Toestroming

Bij het uitvoeren van de proeven te Antwerpen en het analyseren van deze meetgegevens blijkt dat het leegpompen van de peilbuis behoorlijk lang duurde, vermoedelijk door een hoge doorlatendheid van de bodem. Dit heeft tot gevolg dat de putproef niet beschouwd kan worden als een slugtest (onmiddellijke wijziging van het waterpeil), maar eerder als een mini-pompproef moet gezien worden. Er kunnen dus geen klassieke interpretatiemethodes voor slugtests gebruikt worden (vb. Bouwer-Rice). Daarom werd als alternatief de methode van Theis toegepast op de recovery-curve om zo een beeld te krijgen van de hydraulische conductiviteit.

Gezien er bij de eerste putproef geen divers gebruikt werden, zijn er slechts een beperkt aantal gegevens beschikbaar. De gegevens van deze proeven kunnen bijgevolg niet met de methode van Theis geanalyseerd worden. De resultaten worden wel toegevoegd in Tabel 18 aangezien ze onderling relatieve verschillen kunnen aangeven, maar moeten kritisch benaderd worden.

Belangrijk bij de interpretatie van de bekomen resultaten:

- Sommige parameters nodig voor het analyseren van de meetgegevens zijn onnauwkeurig aangezien het uitgangspunt eigenlijk de uitvoering van een slugtest was. Bijvoorbeeld, aangezien het objectief 'leegpompen van de peilbuis' was en niet 'pompen aan constant debiet' is de berekening van de hydraulische conductiviteit sterk afhankelijk van het effectief gepompte debiet.
- Gezien de beperkte lengte van de peilbuizen en het feit dat de peilbuizen telkens leeggepompt werden, dient er rekening gehouden te worden met het feit dat de instroom in de peilbuis mogelijk niet over de volledige lengte van het filter plaatsvindt. Om te vermijden dat dit een invloed heeft op de resultaten wordt er enkel gekeken naar de stijghoogtegegevens vanaf een volledig natte filter.

- Gezien deze proef werd opgezet als slugtest, maar geanalyseerd wordt als recoverytest, is het absolute resultaat van de hydraulische conductiviteit niet betrouwbaar. De waarde moet dan ook eerder vergeleken worden met andere waarden voor dezelfde peilbuis voor of na het ontwikkelen ervan. Op die manier kan het relatieve effect van de ontwikkeling beoordeeld worden.

Transmissiviteit , m ² /dag		Ontwik- keling 1	Week rust na ontwikkeling 1	4 maanden rust na ontwikkeling 1	Ontwik- keling 2	Week rust na ontwikkeling 2
P-O1	Jutturen	-	5,35(*)	0,94	0,62	0,48
P-O2	Surge Block	-	3,53(*)	0,70	0,73	0,67
P-O3	Over- pompen	2,89(*)	2,45(*)	0,88	0,79	0,63
P-O4	Surge Block	-	-	0,41	0,47	0,42

Tabel 18: Transmissiviteitswaarden (m²/dag) voor de verschillende fases/peilbuizen op site 1 te Antwerpen

(*) Analyse aan de hand van de Bouwer-Rice-methode, in tegenstelling tot de methode van Theis die bij de overige putproeven gebruikt werd

- Er werd geen 'putproef uitgevoerd

Ondanks de hoger vermelde onbetrouwbaarheid op de absolute transmissiviteitswaarden kan toch een trend waargenomen worden in de toestroming van de verschillende peilbuizen. In geen van de peilbuizen heeft de putontwikkeling geleid tot een verbeterde toestroming. Zoals reeds in de literatuur aangegeven werd, kan het toepassen van jutturen ook een verlaging van de toestroming met zich mee brengen door het ontstaan van een 'airlock'. Mogelijk ligt hierin de verklaring voor de waargenomen afnemende trend van de transmissiviteit in P-O1. Dit zou tevens de stijging in zuurstofgehalte een week na ontwikkeling kunnen verklaren, hoewel een dergelijke stijging in zuurstofgehalte in de latere fases afwezig is.

Mogelijk kan de slechtere toestroming verklaard worden door het aantrekken van turbiditeit onder invloed van het overpompen, die niet verwijderd wordt, maar in de matrix van de aquifer of het filtergrind accumuleert.

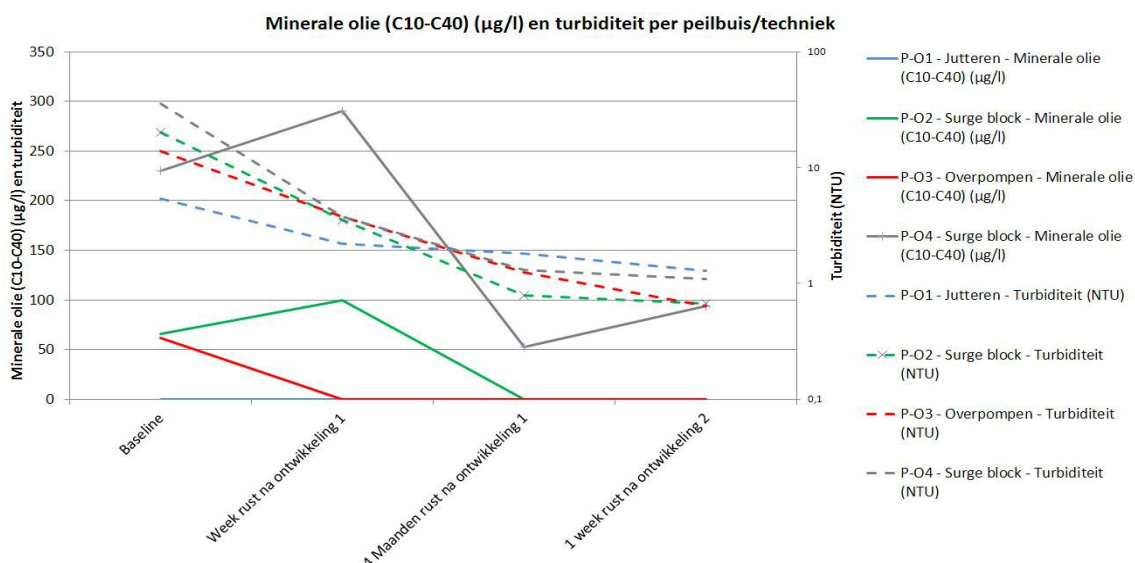
6.3 Laboratoriumanalyses en interpretatie

De genomen stalen werden geanalyseerd op zware metalen, vluchtige aromaten (BTEX), minerale olie en PAK. Daarnaast werd in het kader van een beperkt extra onderzoek naar de toenemende troebelheid in grondwater na bemonstering Fe- en Mn- analyses uitgevoerd.

6.3.1 Minerale olie

Minerale olie werd in elk van de peilbuizen in beperkte mate aangetroffen. In P-O4 werd een maximale totaalconcentratie van 230 µg/l aangetroffen.

In Figuur 19 wordt de evolutie van de concentraties en de turbiditeit tijdens en na de verschillende ontwikkelingsmomenten weergegeven.



Figuur 19: Concentraties minerale olie en turbiditeit voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

In peilbuizen P-O2 en P-O4 lagen de concentraties minerale olie na ontwikkeling hoger, maar binnen dezelfde orde van grootte, als tijdens de baselinebemonstering. De turbiditeit tijdens bemonstering lag echter lager.

Vier maanden na de eerste ontwikkeling wordt algemeen een daling in gehalte minerale olie waargenomen. Deze daling viel samen met zowel een daling van de turbiditeit bij staalname als een lagere grondwaterstand (> 50 cm lager dan bij de baseline-bemonstering).

Na de rustperiode die volgde op de tweede ontwikkeling in oktober, werden, alle fracties in beschouwing genomen, enkel nog verhoogde concentraties minerale olie aangetroffen in P-O4.

Samenvattend kan het volgende gesteld worden:

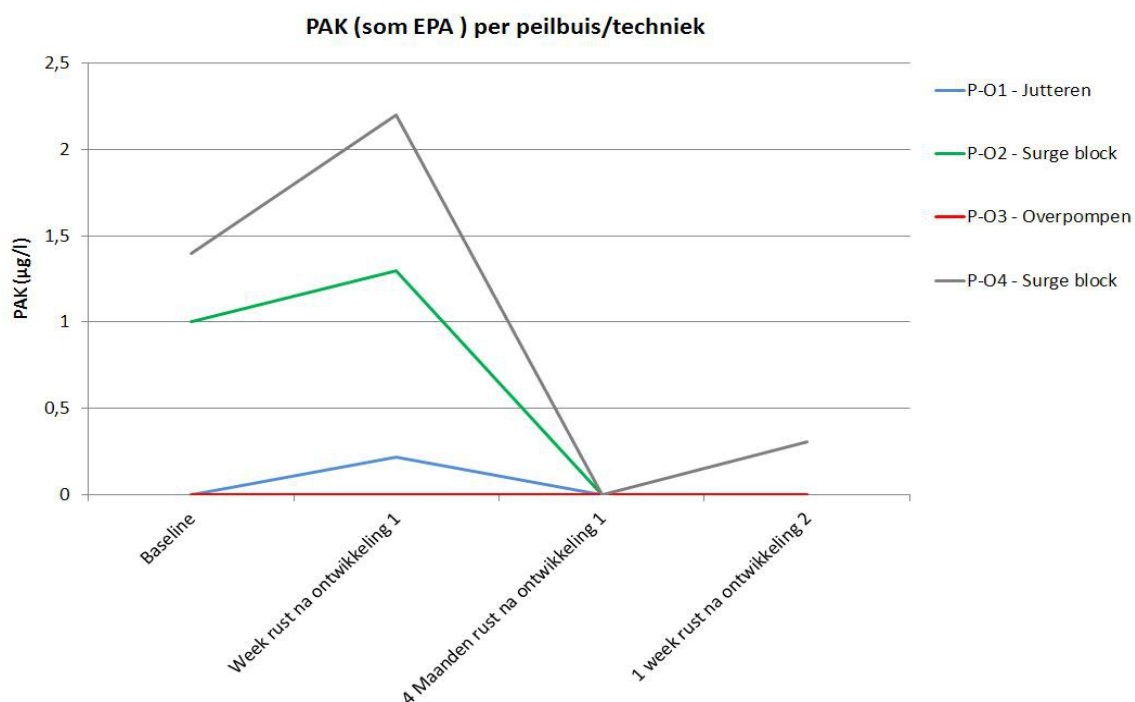
- Er is geen duidelijk effect van de toegepaste ontwikkelingsmethode op de aangetroffen concentratie minerale olie. Mogelijk is de minerale olie bij de eerste bemonsteringen zelfs eerder het gevolg van het mee naar beneden boren van enkele grondkorrels met minerale olie.
- Voor de beperkte variaties in concentratie zijn volgende hypothesen mogelijk:
 - De concentraties minerale olie in het grondwater zijn mogelijk gelinkt aan de mate waarin slibdeeltjes mee bemonsterd worden. Een daling in turbiditeit is het gevolg van een afname in slibdeeltjes (waarop MO geadsorbeerd is) wat op zijn beurt resulteert in een afname in MO verontreiniging in het grondwater.
 - Aangezien P-O4 de enige peilbuis was die uitgerust werd met een filterkous, is het niet onmogelijk dat de hogere concentraties minerale olie in deze peilbuis, verband houden met de aanwezigheid van een filterkous.

6.3.2 PAK's

De stalen die voor PAK-analyse genomen werden, werden niet gefiltreerd. De turbiditeit in het staal is derhalve gelijk aan deze in het grondwater (en niet lager omwille van een filtratie bij staalname). In het grondwater werden geen significante gehalten aan PAK's, aangetroffen (zie Figuur 20). De beperkte variatie in concentratie kan bijgevolg niet gelinkt worden aan verschillende manieren van peilbuisontwikkelen.

Net zoals bij de zware metalen, is er wel een verschil te zien tussen de resultaten van de twee ontwikkelingsfasen. Mogelijk is dit gelieerd met de gedaalde turbiditeit. Zowel zware metalen als

PAK adsorberen immers sterk aan fijne partikels/organisch stof. De vastgestelde concentraties zijn echter té laag om hier een sluitende uitspraak over te doen.

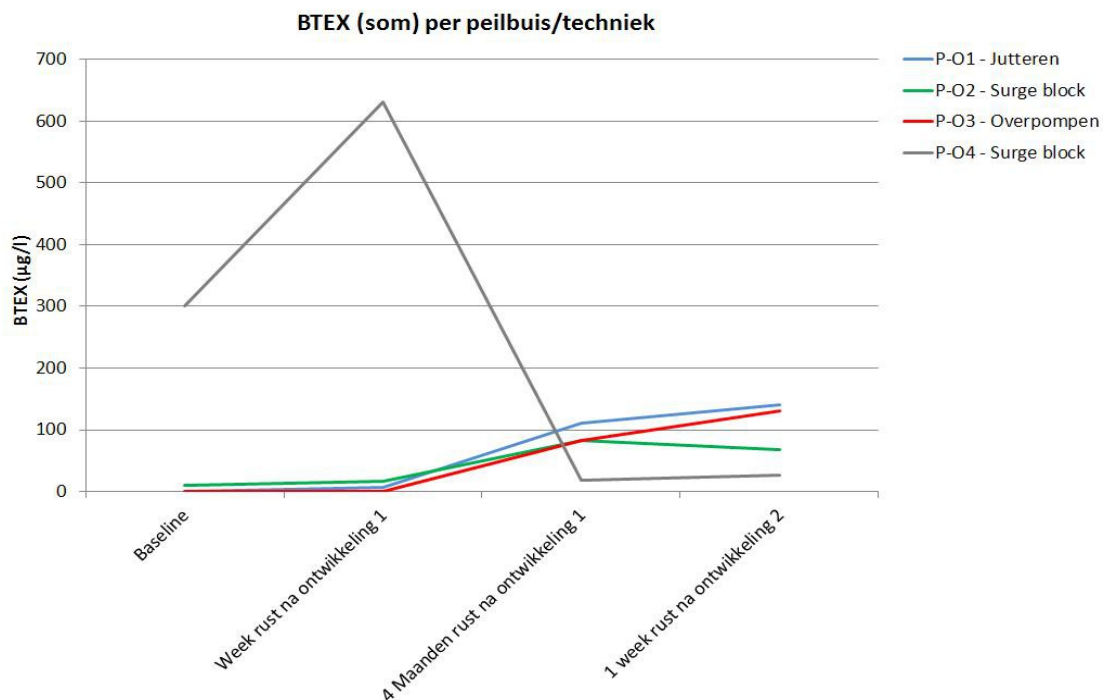


Figuur 20: PAK-concentratie voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

6.3.3 BTEX

Verhoogde gehalten aan BTEX in het grondwater werden aangetroffen in P-O2 (10 µg/l) en P-O4 (300 µg/l). In de andere peilbuizen werden geen significante concentraties BTEX aangetroffen.

Figuur 21 geeft een overzicht van de vastgestelde concentraties in functie van methode en tijd.



Figuur 21: Concentratie BTEX voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

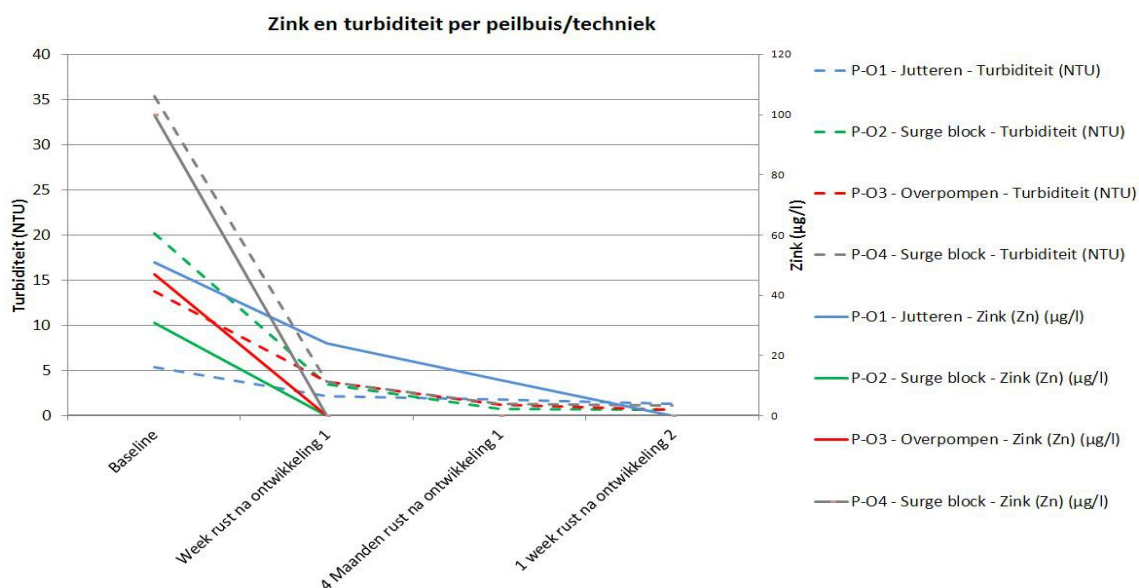
Op basis van bovenstaande gegevens kan het volgende gesteld worden:

- Er is geen effect op BTEX-gehalten in functie van de herontwikkelingsmethode zoals geconcludeerd kan worden op basis van het gelijkaardige verloop voor peilbuizen P-O1, P-O2 en P-O3.
- De lokale verhoging na ontwikkeling 1 kan eventueel gerelateerd zijn aan effecten ten gevolge van aanwezigheid van de filterkous. Hierover kan echter geen uitsluitsel gegeven worden.
- er is geen directe verklaring voor de stijging in concentraties na enkele maanden (zijnde bij de tweede herontwikkelingsfase)

6.3.4 Zware metalen

Figuur 22 geeft een overzicht van het gehalte aan zink en de turbiditeit in de verschillende peilbuisontwikkelingen. Zink kan als gidsparameter beschouwd worden in dit deel van de studie. De sterke relatie tussen turbiditeit en de zinkconcentraties lijkt echter, zoals te verwachten was, op een sterk verband tussen beide parameters te wijzen. Hoewel grondwaterstalen bestemd voor analyse op zware metalen gefilterd worden, is het niet ondenkbaar dat een evenwicht tussen geadsorbeerde fractie (op de fijne minerale fractie) en het grondwater zorgt voor verhoogde zware metaalconcentraties in het grondwater.

De aangetroffen concentraties zijn echter alsnog dermate laag, dat het onmogelijk is onderbouwde conclusies te trekken. Alleszins wordt er geen invloed van de toegepaste ontwikkelingsmethode op de aangetroffen zinkconcentratie waargenomen.



Figuur 22: Zinkconcentraties en turbiditeit voor de verschillende peilbuizen/technieken

6.3.5 Fe- en Mn-analyses

Naar aanleiding van de geobserveerde vertroebeling van opgepompt grondwater tijdens de bemonstering een week na ontwikkeling, werd een Fe- en Mn-analyse uitgevoerd op een gefilterd staal uit P-O2. Daarnaast werd een extra Fe- en Mn-analyse na ontsluiting van een niet gefilterd staal uitgevoerd op een P-O2-staal, om het belang van adsorptie voor beide componenten na te gaan. De Mn-concentratie was in beide gevallen gelijk, wat overeenkomt met de beperkte turbiditeit die geobserveerd werd tijdens de bemonstering. De totale Fe-concentratie van het gefilterd staal, lag echter aanzienlijk hoger dan de concentratie in het ontsloten staal. Hiervoor werd geen verklaring gevonden.

Ondanks dit vreemd resultaat wordt de vertroebeling van het opgepompte grondwater toch toegeschreven aan de oxidatie van ijzer en mangaan. De ORP lag erg laag, wat wijst op een sterk reducerend milieu. Bij blootstelling aan de atmosfeer zal het aanwezige ijzer en mangaan oxideren, met de geobserveerde troebelheid tot gevolg.

6.4 Conclusie veldtesten site 1

Techniek	• Overpompen eenvoudigst + goedkoopst • Onttrekking van groter volume water • Type ontwikkeling heeft geen significante invloed op resultaten
Toestroming	• Ontwikkeling heeft geen effect
Fysico-chemie	• Ontwikkeling heeft geen effect • Bevestiging gekende natuurlijke variabiliteit parameters
Turbiditeit	• Eerste ontwikkeling resulteert in lagere turbiditeit • Doorgedreven schoonpompen na plaatsing noodzakelijk! • Geen invloed van filterkous • Tweede ontwikkeling geen bijkomende verbetering • Turbiditeitsmetingen versus visuele inspectie ○ Visuele inspectie 'helderheid' geeft goede indicatie van troebelheid en goede correlatie met effectieve meting
Verontreiniging	• Geen invloed van filterkous • Geen effect van type ontwikkelen op verontreiniging • Effect van turbiditeit zichtbaar voor PAK, MO en ZM (te weinig data om onderbouwde uitspraak te doen) • Bevestiging gekende variabiliteit parameters binnen aquifer

Tabel 19: Conclusies veldtesten site 1

7 Site 2 – Vilvoorde

7.1 Sitegegevens

7.1.1 Algemeen

De onderzoekslocatie bevindt zich ten oosten van het stadscentrum van Vilvoorde. Het terrein is braakliggend en wordt deels omgeven door industrie en deels door woningen. Er werden/worden verschillende saneringsactiviteiten uitgevoerd op de site. Deze saneringsactiviteiten hebben geen directe invloed op de resultaten van voorliggende studie.

7.1.2 (Hydro)geologie

Op basis van de uitgevoerde boringen in het kader van voorliggende beleidsstudie en in het kader van het beschrijvend bodemonderzoek (maximale diepte van 50 m-mv) kan volgend bodemprofiel opgetekend worden (zie Tabel 20).

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Beschrijving	Hydrogeologie
0,0-1,0	Antropogeen	Aanvulzand na voorgaande ontgraving	Onverzadigde zone
1,0-5,0	Kwartair	sterk gedifferentieerd: globaal gezien bestaat het profiel uit fijn tot matig grof zand met lemige bijmenging, plaatselijk met grindige fracties en/of schelpfracties; vanaf een gemiddelde diepte van 3,0 m-mv komen zandsteenbanken voor.	Eerste watervoerende laag
5,0-15,0	Formatie van Brussel	zeer fijn tot fijn zand met zandsteenbanken of zandstenen	
15,0-22,0	Formatie van Tielt	klei, matig vast, grijs	Scheidende laag
22,0-50,0	Formatie van Tielt	matig grof tot fijn zand, sporadisch kunnen nog zandsteenbanken voorkomen	Tweede watervoerende laag
>50,0	Formatie van Kortrijk	Klei	Scheidende laag

Tabel 20: Bodemprofiel op site 2 te Vilvoorde

7.1.3 Verontreinigingssituatie

De aanwezigheid op diepte tussen 4 en 6 m-mv van BTEX, MO, VOCL's en zware metalen wordt op basis van de recente baseline-resultaten bevestigd (zie § 7.3). Voor filterstellingen van 8 m-mv tot 10 m-mv werden de grondwaterverontreinigingen met BTEX, minerale olie, arseen en VOC's vastgesteld. Ook voor de peilbuizen met een diepte van 14,65 m-mv werden gelijkaardige verontreinigingen aangetroffen, zij het met beperktere concentraties dan in de ondiepere peilbuizen vastgesteld.

7.2 Veldwerkgegevens en interpretatie

7.2.1 Installatiefase

In totaal werden 4 ondiepe peilbuizen tot 6 m-mv en 2 peilbuizen tot 10 m-mv geplaatst. Aanvullend werden 2 peilbuizen tot 14,5 m-mv en 15 m-mv geplaatst.

	Diepte (m-mv)	Slibvang (m)	Filter (m-mv)	Filtergrind (m-mv)	Korrelgrootte filtergrind (mm)	Buiten / Binnen-diameter Peilbuis (mm/mm)	Filterkous	Hoeveelheid werkwater (liter)
P9001-6	7,20	0,25	4,00-6,00	3,50-6,25	0,5-1,0	50/41	Nee	50
P9002-6	6,25	0,25	4,00-6,00	3,50-6,25	0,5-1,0	50/41	Ja	50
P9003-6	6,25	0,25	4,00-6,00	3,50-6,25	0,5-1,0	50/41	Nee	50
P9004-6	6,25	0,25	4,00-6,00	3,50-6,25	0,5-1,0	50/41	Nee	50
P9000-10	10,10	0,10	8,00-10,00	7,50-10,10	0,5-1,0	50/41	Nee	100
P9001-10	10,25	0,25	8,00-10,00	7,50-10,25	0,5-1,0	50/41	Nee	100
P9000-16	14,65	Geen	13,50-14,50	13,30-14,65	1,0-1,6	50/41	Nee	??
P9001-16	15,20	Geen	14,00-15,00	13,80-15,20	1,0-1,6	50/41	Nee	??

Tabel 21: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 2 te Vilvoorde

Een samenvatting van de technische gegevens van elk van de peilbuizen wordt gegeven in Tabel 21. De boorbeschrijving van de peilbuizen is terug te vinden in Bijlage 4. Tijdens de plaatsing van de peilbuizen te Vilvoorde duiden zowel zintuiglijke waarnemingen als PID-metingen op opgeboorde grond op de aanwezigheid van een verontreiniging met vluchtige componenten.

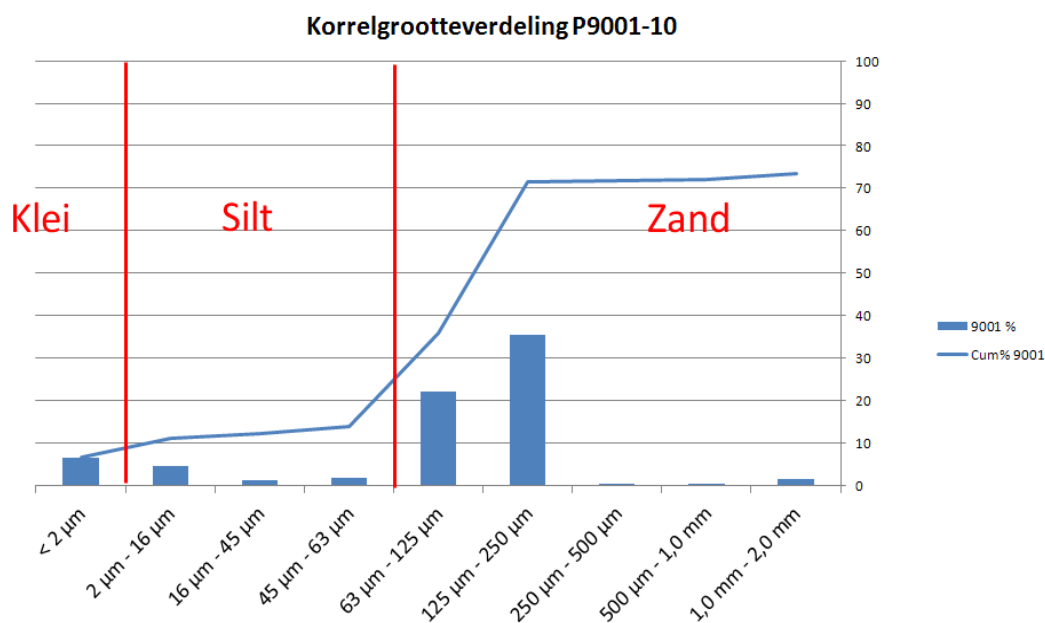
Om zeker te zijn dat de peilbuizen langere tijd in stand gehouden kunnen worden, werd geopteerd deze evenwijdig met de terreingrens te plaatsen op een onderlinge afstand van ongeveer 10 meter. Op dergelijke afstand is de geologische variatie op de site beperkt, zodat resultaten van de verschillende peilbuizen onderling vergeleken kunnen worden.

Op basis van de bevindingen op site 1, werd besloten de ontwikkeling van een diepe peilbuis aan de hand van 'mechanical surging' niet uit te voeren, aangezien de manuele uitvoering van deze ontwikkelingstechniek om ergonomische redenen vrijwel niet uitvoerbaar was. Derhalve werden slechts 2 peilbuizen met een diepte van 10 m-mv geplaatst.

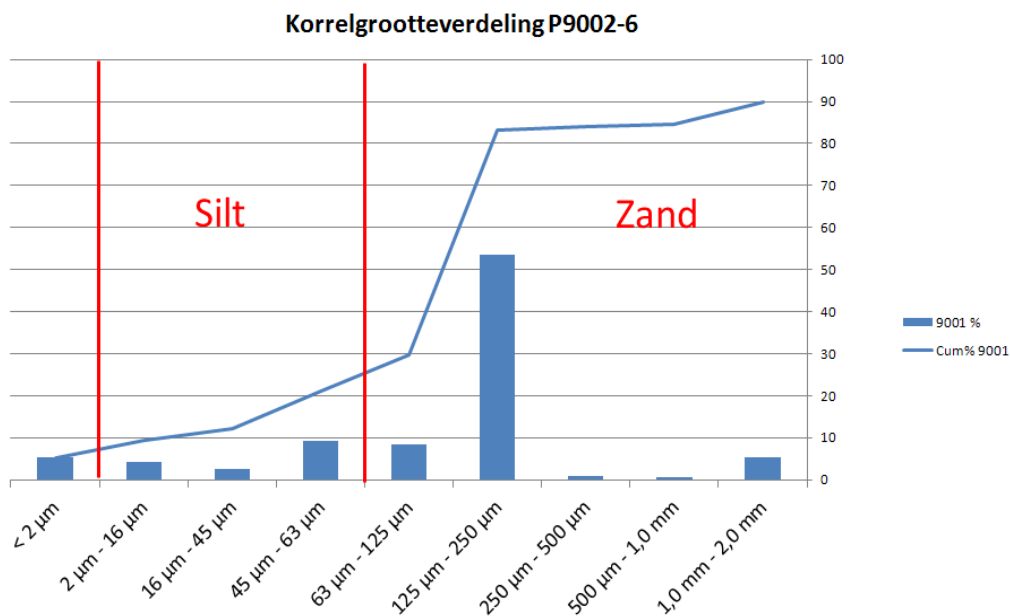
Ondiepe peilbuizen P9001-6, P9003-6 en P9004-6 werden zonder filterkous afgewerkt. Ondiepe peilbuis P9002-6 werd wel afgewerkt met een filterkous. Het filterscherm van elk van deze peilbuizen loopt van 4 m-mv tot 6 m-mv en wordt onderaan begrensd door een slibvang van 25 cm. Zoals aangegeven in het plan van aanpak werd het filtergrind aangepast aan de aangetroffen korrelgrootteverdelingen. Op basis van korrelgrootteverdelingen uit eerdere onderzoeken op de site, werd, aan de hand van bijlage 5.53.1 van Vlarem II, gekozen voor een filtergrind van fractie 0,5-1,0 mm.

Peilbuizen P9000-10 en P9001-10 werden afgewerkt zonder filterkous met een filterstelling van 8 m-mv tot 10 m-mv en een slibvang van 25 cm. Ook voor deze peilbuizen werd een filtergrind van fractie 0,5-1,0 mm gebruikt.

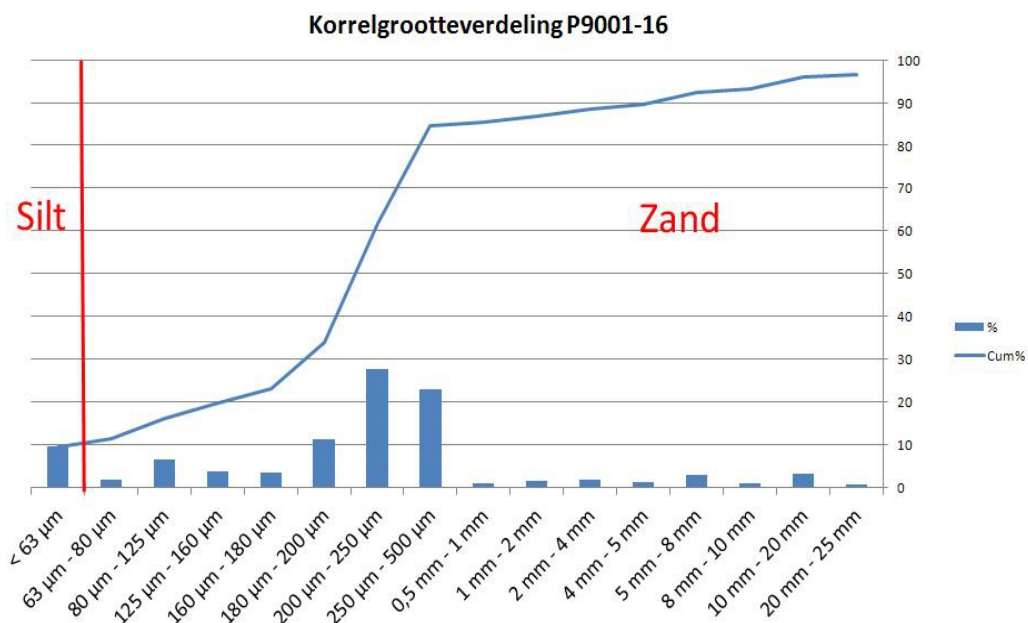
Op de locatie van P9001-6 was oorspronkelijk een peilbuis tot 10 m-mv (P9001-10) ingepland. De aanwezigheid van een zandsteenbank op 7,00 m-mv noopte echter tot de beperking van de diepte van de peilbuis en de installatie van een filterscherf van 4 m-mv tot 6 m-mv. De boorholte werd tussen 6 m-mv en 7,20 m-mv opgevuld met bentoniet. Peilbuis P9001-10 werd vervolgens op de oorspronkelijke locatie van P9001-6 geplaatst. Door zijn geringe omvang had deze locatiewijziging geen invloed op de uitvoerbaarheid of de vergelijkbaarheid van de verschillende veldtesten.



Figuur 23: Korrelgrootteverdeling P9002-6 ter hoogte van de filterstelling (9,00-10,00 m-mv; staal 10,00-10,20 m-v)



Figuur 24: Korrelgrootteverdeling P9002-6 ter hoogte van de filterstelling (4,00-6,00 m-mv; staal 6,00-6,20 m-mv)



Figuur 25: Korrelgrootteverdeling P9001-6 ter hoogte van de filterstelling (14,00-15,00 m-mv; staal 14,50-15,00 m-mv)

Peilbuizen P9000-16 en P9001-16 werden in opdracht van OVAM geplaatst. Oorspronkelijk werd een diepte van 16 m-mv vooropgesteld. Omwille van het voorkomen van een harde zandige, vrijwel ondoordringbare, kleilaag vanaf 14,5 m-mv, werd besloten de peilbuizen af te werken met een filterstelling van respectievelijk 13,50 m-mv tot 14,50 m-mv en 14,00 m-mv tot 15,00 m-mv. Peilbuizen P9000-16 en P9001-16 werden niet uitgerust met een slibvang.

Ter hoogte van de filterstelling in peilbuizen P9001-10, P9001-16 en P9002-6 werd aan de hand van een steekbus een ongeroerd staal genomen (respectievelijk van 10,00 tot 10,20 m-mv, van 14,50 tot 15,00 m-mv en van 6,00 tot 6,20 m-mv) ter bepaling van de korrelgrootteverdeling. Het resultaat wees steeds op een fijn zand (zie Figuur 23, Figuur 24 en Figuur 25). Peilbuis P9001-10 werd door een ietwat fijnere granulometrie gekenmerkt. Ter hoogte van de filterstelling van P9001-16 werd een ietwat grovere zandfractie aangetroffen dan bij peilbuizen P9001-10 en P9002-6. Door de beperkte ruimtelijke verspreiding en onderlinge geologische variatie (zie Bijlage 4) van de peilbuizen kunnen de respectievelijke resultaten van beide peilbuizen geëxtrapoleerd worden naar de peilbuizen met overeenkomstige filterstelling.

Eén van de diepe peilbuizen werd ontwikkeld volgens de 'mechanical surging'-methode met behulp van een gemotoriseerde kogelkleppomp ('ja-knikker'; zie Figuur 26). De peilbuizen werden onder meer met het oog op deze gemechaniseerde uitvoering van 'mechanical surging' uitgerust met een metalen beschermkoker.

Elk van de peilbuizen werd geplaatst door machinale boringen waarbij een combinatie van verbuisde volle avegaar en puls toegepast werd. Het toepassen van de avegaar was noodzakelijk omwille van de veelvuldige aanwezigheid van zandsteen. Eénmaal de gewenste diepte benaderd werd, werd overgeschakeld op pulsen.



Figuur 26: Gemotoriseerde kogelkleppomp ('ja-knikker')

7.2.2 Ontwikkelen van peilbuizen

De verschillende fases van de veldtest en de onderlinge tijdsintervallen worden in onderstaande Tabel 22 samengevat. Een overzicht van de toegepaste ontwikkeling per peilbuis wordt gegeven in Tabel 23.

De 6 peilbuizen werden een week na plaatsing bemonsterd zoals beschreven in de procedure CMA/1/A.2 ([6]) volgens het de Low flow Sampling (LFS) methode. Gedurende de bemonstering werden de parameters pH, EC, ORP en O₂ bepaald en werden stalen genomen voor analyse van de verontreinigingsparameters. Deze meetreeks wordt als nulmeting (referentieniveau) beschouwd.

De stalen werden geanalyseerd op zware metalen, vluchtige aromaten (BTEX), minerale olie en vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen

Op elk van de peilbuizen werd een slugtest uitgevoerd ter bepaling van de hydraulische conductiviteit vóór ontwikkelen.

De verschillende parameters werden eveneens bepaald tijdens de verschillende stappen van de ontwikkelingsfase. Er werden echter geen stalen genomen direct na ontwikkelingsfase, aangezien de peilbuizen tot een evenwichtssituatie dienen te komen na ontwikkeling, vooraleer een bemonstering kan plaatsvinden.

	P9001-6	P9002-6	P9003-6	P9004-6
12-15/11/2012	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing
26-27/11/2012	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Niet uitgevoerd o.w.v. verlies 'surge block' (zie P9002-6)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Verlies 'surge block' na 15 slagen	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutturen (25x, 10 min) 4. Helderpompen (46 liter) 5. Jutturen (25x, 10 min) 6. Helderpompen (68 liter)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Overpompen (4 l/min; 19 l) 4. Overpompen (0,39 l/min; 19 l) 5. Overpompen (0,75 l/min; 36 l) Totaal: 74 l
03/12/2012	-	-	LFS na week rust	LFS na week rust
14/01/2013	Ontwikkelen 'surge block'	Tweede poging ontwikkelen 'surge block'	-	-
24/01/2013	LFS na > week rust	LFS na > week rust	-	-
	P9000-10	P9001-10	P9000-16	P9001-16
12-15/11/2012	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing
26-27/11/2012	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Overpompen (1 l/min; 94 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutturen (25x, 10 min) 4. Helderpompen (46 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutturen (15x, 5 min) 4. Helderpompen (39 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Surge block (20 min; 11,4 l) 4. Surge block (20 min; 11,4 l) 5. Surge block (20 min; 40 l)
03/12/2012	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust

Tabel 22: Tijdsverloop veldwerkttest site 2 te Vilvoorde

Peilbuis	Ontwikkelingsmethode
P9001-6	'Mechanical surging'
P9002-6 (met filterkous)	'Mechanical surging'
P9003-6	Jutturen
P9004-6	Overpompen
P9000-10	Overpompen
P9001-10	Jutturen
P9000-16	Jutturen
P9001-16	'Mechanical surging'

Tabel 23: Toegepaste ontwikkelingsmethode per peilbuis

De bemonstering volgens het LFS-principe, de bepaling van de parameters en het uitvoeren van de slugtests nam voor de 8 peilbuizen 8 uur in beslag. Het ontwikkelen van de 8 peilbuizen zoals in onderstaande beschreven, inclusief de bepaling van de fysico-chemische parameters en de turbiditeit, nam 10 uur in beslag.

7.2.2.1 Overpompen

Peilbuis P9004-6

Peilbuis P9004-6 werd ontwikkeld volgens de techniek van het overpompen. Er werd een totaal van 74 l afgepompt volgens 3 debietregimes. Tijdens een eerste regime werd 19 l water opgepompt aan een debiet van 4 l/min. Hierbij zakt de grondwaterstand echter tot beneden de bovenkant van het filterscherm. Om dit te vermijden werd overgeschakeld naar een debiet van 0,39 l/min, waarmee andermaal 19 l afgepompt werd. Tot slot werd het afpompedebiet in beperkte mate verhoogd, om te voldoen aan de overpompprincipes, die vereisen af te pompen aan een hoger debiet dan bij de bemonstering zal toegepast worden. Er werd zo 36 l afgepompt aan 0,75 l/min, wat 1,5 maal het maximale bemonsteringsdebiet bij LFS (0,5 l/min) is. Het overpompen werd gestopt na stabilisatie van de turbiditeit (variaties grootteorde 0,1 NTU).

Peilbuis P9000-10

Het overpompen van peilbuis P9000-10 gebeurde aan een debiet van 1 l/min (2x het maximale bemonsteringsdebiet bij LFS). Op die manier werd 94 l afgepompt. Overpompen werd gestopt wanneer een stabilisatie van de turbiditeit (variaties van enkele NTU) waargenomen werd.

7.2.2.2 Surge block ('Mechanical surging')

De methode werd zowel op P9001-6 als P9002-6 toegepast, zodat de invloed van een filterkous op de ontwikkeling van peilbuizen ingeschat kan worden.

Peilbuis P9001-6

'Mechanical surging' werd gedurende 5 minuten manueel toegepast, waarbij slechts 1 liter water onttrokken werd. In de hoop meer grondwater te onttrekken tijdens de ontwikkeling werd overgeschakeld op het gebruik van de gemotoriseerde kogelkleppomp. In tegenstelling tot wat verwacht werd, werd hierbij geen water opgepompt. Aangezien door deze manier van werken echter het aantal slagen per tijdseenheid drastisch verhoogd werd en de moeilijke manuele toepassing, om redenen van kracht en ergonomie, vermeden werd, werd geopteerd de overige 15 minuten van de ontwikkeling aan de hand van de gemotoriseerde kogelkleppomp uit te voeren. Het water dat onttrokken werd na ontwikkeling, bevatte een grote hoeveelheid grijs-groen slib en een beperkte hoeveelheid fijn zand. Er werd onttrokken tot visueel helder water opgepompt werd. Door het vroegtijdig stilvallen van de pomp is het exacte volume dat tijdens helderpompen onttrokken werd niet gekend. Het onttrokken volume bedroeg minstens 30 l (i.e. minstens 30 minuten afpompen aan 1 l/min).

Peilbuis P9002-6

Peilbuis P9002-6 werd ontwikkeld aan de hand van 'mechanical surging'. Na 15 slagen kwam het 'surge block' echter los van de PE-slang, waardoor het blok verloren geraakte op de bodem van de peilbuis. Een tweede ontwikkeling vond plaats op een later tijdstip, met behulp van een nieuwe versie van het 'surge block' (Figuur 6).

Op een later tijdstip werd opnieuw gestart met de ontwikkeling van P9002-6. Tijdens de 20 minuten durende ontwikkeling werd 9 liter water onttrokken. Het helderpompen van de peilbuis na ontwikkeling werd stopgezet op basis van visuele waarnemingen nadat 37 liter afgepompt werd.

Peilbuis P9001-16

Gezien de diepte van peilbuis P9001-16 diende de ontwikkeling gemechaniseerd te worden, aangezien de manuele toepassing van deze methode (ergonomisch) onmogelijk uitvoerbaar is

bij een dergelijke diepte en lengte van de waterkolom. De methode werd uitgevoerd met behulp van een gemotoriseerde kogelkleppomp (Figuur 26).

De ontwikkeling werd uitgevoerd in onderaanneming van OVAM door een firma die regelmatig peilbuizen ontwikkelt met behulp van deze 'ja-knikker' en een knikkerpuls. De methode zoals deze firma die steeds toepast werd overgenomen, mits gebruik van het 'surge block' in plaats van de standaard knikkerpuls.

Zo werd de ontwikkeling uitgevoerd over drie periodes van 20 minuten. Binnen deze 20 minuten werd de diepte van het 'surge block' een 4 à 5 keer gewijzigd binnen de grenzen van de filterstelling, zodat de ontwikkeling over de volledige lengte van het filterscherm gebeurde. Het afpompdebiet en de stabiele grondwaterstand tijdens het helderpompen werden gebruikt om op het terrein een intuïtieve inschatting van de toestroming in de peilbuis uit te voeren. Het afpompen met een dieselmotorpomp stond echter niet toe een debiet nauwkeurig in te stellen, waardoor het afpompdebiet tijdens de toestroomtesten varieert tussen de verschillende testen. De ontwikkeling van peilbuis P9001-16, alsook de verschillende toestromingstesten worden in Tabel 24 samengevat.

	Grondwaterstand (m-TOPB)	Debiet (l/min)	Volume (liter)
Toestromingstest Baseline	6,33	5,0	-
Eerste maal 20 min ontwikkelen	-	-	11,4
Helderpompen + Toestromingstest	5,64	5,7	50
Tweede maal 20 min ontwikkelen	-	-	± 11,4
Helderpompen + Toestromingstest	5,56	6,3	50
Derde maal 20 min ontwikkelen	-	2,0	40
Helderpompen + Toestromingstest	5,55	5,9	50

Tabel 24: Samenvatting ontwikkeling P9001-16 volgens mechanical surging met behulp van een 'ja-knikker'

Bevindingen

Analoog aan de waarnemingen op site 1, werd op deze site eveneens de aanwezigheid van HDPE-schilfers in het opgepompte water waargenomen, zij het in mindere mate.

De toepassing van de 'ja-knikker' bleek een nuttige aanvulling op de 'mechanical surging'-techniek. Ze staat toe met een hogere slagfrequentie te ontwikkelen, bovenop het vermijden van te zware inspanningen die niet volgens de regels van ergonomie konden uitgeoefend worden. Hoewel het niet noodzakelijk is, staat de installatie van een metalen beschermkoker rondom de te ontwikkelen peilbuis wel toe, de 'ja-knikker' eenvoudig en stabiel te bevestigen.

7.2.2.3 Jutten

Peilbuis P9003-6

Peilbuis P9003-6 werd tot twee maal toe ontwikkeld volgens de juttermethode. Beide ontwikkelingen omvatten het 25 maal op- en afbouwen van druk in een tijdsspanne 10 minuten. Na de eerste ontwikkeling werd 46 liter slibrijk water met een beperkte hoeveelheid fijn zand

onttrokken tijdens het helderpompen. Het onttrokken volume tijdens helderpompen na de tweede ontwikkeling bedroeg 68 liter.

Peilbuis P9001-10

Gespreid over een periode van 10 minuten, werd de druk 25 maal op- en afgebouwd. Het helderpompen na ontwikkeling werd gestopt op basis van turbiditeitsmetingen (variaties orde van grootte 1 NTU) na het onttrekken van 46 liter slibrijk water met een beperkte hoeveelheid fijn zand.

Peilbuis P9000-16

De techniek werd gedurende een vijftal minuten toegepast, waarbij de druk 15 maal op- en afgebouwd werd. De aangelegde druk kwam overeen met de druk die opgebouwd werd tijdens de ontwikkeling van peilbuizen met een beperktere diepte (max. 0,5 bar)). Een hogere druk was echter nodig om de volledige beschikbare waterkolom aan te wenden en zo de ontwikkeling te optimaliseren. Om een bovengrondse afwerking van peilbuis P9000-16 toe te laten, was het bovengrondse gedeelte van de stijgbuis echter op de peilbuis bevestigd aan de hand van een klemmof (zie ook § 5.3.3), dewelke tijdens een poging een hogere druk aan te leggen losschoot. De ontwikkeling werd derhalve onmiddellijk gestopt. Nadien werd 39 liter water onttrokken tijdens het helderpompen van de peilbuis.

Om zeker te zijn dat mogelijke instorting van bentoniet en/of cement, afkomstig van de beschermkoker rondom de peilbuis ter hoogte van de losgeschoten klemmof, volledig uit de peilbuis verwijderd werd, werd de peilbuis op een later tijdstip een tweede maal ontwikkeld aan de hand van een knikkerpuls.

Bevindingen

De bovengrondse afwerking van de peilbuis stond een eenvoudige bevestiging van het kopstuk op de peilbuizen toe, naar analogie met site 1 te Antwerpen. De aanpassingen aan het kopstuk stonden een vlotte op- en afbouw van de druk in de peilbuis toe.

De klemmof waarmee het bovenste gedeelte stijgbuis op peilbuis P9000-16 bevestigd was, weerstond drukken die gepaard gaan met de ontwikkeling van peilbuizen met beperktere diepte (max. 0,5 bar), maar bleek niet bestand tegen hogere drukken. Het gebruik van schroefdraad- of laskoppelingen is dus noodzakelijk om een veilige en efficiënte ontwikkeling aan de hand van jutteren toe te laten.

7.2.2.4 Knikkerpuls

Peilbuis P9000-16

Ten gevolge van het vroegtijdig stopzetten van het jutteren op peilbuis P9000-16, werd de peilbuis afgepompt met behulp van een knikkerpuls in combinatie met een 'ja-knikker' om het mogelijk aanwezige bentoniet en/of cement, als een resultaat van instorting in de peilbuis ter hoogte van de losgeschoten klemmof, volledig te verwijderen. Er werd zo 122 liter water onttrokken over een tijdsspanne van 38 minuten.

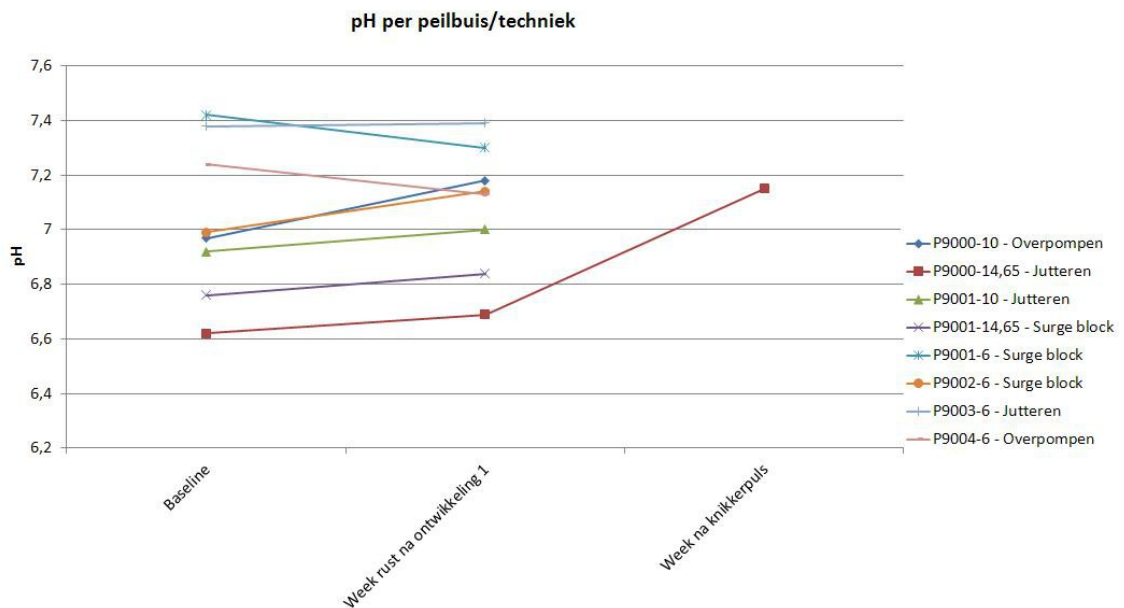
Doordat de peilbuis echter al grotendeels ontwikkeld werd aan de hand van jutteren, is een volledige vergelijking tussen het gemechaniseerd toepassen van een knikkerpuls (in peilbuis P9000-16) en het 'surge block' (in peilbuis P9001-16) niet mogelijk.

7.2.3 Evaluatie veldwerkparameters

7.2.3.1 Fysico-chemie

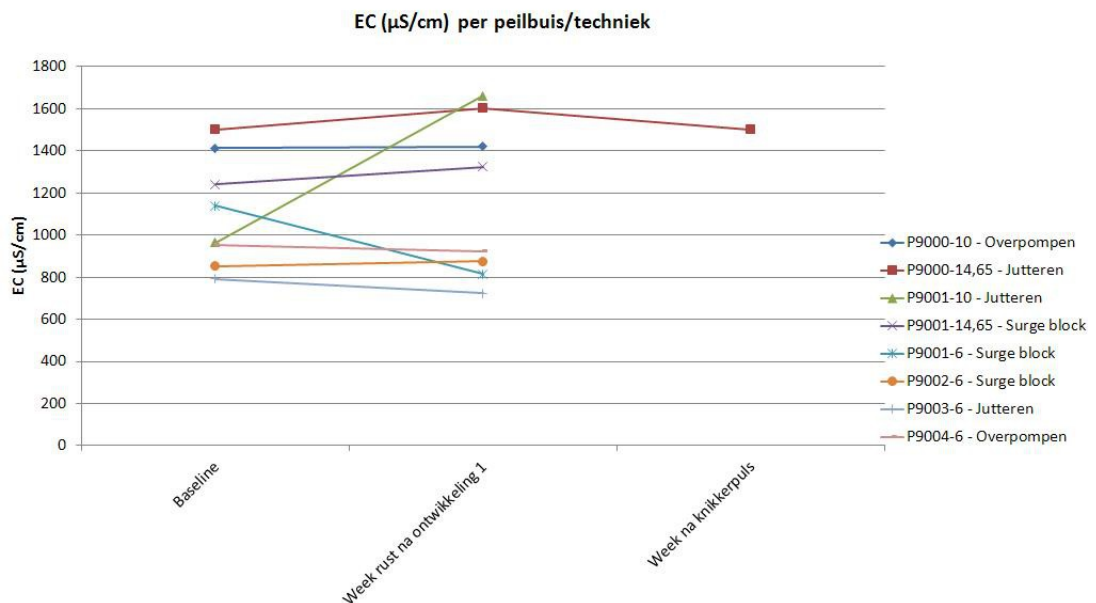
pH

Hoewel beperkte variaties in pH, tussen de baseline-bemonstering en de bemonstering een week na de ontwikkeling, waargenomen werden (zie Figuur 27), kan geen verband tussen de ontwikkelingsmethode en de pH-variatie gelegd worden. In peilbuizen die alleen met het 'surge block' ontwikkeld werden, werden zowel een daling als stijgingen van de pH waargenomen. Hetzelfde geldt voor de peilbuizen die overgepompt werden. De beperkte variaties worden toegeschreven aan natuurlijke variaties binnen de aquifer.



Figuur 27: pH voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde

EC

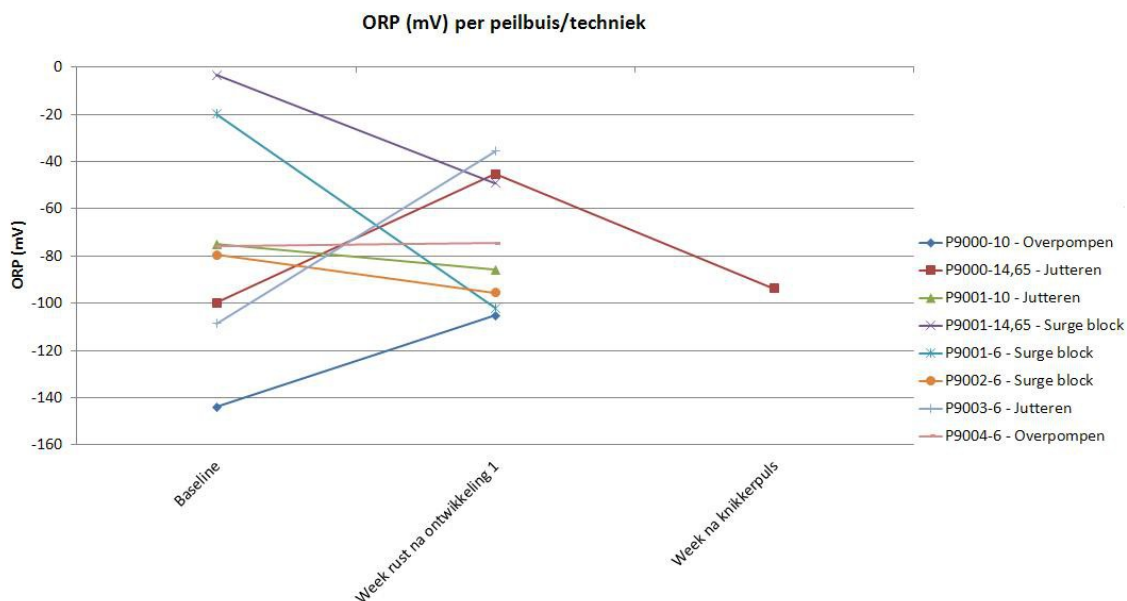


Figuur 28: EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde

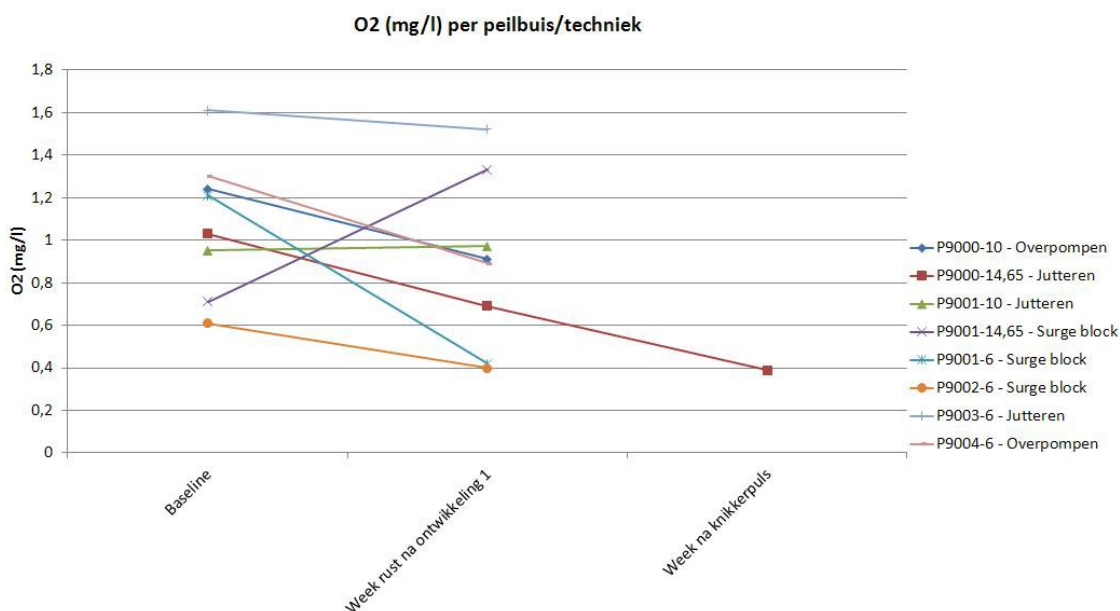
Analoog aan de observaties qua pH, valt ook voor de EC geen verband te leggen tussen de geobserveerde variatie en de ontwikkelingsmethode (zie Figuur 28). De geobserveerde variaties worden toegeschreven aan natuurlijke variaties in de aquifer. Zo is er een onderscheid te maken tussen de diepere peilbuizen met hoger EC en de ondiepe met lagere EC.

Redox en zuurstofgehalte

Hoewel matige variaties waargenomen worden voor de oxido-reductiepotentiaal en het zuurstofgehalte (zie Figuur 29 en Figuur 30), kan evenmin een verband gelegd worden met de toegepaste ontwikkelingsmethode.



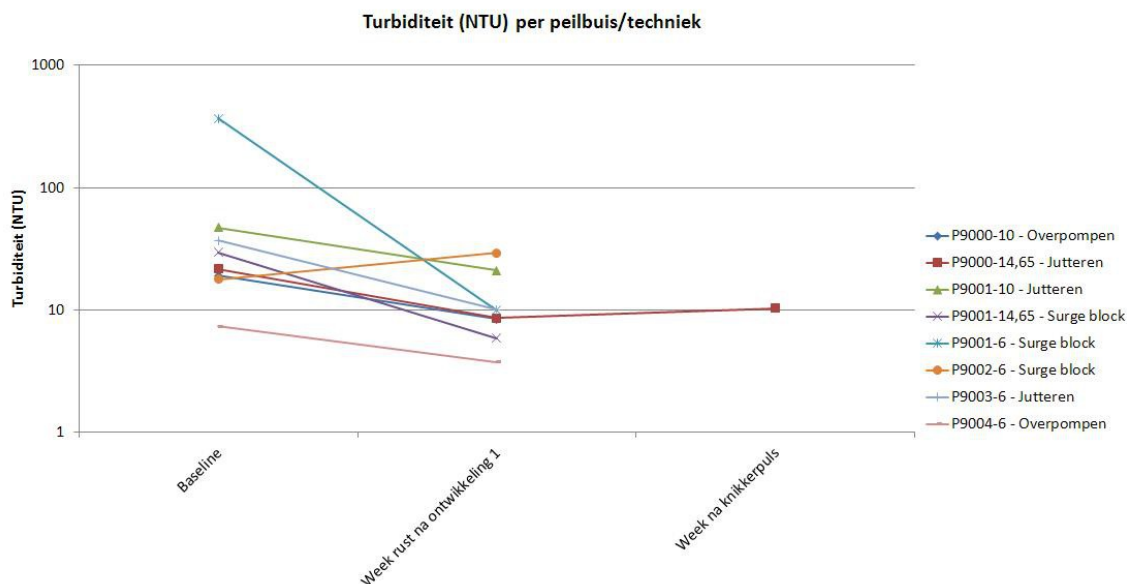
Figuur 29: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde



Figuur 30: O₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde

7.2.3.2 Turbiditeit

Invloed van putontwikkeling op turbiditeit



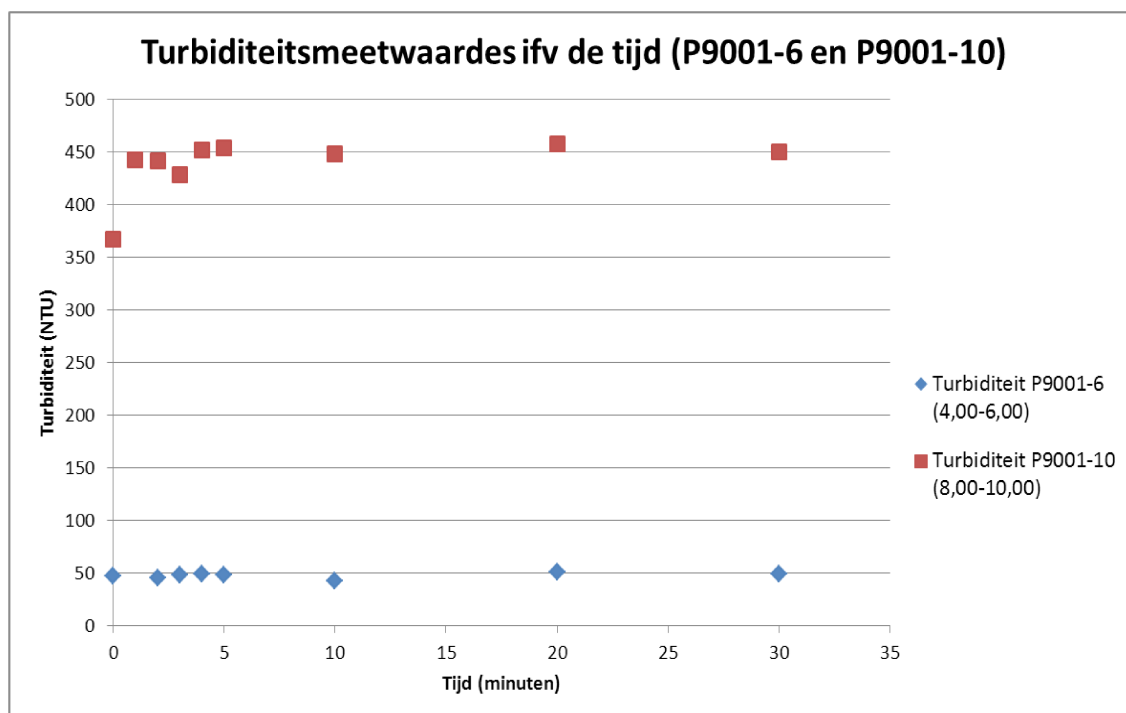
Figuur 31: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek

In Figuur 31 wordt de evolutie van de turbiditeit over de verschillende fasen van het veldwerk weergegeven. Voor deze site kan geen duidelijke invloed van de ontwikkeling op de turbiditeit vastgesteld worden. De verhoogde waarde voor peilbuis P9001-6, kan verklaard worden doordat voor alle peilbuizen het voorpompen bij staalname gestopt werd op basis van een stabilisatie qua geleidbaarheid en zuurstofgehalte (en niet turbiditeit <10 NTU). De aanleiding voor het beëindigen van het voorpompen, heeft dus een belangrijke invloed op de fysico-chemische parameters bij staalname. Gezien turbiditeit een impact kan hebben op bepaalde verontreinigingsparameters (bijvoorbeeld zware metalen, minerale olie, PAK,...), kan de geanalyseerde concentratie aan verontreiniging derhalve sterk afhankelijk zijn van de gekozen variant qua beëindigen van voorpompen, hoewel het steeds LFS betreft.

De dalende turbiditeitswaarden bij het merendeel van de peilbuizen worden verklaard door een herstel van de turbiditeit tot het natuurlijke niveau (van voor de boorwerken). Hoewel elk van de peilbuizen schoongepompt werd na plaatsing, leek dit achteraf nog niet voldoende om een volledig herstel tot het natuurlijke niveau te bewerkstelligen. Een meer doorgedreven schoonpompen van pasgeplaatste peilbuizen lijkt dus noodzakelijk en kan mogelijk de noodzaak tot ontwikkelen (gedeeltelijk) wegnemen.

Tijdsafhankelijkheid van de debietsmetingen

Naar analogie met het beperkte testje dat op site 1 uitgevoerd werd, na de waarneming dat de turbiditeitsmetingen van eenzelfde staal wijzigden met de tijd sinds oppompen, werd een test uitgevoerd naar de tijdsafhankelijke variatie van de gemeten turbiditeit in twee stalen van site 2 te Vilvoorde. Er werd hierbij echter geen stijging van de gemeten turbiditeitswaarden waargenomen voor stalen afkomstig van peilbuizen P9001-6 en P9001-10 (zie Figuur 32). Mogelijk bevat het glauconiet te Vilvoorde aanzienlijk minder ijzer dan het glauconiet te Antwerpen, waardoor de ijzeroxidatie een veel beperktere invloed heeft op de turbiditeitsmetingen.



Figuur 32: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor een staal uit P9001-6 en P9001-10

7.2.3.3 Toestroming

Toestroming tijdens ontwikkeling met 'ja-knikker'

Formule van Dachler ([13] en [14])	K=	$\frac{Q}{2 \pi L H} (2,303 \log (L/R + \sqrt{1+(L/R)^2}))$		
	Vooraf	Na 20 minuten ontwikkeling 1	Na 20 minuten ontwikkeling 2	Na 20 minuten ontwikkeling 3
Q Afpompdebiet (m³/s)	8,33 x 10 ⁻⁵	9,50 x 10 ⁻⁵	10,50 x 10 ⁻⁵	9,83 x 10 ⁻⁵
L Filterlengte (m)	1,00	1,00	1,00	1,00
H Grondwaterdaling (m)	3,19	2,50	2,42	2,41
R Straal boorgat (m)	0,011	0,011	0,011	0,011
K (m/s)	2,17 x 10 ⁻⁵	3,15 x 10 ⁻⁵	3,60 x 10 ⁻⁵	3,38 x 10 ⁻⁵
K (m/d)	1,87	2,72	3,11	2,92

Tabel 25: Interpretatie van de toestromingstestjes, uitgevoerd tijdens de ontwikkeling van peilbuis P9001-16, aan de hand van de formule van Dachler

Beperkte toestromingstestjes ter intuïtieve interpretatie op het terrein werden uitgevoerd tijdens de ontwikkeling van peilbuis P9001-16 aan de hand van 'mechanical surging'. Achteraf konden de testresultaten nauwkeuriger verwerkt worden aan de hand van de formule van Dachler (Tabel 25; [13] en [14]). Deze eenvoudige methode werd geschikt geacht gezien de aard van de beschikbare gegevens (afpompdebiet en de overeenkomstige stabiele grondwaterdaling), de cilindrische vorm van het filterscherm (randvoorwaarde toepassing formule van Dachler) en gezien de aanwezigheid van een ondoorlatende laag beneden de filterstelling (randvoorwaarde toepassing formule van Dachler). De berekening en de resultaten van deze interpretatie worden

in Tabel 25 samengevat. Gezien het verschillende testtypes en interpretatiemethodes betreft, zullen deze resultaten niet vergeleken worden met de resultaten van de putproeven.

Tijdens het toepassen van de 'mechanical surging'-ontwikkeling gedurende drie periodes van 20 minuten werd een duidelijk progressie van de toestroming waargenomen. Twee ontwikkelingsperiodes van 20 minuten bleken voldoende om de toestroming in peilbuis P9001-16 te optimaliseren.

Putproeven

Bij de uitvoering van de putproeven te Vilvoorde bleek dat de onttrekking niet snel genoeg kon gebeuren om de proef als een slugtest te beschouwen. Net zoals bij de resultaten van site 1 werd de dataset geanalyseerd als een mini-pompproef volgens de methode van Theis (recovery).

Belangrijk bij de interpretatie van de bekomen resultaten (naar analogie met site 1):

- Sommige parameters nodig voor het analyseren van de meetgegevens zijn onnauwkeurig aangezien het uitgangspunt eigenlijk de uitvoering van een slugtest was. Bijvoorbeeld, aangezien het objectief 'leegpompen van de peilbuis' was en niet 'pompen aan constant debiet' is de berekening van de hydraulische conductiviteit sterk afhankelijk van het effectief gepompte debiet.
- Gezien de beperkte lengte van de peilbuizen en het feit dat de peilbuizen telkens leeggepompt werden dient er rekening gehouden te worden met het feit dat de instroom in de peilbuis mogelijk niet over de volledige lengte van het filter plaatsvindt. Om te vermijden dat dit een invloed heeft op de resultaten wordt er enkel gekeken naar de stijghoogtegegevens vanaf een volledig natte filter.
- Gezien deze proef werd opgezet als slugtest, maar geanalyseerd wordt als pompproef, is het absolute resultaat van de hydraulische conductiviteit niet betrouwbaar. De waarde moet dan ook eerder vergeleken worden met andere waarden voor dezelfde peilbuis voor of na het ontwikkelen ervan. Op die manier kan het relatieve effect van de ontwikkeling beoordeeld worden.

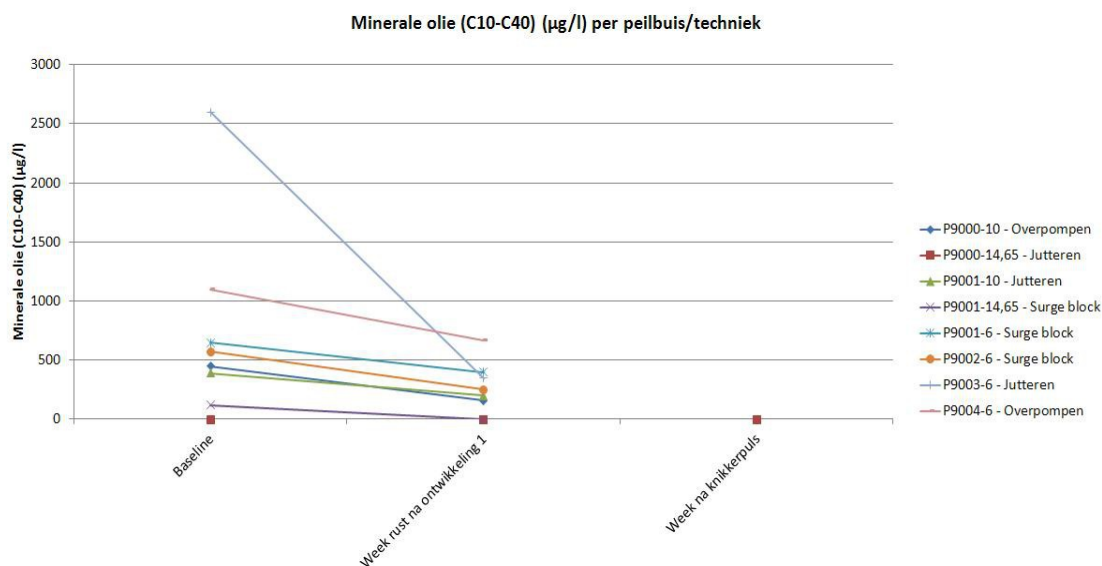
Transmissiviteit, m ² /dag	Ontwikkeling 1	Week rust na ontwikkeling 1
P9000-10 (overpompen)	0,18	0,19
P9000-16 (jutteren)	0,47	0,42
P9001-6 ('surge block')	0,01	0,06
P9001-10 (overpompen)	0,11	0,13
P9001-16 ('surge block')	0,64	0,76
P9002-6 ('surge block')	0,21	0,57
P9003-6(jutteren)	0,10	0,17
P9004-6 (overpompen)	0,08	0,09

Tabel 26: Transmissiviteitswaarden voor de verschillende fases/peilbuizen op site 2 te Vilvoorde

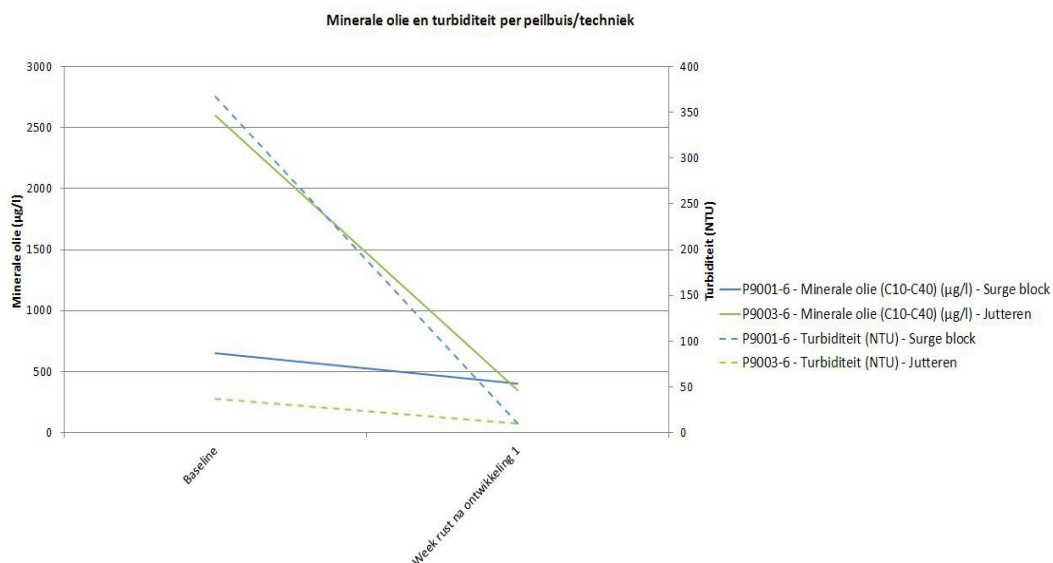
De aldus bekomen resultaten van de mini-pompproefjes worden samengevat in Tabel 26. Hoewel voorzichtigheid geboden is bij het trekken van conclusies, omwille van de onzekerheid op de gebruikte transmissiviteitswaarden, kan mogelijk toch een positieve invloed van peilbuisontwikkeling op de toestroming in een peilbuis afgeleid worden.

7.3 Laboratoriumanalyses en interpretatie

7.3.1 Minerale olie



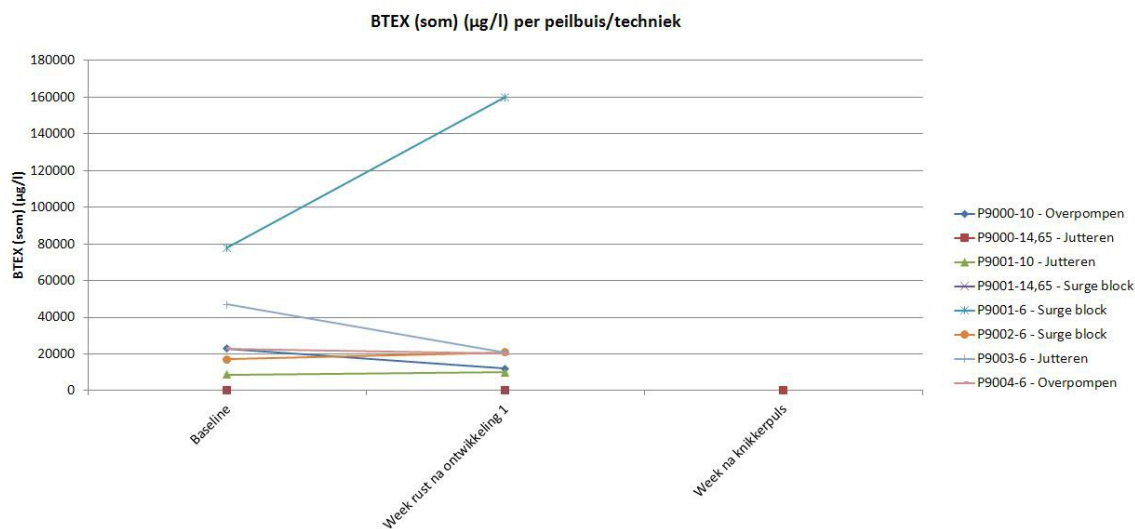
Figuur 33: Concentraties minerale olie voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek



Figuur 34: Minerale olie en turbiditeit voor peilbuizen P9001-6 en P9003-6

Een algemene daling in minerale olieconcentraties wordt waargenomen na ontwikkelen (zie Figuur 33). Er kan duidelijk geconcludeerd worden dat er geen verschil in trend waar te nemen is tussen verschillende ontwikkelingsmethoden. Daarnaast blijkt uit vergelijking van de turbiditeit en minerale olieconcentraties in peilbuizen P9001-6 en P9003-6 dat een daling in minerale olie vergezeld wordt door een daling in turbiditeit (zie Figuur 34).

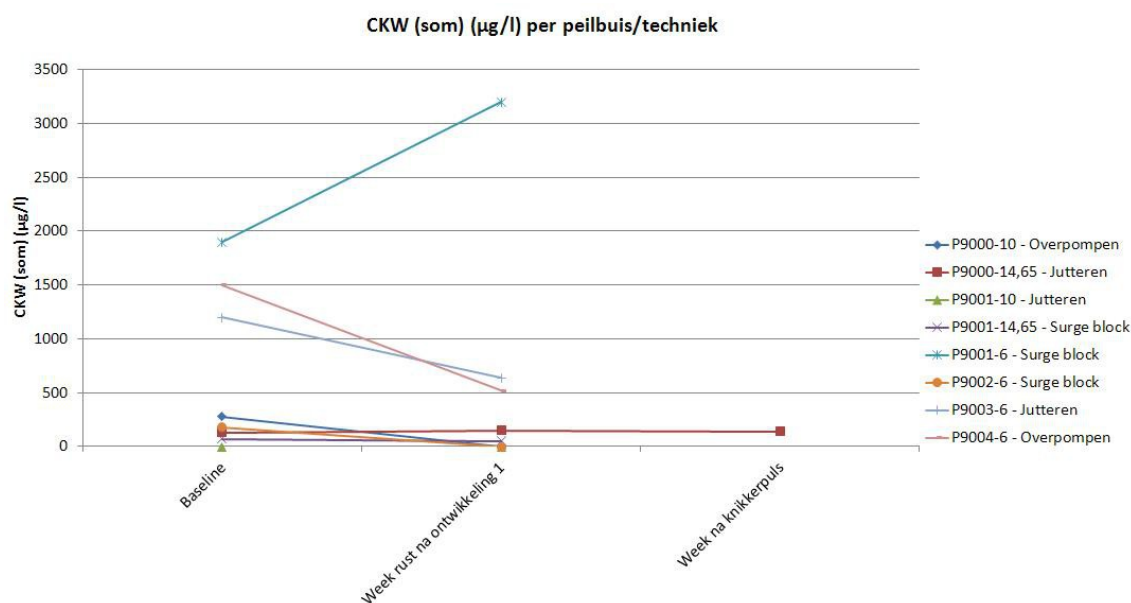
7.3.2 BTEX



Figuur 35: BTEX-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis

De BTEX-concentraties in de meeste peilbuizen liggen boven de oplosbaarheid (zie Figuur 35). De hoge variabiliteit in concentraties die in dergelijke situaties aangetroffen wordt, maakt het onmogelijk conclusies te trekken met betrekking tot de invloed van peilbuisontwikkeling op de aangetroffen BTEX-concentraties.

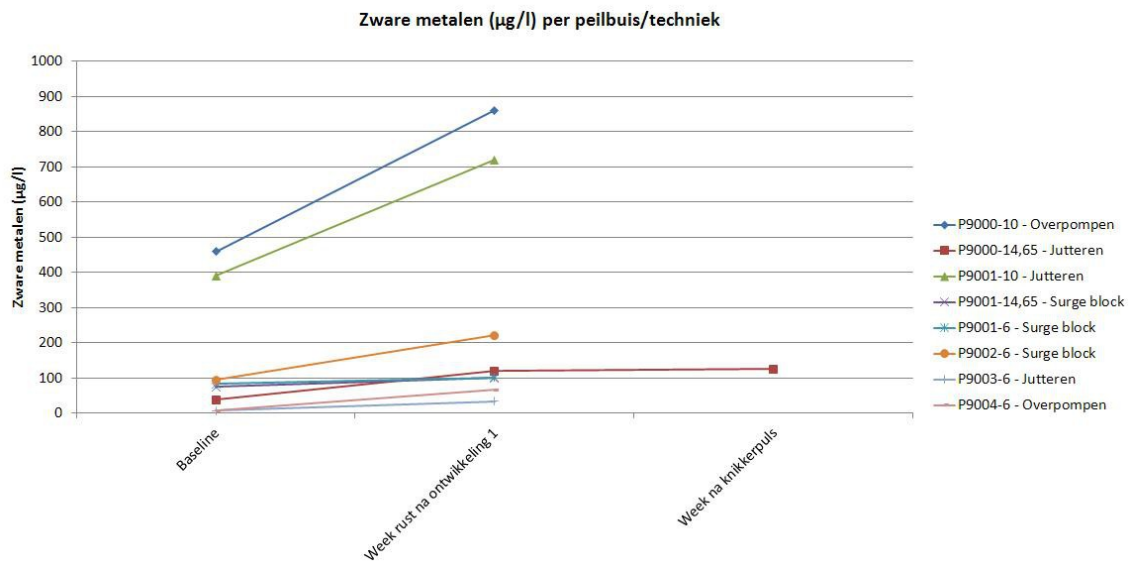
7.3.3 VOCI's



Figuur 36: VOCI-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

Uit Figuur 36 lijkt er geen eenduidige respons van de VOCI-concentraties tussen de verschillende ontwikkelingsmethoden. De concentraties in de verschillende peilbuizen blijven per techniek en per peilbuis in dezelfde grootteorde liggen, na ontwikkelen en na een week rust.

7.3.4 Zware metalen



Figuur 37: concentraties zware metalen voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

De concentratie zware metalen wordt voornamelijk bepaald door verhoogde concentraties zink en arseen. Voor elk van de peilbuizen wordt een (beperkt) stijgende trend qua zware metaalconcentraties waargenomen (zie Figuur 37). Gezien de gelijkaardige trend in elk van de peilbuizen, lijkt de invloed van de keuze qua ontwikkelingsmethode eerder beperkt. Deze trend is tegengesteld aan de dalende turbiditeit.

7.4 Conclusie veldtesten site 2

Techniek	- Diepe peilbuizen: - Overpompen eenvoudigst + goedkoopst - Onttrekt wel groter volume water
Toestroming	Ontwikkeling heeft effect op toestroming
Fysico-chemie	- Ontwikkelingstype heeft geen significant effect - Bevestiging gekende natuurlijke variabiliteit parameters
Turbiditeit	- Eerste ontwikkeling resulteert in lagere turbiditeit - Doorgedreven schoonpompen na plaatsing noodzakelijk! - Turbiditeitsmetingen versus visuele inspectie - Visuele inspectie 'helderheid' geeft goede indicatie van troebelheid en goede correlatie met effectieve meting
Verontreiniging	- Geen invloed van filterkous - Geen duidelijke invloed van turbiditeit op zware metalen, wel invloed op minerale olie - Bevestiging gekende variabiliteit parameters binnen aquifer

8 Site 3 – Dendermonde

8.1 Sitegegevens

8.1.1 Algemeen

De site is gelegen ten noordoosten van de stad Dendermonde binnen het industrieterrein 'Hoogveld'. Momenteel worden op de site industriële activiteiten uitgeoefend. Op de site wordt gelijktijdig een pilootproef uitgevoerd, die echter geen rechtstreekse invloed heeft op de testen kaderend binnen deze studie.

8.1.2 (Hydro)geologie

Op basis van het BBO dat in 2011 uitgevoerd werd en het terreinwerk in het kader van voorliggende studie, werd de geologie op de site samengevat.

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Textuur	Heterogeniteit en gelaagdheid	Hydro-geologie
0,0-13,0	Quartair (Vlaamse vallei)	Zand	Heterogeen: leemhoudend tot grindhoudend Onderaan basisgrind	Water-voerende laag
13,0-25,0	Formatie van Lede	Grijs fijn zand	Soms zandsteenbanken Kalkhoudend, soms glauconiethoudend	Water-voerende laag
25,0-35,0	Lid van Vlierzele (Formatie van Gent)	Grijsgroen fijn zand	Grijsgroen, glauconiethoudend Lokale kleilagen	Water-voerende laag
>35,0	Lid van Merelbeke (Formatie van Gent)	Donker-grijze klei	Homogeen	Schei-dende laag

Tabel 27: Bodemprofiel op site 3 te Dendermonde

8.1.3 Verontreinigingssituatie

In voorgaande bodemonderzoeken werden in de testzone op site 3 een historische bodemverontreiniging met in hoofdzaak zware metalen in het vaste deel van de aarde en een grondwaterverontreiniging met zware metalen en VOC's, aangetroffen. De aanwezigheid van verhoogde concentraties zware metalen en VOC's werd bevestigd tijdens in de baseline-resultaten (zie § 8.3).

8.2 Veldwerkgegevens en interpretatie

8.2.1 Installatiefase

Op basis van de bevindingen op site 1, werd besloten de ontwikkeling van een diepe peilbuis aan de hand van 'mechanical surging' niet uit te voeren, aangezien de manuele uitvoering van deze ontwikkeling vanuit ergonomisch oogpunt vrijwel niet uitvoerbaar. Derhalve werden slechts 2 peilbuizen met een diepte rond 7 m-mv geplaatst.

De 4 ondiepe peilbuizen (zie Tabel 28 voor filterstellingen) werden, in tegenstelling tot de driehoeksconfiguratie zoals voorzien in het algemene plan van aanpak, in een vierkant met zijdes 4 à 5 meter geplaatst, opdat elk van de peilbuizen binnen de zone verontreinigd met zware metalen zou liggen.

De boorwerken vonden binnen plaats in een actief bedrijf. Om de hinder te beperken, werd geopteerd de diepe peilbuizen eveneens manueel te plaatsen in tegenstelling tot machinaal zoals voorzien werd in het plan van aanpak. Het filterscherm werd in lengte beperkt tot 1 meter zowel om de manuele plaatsing toe te laten als om de resultaten buiten het bestek van voorliggende studie ook te kunnen vergelijken met omliggende peilbuizen die eveneens slechts een meter filterscherm hadden.

Elk van de peilbuizen werd manueel geplaatst. In de onverzadigde zone werd geboord met een edelmanboor. Vanaf de verzadigde zone werd overgeschakeld op een manuele pulsboor. Het volume werkwater voor de ondiepe peilbuizen varieerde tussen 10 en 25 liter, voor de diepere peilbuizen tussen 30 en 40 liter.

Ondiepe peilbuizen P864, P865 en P866 werden zonder filterkous afgewerkt. Ondiepe peilbuis P867 werd daarentegen wel afgewerkt met een filterkous, ter controle van diens invloed op de ontwikkeling van peilbuizen. Hoewel de filterstelling licht varieert tussen de verschillende peilbuizen, kan algemeen gesteld worden dat elk van de ondiepe peilbuizen uitgerust werd met een filter van 2 m-mv tot 4 m-mv. Zoals aangegeven in het plan van aanpak werd het filtergrind aangepast aan de aangetroffen korrelgrootteverdelingen.

Peilbuizen P868 en P869 werden afgewerkt zonder filterkous met respectievelijk een filterstelling van 4,95 m-mv tot 5,95 m-mv en 6,01 m-mv tot 7,01 m-mv.

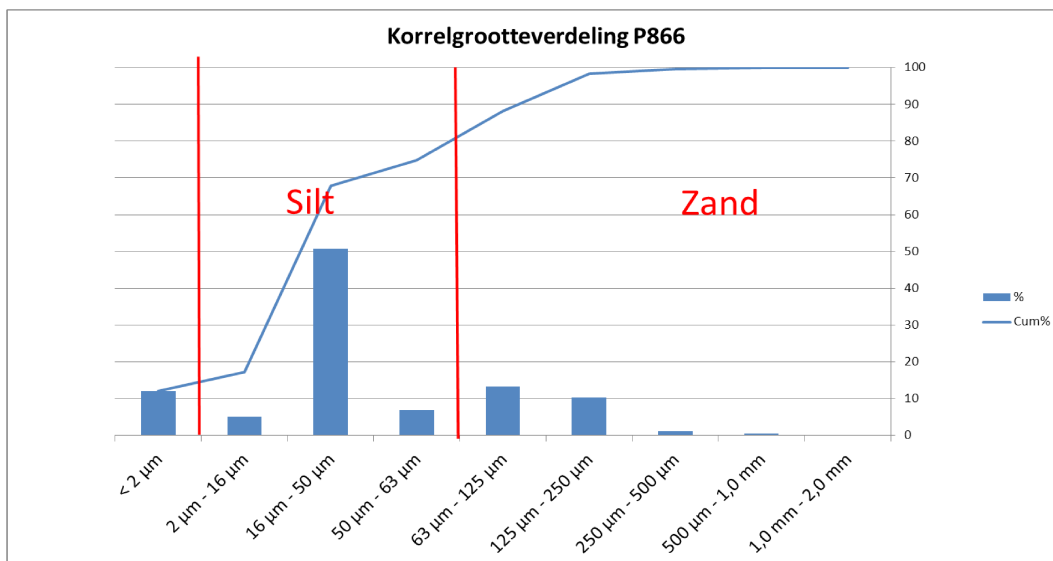
Alle peilbuizen werden uitgerust met een slibvang van 25 cm. Op basis van korrelgrootteverdelingen uit eerdere onderzoeken op de site en aan de hand van bijlage 5.53.1 van Vlarem II, zou een erg fijn filtergrind gebruikt moeten worden. Aangezien ditzelfde document echter ook voorschrijft dat de filtersleufbreedte steeds minstens 0,1 mm finer dient te zijn dan de fijnste korreldiameter van het filtergrind, valt de keuze op filtergrind met een fractie tussen 0,4 mm en 0,63 mm, gezien de minimale standaard beschikbare filtersleufbreedte 0,3 mm bedraagt.

Een samenvatting van de technische gegevens van elk van de peilbuizen wordt gegeven in Tabel 28. De boorbeschrijving van de peilbuizen is terug te vinden in Bijlage 4. De PID-metingen die tijdens de plaatsing van de peilbuizen op de opgeboorde grond uitgevoerd werden, wezen op de aanwezigheid van een verontreiniging met VOCI's. Er werden geen zintuiglijke waarnemingen van verontreiniging gedaan.

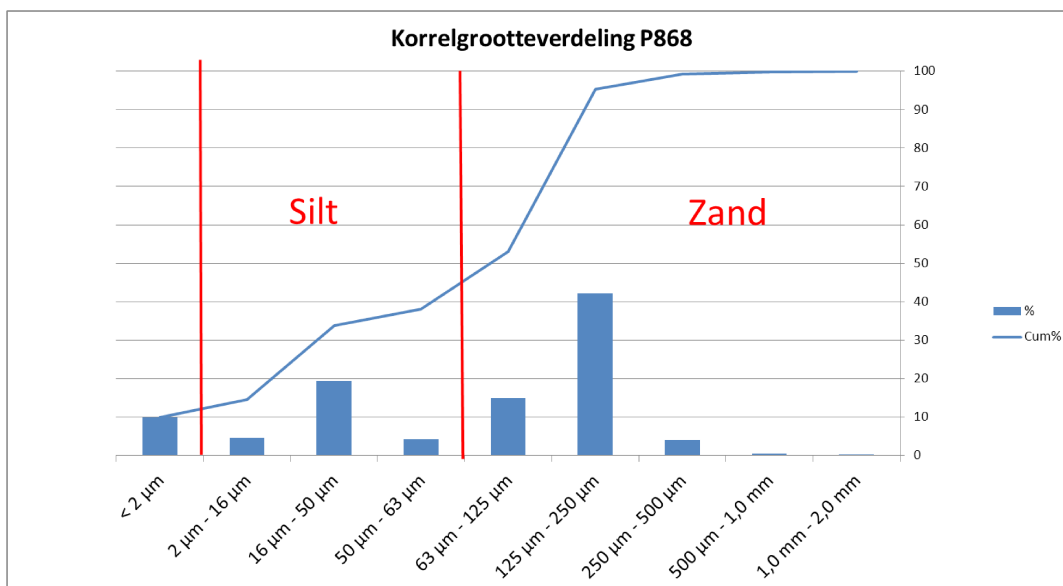
Ter hoogte van de filterstelling in peilbuis P866 werd aan de hand van een steekbus een ongeroerd staal genomen (van 3,00 tot 3,20 m-mv) ter bepaling van de korrelgrootteverdeling. Aan de hand van de volledige inhoud (overgebracht in een staalemmer) van enkele pulsbuizen (materiaal afkomstig van 5,00 m-mv tot 6,00 m-mv) werd de korrelgrootteverdeling ter hoogte van de filterstelling van P868 bepaald.

	Diepte (m-mv)	Slib- vang (m)	Filter (m-mv)	Materiaa l filter	Filter-grind (m-mv)	Korrel- grootte filtergrind (mm)	Buitendiameter / Binnendiameter Peilbuis (mm/mm)	Filter- kous	Werk- water (liter)
P864	4,35	0,25	2,10-4,10	HDPE	1,75-4,35	0,4-0,63	50/41	Nee	25
P865	4,32	0,25	2,07-4,07	HDPE	1,80-4,32	0,4-0,63	50/41	Nee	10
P866	4,49	0,25	2,24-4,24	HDPE	2,00-4,49	0,4-0,63	50/41	Nee	20
P867	4,34	0,25	2,09-4,09	HDPE	1,70-4,34	0,4-0,63	50/41	Ja	10
P868	6,80	0,10	4,95-5,95	HDPE	4,65-6,20	0,4-0,63	50/41	Nee	40
P869	7,30	0,25	6,01-7,01	HDPE	5,80-7,26	0,4-0,63	50/41	Nee	30

Tabel 28: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 3 te Dendermonde



Figuur 38: Korrelgrootteverdeling voor P866 ter hoogte van de filterstelling (2,24-4,24 m-mv; staal 3,00-3,20 m-mv)



Figuur 39: Korrelgrootteverdeling P868 ter hoogte van de filterstelling (4,95-5,95 m-mv; staal 5,00-6,00 m-mv)

De geologie ter hoogte van de filterstelling van P866 bestaat uit een zandig silt met bijmenging van klei. Ter hoogte van de filter in P868 wordt een fijn zand met belangrijke bijmenging van zowel silt als klei aangetroffen (zie Figuur 38). Door de beperkte ruimtelijke verspreiding en onderlinge geologische variatie (zie Bijlage 4) van de peilbuizen kunnen de respectievelijke resultaten van beide peilbuizen geëxtrapoleerd worden naar de peilbuizen met gelijkaardige filterstelling.

8.2.2 Ontwikkelen van peilbuizen

De verschillende fasen van de veldtest en de onderlinge tijdsintervallen worden in onderstaande Tabel 29 samengevat.

	P864	P865	P866	P867
6-8/11/2012	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing
13/11/2012	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Overpompen (0,7 l/min; 50 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Surge block (11 min; 3 l) 4. Helder-pompen (13,5 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Juteren (14x, 5 min) 4. Helderpompen (13,5 liter)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Juteren (50x; 10 minl) 4. Helder-pompen (16 l)
22/11/2012	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust
	P868	P869		
6-8/11/2012	Plaatsing	Plaatsing		
13/11/2012	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Juteren (10x; 10 min) 4. Helder-pompen (41 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Over-pompen (3,47 l/min; 52 l)		
22/11/2012	LFS na week rust	LFS na week rust		

Tabel 29: Tijdsverloop veldwerkttest site 3 te Dendermonde

De 6 peilbuizen werden een week na plaatsing bemonsterd zoals beschreven in de procedure CMA/1/A.2 ([6]) volgens het principe Low flow Sampling (LFS). Gedurende de bemonstering werden de parameters pH, EC, ORP en O₂ bepaald en werden stalen genomen voor analyse van de verontreinigingsparameters. Deze meetreeks wordt als nulmeting (referentieniveau) beschouwd.

De stalen werden geanalyseerd op zware metalen, vluchtige aromaten (BTEX), minerale olie en vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen (VOCI's).

In het grondwater van elk van de nieuw geplaatste peilbuizen worden voornamelijk verhoogde concentraties zware metalen aangetroffen (zie § 8.3). Vooral de zinkconcentratie ligt in het merendeel van de gevallen hoog. Daarnaast wordt een beperkte VOCI-verontreiniging aangetroffen, die het meest uitgesproken is in het grondwater van P869.

Door de aangetroffen verhoogde concentraties aan zware metalen, is deze site interessant in het kader van dit onderzoek, omwille van de mogelijke adsorptiereacties tussen zware metalen enerzijds en turbiditeit, met de mogelijke invloed van de peilbuisontwikkeling, anderzijds.

Op elk van de peilbuizen werd een slugtest uitgevoerd ter bepaling van de hydraulische conductiviteit vóór ontwikkelen.

De bemonstering volgens het LFS-principe, de bepaling van de parameters en het uitvoeren van de slugtests nam voor de 6 peilbuizen 6 uur in beslag. Het ontwikkelen van de 6 peilbuizen zoals in onderstaande beschreven, inclusief de bepaling van de fysico-chemische parameters en de turbiditeit, nam 9 uur in beslag.

8.2.2.1 Overpompen

Peilbuis P864

Peilbuis P864 werd ontwikkeld door overpompen. De peilbuis werd gedurende 71 minuten ontwikkeld, waarbij 50 liter water onttrokken werd. Opmerkelijk was echter de hoge visuele turbiditeit van het opgepompte water, die niet afnam tijdens de ontwikkeling. Als gevolg van deze hoge turbiditeit, werden geen parameters bepaald onmiddellijk na ontwikkeling. Daarenboven was de toestroming in peilbuis P864 onmiddellijk na plaatsing matig tot slecht, waar deze tijdens ontwikkeling vele malen beter was.

P869



Figuur 40: Opgepompt water tijdens overpompen van peilbuis P869 op site 3 te Dendermonde

De ontwikkeling van P869 aan de hand van overpompen werd over een periode van 15 minuten uitgevoerd, waarbij 52 liter onttrokken werd. Het opgepompte water bevatte slib en een erg beperkte hoeveelheid fijn zand (zie Figuur 40).

8.2.2.2 Surge block ('Mechanical surging')

Peilbuis P865

Peilbuis P865 werd gedurende 11 minuten manueel ontwikkeld aan de hand van 'mechanical surging'. Hierbij werd 3 liter water onttrokken. Tijdens het helderpompen werd 13,5 liter onttrokken, waarbij de turbiditeit daalde van enkele honderden NTU tot een waarde die beperkt varieerde rond 6,3 NTU. Zowel tijdens het ontwikkelen als tijdens het helderpompen werd fijn zand en een beperkte hoeveelheid slib onttrokken.

8.2.2.3 Jutten

Peilbuis P866

Tijdens het ontwikkelen van peilbuis P866 werd verspreid over 5 minuten de druk in de peilbuis 14 maal op- en afgebouwd, waarna 13,5 liter water onttrokken werd tijdens het helderpompen. Het helderpompen werd gestopt bij een quasi stabiele turbiditeit van 9,56 NTU. Tijdens het afpompen werd voornamelijk fijn zand en slib onttrokken (zie Figuur 41).



Figuur 41: Fijn zand en slib dat tijdens het helderpompen van P866 onttrokken werd

Peilbuis P867

De druk op peilbuis P867 werd met een tussenpauze van 10 minuten 2 maal 25 keer op- en afgebouwd. Uiteindelijk werd 16 liter water onttrokken tijdens het helderpompen van de peilbuis, waarbij de turbiditeit van het opgepompte grondwater daalde van 27,5 NTU (na 8 liter helderpompen) tot 1,47 NTU. Voornamelijk erg fijne fractie werd onttrokken tijdens het helderpompen.

Peilbuis P868

Verspreid over 10 minuten, werd de druk in peilbuis P868 10 maal opgebouwd. De turbiditeit tijdens het helderpompen varieerde onregelmatig tussen 101 NTU en 676 NTU. Het helderpompen werd derhalve na het onttrekken van 41 liter water en een stabilisatie van de andere fysico-chemische parameters stopgezet. Tijdens het helderpompen werd een grote hoeveelheid zand met een beperkte siltbijmenging onttrokken (zie Figuur 42).



Figuur 42: Zand dat tijdens het helderpompen van P868 onttrokken werd



Figuur 43: Tijdelijke bovengrondse afwerking van een peilbuis met schroefdraaduiteinde

Bevindingen

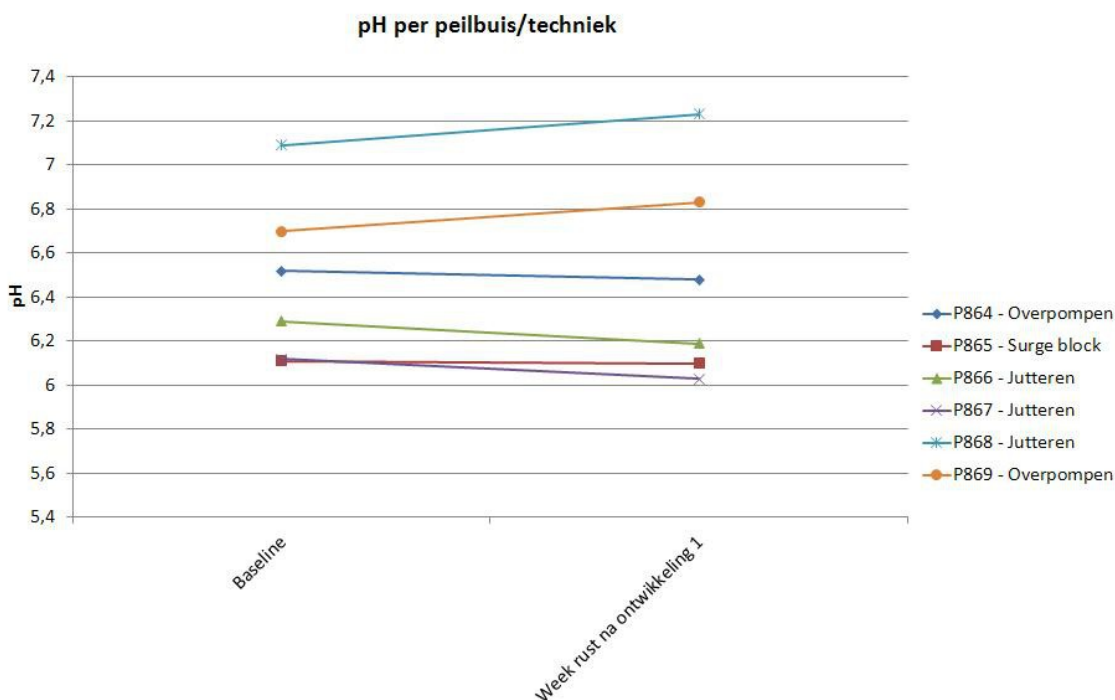
Het aanbrengen van het kopstuk op de peilbuis werd bemoeilijkt door de ondergrondse afwerking van de peilbuis. Deze ondergrondse afwerking was echter noodzakelijk omdat het een actieve site met heftruckverkeer betreft. Door gebruik van wat gereedschap kon het kopstuk alsnog bevestigd worden, hoewel het minder krachtig aangedraaid kon worden dan bij een bovengronds afgewerkte peilbuis. Indien mogelijk is een bovengronds afgewerkte peilbuis dus wenselijk, zeker indien hogere drukken aangelegd moeten worden. Hoewel omslachtig in uitvoering, zou een andere oplossing kunnen bestaan uit het aanbrengen van een schroefdraad op het uiteinde van de peilbuis, waardoor de peilbuis aan de hand van een extra stijgbuis, tijdelijk bovengronds afgewerkt zou kunnen worden (zie Figuur 43).

8.2.3 Evaluatie veldwerkparameters

8.2.3.1 Fysico-chemie

pH

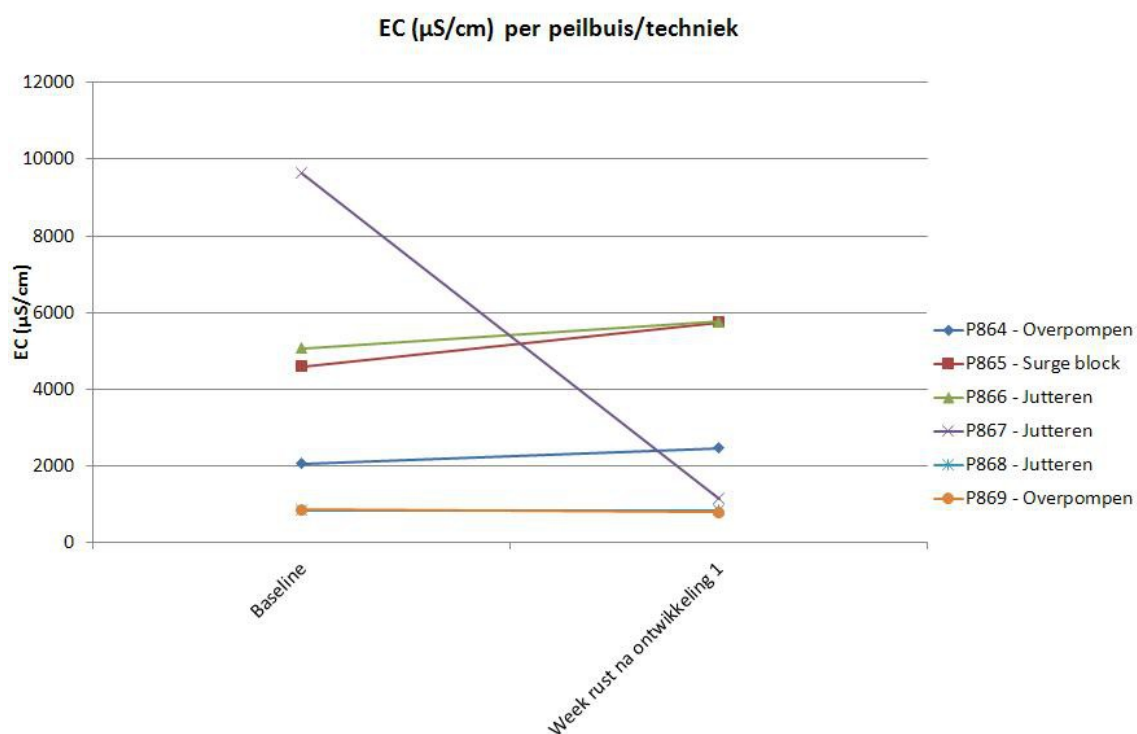
De erg beperkte pH-variaties (zie Figuur 44) die waargenomen werden tussen de verschillende fases van het veldwerk, zijn het gevolg van variaties binnen de aquifer. Een verband met de toegepaste ontwikkelingsmethode kan niet gelegd worden.



Figuur 44: pH voor de verschillende fases per peilbuis op site 3 te Dendermonde

EC

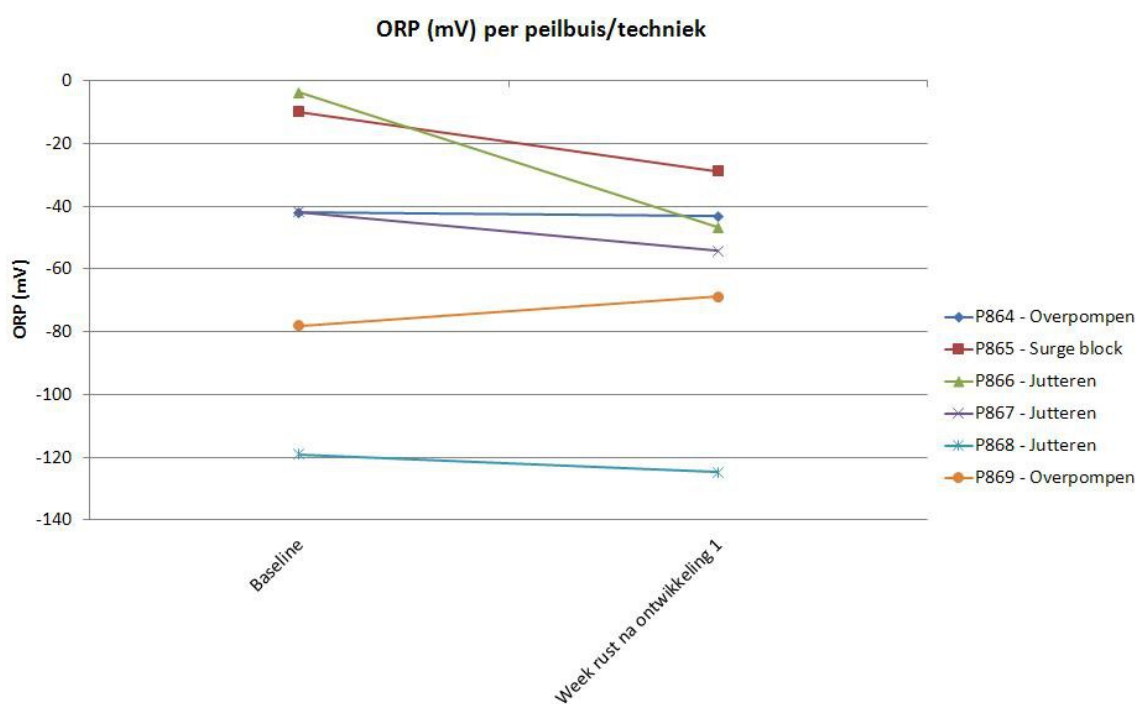
Met uitzondering van peilbuis P867, kan de EC-variatie steeds verwaarloosd worden en toegeschreven worden aan natuurlijke variaties in het grondwater (zie Figuur 45). De oorzaak voor de sterke variatie in P867 is onbekend. Een vergelijking met ander peilbuizen waarop de juttertechniek toegepast werd, duidt niet op een eenduidig verband tussen EC-variatie en de juttertechniek.



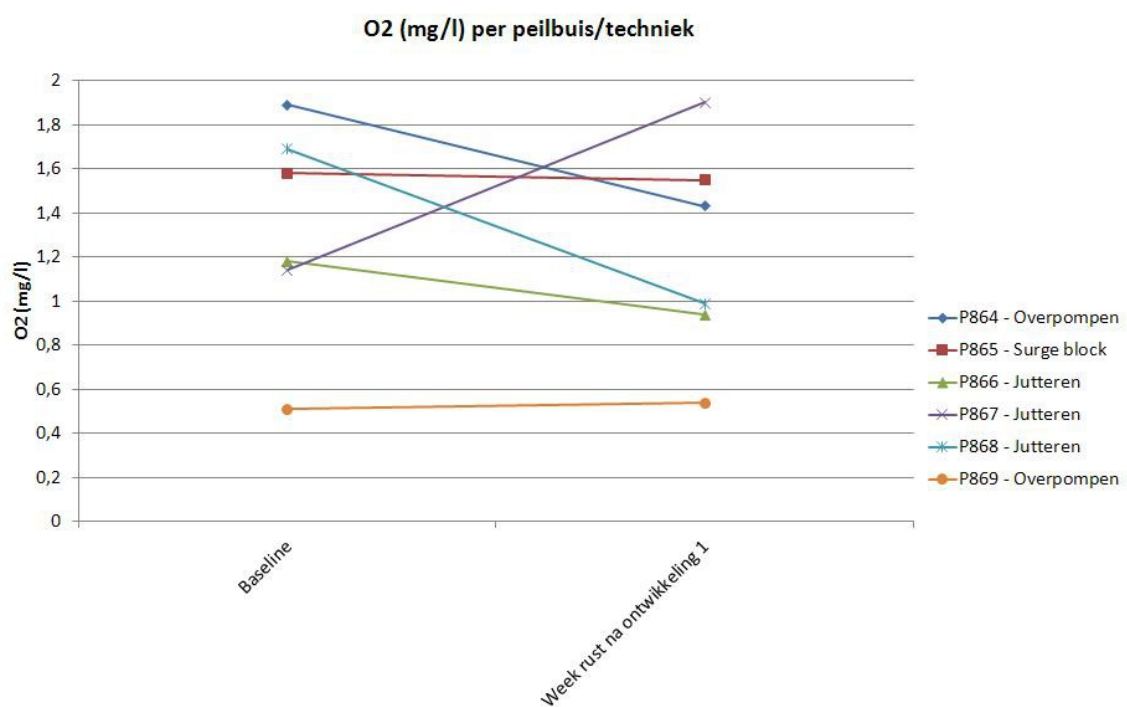
Figuur 45: EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde

Redox en zuurstofgehalte

Hoewel matige variaties waargenomen worden voor de oxido-reductiepotentiaal en het zuurstofgehalte (zie Figuur 46 en Figuur 47), kan evenmin een verband gelegd worden met de toegepaste ontwikkelingsmethode.



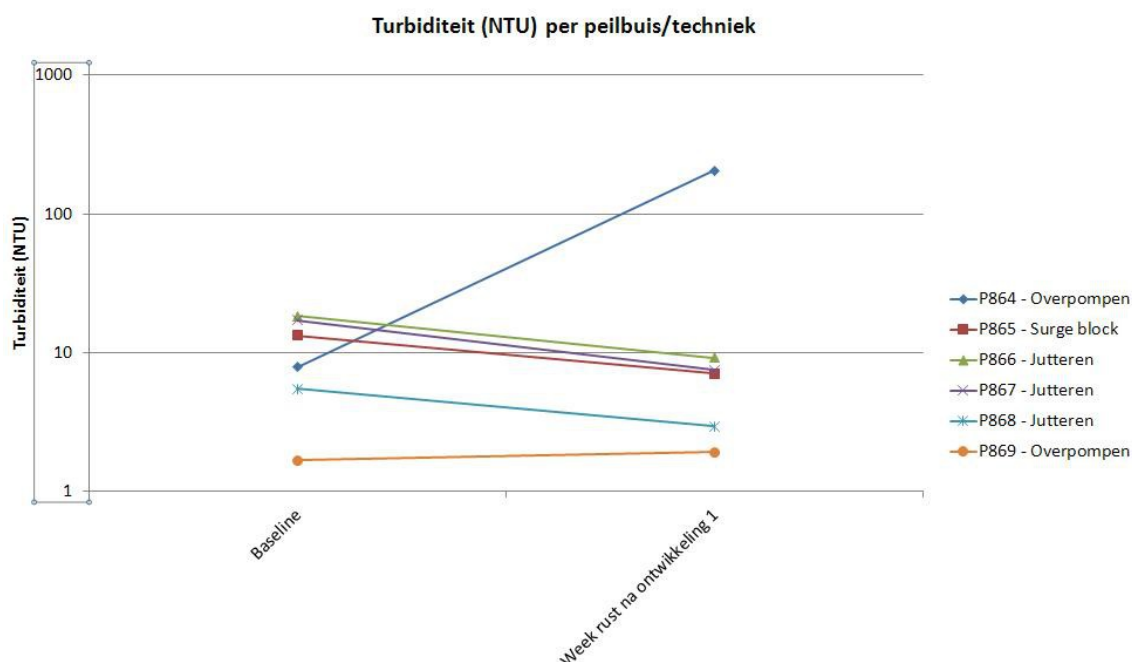
Figuur 46: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde



Figuur 47: O₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde

8.2.3.2 Turbiditeit

Invloed van putontwikkeling op turbiditeit



Figuur 48: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek (logaritmische schaal!)

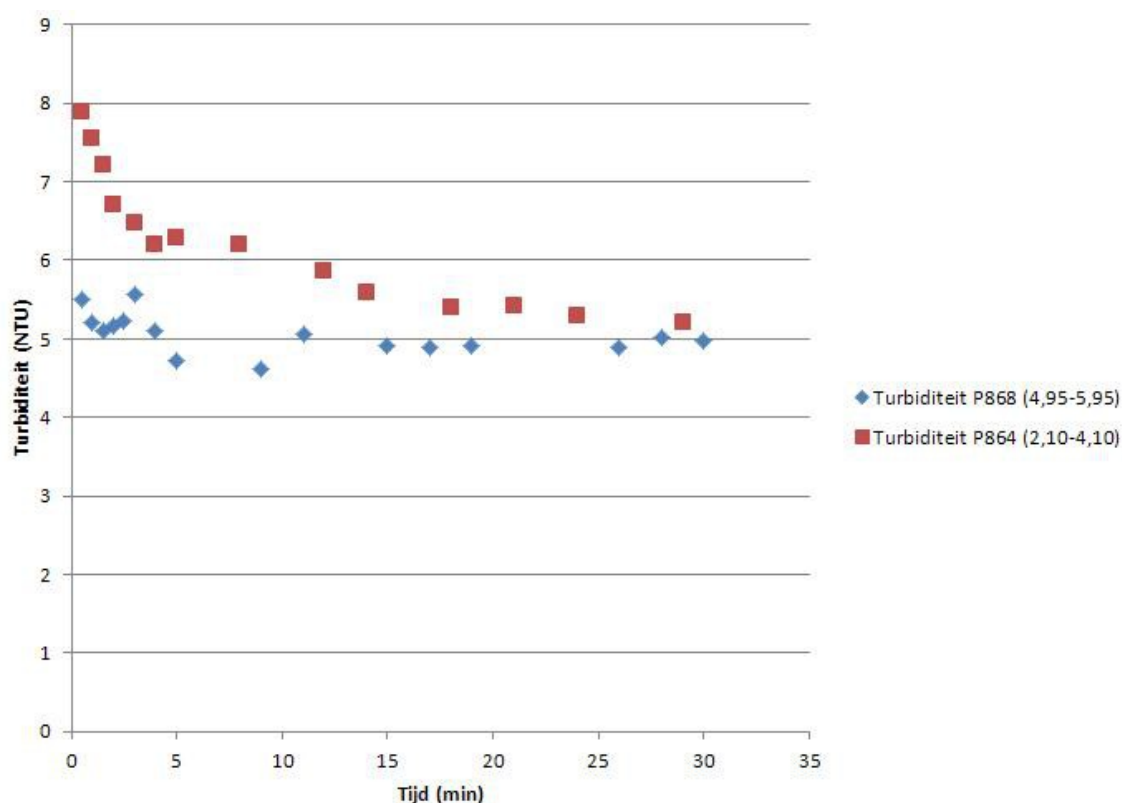
Voor de peilbuizen die ontwikkeld werden aan de hand van jutteren of 'mechanical surging' werd een daling in turbiditeit bij bemonstering waargenomen (zie 99). De peilbuizen waarop louter aan een hoog debiet gepompt werd ter ontwikkeling, vertonen een toename qua turbiditeit.

De dalende turbiditeitswaarden bij de peilbuizen die aan de hand van een agressievere ontwikkelingstechniek ontwikkeld werden, kunnen verklaard worden door een herstel van de turbiditeit tot het natuurlijke niveau (van voor de boorwerken). Hoewel elk van de peilbuizen schoongepompt werd na plaatsing, leek dit achteraf nog niet voldoende om een volledig herstel tot het natuurlijke niveau te bewerkstelligen. Een meer doorgedreven schoonpompen van pasgeplaatste peilbuizen lijkt dus noodzakelijk en kan mogelijk de noodzaak tot ontwikkelen (gedeeltelijk) wegnemen.

In peilbuis P869 wordt een beperkte stijging qua turbiditeit waargenomen. Tijdens de baseline-bemonstering werd in deze peilbuis de laagste turbiditeitswaarde aangetroffen. Vermoedelijk bevond de turbiditeit in P869 zich bij de baseline-bemonstering op het natuurlijke niveau (van voor de boorwerken) en kan de beperkte stijging een week na ontwikkeling voornamelijk verklaard worden door natuurlijke variaties en/of het aantrekken van turbiditeit uit de omgeving onder invloed van het overpompen.

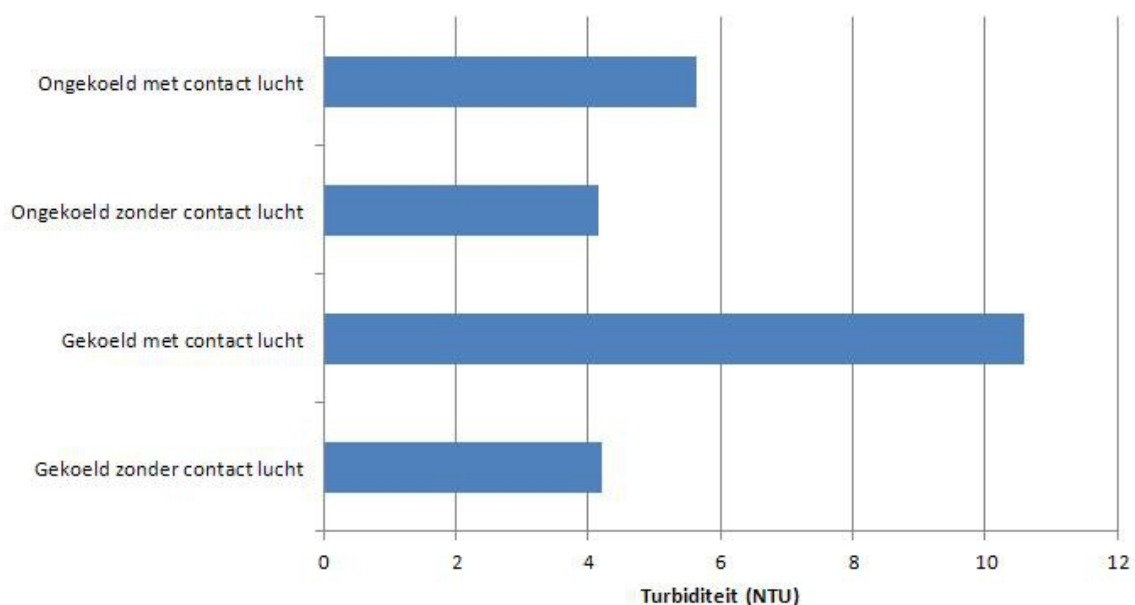
Hoewel de precieze oorzaak voor de enorme toename in turbiditeit en toestroming in peilbuis P864 (zie § 8.2.2.1) onbekend is, lijkt het echter erg onwaarschijnlijk dat deze wijzigingen louter het gevolg zijn van de toegepaste ontwikkeling.

Tijdsafhankelijkheid van de debietsmetingen



Figuur 49: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor stalen van P864 en P868

Turbiditeitsmetingen P864 30 minuten na staalname



Figuur 50: Waarde turbiditeitsmetingen in 4 stalen van P864 na bewaring (30 minuten) onder verschillende omstandigheden

Naar analogie met het beperkte testje dat op site 1 en 2 uitgevoerd werd, na de waarneming dat de turbiditeitsmetingen van eenzelfde staal wijzigden met de tijd sinds oppompen, werd een test

uitgevoerd naar de tijdsafhankelijke variatie van de gemeten turbiditeit in twee stalen van site 3 te Dendermonde (zie Figuur 49). In tegenstelling tot de waarnemingen op site 1 (zie § 6.2.2.2) waren de turbiditeitsmetingen op het staal van peilbuis P868 stabiel. De gemeten turbiditeitswaarden op staal P864 namen zelfs af. Mogelijk zorgde de vorming van gasbelletjes tijdens staalname en manipulatie voor een initieel hogere meetwaarde.

Er lijkt geen invloed te zijn op de gemeten turbiditeitswaarden wat betreft temperatuur en contact met omgevingslucht (zie Figuur 50).

8.2.3.3 Toestroming

Hydraulische conductiviteit m/dag	Baseline	Ontwikkeling 1	Week rust na ontwikkeling 1
P864	0,10	-	0,65
P865	0,12	0,11	0,13
P866	0,08	0,10	0,10
P867	0,07	-	0,08

Tabel 30: Hydraulische conductiviteitswaarden voor de fase/peilbuizen op site 3 te Dendermonde die volgens Bouwer-Rice geanalyseerd werden. ('-' Er werd geen slugtest uitgevoerd)

In tegenstelling tot sites 1 en 2, konden de resultaten van de 'slugtests' te Dendermonde wel als werkelijke slugtests geïnterpreteerd worden aan de hand van de methode van Bouwer-Rice. Slugtests geven steeds slechts een lokale inschatting van de doorlatendheid. De resultaten geven echter louter een relatief verschil aan tussen verschillende ontwikkelingsmethoden per peilbuis.

Bij sommige peilbuizen geeft een verwerking van de meetgegevens niet altijd exact het veronderstelde lineaire verband. In dat geval wordt er voor gezorgd dat bij dezelfde peilbuis steeds gelijkaardige delen van de responscurve worden vergeleken zodat er toch een indicatie kan gegeven worden van de efficiëntie van de peilbuisontwikkeling.

Algemeen blijkt er geen eenduidige invloed van de ontwikkeling te zijn op de permeabiliteit (zie Tabel 30).

Peilbuizen P868 en P869 lieten geen gebruik van de Bouwer-Rice methode toe. Er werd niet 'onmiddellijk' water onttrokken. P869 kan wel met de methode van Theis voor recovery geanalyseerd worden. Bij P868 werd een te onregelmatige onttrekking vastgesteld, waardoor geen bruikbare data bekomen werden. Ook bij de slugtest in P869 voor ontwikkeling (baseline) gebeurde de onttrekking nogal onregelmatig, het resultaat dient dan ook kritisch geïnterpreteerd te worden (zie Tabel 31).

Transmissiviteit, m ² /dag	Baseline	Ontwikkeling 1	Week rust na ontwikkeling 1
P869	0,31(*)	0,37	0,50

Tabel 31: Transmissiviteitswaarden voor de verschillende fases op peilbuis P869 die volgens Theis geanalyseerd werden () Resultaat onbetrouwbaar omwille van onregelmatige onttrekking)**

8.3 Laboratoriumanalyses en interpretatie

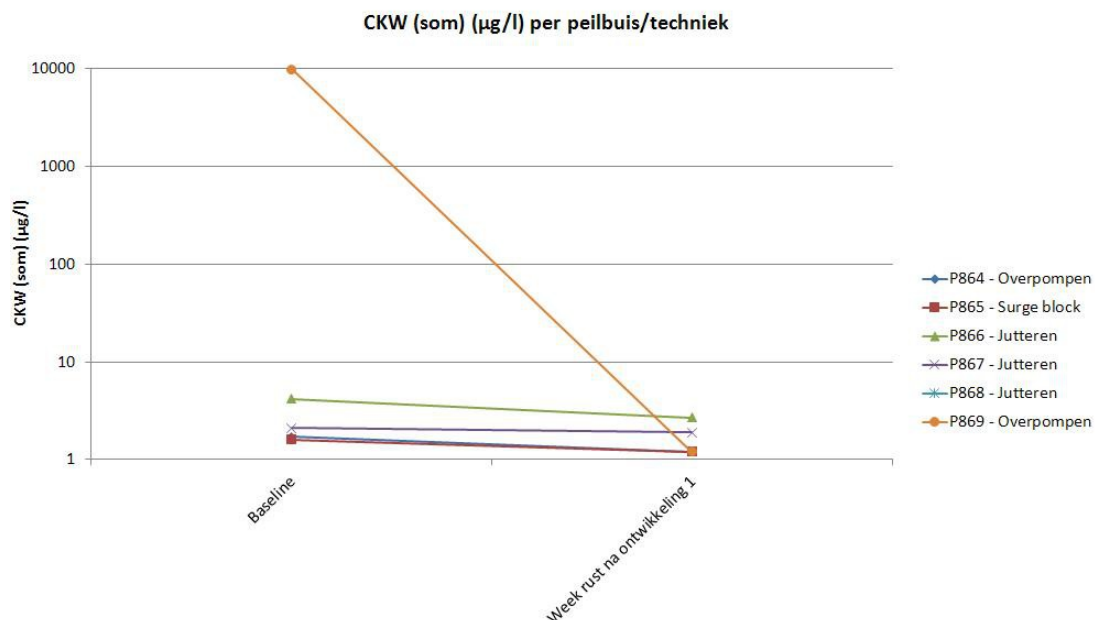
8.3.1 Minerale olie

Er werden geen verhoogde concentraties aan minerale olie aangetroffen.

8.3.2 BTEX

Er werden geen verhoogde BTEX-concentraties aangetroffen.

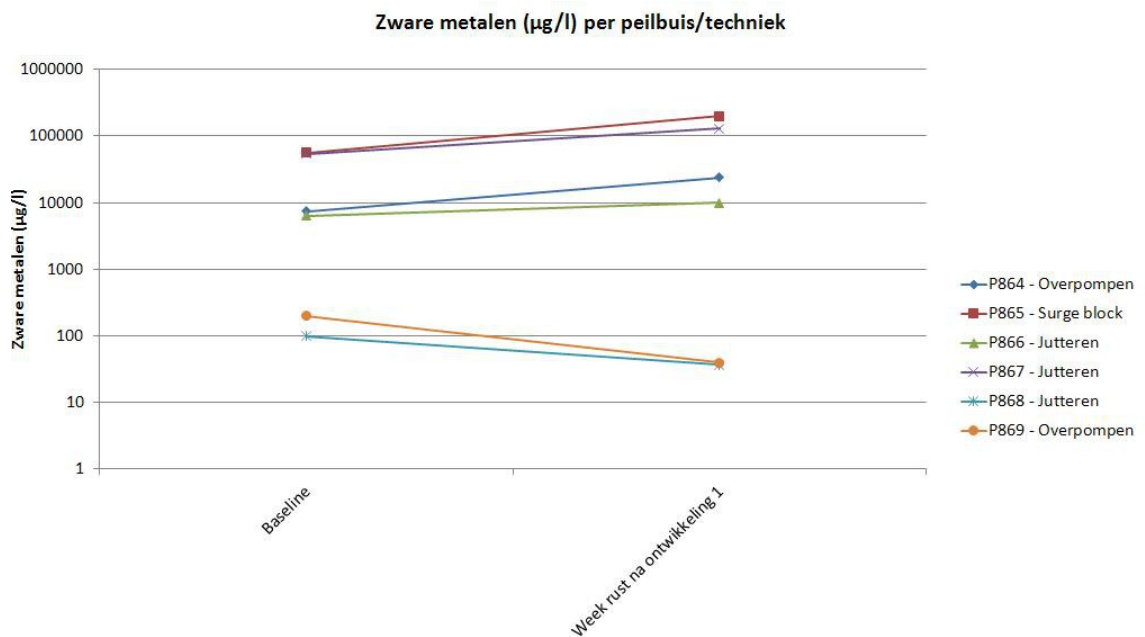
8.3.3 VOCI's



Figuur 51: VOCI-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek

De aangetroffen VOCI-concentraties zijn te beperkt om conclusies met betrekking tot de invloed van peilbuisontwikkelen te kunnen trekken (zie Figuur 51). In vergelijking met de concentraties een week later en op hetzelfde ogenblik in peilbuizen in de omgeving van P869, blijken de concentraties VOCI in deze peilbuis tijdens de baselinebemonstering veel te hoog. Dit kan mogelijk toegeschreven worden aan de aanwezigheid van bodemdeeltjes die mee naar beneden geboord zijn en waarop VOCI's geadsorbeerd zijn of de aanwezigheid van 'een druppel' puur product.

8.3.4 Zware metalen



Figuur 52: Concentraties zware metalen voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek (logaritmische schaal!)

Vrijwel de volledige concentratie aan zware metalen (zie Figuur 52) bestaat uit zink. Slechts in erg beperkte mate komen nog nikkel en chroom voor. De ondiepe peilbuizen (P864 tot P867) vertonen elk een stijgende trend qua zware metaalconcentraties. In de diepe peilbuizen wordt een daling aan concentraties waargenomen. Jutteren en overpompen werden zowel op diepe als ondiepe peilbuizen toegepast. De aangetroffen variatie lijkt dus veeleer gekoppeld aan variaties in het aquiferwater, dan aan de toegepaste ontwikkelingsmethode.

Aangezien de turbiditeit over de verschillende fasen heen door een daling gekenmerkt wordt, kan voor deze site geen verband gelegd worden tussen de concentratie zware metalen en minerale fractie in suspensie.

8.4 Conclusie veldtesten site 3

Techniek	• Diepe peilbuizen: ◦ Overpompen eenvoudigst + goedkoopst ◦ Onttrekt wel groter volume water
Toestroming	• Ontwikkeling heeft geen significant effect op toestroming
Fysico-chemie	• Ontwikkelingstype heeft geen significant effect • Bevestiging gekende natuurlijke variabiliteit parameters
Turbiditeit	• Turbiditeitsmetingen versus visuele inspectie ◦ Visuele inspectie 'helderheid' geeft goede indicatie van troebelheid en goede correlatie met effectieve meting • Voor de peilbuizen die ontwikkeld werden aan de hand van jutteren of 'mechanical surging' werd een daling in turbiditeit bij bemonstering waargenomen. De peilbuizen waarop louter aan een hoog debiet gepompt werd ter ontwikkeling, vertonen een toename qua turbiditeit. • Doorgedreven schoonpompen na plaatsing noodzakelijk!
Verontreiniging	• Geen invloed van filterkous • Geen duidelijke invloed van turbiditeit op zware metalen • Bevestiging gekende variabiliteit parameters binnen aquifer

9 Site 4 – Hasselt

9.1 Sitegegevens

9.1.1 Algemeen

De site is gelegen aan de kanaalzone in het noorden van Hasselt. De site is inactief, hoewel verschillende gebouwen gerelateerd aan de vroegere activiteiten op de site, nog aanwezig zijn. Er zijn geen saneringsactiviteiten aanwezig op de site.

9.1.2 (Hydro)geologie

De (hydro)geologie op de site kan samengevat worden zoals aangegeven in onderstaande Tabel 32.

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Beschrijving	Hydrogeologie
0,0-10,0	Quartair (Alluviale afzettingen)	Zeer fijn zand	Watervoerende laag
>10,0	Formatie van Boom	Klei	Scheidende laag

Tabel 32: bodemprofiel op site 4 te Hasselt

9.1.3 Verontreinigingssituatie

Binnen de testzone worden, op basis van voorgaande onderzoeken, ondiepe verontreinigingen met minerale olie, zware metalen, BTEX en naftaleen verwacht. Dieper worden verhoogde concentraties minerale olie, BTEX en naftaleen verwacht.

9.2 Veldwerkgegevens en interpretatie

9.2.1 Installatiefase

Naar analogie met de andere sites werden 4 ondiepe (tot 3,5 m-mv) en 2 diepe (tot 8 m-mv) peilbuizen geplaatst. In tegenstelling tot de andere sites zal één van de diepe peilbuizen wel aan de hand van het 'surge block' ontwikkeld worden, met behulp van een 'ja-knikker'. Er werd echter geopteerd geen diepe peilbuis voor overpompen te voorzien, aangezien de toestroming op de site erg slecht is.

Elk van de peilbuizen op site 4 werd machinaal geplaatst. Door het sterk kleihoudende karakter van de bodem, was het erg moeilijk en arbeidsintensief om de volledige boring door middel van een puls boring uit te voeren. Het gedeelte boven de filterstelling werd uitgevoerd aan de hand van een verbuisde volle avegaar, waarna de boring ter hoogte van de filterstelling verder gezet werd aan de hand van een puls boring. Op die manier kan op basis van boormethode geen onderscheid gemaakt worden met peilbuizen op de andere sites, die ook steeds door middel van een puls boring geplaatst werden.

Ondiepe peilbuizen P2003, P2005 en P2006 werden zonder filterkous afgewerkt. Ondiepe peilbuis P2004 werd daarentegen wel afgewerkt met een filterkous. Het filterscherm van elk van

deze peilbuizen loopt van 2,5 m-mv tot 3,5 m-mv. Het standaard filtergrind met fractie 1,0-1,6 mm werd gebruikt. Er werd geen slibvang geplaatst.

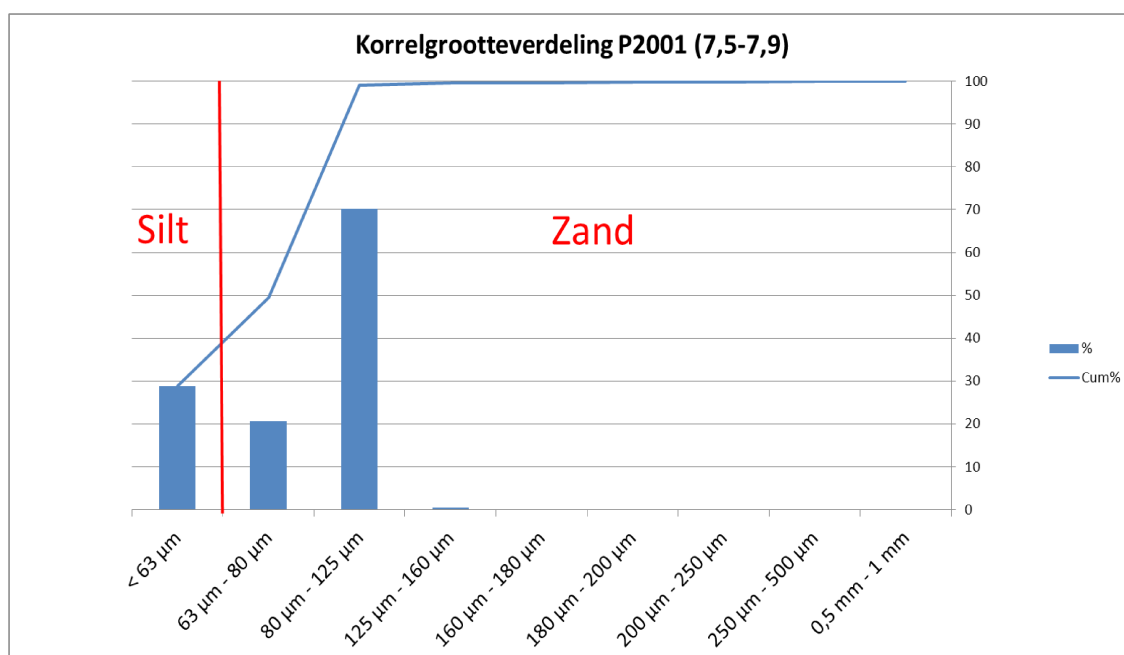
Peilbuizen P2001 en P2002 werden afgewerkt zonder filterkous met een filterstelling van 7 m-mv tot 8 m-mv en zonder slibvang. Ook voor deze peilbuizen werd een filtergrind van fractie 1,0-1,6 mm gebruikt.

Een samenvatting van de technische gegevens van elk van de peilbuizen wordt gegeven in Tabel 33. De boorbeschrijving van de peilbuizen is terug te vinden in Bijlage 4. In de ondiepe secties van elke peilbuis werd een sterke geur van koolwaterstoffen aangetroffen (zie Bijlage 4).

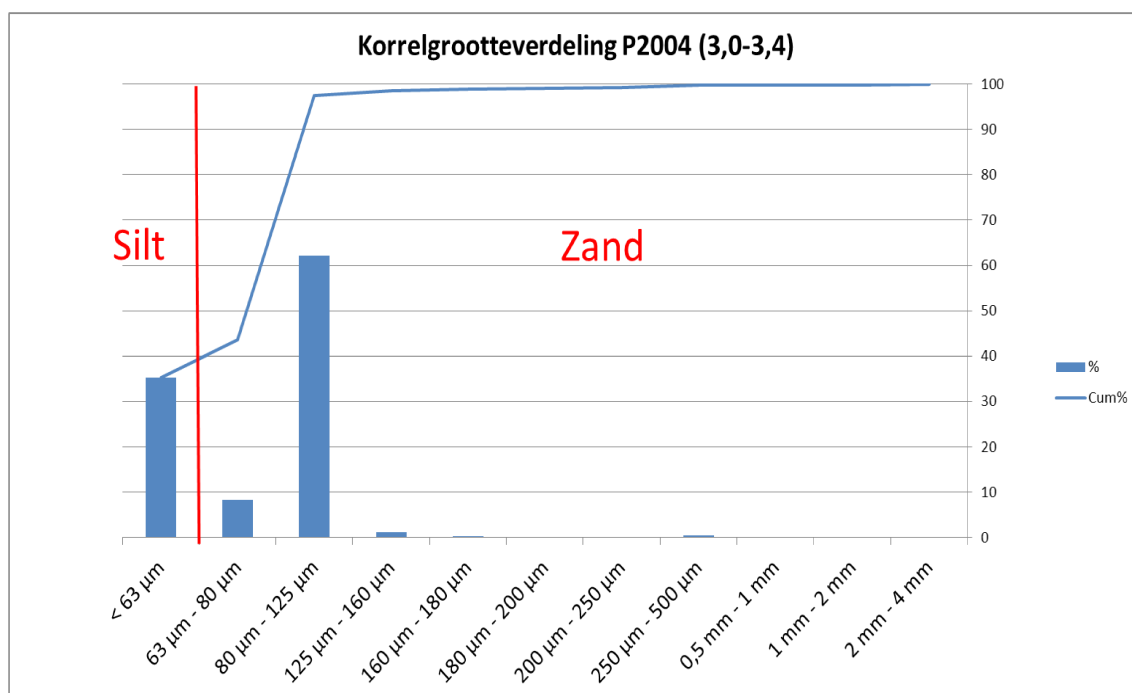
Ter hoogte van de filterstelling in peilbuizen P2001 en P2004 werd aan de hand van een steekbus een ongeroerd staal genomen, respectievelijk van 7,50 tot 7,90 m-mv en van 3,00 tot 3,40 m-mv, ter bepaling van de korrelgrootteverdeling. Het resultaat wees in beide gevallen (zie Figuur 53 en Figuur 54) op een sterk siltig fijn zand. Ondanks de beperkte ruimtelijke verspreiding van de ondiepe peilbuizen, wordt op basis van de boorbeschrijvingen aangenomen dat peilbuizen P2005 en P2006 gekenmerkt worden door een fijnere granulometrie. Voor de diepere peilbuizen kan het resultaat wel veralgemeend worden.

	Diepte (m-mv)	Slibvang (m)	Filter (m-mv)	Materiaal filter	Filtergrind (m-mv)	Korrelgrootte filtergrind (mm)	Buitendiameter / Binnendiameter Peilbuis (mm/mm)	Filterkous
P2001	8,00	Geen	7,00-8,00	HDPE	6,60-8,00	1,0-1,6	50/41	Nee
P2002	8,00	Geen	7,00-8,00	HDPE	6,50-8,00	1,0-1,6	50/41	Nee
P2003	3,50	Geen	2,50-3,50	HDPE	2,10-3,50	1,0-1,6	50/41	Nee
P2004	3,50	Geen	2,50-3,50	HDPE	2,00-3,50	1,0-1,6	50/41	Ja
P2005	3,50	Geen	2,50-3,50	HDPE	2,00-3,50	1,0-1,6	50/41	Nee
P2006	3,50	Geen	2,50-3,50	HDPE	2,10-3,50	1,0-1,6	50/41	Nee

Tabel 33: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 4 te Hasselt



Figuur 53: Korrelgrootteverdeling P2001 ter hoogte van de filterstelling (7,00-8,00 m-mv; staal 7,50-7,90 m-mv)



Figuur 54: Korrelgrootteverdeling P2004 ter hoogte van de filterstelling (2,50-3,50 m-mv; staal 3,00-3,40 m-mv)

9.2.2 Ontwikkelen van peilbuizen

	P2003	P2004	P2005	P2006
19-20/11/2012	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing	Plaatsing
9-10/01/2013	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutten (25x; 5 min rust; 25x) 4. Helderpompen (60 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutten (25x; 5 min rust; 25x) 4. Helderpompen (41 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Surge block (10 min, 9 l) 4. Rust (10 min) 5. Surge block (2 min; 5 l) 6. Helderpompen (17 liter)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutten (25x; 5 min rust; 25x) 4. Helderpompen (32 l)
30/01/2013	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust	LFS na week rust
	P2001	P2002		
19-20/11/2012	Plaatsing	Plaatsing		
9-10/01/2013	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Jutten (25x; 5 min rust; 25x) 4. Helderpompen (60 l)	1. Baseline LFS 2. Baseline parameters 3. Surge block (12 min) 4. Helderpompen (22 l)		
30/01/2013	LFS na week rust	LFS na week rust		

Tabel 34: Tijdsverloop veldwerkttest site 3 te Dendermonde

De verschillende fases van de veldtest en de onderlinge tijdsintervallen worden in onderstaande Tabel 34 samengevat.

De 6 peilbuizen werden een week na plaatsing bemonsterd zoals beschreven in de procedure CMA/1/A.2 ([6]) volgens het principe Low flow Sampling (LFS). Gedurende de bemonstering werden de parameters pH, EC, ORP en O₂ bepaald en werden stalen genomen voor analyse van de verontreinigingsparameters. Deze meetreeks wordt als nulmeting (referentieniveau) beschouwd.

De stalen van elk van de peilbuizen werden geanalyseerd op vluchtige aromaten (BTEX), naftaleen en minerale olie. Op het grondwater van de ondiepe peilbuizen, werden daarenboven zware metalen geanalyseerd.

Ondanks de aanwezigheid van een sterke geur tijdens plaatsing van de peilbuizen werden de onderzochte parameters slechts in erg beperkte mate aangetroffen in het grondwater.

Er werden geen slugtesten uitgevoerd op de peilbuizen te Hasselt.

9.2.2.1 Overpompen

Door de slechte toestroming in de peilbuizen was de overpompstechniek niet toepasbaar.

9.2.2.2 Surge block ('Mechanical surging')

P2002

De diepe peilbuis P2002 werd met behulp van een 'ja-knikker' ontwikkeld volgens de 'mechanical surging'-methode. In totaal werd gedurende 12 minuten ontwikkeld. Tijdens het helderpompen na ontwikkeling werd voornamelijk silt met een beperkte bijmenging van fijn zand en kleivlokken onttrokken.

P2005

De ondiepe peilbuis P2005 werd manueel ontwikkeld aan de hand van het 'surge block'. Tijdens een eerste ontwikkeling werd in 10 minuten 9 liter water onttrokken. Na een tiental minuten rust werd nogmaals ontwikkeld, waarbij in 2 minuten 5 liter water onttrokken werd. Tijdens het helderpompen nadien werd 17 l water en met voornamelijk silt en een verwaarloosbare hoeveelheid fijn zand onttrokken.

9.2.2.3 Jutten

P2001

Verdeeld over 2 blokken, waartussen een rustperiode van 5 minuten gerespecteerd werd, werd de druk 50 maal op- en afgebouwd. Tijdens het helderpompen nadien werd naast 60 l water ook een hoeveelheid silt met beperkte bijmenging van zand en kleivlokken onttrokken.

P2003

Verdeeld over 2 blokken, waartussen een rustperiode van 5 minuten gerespecteerd werd, werd de druk 50 maal op- en afgebouwd. Tijdens het helderpompen nadien werd naast 60 l water ook een hoeveelheid silt met een verwaarloosbare bijmenging van fijn zand onttrokken.

P2004

Verdeeld over 2 blokken, waartussen een rustperiode van 5 minuten gerespecteerd werd, werd de druk 50 maal op- en afgebouwd. Tijdens het helderpompen nadien werd naast 41 l water ook een hoeveelheid silt met een verwaarloosbare bijmenging van fijn zand onttrokken.

P2006

Verdeeld over 2 blokken, waartussen een rustperiode van 5 minuten gerespecteerd werd, werd de druk 50 maal op- en afgebouwd. Tijdens het helderpompen nadien werd naast 32 l water ook een hoeveelheid silt met een verwaarloosbare bijmenging van fijn zand onttrokken.

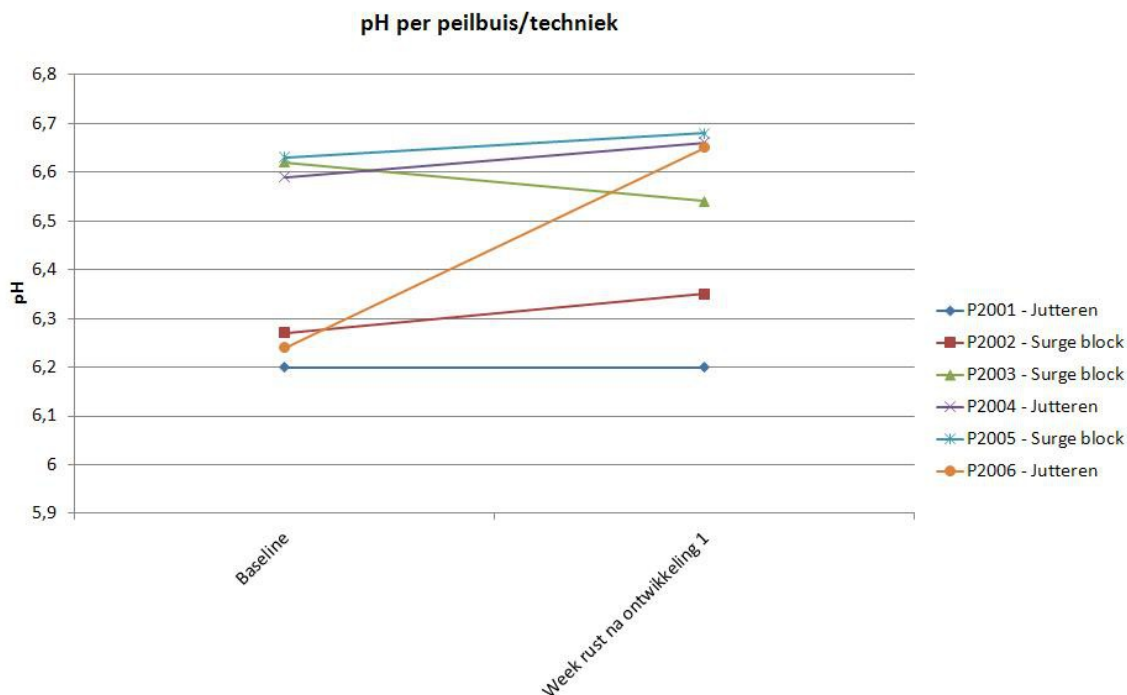
9.2.3 Evaluatie veldparameters

9.2.3.1 Fysico-chemie

pH

Enkel in peilbuis P2003 werd een daling waargenomen na ontwikkeling (zie Figuur 55). Aangezien peilbuizen P2002 en P2005 eveneens aan de hand van het 'surge block' ontwikkeld werden, kan geen eenduidig verband gelegd worden met de toepassing van deze ontwikkelingsmethode. Dit geldt evenmin voor de sterkere pH-stijging die peilbuis P2006 waargenomen werd, gezien de beperkte variatie in peilbuizen P2001 en P2004 die eveneens gejutterd werden.

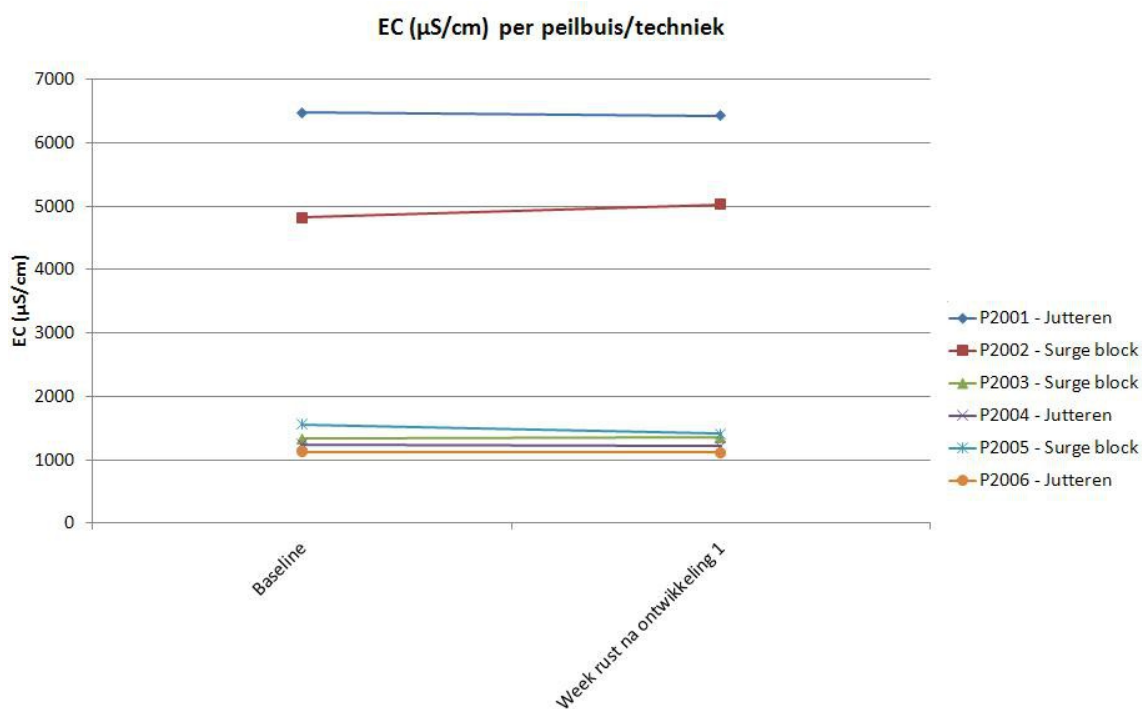
De grote verschillen tussen de peilbuizen zijn enkel gerelateerd aan de diepte van het filter.



Figuur 55: pH voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt

EC

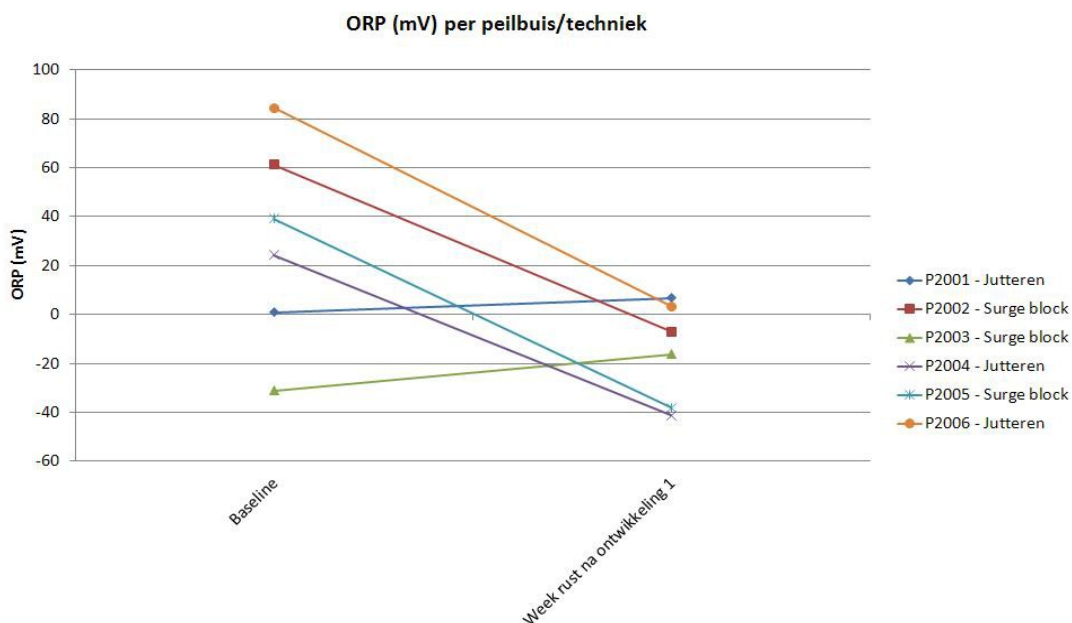
Er worden geen significante EC-variaties waargenomen in de peilbuizen van site 4 te Hasselt (zie Figuur 56). Het ontwikkelen van de peilbuizen heeft derhalve geen invloed gehad op de EC-waarde van het grondwater nabij de peilbuis.



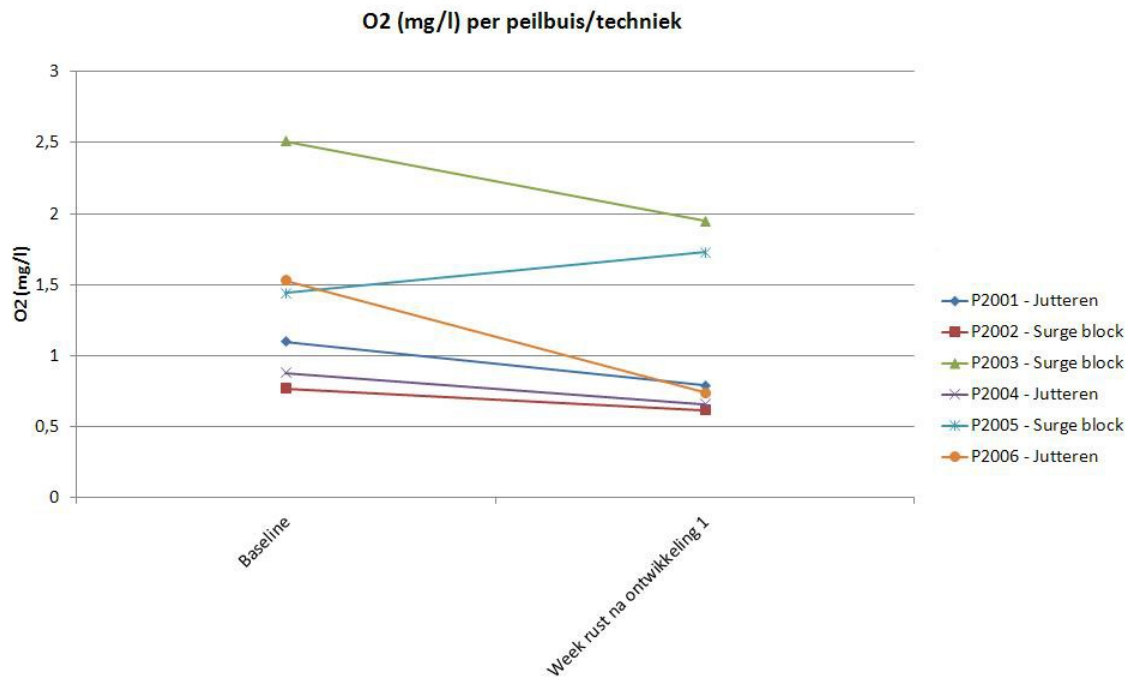
Figuur 56: EC (µS/cm) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt

Redox en zuurstofgehalte

De variaties qua oxido-reductiepotentiaal en zuurstofgehalte (zie Figuur 57 en Figuur 58) kunnen niet aan het ontwikkelen van de peilbuizen toegeschreven worden, aangezien peilbuizen die op eenzelfde manier ontwikkeld werden, geen eenduidige respons vertoonden na ontwikkeling.

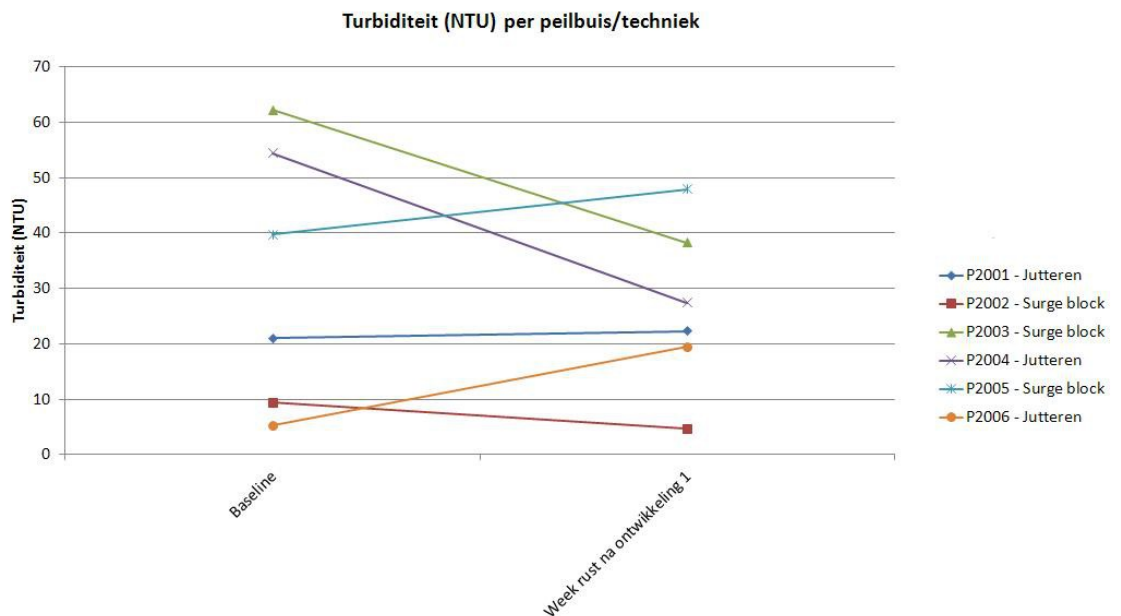


Figuur 57: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt



Figuur 58: O₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt

9.2.3.2 Turbiditeit



Figuur 59: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek

Hoewel beperkte variaties in turbiditeit aangetroffen worden (zie Figuur 59), lijkt er geen invloed van de ontwikkeling op de turbiditeit te bestaan.

Belangrijk hierbij, wat betreft de ondiepe peilbuizen P2005 en P2006, is dat hoewel de filterstelling volledig binnen fijnkorrelige geologie geplaatst werd, het filtergrind deels tot in een grindrijke geologie loopt. Mogelijk werd de ontwikkeling derhalve toegespitst op dit pakket met betere toestroming. Hoewel de LFS geacht wordt meer uit de aangrenzende lithologie te onttrekken, zeker in vergelijking met de agressievere ontwikkelingsmethodes die toegepast werden, is het niet duidelijk in hoeverre alsnog water uit de meer doorlatende grindhoudende pakketten onttrokken wordt. Het is derhalve niet mogelijk een duidelijk besluit te vormen met betrekking tot de invloed van het ontwikkelen op de turbiditeit.

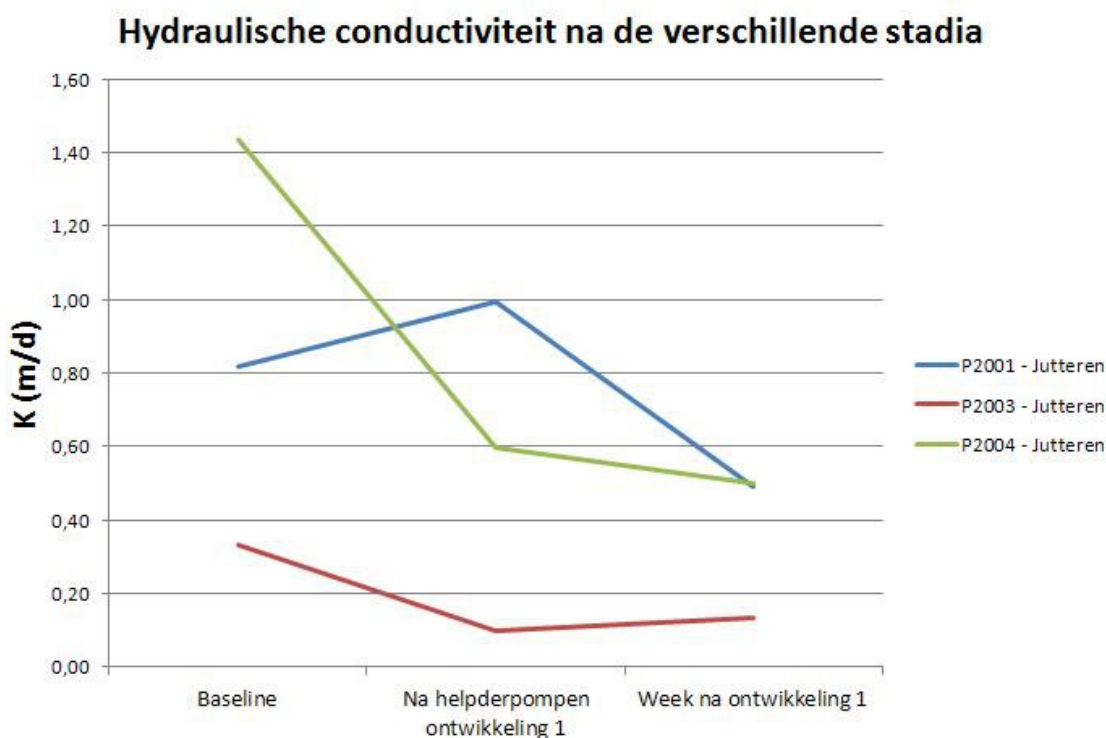
Er wordt ook geen verschil waargenomen tussen de peilbuis met filterkous en deze zonder.

9.2.3.3 Toestroming

Gezien de slechte toestroming in peilbuizen op deze site, werd geopteerd geen slugtests uit te voeren. Om toch in beperkte mate een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot de toestroming, wordt gebruik gemaakt van het bemonsteringsdebiet en bijhorende stabiele grondwaterdaling.

Voor peilbuizen P2001, P2003 en P2004 werd aan de hand van de formule van Dachler een inschatting van de hydraulische conductiviteit gemaakt ([13] en [14]). De formule van Dachler is van toepassing op peilbuizen waarvan de filter aan één van beide uiteinden begrensd wordt door een ondoorlatende laag. De ondiepe peilbuizen P2003 en P2004 worden elk onderaan begrensd door een kleipakket. De filterstelling van diepe peilbuis P2001 bevindt zich net onder een kleipakket.

De resultaten voor de drie peilbuizen, die elk aan de hand van jutteren ontwikkeld werden, worden weergegeven in Figuur 60. Het ontwikkelen van deze peilbuizen aan de hand van jutteren lijkt een eerder nadelig effect te hebben op de toestroming naar elk van de peilbuizen. Mogelijk vormden zich onder invloed van de aangelegde druk luchtbellen binnen het filtergrind, die zorgen voor een vermindering van de mobiele porositeit en derhalve de hydraulische conductiviteit.



Figuur 60: Hydraulisch conductiviteit voor de weerhouden peilbuizen voor elk van de stadia

Voor peilbuizen P2002, P2005 en P2006 zullen de bekomen resultaten niet in het rapport opgenomen worden, aangezien bij elk van deze peilbuizen binnen het filtergrind een beter doorlatende laag voorkomt, dan de lagen ter hoogte van de filterstelling (zie ook Bijlage 4). Het is derhalve niet duidelijk in hoeverre elk van deze pakketten verantwoordelijk is voor de toestroming van water en in hoeverre elk van deze pakketten beïnvloed wordt door de peilbuisontwikkeling. Daarnaast beïnvloeden eventuele aannames rond de peilbuisinstallatie en bijhorende keuze van formule in sterke mate de interpretatie.

Hoewel de formule van Dachler in principe niet toepasbaar is op de hydrogeologie nabij de peilbuisfilters, werden de LFS-bemonsteringgegevens alsnog aangewend om, zij het erg rudimentair, een inschatting van de toestroming naar de peilbuis toe te geven ([13] en [14]). Ook hier werd een daling van de toestroming waargenomen. Voor peilbuizen P2002 en P2005, die met behulp van het 'surge block' ontwikkeld werden, kan de verminderde toestroming eventueel verklaard worden door versmering van fijne fractie langsheen de filter, onder invloed van de ontwikkeling.

9.3 Laboratoriumanalyse en interpretatie

9.3.1 Minerale olie

Er werden geen verhoogde concentraties minerale olie aangetroffen.

9.3.2 BTEX

De verhoging qua BTEX-concentraties was erg beperkt tot onbestaande. Enkel voor P2001 werd de detectielimiet overschreden (1,1 µg/l). Er kan derhalve geen interpretatie van de invloed op BTEX-concentraties uitgevoerd worden.

9.3.3 Zware metalen

Er werden geen zware metaalanalyses uitgevoerd op de diepe peilbuizen.

De concentraties aan zware metalen in de ondiepe peilbuizen bleven echter beperkt tot een overschrijding van de detectielimiet in P2006 (37 µg/l bij de baseline; 53 µg/l een week na ontwikkeling), waardoor onmogelijk conclusies getrokken konden worden met betrekking tot de invloed van ontwikkelen en turbiditeit op de zware metalen.

9.4 Conclusie veldtesten site 4

Techniek	• Overpompen niet mogelijk omwille van slechte doorlatendheid • Geen significant verschil tussen jutteren en surge block
Toestroming	• Ontwikkeling heeft geen significant effect op toestroming
Fysico-chemie	• Ontwikkelingstype heeft geen significant effect • Bevestiging gekende natuurlijke variabiliteit parameters
Turbiditeit	• Turbiditeitsmetingen versus visuele inspectie ◦ Visuele inspectie 'helderheid' geeft goede indicatie van troebelheid en goede correlatie met effectieve meting
Verontreiniging	• Geen invloed van filterkous • Geen duidelijke invloed van turbiditeit op verontreiniging omwille van lage aangetroffen concentraties

10 Algemene conclusies veldtesten

Er werden 3 putontwikkelingstechnieken vergeleken: overpompen, jutteren en 'surge block'. Deze ontwikkelingsmethoden werden toegepast op peilbuizen die in het kader van bodemonderzoek standaard geplaatst worden, met klassieke boormethodes (puls, handmatig, ...). Er werden in voorliggende studie geen testen gedaan op injectieputten (die bijvoorbeeld in het kader van sanering worden geplaatst) noch op pompputten.

Op basis van de uitgevoerde ontwikkelingstesten op 4 verschillende sites op klassieke peilbuizen, worden volgende vaststellingen samengevat:

Betreffende ontwikkelingstechniek:

- De methode van ontwikkelen geeft geen (significant) andere resultaten noch naar turbiditeit of veldparameters, noch naar verontreiniging.
- De keuze van ontwikkelingstechniek wordt eerder bepaald als gevolg van doorlatendheid en de eenvoud van uitvoering:
 - als er voldoende water kan gepompt worden, wordt overpompen als meest eenvoudige en goedkope techniek beoordeeld
 - bij weinig doorlatende bodem, gaat voorkeur uit naar jutteren
 - bij diepe injectiefilters of pompputten zijn jutteren en gebruik van surge block mogelijk interessanter omwille van de beperkte hoeveelheid water dat overgepompt moet worden.

Betreffende het ontwikkelen:

- Ontwikkelen leidt niet per definitie tot betere permeabiliteit
- Een eerste keer ontwikkelen leidt tot een daling in turbiditeit (herstel tot natuurlijke niveau van voor de boorwerken)
- Een tweede keer ontwikkelen na x maanden leidt niet tot een ander beeld (deze test werd slechts uitgevoerd op 1 site)

Betreffende turbiditeit

- Turbiditeit is moeilijke parameter en heeft grote variabiliteit
- Visuele inspectie 'helderheid' geeft goede indicatie van troebelheid en goede correlatie met effectieve turbiditeitsmeting
- Filterkous heeft geen significant op turbiditeit
- Het onmiddellijk uitvoeren van de turbiditeitsmetingen, zoals ook steeds door de verschillende leveranciers van turbiditeitsmeters aangegeven wordt, is noodzakelijk. Dit impliceert ook dat een laboratoriumanalyse op turbiditeit niet zinvol geacht wordt.
- Een turbiditeitsmeter is een hoge kost voor aanschaf voor alle veldwerkploegen. Bij staalname volgens CMA kunnen ook de andere veldparameters gebruikt worden om te bepalen wanneer een LFS kan genomen worden.
- Op basis van de beperkte dataset, wordt in een aantal gevallen een correlatie gezien tussen turbiditeit en de concentratie aan MO en zware metalen.

Betreffende peilbuisplaatsing

Uit de observaties omtrent de turbiditeit over de verschillende fases van de veldtesten, bleek:

- Doorgedreven schoonpompen van pas geplaatste peilbuizen noodzakelijk is
- Doorgedreven schoonpompen de noodzaak tot ontwikkelen, althans wat betreft turbiditeit, kan wegnemen

Daarnaast kan nog vermeld worden dat het vrijzetten van turbiditeit in belangrijke mate vermeden kan worden door een correcte keuze qua boortechniek (op basis van geologie, peilbuisvereisten,...)

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Aangezien op basis van voorliggende studie voor klassieke peilbuizen in het kader van bodemonderzoek, de ontwikkelingsmethode “overpompen” momenteel als meest eenvoudige methode naar voor komt, is het aangewezen na te gaan of in bepaalde gevallen de vroegere klassieke grondwaterstaalname (high flow) niet kan behouden worden. Op deze manier is immers geen extra mobilisatie naar de site noodzakelijk voor het uitvoeren van de ontwikkeling en kunnen voor klassieke onderzoeken kosten bespaard worden.

Voor een vervolg onderzoek lijkt het ons ondermeer aangewezen om naast bijkomende testen op methoden voor ontwikkelen van peilbuizen eveneens een vergelijking te maken tussen high flow (plaatsen peilbuis + staalname) en low flow (plaatsen peilbuis, ontwikkelen via overpompen + staalname) waarbij bijvoorbeeld volgende sequentie aanvullend kan uitgevoerd worden:

- Proper pompen (high flow) + direct staalname
- Week later staalname zonder overpompen
- 4 maanden later eerst LFS en dan high flow

Bijlage 1: Lijst van tabellen

Tabel 1: Samenvattend overzicht overpompen	16
Tabel 2: Samenvattend overzicht washing/backwashing/rawhiding/rondpompen	19
Tabel 3: Samenvattend overzicht jetting + pompen	22
Tabel 4: Samenvattend overzicht airlifting + pompen	25
Tabel 5: Samenvattend overzicht jutteren (surging met luchtdruk)	27
Tabel 6: Samenvattend overzicht 'mechanical surging'	30
Tabel 7: Samenvattend overzicht knikkerpuls	32
Tabel 8: Types en toepassing frequente chemische ontwikkelingsmethodes	33
Tabel 9: Samenvattend overzicht chemische ontwikkeling	35
Tabel 10: Samenvatting voor- en nadelen van de verschillende ontwikkelingstechnieken	37
Tabel 11: specificaties en precisie van de aangewende meettoestellen	46
Tabel 12: Algemene planning veldwerktesten	49
Tabel 13: Bodemprofiel op site 1 te Antwerpen	51
Tabel 14: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 1 te antwerpenOntwikkelen van peilbuizen	53
Tabel 15: Tijdsverloop peilputontwikkeling op site 1 te Antwerpen	53
Tabel 16: Toegepaste ontwikkelingsmethode per peilbuis	54
Tabel 17: Turbiditeitswaarden (NTU) zoals opgemeten tijdens de verschillende stadia van de veldwerktest	60
Tabel 18: Transmissiviteitswaardes (m^2/dag) voor de verschillende fases/peilbuizen op site 1 te Antwerpen	64
Tabel 19: Conclusies veldtesten site 1	69
Tabel 20: Bodemprofiel op site 2 te Vilvoorde	71
Tabel 21: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 2 te Vilvoorde	72
Tabel 22: Tijdsverloop veldwerktest site 2 te Vilvoorde	76
Tabel 23: Toegepaste ontwikkelingsmethode per peilbuis	76
Tabel 24: Samenvatting ontwikkeling P9001-16 volgens mechanical surging met behulp van een 'ja-knikker'	78
Tabel 25: Interpretatie van de toestromingtestjes, uitgevoerd tijdens de ontwikkeling van peilbuis P9001-16, aan de hand van de formule van Dachler	83
Tabel 26: Transmissiviteitswaardes voor de verschillende fases/peilbuizen op site 2 te Vilvoorde	84
Tabel 27: Bodemprofiel op site 3 te Dendermonde	89
Tabel 28: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 3 te Dendermonde	91
Tabel 29: Tijdsverloop veldwerktest site 3 te Dendermonde	92
Tabel 30: Hydraulische conductiviteitswaardes voor de fase/peilbuizen op site 3 te Dendermonde die volgens Bouwer-Rice geanalyseerd werden. ('-' Er werd geen slugtest uitgevoerd)	100
Tabel 31: Transmissiviteitswaardes voor de verschillende fases op peilbuis P869 die volgens Theis geanalyseerd werden (*) Resultaat onbetrouwbaar omwille van onregelmatige onttrekking)	101
Tabel 32: bodemprofiel op site 4 te Hasselt	105
Tabel 33: Technische gegevens van de geplaatste peilbuizen op site 4 te Hasselt	106
Tabel 34: Tijdsverloop veldwerktest site 3 te Dendermonde	107

Bijlage 2: Lijst van figuren

Figuur 1: Schematisch overzicht jetting-spuitskop ([4])	20
Figuur 2: Invloed filteropeningen op jetting ([4])	21
Figuur 3: Principe airlifting ([4])	23
Figuur 4: Typevoorbeeld 'surge block' ([4])	28
Figuur 5: Ontwerp 'Surge Block' met hierop bevestigd een knikkerpuls ter afpompings van water en vrijgezet slib	47
Figuur 6: Tweede ontwerp van het 'Surge Block'	47
Figuur 7: Kopstuk voor peilbuisontwikkeling door middel van jutteren	48
Figuur 8: Korrelgrootteverdeling P-O4 ter hoogte van de filterstelling (3,15-5,15 m-mv; staal 4,00-4,20 m-mv)	52
Figuur 9: Opgepompt water tijdens overpompen van peilbuis P-O3 op site 1 te Antwerpen	54
Figuur 10: Opgepompt water tijdens 'Mechanical Surging' in peilbuis P-O4 op site 1 te Antwerpen	55
Figuur 11: Zand onttrokken tijdens de eerste toepassing van 'mechanical surging' in P-O4 (foto in emmer genomen)	56
Figuur 12: pH-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	58
Figuur 13: EC-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	58
Figuur 14: ORP-waardes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	59
Figuur 15: O ₂ -gehaltes voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	59
Figuur 16: Turbiditeitswaarden zoals opgemeten tijdens de verschillende stadia van de veldwerkttest (logaritmische schaal; exclusief meetwaardes onmiddellijk na helderpompen)	61
Figuur 17: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor een staal uit P-O2	63
Figuur 18: Beperkte test wijziging waarde turbiditeitsmetingen (P-O1)	63
Figuur 19: Concentraties minerale olie en turbiditeit voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	65
Figuur 20: PAK-concentratie voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	66
Figuur 21: Concentratie BTEX voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	67
Figuur 22: Zinkconcentraties en turbiditeit voor de verschillende peilbuizen/technieken	68
Figuur 23: Korrelgrootteverdeling P9002-6 ter hoogte van de filterstelling (9,00-10,00 m-mv; staal 10,00-10,20 m-mv)	73
Figuur 24: Korrelgrootteverdeling P9002-6 ter hoogte van de filterstelling (4,00-6,00 m-mv; staal 6,00-6,20 m-mv)	73
Figuur 25: Korrelgrootteverdeling P9001-6 ter hoogte van de filterstelling (14,00-15,00 m-mv; staal 14,50-15,00 m-mv)	74
Figuur 26: Gemotoriseerde kogelkleppomp ('ja-knikker')	75
Figuur 27: pH voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde	80
Figuur 28: EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde	80
Figuur 29: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde	81
Figuur 30: O ₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 2 te Vilvoorde	81
Figuur 31: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek	82
Figuur 32: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor een staal uit P9001-6 en P9001-10	83
Figuur 33: Concentraties minerale olie voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	85
Figuur 34: Minerale olie en turbiditeit voor peilbuizen P9001-6 en P9003-6	85
Figuur 35: BTEX-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis	86
Figuur 36: VOCl-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	86
Figuur 37: concentraties zware metalen voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	87
Figuur 38: Korrelgrootteverdeling voor P866 ter hoogte van de filterstelling (2,24-4,24 m-mv; staal 3,00-3,20 m-mv)	91
Figuur 39: Korrelgrootteverdeling P868 ter hoogte van de filterstelling (4,95-5,95 m-mv; staal 5,00-6,00 m-mv)	91
Figuur 40: Opgepompt water tijdens overpompen van peilbuis P869 op site 3 te Dendermonde	93
Figuur 41: Fijn zand en slib dat tijdens het helderpompen van P866 onttrokken werd	94

Figuur 42: Zand dat tijdens het helderpompen van P868 onttrokken werd	95
Figuur 43: Tijdelijke bovengrondse afwerking van een peilbuis met schroefdraaduiteinde	95
Figuur 44: pH voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde	96
Figuur 45: EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde	97
Figuur 46: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde	97
Figuur 47: O ₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 3 te Dendermonde	98
Figuur 48: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek (logaritmische schaal!)	98
Figuur 49: Waarde turbiditeitsmetingen in functie van de tijd voor stalen van P864 en P868	99
Figuur 50: Waarde turbiditeitsmetingen in 4 stalen van P864 na bewaring (30 minuten) onder verschillende omstandigheden	100
Figuur 51: VOCl-concentraties voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek	101
Figuur 52: Concentraties zware metalen voor de verschillende stadia per peilbuis/techniek (logaritmische schaal!)	102
Figuur 53: Korrelgrootteverdeling P2001 ter hoogte van de filterstelling (7,00-8,00 m-mv; staal 7,50-7,90 m-mv)	106
Figuur 54: Korrelgrootteverdeling P2004 ter hoogte van de filterstelling (2,50-3,50 m-mv; staal 3,00-3,40 m-mv)	107
Figuur 55: pH voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt	109
Figuur 56: EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt	110
Figuur 57: ORP (mV) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt	110
Figuur 58: O ₂ (mg/l) voor de verschillende fasen per peilbuis op site 4 te Hasselt	111
Figuur 59: Turbiditeit voor de verschillende fasen per peilbuis/techniek	111
Figuur 60: Hydraulisch conductiviteit voor de weerhouden peilbuizen voor elk van de stadia	112

Bijlage 3: Bibliografie

- 1 Anoniem. (2009). Monitoring well development, maintenance and redevelopment. In Anoniem, Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations (pp. 1-16). Columbus, Ohio: Ohio Environmental Protection Agency.
- 2 Anoniem. (????). Well Development. Geraadpleegd op 17/01/2012 via <http://welldrillingschool.com/courses/pdf/WellDevelopment.pdf>.
- 3: Anoniem, RCRA Groundwater monitoring - Technical Guidance Document, 1992
- 4 Driscoll (1986). Groundwater and Wells. St. Paul, Minnesota: Johnson Screens.
- 5: Van Beek C.G.E.M, Vasak L., Nieuwaal A., Stefess G. C. en Bakker L. M. M., Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen, 1998
- 6 OVAM. (2012). Compendium voor monsterneming en analyse (CMA) : Ministerieel goedgekeurde versie van 18 januari 2012 . In , (pp.).Mechelen: OVAM.
- 7: Fuhrman, R., Operation and maintenance of injection and extraction wells at HTRW site, 2000
- 8: Hauber E., Face R. en Wilson K., Well Development – Water Jetting - Standard Operating Procedure, 2010
- 9 Payne F. C., Quinnan J A. en Potter S. T. (2008). Remediation Hydraulics. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- 10 Aller L., Bennett T. W. en Hackett G. (1991). Handbook of suggested practices for the design and installation of groundwater monitoring wells. Columbus, Ohio: EPA.
- 11: Anoniem, Waterbehandeling Fresh Flow - grondwaterwinning in topconditie, ????
- 12: Anoniem, Standard Operation Procedure - Monitoring Well Development, 2001
- 13 Aragon-Jose A. T. en Robbins G. A.. (2011). Low-flow hydraulic conductivity tests at wells that cross the water table. Groundwater, , nr. Vol 49, Nr 3, 426-431.
- 14 Aragon-Jose A. T. en Robbins G. A.. (2009). Determining hydraulic conductivity using pumping data from low-flow sampling. Groundwater, , nr. Vol 47, Nr 2, 271-276.

Bijlage 4: Boorbeschrijvingen

- Site 1 te Antwerpen
- Site 2 te Vilvoorde
- Site 3 te Dendermonde
- Site 4 te Hasselt