


Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied

Fase 1  Studie naar technische en financiële haalbaarheid

Titel

Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie	1230079-001	1230079-001-BGS-0006	33 excl.bijlagen

Samenvatting

Dit rapport presenteert de resultaten van een bureaustudie naar de technische en financiële haalbaarheid van grootschalige toepassing van het concept actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied. Actief grondwaterpeilbeheer is een gerichte inspanning, zonder resultaatsverplichting, om een gewenst grondwaterpeil te realiseren, met een drainage-infiltratieleiding in verbinding met het oppervlaktewater. Actief grondwaterpeilbeheer is er op gericht om schades door grondwateroverlast en –onderlast te voorkomen of te beperken. Met actief grondwaterpeilbeheer wordt door de overheid de grondwaterstand in het openbare terrein zo goed mogelijk geregeld.

In het onderzoek staan acht praktijkvoorbeelden van actief grondwaterpeilbeheer centraal. Deze praktijkvoorbeelden tonen aan dat het concept haalbaar is in uiteenlopende situaties voor wat betreft bodemopbouw, dichtheid van stedelijk gebied, hydrologie, methode van wateraanvoer, en beoogde effecten. Gewenste grondwaterpeilen in openbaar gebied zijn haalbaar en er wordt een werkbare randvoorwaarde geboden aan private eigenaren om zelf de beoogde grondwaterstanden te realiseren. Het is hierbij belangrijk dat actief grondwaterpeilbeheer als gelijkwaardig aan andere openbare werken wordt beschouwd; dit is een voorwaarde voor een adequaat ontwerp en uitvoering. Deze succesfactoren zijn grotendeels schaalafhankelijk en spelen daarom geen rol bij de stap van lokaal naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer. Aanbevolen wordt om de stedelijke watervraag die actief grondwaterpeilbeheer in perioden van droogte genereert, mee te nemen als standaardcomponent van regionale en landelijke waterbeheerstudies.


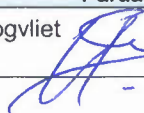
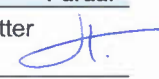




In gebieden gevoelig voor maaiveldddaling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden levert actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met rioolvervanging in openbaar gebied meer op dan het kost. Dit geldt in het bijzonder in toekomstige nieuwbouwwijken, door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur. Wanneer de baten gerelateerd aan funderingsschade worden meegerekend, levert actief grondwaterpeilbeheer altijd veel meer op dan het kost.

Actief grondwaterpeilbeheer moet bij iedere rioolvervanging worden overwogen. Wordt dit niet gedaan, dan doet de volgende kans zich pas op zijn vroegst over enkele decennia voor. In de tussenliggende periode is al veel schade te vermijden met actief grondwaterpeilbeheer, mede in het licht van klimaatverandering.

Titel

Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie	1230079-001	1230079-001-BGS-0006	33 excl. bijlagen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mei 2017	drs. Jelle Buma		drs. Marco Hoogvliet		dr. Henriëtte Otter	
	mei 2017	drs. ing. Maarten Kuiper (Wareco) ir. Stan Geurts van Kessel (Wareco, tot febr. 2017)				ir. Peter den Nijs (Wareco)	
	mei 2017	Wouter Kooijman MSc. (Fugro)		Ing. Volkert Lubbers (Fugro) Ir. Maarten Profitlich (Fugro)			

Status
definitief

Opdrachtgever:

Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie / Ministerie van Infrastructuur en Milieu met aanvullende financiering vanuit het Uitvoeringsprogramma Bodemconvenant

Begeleidingscommissie:

drs. Han Frankfort (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)
ing. Tommy Bolleboom (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)
ir. Dick de Jong (Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek)
drs. Jeroen Ponten (Waternet, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)
mr. Ariane Tuinenburg-Jansen (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)

Inhoud

1	Aanleiding en doelstelling	1
1.1	Aanleiding en probleemstelling	1
1.2	Doelstelling	5
1.3	Fasering en afbakening onderzoek	5
1.3.1	Fasering beantwoording onderzoeksvragen	5
1.3.2	Aandacht voor beperking maaiveldddaling in openbaar terrein	6
1.4	Projectorganisatie	7
1.5	Werkwijze: 8 praktijkvoorbeelden centraal	7
2	Analyse	9
2.1	De praktijkvoorbeelden	9
2.1.1	Gouda (Nieuwe Haven)	9
2.1.2	Dordrecht (Land van Valk)	9
2.1.3	Amsterdam (Vondelpark)	10
2.1.4	Schiedam (De Drie Lanen)	11
2.1.5	Gouderak	11
2.1.6	Amsterdam (Argonautenstraat)	12
2.1.7	Haarlem (Leidsebuurt)	12
2.1.8	Veenweidegebied Fryslân	13
2.1.9	Algemene beschouwing, leerpunten	14
2.1.10	Te verwachten vragen (en antwoorden daarop)	15
2.2	Wat zijn succes- en faalfactoren?	17
2.2.1	Succesfactoren bij ontwerp en aanleg	17
2.2.2	Succesfactoren met betrekking tot beheer en onderhoud	18
2.2.3	Faalfactoren bij aanleg en onderhoud	18
2.2.4	Ervaringen met drainage volgens andere onderzoeken	18
2.3	Van lokaal naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer: conclusie technische haalbaarheid en effecten (onderzoeksvragen a en b)	19
2.4	Kosten en baten (Onderzoeksvraag c)	20
2.4.1	Kosten	20
2.4.2	Baten (inleiding)	21
2.4.3	Baten openbaar gebied : 1. rioleringszorg	21
2.4.4	Baten openbaar gebied: 2. wegbeheer	21
2.4.5	Wordt maaiveldddaling vermeden met actief grondwaterpeilbeheer?	22
2.4.6	Baten grotendeels voor particulieren: 1. Funderingen	23
2.4.7	Baten voor particulieren: 2. Grondwateroverlast	24
2.4.8	Niet-gekwantificeerde baten.	24
2.4.9	Vergelijking kosten en baten	24
2.5	Waar en wanneer actief grondwaterpeilbeheer invoeren?	25
2.5.1	Waar actief grondwaterpeilbeheer invoeren?	25
2.5.2	Op welke termijn actief grondwaterpeilbeheer invoeren?	26
2.6	Beantwoording onderzoeksvragen	26
3	Conclusies en aanbevelingen	29
3.1	Conclusies	29
3.2	Aanbevelingen	29

A	Projectbeschrijvingen praktijkvoorbeelden	A-1
B	Vergelijkend overzicht praktijkvoorbeelden	B-1
C	Indicatieve zettingsberekeningen	C-1

1 Aanleiding en doelstelling

1.1 Aanleiding en probleemstelling

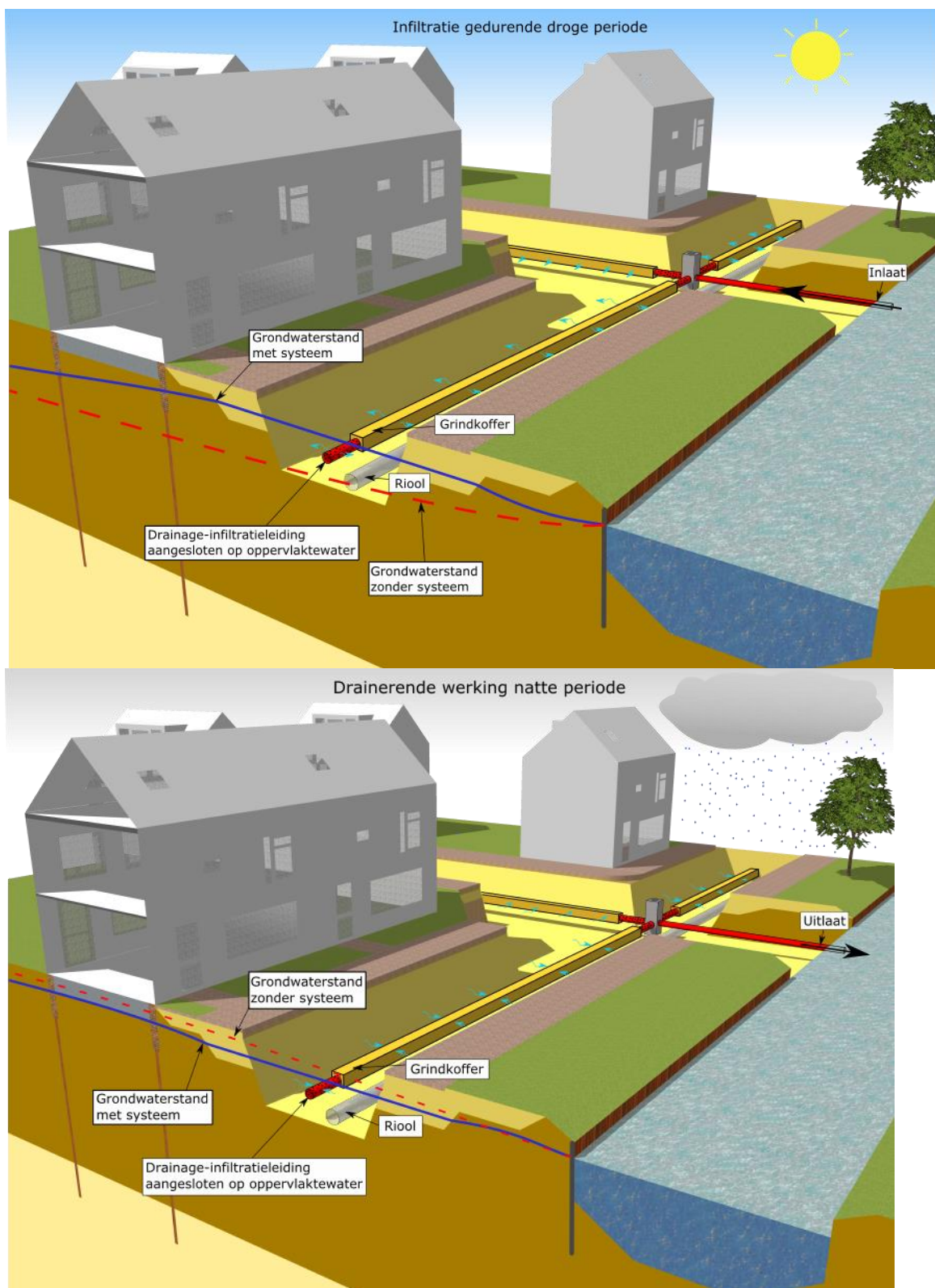
Uit onderzoek blijkt dat wateroverlast en droogte potentieel kunnen leiden tot miljardenschades aan gebouwen en infrastructuur. Klimaatverandering kan de schade door grondwateronderlast (als gevolg van maaiveldvaling en droogstand van houten paalfunderingen) en grondwateroverlast (als gevolg van schimmelvorming, optrekkend vocht) vergroten en vaker doen optreden¹. In de Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie heeft het Deltaprogramma dan ook voorstellen opgenomen om de ruimtelijke inrichting van Nederland klimaatbestendig en waterrobuust te maken. De voorliggende rapportage beschrijft de mogelijke bijdrage daaraan van één specifieke maatregel: actief grondwaterpeilbeheer.

Actief grondwaterpeilbeheer wordt in de context van deze rapportage gedefinieerd als een gerichte inspanning om een gewenst grondwaterpeil te realiseren, door water aan te voeren in droge perioden en water af te voeren in natte perioden. Actief grondwaterpeilbeheer wordt gerealiseerd met behulp van een eenvoudige drainage-infiltratieleiding die in directe verbinding staat met het oppervlaktewater (Figuur 1). Kenmerkend is het zogenaamde 'instelniveau', dat is het streefpeil van het grondwater waarop het leidingsysteem is ingesteld. Actief grondwaterpeilbeheer is erop gericht om zowel grondwateroverlast als –onderlast (verzakkingen, funderingsschade, groenschade) te voorkomen of te beperken; als inspanning zonder resultaatsverplichting. Met actief grondwaterpeilbeheer wordt door de overheid de grondwaterstand in het openbare terrein geregeld. Private eigenaren kunnen, net als bij de regenwater- en afvalwaterriolering, een aansluiting aanvragen op het systeem voor actief grondwaterpeilbeheer. Zo kan dit systeem aan private eigenaren een effectieve randvoorwaarde bieden om op particulier terrein de grondwaterstand te regelen.

Actief grondwaterpeilbeheer draagt aldus bij aan het realiseren van de in de Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie vastgelegde ambitie dat Nederland in 2050 zo goed mogelijk klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht².

¹ Deltares (2012) *Schades door watertekorten en –overschotten in stedelijk gebied. Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. Deltares rapport 1205463-000-BGS-0003; Planbureau voor de Leefomgeving (2016) Balans van de Leefomgeving 2016 - Richting geven – Ruimte maken. PBL-publicatienummer: 1838.*

² *Deelprogramma Nieuwbouw en herstructurering (2015) Synthesedocument. Achtergronddocument bij Deltaprogramma 2015.*



Figuur 1. Principe actief grondwaterpeilbeheer, ter vermindering van schade door grondwateronderlast (boven) en grondwateroverlast (onder).

Er zijn diverse aanwijzingen voor de kansrijkheid van actief grondwaterpeilbeheer. Successen worden geboekt met actief grondwaterpeilbeheer bij vooral kleinschalige projecten, waarin op perceel-, straat- of buurniveau infiltratiesystemen functioneren die het grondwater aanvullen en/of afvoeren. Diverse van die projecten zijn in Nederland reeds uitgevoerd en als succesvol beoordeeld. Verder wijzen proeven met onderwaterdrainage/infiltratie in het veenweidegebied op mogelijkheden en positieve effecten van grondwaterpeilbeheer via verminderde bodemdaling en baten die de kosten te boven gaan³.

Tot dusver is er relatief weinig aandacht voor actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied, vergeleken met de aandacht die bijvoorbeeld uitgaat naar het opvangen van (extreme) neerslag. Bezien vanuit de schaderisico's is dat opvallend. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door gebrek aan kennis, zichtbaarheid, ervaring, en (financiële) middelen, of omdat men er niet in gelooft, of omdat men denkt dat het technisch en financieel niet haalbaar is. Ook bestaat er mogelijk bij verschillende partijen angst voor schadeclaims, die bij omarming van actief grondwaterpeilbeheer zouden kunnen voortvloeien uit het niet realiseren van een gewenst grondwaterregime. Kort gezegd lijken koudwatervrees en onbekendheid met het concept de belangrijkste oorzaken van de tot nu toe geringe aandacht voor actief grondwaterpeilbeheer.

De hiervoor beschreven probleemanalyse vormt voor het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) aanleiding voor het uitzetten van de onderzoeksvraag 'Wat is de haalbaarheid van grootschalige invoering van actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied' bij Deltares, Fugro en Wareco. Met grootschalig wordt bedoeld: op buurt- of wijkniveau of zo mogelijk nog een hoger schaalniveau.

Grootschalige invoering van het concept actief grondwaterpeilbeheer biedt perspectief op het realiseren van een gewenst grondwaterpeil op buurt- of wijkniveau of hoger. Dit kan op zijn beurt grote voordelen hebben (Figuur 2):

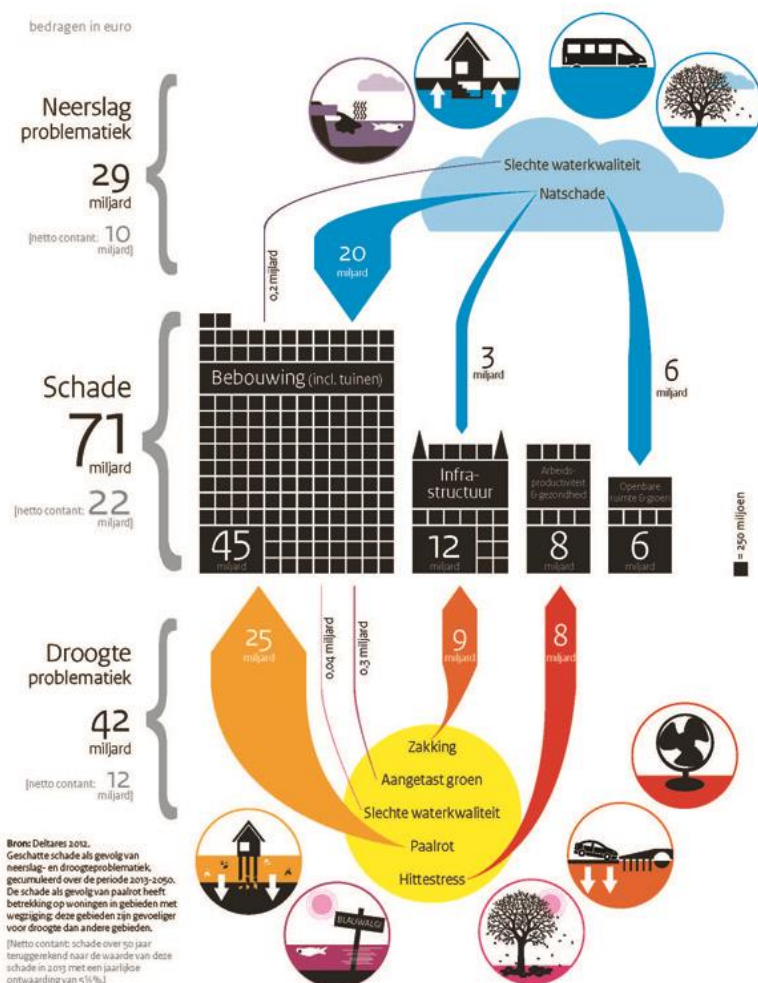
- Minder maaiveldddaling en funderingsschade in het openbaar gebied, omdat het grondwater op een hoger niveau wordt gehouden (door infiltratie). Daardoor minder verschildzetting en daaruit voortvloeiende schade aan wegen, pleinen, stoepen, ondergrondse infrastructuur als kabels en leidingen en riolering (minder onderhoud en dus minder hinder), en openbare gebouwen;
- Als gevolg van het beperken van maaiveldddaling ook minder kans op schade door wateroverlast in laaggelegen terreinen tijdens hevige regenval;
- Actief grondwaterpeilbeheer kan worden gecombineerd met berging en infiltratie van regenwater in de vorm van een DIT-riool (Drainage/Infiltratie/Transportriool). Een DIT-riool is een geperforeerde hemelwaterafvoerbuisc in verbinding met het oppervlaktewater. Door de perforaties kan het tevens als drainage- of infiltratievoorziening dienen. Een praktijkvoorbeeld van de toepassing van een DIT-riool in combinatie met waterdoorlatende bestrating wordt in dit rapport besproken (Argonautenstraat, Amsterdam). Een ander voorbeeld is een wijk in Alkmaar, waar het DIT-riool onder de grondwaterstand is aangelegd, in combinatie met infiltratiekragen boven de grondwaterstand, voor de tijdelijke berging van regenwater⁴. Een dergelijke

³ Akker, J. van den; R. Hendriks, *Hogere grondwaterstanden voor veenweiden*, in: *Bodem*, nr. 6, december 2014; Deltares (2013) *Naar een bestendige stedelijke waterbalans*. Deltares rapport 1206329-000-BGS-0013; KCAF, *Grondwateraanvulling voor funderingsbehoud, een inspiratieboekje met voorbeelden uit de praktijk*, 2014.

⁴ Rus M (2013) *Infiltratie ook oplossing voor Laag-Nederland*. *Land + Water* nr. 4, april 2013

- gecombineerde maatregel kan zowel grondwaterover- en onderlast als wateroverlast als gevolg van hevige neerslag voorkomen;
- Kansen voor private eigenaren om maaiveldaling en funderingsschade door middel van infiltratie te beperken, doordat de gemeente aan de perceelgrens randvoorwaarden voor grondwaterregulering faciliteert;
 - Minder grondwateroverlastschade aan gebouwen, infrastructuur en groen als gevolg van grondwaterstijging in natte perioden;
 - Minder schade aan groen betekent ook minder beperking van de verdamping, en daardoor minder kans op hittestress;
 - Grotere robuustheid tegen klimaatverandering, met enerzijds meer regenval in de winter, en anderzijds langere droogtes en zwaardere buien in de zomer. Niet alleen de hoge en lage grondwaterstanden door de huidige klimaatschommelingen worden verminderd, extremere grondwaterstandfluctuaties door klimaatverandering in de toekomst worden ook verminderd.

De Klimaatbestendige stad Schades tot 2050 bij ongewijzigd beleid



Figuur 2. Schades door droogte en wateroverlast in stedelijk gebied. Deze schades kunnen worden beperkt met grootschalig actief grondwaterpeilbeheer. Bron: Infographic Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering.

1.2 Doelstelling

Om de partijen die de grootschalige invoering van het concept actief grondwaterpeilbeheer kunnen bewerkstelligen van de genoemde voordelen te overtuigen, moet de kansrijkheid van het concept eerst goed onderbouwd worden. Dit gegeven leidt tot de onderstaande projectdoelstelling:

De doelstelling van het project is om de kansrijkheid van grootschalige invoering van het concept actief grondwaterpeilbeheer te onderzoeken, te onderbouwen, en op een overtuigende manier over te brengen op de partijen die voor deze invoering zorg kunnen dragen.

Deze doelstelling wordt bereikt wanneer de onderstaande deelvragen worden beantwoord:

- a. Is actief grondwaterpeilbeheer technisch haalbaar, en waar hangt dit van af?
- b. Hoe groot zijn de effecten van actief grondwaterpeilbeheer op de grondwaterstand, en waar hangen deze van af? Is het mogelijk om een gewenst grondwaterpeil te realiseren?
- c. Wat zijn de kosten en baten van actief grondwaterpeilbeheer?
- d. In welke gebiedstypen is actief grondwaterpeilbeheer kansrijk?
- e. Op welke termijn is invoering van actief grondwaterpeilbeheer wenselijk en haalbaar, in relatie tot klimaatverandering?
- f. Welke gebieden (buurten, wijken, gemeenten) in Nederland lenen zich voor een grootschalige toepassing van actief grondwaterpeilbeheer, en hoe zou zo'n pilot er uit kunnen zien?
- g. Welke juridische en governance aspecten zijn van belang?

1.3 Fasering en afbakening onderzoek

1.3.1 Fasering beantwoording onderzoeksvragen

Zoals eerder aangegeven lijken koudwatervrees en onbekendheid met het concept een belangrijke oorzaak van de geringe aandacht voor actief grondwaterpeilbeheer. Bovendien krijgt wateroverlast meer publieke aandacht dan droogte. De argumenten voor koudwatervrees kunnen van technische en financiële of andersoortige aard zijn. Gekozen is voor een fasering waarbij eerst in een bureaustudie de technische en financiële haalbaarheid van grootschalig actief grondwaterpeilbeheer wordt onderzocht. Dit houdt in dat onderzoeksvragen a t/m e worden behandeld. Het voorliggende rapport heeft betrekking op deze bureaustudie.

Het resultaat (dit rapport) wordt vervolgens besproken met de beoogde doelgroep: gemeenten en waterschappen, in latere fasen ook met particuliere partijen (woningbouwcorporaties, netbeheerders, bewonersgroepen), die grootschalige invoering van actief grondwaterpeilbeheer kunnen bewerkstelligen. Mogelijk komen tijdens deze consultatie andersoortige argumenten voor de veronderstelde koudwatervrees boven water. Om deze argumenten te adresseren zal moeten worden gezocht naar oplossingen met betrekking tot juridische en governance aspecten, bijvoorbeeld door het inrichten van één of meer grootschalige pilots. Onderzoeksvragen f en g worden aldus tijdens de consultatie behandeld. De fasering van het onderzoek en de bijbehorende financiering is in Tabel 1 samengevat.

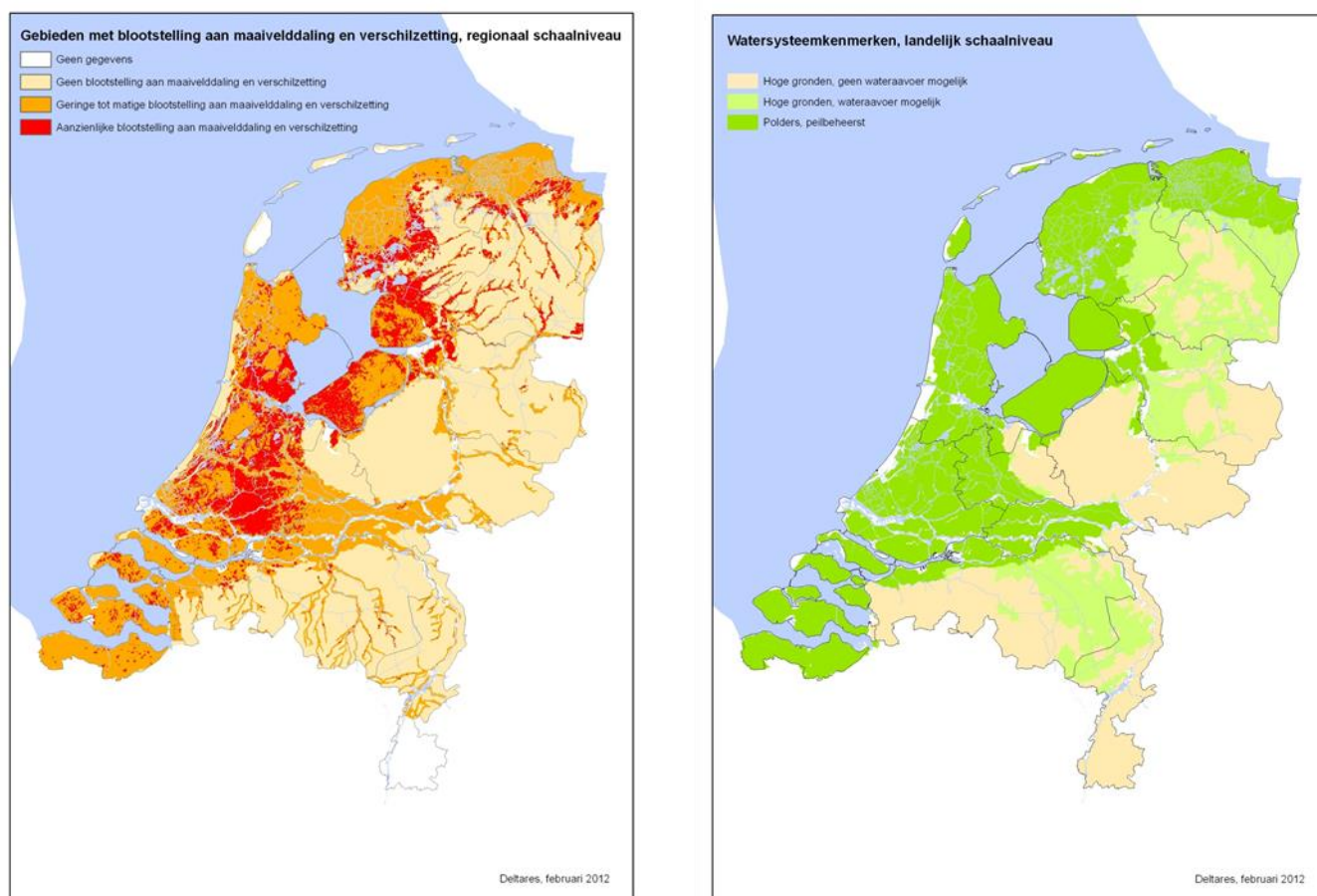
Tabel 1. Fasering onderzoekstraject 'Haalbaarheid grootschalige invoering actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied.'

Fase en Activiteiten	Financiering
<p><u>Bureaustudie:</u> Adressering deelvragen onderzoeksvraag DPRA:</p> <p>a. Is actief grondwaterpeilbeheer technisch haalbaar, en waar hangt dit van af?</p> <p>b. Hoe groot zijn de effecten van actief grondwaterpeilbeheer op de grondwaterstand, en waar hangen deze van af?</p> <p>c. Wat zijn de kosten en baten van actief grondwaterpeilbeheer?</p> <p>d. In welke gebiedstypen is actief grondwaterpeilbeheer kansrijk?</p> <p>e. Op welke termijn is invoering van actief grondwaterpeilbeheer wenselijk en haalbaar, in relatie tot onder meer klimaatverandering?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Opdracht Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie • Investing strategisch onderzoeksbudget Deltares • Aanvullende financiering vanuit het Uitvoeringsprogramma Bodemconvenant, Kennis Infrastructuur Bodem en Ondergrond.
<p><u>Consultatie:</u> Adressering deelvragen onderzoeksvraag DPRA:</p> <p>f. Welke gebieden (buurten, wijken, gemeenten) in NL lenen zich voor een grootschalige pilot actief grondwaterpeilbeheer, en hoe zou zo'n pilot er uit kunnen zien?</p> <p>g. Welke juridische en governanceaspecten zijn van belang?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidie Uitvoeringsprogramma Bodemconvenant, Kennis Infrastructuur Bodem en Ondergrond. • Investing strategisch onderzoeksbudget Deltares • Eigen bijdragen Waternet en Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek
<p><u>Implementatie:</u> h. Opzet pilots grootschalig actief grondwaterpeilbeheer.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mogelijk uitvoering bij positieve uitkomsten bureaustudie en consultatie. • Financiering nog niet bekend.

1.3.2 Aandacht voor beperking maaiveldddaling in openbaar terrein

In de bureaustudie is er expliciet aandacht voor kansen om met actief grondwaterpeilbeheer maaiveldddaling in openbaar gebied te beperken, en daaruit voortvloeiende schades (zie paragraaf 1.2). De kans is dan het grootst dat de baten voor rekening komen van de kostendragende partij (de gemeente of een samenwerkingsverband tussen gemeente, waterschap en eventueel netbeheerders).

Maaiveldddaling komt vooral voor in Laag-Nederland. De veronderstelling die in dit onderzoek getoetst wordt, is dat actief grondwaterpeilbeheer in Laag-Nederland de meeste baten genereert (Figuur 3, links). Ook in Hoog-Nederland zijn echter baten te behalen, door middel van het beperken van hittestress, en door het beperken van grondwateroverlast zonder dat dit in droge perioden te lage grondwaterstanden veroorzaakt. Een belangrijke voorwaarde daarbij is de mogelijkheid van wateraanvoer via het oppervlaktewater (Figuur 3, rechts).



Figuur 3. Gebieden onderhevig aan maaiveldaling (links) en gebieden waar wateraanvoer via het oppervlaktewater mogelijk is (rechts). Bron: Deltares (2012)⁵

1.4 Projectorganisatie

Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd door Wareco, Fugro en Deltares onder begeleiding van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, Rijkswaterstaat WVL, Waternet en het Kennis Centrum voor Aanpak van Funderingsproblematiek (KCAF). Dankzij een subsidie van het Uitvoeringsprogramma Bodemconvenant vanuit de Kennis Infrastructuur Bodem en Ondergrond konden vier aanvullende praktijkvoorbeelden worden geanalyseerd. Deze subsidie maakt ook de uitvoering van de consultatiefase (zie Tabel 1) mogelijk. De consultatiefase wordt hier niet gerapporteerd.

1.5 Werkwijze: 8 praktijkvoorbeelden centraal

Om grootschalige toepassing van actief grondwaterpeilbeheer mogelijk te maken zal eerst de praktijktoepassing van dit concept op kleinere schaal moeten worden geëvalueerd. Daarom staan in onze analyse acht praktijkvoorbeelden van actief grondwaterpeilbeheer centraal. Zeven daarvan zijn afkomstig uit de projectervaring van Wareco, één voorbeeld is afkomstig van Waternet. In overleg met de Begeleidingsgroep is een selectie gemaakt van de te analyseren praktijkvoorbeelden uit een langere lijst met voorbeelden. Deze selectie is

⁵ Deltares (2012) Schades door watertekorten en –overschotten in stedelijk gebied. Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. Deltares rapport 1205463-000-BGS-0003.

weergegeven in Tabel 2. Waar relevant is de informatie uit de praktijkvoorbeelden aangevuld met generieke informatie afkomstig uit literatuur of kentallen.

Per praktijkvoorbeeld is ten eerste een beknopte beschrijving gemaakt van het project waarin actief grondwaterpeilbeheer tot uitvoering is gekomen. De beschreven aspecten zijn: aanleiding en urgentie, ontwerp, aanleg, communicatie en participatie, effecten, en beheer en onderhoud. Deze projectbeschrijvingen dienen als achtergrondinformatie bij dit rapport, en zijn daarom als bijlage (Bijlage A) opgenomen.

Tabel 2. Selectie praktijkvoorbeelden voor de analyse, inclusief motivatie.

naam project	grondwater onderzoek	kosten / baten	aangelegd	metingen na afloop	infiltratie	drainage	regulering	motivatie selectie
Drainage-infiltratie 3 Lanen Schiedam	x	x / x			x	x	vlotter	kosten/baten analyse uitgevoerd
Vondelpark	x	x	x	x	x	x	gestuurde schuif	riool niet aangepakt; effect van infiltratie zuiver te bepalen
Veenweidegebied Fryslan	x	x	x	x	x		pomp	riool niet aangepakt; effect van infiltratie zuiver te bepalen
Haarlem, Leidsebuurt	x		x	x		x	pomp	drainagesysteem sinds 1989, inzicht in functioneren, beheer en onderhoud op lange termijn
Gouda, Nieuwe Haven	x		x	x	x	x	vrij verval	systeem sinds 1995 met evaluatie van de werking
Dordrecht, Land van Valk	x	x	x	x	x	x	pomp	landelijk bekend en succesvol voorbeeld
Gouderak	x	x / x	x		x	x	vrij verval	kosten/batenanalyse uitgevoerd
Argonautenstraat Amsterdam	x		x	x	x	x	vrij verval	integraal opgehoogd gebied (4 meter zand); doorlatende verharding in combinatie met DIT-riool

Ten tweede is een vergelijkend overzicht (Bijlage B) van de praktijkvoorbeelden gemaakt op basis van een aantal kenmerken. Het overzicht is opgesteld als hulpmiddel bij het opschalen van de bevindingen van de praktijkvoorbeelden naar het landelijke niveau. Relevante kenmerken die in het overzicht zijn opgenomen zijn: oorspronkelijke bodemopbouw, methode bouwrijpmaken, grondwatersituatie, type en ouderdom stedelijk gebied, maaiveldalingsgevoeligheid, wijze van af- en aanvoer, afstand tot oppervlaktewater⁶, bewonersparticipatie, aanleg met of zonder rioolvervanging, diameter leiding, materiaal, gemiddelde aanlegdiepte, en beheersaspecten.

De analyse van de 8 praktijkvoorbeelden resulteert na opschaling in een beschouwing van leerpunten, succes- en faalfactoren van actief grondwaterpeilbeheer, en de beantwoording van onderzoeksvragen a en b:

- Is actief grondwaterpeilbeheer technisch haalbaar, en waar hangt dit van af?
- Hoe groot zijn de effecten van actief grondwaterpeilbeheer op de grondwaterstand, en waar hangen deze van af?

Voor de analyse van de kosten en baten van actief grondwaterpeilbeheer (onderzoeksvraag c) is gebruik gemaakt van informatie uit de praktijkvoorbeelden Gouderak en Schiedam en kostenkentallen van Wareco. Daarnaast is informatie gebruikt uit een onderzoek van Fugro naar maatregelen tegen grondwateronderlast in Amsterdam. Voor de bepaling van de baten is aanvullend een meer generieke analyse uitgevoerd van maaivelddaling en daaraan gerelateerde schade die met actief grondwaterpeilbeheer vermeden kan worden.

Onderzoeksvragen d en e worden tenslotte beantwoord op basis van de antwoorden op onderzoeksvragen a, b en c.

⁶ De afstand tot het oppervlaktewater is niet van belang wanneer het hemelwaterriool ook fungeert als drainage- en infiltratieleiding (DIT-riool). De aanlegkosten kunnen in dat geval worden toegerekend aan de rioolvervanging.

2 Analyse

2.1 De praktijkvoorbeelden

Onderstaand volgt eerst, per praktijkvoorbeeld, een samenvattende karakterisering van het project. Daarna volgt een meer algemene beschouwing waarbij de ervaringen uit de projecten zo veel mogelijk zijn gegeneraliseerd.

2.1.1 Gouda (Nieuwe Haven)

Nieuwe Haven is een goed voorbeeld waarin alle drie de beoogde effecten worden nagestreefd: maaiveldddaling beperken, droogstand van houten palen beperken, en grondwateroverlast beperken voor laaggelegen woningen. Het systeem, drainage infiltratieleidingen in een brede argex laag, ligt er al relatief lang (20 jaar) en functioneert nog goed. De Nieuwe Haven is echter een brede straat (gedempte gracht) met veel leidingen. Het in één keer vervangen van alle leidingen in het brede profiel van de straat bleek indertijd niet haalbaar. Twee oude parallelriolen en een verzamelriool zijn daarom blijven liggen. Deze riolen zijn lek en worden daarom zoveel mogelijk “opgeboeid”. In Gouda worden veel oude, lekkende riolen onder water gehouden (‘opgeboeid’) om te lage grondwaterstanden te voorkomen. Regelmatig wordt het rioolstelsel leeggepompt (‘afgeboeid’) en dat leidt dan, ook in het profiel van de Nieuwe Haven, tot plaatselijk uitzakkingen van de grondwaterstand. Omdat de opboei- en afboeiniveaus van de niet-vervangen riolen mede bepalend zijn voor de grondwaterstand in het gebied, is het geïsoleerde effect van actief grondwaterpeilbeheer nog niet goed te kwantificeren⁷.

2.1.2 Dordrecht (Land van Valk)

Het drainage-infiltratiesysteem in Land van Valk ligt er al relatief lang (18 jaar) en functioneert nog steeds goed. De beoogde effecten zijn het voorkomen van funderingsschade en grondwateroverlast in de gehele wijk. Er is hier een wijkgerichte aanpak met verschillende grondwaterpeilvakken gekozen. Ook bij verschillende peilvakken/niveaus is actief grondwaterpeilbeheer mogelijk door het scheiden van aparte peilvakken met kleidammen. Aanvoer met kleine pompen naar de hoge peilvakken is ook betrouwbaar en goed mogelijk. Het systeem leidt tot de beoogde grondwaterstandsverhogingen in de straat en aan de voorzijde van de woningen. De kleidammen functioneren naar verwachting en blijken robuuster tegen graafwerk voor kabels dan soms wordt verondersteld. Kabels liggen veelal boven de grondwaterstand en/of de bovenkant van de kleidammen. Particulieren kunnen aansluiten op het systeem van de gemeente, waardoor het effect ook doorgezet kan worden in het particuliere perceel. Met het systeem lukt het de gemeente succesvol om een goede randvoorwaarde te bieden aan de perceelgrens. Bewoners hebben plaatselijk ook daadwerkelijk zelf een systeem aangelegd op eigen terrein (Figuur 4), zodat de kans op schade aan panden door te lage grondwaterstanden is verkleind. Tevens is grondwateroverlast verholpen. Het systeem is gelijktijdig met rioolvervanging aangelegd waardoor de aanlegkosten relatief laag zijn gebleven. Er is minder onderhoud nodig dan

⁷ Door Wang (2016) is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de opgeboeide riolering, vegetatie en oppervlaktewater in de binnenstad van Gouda, zie <http://www.citg.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/watermanagement/sections/water-resources/leerstoelen/wrm/research/all-projects/msc-research/completed-msc-theses/>

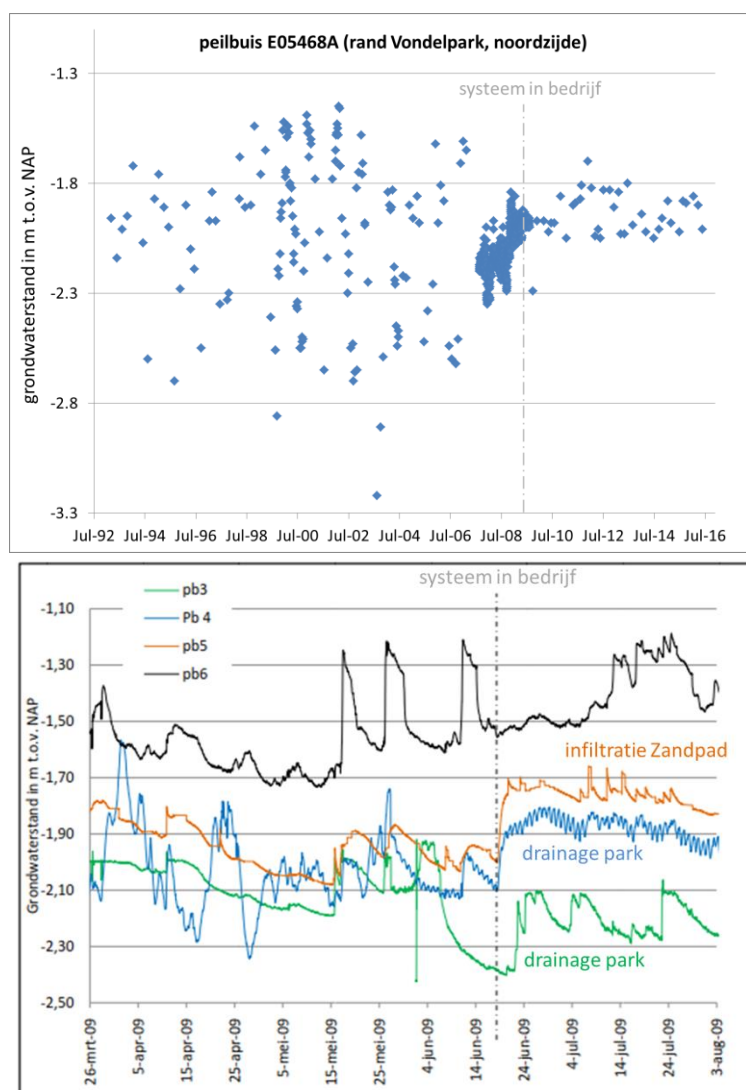
tijdens het ontwerp is geadviseerd. De drainputten worden één keer in de 5 jaar geïnspecteerd, en alleen doorgespoten bij verontreiniging van de putten of bij klachten van bewoners over het functioneren van het systeem. De peilsturing van het drainagesysteem is aangesloten op de hoofdpst van de gemeente en valt in hetzelfde onderhoudsregime als de rioolgemalen. Het beheer van het particuliere deel van het systeem gebeurt op afroep; één van de eigenaren houdt de grondwaterpeilen in de gaten, maakt bij te hoge of te lage peilen contact met de gemeente en deze zet dan de kraan open (pers. comm. W. Vijfwinkel).



Figuur 4. Impressie actief grondwaterpeilbeheer op particulier terrein, Land van Valk. Foto W. Vijfwinkel.

2.1.3 Amsterdam (Vondelpark)

Het project in het Vondelpark is een voorbeeld waarin alle drie de beoogde effecten worden nagestreefd en in de praktijk ook daadwerkelijk gerealiseerd (Figuur 5): maaiveldvaling beperken, droogstand beperken, en grondwateroverlast beperken met aandacht voor de directe omgeving van het park. Het project was er expliciet op gericht om de groeiomstandigheden voor de bomen in het park duurzaam te verbeteren. Het betreft waardevolle monumentale bomen die bovendien belangrijk zijn voor leefbaarheid en verkoeling in de stad. Met de drainage in het lager gelegen park zijn de groeiomstandigheden voor bomen en gras verbeterd. In het hoger gelegen gebied buiten het park zijn grondwaterstandsverhogingen gerealiseerd met de infiltratie, in combinatie met een damwand die het afstromen van grondwater naar het park beperkt. In de vrij droge zomer van 2009 werd grondwateruitzakking buiten het park zodoende voorkomen. De kans op schade aan panden langs het park door te lage grondwaterstanden is verkleind. Ook is een kwaliteitsverbetering van het inlaatwater gerealiseerd als gevolg van de ondergrondse bodempassage. Het beheer en onderhoud valt mee (eens in de 8 à 10 jaar) en is minder dan vooraf geraamd.



Figuur 5. Effecten drainage-infiltratiesysteem Vondelpark op de grondwaterstand.

2.1.4 Schiedam (De Drie Lanen)

In het kader van herinrichtingsproject De Drie Lanen in Schiedam-Oost wordt de openbare ruimte opnieuw ingericht, wordt een hemelwaterriool aangelegd en worden ernstige schades aan de bestaande riolering gerepareerd. De beoogde effecten van het drainage-infiltratiesysteem dat ook zal worden aangelegd, zijn het voorkomen van funderingsschade en grondwateroverlast. Uit de kosten/baten analyse is naar voren gekomen dat de baten groter zijn dan de kosten. De kostendrager is echter de gemeente en de baathouder is de particulier. In het ontwerp is een lamellenfilter opgenomen om verstopping van de drains als gevolg van in stromend zwevend materiaal tegen te gaan. Het effect is nog onbekend omdat het systeem nog moet worden aangelegd.

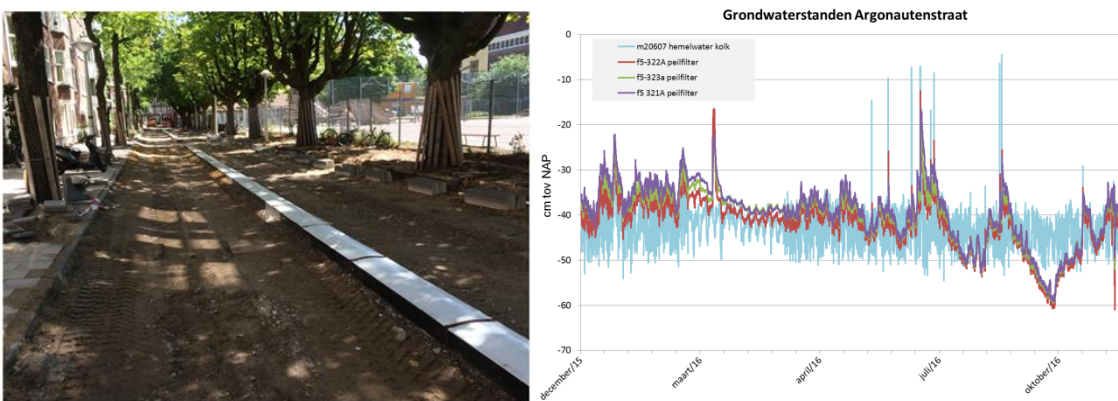
2.1.5 Gouderak

Ook in het voorbeeld Gouderak worden drie beoogde effecten nagestreefd: maaiveldaling beperken, droogstand beperken, en grondwateroverlast beperken. De openbare ruimte werd

voor de derde keer in 25 jaar op hoogte gebracht (dus één keer in de 8 a 9 jaar). Er is gezocht naar een oplossing waarbij de openbare ruimte niet meer zakt. In dat kader is actief grondwaterpeilbeheer uitgevoerd in combinatie met peilfixatie van het open water. Door de nabijheid van het oppervlaktewater (circa 10 m afstand) en het 'meeliften' met de overige, omvangrijke werkzaamheden zijn de kosten voor het drainage-infiltratiesysteem verhoudingsgewijs erg laag (€46 per m¹). Verder is in dit voorbeeld de wegzijging (het 'weglekken' van grondwater naar een dieper watervoerend pakket) relatief groot. Het systeem is in 2016 afgerond, er zijn nog geen effectmetingen beschikbaar.

2.1.6 Amsterdam (Argonautenstraat)

In het praktijkvoorbeeld in de Argonautenstraat staat een integrale aanpak van wateroverlast en droogte centraal. De beoogde effecten zijn het voorkomen van regenwateroverlast, funderingsschade en grondwateroverlast. Het systeem is aangelegd in een integraal met 4 meter zand opgehoogd gebied in dicht stedelijk gebied (Figuur 6). Kenmerkend is verder de combinatie met de functie van infiltratie van hemelwater via doorlatende verharding en een DIT-riool. Uit een eerste evaluatie (Waternet, pers.comm.) blijkt dat de voorziening goed werkt bij voldoende verschil tussen oppervlaktewater- en grondwaterpeil. In de praktijk blijken deze verschillen beperkt te zijn door de goede doorlatendheid van het zand. Ook de wateraanvoer en infiltrerende werking zijn vastgesteld. In droge perioden zakt de grondwaterstand maximaal 20 cm uit, als gevolg van verdamping door de bomen in de straat die blijkbaar niet volledig door de wateraanvoer kan worden aangevuld (zie Figuur 6). De uittreeweerstand van het DIT-riool speelt hierbij waarschijnlijk een rol. De wateraanvoer draagt bij aan de mogelijkheden van bomen om te verdampen, en daarmee aan het bestrijden van hittestress. Omdat de kans voor de aanleg van dit systeem zich pas kort voor de start van de werkzaamheden voordeed, was er geen tijd meer om een goede nulmeting van de grondwaterstand uit te voeren. Dit is een belangrijk leerpunt. De in de Argonautenstraat opgedane ervaring wordt meegenomen in het naburige en grootschaligere project 'Rivierenbuurt Klimaatproof'.

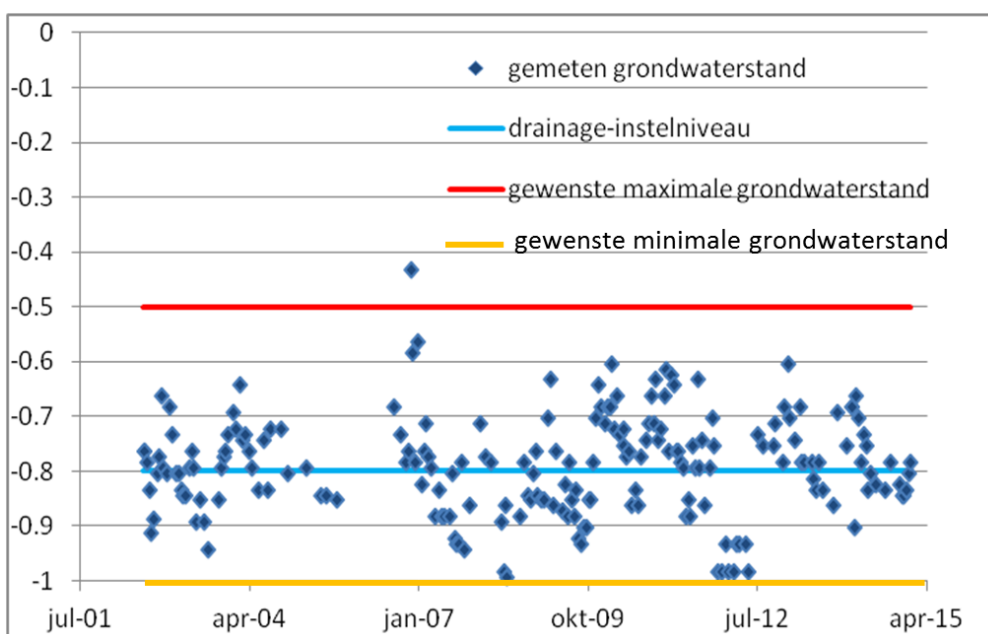


Figuur 6. Impressie aanleg DIT-riool Argonautenstraat. Let op het grote aantal bomen (links). Gemeten grondwaterstanden (groen, rood, donkerblauw) en oppervlaktewaterpeil (lichtblauw) (rechts).

2.1.7 Haarlem (Leidsebuurt)

Het beoogde, en in de praktijk ook gerealiseerde, effect in dit voorbeeld is het voorkomen van grondwateroverlast, met als randvoorwaarde dat ook funderingsschade moet worden voorkomen (Figuur 7). Dit voorbeeld is gekozen vanwege de hoge leeftijd van het systeem. Het betreft een in een grindkoffer aangelegd drainagesysteem met pompputten, uit 1989. Het

drainagesysteem is ontworpen met verschillende instelniveaus om te voorkomen dat het bovenste funderingshout droogvalt. De drainageleidingen worden 1 keer per 2 jaar doorgespoten. In 2015 is onderzoek verricht naar de actuele kwaliteit van de drains. Uit het onderzoek bleek dat de onderzochte leiding schoon van binnen was en niet in sterkte leek te zijn teruggelopen. De omhulling was nog in tact. Daarmee is aangetoond dat een goed ontworpen en uitgevoerd systeem van ondergrondse leidingen met het juiste beheer lang mee kan gaan. De geschatte levensduur is nu 60 jaar. Een belangrijk positieve factor hierin is het feit dat het systeem onder de heersende grondwaterstanden is ontworpen en aangelegd. Aanleg onder de grondwaterstand minimaliseert namelijk de kans op verstoppingen en wortel-ingroei.



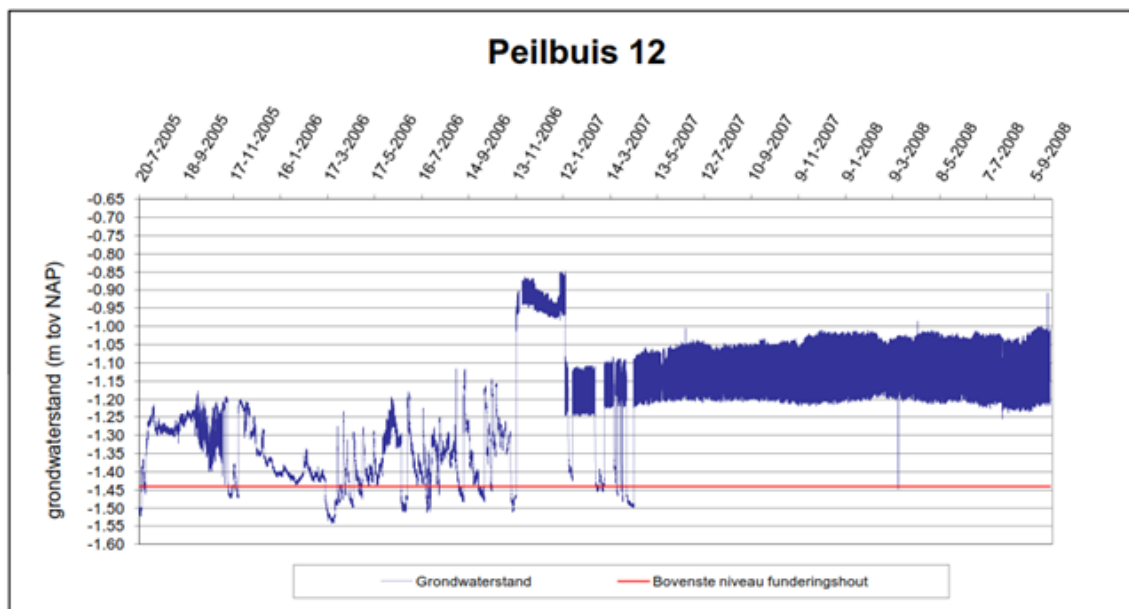
Figuur 7. Voorbeeld grondwatermeting in peilbuis Leidsebuurt. De grondwaterstand blijft binnen de gewenste grenzen.

2.1.8 Veenweidegebied Fryslân

Het beoogde en ook daadwerkelijk gerealiseerde effect, beperking van droogstand van houten funderingen onder drie vrijstaande woonhuizen en een kerk, is behaald (Figuur 8). De oppervlaktewaterpeilen in dit gebied zijn ten behoeve van de landbouw vaak verlaagd, en daardoor zijn de peilen lager geworden dan de voor de funderingen wenselijke grondwaterstanden. Het water moet voor deze voorzieningen daarom ook met een pomp worden opgevoerd. Als gevolg van de aanleg van het infiltratiesysteem en de gestegen grondwaterstanden is nieuwe schade door droogstand van de funderingen van de vier panden voorkomen. Eén van de panden betrof een kerk op een terp. De terp bestaat uit goed doorlatend materiaal en was daarmee een complicerende factor. Door het plaatselijk aanbrengen van waterkerende schermen in de terp is een beheersbaar evenwicht gevonden.

Burgers zijn actief betrokken bij dit voorbeeld van actief grondwaterpeilbeheer omdat de systemen zonder uitzondering op particulier terrein zijn aangelegd en het eigendom en beheer van het systeem na aanleg aan hen is overgedragen door het waterschap. Aanvankelijke problemen in de vorm van verstopping van de pomp met zwevend materiaal

zijn verholpen door filters aan te brengen en het oppervlaktewater te baggeren. Over dit praktijkvoorbeeld is eerder gepubliceerd door Wareco (2008) en KCAF (2014).⁸



Figuur 8. Voorbeeld grondwatermeting in een peilbuis bij de kerk. Na een inregelperiode eind 2006 blijft de grondwaterstand duidelijk hoger dan het bovenste funderingshout.

2.1.9 Algemene beschouwing, leerpunten

De geanalyseerde praktijkvoorbeelden tonen aan dat het concept “actief grondwaterpeilbeheer” haalbaar is in uiteenlopende situaties voor wat betreft bodemopbouw, dichtheid van stedelijk gebied, hydrologische situatie (kwel/wegzijging), methode van wateraanvoer, en beoogde effecten.

De beoogde effecten worden behaald als er bij het ontwerp aandacht wordt besteed aan de lokale omstandigheden. Effecten op de grondwaterstand in de wegcunetten zijn aangetoond. Met het systeem biedt de gemeente aantoonbaar een werkbare randvoorwaarde op de perceelgrens voor bewoners, zodat ook bewoners effectief in staat worden gesteld om de grondwaterstand op eigen perceel te reguleren. Participatie van, voorlichting naar, en communicatie met burgers zijn bepalend voor het wel of niet realiseren van het beoogde effect bij kwetsbare funderingen.

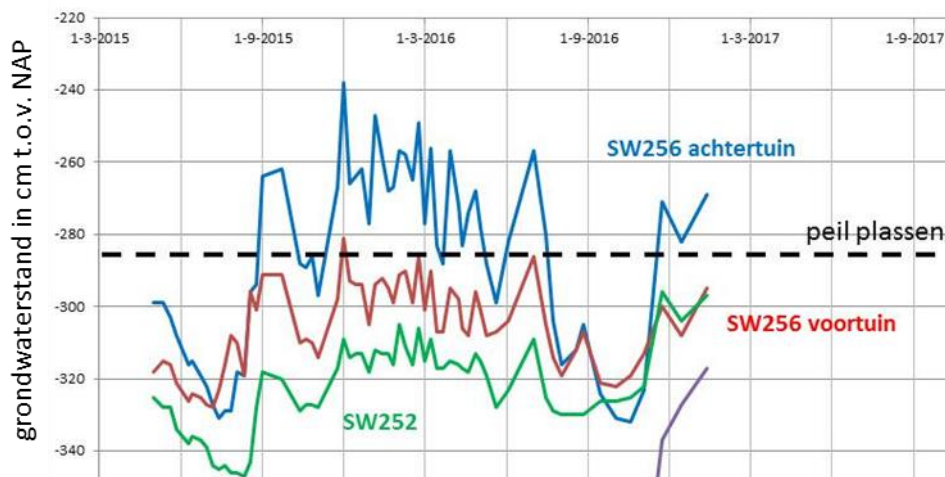
Aandacht voor een uitvoering conform het ontwerp blijft belangrijk, zeker omdat nog niet iedereen bekend is met dit concept. Bij een uitvoering conform het ontwerp is bovendien het beheer en onderhoud beperkt; drie van de systemen zijn meer dan 15 jaar oud en functioneren nog steeds goed bij een onderhoud van eenmaal per 2 tot 8 jaar. Met het oog op de grootschaligheid van actief grondwaterpeilbeheer moet verder worden vermeld dat twee aangelegde systemen al behoorlijk groot zijn (Vondelpark is langer dan 1 km, het Land van Valk systeem bestrijkt een aantal straten).

⁸ Wareco (2008) *Infiltratiesysteem voorkomt paalrot bij houten paalfunderingen*. Artikel in *H₂O* nr. 8, 2008; KCAF (2014) *Grondwateraanvulling voor funderingsbehoud, een inspiratieboekje met voorbeelden uit de praktijk*.

2.1.10 Te verwachten vragen (en antwoorden daarop)

Is na rioolvervangning actief grondwaterpeilbeheer nog wel nodig ?

Een rioolvervangning leidt vaak tot grondwaterstandsverhogingen, omdat veel oude riolen lek zijn en dan als onbedoelde drainage fungeren. Men zou dus kunnen betogen dat alleen een rioolvervangning al voldoende is om lage grondwaterstanden en daaruit voortvloeiende schades te voorkomen. Een rioolvervangning verhoogt echter alleen de gemiddelde en hoge grondwaterstand. Grondwateruitzakkingen in droge perioden kunnen er niet mee worden voorkomen en te hoge grondwaterstanden na rioolvervangning ook niet. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 9. De blauwe meetreeks 'SW256 achtertuin', die niet wordt beïnvloed door het lekke riool in de straat, zakt in de droge nazomer van 2016 uit tot NAP -3,3 m, bijna 0,5 m onder het oppervlaktewaterpeil. De andere twee peilbuizen, 'SW256 voortuin' en 'SW252', staan dichterbij de straat en worden beïnvloed door het riool. Door rioolvervangning zal de grondwaterstand in deze twee peilbuizen stijgen. Het is te verwachten dat de grondwaterstand vervolgens vergelijkbaar zal fluctueren als in de achtertuin. Inclusief grondwateruitzakkingen tijdens droogtes en hogere pieken tijdens neerslagsituaties. Rioolvervangning maakt actief grondwaterpeilbeheer dus geenszins overbodig. Bovendien kan met actief grondwaterpeilbeheer grondwateroverlast worden voorkomen als een lek, drainerend riool wordt vervangen door een nieuw, waterdicht riool. Dan is het nog maar een kleine stap om actief grondwaterpeilbeheer in te voeren.



Figuur 9. Gemeten grondwaterstanden in Oud-Hillegersberg, Rotterdam. Bron: Commissie Grondwater Oud-Hillegersberg.

Waarom oppervlaktewater als externe bron ?

In de inleiding werd het concept actief grondwaterpeilbeheer verbonden aan de aanwezigheid van een permanent beschikbare, externe bron van water. De te beschouwen externe bron is in dit geval oppervlaktewater. Denkbare alternatieven als bron zijn regenwater, leidingwater, of grondwater uit een diep watervoerend pakket. Ten aanzien van deze alternatieven zijn de onderstaande overwegingen gemaakt:

- Inzet van lokaal regenwater als bron is duurzamer, maar juist in perioden van droogte is dit niet beschikbaar. In het onderzoeksgebied is oppervlaktewater daarentegen altijd beschikbaar, eventueel via aanvoer (zie Figuur 3). Kanttekening hierbij is dat

grootschalig actief grondwaterpeilbeheer mogelijk een relevant aspect zal worden bij de verdeling van zoetwater tijdens droogtes.

- Grootschalige inzet van leidingwater of grondwater uit een diep watervoerend pakket om het ondiepe grondwatersysteem mee te voeden is voor zover bekend nog nergens in praktijk gebracht. Het wordt zinvol geacht om de haalbaarheid van deze toepassingen te onderzoeken. Aandachtspunten hierbij zullen o.a. zijn: de hoeveelheden benodigd en beschikbaar water, grondwaterkwaliteit (ijzergehalte, zoet-zout en redox), beleid t.a.v. strategische grondwatervoorraden⁹ en geohydrologische randvoorwaarden. Hierop wordt in dit rapport niet verder ingegaan.

Wat betekent actief grondwaterpeilbeheer voor de watervraag aan het landelijk zoetwatersysteem?

Actief grondwaterpeilbeheer genereert een watervraag aan het oppervlaktewatersysteem in tijden van infiltratiebehoefte. Deze watervraag ligt in een droge zomerperiode veelal in de orde van grootte van 1 tot 1,5 mm per dag¹⁰, maar kan in gebieden met een goed doorlatende, dikke ophooglaag hoger zijn¹¹. Door DeltaSync (2013)¹² wordt een vergelijkbare watervraag voor actief grondwaterpeilbeheer berekend: 67 mm voor een droog jaar, en 111 mm voor een zeer droog jaar.

Voor een indicatieve berekening wordt aangenomen dat grootschalig actief grondwaterpeilbeheer wordt ingevoerd in een dertigtal gebieden ter grootte van de gehele wijk Land van Valk (circa 30 ha). Verder uitgaande van een watervraag van 1,1 mm per dag gedurende 100 dagen in een zeer droog jaar, volgt hieruit een watervraag in de orde van grootte van $30 \times 0,0011 \text{ m/d} \times 100 \text{ dagen} \times 300.000 \text{ m}^2 = 1 \text{ miljoen m}^3$ in een zeer droog jaar.

Nog verder opgeschaald naar (bijvoorbeeld) 25% het stedelijk gebied van Laag-Nederland met een aangenomen oppervlak van 2900 km² (cf. DeltaSync 2013), wordt de watervraag van actief grondwaterpeilbeheer dan $0,0011 \text{ m/d} \times 100 \text{ dagen} \times (0,25 \times 2900)$ miljoen m² = ruim 80 miljoen m³ in een zeer droog jaar. Dit is, indicatief, ruim 10% van de totale voor oppervlaktewaterpeilbeheer benodigde wateraanvoer in dit gebied, zoals die voor het Deltaprogramma Zoetwater is bepaald voor een extreem droog jaar¹³.

In lijn met DeltaSync (2013) wordt door ons geconcludeerd dat als grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied een grote vlucht gaat nemen, de invloed op de landelijke watervraag niet verwaarloosd mag worden. Ook de aanbeveling van DeltaSync dat de stedelijke watervraag moet worden meegenomen als standaardcomponent van alle landelijke waterbeheerstudies, wordt onderschreven. Dit geldt des te meer omdat het

⁹ De provincies hebben in het kader van de Ontwerp structuurvisie Ondergrond de opdracht van het Rijk gekregen om de komende 2-3 jaar aanvullende strategische grondwatervoorraden aan te wijzen.

¹⁰ M. Votel (2015) *Controlling minimum groundwater levels in urban areas Evaluation of groundwater recharge systems in Dordrecht*. MSc thesis, TU Delft; Wareco (2016) *Monitoring grondwaterstanden voor aanleg infiltratiesysteem 3 Lanen Schiedam Oost, kenmerk BL54G, RAP20160916 d.d. 24-11-2016*.

¹¹ Fugro (2014) *Maatregelenmatrix grondwateronderlast Amsterdam. Rapport 4014-0225-000*.

¹² DeltaSync (2013) *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden. Revisie 2 rapport 16 oktober 2013*

¹³ Deltares (2014) *Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Rapport 1209141-001-VEB-0004. Voor het zichtjaar 2050 wordt geschat dat in een extreem droog jaar de voor oppervlaktewaterpeilbeheer benodigde wateraanvoer in het onderzoeksgebied circa 700 miljoen m³ is. Het betreft dan de deelgebieden 6 t/m 12.*

voorkomen van maaiveldaling, een belangrijk potentieel voordeel van actief grondwaterpeilbeheer, de hoogste prioriteit heeft in de landelijke verdringingsreeks. De landelijke verdringingsreeks geeft de rangorde van maatschappelijke behoeften aan, die bij de verdeling van het beschikbare water in de Rijkswateren in acht wordt genomen.¹⁴

Invoering van actief grondwaterpeilbeheer heeft ook een relatie met overwegingen omtrent flexibel peilbeheer in steden: een drainage-infiltratiesysteem is niet gebaat bij een flexibel oppervlaktewaterpeil dat in de zomer mag uitzakken.

2.2 Wat zijn succes- en faalfactoren?

Op basis van ervaring in een groot aantal door Wareco uitgevoerde projecten (niet beperkt tot de in dit onderzoek geanalyseerde praktijkvoorbeelden) en de huidige stand van kennis en ervaring van Wareco, Deltares en Fugro worden de onderstaande belangrijkste kenmerken voor een succesvol actief grondwaterpeilbeheer vermeld. Deze kenmerken hebben betrekking op technische aspecten. Kenmerken die actief grondwaterpeilbeheer qua kosten en baten succesvol kunnen maken worden later in dit rapport behandeld.

2.2.1 Succesfactoren bij ontwerp en aanleg

- Bij drainage- en infiltratiesystemen is het instelniveau bepalend. Dat is het niveau waarop de waterstand in het systeem wordt ingesteld. Vaak worden meerdere instelniveaus gehanteerd die tezamen een gewenst grondwaterregime vormen. Het ontwerpen van het drainage-infiltratie systeem en bijbehorende instelniveaus vraagt voldoende kennis van de lokale omstandigheden en de daarvoor geldende randvoorwaarden (o.a. bebouwing c.q. fundering, eerder opgetreden grondwaterstanden, bodemopbouw, belasting van de wegen, type bomen, groen).
- Deze ontwerp- en aanlegfilosofie is niet algemeen bekend bij partijen die belast zijn met het 'meeleggen van drainage' bij rioolvervanging. Let op het woord "meeleggen". Het ontwerp en de aanleg van een drainage-infiltratiesysteem vraagt dezelfde mate van aandacht als voor ontwerp en aanleg van riolering. Essentieel bij aanleg is dat het drainage- infiltratiesysteem als volwaardig onderdeel van het stedelijk watersysteem wordt gezien en niet als een 'mee te leggen' stelsel. Concreet: een DIT-riool zou in principe net zo lang mee moeten gaan als het riool.
- Met het oog op de beheer- en onderhoudsfase is bij de aanleg van drainage-infiltratiesystemen de toepassing van juiste materialen van belang. Zie Leidraad Riolering module C3300. Aanbevolen wordt om het systeem aan te leggen in een grindkoffer (of licht grof materiaal in zettingsgevoelige bodem), bij voorkeur zonder scheidingsdoeken. Indien wel doeken worden toegepast, dan moeten deze om ijzerafzetting in het doek te voorkomen grote poriën hebben.
- Aanleg moet onder de te verwachten laagste grondwaterstand plaatsvinden om vaste ijzerafzetting in de gaatjes van de buis en in de buis te voorkomen. Het voorbeeld Leidsebuurt laat zien dat drainage die voortdurend onder water ligt en goed wordt onderhouden een levensduur heeft die gelijk is aan die van riolering. Weliswaar worden verstoppende ijzerverbindingen soms ook aangetroffen in drains die permanent onder water staan, maar deze relatief zachte vorm van ijzeroxidatie is door periodiek onderhoud te verwijderen.

¹⁴ Rijkswaterstaat, webpagina Kenniscentrum InfoMil, bezocht op 9 mei 2017.

- Door de aanleg onder de laagste grondwaterstand, rekening houdend met lokale verlagingen als gevolg van de watervraag van (groter wordende) bomen, wordt ook wortel-ingroei voorkomen. Bijna alle bomen hebben geen wortelgroei onder de permanente grondwaterstand.
- Een andere vorm van verstopping kan optreden bij infiltratie, door zwevende substanties uit het inlaatwater. In het voorbeeld Schiedam is hier rekening mee gehouden door een lamellenfilter bij de waterinlaat in het ontwerp op te nemen.
- Bij hoogteverschillen in het gebied kunnen verschillende peilvakken ingericht worden. De voorbeelden Vondelpark, Leidsebuurt en Land van Valk laten zien dat dat niet tot onoverkomelijke complexiteit leidt, en effectieve en onderhoudsarme systemen oplevert.
- Bij aanleg als DIT-riool behoeft de nieuwe inrichting van de straat en het straatprofiel extra aandacht en begeleiding.

2.2.2 Succesfactoren met betrekking tot beheer en onderhoud

- Het onderhoud van drainage-infiltratiesystemen bestaat hoofdzakelijk uit periodieke inspectie en doorspuiten. De frequentie daarvan wordt per locatie bepaald op basis van monitoring en veldwaarneming. Op basis van de onderzochte voorbeelden is de onderhoudsfrequentie 1x per 2 tot 8 jaar. Zie ook Wareco, Vakblad Riolering nummer 17, 2010. En Leidraad Riolering, module C3300.
- Het systeem dient als volwaardig onderdeel te worden opgenomen in het beheer- en onderhoudsplan van de gemeente (of andere eigenaar). Een revisietekening met exacte locatie van de drainage en infiltratie en alle kenmerken van het systeem, moet worden opgenomen in een (riool)beheersysteem.

2.2.3 Faalfactoren bij aanleg en onderhoud

De onderstaande faalfactoren zijn deels volgend uit de succesfactoren maar dan tegengesteld:

- Aanleg van de drainage- infiltratieleiding boven de gewenste laagste grondwaterstand.
- Een ontwerp dat als gevolg van verkeerde materiaalkeuzes of geometrie (ontoegankelijkheid van systeemdelen) leidt tot een verkorte levensduur.
- Blijvende aanwezigheid van andere, niet vervangen lekke riolen of andere drainerende objecten.
- De uitvoering is niet conform het ontwerp.
- Er is geen goede revisie (vastlegging ligging en kenmerken systeem na aanleg) waardoor beheer wordt bemoeilijkt (diverse voorbeelden bij Wareco en Fugro bekend, maar niet in bijlage A).
- Er is onvoldoende aandacht voor beheer. Daardoor wordt de behoefte tot noodzakelijke aanpassingen of onderhoud van het systeem niet of te laat gesignaleerd, wat leidt tot suboptimaal functioneren.
- Aanleg van drainage wordt regelmatig uitgevoerd in natte grond, of in een niet volledig droog ontgraven cunet. Daardoor komt de drainage in een 'versmeerd' grondpakket te liggen met daarin delen veen, klei, etc. De drainage werkt dan niet naar behoren.

2.2.4 Ervaringen met drainage volgens andere onderzoeken

Andere onderzoeken naar aanleg en onderhoud van drainage-infiltratiesystemen, bijvoorbeeld Alterra / STOWA (2013), bevestigen de bovenstaande bevindingen ten aanzien van succes- en faalfactoren:

- Bij samengestelde regelbare drainage (= drainagebuizen aangesloten op een afvoerbuis met regelbare put) moet extra goed worden gelet op het op de juiste diepte installeren van drains, verzameldrains, en putten. In een artikel in H₂O door Van Zeijts en Van de Ven (2001) wordt ondeskundige aanleg, met name het leggen van een drainagebuis in natte, nog niet gestabiliseerde grond, als belangrijke risicofactor aangemerkt.
- Het risico op verstopping met ijzer is klein wanneer de buizen permanent onder de grondwaterspiegel liggen. In dat geval is er geen afwisseling van zuurstofrijke en zuurstofarme condities rond de buis. Deze afwisselende condities kunnen neerslag van opgelost ijzer als oxide veroorzaken en verstoppingen veroorzaken.
- Verstopping met zwevend materiaal heeft in het algemeen tot weinig problemen geleid, maar de kans hierop hangt wel af van het gehalte aan zwevende substanties in de wateraanvoersloten.

2.3 Van lokaal naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer: conclusie technische haalbaarheid en effecten (onderzoeksvragen a en b)

Op basis van de geanalyseerde lokale voorbeelden van actief grondwaterpeilbeheer wordt geconcludeerd dat technisch veel mogelijk is. Bij een adequaat ontwerp en dito uitvoering zijn de gewenste grondwaterpeilen in de riolcunetten haalbaar en wordt aantoonbaar een werkbare randvoorwaarde geboden aan private eigenaren om vanaf de perceelgrens zelf de beoogde grondwaterstanden te realiseren.

De belangrijkste technische uitdaging bij de aanleg wordt gevormd door complexe, ruimtelijk variërende eisen aan de grondwaterstand. Deze kunnen optreden bij een combinatie van funderingen op staal en houten palen, maar kunnen worden ondervangen door ondergrondse compartimentering. Het meest complexe praktijkvoorbeeld is Land van Valk, met zowel peilvakken onder vrij verval als onder bemaling met pompen. Het voorbeeld Land van Valk toont aan dat ook bij dergelijke complexiteit een succesvol actief grondwaterpeilbeheer technisch goed haalbaar is, zowel in aanleg als langjarig beheer. Dit is een belangrijke conclusie ten aanzien van de stap van lokaal naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer, want hoe groter het toepassingsgebied, hoe groter de kans op ruimtelijke variaties in de ondergrond en ruimtelijk variërende eisen aan de grondwaterstand.

De andere succes- en faalfactoren zijn gerelateerd aan aandacht voor de lokale omstandigheden bij het ontwerp, en aandacht voor een zorgvuldige uitvoering conform het ontwerp. Deze factoren zijn grotendeels schaalonafhankelijk en spelen daarom geen rol bij de stap van lokaal naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer.

De invloed van achtergebleven oude, lekke leidingen kan worden verminderd of opgeheven met een geïntegreerde wijkplanning openbare werken. Daarbij wordt een fasering gehanteerd waarbij inspanningen ten behoeve van regenwater-, afvalwater- en grondwaterpeilbeheer onderling goed zijn afgestemd. Dat is anders dan in de huidige situatie waarin grondwaterpeilbeheer vaak volgend is op de planning van rioleringswerken en bovendien vrijwel alleen wordt ingevuld met het voorkomen van grondwateroverlast.

Actief grondwaterpeilbeheer genereert een stedelijke watervraag in perioden van droogte. In lijn met de aanbeveling van DeltaSync (2013) moet deze watervraag worden meegenomen als standaardcomponent van alle regionale en landelijke waterbeheerstudies. Dit geldt des te meer omdat het voorkomen van maaiveldaling, een belangrijk potentieel voordeel van actief grondwaterpeilbeheer, de hoogste prioriteit heeft in de landelijke verdringingsreeks.

2.4 Kosten en baten (Onderzoeksvraag c)

2.4.1 Kosten

Onder de kosten van actief grondwaterpeilbeheer vallen de aanleg en het onderhoud van de benodigde infiltratie-drainageleiding, inclusief inspectieputten en grindkoffer, en verbinding met het oppervlaktewater. Invloedsfactoren op deze kosten zijn: wel of geen combinatie met rioolvervangingsprojecten en complexiteit van de stedelijke situatie als gevolg van een grote afstand tot het oppervlaktewater, drukte in de ondergrond, aanwezigheid van veel kabels, leidingen, kademuren en dergelijke.

De aanlegkosten liggen in de praktijkvoorbeelden Gouderak en Land van Valk / Dordrecht, waarbij actief grondwaterpeilbeheer werd gecombineerd met rioolvervangingsprojecten, tussen €45 en €100 per m¹. Op basis hiervan wordt voor een representatieve stedelijke situatie als beste schatting een bedrag van €75 per m¹ aanlegkosten aangehouden, ofwel €75.000 per km¹.

De aanlegkosten lopen op in complexere situaties en wanneer geen combinatie wordt gemaakt met rioolvervangingsprojecten. In het laatste geval naar schatting met minimaal een factor 3, omdat dan de kosten voor straatwerk en grondwerk volledig ten laste komen van het project actief grondwaterpeilbeheer. Het repareren van een riool ('relining') geldt ook als een situatie waarin geen combinatie kan worden gemaakt met rioolvervangingsprojecten, omdat daarbij geen straatwerk plaatsvindt.

Bij uitvoering als DIT-riool kan de buis van een nieuw aan te leggen hemelwaterriool ook voor drainage en infiltratie worden gebruikt. Het DIT-riool wordt dan onder de grondwaterstand aangelegd, en daarmee vervalt de capaciteit voor berging van regenwater in de buis. In het gunstigste geval zijn geen compenserende maatregelen nodig om regenwaterberging buiten de buis te creëren. De extra aanlegkosten van actief grondwaterpeilbeheer bestaan dan uit het gegeven dat er een geperforeerde buis wordt aangelegd in plaats van een niet-geperforeerde buis. Bij leidingdiameters tot circa 600 mm zijn deze kosten beperkt. De afstand tot het oppervlaktewater is dan ook niet van belang, omdat de aanlegkosten worden toegerekend aan het rioolvervangingsproject. Het is ons niet bekend hoe vaak de omstandigheden zo gunstig zijn dat geen aanvullende maatregelen voor regenwaterberging nodig zijn, zoals die wel in het genoemde project in Alkmaar zijn aangelegd (infiltratiekratten). Op basis van navraag bij RioNED is de indruk dat DIT-riolen landelijk (nog) niet veel worden toegepast, in tegenstelling tot IT-riolen die in principe boven de grondwaterstand worden aangelegd en alleen regenwater te verwerken krijgen.

Opmerkelijk is dat in het praktijkvoorbeeld Land van Valk de aanlegkosten beperkt blijven ondanks de aanwezigheid van zowel peilvakken onder vrij verval als onder bemaling met pompen. Dit voorbeeld toont aan dat de aanleg van pompen en verschillende peilvakken geen onoverkomelijk grote kostenstijging met zich mee hoeft te brengen.

De standaard onderhoudskosten voor de drainage-infiltratieleiding worden geraamd op € 0,75 per m¹ per jaar. Dit is exclusief onderhoud van eventueel benodigde opvoerpompen en andere speciale voorzieningen. Deze specifieke kosten zijn gevalsafhankelijk. Voor het onderhoud wordt in het vervolg uitgegaan van € 1,00 per m¹ per jaar. De contante waarde van dit onderhoud gedurende 50 jaar vanaf aanleg is bijna € 20 per m¹ of € 20.000 per km¹ op het moment van aanleg, uitgaande van een ontwaarding van 4,5% per jaar.

Op basis van het bovenstaande zijn de totale kosten van actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met vervanging van het riool € 75.000 (aanleg) plus 20.000 (onderhoud), is €

95.000 per km¹. De totale kosten van het separaat aanleggen van actief grondwaterpeilbeheer (dus niet combineren met rioolvervangings) zijn minimaal 3x € 75.000 (aanleg) plus 20.000 (onderhoud), is € 245.000 per km¹.

2.4.2 Baten (inleiding)

De baten van actief grondwaterpeilbeheer zijn onder te verdelen in baten in openbaar gebied en baten op particulier terrein. Zoals in de inleiding beschreven is er expliciet aandacht voor kansen om met actief grondwaterpeilbeheer maaiveld daling in openbaar gebied te beperken. Onderstaand volgt daarom eerst een analyse van de baten in openbaar gebied.

Alle baten in de hierna volgende paragrafen zijn omgerekend naar contante waarde op het moment van aanleg, met een ontwaarding van 4,5% per jaar en gedurende een periode van 50 jaar. Deze termijn is gebaseerd op de verwachte gemiddelde levensduur van een drainage-infiltratiesysteem in de beoogde toepassingsgebieden.

2.4.3 Baten openbaar gebied : 1. rioleringszorg

In het rapport Riolering in Beeld (RioNED, 2013) worden de totale kosten voor de rioleringszorg per km systeembuis in beeld gebracht.¹⁵ De extra kosten in gebieden met '75%-100% slechte bodem' bedragen in 2015 circa € 4.500 per km systeembuis. Er is ons geen onderzoek bekend waaruit blijkt hoe groot het aandeel van lage grondwaterstanden in deze meerkosten is, en hoe groot het aandeel van andere factoren zoals belasting van de bodem door zwaardere materialen. Op basis van ervaring bij Fugro wordt gesteld dat bij bestaande wegen en infrastructuur de restzetting als gevolg van initiële aanleg beperkt is, en het merendeel van de extra kosten wordt toegeschreven aan lage grondwaterstanden. Voor de batenberekening wordt, zonder verder onderzoek te doen, voor dit merendeel een factor van minimaal 50% aangehouden. Als daling van deze 'slechte bodem' kan worden voorkomen met actief grondwaterpeilbeheer, zodat het zich gaat gedragen als een 'goede bodem', zijn dus minimaal 50% van de vermeden extra kosten als gevolg van 'slechte bodem' te beschouwen als baat. De contante waarde van deze baat is dan minimaal circa € 35.000 per km systeembuis als de baat direct vanaf aanleg wordt meegerekend. Naarmate de vermeden extra kosten afnemen (minder 'slechte grond') en/of de baat pas na langere tijd begint door te werken in het onderhoud en de financiën, neemt de contante waarde van de baat af.

2.4.4 Baten openbaar gebied: 2. wegbeheer

Delft Cluster (2005)¹⁶ berekent extra jaarlijkse onderhouds- en ophogingskosten voor wegverhardingen op 'slap veen' van € 1,6 per m², ten opzichte van een zandbodem. Als er weer van wordt uitgegaan dat minimaal 50% hiervan wordt veroorzaakt door lage grondwaterstanden, zijn de aan lage grondwaterstanden toerekenbare jaarlijkse meerkosten voor het wegbeheer op 'slap veen' circa € 0,8 per m². De contante waarde indien deze kosten worden vermeden bedragen minimaal circa € 60.000 per km¹¹⁷. Naarmate de vermeden

¹⁵ Definitie van 'slechte bodem' in het RioNED-rapport: Een aaneengesloten holoceen veen-, klei- of klei-/veenpakket van 5 m dik dat voorkomt binnen 8 m van het maaiveld, met een zandlaag van in totaal maximaal 50 cm.

¹⁶ Delft Cluster (2005) Zakkende bodem voor beheerkosten een belangrijke factor. Mogelijkheden voor aanpassen van de Beheerkosten Openbare Ruimte (CROW publicatie 145). Project CT03.10 "Duurzame onderhoudsstrategie voor voorzieningen op slappe bodem"

¹⁷ Uitgaande van en wegbreedte van 5 meter en doorwerking van de baten direct vanaf de aanleg.

extra kosten afnemen en/of de baat pas na langere tijd begint door te werken in het onderhoud en de financiën, neemt de contante waarde van de baat af.

Delft Cluster meldt overigens dat 'niet de kwaliteit van de weg, maar de toegankelijkheid van de belendende panden en de veiligheid voor het verkeer bepaalt het moment van interventie [...] 'De kwaliteit van het wegdek is nog goed, maar dient vanwege de lage ligging van de weg toch te worden opgebroken.' Met andere woorden: maaiveld daling hoeft niet per se tot verschildzetting te leiden om extra kosten voor het wegbeheer te veroorzaken.

2.4.5 Wordt maaiveld daling vermeden met actief grondwaterpeilbeheer?

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de vraag of de maaiveld daling die verantwoordelijk is voor de bovengenoemde meerkosten voor rioleringszorg en wegbeheer kan worden vermeden met actief grondwaterpeilbeheer.

Uit de praktijkvoorbeelden is naar voren gekomen dat bij een adequaat ontwerp en dito uitvoering de beoogde grondwaterstandsverhogingen in de rioolcunetten haalbaar zijn. Met andere woorden: het is mogelijk om het grondwaterregime actief te beïnvloeden binnen gewenste grenzen. Het is dan aannemelijk dat ook grondwateruitzakkingen kunnen worden voorkomen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 10. De rioolvervanging in 1996 leidt tot een structurele grondwaterstijging, maar pas vanaf 2004, na het inregelen van actief grondwaterpeilbeheer, verdwijnen de grondwateruitzakkingen grotendeels. Ook de grondwatermonitoring in de praktijkvoorbeelden Vondelpark en Fryslân illustreert dat grondwateruitzakkingen worden voorkomen (zie Figuren 5 en 8).

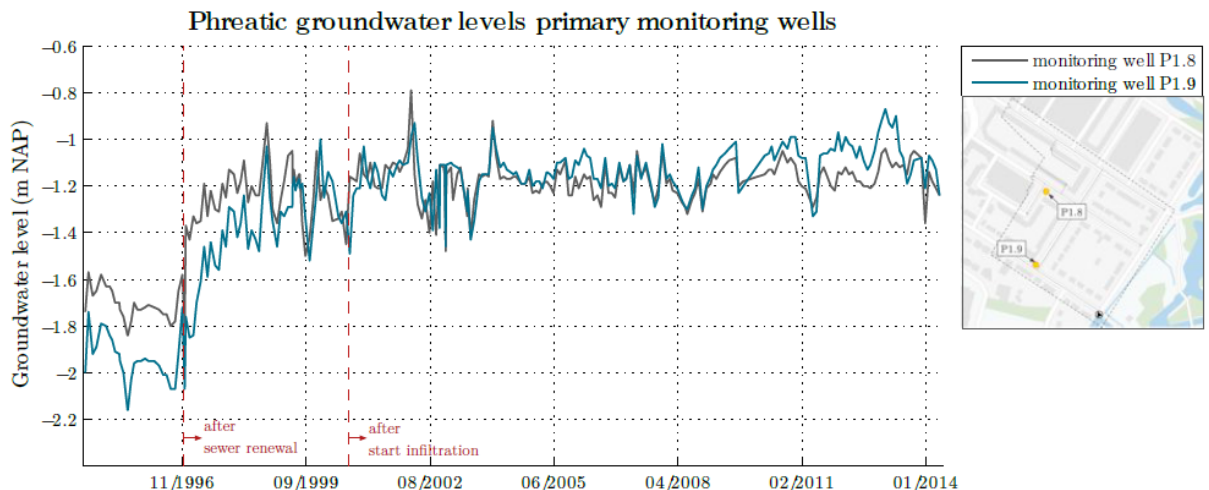
Voor realistische grondwateruitzakkingen gedurende 4 maanden van 0,3 m, onder de gemiddelde grondwaterstand of het oppervlaktewaterpeil, zijn indicatief zettingen berekend. De berekende zettingen variëren van enkele millimeters in oud stedelijk (voorbelaast) gebied tot bijna 3 cm in een buitengebied met een veenbodem. Hierbij wordt opgemerkt dat de berekende zettingen indicatief zijn. De werkelijke zettingen zijn afhankelijk van lokale factoren, zoals bodemopbouw, (voor)belasting (zoals historische achtergrond, eerdere ophogingen, grondwaterverlagingen in het verleden, verkeersbelasting, etc.) en objecten in de ondergrond. Voor een toelichting van de uitgevoerde berekeningen wordt verwezen naar Bijlage C.

Normaal gesproken wordt bij het bouwrijpmaken van terreinen een maximale restzettingseis van 100 tot 200 mm in 30 jaar gehanteerd. Het is realistisch om te veronderstellen dat binnen deze termijn grondwateruitzakkingen van 0,3 m meer dan eens kunnen optreden (zie wederom de voorbeelden in Figuren 5, 8, 9 en 10)¹⁸. In dat geval wordt met de berekende zettingen een aanzienlijk deel van de toegestane restzetting opgebruikt. Bij grotere (vermeden) grondwateruitzakkingen worden de (vermeden) zettingen groter. De kans op grotere uitzakkingen tijdens droge perioden neemt toe naarmate de hydrologische situatie verandert van kwel naar wegzijging, en naarmate de hoeveelheid (openbaar) groen toeneemt. De kans op grotere grondwateruitzakkingen neemt ook toe onder invloed van klimaatverandering, waarin droogten tijdens de zomer vaker voorkomen.

Het bovenstaande leidt tot de verwachting dat het mogelijk is om met een goed functionerend actief grondwaterpeilbeheer maaiveld daling, en daaruit volgende extra kosten voor riolerings- en wegbeheer te voorkomen. Dit is het meest het geval in wegzijgingsgebieden (grote

¹⁸, Op basis van meetreeksen gedurende droge zomers en langjarige modelsimulaties.

grondwateruitzakkingen) met veel 'slechte bodem' dan wel slappe veenbodems (veel maaiveldaling).



Figuur 10. Gemeten grondwaterstanden in twee peilbuizen in een rioolcunet, Land van Valk. Bron: Votel M (2015). Controlling minimum groundwater levels in urban areas. Evaluation of groundwater recharge systems in Dordrecht. MSc thesis, TU Delft.

2.4.6 Baten grotendeels voor particulieren: 1. Funderingen

De geanalyseerde praktijkvoorbeelden Land van Valk en veenweidegebied Fryslân laten zien hoe actief grondwaterpeilbeheer kan leiden tot het voorkomen van droogstand op particulier terrein. Met het voorkomen van droogstand of (bij funderingen op staal) vershilzettingen kunnen funderingsschade en daarmee gepaard gaande herstelkosten worden vermeden. De hiermee te behalen baat is afhankelijk van het type fundering en de ernst van de schade, maar wordt gemiddeld geraamd op € 54.000¹⁹. Voor een 'aandachtsgebied funderingsproblemen' waarin 75% van de panden vroeg of laat te maken krijgt met funderingsherstel, vertegenwoordigt het vermijden van funderingsherstelkosten dan een contante waarde, gemiddeld over alle panden in het gebied, van circa € 12.000 per pand²⁰. In een aandachtsgebied waar 25% van de panden in deze categorie valt²¹, is de contante waarde, gemiddeld over alle panden in het gebied, circa € 4.000 per pand. Omgerekend naar km¹ worden deze contante waarden honderd maal hoger (aannee 100 panden per km¹ straat), dus ruim € 1,2 miljoen en € 400.000, respectievelijk. Omdat een (soms groot) deel van de structurele droogstand van houten paalfunderingen kan worden opgeheven met alleen rioolvervanging, wordt in het vervolg de aanname gehanteerd dat in een 'gemiddeld' aandachtsgebied funderingen 25% van de panden geholpen kan worden met actief grondwaterpeilbeheer.

¹⁹ Vergelijk: € 54.000, prijspeil 2006, in Deltares (2012) Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied

²⁰ Uitgangspunt: herstel van de panden vindt plaats, gelijkmatig in de tijd verspreid over een periode van 5 tot 50 jaar na de aanleg van het actief grondwaterpeilbeheersysteem.

²¹ Dit percentage kan ook lager zijn dan in het eerste voorbeeld doordat een deel van de droogstand van houten funderingen kan worden opgeheven met alleen rioolvernieuwing. Het aantal panden waarvoor actief grondwaterpeilbeheer 'het verschil maakt', is dan lager.

2.4.7 Baten voor particulieren: 2. Grondwateroverlast

Kostenschattingen van maatregelen tegen grondwateroverlast bij bebouwing en in tuinen variëren tussen € 5.500 per pand (ervaring, Wareco) en € 12.000 per pand (Deltares, 2012). Ook hier is voor de contante waarde van de baat bepalend hoe lang na aanleg van actief grondwaterpeilbeheer de kosten voor maatregelen tegen grondwateroverlast zouden zijn gemaakt. Uitgaande van € 7.500 per pand vermeden herstelkosten bij gemiddeld 10% van de panden, tussen 5 en 50 jaar na aanleg van actief grondwaterpeilbeheer, wordt de contante waarde van deze baat € 230 per pand of ruim € 20.000 per km¹.

2.4.8 Niet-gekwantificeerde baten.

In het bovenstaande zijn de volgende kosten en baten c.q. vermeden kosten niet beschouwd:

- De kosten die particulieren moeten maken om actief grondwaterpeilbeheer op hun terrein te realiseren.
- De kosten van funderingsonderzoek.
- Baten van de vermeden kosten die de gemeente moet maken als door particulieren met grondwaterproblemen een beroep wordt gedaan op de regierol van de gemeente.
- Baten van vermeden indirecte gevolgen van funderingsschade, zoals verloedering van wijken met bijkomende problemen en gemeentelijke subsidieregelingen voor funderingsherstel.
- Baten van vermeden maaiveld daling voor netbeheerders en andere beheerders van objecten in de openbare ruimte.
- Baten voor het groenbeheer als gevolg van verbeterde groeiplaatsen voor bomen: lagere sproei-behoefte, verbetering van de leefbaarheid, vermindering van hittestress.
- Baten van vermeden schade door regenwateroverlast in relatie tot (minder) maaiveld daling.

Deze baten zijn afhankelijk van andere factoren dan reeds beschreven, zoals aard en omvang van begroeiing, bevolkingssamenstelling, eigendomsgrenzen, enz.. Het meerekenen van deze baten zou de onderhavige analyse dusdanig compliceren dat een kwantificering van deze baten achterwege is gelaten. Maar dat betekent niet dat deze baten verwaarloosbaar zijn.

2.4.9 Vergelijking kosten en baten

De in het voorgaande afgeleide netto contante waarden voor kosten en baten van actief grondwaterpeilbeheer zijn samengevat in Tabel 3. Deze tabel is van toepassing op gebieden met '75-100% slechte grond' (cf. Riolering in Beeld, 2013) of 'slappe veenbodem' (Delft Cluster, 2005), in combinatie met aandachtsgebieden fundering en/of grondwateroverlast.

Gaande van links naar rechts in Tabel 3 worden de volgende conclusies getrokken voor deze gebiedstypen:

- In gebieden gevoelig voor maaiveld daling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden levert actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met rioolvervanging in openbaar gebied meer baten op dan het kost.
- In gebieden gevoelig voor maaiveld daling kan actief grondwaterpeilbeheer zonder combinatie met rioolvervanging meer opleveren dan het kost, wanneer er ook andere baten in het openbaar gebied te verwachten zijn: netbeheer, groenbeheer, minder water op straat en indirecte baten.
- Wanneer de merendeels particuliere baten gerelateerd aan funderingsschade worden meegerekend, levert actief grondwaterpeilbeheer altijd veel meer op dan het kost.

Tabel 3. Samenvatting kosten en baten actief grondwaterpeilbeheer systeem. De weergegeven getallen zijn afgeleid voor gebieden met een slappe veenbodem en aandachtsgebieden voor funderingsschade en grondwateroverlast. De pijlen geven aan dat de tabel van links naar rechts gelezen moet worden. Groen = baten hoger dan kosten. Geel = baten vergelijkbaar met kosten, balans afhankelijk van lokale factoren. Rood = baten lager dan kosten.

	type baat (afgeleid voor) →	riolering (‘75- 100% slechte grond’)	wegbeheer (slappe veenbodem)	niet- gekwantificeerd (netbeheer, groenbeheer, water op straat, indirecte baten)	funderings- schade (in aandachts- gebied)	gw-overlast (in aandachts- gebied)
Alle kosten en baten zijn per km ¹		baten rioleringszorg en wegbeheer, openbaar gebied		alle baten openbaar gebied	(grotendeels) particuliere baten	
kosten ↓	baten →	minimaal 35.000	minimaal 60.000	---	400.000	20.000
aanleg / onderhoud 50j, combi met rioolvervangng	95.000	→		→		
aanleg / onderhoud 50j, geen combi rioolvervangng	245.000	→		→		

Verder kunnen nog de volgende opmerkingen worden gemaakt bij Tabel 3:

- Als de aanleg- en onderhoudskosten beperkt blijven (bv. aanleg als DIT-riool), kan ook in gebieden met minder baten voor rioleringszorg en wegbeheer actief grondwaterpeilbeheer in openbaar terrein meer opleveren dan het kost. Dit betreft minder ‘slappe’ en / of meer voorbelaste gebieden en / of gebieden waar minder grote grondwateruitzakkingen optreden, zoals kwelgebieden.
- Bij toenemende complexiteit van het stedelijke gebied, of in geval van een minder duidelijke relatie tussen grondwaterstand en maaiveldvaling, zal een omslagpunt bereikt worden waarbij de kosten en baten voor het openbaar gebied gelijk zijn. Dit betekent dat er tal van situaties denkbaar zijn waar de baten nog steeds groter zijn dan de kosten.

2.5 Waar en wanneer actief grondwaterpeilbeheer invoeren?

2.5.1 Waar actief grondwaterpeilbeheer invoeren?

De belangrijkste leidraad voor de invoering van actief grondwaterpeilbeheer is de programmering van openbare werken. Dit betekent dat de aanleg onderdeel is van geplande rioolvervangingen. Dergelijke aanleg levert een batig saldo op in maaiveldvalingsgevoelige gebieden zoals die met name in Noord- en West Nederland en in het Rivierengebied voorkomen, maar ook in de beekdalgronden in Oost- en Zuid-Nederland.

Op basis van de analyse van kosten en baten in de vorige paragraaf kunnen verder de volgende gebiedskenmerken worden geïdentificeerd die bijdragen aan een batig saldo bij actief grondwaterpeilbeheer:

- Beschikbaarheid van oppervlaktewater gedurende het hele jaar (zie Figuur 3 rechts).

- Groot aandeel 'slappe bodem' c.q. veenbodem (de rode gebieden in Figuur 3, links), daardoor gevoelig voor maaiveldddaling en daaraan gerelateerde schades.
- Veel stedelijk groen, daardoor gevoelig voor uitzakking van grondwaterstanden tijdens droogte als gevolg van een verdampingsoverschot.
- Lager liggende polders, droogmakerijen of waterlopen in de omgeving, daardoor veel grondwater dat naar diepere watervoerende lagen wegzijgt, en daardoor gevoelig voor uitzakking van grondwaterstanden tijdens droogte.
- Toekomstige nieuwbouwwijken. Actief grondwaterpeilbeheer kan hier eenvoudig en goedkoop gerealiseerd worden door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur. Nieuwe constructies kunnen weliswaar zo worden gebouwd dat ze niet kwetsbaar zijn voor seizoensgebonden lage grondwaterstanden, maar voor het beperken van maaiveldddaling in openbaar terrein en tuinen is actief grondwaterpeilbeheer zinvol.
- Gebieden met kwetsbare funderingen (baten grotendeels voor derden, maar wel hoog).

Aan hoe meer van deze randvoorwaarden een gebied voldoet, hoe groter de kans is dat actief grondwaterpeilbeheer een batig saldo zal opleveren.

2.5.2 Op welke termijn actief grondwaterpeilbeheer invoeren?

Uit diverse onderzoeken is af te leiden dat de uitzakking van de grondwaterstand in de zomer toeneemt onder invloed van klimaatverandering, met een orde van grootte van 10 à 15 cm in 2050 in het westen van Nederland²². Dit betekent dat onder invloed van klimaatverandering de baten van actief grondwaterpeilbeheer groter worden. Grotere grondwateruitzakkingen betekenen immers meer maaiveldddaling en daaruit voortvloeiende schades, en vaker droogstand van houten funderingen.

De levensduur van riolering bedraagt gemiddeld 60 jaar (Riolering in Beeld, 2013). Als nu een riolering wordt vervangen is deze in 2050 waarschijnlijk nog niet aan vervanging toe, ook al is de levensduur juist in dalingsgevoelige gebieden korter. Omdat door combinatie met rioolvervanging de aanlegkosten sterk beperkt worden, moet actief grondwaterpeilbeheer nu al bij iedere rioolvervanging worden overwogen. Een manier om dit te bereiken is het opstellen van masterplannen op wijkniveau. Daarbij worden riolerings, infiltratie- en drainagewerken integraal geprogrammeerd, zodat alle systemen in alle fasen van het masterplan optimaal functioneren. Actief grondwaterpeilbeheer is daarin gelijkwaardig aan rioleringszorg, en kan daarom zowel leidend zijn als volgend.

Wordt dit niet gedaan, dan doet de volgende kans zich pas op zijn vroegst over enkele decennia voor. In de tussenliggende periode is al veel schade te vermijden met actief grondwaterpeilbeheer, mede in het licht van klimaatverandering

2.6 Beantwoording onderzoeksvragen

Is actief grondwaterpeilbeheer technisch haalbaar en waar hangt dit van af? (Onderzoeksvraag a)

Er zijn geen technische beperkingen aan de invoering van grootschalig actief grondwaterpeilbeheer, het is veeleer een kwestie van kosten en baten. Bij ruimtelijk variërende eisen aan de grondwaterstand kunnen verschillende peilvakken ingericht worden.

²² Climate proof cities consortium (2011) *Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering. Rapport TNO-060-UT-2011-01826.*

De voorbeelden Vondelpark en Land van Valk laten zien dat dat niet tot onoverkomelijke complexiteit leidt, en effectieve en onderhoudsarme systemen oplevert.

Wat zijn de effecten van actief grondwaterpeilbeheer en waar hangt dit van af? (Onderzoeksvraag b)

De praktijkvoorbeelden Land van Valk, Vondelpark, Veenweidegebied Fryslân en Leidsebuurt Haarlem tonen aan dat de beoogde effecten kunnen worden gerealiseerd. Na een inregelperiode blijft de grondwaterstand in de wegcunetten aantoonbaar binnen de gewenste, vooraf vastgestelde grenzen.

De praktijkvoorbeelden Land van Valk en Veenweidegebied Fryslân tonen aan dat een werkbare randvoorwaarde kan worden geboden aan particuliere eigenaren om vanaf de perceelsgrens zelf de beoogde grondwaterstanden te realiseren. Tijdige communicatie en goede publiek-private samenwerking maakt daarbij het verschil.

De doorslaggevende factoren bij de goede ervaringen in deze praktijkvoorbeelden zijn niet schaalafhankelijk. De stap van deze voorbeelden naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer is goed haalbaar.

Wat zijn de kosten en baten van actief grondwaterpeilbeheer? (Onderzoeksvraag c)

In gebieden gevoelig voor maaiveldaling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden levert actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met rioolvervanging in openbaar gebied meer op dan het kost.

In gebieden gevoelig voor maaiveldaling kan actief grondwaterpeilbeheer zonder combinatie met rioolvervanging meer opleveren dan het kost, wanneer er ook andere baten in het openbaar gebied te verwachten zijn: netbeheer, groenbeheer, minder water op straat en indirecte baten.

Wanneer de merendeels particuliere baten gerelateerd aan funderingsschade worden meegerekend, levert actief grondwaterpeilbeheer altijd veel meer op dan het kost.

In welke gebiedstypen is actief grondwaterpeilbeheer kansrijk? (Onderzoeksvraag d)

Als de aanleg onderdeel is van geplande reconstructies, levert actief grondwaterpeilbeheer een batig saldo op voor maaiveldalingsgevoelige gebieden zoals die met name in Noord- en West Nederland en in het Rivierengebied voorkomen, maar ook in de beekdalgronden in Oost- en Zuid-Nederland.

Het concept is in het bijzonder kansrijk in maaiveldalingsgevoelige stedelijke gebieden met veel kans op grondwateruitzakkingen als gevolg van verdamping en / of wegzijging. In minder dalingsgevoelige of complexere stedelijke gebieden kan actief grondwaterpeilbeheer kansrijk zijn als de aanlegkosten beperkt gehouden kunnen worden of wanneer er ook andere baten dan voor rioleringszorg en wegbeheer in het openbaar gebied te verwachten zijn.

Ook in toekomstige nieuwbouwwijken is actief grondwaterpeilbeheer kansrijk. Actief grondwaterpeilbeheer kan hier eenvoudig en goedkoop gerealiseerd worden door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur.

Op welke termijn is invoering van actief grondwaterpeilbeheer wenselijk en haalbaar, in relatie tot onder meer klimaatverandering? (Onderzoeksvraag e)

Omdat door combinatie met rioolvervanging de aanlegkosten sterk beperkt worden, moet actief grondwaterpeilbeheer nu al bij iedere rioolvervanging worden overwogen. Wordt dit niet gedaan, dan doet de volgende kans zich pas op zijn vroegst over enkele decennia voor. In de tussenliggende periode is al veel schade te vermijden met actief grondwaterpeilbeheer, mede in het licht van klimaatverandering.

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

Er zijn geen technische beperkingen aan de invoering van grootschalig actief grondwaterpeilbeheer.

Diverse praktijkvoorbeelden tonen aan dat de beoogde effecten van actief grondwaterpeilbeheer worden gerealiseerd in openbaar gebied, en dat een werkbare randvoorwaarde kan worden geboden aan particulier terrein.

De doorslaggevende factoren bij de goede ervaringen in de praktijkvoorbeelden zijn niet schaalafhankelijk. De stap van deze voorbeelden naar grootschalig actief grondwaterpeilbeheer is goed haalbaar.

In gebieden gevoelig voor maaiveldaling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden levert actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met rioolvervangingswerken in openbaar gebied meer op dan het kost.

Dit geldt in het bijzonder in toekomstige nieuwbouwwijken. Actief grondwaterpeilbeheer kan hier eenvoudig en goedkoop gerealiseerd worden door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur.

Wanneer de baten gerelateerd aan funderingsschade worden meegerekend, levert actief grondwaterpeilbeheer altijd veel meer op dan het kost;

Actief grondwaterpeilbeheer genereert een stedelijke watervraag in perioden van droogte. In lijn met de aanbeveling van DeltaSync (2013) wordt aanbevolen om deze watervraag mee te nemen als standaardcomponent van alle landelijke waterbeheerstudies. Dit geldt des te meer omdat het voorkomen van bodemdaling, een belangrijk voordeel van actief grondwaterpeilbeheer, de hoogste prioriteit heeft in de landelijke verdringingsreeks.

3.2 Aanbevelingen

Actief grondwaterpeilbeheer moet bij iedere rioolvervangingswerken worden overwogen en bovendien een logisch onderdeel zijn van de programmering van openbare werken. Wordt dit niet gedaan, dan doet de volgende kans zich pas op zijn vroegst over enkele decennia voor. In de tussenliggende periode is al veel schade te vermijden met actief grondwaterpeilbeheer, mede in het licht van klimaatverandering.

Beschouw grondwaterbeheer door middel van drainage en infiltratie als gelijkwaardig aan andere openbare werken. In de planning kan het zowel leidend als volgend zijn op de rioleringswerken. In de ontwerp- en uitvoeringsfase moet sprake zijn van 'bewust leggen' in plaats van 'meeleggen'.

Maak een robuust ontwerp op basis van lokale gebiedskenmerken, dat is essentieel voor een effectief actief grondwaterpeilbeheer. Besteed expliciet aandacht aan een goede onderbouwing van de gewenste minimale en maximale grondwaterstand, en de daarbij

behorende aanleg- en instelniveaus. Start daarvoor bijtijds met monitoren van de grondwaterstand in de 'nulsituatie'.

Zorg voor een zorgvuldige uitvoering in den droge, goede materiaalkeuze en maatregelen tegen vervuiling vanuit het oppervlaktewater. Aandacht voor een goede uitvoering is cruciaal voor een efficiënt beheer en onderhoud, zeker omdat nog niet iedereen bekend is met dit systeem.

Colofon

Auteurs:

drs. Jelle Buma (Deltares)
drs. ing. Maarten Kuiper (Wareco)
ir. Stan Geurts van Kessel (Wareco, tot febr. 2017)
Wouter Kooijman MSc. (Fugro)

Opdrachtgever:

Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie / Ministerie van Infrastructuur en Milieu
met aanvullende financiering vanuit het Uitvoeringsprogramma Bodemcovenant

Begeleidingscommissie:

drs. Han Frankfort (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)
ing. Tommy Bolleboom (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)
ir. Dick de Jong (Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek)
drs. Jeroen Ponten (Waternet / Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)
mr. Ariane Tuinenburg-Jansen (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)



Deltaprogramma | Ruimtelijke Adaptatie



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



A Projectbeschrijvingen praktijkvoorbeelden

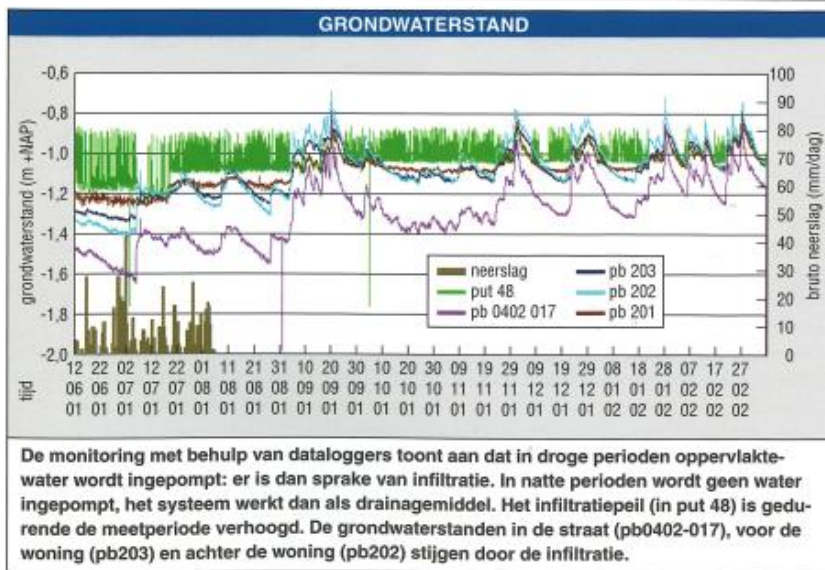
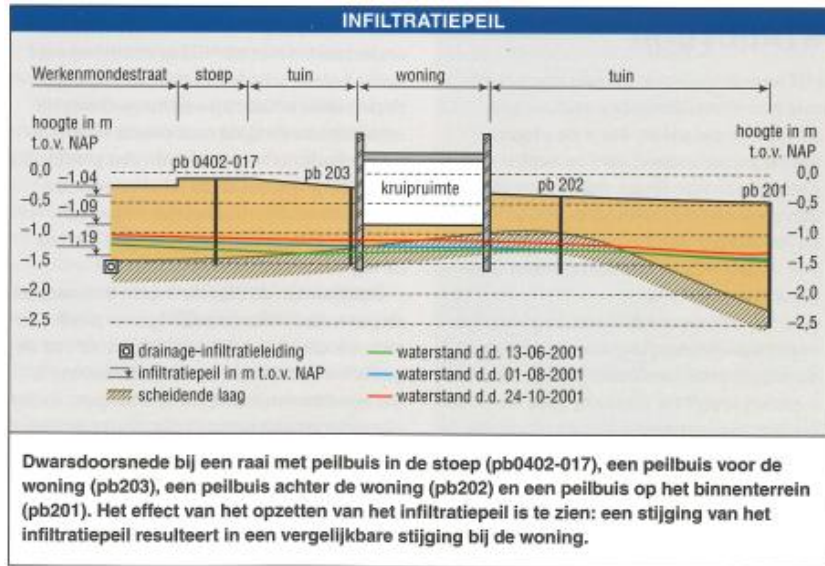
	Nieuwe Haven, Gouda
waar	Een straat in de oude binnenstad in West-Nederland
onderzoek/ urgentie (9330/pn.767)	In de straat was rioolvervangings gepland vanwege de slechte staat van de riolering. Om in de oorspronkelijke situatie te lage grondwaterstanden te voorkomen, was het lekke riool opgeboeid: de rioolstrengen blijven vol met (afval)water doordat er drempels in zijn aangebracht. Op deze manier kan riool lekkage niet zorgen voor een grondwaterstandverlaging. Na rioolvervangings werden te lage en te hoge grondwaterstanden verwacht. Bij de omringende panden was een reële kans op schade indien geen maatregel zou worden genomen. De schade door te lage grondwaterstanden zou bestaan uit zettingen van straten en op staal gefundeerde woningen en droogstand van houten paalfunderingen. De schade door te hoge grondwaterstanden zou bestaan uit vochtoverlast in de woningen. De op staal gefundeerde woningen zijn in de loop der tijd met het maaiveld mee gezakt en hebben al klachten gerelateerd aan een hoge grondwaterstand.
ontwerp (uit KJ380 RAP20160405)	Drainage-infiltratiesysteem (diameter Ø125 mm op 1 m –maaiveld) in een goed doorlatend gecompartmenteerd argexpakket van 0,4 m hoog en 5 m breed. De inlaat vindt plaats via een inlaatleiding van 35 m in open verbinding met het oppervlaktewater.
aanleg (uit KJ380 RAP20160405)	Het systeem is in 1995 aangelegd gelijktijdig met vervanging van het hoofdriool. In de straat zijn twee parallelriolen en een verzamelriool niet vervangen en nog opgeboeid. [kosten/baten /bijzonderheden kosten /nog in afwachting van gemeente]
communicatie/ participatie	niet bekend
effect (9330/pn.767)	verhoging/invloedssfeer <u>Voor rioolvervangings</u> Voor de rioolvervangings is het riool opgeboeid met een instelniveau van NAP -0,85 m en ligt de grondwaterstand op gemiddeld circa NAP -0,90 m (op basis van 9 handmetingen in juli en augustus 1993 bij 7 peilbuizen). Na afboeien (het rioolstelsel wordt periodiek leeggepompt) ligt de grondwaterstand op circa NAP -1,20 m.
(uit KJ380 RAP20160405)	<u>Na rioolvervangings</u> Het instelniveau van de drainage-infiltratieleiding ligt op boezempeil van NAP -0,72 m. Het opboei-peil van de riolering is NAP -0,82 m. In een situatie met een opgeboeid riool ligt de grondwaterstand aan de voorzijde van de woningen op circa NAP -0,80 m op basis van 2 peilbuizen. Eerste locatie op 7 m naast drainage-infiltratieleiding: NAP -1,0 tot -0,9 m bij opgeboeid riool en tweede locatie op 11 m naast drainage-infiltratieleiding NAP -0,8 m tot NAP -0,7 m. Uit de metingen blijkt dat het opgeboeide riool regelmatig wordt afgeboeid. Bij afboeien ligt het instelniveau circa 0,8 m lager dan het instelniveau van de

	<p>drainage-infiltratieleiding. Op dat moment is de invloed van de drainage-infiltratieleiding onvoldoende en is de invloed van de nog aanwezige lekke riolen bepalend voor de grondwaterstand.</p> <p>Conclusie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grondwaterstand vóór: NAP -0,90 m onder invloed opgeboeid riool • Grondwaterstand na: NAP -0,7 m tot NAP -1,0 m onder invloed overig opgeboeid riool en drainage-infiltratiesysteem • Effect voor en na maatregelen vergelijkbaar, effect van het drainage-infiltratiesysteem en opgeboeid riool samen niet in te schatten omdat de natuurlijke grondwaterstand niet bekend is
beheer- inspanning	

	Land van Valk, Dordrecht
waar	Uitbreidingswijk uit de jaren 30 op klei-veenbodem met wegcunetten in West-Nederland
onderzoek/ urgentie (Land+Water 10-2001) (Land+Water 5-2004)	In de wijk staan op korte afstand van elkaar woningen waar sprake is van grondwaterproblemen door zowel hoge als lage grondwaterstanden. De wijk is sinds de bouw van de wijk decimeters tot een meter gezakt. Het is niet bekend hoeveel restzetting nog verwacht wordt. Ook het grondwater is gedaald. De op staal gefundeerde woningen zakken eveneens mee, maar minder snel dan het grondwater waardoor kruipruimtes in het grondwater zakte. Panden gefundeerd op houten palen zakken niet mee, hier trad periodieke droogstand van houten paalfunderingen op. Er waren maatregelen nodig om vochtproblemen en hoge herstelkosten voor funderingen te voorkomen, zodanig dat het grondwaterpeilbeheer met maatwerk op de verschillende funderingstypen wordt afgestemd. Er waren dus ondergrondse peilvakken nodig.
ontwerp (Land+Water 10-2001) (Land+Water 5-2004)	Bij 2 peilvakken is een regelbaar drainagesysteem aangelegd met ene instelniveau van 0,3 m à 0,5 m onder polderpeil, lozend via een pompput en afvoerleiding (pvcø200mm) op oppervlaktewater. Bij 1 peilvak was het instelniveau gelijk aan het oppervlaktewaterpeil, drainage-infiltratiesysteem in open verbinding met watergang aangelegd. Bij 1 peilvak instelniveau 0,1 m hoger dan oppervlaktewaterpeil, hier is een drainage-infiltratiesysteem aangelegd waar overtollig water onder vrij verval afstroomt en in droge periode via een door een peilbuis aangestuurde pomp wordt aangevoerd uit de watergang. De instelniveaus zijn op basis van monitoring actief ingeregeld. Er zijn kleidammen in de wegcunetten aangelegd om te voorkomen dat geïnfiltreerd water te snel wegstroomt. De totale lengte van de leidingen (pvcø125mm in grindkoffer400*400mm) bedraagt 1 km. De diepteligging varieert van circa 1,5 m à 2 m onder maaiveld. Diepte kleidammen van circa 0,5 m onder maaiveld tot onderzijde wegcunet (circa 2 m onder maaiveld).

<p>aanleg (Land+Water 10-2001) (mondelinge opgaaf gemeente)</p>	<p>Het systeem is in 1998/1999 aangelegd gelijktijdig met vervanging van de riolering. De kosten bleven hierdoor laag en worden ingeschat op minder dan € 100,00 per m1. De baten zijn niet bepaald, maar vanwege de lage kosten is door de gemeente besloten dat de werkzaamheden doelmatig waren.</p>
<p>communicatie/participatie (KCAF)</p>	<p>Bij enkele percelen zijn in 2010/2012 op initiatief van de eigenaren in overleg met de gemeente extra infiltratieleidingen in achtertuinen en kruipruimtes aangelegd, nadat gebleken was dat de invloed van de gemeentelijke leidingen onvoldoende groot was voor de betreffende percelen. Infiltratieleidingen zijn via een pompput in een van de achtertuinen op het gemeentelijk infiltratiesysteem aangesloten. Als het grondwaterpeil te laag dreigt te worden, wordt de pomp automatisch ingeschakeld. Kosten: variërend van €250 per pand tot €3 duizend per pand (bij meer uitbesteding).</p>
<p>effect (Land+Water 10-2001) (Land+Water 5-2004) (71310.007job.rap) (rapport Fugro, nog ontvangen)</p>	<p>Verhoging/invloedssfeer De effecten zijn berekend met behulp van een gedetailleerd grondwatermodel.</p> <p>De invloed van de leidingen op het grondwater is na aanleg gemeten met behulp van 2 raaien van peilbuizen in de put van het drainage-infiltratiesysteem, de straat, voorzijde woning, achterzijde woning en binnenterrein. Uurlijks bemeten met dataloggers, gedurende de periode zomer 2001-winter 2012.</p> <p><i>Afvoer:</i> De grondwaterstand wordt in het wegcunet en voorzijde woning effectief beheerd op streefpeil. Aan de achterzijde van de woningen is het effect na buien gering, door een beperkte afstroming naar het systeem door klei en funderingsmuren.</p> <p><i>Aanvoer:</i> De grondwaterstand is sinds de werkzaamheden met 0,3 m gestegen in de leidingen. Een vergelijkbare stijging werd gemeten in het wegcunet (0,2 m) en aan de voor (0,15 m)- en achterzijde (0,1 m) van de woning. In het binnenterrein zijn kleinere effecten gemeten, minder dan 0,1 m. De opstuwung in het systeem is beperkt tot enkele centimeters.</p> <p><i>Effect kleidammen:</i> De grondwaterstand aan beide zijden van de kleidammen waren conform streefwaarden.</p> <p><i>Effect op funderingen</i> Voor de aanleg van het particuliere systeem is een funderingsinspectie (met houtmonsters) uitgevoerd en in 2015 is een herhalingsmeting uitgevoerd (ook weer met houtmonsters). De kwaliteit van het funderingshout is sinds de aanleg van het infiltratiesysteem gelijk gebleven.</p> <p>Conclusie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het systeem voorkomt effectief te lage grondwaterstanden aan de voorzijde van woningen • Aan de achterzijde van de woningen bleek het grondwaterpeil in de straten in regenloze periodes niet toereikend om de fundering onder water te houden. • Hoge grondwaterstand worden voorkomen aan de voorzijde van woningen.

- Het drainage-infiltratiesysteem is een effectieve maatregel om actief grondwaterpeilbeheer toe te passen op openbaar terrein en creëert de mogelijkheid voor bewoners om ook op particulier terrein het grondwaterpeil te beheren.



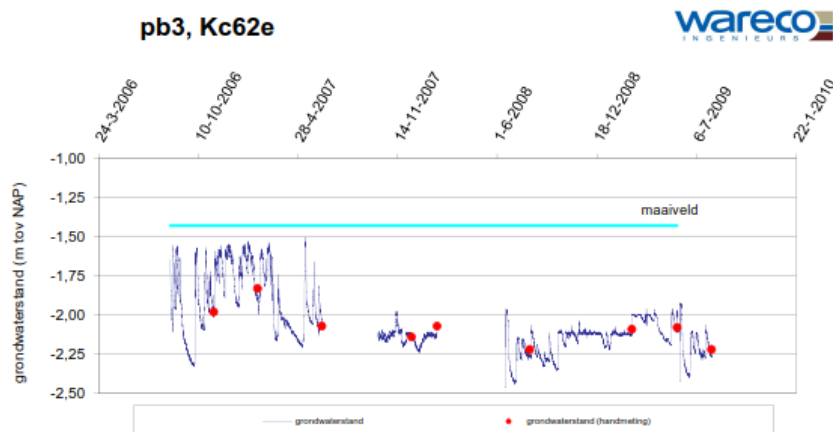
**beheer-
inspanning**
(mondelijke
informatie
gemeente)

Er is minder onderhoud nodig dan dat tijdens het ontwerp is geadviseerd. De drainputten in de grondwater-aandachtsgebieden worden één keer in de 5 jaar geïnspecteerd. Het Land van Valk licht in een aandachtsgebied. Het systeem vergt weinig onderhoudsinspanning. Alleen als er verontreiniging in de putten wordt aangetroffen, worden de drains doorgespoten. Dit wordt ook gedaan als er klachten van bewoners zijn over het functioneren van het systeem.

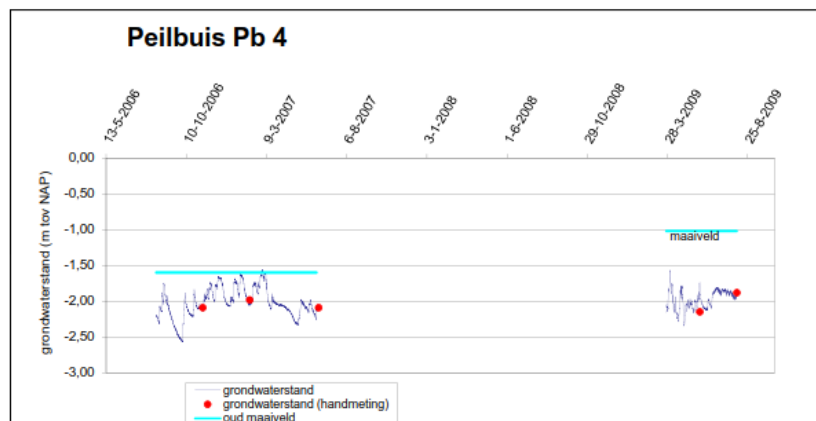
De peilsturing van het drainagesysteem is geautomatiseerd. De besturing is aangesloten op de hoofdpst van de gemeente en kan op afstand bediend worden. Het onderhoud van het sturingsysteem wordt gedaan door onze gemaalbeheerders. De besturing van de drainage valt daardoor in het zelfde onderhoudsregime als de riolgemalen.

	Vondelpark, de Slurf, Amsterdam
waar	Park met omliggende bebouwing op klei-veenbodem in West-Nederland
onderzoek/ urgentie (KC62E, RAP20090924)	In het Vondelpark waren de groeiomstandigheden voor bomen groen niet goed door grondwaterstanden tot boven maaiveld. Daarnaast zakte in de zomer de grondwaterstand uit waardoor maaiveld daling optrad. Het Vondelpark ligt lager dan de omgeving, doordat de omgeving is opgehoogd en het park niet. Door verdergaande maaiveld daling in het park is dit verschil in de loop der tijd groter geworden. Bij de renovatie van het Vondelpark is als eerste gekeken naar de entree van het park: de Slurf. Hier speelden de eerder genoemde problemen en daarbij was er kans op droogstand van houten paalfunderingen en verzakking van panden op staal rondom de Slurf.
ontwerp (Kc62O, rap20131202)	In het park is een drainage-infiltratiesysteem aangelegd om te zorgen dat de grondwaterstand niet te hoog en niet te laag komt. De afvoer van het systeem loopt naar een vijver verderop in het park. Om te voorkomen dat de grondwaterstand te ver uitzakt zijn verschillende drainage-instelniveaus ontworpen welke meelopen met het maaiveld en er wordt in zomerperioden oppervlaktewater geïnfiltreerd in een ondergrondse lavapassage. In de nabijgelegen straat (Zandpad) is een infiltratieleiding aangelegd en een hydrologisch scherm tussen het park en het Zandpad om een negatieve invloed van de drainage in het park en het wegstromen van infiltrerend water te voorkomen. De inlaat van het Zandpad wordt automatisch gestuurd door de grondwaterstand. De inlaat van het park gaat automatisch aan bij een te laag oppervlaktewaterpeil en of te weinig zuurstof in het water. De inlaat van het park en het Zandpad vindt onder vrij verval plaats vanuit boezemwater via hydraulische schuiven welke telemetrisch bestuurd worden. Er is een slibvangput aangelegd welke het grove slib uit het oppervlaktewater afvangt. De totale lengte van de leidingen in het park (pvcø125mm en 160 mm in argexkoffer 400*400mm) bedraagt circa 1,2 km. De diepteligging varieert van circa 1,1 m tot 1,5 m onder maaiveld. De infiltratieleiding (dubbelwandig pvc 150 mm in argexkoffer 400x400mm) in het Zandpad heeft een lengte van circa 60 m en de blinde inlaatleiding is circa 120 m lang. De aanlegdiepte is circa 1,5 m onder maaiveld
aanleg (KC62E, RAP20090924)	Het systeem is in 2007 aangelegd gelijktijdig met de renovatie van het park.
communicatie/ participatie	
effect (KC62E, RAP20090924)	Verhoging/invloedssfeer <u>Drainage-infiltratiesysteem park</u> De peilbuizen 1, 2, 3 en 4 staan op respectievelijk 15, 5, 5 en 10 m van een drainage-infiltratieleiding. Na aanleg van het drainage-infiltratiesysteem is de gemiddelde grondwaterstand 0,1 m tot 0,2 m lager dan voor aanleg van het systeem bij deze 4 peilbuizen. De hoogste grondwaterstanden zijn 0,1 tot 0,4 m lager. Bij peilbuis 2 worden een jaar na aanleg hogere grondwaterstanden gemeten, dit duidt op verminderd functioneren van de drain. Bij de meetpunten wordt voldaan aan de hoogst toelaatbare grondwaterstanden. De infiltratie vindt plaats in het laagste deel van het park (bij peilbuizen 3 en 4). Het effect hiervan is niet gemonitord.

Uit navraag bij de gemeente in 2016 volgt dat door de aanleg van de drainage ook plasvorming wordt voorkomen. In de huidige situatie is de watertoevoer naar de drain de zwakste schakel. Doordat het park veel gebruikt wordt, wordt de bovengrond dichtgelopen, met plasvorming tot gevolg. Het water kan dan niet in de bodem dringen en naar de drain toestromen. Door bovengronds bij de drain steenslag aan te brengen gaat de waterafvoer naar de drain beter.



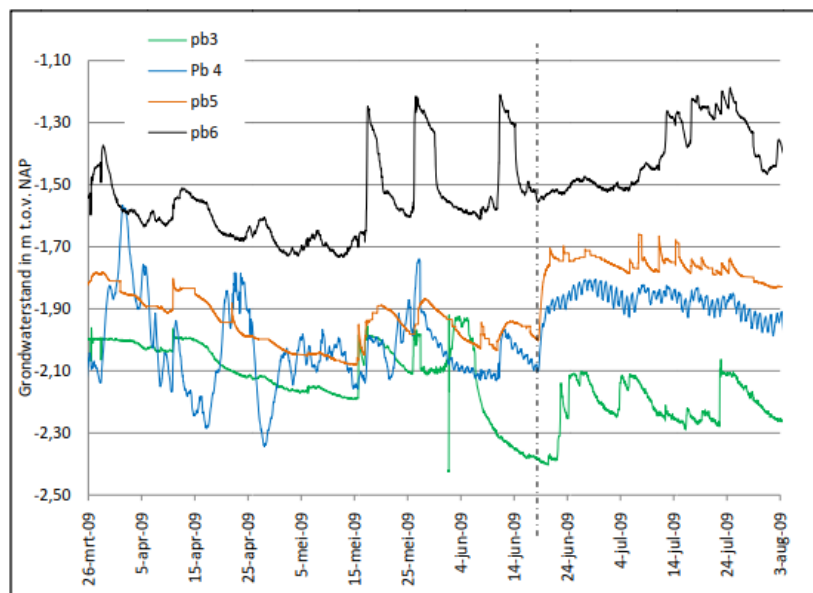
Peilbuis 3, op 5 m van drainage-infiltratieleiding, instelniveau NAP -2,1 m, aanleg systeem in februari tot september 2007



Peilbuis 4, op 10 m van drainage-infiltratieleiding, instelniveau NAP -2,1 m, aanleg systeem in februari tot september 2007

Infiltratieleiding Zandpad

De grondwaterstand in het Zandpad (straat) stijgt na het aanzetten van de infiltratieleiding 0,2 m en ligt daarmee tot 0,65 m hoger dan de laagst gemeten grondwaterstand voor aanleg. De grondwaterstand stijgt tot net boven de bovenzijde van het hydrologisch scherm waardoor een deel van het infiltrerend water het park instroomt. De grondwaterstand is 0,15 m lager dan gewenst doordat de overstort 0,1 m te laag is ingesteld en het hydrologisch scherm lager is afgewerkt dan ontworpen. Op grotere afstand op particulier terrein wordt geen invloed van de infiltratie gemeten, vermoedelijk door een lokaal slecht doorlatende bodem.



Peilbuis 5 op circa 3 m van de infiltratieleiding, peilbuis 4 in het park aan de andere kant van de hydrologisch scherm, peilbuis 6 op circa 15 m van de infiltratieleiding op particulier terrein, de stippellijn geeft het moment van aangaan van de infiltratieleiding weer

Conclusies

- door de aanleg van een drainage-infiltratiesysteem worden de hoge en gemiddelde grondwaterstanden in het park verlaagd, de invloed van infiltratie in het park is niet bekend. Hierdoor zijn de groeiomstandigheden voor bomen en gras substantieel verbeterd.
- door de aanleg van een infiltratieleiding en een hydrologisch scherm in een straat naast het park wordt een negatieve invloed van drainage richting de woningen voorkomen en wordt de grondwaterstand substantieel verhoogd.
- het niveau tot waar de grondwaterstand wordt verhoogd bij infiltratie wordt bepaald door de hoogte van het overstortniveau, de bovenzijde van het hydrologisch scherm en de doorlatendheid van de bodem.
- plasvorming wordt tegengegaan

beheer- inspanning

De drains zijn in 2015 gereinigd. Ze liggen er nu ongeveer 10 jaar en dit is de eerste onderhoudsronde. Het lijkt er op dat ééns in de 8 á 10 jaar doorspuiten een goede beheer-frequentie is. Normaliter gaan wordt uitgegaan van 5-jaarlijks onderhoud, maar uit kostenoverweging en op basis van praktijkervaring wordt de termijn meestal langer.

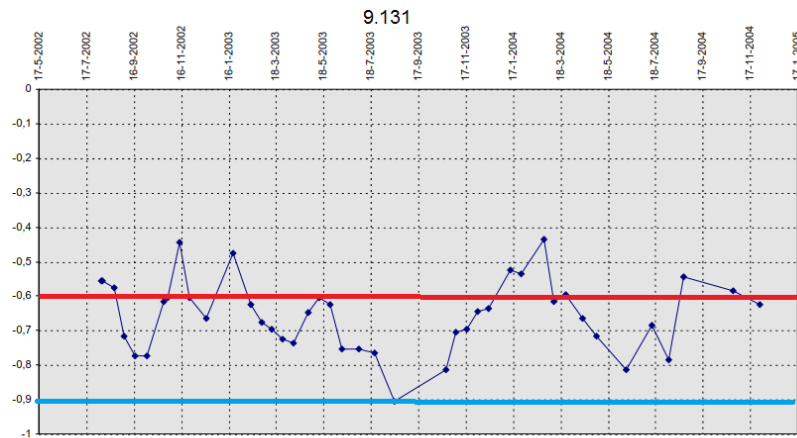
Het systeem vraagt een goed beheer. Het is belangrijk om de werking regelmatig te controleren. Dit betreft met name de sturing en de bovengrondse toestroom.

	De 3 Lanen Schiedam
waar	Drie wijkontsluitingswegen in een stad (1928 tot 1950) in West-Nederland
onderzoek/ urgentie BL54D RAP20160223/ BL54C NOT20150904/ effectenOost- versie2 BL54G RAPxxx (wordt nog opgesteld)	<p>Bij de wijkontsluitingswegen was herinrichting gepland en lokale reparatie van de riolering. Uit onderzoek bleek dat er in de straten een groot risico was op droogstand van funderingen en op grondwateroverlast in de laaggelegen tuinen. Het risico op droogstand was groot door de invloed van lekke riolering op de grondwaterstand. Daarnaast bleken er problemen in de wijk met wateroverlast bij hevige regenval en oppervlaktewaterkwaliteitsproblemen.</p> <p>Uit een kosten/baten afweging bleek dat de te verwachten kosten voor aanleg van een drainage-infiltratiesysteem 0,6 miljoen euro bedroegen voor 2100 m leiding (globale kosteninschatting, tegelijk met herinrichting). De te verwachten baten zijn ingeschat op 0,8 miljoen euro in het voorkomen van grondwateroverlast (vermindering van de huidige overlast in tuinen met 50%). De te verwachten baten in het tegengaan van schade aan houten paalfunderingen is ingeschat op 0,7 miljoen tot 6 miljoen euro. Dit is gebaseerd op het uitstellen van de funderingsherstelinvestering met 15 jaar bij 100 tot 1000 panden. Er zijn geen kosten voor het beheer bepaald.</p>
ontwerp BL54D RAP20160223	<p>Drainage-infiltratiesysteem (diameter Ø150 mm op 2,1 m –maaiveld) in een grindkoffer van 0,5x0,5 m. De inlaat vindt plaats op twee locaties via inlaatleidingen van 10 m vanuit het oppervlaktewater. De inlaat wordt gereguleerd door een mechanische vlotter. Met de vlotter wordt er voor gezorgd dat de grondwaterstand gefaseerd omhoog wordt gebracht in verband met het behoud van de bomen. Er wordt een streefpeil in het drainage-infiltratiesysteem aangehouden, indien de waterstand onder dit peil daalt gaat de vlotter mechanisch open. Door monitoren van de grondwaterstanden wordt nagegaan of het streefpeil hoog/laag genoeg is en wordt dit indien noodzakelijk bijgesteld. Er wordt een lamellenafscheider geplaatst om vuilinstroom vanuit het oppervlaktewater tegen te gaan. Hiervoor is gekozen omdat er een groot infiltratiedebiet wordt verwacht en daarmee een grotere kans op meestromen van vuil. Het risico op verminderd functioneren van het infiltratiesysteem door dichtslibben wordt op deze manier geminimaliseerd.</p>
aanleg	Het systeem wordt in 2016 en 2017 aangelegd gelijktijdig met de herinrichting van de straat en aanleg van een hemelwaterriool. In de straten zullen de ergste schades aan het riool worden gerepareerd door middel van relining.
communicatie/ participatie	Er is een bewonersavond gehouden om bewoners te informeren. Aansluitingen voor bewoners zijn nog niet voorzien.
effect BL54G RAPxxx	<p>Door middel van 12 peilbuizen is hoogfrequent gemeten gedurende 2 maanden in augustus en september 2016. Hieruit volgt een grondwaterstand op openbaar terrein van NAP -2,6 tot NAP -3,0 m (0,2 tot 0,6 m onder oppervlaktewaterpeil). Daarnaast zijn van 2005 tot 2010 maandelijkse handmetingen uitgevoerd waaruit grondwaterstanden volgen tussen NAP -1,7 m tot NAP-3,0 m.</p> <p>Het systeem moet nog aangelegd worden. Het verwachte effect is dat de grondwaterstand aan de voorzijde van de woningen kan worden gereguleerd op een niveau tussen NAP -2,30 m en NAP -2,50 m. Uitgangspunt hierbij is dat de grootste schades aan de riolering worden gerepareerd.</p>
beheer- inspanning	Het systeem moet nog aangelegd worden.

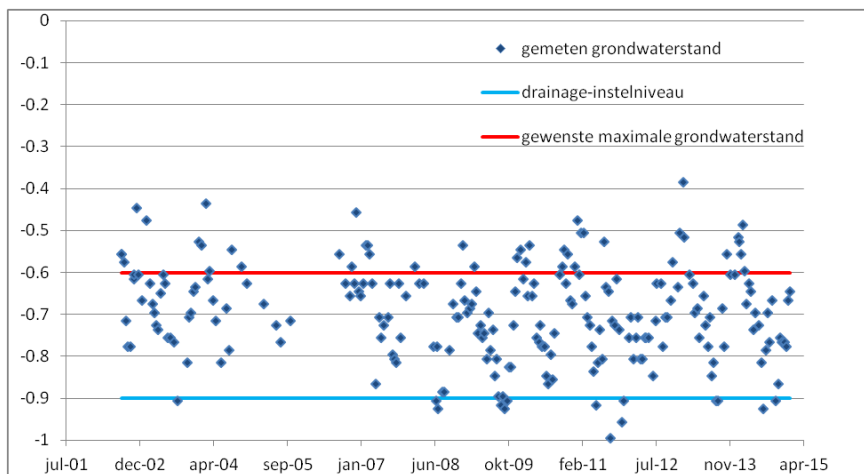
	Gouderak
waar	Een dorp in West-Nederland
onderzoek/ urgentie KL30, RAP20130612/ Partiële herziening peilbesluit Stolwijk en Berkenwoude, peilgebied Middelblok/ email gemeente Krimpenerwaard 6- 12-2016	<p>Voor het oppervlaktewater was een peilaanpassing (verlaging) voorzien volgend op de autonome maaiveldaling en in de straten rioolvervanging. Uit onderzoek bleek dat er risico was op schade door maaiveldaling en een risico op droogstand van houten paalfunderingen in droge perioden en op grondwateroverlast in natte perioden. Met een indicatieve kosten-batenanalyse is gekeken naar verschillende maatregelscenario's.</p> <p>Naar aanleiding van het onderzoek en de kosten batenanalyse is besloten tot peilfixatie van het oppervlaktewaterpeil en aanleg van een drainage-infiltratiesysteem om (een deel van) de schade aan bebouwing en wegen te voorkomen. In het eerste gebied waar rioolvervanging uitgevoerd is, is daarnaast gekozen voor een onderheide betonconstructie op openbaar terrein.</p> <p>De openbare ruimte werd voor de derde keer in 25 jaar op hoogte gebracht (dus één keer in de 8 a 9 jaar), daarom is gezocht naar een definitieve oplossing waarbij de openbare ruimte niet meer zakt. Voor de keuze tot het onderheiden is <u>geen kosten-batenanalyse uitgevoerd</u>.</p>
ontwerp tekening 33519-420 def 04-06-2014 perceel 1 te maken riolering	Openbaar terrein geheel onderheid met twee betongoten voor kabels en leidingen met hierin tweezijdig een drainage-infiltratiesysteem (diameter Ø150 mm op 1,2 m –maaiveld) in zand. Bebouwing in dit deel is van na 1990. De in- en uitstroom vindt plaats op tien locaties via leidingen van 10 m vanuit het oppervlaktewater. De in- en uitlaat vindt plaats onder vrij verval.
aanleg email gemeente Krimpenerwaard 6- 12-2016	Het systeem is in 2015 en 2016 aangelegd gelijktijdig met de herinrichting van de straat en vervanging van het riool. De kosten voor de drainage bedroegen ongeveer € 39.000 voor 850 m1 lengte (€ 46 per m1) de kosten van de onderheide constructie voor de kabels en leidingen (en drainage) kostte circa 4 miljoen euro.
communicatie/ participatie	De bewoners is de mogelijkheid geboden aan te sluiten op het drainage-infiltratiesysteem. Dit is niet gedaan.
effect KL30, RAP20130612	<p>verhoging/invloedsfeer <u>Voor aanleg drainage-infiltratiesysteem</u> Door middel van 20 peilbuizen is hoogfrequent gemeten gedurende 5 maanden van april 2012 tot eind augustus 2012. Hieruit volgt een grondwaterstand op NAP -2,4 tot NAP -3,2 m (0,1 m boven tot 0,7 m onder oppervlaktewaterpeil).</p> <p><u>Na aanleg drainage-infiltratiesysteem</u> De metingen van de grondwaterstanden worden met het gemeentelijk grondwatermeetnet uitgevoerd. Dit moet nog worden gestart omdat het project in november 2016 is opgeleverd.</p>
beheer- inspanning email gemeente Krimpenerwaard 6- 12-2016	Er is nog geen periodiek onderhoud ingepland.

	Naam Argonautenstraat Klimaatproof
waar	Amsterdam, Argonautenstraat
onderzoek/urgentie http://www.innovatie.waternet.nl/project/klimaatbestendige-straat/	Vervanging van het riool was gepland. In de straat ligt een DWA en Drainage Infiltratie Riool (DIT). Het straatprofiel is hol aangelegd met in het midden van de straat een zogenaamde granudrainage. Het hemelwater dat van de straat afstroomt naar de granudrain infiltrteert in de bodem waarna het DIT riool als drain functioneert. Voor zwaardere neerslag zijn straatkolken bijgeplaatst welke zijn aangesloten op het DIT. Bij lage grondwaterstanden wordt oppervlaktewater via het DIT riool aangevoerd en het grondwater automatisch op het boezempeil gehouden. Schade tgv toekomstige te lage grondwaterstanden kan hiermee worden beperkt en/of voorkomen. Bij hoge grondwaterstanden werkt de DIT riool als een drain. De lengte is ca 182m.
ontwerp Intern Waternet	HET DIT systeem heeft doorsnede 300mm en BOB ligt op NAP -0,90m
aanleg (Land+Water 10-2001)	gelijk met rioolvervanging in 2015
communicatie/participatie	De communicatie is afgestemd met het stadsdeel en ging via brieven
effect	Er is geen goede nulmeting gedaan. Dit werd veroorzaakt door de planologische urgentie van het project. Het effect van de aanleg van het systeem op de berging, afvoer van het hemelwater en op de grondwaterstand is met een uitgebreide proef getest. Een Bui 8 (neerslag 20mm/uur) bleek het systeem niet te kunnen verwerken zonder plassen op straat. De effecten op de grondwaterstand waren lokaal van aard en na 20 uur niet meer terug te vinden. De aanleg van de granudrainage is niet volgens plan gegaan. Er staan camera's die de plasvorming 24/7 waarnemen. De testen worden gedurende 5 jaar jaarlijks herhaald. Conclusies: Aanleg van granudrainage is specialistisch maatwerk. Invloed van bomen en instroom van afval kan de werking van granudrainage beïnvloeden. Het optimaal gebruik maken van de sponswerking van de bodem is maatwerk
beheer-inspanning	<i>nmb</i>

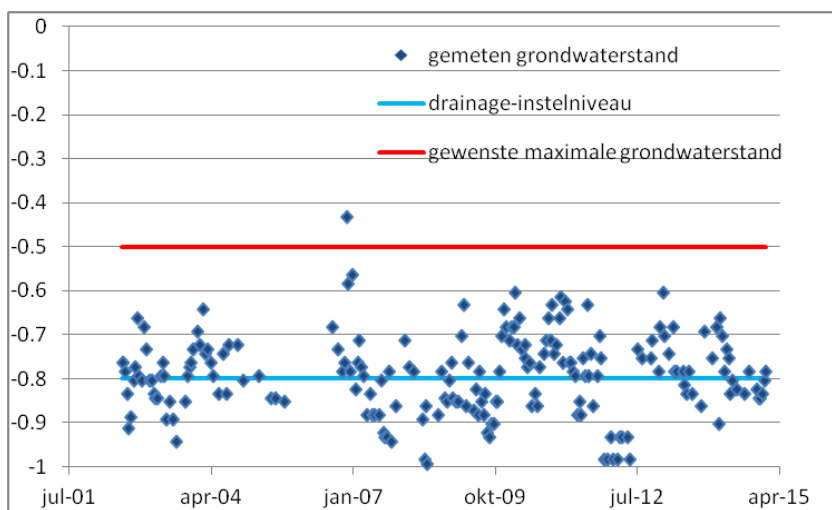
	Leidsebuurt, Haarlem
waar	Een dichtbebouwd oud stedelijk gebied in West-Nederland
onderzoek/urgentie	In de wijk was begin jaren '80 rioolvervangning uitgevoerd. Na rioolvervangning bleek de grondwaterstand te hoog waardoor grondwateroverlast ontstond. Er is eind jaren '80 separaat een drainagesysteem aangelegd om grondwateroverlast tegen te gaan.
ontwerp (kd11.002abo.rap d.d. 27-4-2007)	Er is een drainagesysteem ontworpen met verschillende drainage-instelniveaus om rekening te houden met de verschillende niveaus van het bovenste funderingshout. De leiding diameters zijn 125 mm voor de drainage, en 200 mm voor drainageafvoerleidingen. De drains zijn in een grindkist van 400x400 mm gelegd. Het systeem loost via pompputten naar het oppervlaktewater. De gemiddelde aanlegdiepte is 1,2 m onder maaiveld.
aanleg	Het systeem is in 1989 separaat aangelegd.
communicatie/participatie	Er is communicatie geweest met bewoners.
effect (kd11.002abo.rap d.d. 27-4-2007) (meetnetgegevens tot dec 2014)	<p>Verlaging/invoedsfeer</p> <p>Er is na aanleg van het systeem in 12 peilbuizen van het gemeentelijk meetnet handmatig maandelijks de grondwaterstand gemeten van 2002 tot en met 2004 (vanaf circa 13 jaar na aanleg) en geanalyseerd. Bij het grootste deel van de peilbuizen worden grondwaterstanden gemeten binnen de gewenste grondwaterstanden. Bij 3 peilbuizen wordt enkele keren een overschrijdingen van de gewenste maximale grondwaterstand gemeten met 0,1 m tot 0,3 m. Op vier locaties is een onderschrijding van de minimale grondwaterstand gemeten.</p> <p>Op basis van recente metingen van het meetnet volgt dat de grondwaterstanden nu vergelijkbaar zijn met die tijdens de analyse.</p>



Peilbuizen op circa 3 m afstand van drainagesysteem, de lichtblauwe lijn is het drainage-instelniveau, in rood de maximaal gewenste grondwaterstand



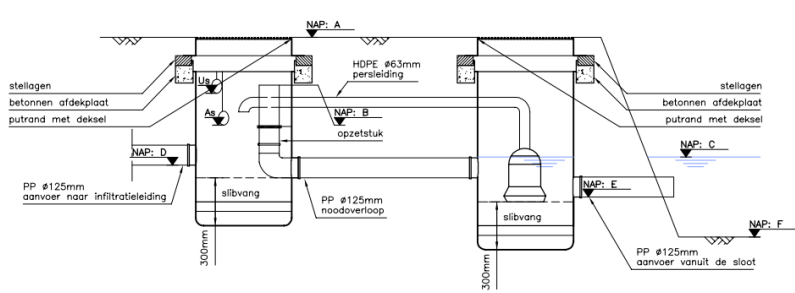
Metingen peilbuis 1.03 aangevuld met recentere metingen



Metingen peilbuis 1.04 aangevuld met recente metingen (circa 3 m van drainage af)

beheer- inspanning (BT07 RAP20160205, d.d. 14-3-2016)	De drainageleidingen worden 1 keer per 2 jaar doorgespoten. In 2015 is onderzoek verricht naar de actuele kwaliteit van de drains. De drains zijn circa 30 jaar geleden aangelegd. Uit het onderzoek bleek dat de leiding schoon van binnen was en niet in sterkte leek te zijn teruggelopen. De omhulling was nog in tact. Op basis hiervan is de levensduur van het systeem opnieuw ingeschat en verlengd met minimaal 30 jaar.
---	---

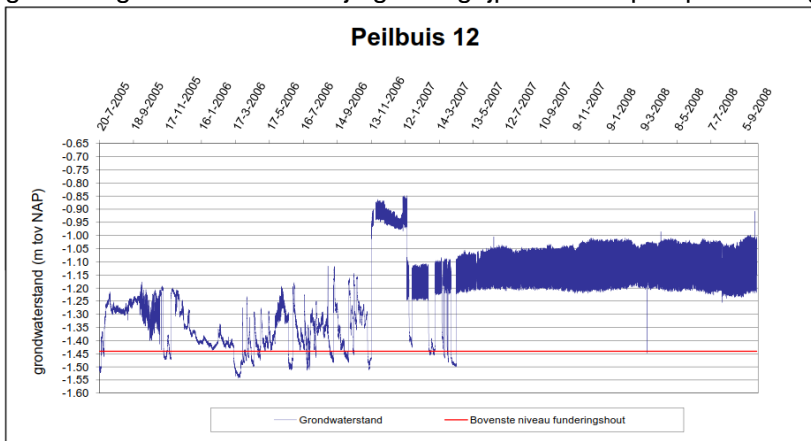
	Infiltratiedrains bij panden, Veenweidegebied Fryslân
waar	4 locaties, veenweidegebied Fryslân
onderzoek/ urgentie	<p>In het Friese veenweidegebied is sprake van wegzijging. Er is sprake van maaiveldddaling door klink en veenoxidatie. Door de voortgaande maaiveldddaling is het waterpeil verschillende keren verlaagd ten behoeve van de landbouw. De oudere bebouwing is gefundeerd op houten palen. Wetterskip Fryslân houdt daarom het peil langs wegen en bebouwing hoger. Dit zijn zogeheten hoogwatervoorzieningen.</p> <p>Gebleken is dat de funderingen 's zomers droog kunnen staan. De peilen van de hoogwatervoorzieningen kunnen niet voldoende hoog worden gehouden vanwege de lager gelegen aangrenzende percelen. Met enkel de hoogwatervoorzieningen is een voldoende hoge grondwaterstand bij de panden daarom niet te realiseren.</p> <p>Daarom is een experiment gestart met infiltratieleidingen direct rondom de gevels van de panden, als aanvulling op de hoogwatervoorzieningen. Met de infiltratieleidingen wordt de grondwaterstand bij de panden gereguleerd en daarmee droogstand van de houten paalfunderingen tegen gegaan.</p> <p>De proef omvat de aanleg van infiltratieleidingen rond de panden, waarbij oppervlaktewater wordt geïnfiltreerd in de bodem bij de funderingen. Hiervoor is een pompsysteem aangelegd dat automatisch aanslaat als de grondwaterstand daalt onder een kritische waarde. Deze infiltratie voorkomt dat de grondwaterstand 's zomers te ver wegzakt en dat de houten paalfunderingen droog komt te staan.</p> <p>Het systeem is in 2005 aangelegd. En vervolgens 4 jaar lang gemonitord. Vervolgens is het systeem in 2012 overgedragen aan de perceeleigenaren.</p> <p>De aanlegkosten voor het systeem, inclusief pompunit, varieerden tussen de € 15.000 en € 20.000 per pand.</p>
Ontwerp Kb12a020msw.rap Kb12a021msw.rap Kb12a022msw.rap Kb12a023mws.rap	<p>Voor 3 vrijstaande woonhuizen en een kerk is een infiltratiesysteem ontworpen. Bij de woonhuizen is het infiltratiesysteem rond de woningen ontworpen (nabij de gevels). Voor de kerk is een inpandig infiltratiesysteem ontworpen.</p> <p>Per pand bestaat het infiltratiesysteem uit</p> <ul style="list-style-type: none"> - een pompput en een bufferput met niveauschakeling. - aanvoerleiding (blind) en infiltratieleidingen, geribbeld, rond 125,

	<ul style="list-style-type: none"> - doorspuitputten, - infiltratieleidingen in argexkorrels 8-16 mm, - de argexkoffer 400x400 mm is omwikkeld met een waterdoorlatende geotextiel (PP, type BT40) om instroom van grond tegen te gaan  <p>Principedetail van de pompput en bufferput</p>
<p>aanleg Kb12a040mjh.rap</p>	<p>De aanleg heeft plaatsgevonden conform ontwerp, geheel op particulier terrein. De infiltratiesystemen zijn aangelegd in de zomer van 2005. De aanleg van de systemen is als volgt uitgevoerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> - waar mogelijk is direct langs de gevels een sleuf gegraven tot circa 0,1 meter beneden het niveau van het bovenste funderingshout, met een breedte van circa 0,4 meter op de bodem, tot aan het funderingshout; - de holle ruimten onder de fundering zijn aangevuld met argex; - er is geotextiel dusdanig aangebracht dat het fungeert als een koffer waarin een laag van circa 0,1 meter dikte argex is uitgespreid; - de infiltratieleiding is bovenop deze eerste laag argex gelegd; - in de nabijheid van hoekpunten zijn doorspuitputten geplaatst welke aangesloten zijn op de infiltratieleiding; - de koffer met argex en infiltratieleiding is verder aangevuld met argex tot een hoogte van circa 0,4 meter boven de bodem van de ontgraven sleuf; - het geotextiel is dichtgevouwen waardoor de koffer afgesloten is voor binnendringen van grond; - de ontgraven sleuf is verder aangevuld met grond tot aan het oorspronkelijke maaiveld; - vanaf de infiltratieleiding of een doorspuitput is een blinde leiding gelegd tot aan de bufferput; - een bufferput en een pompput zijn aangebracht; - tussen de bufferput en de pompput is een persleiding en een overstortleiding aangebracht; - vanaf een sloot is een aanvoerleiding gelegd tot in de pompput.
<p>communicatie/ participatie</p>	<p>Aangezien de werkzaamheden op particulier terrein hebben plaatsgevonden, is sprake geweest van een intensief contact met de bewoners c.q. bestuur van de kerk.</p>

Effect
 Monitoringsplan
 Kb12a.039.abo.rap
 Monitoring
 eindrapportage
 Kb12f.20090701.ra
 p
 Artikel in H₂O nr 8,
 (2008)

Het monitoringsplan omschrijft de locaties van de meetpunten om vast te kunnen stellen of droogstand van de houten paalfunderingen niet meer voorkomt. Bij ieder pand is een monitoringsnetwerk aangelegd. De grondwaterstanden zijn gedurende de periode 2005-2008 ieder uur geregistreerd met behulp van dataloggers. Daarnaast is ook het waterniveau in de bufferput gemonitord.

Geconcludeerd is dat het infiltratiesysteem functioneert. Het zorgt ervoor dat droogstand van houten paalfunderingen kan worden voorkomen. Ook is aangetoond dat een infiltratieleiding rond het pand de grondwaterstanden bij de funderingspalen onder binnenmuren voldoende hoog kan houden. Bij een storing van de pomp dalen de grondwaterstanden tot beneden het bovenste funderingshout. Op de pomp zit een storingsmelder. Hierdoor zijn de eigenaren goed in staat om tijdig in te grijpen als de pomp in storing raakt.

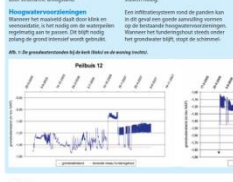


Voorbeeld monitoringspeilbuis bij de kerk. Na het inregelen blijft de grondwaterstand duidelijk hoger dan het bovenste funderingshout. Over dit project is eerder gepubliceerd door Wareco (2008) en KCAF (2014).²³

Infiltratiesysteem voorkomt paalrot bij houten paalfunderingen

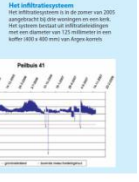
In het Finse vermenigvuldigd staan ongeveer driehonderd woningen op houten palen. Een houten paalfundering moet water blijven, anders kan paalrot door schimmels ontstaan. Bij een defect van de waterpomp dalen de waterstanden onder de paalfunderingen. Het Finse bedrijf Frydén heeft het waterpeil ook enkele keren extra verlaagd voor de landbouw. Het waterpeil daalde tot -1,55 meter onder NAP. Het waterpeil werd teruggevoerd naar het normale niveau van -1,10 meter onder NAP. Het waterpeil werd teruggevoerd naar het normale niveau van -1,10 meter onder NAP.

De meeste woningen met een houten paalfundering zijn gebouwd tussen 1850 en 1950. Het waterpeil moet voldoende hoog zijn om de paalfunderingen te beschermen tegen paalrot. Het waterpeil moet voldoende hoog zijn om de paalfunderingen te beschermen tegen paalrot. Het waterpeil moet voldoende hoog zijn om de paalfunderingen te beschermen tegen paalrot.



Van de verkochte panden heeft Wareco een infiltratiesysteem ontwikkeld dat altijd werkt. Het gaat in twee stappen. Het systeem bestaat uit infiltratieleidingen, met een diameter van 125 millimeter en een lengte 100 x 400 meter van de kerk tot de waterpomp.

De infiltratiesystemen om de panden kan het grondwaterpeil voldoende hoog houden. Het systeem bestaat uit infiltratieleidingen, met een diameter van 125 millimeter en een lengte 100 x 400 meter van de kerk tot de waterpomp.



achtergrond



De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil.



De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil.

De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil.

De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil. De waterpomp zorgt voor een voldoende hoog waterpeil.

²³ Wareco (2008) Infiltratiesysteem voorkomt paalrot bij houten paalfunderingen. Artikel in H₂O nr. 8, 2008; KCAF (2014) Grondwateraanvulling voor funderingsbehoud, een inspiratieboekje met voorbeelden uit de praktijk.

<p>beheer- inspanning (KB12G, NOT20111223)</p>	<p>Het systeem is gevoelig voor het uitschakelen van de pomp. Er moet voldoende wateraanvoer mogelijk zijn waarbij geen slib wordt aangezogen. De sloten waaruit het water wordt onttrokken dienen daarom voldoende diep en schoon te zijn.</p> <p>De systemen zijn aan het eind van het experiment doorgespoten en vervolgens overgedragen aan de bewoners. Het beheer en onderhoud van deze particuliere voorziening is aan het eind van deze proef ook overgedragen aan de gebouweigenaren. Bij de overdracht in 2012 zijn overdrachtdocumenten opgesteld. Hierin is een beschrijving van het systeem opgenomen, het benodigde onderhoud en de verwachte gemiddelde kosten. De jaarlijkse kosten hebben betrekking op het stroomverbruik en bedragen tussen de € 50 en € 80 per pand. Eens in de 4 a 5 jaar dient de pomp te worden vervangen en het systeem te worden doorgespoten. Kosten circa € 1000.</p>
---	--

B Vergelijkend overzicht praktijkvoorbeelden

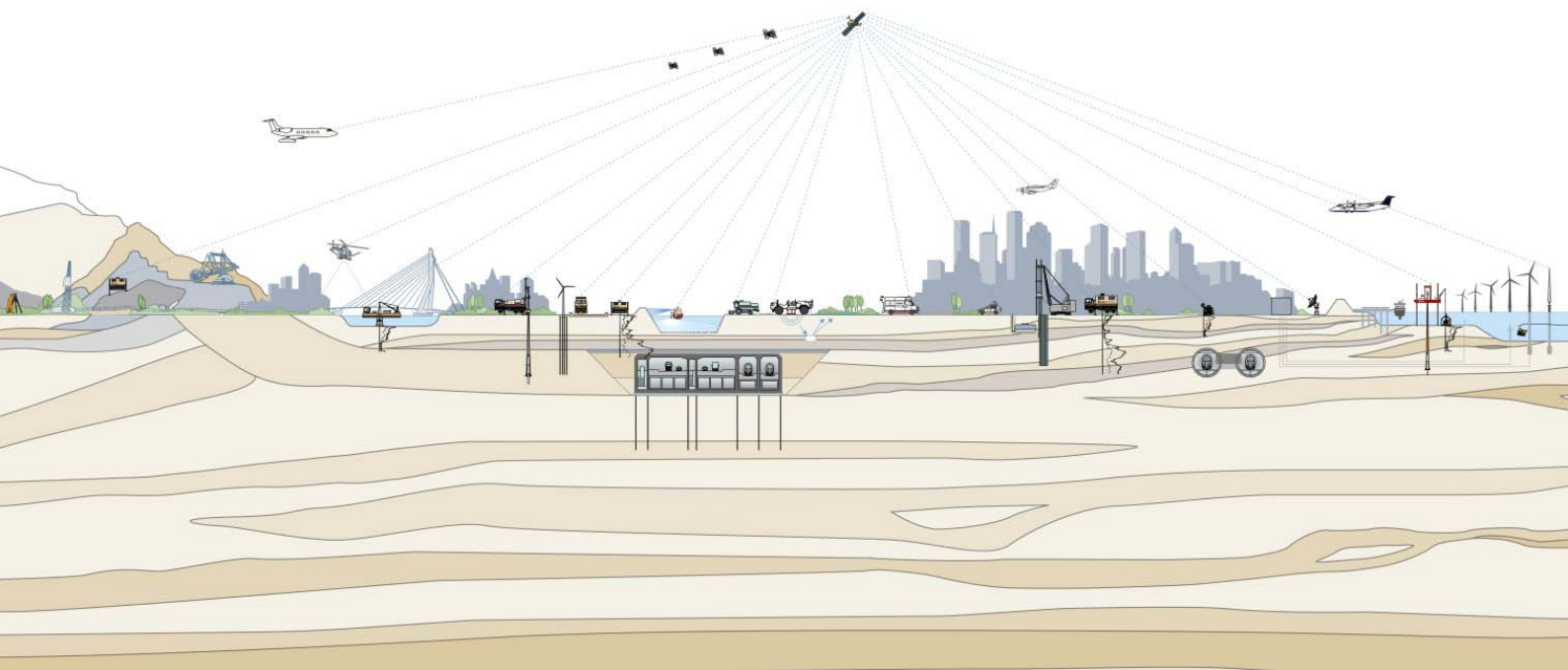
omschrijving locatie	Nieuwe Haven, Gouda	Land van Valk, Dordrecht	De 3 Lanen, Schiedam	Gouderak	Argonautenstraat	Vondelpark	Leidsebuurt	Veenweidegebied Friesland
oorspronkelijke bodemopbouw	slecht doorlatende deklaag	slecht doorlatende deklaag	slecht doorlatende deklaag	slecht doorlatende deklaag	wadafzettingen	slecht doorlatende deklaag	zandig pakket met storende laag	slecht doorlatende deklaag
methode bouwrijpmaken	heterogeen	cunetten	integraal	cunetten	integraal opgehoogd ca	heterogeen	ophooglaag ca 1,5 m	ophooglaag max 0,5 m
grondwatersituatie indicatief	wegzijging 0,6 mm/d	kwel 0,1 à 0,3 mm/dag	wegzijging <0,5 mm/d	wegzijging 2 mm/d	wegzijging	kwel 0,1 mm/d	kwel 0,6 mm/d	wegzijging
type stedelijk gebied	intensief bebouwd	intensief bebouwd	intensief bebouwd	extensief bebouwd	intensief bebouwd	park	intensief bebouwd	landelijk gebied
ouderdom stedelijk gebied	<1900	1900-1950	1900-1950	1900-2000	1900-1950	<1900	1900-1950	1890-1930
zettingsgevoeligheid indicatoren omgeving	korte levensduur riool, verzakking straat, verzakking panden op staal	Verzakking straat, verzakking panden op staal	verzakking tuin, straat, verzakking panden op staal	verzakking panden op staal, korte levensduur riool	minimaal	verzakking maaiveld	minimaal	verzakking maaiveld
zettingsgevoeligheid indicatoren bodem	ophooglaag 3 m, 0,5 m klei, 6 m veen	4 m veen vanaf 3m-mv deels onder vrij verval	3 m veen op 5 m-mv	ophooglaag 1m zand, 5 m veen, daaronder 1 tot 3 m klei	minimaal	ophooglaag 1 m op 2 m veen	ophooglaag 1,5 m op 1,0 m veen	ophooglaag ca 0,5 m op 2 m veen
af- en aanvoer afstand tot oppervlaktewater (m)	onder vrij verval	wijk grenzend aan water	met vlotter	onder vrij verval	vrij verval	aanvoer gestuurd onder vrij verval met schuif, afvoer vrij	afvoer via pomp	afvoer vrij verval, aanvoer pomp, aanvoer
bewonersparticipatie	in navraag	aantal blokken hebben eigen systeem aangelegd	communicatie net gestart	aangeboden maar geen animo	schriftelijk en op verzoek	in navraag		intensief, eigendom en beheer overgenomen door
aanleg	met rioolvervang	met rioolvervang	aanleg HWA	met rioolvervang	met rioolvervang	met herinrichting	separaat	separaat
doel systeem	infiltratie/ drainage	infiltratie/ drainage	infiltratie/ drainage	infiltratie/ drainage	infiltratie/drainage	infiltratie/drainage	drainage	infiltratie/drainage
diameter leiding	125	125	150	150	300	125 en 160	125	125
materiaal gemiddelde aanlegdiepte (m-mv)	PVC leiding in argexpakket van 0,4 m hoog en 5 m breed	pvc in grindkoffer 0,4*0,4m	PP buis in grindkoffer 500x500 mm	PP buis in zand (openbaar terrein gefundeerd op palen)	polyester	PVC leiding in argexpakket van 0,4x0,4 m	PVC leiding in grindkoffer	PP leiding in argexpakket
beheer: doorspuitfrequentie (1x per x jaar)/kosten per m1		1	2	2,1	1,2	bob NAP -0.90 is mv- 1, 1,5	1,3	1,5
beheer: inspectie	geen	1x per 5 jaar putinspectie, € 5,50 per put.	nog niet aangelegd	nog geen	pilot 5 jaar	1 x per 8 a 10 jaar	regelmatig controle plasvorming/ toplaag	geen
aanlegkosten (EUR, prijspeil)		<€100 per m1	obv kostenkanten Leidraad Riolering 2015: voor drainage-infiltratieleiding: 0,6M voor 3300 m (180 per m1)	39000 voor 850 m1 (€ 46 per m1)	nmb	€ 260.000 voor 1170 m (€220 per m1)	onbekend	
baten (EUR, prijspeil)	onbekend	onbekend	grondwateroverlast tegengaan: 0,8M/ schade houten paalfunderingen tegengaan: 0,7M tot 6M	geen ophoging	onbekend	onbekend	onbekend	
toestemming publicatie	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

C Indicatieve zettingsberekeningen

Briefrapport
betreffende

ONDERZOEK HAALBAARHEID ACTIEF GRONDWATERPEILBEHEER

Opdrachtnummer: 1116-0047-000



Briefrapport
betreffende

**ONDERZOEK HAALBAARHEID ACTIEF
GRONDWATERPEILBEHEER**

Opdrachtnummer: 1116-0047-000

Projectleider : W. Kooijman MSc
Senior Adviseur Hydrologie

Opgesteld door : ing. A.O. Aparicio Sáez
Adviseur Geotechniek

Gecontroleerd door : ir. M.J. Profittlich
Manager Geo-Consultancy

Dillenburgsingel 69
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
tel.: 070 31 11333

Deltares
Postbus 177
2600 MH DELFT

T.a.v. de heer Drs. J. Buma

Onze ref.: 1116-0047-000_31.R01_V02 Amsterdam, 10 mei 2017

Betreft: Onderzoek haalbaarheid actief grondwaterpeilbeheer

Geachte heer Buma,

In het kader van een onderzoek naar de haalbaarheid van actief grondwaterpeil beheer is aan Fugro verzocht oriënterende zettingsberekeningen uit te voeren.

Inleiding

De verwachting/voorspelling is dat als gevolg van klimaatveranderingen in de toekomst de huidige grondwaterstanden in droge perioden zullen verlagen. Een verlaging van de grondwaterstand kan zettingen van de ondergrond tot gevolg hebben. Om een beeld te krijgen van de te verwachten zettingen heeft Fugro oriënterende zettingsberekeningen uitgevoerd om de invloed van grondwaterstandsverlaging op zettingen gedurende langere periode te analyseren.

Uitgangspunten

Uit het Fugro archief zijn enkele archiefprojecten geselecteerd, waarbij onderscheid is gemaakt tussen enerzijds het (oude) centrum van een stad op overwegend kleigrond en anderzijds een stad op een veenbodem en gebieden buiten de centra, om de oriënteerde zettingsanalyse op uit te voeren.

Er is bewust gekozen voor een locatie in (oude) stadscentra, omdat de grond op deze locaties in het verleden al veelvuldig is voorbelast en de zettingen als gevolg van de grondwaterstandsverlaging relatief laag zullen zijn.

Op de locatie buiten de stadscentra is het terrein minder voorbelast geweest, waardoor grotere zettingen zijn te verwachten als gevolg van de grondwaterstandsverlaging.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Aangezien de locaties in het centrum reeds veelvuldig zijn voorbelast is gekozen voor een POP (grensspanning t.o.v. terreinspanning) van 7 kPa.
- Het terrein buiten het centrum is minder voorbelast. Hier is uitgegaan van een POP van 2 kPa.
- De grondwaterstand wordt gedurende een lange periode verlaagd, hiervoor is periode van 4 maanden (ca. 120 dagen) in acht genomen.
- Uitgegaan is van een grondwaterstand verlaging van 0,3 m, 0,5 m en 0,7 m.

De gehanteerde bodemopbouw en stijfheidsparameters zijn bepaald aan de hand van het beschikbare (voorbeeld) grondonderzoek en ervaring met vergelijkbare projecten in de omgeving van de 2 voorbeeld gebieden.

De gehanteerde stijfheidsparameters en de sondeergrafieken met bodemopbouw zijn in de bijlagen opgenomen.

Resultaten

De zettingen zijn berekend voor de bruikbaarheidstoestand (BGT) zodat alle partiele factoren de waarde 1,0 hebben.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma DSettlement. Dit programma berekend zettingen in een semi-driedimensionale ruimte en houdt rekening met spreiding van de belasting(en) in de ondergrond, van zowel bestaande als nieuwe ophogingen.

De zettingen zijn berekend met de formules van Koppejan (gecombineerde formule Terzaghi-Buisman), waarin een verlaging van de grondwaterstand is gemodelleerd en de zettingen na 120 dagen (ca. 4 maanden) zijn afgelezen.

De onnauwkeurigheid in de berekende zetting bedraagt circa + en - 30%.

In tabel 1 zijn de zettingen in millimeter gepresenteerd als gevolg van de grondwaterstandverlaging gedurende 4 maanden.

Tabel 1: te verwachten zettingen als gevolg van de grondwaterstandverlaging gedurende 4 maanden

Grondwaterstand verlaging [m]	Zetting na verlaging grondwaterstand gedurende 4 maanden			
	Stad met kleibodem, centrum [mm]	Stad met kleibodem, buiten centrum [mm]	Stad met veenbodem, centrum [mm]	Stad met veenbodem, buiten centrum [mm]
0,3	8	21	14	26
0,5	14	47	22	59
0,7	18	72	30	90

Conclusie

Als gevolg van de verwachte toekomstige grondwaterstandverlagingen worden extra zettingen verwacht.

Opgemerkt wordt dat de berekende zettingen indicatief zijn en de werkelijke zettingen afhankelijk zijn van veel factoren, zoals bodemopbouw, (voor)belasting (zoals historische achtergrond, eerdere ophogingen, grondwaterstandsverlagingen in het verleden, verkeersbelasting, etc.) en objecten in de ondergrond.

Onze ref.:1116-0047-000_31.R01_V02 Amsterdam, 10 mei 2017

Blz. 3

In het vertrouwen u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd, verblijven wij.

Met vriendelijke groet,
Fugro GeoServices B.V.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "W. Kooijman".

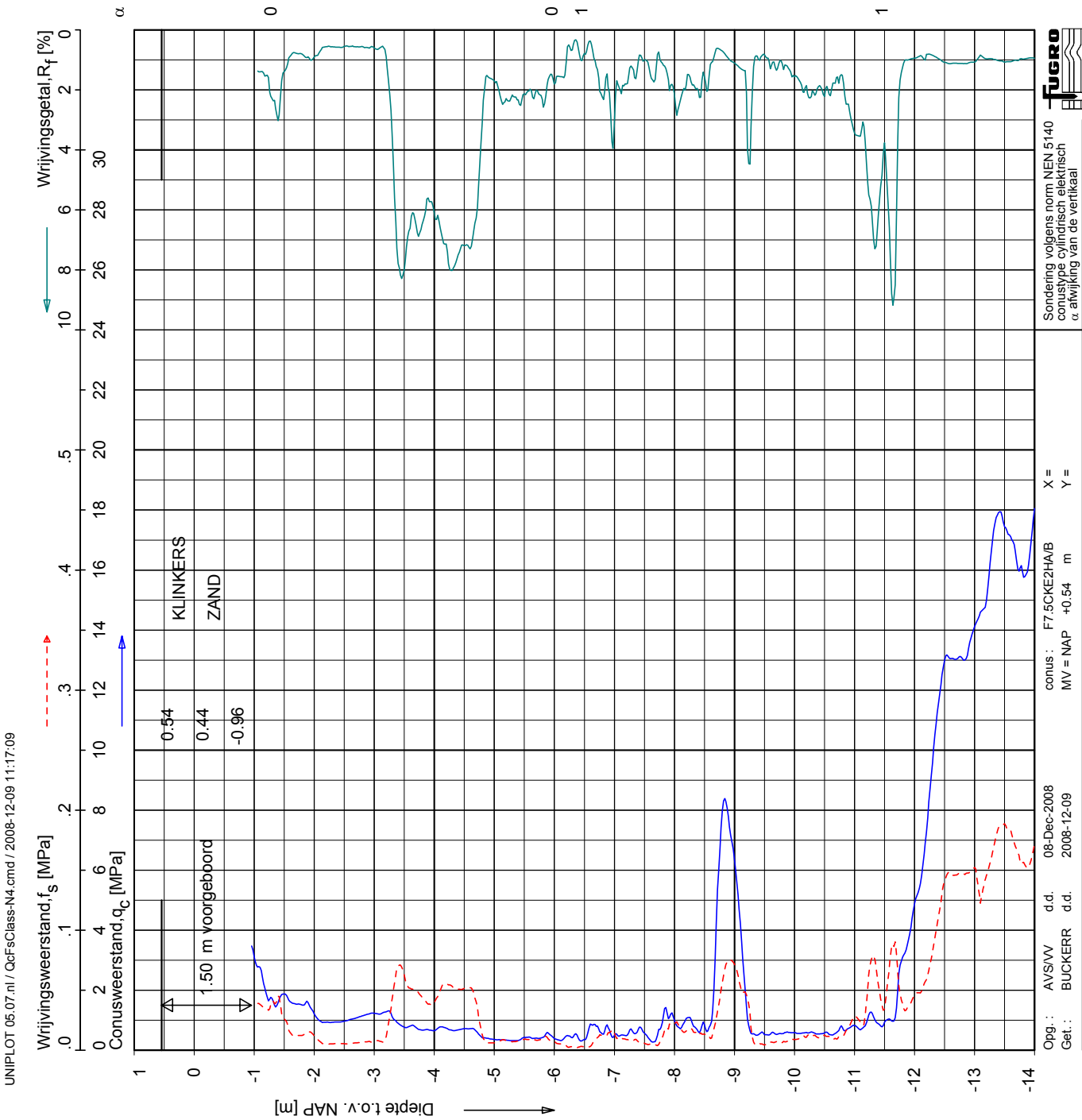
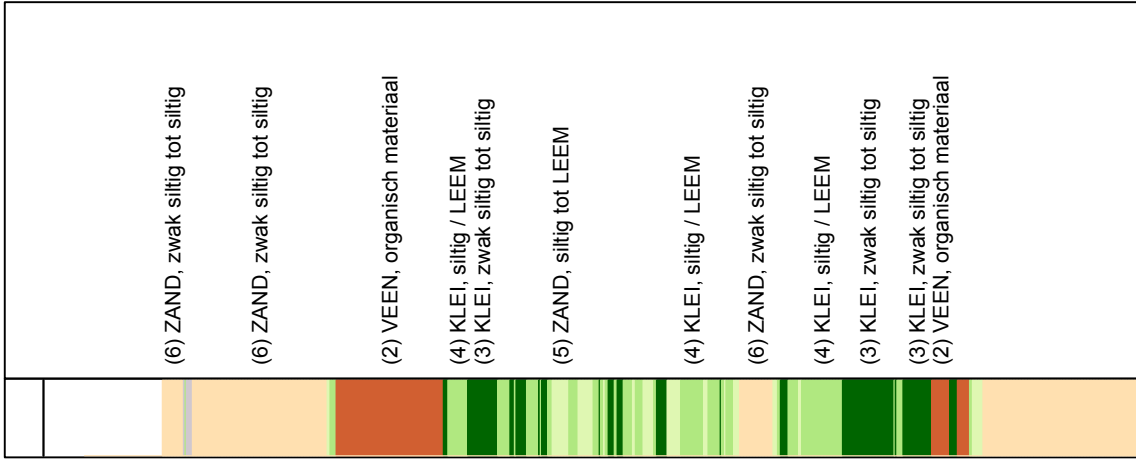
W. Kooijman MSc
Senior Adviseur Hydrologie

Opgesteld door:
ing. A.O. Aparicio Sáez
Adviseur Geotechniek

Bijlagen :

- Globale bodemopbouw, stijfheidsparameters en sondering centrum op klei A1
- Globale bodemopbouw, stijfheidsparameters en sondering buiten centrum op klei A2
- Globale bodemopbouw, stijfheidsparameters en sondering centrum op veen A3
- Globale bodemopbouw, stijfheidsparameters en sondering buiten centrum op veen A4

CPT data classificatie - indicatief
 Classificatie gebaseerd op genormaliseerde
 conusweerstand en wrijvingsgetal.
 (Robertson 1990, NL corr.)
 Geldig onder grondwaterpeil.

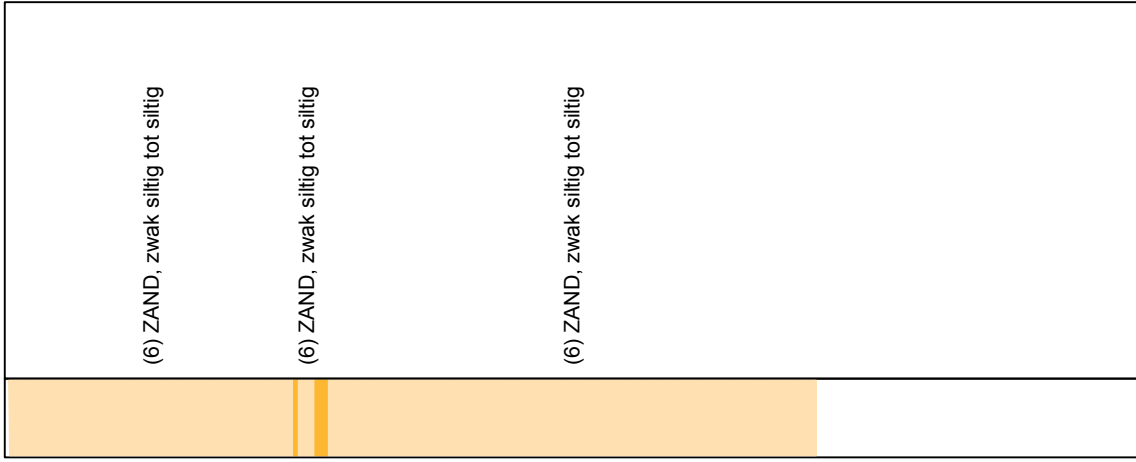


SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

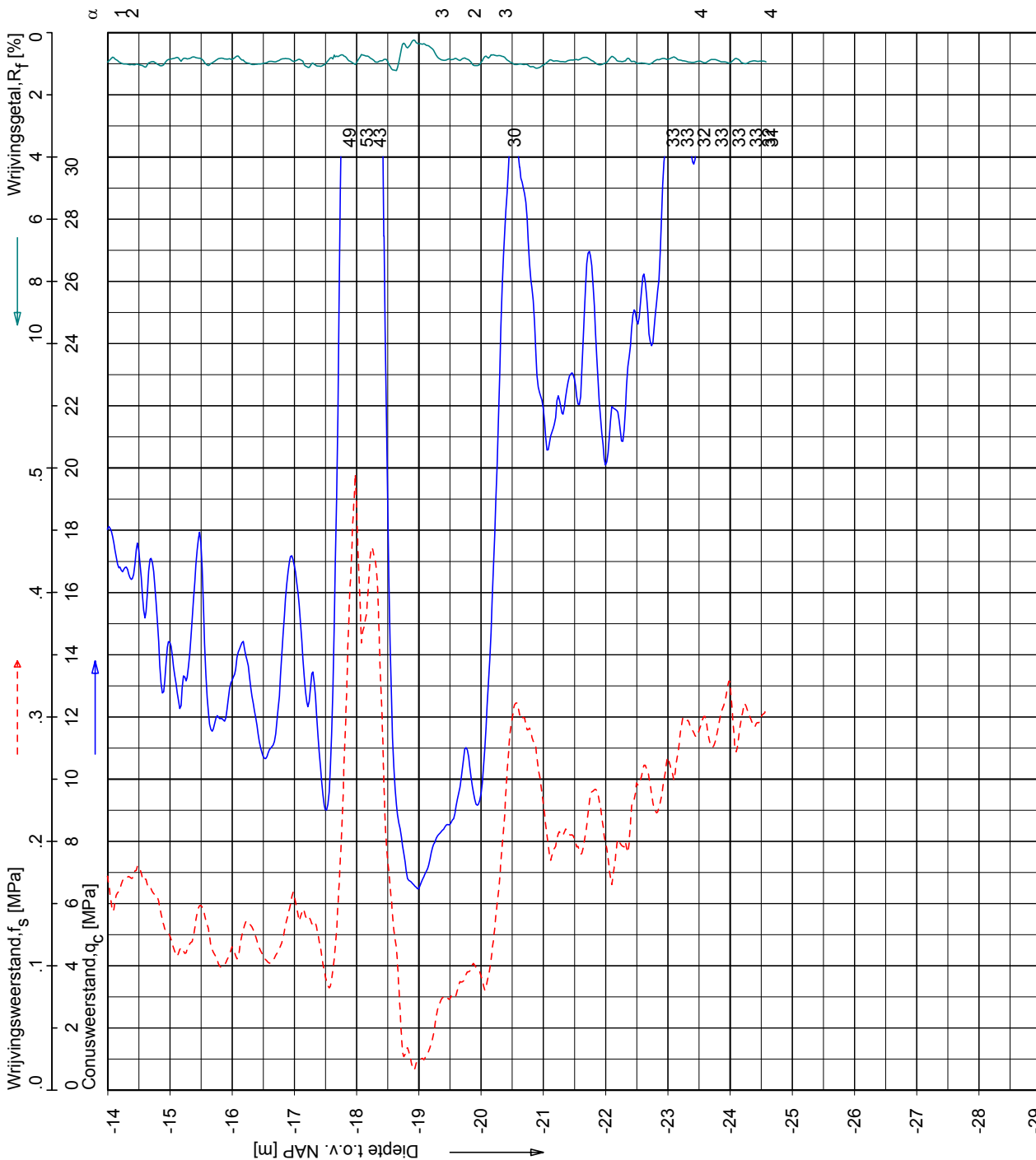
Opdr. DKM 1
 Sond.

CENTRUM OP KLEI

CPT data classificatie - indicatief
 Classificatie gebaseerd op genormaliseerde
 conusweerstand en wrijvingsgetal.
 (Robertson 1990, NL corr.)
 Geldig onder grondwaterpeil.



UNIPLOT_05.07.nl / QcFsClass-N4.cmd / 2008-12-09 11:17:10



Sondering volgens norm NEN 5140
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de verticaal

Opg.: AVS/VV d.d. 08-Dec-2008 X =
 Get.: BUCKERR d.d. 2008-12-09 Y =
 conus: F7.5CKE2HAB
 MV = NAP +0.54 m

SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

CENTRUM OP KLEI

Opdr. DKM 1
 Sond.

Centrum op klei

Globale bodemopbouw en stijfheidsparameters

van [m NAP]	tot	omschrijving	γ	γ_{sat}	c_v	C_p'	C_s'	C'
			[kN/m ³]		[m ² /s]	[-]	[-]	[-]
+0,54	/ -3,25	ZAND toplaag, ophooglaag	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	100	400	50,0
-3,25	/ -4,75	VEEN	11,0	11,0	$3,0 \cdot 10^{-07}$	7,5	30	3,75
-4,75	/ -5,75	KLEI siltig	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-08}$	15	60	7,5
-5,75	/ -8,50	KLEI zandig	16,0	16,0	$1,0 \cdot 10^{-05}$	20	80	10,0
-8,50	/ -9,25	ZAND wadzandlaag	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	100	400	50,0
-9,25	/ -11,00	KLEI siltig	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-08}$	15	60	7,5
-11,00	/ -11,75	VEEN basis holocene afzetting	12,0	12,0	$2,0 \cdot 10^{-07}$	10	40	5,0
-11,75	/ -16,00	ZAND 1ste zandlaag	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	125	500	62,5

Opmerkingen bij de tabel:

$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = volumiek gewicht; sat = verzadigd.

c_v = consolidatiecoëfficiënt.

C_p' = primaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C_s' = secundaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C' = de gecombineerde samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning

POP = grensspanning t.o.v. terreinspanning, onder andere als gevolg van fluctuatie van de grondwaterstand. Voor deze locatie is een POP van 7,0 kPa aangehouden.

LOCATIE CENTRUM OP KLEI

Onderzoek haalbaarheid actief grondwaterpeilbeheer

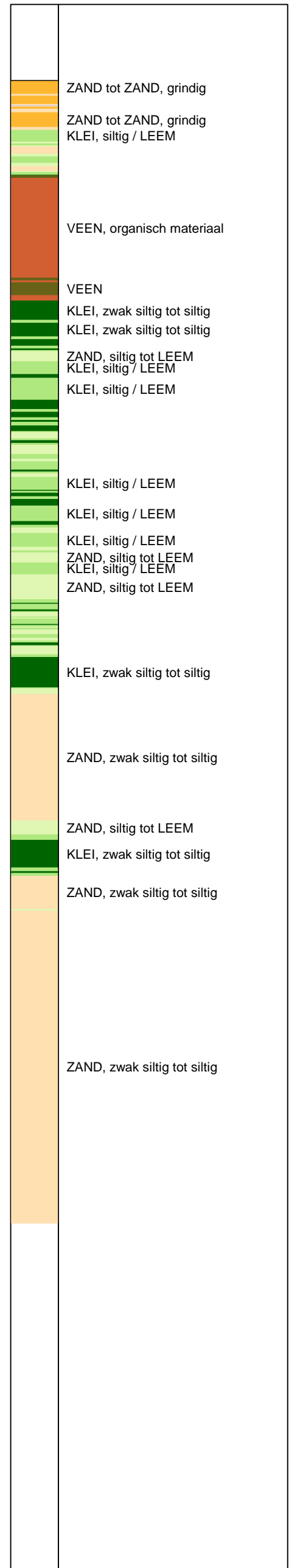
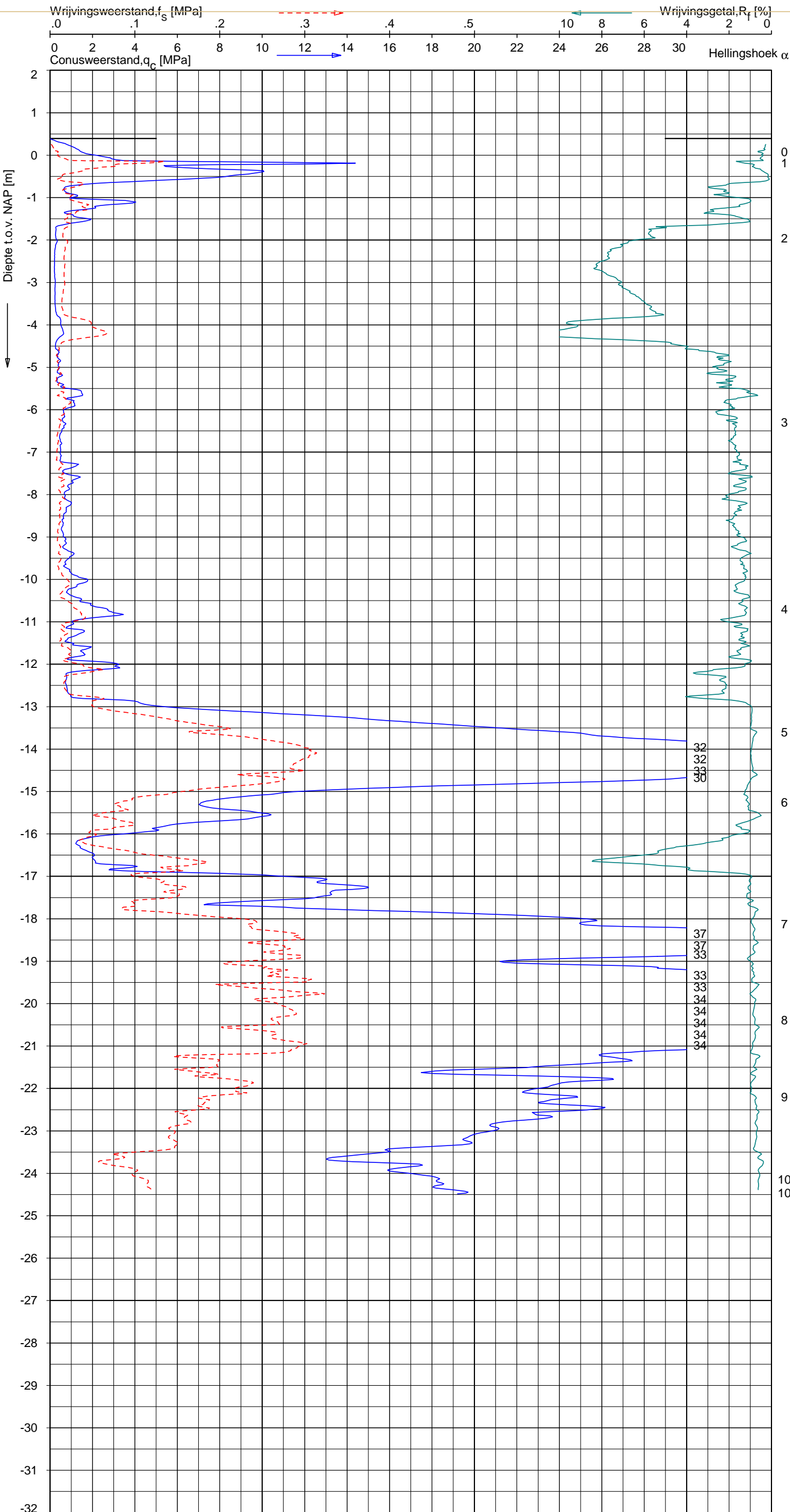
Opdr. : 1116-0047-000

Bijl. : A1

UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-08-05 12:18:21

4013-0340-000

DKM1 - 1



Opg.: JWV/JSK d.d. 02-aug-2013 Coord.: X=122195.4 m Y= 490200.4 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: UNISTART d.d. 05-aug-2013 MV = NAP +0.39 m Conus: F7.5CKE2HAO/B 1701-2044 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1500 \text{ mm}^2$; $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

OPDRACHTGEVER: WILLEM VAN DER WOUDE

Opdr. Sond. DKM1

Buiten centrum op klei

Globale bodemopbouw en stijfheidsparameters

van [m NAP]	tot	omschrijving	γ	γ_{sat}	c_v	C_p'	C_s'	C'
			[kN/m ³]		[m ² /s]	[-]	[-]	[-]
+0,39	/ -1,50	ZAND	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	100	400	50,0
-1,50	/ -3,75	KLEI humeus	13,0	13,0	$5,0 \cdot 10^{-07}$	10	40	5,0
-3,75	/ -4,50	VEEN	11,0	11,0	$3,0 \cdot 10^{-07}$	7,5	30	3,75
-4,50	/ -5,50	KLEI siltig / zandig	16,0	16,0	$1,0 \cdot 10^{-07}$	25	100	12,5
-5,50	/ -8,50	ZAND wadzand	19,0	19,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	100	400	50,0
-8,50	/ -9,25	KLEI siltig	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-08}$	15	60	7,5
-9,25	/ -11,00	KLEI zandig	16,5	16,5	$1,0 \cdot 10^{-07}$	25	100	12,5
-11,00	/ -12,00	KLEI	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-07}$	15	60	7,5
-12,00	/ -12,75	VEEN / KLEI	13,0	13,0	$2,0 \cdot 10^{-07}$	10	40	5,0
-12,75	/ -16,00	ZAND	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	125	500	62,5

Opmerkingen bij de tabel:

$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = volumiek gewicht; sat = verzadigd.

c_v = consolidatiecoëfficiënt.

C_p' = primaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C_s' = secundaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C' = de gecombineerde samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning

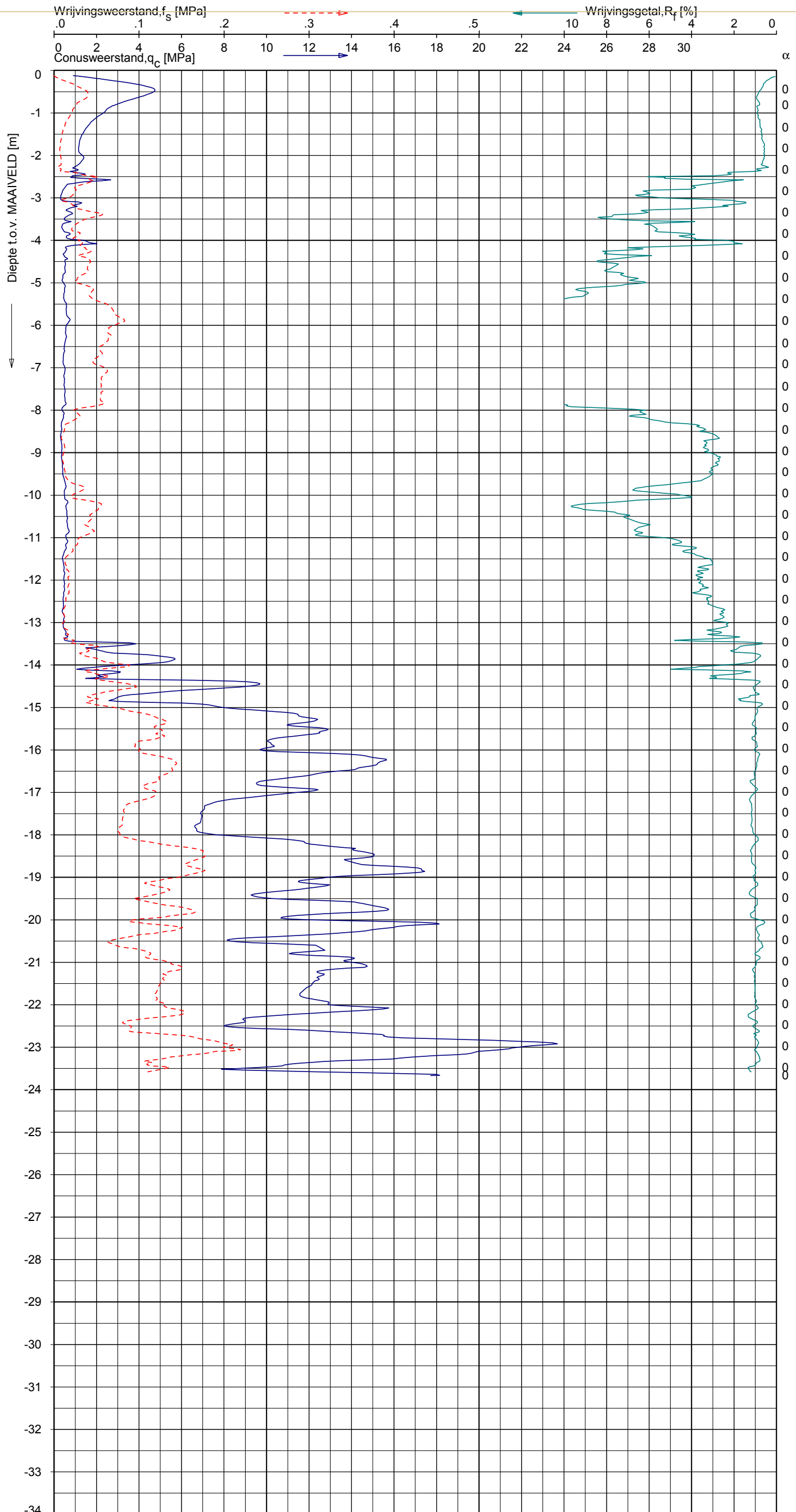
POP = grensspanning t.o.v. terreinspanning, onder andere als gevolg van fluctuatie van de grondwaterstand. Voor deze locatie is een POP van 2,0 kPa aangehouden.

LOCATIE BUITEN CENTRUM OP KLEI

Onderzoek haalbaarheid actief grondwaterpeilbeheer

Opdr. : 1116-0047-000

Bijl. : A2



Opg. : owh d.d. 03-Oct-1995 conus : F5CKE X = 0.0
 Get. : HUN d.d. 4-oct-1995 Y = 0.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.
 Conustype cilindrisch elektrisch 1000 mm.
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

CENTRUM OP VEEN

Opdr. DKM 3
 Sond. DKM 3

Centrum op veen

Globale bodemopbouw en stijfheidsparameters

van [m NAP]	tot	omschrijving	γ	γ_{sat}	c_v	C_p'	C_s'	C'
			[kN/m ³]		[m ² /s]	[-]	[-]	[-]
-0,20	/ -4,00	ZAND toplaag, ophoging	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	100	400	50,0
-4,00	/ -5,00	KLEI sterk siltig, ZAND	16,0	16,0	$5,0 \cdot 10^{-5}$	20	80	10,0
-5,00	/ -8,00	VEEN	11,0	11,0	$3,0 \cdot 10^{-7}$	7,5	30	3,75
-8,00	/ -10,00	KLEI	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-7}$	15	60	7,5
-10,00	/ -11,50	VEEN	12,0	12,0	$3,0 \cdot 10^{-7}$	7,5	30	3,75
-11,50	/ -13,00	KLEI plaatselijk humeus	15,0	15,0	$8,0 \cdot 10^{-8}$	13	50	6,3
-13,00	/ -25,00	ZAND matig vast gepakt	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	125	500	62,5

Opmerkingen bij de tabel:

$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = volumiek gewicht; sat = verzadigd.

c_v = consolidatiecoëfficiënt.

C_p' = primaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C_s' = secundaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).

C' = de gecombineerde samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning

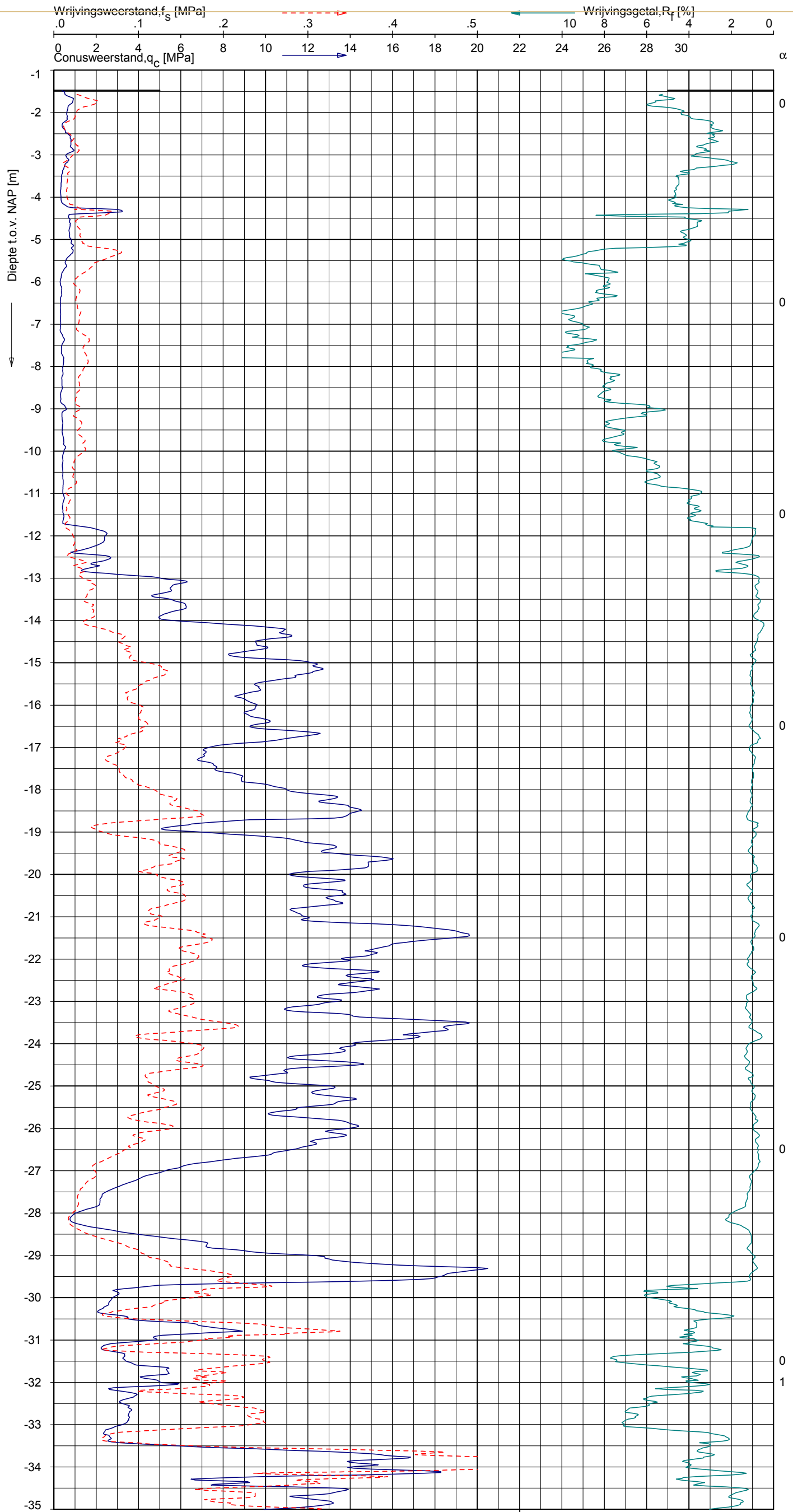
POP = grensspanning t.o.v. terreinspanning, onder andere als gevolg van fluctuatie van de grondwaterstand. Voor deze locatie is een POP van 7,0 kPa aangehouden.

LOCATIE CENTRUM OP VEEN

Onderzoek haalbaarheid actief grondwaterpeilbeheer

Opdr. : 1116-0047-000

Bijl. : A3



Opg.: SCUSL d.d. 28-Aug-2007 conus: F7.5CKE/B X = 0.0
 Get.: NGY d.d. 12-sep-2007 MV = NAP -1.47 m Y = 0.0

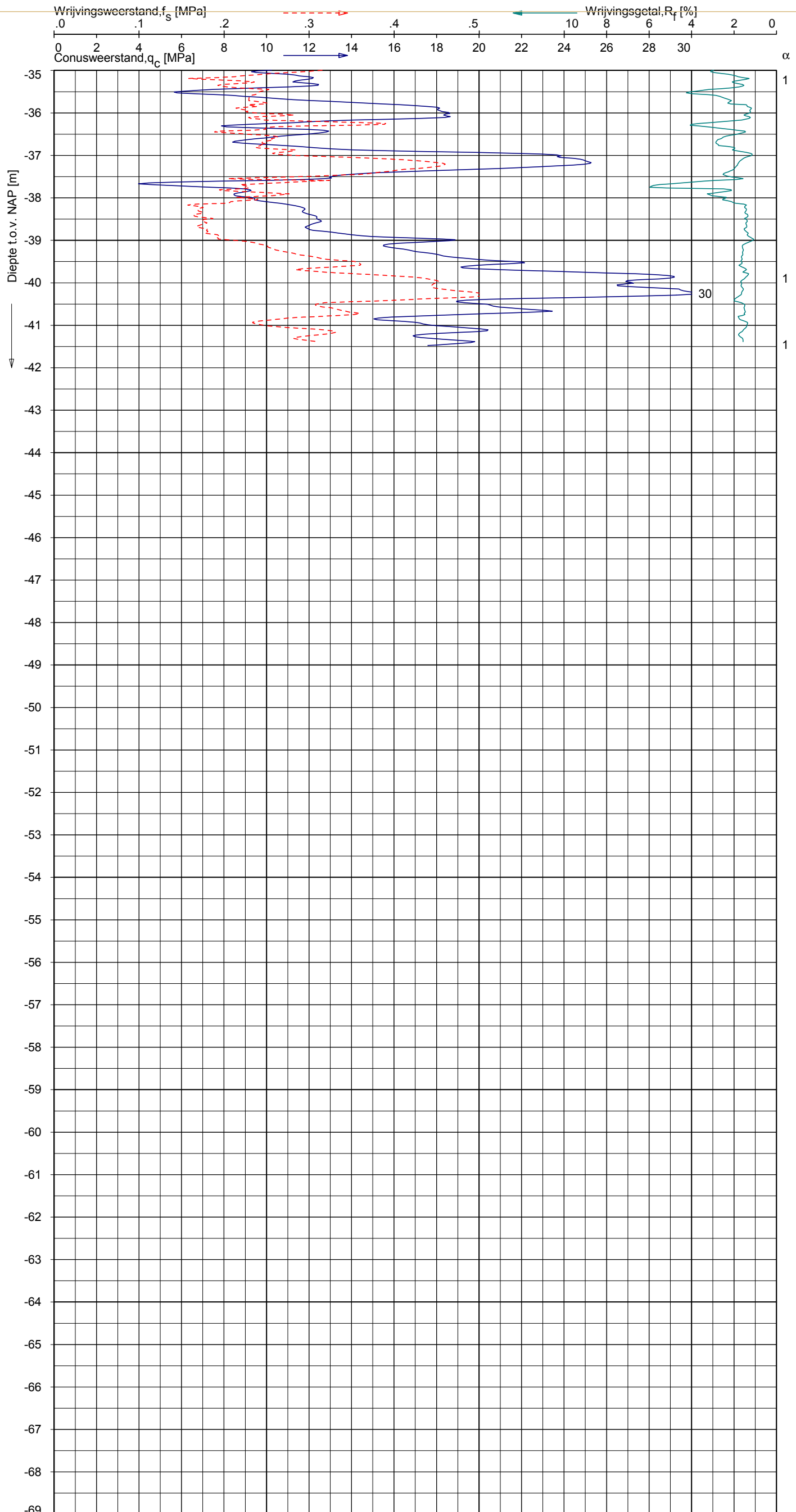
Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.
 Conustype cilindrisch elektrisch 1500 mm.
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

BUITEN CENTRUM OP VEEN

Opdr. Sond. D13



Opg. : SCUSL d.d. 28-Aug-2007 conus : F7.5CKE/B X = 0.0
 Get. : NGY d.d. 12-sep-2007 MV = NAP -1.47 m Y = 0.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.
 Conustype cilindrisch elektrisch 1500 mm.
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

BUITEN CENTRUM OP VEEN

Opdr. Sond. D13

Buiten centrum op veen

Globale bodemopbouw en stijfheidsparameters

van [m NAP]	tot	omschrijving	γ	γ_{sat}	c_v	C_p'	C_s'	C'
			[kN/m ³]		[m ² /s]	[-]	[-]	[-]
-0,20	/ -3,00	ZAND toplaag, ophoging	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	100	400	50,0
-3,00	/ -5,00	KLEI siltig	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-08}$	20	80	10,0
-5,00	/ -8,00	VEEN	11,0	11,0	$3,0 \cdot 10^{-07}$	7,5	30	3,75
-8,00	/ -11,00	KLEI humeus	13,0	13,0	$5,0 \cdot 10^{-07}$	10	40	5,0
-11,00	/ -11,50	KLEI	15,0	15,0	$5,0 \cdot 10^{-08}$	20	80	10,0
-11,50	/ -12,50	ZAND los gepakt	16,5	16,5	$1,0 \cdot 10^{-07}$	25	100	12,5
-12,50	/ -25,00	ZAND los gepakt	18,0	20,0	$1,0 \cdot 10^{-03}$	125	500	62,5

Opmerkingen bij de tabel:

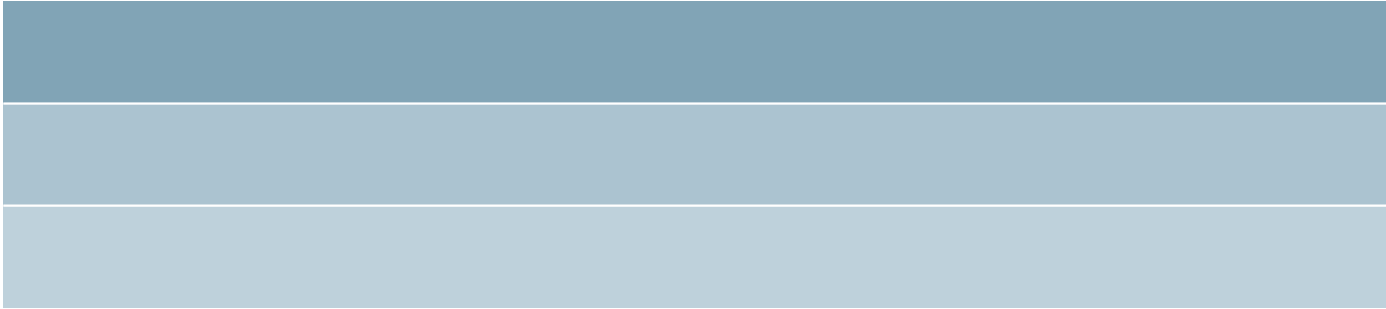
- $\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = volumiek gewicht; sat = verzadigd.
- c_v = consolidatiecoëfficiënt.
- C_p' = primaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).
- C_s' = secundaire samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning (de waarde voor de grensspanning is 4x zo hoog).
- C' = de gecombineerde samendrukkingscoëfficiënt na de grensspanning
- POP = grensspanning t.o.v. terreinspanning, onder andere als gevolg van fluctuatie van de grondwaterstand. Voor deze locatie is een POP van 2,0 kPa aangehouden.

LOCATIE BUITEN CENTRUM OP VEEN

Onderzoek haalbaarheid actief grondwaterpeilbeheer

Opdr. : 1116-0047-000

Bijl. : A4



Deltares