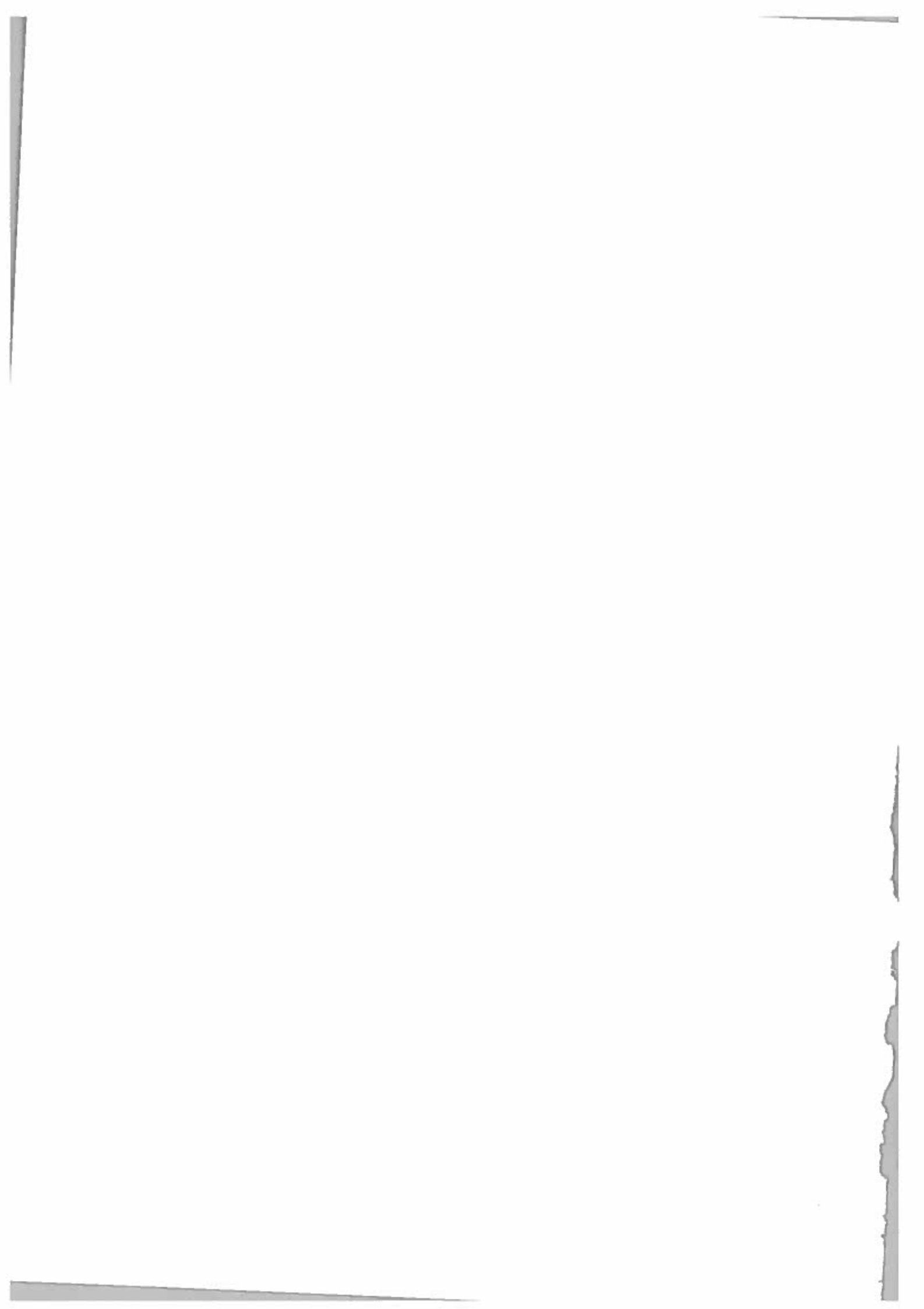


**Toetsing drainageontwerp pilot  
Disteldorp Amsterdam**

Hans van Meerten

1201045-001



Technical Sciences  
Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

**TNO-rapport****060-DTM-2011-02450**

Ontwikkeling toekomstscenario's Vogeldorp en  
Disteldorp Amsterdam-Noord, fase 2: Bepalen van het  
effect, het risico en de uitvoerbaarheid van het  
verlagen van de grondwaterstand in Disteldorp met  
behulp van drainage.'

Datum	19 juli 2011
Auteur(s)	ir. A.C. Westerlaken ir. L.M. Abspoel-Bukman
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	19 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Woonstichting de Key T.a.v. de heer J. de Haan Postbus 2643 1000 CP AMSTERDAM
Projectnaam	onderzoek de dorpen AdamNoord_fase 2
Projectnummer	034.23742/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.



# 1 Inleiding

## 1.1 Doelstelling

Woonstichting de Key heeft aan TNO Bouw en Ondergrond opdracht gegeven om een onafhankelijk onderzoek uit te voeren naar het effect van twee drainagevarianten in een gedeelte van Disteldorp te Amsterdam-Noord. De opdracht aan TNO is vertrekt door de besturen van de Verenigingen van Eigenaars van Vogeldorp en Disteldorp, waarin de Key in beide VvE's grootaandeelhouder is. De Key financiert het onderzoek zonder erkenning van schuld aan de VvE's. Dit onderzoek beslaat de tweede van in totaal vier fasen, waarmee uiteindelijk tot uitgewerkte toekomstscenario's voor Vogeldorp en Disteldorp wordt gekomen.

Doel van het onderzoek in deze tweede fase is het effect, het risico en de uitvoerbaarheid van het verlagen van de grondwaterstand Disteldorp met behulp van drainage inzichtelijk te maken, hierbij rekening houdend met een dynamische neerslagbelasting. Hiertoe is een tweetal drainagevarianten beschouwd. Op verzoek van de Key heeft TNO Deltares gevraagd om geohydrologische berekeningen uit te voeren om de twee drainageontwerpen te toetsen.

## 1.2 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd in twee stappen:

1. Berekening geohydrologische effecten van twee drainagevarianten door Deltares.
2. Beoordeling risico, effect en uitvoerbaarheid van de drainagevarianten.

In stap 1 is het effect van een tweetal drainagevarianten op de grondwaterstand in het onderzoeksgebied inzichtelijk gemaakt. Hierbij is rekening gehouden met een dynamische neerslagbelasting. Stap 1 is op verzoek van De Key door Deltares uitgevoerd.

Als eerste variant is het effect van een 'ringdrainage' onderzocht. Het ontwerp van de ringdrainage is naar analogie van het ontwerp van ingenieursbureau Fugro. Volgens de voorgenomen opzet van dit ontwerp wordt rondom de woonblokken zowel aan de voorkant als aan de achterkant van de woningen een ringdrain aangebracht. Aan de achterzijde van de woningen zijn tussen enkele uitbouwen nog extra drains ("uitlopers") in het plan opgenomen. Het doel van de drainage is om de waterstand onder de vloeren van de woningen te verlagen. Daarnaast heeft Deltares geohydrologische berekeningen uitgevoerd voor een variant waarbij het water via zandstroken en het straatcunet naar het open water wordt afgevoerd. Het ontwerp van deze variant is naar voorbeeld van een oplossingsrichting die is ontworpen voor het nabijgelegen Buiksloterham, welke is beschreven in het document 'Maatregelen tegen grondwateroverlast 'ontwikkelkavels' in de Buiksloterham' van drs. R.Hekkenberg en drs. A. Varkevissers van bureau Tauw in opdracht van Projectbureau Noordwaarts van de gemeente Amsterdam.

In een veldstudie heeft Deltares ter plaatse van een drietal woningen in Disteldorp en Vogeldorp de ondergrond en de grondwaterstand onder en naast deze woningen onderzocht. De woningen betroffen huurwoningen van de Key en zijn gekozen op basis van beschikbaarheid. De resultaten van dit onderzoek dienden als input voor het te gebruiken rekenmodel.

Voor de uitwerking van stap 1 wordt integraal verwezen naar de door Deltares opgestelde rapportage met titel: Toetsing drainageontwerp pilot Disteldorp Amsterdam, met kenmerk 1201045-001-GEO-0003. Deze rapportage is als bijlage A bijgevoegd bij dit rapport.

In stap 2 zijn de voor- en nadelen van de twee varianten ten opzichte van elkaar benoemd. Hierbij is het risico en de uitvoerbaarheid van beide varianten inzichtelijk gemaakt op onderdelen als effectiviteit, risico op zettingen in het grondpakket met verdere (onregelmatige) zakking van de woonblokken tot gevolg, duurzaamheid, praktische uitvoerbaarheid enz.

Basis voor deze analyse zijn de eisen die het Bouwbesluit 2003 stelt en bij TNO gebruikelijke criteria voor het beoordelen van de constructieve staat van bestaande bouwwerken. Verder is gebruik gemaakt van informatie die is verkregen uit de gegevens van een Klikmelding met datum 29-11-2010.

In januari 2011 is een concept van deze rapportage aan de opdrachtgevers verzonden. In februari is de conceptrapportage met de opdrachtgevers van dit onderzoek besproken. Tijdens het overleg is de mogelijkheid en het nut van het includeren van een derde drainagevariant besproken. In juni 2011 is door opdrachtgevers aangegeven dat de derde variant niet in dit onderzoek meegenomen behoefde te worden, waarop de rapportage definitief is gemaakt. In de definitieve rapportage zijn de uitkomsten van de definitieve rapportage van Deltares met datum 27 juni 2011 verwerkt. Deltares geeft in deze rapportage aan dat in de eerder aangeleverde versie een invoerfout in de berekeningen was opgetreden. De berekeningen zijn voor de definitieve versie van de rapportage herzien.

### 1.3 Opbouw van het rapport

Dit rapport bevat de resultaten van de studie naar het effect van twee drainagevarianten op de grondwaterstand in een gedeelte van Disteldorp. In hoofdstuk 2 is het voor dit onderzoek beschouwde gebied in Disteldorp beschreven. Op hoofdlijn wordt ingegaan op het onderzoek van Deltares waarbij integraal de conclusie, aanbevelingen en samenvatting van het door Deltares uitgevoerde onderzoek worden aangehaald. Als laatste wordt in dit hoofdstuk ingegaan op relevante voor- en nadelen van de varianten en relevante aandachtspunten. In hoofdstuk 3 volgt de analyse van de onderzoeksresultaten. Hoofdstuk 4 ten slotte, bevat de conclusie van het onderzoek. Tevens wordt hier ingegaan op aanbevelingen voor de te nemen vervolgstappen en/of maatregelen wanneer ervoor wordt gekozen om met drainage de grondwaterstand in het onderzochte gebied te verlagen.

tijdsinterval van 2 à 3 jaar. Gedurende het eerste jaar ligt de inspectie en het doorspuiten van de drainage hoger.

#### *Risico op zettingen*

Deltares berekent voor de ringdrainage dat de verlaging van de grondwaterstand onder de woning 0,5 meter kan bedragen. De bodemsamenstelling (samendrukbare lagen) in combinatie met een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand, leidt tot een risico op zettingen van de aanwezige sliblaag. Zetting van de ondergrond dient voorkomen te worden om zakking van de daar op staande woning te voorkomen. De mate van zetting is in het kader van dit onderzoek niet gekwantificeerd en/of gekwalificeerd.

Deltares geeft aan dat het risico op ontoelaatbare zettingen meer beheerst kan worden door het aanbrengen van een regelbaar drainageniveau in de verzamelputten. Dit kan door opzetstukken op de drainuitloop en daarbij het grondwaterniveau bij aanvang van de pilot hoger in te stellen, waarbij de grondwaterstand gecontroleerd kan worden teruggebracht naar de maximaal te behalen waarde.

Echter, aangezien het aanvangsniveau van het grondwater voor een effectieve drainage aan een maximale hoogte is gebonden, is bij een effectieve uitvoering van de ringdrainage altijd enige zetting in de ondergrond te verwachten.

### 3 Analyse onderzoeksresultaten

Uit de door Deltares uitgevoerde toetsing van de ringdrainage in combinatie met de aandachtspunten uit hoofdstuk 2, is op te maken dat bij correcte uitvoering van het ontwerp van Fugro en correct onderhoud in de gebruiksfase verwacht mag worden dat de ringdrainage de grondwaterstand voldoende beheerst om aan de meest strenge ontwerpeis (grondwaterstand maximaal 5 dagen per 2 jaar boven de 0,2 m onder de onderkant van de vloer) te voldoen.

Voor de drainagevariant 'draineren met het straatcunet' moet de ontwatering plaats vinden via zandsleuven. Op basis van de berekeningen valt voor deze variant niet te verwachten dat de grondwaterstand voldoende wordt beheerst om te voldoen aan de gestelde ontwerpeisen. Berekening toont aan dat zelfs bij het gunstige grondprofiel in combinatie met de minst zware maatgevende bui, het te verwachten is dat het grondwaterniveau boven peil (= bovenkant vloer) zal liggen. Bij optredende buien stijgt de waterstand vooral in de tuinen en achterterreinen excessief. Afstroming naar de diepte verloopt traag en de weerstand van de grondlagen tussen tuin en straatcunet is groot.

Deltares berekent voor de ringdrainage dat de verlaging van de grondwaterstand onder de woning 0,5 meter kan bedragen. De bodemsamenstelling (samendrukbare lagen) in combinatie met een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand, leidt tot een risico op zettingen. De mate van zetting is in het kader van dit onderzoek niet gekwantificeerd en/of gekwalificeerd.

Deltares geeft aan dat het risico op ontoelaatbare zettingen meer beheersbaar wordt door het aanbrengen van een regelbaar drainageniveau. Echter, aangezien het aanvangsniveau van het grondwater voor een effectieve drainage aan een maximale hoogte is gebonden, is bij een effectieve uitvoering van de ringdrainage altijd enige zetting in de ondergrond te verwachten.

Of zetting van de ondergrond überhaupt als acceptabel mag worden beschouwd, is in de praktijksituatie mede afhankelijk van de invloed van de zetting op de aanwezige bebouwing en de constructieve kwaliteit hiervan. Om hier een uitspraak over te kunnen doen, wordt teruggerepen op de resultaten van het onderzoek in fase 1. Deze resultaten zijn opgenomen in TNO rapport 034-DTM-2010-01452. In fase 1 van het onderzoek heeft TNO onderzoek verricht naar onder andere de constructieve staat van de woningen en woonblokken in Vogeldorp en Disteldorp. Het pilotgebied uit dit onderzoek maakt hiervan deel uit.

De constructieve kwaliteit van de aanwezige bebouwing (de woonblokken) is in fase 1 inzichtelijk gemaakt door op basis van lintvoegwaterpassingen de scheefstanden en relatieve rotaties per woonblok te bepalen.

Voor het toetsen van de constructie zijn vervolgens de grenswaarden aangehouden zoals ze worden omschreven in NEN 6740. NEN 6740 stelt eisen aan de maximale relatieve rotatie van de fundering in zowel de uiterste grenstoestand als de bruikbaarheidsgrenstoestand:



#### Uiterste grenstoestand

In NEN 6740 wordt een relatieve hoekverdraaiing van 1:100 als grenswaarde aangehouden voor de uiterste grenstoestand en daarmee het controleren van de constructie van het op de fundering gebouwde bouwwerk. Een hoekverdraaiing groter dan 1:100 is dus aanleiding de constructie van het bouwwerk te controleren. Door de rotatie ontstaan namelijk situaties (bijvoorbeeld excentriciteiten, verschuiving van opleggingen, mogelijk scheuren, etc.) die in de oorspronkelijke constructieve berekeningen niet zijn meegenomen. Deze grens betreft blokken waarvan ten minste 1 woning een relatieve rotatie heeft ondergaan groter dan 1:100, danwel dat het hele blok een scheefstand heeft groter dan 1:100.

#### Bruikbaarheidsgrenstoestand

Een tweede grens komt voort uit de eisen ten aanzien van de bruikbaarheidsgrenstoestand. Deze grens betreft blokken waarvan ten minste 1 woning een relatieve rotatie heeft ondergaan groter dan 1:300, danwel dat het hele blok een scheefstand heeft groter dan 1:300. Een relatieve hoekverdraaiing van groter dan 1:300 wordt in de norm als grenswaarde aangehouden voor de bruikbaarheid van een bouwwerk. Aan de hand hiervan kan worden afgesproken dat een hoekverdraaiing van groter dan 1:300 dusdanige ongemakken (zoals klemmende deuren en ramen, aflopende vloeren, etc.) geeft dat niet meer wordt voldaan aan de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Daarnaast zijn er blokken waarvan geen van de woningen een relatieve rotatie heeft ondergaan van groter dan 1:300 danwel dat het hele blok geen scheefstand heeft ondergaan van meer dan 1:300. De blokken voldoen dan aan zowel de eisen voor de uiterste grenstoestand als de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Wanneer de resultaten van de lintvoegwaterpassingen die zijn uitgevoerd in fase 1 worden beschouwd, dan wordt duidelijk dat de constructieve kwaliteit van de woonblokken in het pilotgebied divers is: Drie blokken hebben een relatieve rotatie per woning en/of een scheefstand per blok die niet voldoet aan de eisen voor de uiterste grenstoestand, deze blokken zijn in figuur 3.1 rood aangekleurd. Zes blokken hebben een relatieve rotatie per woning en/of een scheefstand per blok die niet voldoet aan de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand, maar die wel voldoen aan de eisen voor de uiterste grenstoestand, deze blokken zijn in figuur 3.1 blauw aangekleurd. Eén blok voldoet aan zowel de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand als eisen voor de uiterste grenstoestand, dit blok is in figuur 3.1 groen aangekleurd.



figuur 3.1 grafische weergave resultaten lintvoegwaterpassingen in (het pilotgebied in) Disteldorp

In de aanbevelingen van de rapportage van fase 1 wordt gesteld dat, om de constructieve kwaliteit van de woningen niet te verslechteren, het onwenselijk is om aanpassingen aan de ondergrond uit te voeren die de draagkracht van de ondergrond van de woningen negatief beïnvloeden om zo extra zetting ten opzichte van de doorgaande zetting te voorkomen.

Dit geldt het sterkst voor de woonblokken waarvan de scheefstand en/of de relatieve rotatie in het blok niet voldoet aan de eisen voor de uiterste grenstoestand (in figuur 3.1 betreft dit de rood gekleurde blokken). Om te voorkomen dat de constructieve kwaliteit van de woningen verder verslechtert, wordt –zeker voor deze woningen- dan ook sterk aangeraden extra zetting van de ondergrond en daarmee verdere vervorming van de constructie te voorkomen.

Wanneer het uitgangspunt wordt gehanteerd dat in ieder geval de grenswaarden voor de uiterste grenstoestand niet mogen worden overschreden, dan wordt voor de woonblokken waarvan de scheefstand en/of de relatieve rotatie in het blok niet voldoet aan de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand maar wel aan die voor de uiterste grenstoestand (in figuur 3.1 betreft dit de blauw aangekleurde blokken), bij uitvoering van de pilot sterk aangeraden verdere zetting van de ondergrond en daarmee verdere vervorming van de constructie van het bouwwerk te monitoren. Wanneer onacceptabele vervormingen ontstaan (hoekverdraaiingen groter dan 1:100) of bij andere indicaties waaruit blijkt dat de constructieve kwaliteit van de woningen verslechterd, dienen passende maatregelen te worden getroffen.

Voor de woonblokken waarvan de scheefstand en/of de relatieve rotatie in het blok voldoet aan de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (deze blokken zijn in figuur 3.1 groen aangekleurd), dient het effect van verdere zetting van de ondergrond en verdere vervorming van de constructie op een zelfde manier te worden gemonitord als de woningen waarvan de scheefstand en/of de relatieve rotatie in het blok niet voldoet aan de eisen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand maar wel aan de eisen voor de uiterste grenstoestand.

## 4 Conclusie en aanbevelingen

### 4.1 Conclusie

Het toepassen van zandsleuven als drainagemaatregel voldoet niet aan de gestelde ontwerpisen aan de capaciteit van de drainage. Toepassing van zandsleuven als drainagemaatregel ofwel de variant 'draineren met het straatcunet' is daarom niet geschikt om de wateroverlast op te lossen.

Op basis van de door Deltares uitgevoerde toetsing mag bij toepassing van de ringdrainage bij correcte en zorgvuldige uitvoering van het ontwerp en correct onderhoud verwacht worden dat de grondwaterstand voldoende wordt beheerst om aan de ontwerpisen te voldoen.

Echter, door de te verwachten zetting als gevolg van de te verwachten gemiddelde grondwaterstandverlaging, wordt de voorgestelde variant sterk afgeraden voor het gekozen pilotgebied. Naar mening van TNO is de constructieve kwaliteit van de woonblokken onvoldoende om verdere zetting van de ondergrond zonder meer op te kunnen vangen.

Alleen dan wanneer afdoende maatregelen worden getroffen om de constructieve kwaliteit te waarborgen van de woonblokken waarvan de scheefstand en/of de relatieve rotatie in het blok niet voldoet aan de eisen voor de uiterste grenstoestand (de in figuur 3.1 rood aangemerkte blokken), kan de pilot worden uitgevoerd. Hierbij wordt tevens sterk aangeraden verdere zetting van de ondergrond en daarmee verdere vervorming van de constructie te monitoren.

Bij het ontstaan van onacceptabele vervormingen (hoekverdraaiingen groter dan 1:100) en/of bij andere indicaties waaruit blijkt dat de constructieve kwaliteit van de woningen verslechterd (scheurvorming, excentriciteiten enz.), dient de pilot onderbroken te worden, waarna pas na passende maatregelen de pilot voortgezet kan worden. Welke maatregelen als passend beschouwd mogen worden, zal per blok van de situatie afhankelijk zijn.

De overige blokken (blauw of groen aangemerkt in figuur 3.1) dienen gedurende de proef gemonitord te worden op verdere zakking en daarmee samenhangend het ontstaan van onacceptabele vervormingen (hoekverdraaiingen groter dan 1:100) en andere indicaties waaruit blijkt dat de constructieve kwaliteit van de woningen verslechterd (scheurvorming, excentriciteiten enz.). Bij onacceptabele vervormingen of de aangehaalde andere indicaties, dient de pilot onderbroken te worden. Na het uitvoeren van passende maatregelen om de constructieve kwaliteit te waarborgen, kan de pilot worden voortgezet. Welke maatregelen als passend beschouwd mogen worden, zal per blok van de situatie afhankelijk zijn.

### 4.2 Aanbevelingen

Ten opzichte van de constructieve kwaliteit van de woonblokken zijn de aanbevelingen zoals verwoord in paragraaf 3.2.4 van de rapportage van fase 1 ook in deze fase van toepassing. Deze aanbevelingen zijn:

De gevolgde pragmatische aanpak heeft tot een gradatie geleid waaruit de volgorde waarin de constructieve staat van de woningen aandacht behoeft, is af te leiden. Tot het moment dat de aanbevolen constructieve analyse daadwerkelijk heeft plaats gevonden en de eventueel daaruit volgende benodigde maatregelen zijn getroffen, wordt aanbevolen:

1. de constructieve elementen niet te verzwakken.
2. geen extra belasting aan de woningen toe te voegen.
3. geen aanpassingen aan de ondergrond van de woningen uit te voeren die de draagkracht van de ondergrond negatief beïnvloeden, zodat geen extra zakkings optreden ten opzichte van de doorgaande zetting.
4. de woningen elk jaar te beoordelen op het ontstaan van:
  - nieuwe scheuren en het open gaan staan van oude scheuren;
  - grote vervormingen;
  - schade aan spanten, woningscheidende wanden, gevels.

Wanneer één van bovenstaande situaties wordt aangetroffen, wordt aanbevolen deze voor te leggen aan een constructeur.

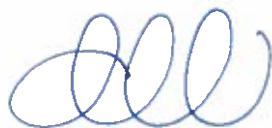
Naast het treffen van passende constructieve maatregelen aan de woningen zijn verdere aanbevelingen alvorens over te gaan tot aanbrengen van de ringdrainage in het pilotgebied:

- Het inzichtelijk maken van het risico op ontoelaatbare zettingen in de ondergrond door het kwantificeren danwel kwalificeren van de mate van de te verwachten zetting door verlaging van de gemiddelde grondwaterstand onder de woning.
- Het uitwerken van een monitoringsplan.
- Het realiseren van een regelbaar drainageniveau in de verzamelputten door het aanbrengen van opzetstukken op de drainuitloop. Door het niveau bij aanvang van de pilot bijvoorbeeld 0,2 m hoger in te stellen en gecontroleerd te laten zakken, zullen zettingen in de ondergrond meer gecontroleerd plaatsvinden.

Ter overweging wordt meegegeven dat voor het waarborgen van de constructieve kwaliteit er in eerste instantie naast monitoren geen aanvullende maatregelen hoeven te worden genomen, in een gebied waar blokken die niet voldoen aan de eisen voor de uiterste grenstoestand (ergo: rood aangekleurde blokken in fig 3.1) buiten het invloedsgebied van de ringdrainage liggen.

## 5 Ondertekening

Delft, 19 juli 2011

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and curves, representing the name A. C. Westerlaken.

ir. A. C. Westerlaken  
Auteurs

A handwritten signature in blue ink, written in a cursive style that includes the name 'Abspoel' followed by a stylized flourish.

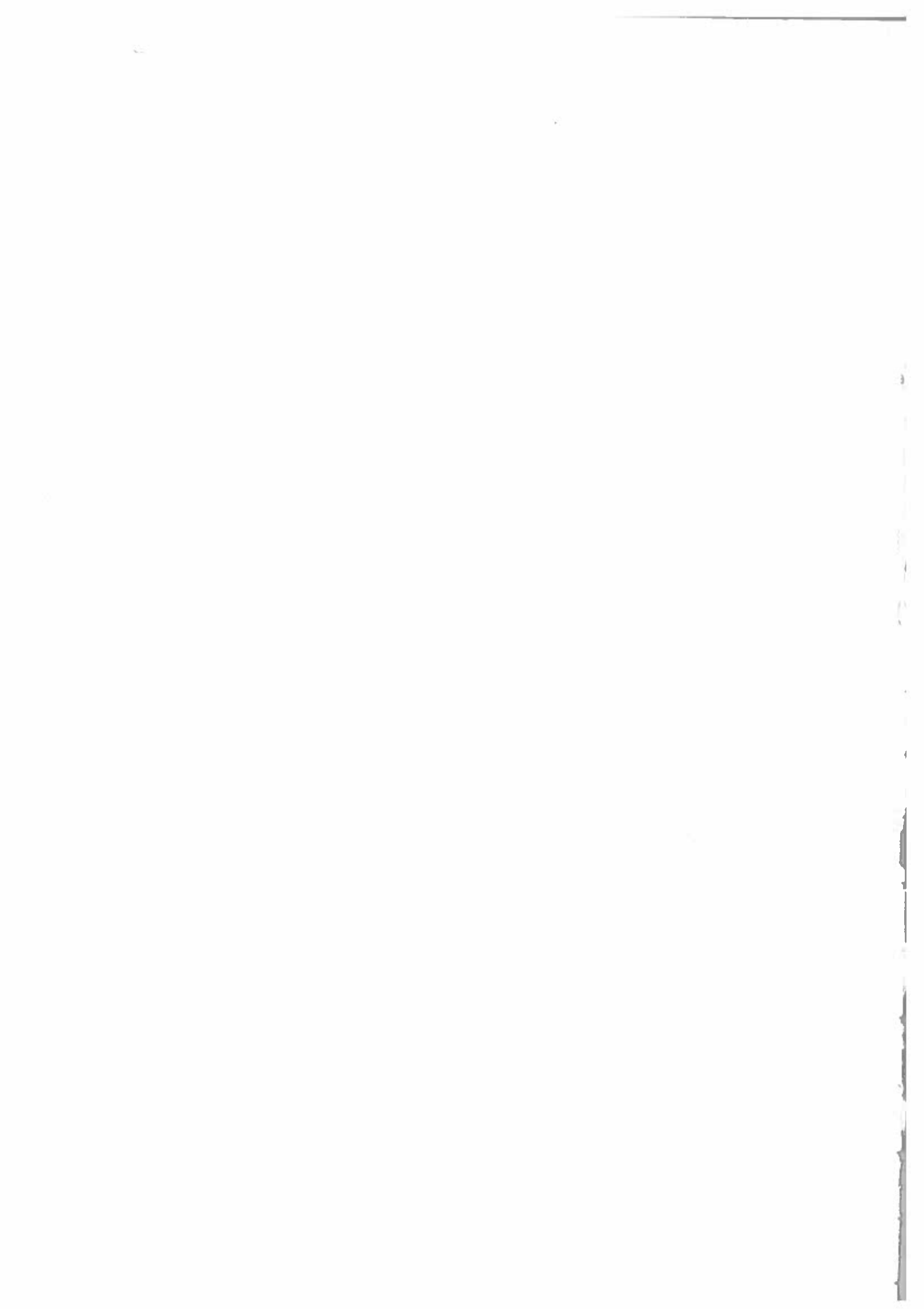
ir. L.M. Abspoel-Bukman

## 6 Bijlage A Rapportage Deltares

106 pagina's ingevoegd

## 7 Bijlage B Overzichtstekening Klicmelding 27-11-2010







## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aanpak van de advisering</b>	<b>3</b>
2.1	Doelstelling advieswerkzaamheden	3
2.1.1	Te toetsen drainageplan Pilotproject Disteldorp	3
2.1.2	Te toetsen alternatieve oplossing	4
2.2	Geotechnisch onderzoek	4
<b>3</b>	<b>Onderzoeksresultaten</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Opzet modellering disteldorp</b>	<b>7</b>
4.1	Onderzoeksgebied	7
4.2	Hydrologische begrenzing	7
4.3	Karakteristieke inrichting Disteldorp	8
4.4	Bodembeschrijving	8
4.5	Geohydrologische schematisatie	9
4.6	Informatie over grondwaterstand in Disteldorp e.o.	10
4.6.1	Algemeen beschikbare informatie	10
4.6.2	Grondwaterstanden uit onderzoek Fugro	12
4.6.3	Resultaat aanvullend verricht onderzoek	12
4.7	Ontwerpwaarden voor de aan te houden neerslag	13
4.8	Drainageoplossing	14
4.9	Oplossing met zandsleuven	14
<b>5</b>	<b>Uitkomsten grondwatermodellering</b>	<b>15</b>
5.1	ModFlow semi-3D grondwaterstromingsmodel	15
5.2	Stationaire berekening 2D-grondwaterstroming met MSeep	16
5.2.1	Opbouw model	16
5.2.2	Berekende gemiddelde opbolling freatisch grondwater in huidige toestand	19
5.2.3	Resultaat berekening jaargemiddelde grondwaterstand na aanleg zandsleuven	21
5.2.4	Resultaat berekening jaargemiddelde grondwaterstand na aanleg drains	22
5.3	Tijdsafhankelijke berekening 2D-grondwaterstroming met PlaxFlow	24
5.3.1	Opbouw model	24
5.3.2	Berekende variatie freatisch grondwater in huidige toestand bij voorkomende piekbuien	25
5.3.3	Selectie PlaxFlow-berekeningen voor bestudeerde maatregelen	28
5.3.4	Uitkomsten van PlaxFlow-berekeningen	29
5.3.5	Evaluatie van de berekeningen voor de oplossingen	30
5.4	Toetsing van drainageontwerp	31
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>33</b>
6.1	Conclusies	33
6.2	Aanbevelingen	34

## **Bijlage(n)**

<b>A Bijlage 1: Drainageplan Pilot Disteldorp</b>	<b>A-1</b>
<b>B Bijlage 1A, 1B en 1C: Locaties grondonderzoek</b>	<b>B-4</b>
<b>C Bijlage Resultaten handsonderingen</b>	<b>C-5</b>
<b>D Boorbeschrijvingen handboringen</b>	<b>D-6</b>
<b>E Korrelverdeling monsters boringen HB12, HB06, HB04</b>	<b>E-7</b>
<b>F Plaatsingsformulier peilbuizen</b>	<b>F-8</b>
<b>G Registratie Peilbuizen PB03, PB06, PB14</b>	<b>G-9</b>
<b>H Registratie Peilbuizen Waternet Amsterdam-Noord</b>	<b>H-10</b>
<b>I Resultaten van Modelberekeningen</b>	<b>I-15</b>

## 1 Inleiding

In Disteldorp en Vogeldorp, woonwijken van Amsterdam-Noord, zijn in de jaren 1918/1919 noodwoningen gebouwd. Deze woningen hadden een tijdelijke bestemming maar zijn sindsdien permanent bewoond. De woningen in het tuindorp zijn in 2001 gerenoveerd en zijn aangemerkt als monument. De huizen zijn gebouwd als een lichte constructie op 0,2 m dikke betonplaten, die zijn gefundeerd op een dunne grondverbetering (zandlaag van enkele decimeters dikte). De ondergrond bestaat verder uit humeuze klei en een oude ophoging met zandig havenslib. Uit lintvoegmetingen blijkt dat grote zakkingsverschillen optreden. Veel van de funderingsplaten zijn gebroken en verzakt.

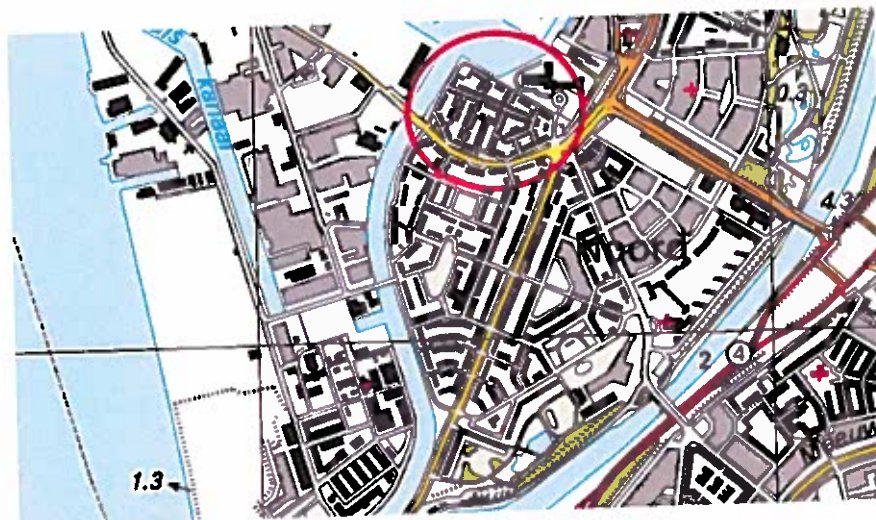
De grondwaterstand in de grondverbeteringslaag is zo hoog dat diverse woningen last hebben van optrekkend grondwater door naden tussen de betonplaten en vochtproblemen in de woningen. In Vogeldorp en Disteldorp betreft het circa 450 woningen.

Woonstichting de Key is samen met Waternet en deelgemeente Amsterdam-Noord op zoek naar een oplossingsrichting voor de genoemde vochtproblemen.

TNO Bouw werkt in opdracht van Woonstichting De Key. Deltares voert in opdracht van TNO Bouw geotechnische en geohydrologische advieswerkzaamheden uit voor dit project.

Op verzoek van woningbouwverenigingen De Key en De Principaal is door Fugro een drainageoplossing voorgesteld om de wateroverlast te bestrijden. Vanwege de omvang van de wijken, is het voornemen van De Key en Waternet om eerst een proefproject in een gedeelte van Disteldorp uit te voeren. Daartoe is door Fugro een drainageplan voor Disteldorp opgesteld. Het doel van dit proefproject is om te onderzoeken of de aanleg van drainagemaatregelen het gewenste effect teweeg brengt.

Om de kans op succes van het proefproject vooraf na te gaan is Deltares gevraagd om geohydrologische berekeningen uit te voeren om het drainageontwerp te toetsen. Daarnaast is gevraagd een alternatief te bekijken waarbij het water via zandstroken en het straatcunet naar het open water wordt afgevoerd. De rapportage van het advies is gebaseerd op tijdsafhankelijke berekeningen die zijn uitgevoerd met het programma PlaxFlow. Omdat in de eerste versie van de complexe berekeningen een invoerfout is opgetreden, zijn de berekeningen voor de tweede en derde versie van het rapport herzien.



Figuur 1.1 Locatie van Disteldorp in Amsterdam-Noord



## 2 Aanpak van de advisering

### 2.1 Doelstelling advieswerkzaamheden

#### 2.1.1 Te toetsen drainageplan Pilotproject Disteldorp

Voor Disteldorp heeft Fugro een Pilotproject uitgewerkt. Volgens de voorgenomen opzet van deze Pilot wordt rondom de woonblokken zowel aan de voorkant als achterkant van de woningen een ringdrain aangebracht. Aan de achterzijde van de woningen zijn tussen enkele uitbouwen nog extra drains ("uitlopers") in het plan opgenomen. Het doel van de drains is om de waterstand onder de vloeren van de woningen te verlagen.

Door de Key is in eerste instantie de volgende eis geformuleerd: de grondwaterstand mag maximaal 5 dagen per 2 jaar boven de 0,2 m onder (de bovenkant van) de vloer komen. Door het projectteam (De Key, Fugro, Waternet) is het toetsingscriterium scherper gesteld in de zin dat de grondwaterstand maximaal 0,2 meter onder de onderkant van de betonvloer mag komen.

Door Fugro is een drainageplan gemaakt waarbij een statische neerslagbelasting van 5 mm/dag is aangehouden. Omdat Fugro op grond van een stationaire berekening heeft geadviseerd, is het niet zeker dat de eis van de opdrachtgever ten aanzien van de maximale overschrijdingsfrequentie wordt gehaald.

Voordat de drainagepilot wordt gerealiseerd, wil de opdrachtgever meer zekerheid over de verwachte mogelijkheden van de drainage om de grondwaterstand in het gebied te beheersen. De opdrachtgever heeft aan Deltares gevraagd om door middel van een computermodellering van de grondwaterstroming na te gaan of met het ontworpen drainagesysteem voldaan wordt aan de door haar geformuleerde eis, waarbij een dynamische neerslagbelasting het uitgangspunt is.

Voor de grondwaterstromingsberekeningen is uitgegaan van een maatgevende bui met een herhalingstijd van 2 jaar. Deze is aangepast voor nieuwe klimaatscenario's, met een opslag van 27% voor extreme bui-intensiteit voor het jaar 2050. Daarnaast zijn berekeningen uitgevoerd met een maatgevende bui met een frequentie van 5 gebeurtenissen per 2 jaar. De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee grondprofielen:

- Een ongunstig grondprofiel; hierbij wordt onder de woningen 0,1 m zand op baggerslib aangehouden.
- Een gemiddeld grondprofiel; hierbij wordt onder de woningen 0,5 m zand op baggerslib aangehouden.

De berekening geeft antwoord op de vraag of de capaciteit van de drains voldoende is om aan de door het projectteam gestelde eis te kunnen voldoen.

## 2.1.2 Te toetsen alternatieve oplossing

Bij een vergelijkbaar project in de Buiksloterhampolder te Amsterdam-Noord, zijn de wegen in de wijken als drainage gebruikt. Bij deze oplossing is de zandlaag onder de woningen met het straatcunet verbonden en wordt het grondwater via het zandige straatcunet afgevoerd naar nabijgelegen open water.

Voor de toetsing van de toepasbaarheid van deze oplossing zijn berekeningen gemaakt voor maatgevende situaties van Disteldorp. Daarbij is een straat uit de woonwijken (met een breedte van hart van de straat tot erfgrans tussen achtertuinen) sterk geschematiseerd tot een strook met kenmerkende afmetingen van woningen, percelen en openbare ruimte in de wijken.

Aan de achterzijde van de woningen is een slecht watervoerende laag aanwezig. Deze slecht doorlatende laag voorkomt in principe dat grondwater vanuit de binnentuinen onder de woningen stroomt maar houdt ook lang water vast. Om het water uit de binnentuinen sneller af te voeren, worden daar volgens de alternatieve oplossing zandsleuven aangelegd, die met het straatcunet worden verbonden.

## 2.2 Geotechnisch onderzoek

Ter plaatse van een drietal woningen in Disteldorp en Vogeldorp is de ondergrond en de grondwaterstand onderzocht. De resultaten van dit onderzoek dienen als input voor het te gebruiken rekenmodel.

Per woning zijn 3 à 4 gaten in de vloer geboord. In deze gaten en op posities achter en voor de woning zijn metingen verricht:

- 5 à 6 Handsonderingen tot 1 à 2 meter diep.
- 5 à 6 Handboringen tot circa 1 meter diep.
- Maken van korrelverdelingen op zandmonsters van onder de vloer van de woning.
- Het peilen van de grondwaterstand in de boorgaten.
- Het plaatsen van een peilbuis in drie woningen. In de peilbuizen zijn automatische opnemers ("divers") geplaatst. Deze hebben gedurende 2 maanden ieder kwartier de waterstand gemeten.

### 3 Onderzoeksresultaten

Ter aanvulling op het bodemonderzoek van Fugro zijn werkzaamheden verricht ter plaatse van Distelvoorstraat 2, Brede Vogelstraat en Derde Vogelstraat (zie bijlage B-1A, 1B en 1C voor de locatietekeningen). Feitelijk zijn voor de modelstudie alleen de onderzoeksresultaten in de Distelvoorstraat 2 van betekenis.

Het totale onderzoek bestond uit:

- 16 Handsonderingen (zie bijlage C)
- 16 Handboringen (zie bijlage D)
- Uitvoeren van zevingen ter bepaling van korrelverdeling zand in grondverbetering (zie bijlage E)
- Plaatsen van peilbuizen (zie bijlage F)
- Registratie van de grondwaterstand (zie bijlage G)

Uit het onderzoek blijkt dat onder de betonvloer een dunne zandlaag op klei (havenslib) aanwezig is. Uit het onderzoek volgt ook dat de dikte van de zandlaag onder de woningen sterk varieert in het gebied. De dikte van de zandlaag varieert tussen circa 0,1 en 0,7 m.

Bij het maken van de handboringen is de grondwaterstand tussen circa 0,3 en 0,5 meter onder bovenkant beton aangetroffen.

Van het zand in de handboringen zijn monsters genomen. Op deze monsters zijn korrelverdelingen uitgevoerd. De doorlatendheid van het zand onder de woningen is bepaald op basis van tijdens het vooronderzoek verrichte zevingen ter bepaling van de korrelverdelingen.

boring	monster	Diepte [m-MV]	d10 [mm]	d50 [mm]	d60 [mm]	d90 [mm]	k [m/d]
HB04	3a	-0,7	0,04	0,2	0,24	0,5	1,2
HB06	1a	-0,55	0,21	0,49	0,65	8	38
HB12	1a	-0,55	0,2	0,48	0,6	1,5	34

Tabel 3.1 Korrelverdeling van grondmonsters en afgeleide doorlatendheden

De afgeleide doorlatendheden variëren sterk. De doorlatendheid wordt vooral bepaald door het aandeel fijne fractie in het zand (uitgedrukt in d10, die aangeeft welke zeefmaat door de kleinste 10% van het monster wordt gepasseerd).

De doorlatendheid voor de locatie Distelvoorstraat 2 die uit de korrelverdeling van monster 3a uit boring HB04 is bepaald, is in de orde van grootte van 1 m/dag.

Uit de metingen van peilbuis 3 in Distelvoorstraat 2 blijkt dat de grondwaterstand in de maanden november 2009 tot en met februari 2010 tot een niveau van enkele centimeters onder de bovenzijde van de vloer steeg.

Opgemerkt wordt dat er geen waterpassing is verricht. De resultaten van de sonderingen, boringen en peilbuizen zijn uitgezet t.o.v. bovenkant betonvloer. De dikte van de betonvloer in de 3 huizen was 0,17, 0,23 en 0,27 m.





## 4 Opzet modellering disteldorp

### 4.1 Onderzoeksgebied

Om de werking en effectiviteit van de drainageoplossing te onderzoeken is een pilotgebied aangewezen in Disteldorp.

Het pilotgebied in Disteldorp te Amsterdam-Noord betreft de adressen

- Distelvoorstraat 1 – 29
- Distelachterstraat 2 – 20
- Distelweg 46 – 62
- Lange Distelstraat 31 – 35



Figuur 4.1 Aanduiding van het pilotgebied (rode lijn) in Disteldorp

### 4.2 Hydrologische begrenzing

Het bebouwde gebied van Disteldorp ligt in een uitbreidingsgebied aan het IJ uit het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw aan de noordwestelijke zijde van het Noord-Hollands Kanaal. De terreinen waren in de 18<sup>de</sup> eeuw al drooggelegd maar zijn toen opgehoogd met zand en slib uit havens en grachten. Aan de westkant wordt het gebied begrensd door het kanaal langs de Ranonkelkade. Aan de Noordkant ligt het Johan van Hasseltkanaal. Dit kanaal is in 1908 echter slechts voor een deel aangelegd.

### 4.3 Karakteristieke inrichting Disteldorp

Volgens de website van Disteldorp is de gebouwde toestand als volgt te beschrijven: "Voor de bouw van de dorpen, die in 1918 begint, wordt de ondergrond eerst afgedekt met duinzand (Disteldorp) en rivierzand (Vogeldorp). Op deze zandbodem worden als fundament betonplaten gelegd van twintig centimeter dik met een grotere oppervlakte dan die van het huis, zodat er een voetpad ontstaat langs de woningen. De huizen zelf bestaan uit een houten frame, binnenmuren van zandsteen, halfsteens (met klamp) buitenmuren met voor een deel van de gevel houten bebording en tot slot een pannen zadeldak."

Uit de beschikbare tekeningen is afgeleid dat de volgende maatvoering kan worden aangehouden ten behoeve van de onderhavige modelstudie:

- Woningoppervlak gemiddeld circa  $5 \times 6 \text{ m}^2$  (zonder achteruitbouw)
- Tuin aan achterzijde tussen 2 woningen circa 10 m breed en aan voorzijde circa 1 à 1,5 m breed
- Straatbreedte in Distelachterstraat en Distelvoorstraat circa 7,8 m van gevel tot gevel

De achterterreinen bestaan voornamelijk uit gemeenschappelijk gazon.  
De bestrating is uitgevoerd met klinkerverharding.

### 4.4 Bodembeschrijving

Volgens het beschikbare grondonderzoek, verzameld tijdens veldwerk en afgeleid uit de beschikbare databank Dinoloket van TNO, bestaat de bodem uit de volgende lagen:

Diepte [m NAP]	Beschrijving	Geschatte doorlatendheid [m/d]
circa +1 m	maaiveld	
tot 0 à - 0,7	plaatselijk matig fijn ophoogzand (duinzand) of zand in cunet	1 à 20
tot - 1 m	opgebrachte humeuze klei, fijn slibhoudend zand en havenslib	$1 \cdot 10^{-3}$
tot - 3 à - 4,5 m	klei en veen met zandlaagjes (geologische afzettingen van Watergraafsmeer, Formatie van Naaldwijk)	$1 \cdot 10^{-3}$
tot - 5 à - 6 m	kleilig veen (afzetting van Hollandveen, Formatie van Nieuwkoop)	$1 \cdot 10^{-2}$
tot - 13 m	zandige klei en kleihoudend zand (Afzetting van Wormer, Formatie van Naaldwijk)	$1 \cdot 10^{-3}$ à $1 \cdot 10^{-4}$
tot - 13,5 m	veenlaag (Formatie van Naaldwijk)	$1 \cdot 10^{-3}$
tot - 16 à - 17 m	fijn zand (deel uitmakend van de holocene deklaag, Formatie van Naaldwijk of Boxtel)	5 à 15
tot - 18 à - 19 m	veen met zandlagen (Formatie van Naaldwijk)	$1 \cdot 10^{-2}$
tot - 24 m	grof zand (Formatie van Kreftenheije; deze laag wordt in geohydrologisch opzicht voor deze regio aangemerkt als eerste watervoerende pakket)	10 à 25
tot > - 50 m	kleilaag (Eem Formatie)	$1 \cdot 10^{-4}$ à $1 \cdot 10^{-5}$

Tabel 4.1 Bodemopbouw met aanduiding mogelijke doorlatendheid

In de straten waar ook de riolering is aangebracht, is slechts ondiep zand in het wegcunet aanwezig.

Voor de berekeningen moeten de effecten voor 2 grondprofielen worden bestudeerd:

- Een ongunstig profiel waarbij onder woningen slechts 0,1 m zand op baggerslib ligt
- Een gemiddeld profiel waarbij onder de woningen 0,5 m zand op baggerslib ligt.

#### 4.5 Geohydrologische schematisatie

De doorlatendheden in bovenstaande tabel zijn geschat op basis van de informatie uit de oude grondwaterkaart en REGIS-data.

Voor de berekening van de drainage zijn de toplagen van belang.

Het blijkt uit de proeven ter bepaling van de korrelverdeling dat het type zand, de korrelverdeling en de daarmee samenhangende doorlatendheid sterk kan variëren.

Voor de aan te houden doorlatendheid in de drainberekeningen is het volgende gekozen op basis van de proeven:

- Ongunstige waarde  $k = 1$  m/d
- Gemiddelde waarde  $k = 10$  m/d.

Voor de bepaling van de weerstand van de holocene lagen is het volgende afgewogen.

Voor de aanleg van de IJ-tunnel is door het voormalig Rijksinstituut Drinkwatervoorziening een pompproef uitgevoerd. De gegevens zijn bij Deltares beschikbaar. Uit de pompproef zijn de volgende parameterwaarden bepaald voor het eerste regionale watervoerend pakket:

- doorlaatvermogen  $kD = 160$  m<sup>2</sup>/d
- spreidingslengte  $\lambda = 700$  m.

Vanwege de resultaten van de pompproef wordt voor de doorlatendheid van de eerste watervoerende laag in het model een waarde van 25 m/d aangehouden.

Als wordt aangenomen dat de diepe Eemkleilaag onder het watervoerend pakket zeer ondoorlatend is, kan worden afgeleid dat de hydraulische weerstand van de holocene lagen circa  $c = 3000$  dagen is. Omgerekend naar een invoerwaarde voor doorlatendheid in het model betekent dat een bulkparameter (alle holocene lagen samengenomen) voor verticale doorlatendheid van het Holoceen van  $6 \cdot 10^{-3}$  m/d.

Controle is uitgevoerd op basis van de huidige gemeten grondwaterstanden. De freatische grondwaterstand is maximaal ongeveer NAP + 0,5 m. De stijghoogte in het diepe watervoerende pakket is NAP - 2 m. Indien de gemiddelde bijdrage aan het bodemvocht vanuit de optredende neerslag van circa 0,49 mm/d (of nuttige neerslag in het pilotgebied, zie paragraaf 4.7) voornamelijk verticaal moet worden afgevoerd via inzijging naar diepere lagen, kan worden afgeleid dat de verticale weerstand  $c$  zich verhoudt tot de afvoer  $q$  en stijghoogteverschil  $dh$  volgens de formule  $q = dh/c$ .

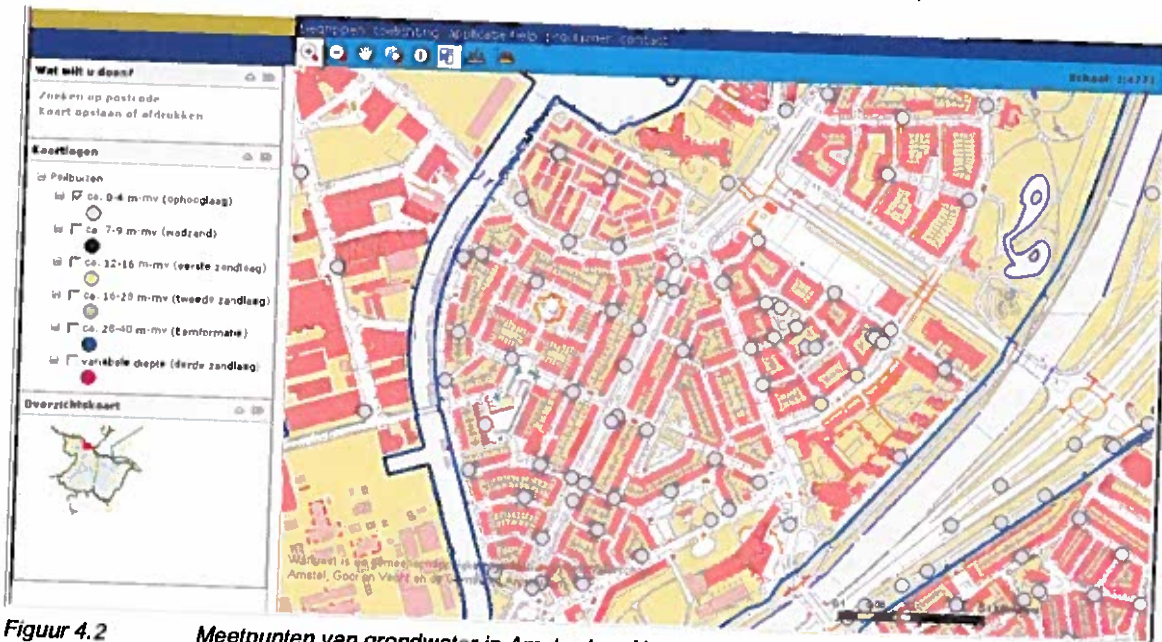
Als weerstandswaarde kan dan worden berekend  $c = 5100$  dagen. De gemiddelde doorlatendheid van de holocene lagen is dan circa  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m/d.

Indien er in horizontale richting - vanwege een redelijke doorlatendheid van de toplaag van 10 m/d - bovendien grondwater wordt afgevoerd naar het open water, is berekend dat dient te worden uitgegaan van een waarschijnlijk wat grotere weerstand van de holocene lagen, namelijk 7000 dagen. Dit komt neer op een gemiddelde doorlatendheid van de holocene lagen van circa  $2,8 \cdot 10^{-3}$  m/d.

## 4.6 Informatie over grondwaterstand in Disteldorp e.o.

### 4.6.1 Algemeen beschikbare informatie

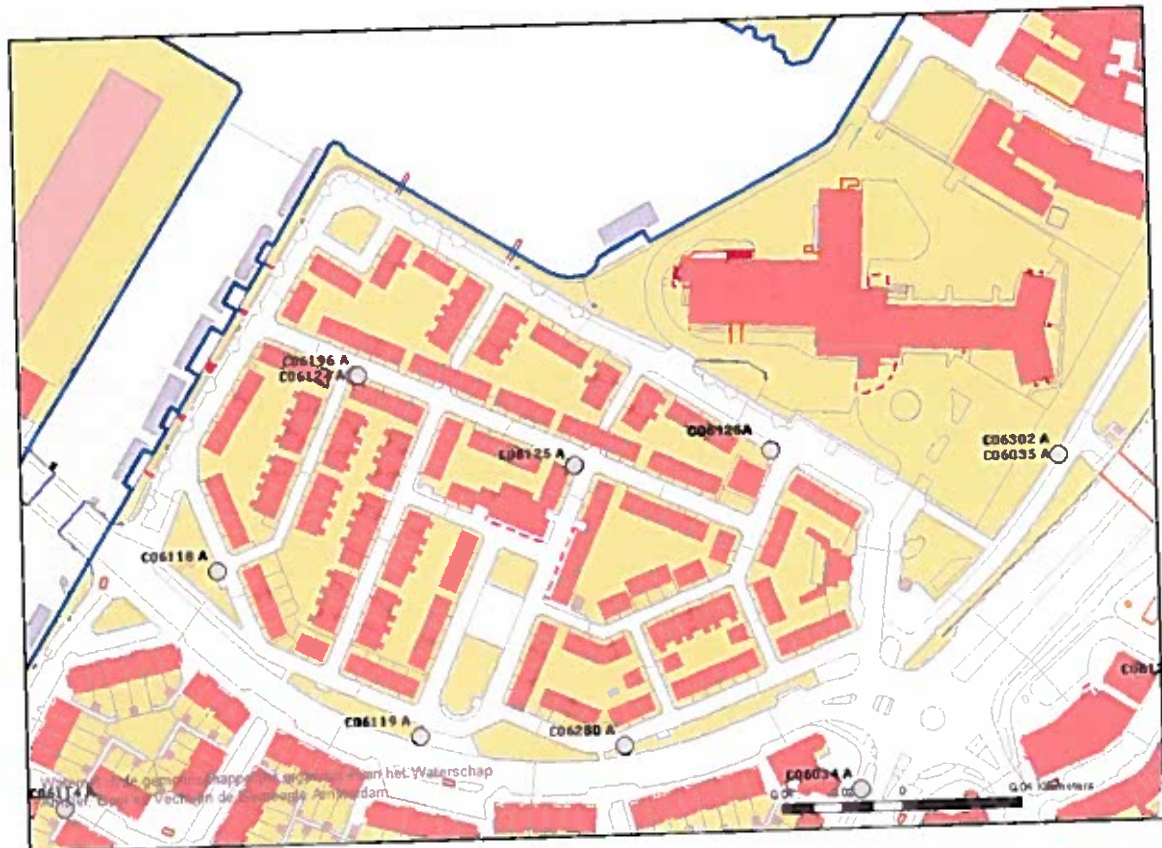
Op de website van Waternet zijn de grondwaterstanden te vinden die in dit deel van Amsterdam-Noord worden waargenomen (zie figuur). Globaal genomen liggen de grondwaterstanden in de ophooglaag tussen NAP en maximaal NAP +0,5 m.



Figuur 4.2 Meetpunten van grondwater in Amsterdam-Noord volgens Waternet

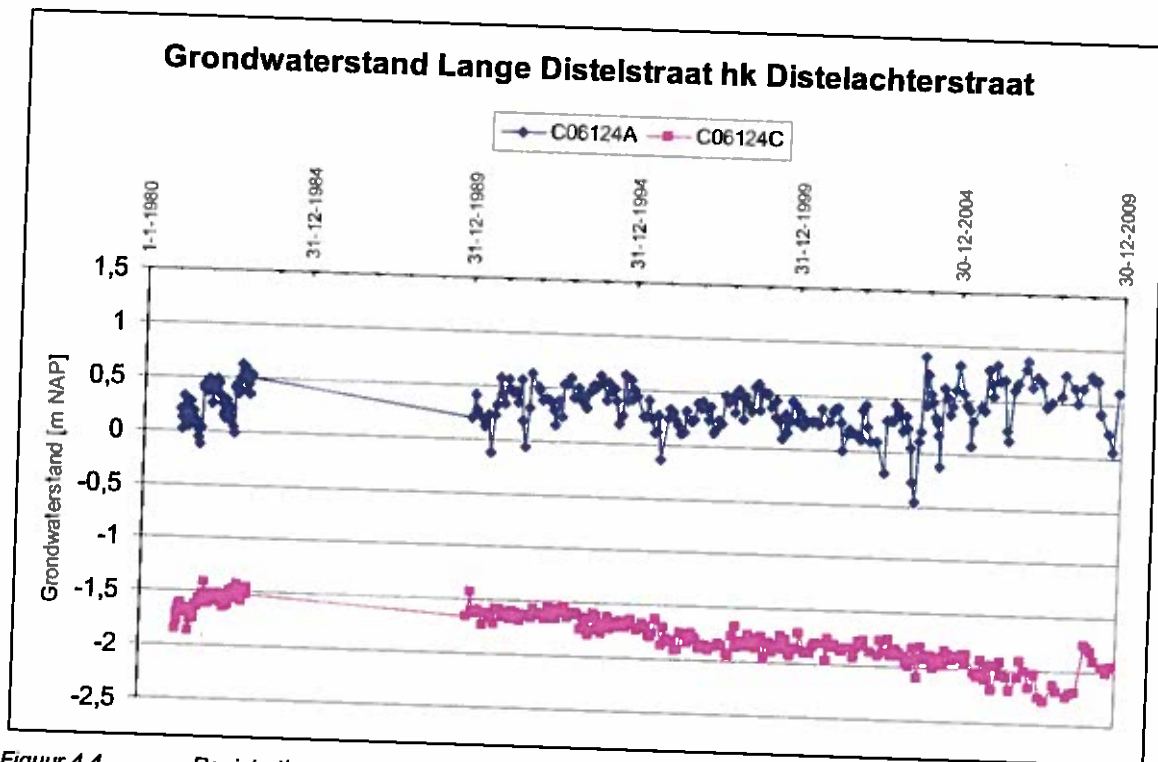
Uit bestudering van de beschikbare meetdata blijkt dat het beeld niet eenduidig is. Er is nauwelijks een relatie tussen oppervlaktewaterpeil en grondwaterstand te ontdekken. Het peil van het oppervlaktewater van het IJ en het Buiksloterkanaal ligt gemiddeld op NAP - 0,4 m en fluctueert nauwelijks. De stijghoogte van het (brakke tot zoute) grondwater in het watervoerend pakket ligt op NAP - 2 à - 2,5 m. Dat niveau wordt voornamelijk beïnvloed door omliggende polders en peilen. In Disteldorp en omliggende wijken is er sprake van sterke lokale verschillen in grondwaterstand. Gemiddeld ligt het niveau op NAP + 0,3 m maar lokaal in Disteldorp zijn er meetpunten waar de hoogste stand tot NAP + 0,8 m beloopt (zoals nabij meetpunt C06124 op de hoek van Lange Distelstraat en Distelachterstraat).





Figuur 4.3 Meetpunten van Waternet in Disteldorp

In de volgende grafiek is het verloop van de grondwaterstand in de periode van 1980 tot 2010 getoond. Bij peilbuis C06124A bevindt het waarnemingsfilter zich op een diepte van ongeveer NAP – 2 m en wordt de grondwaterstand in de ophooglaag gevonden. Peilbuis C06124C geeft de stijghoogte in diepere zandlagen weer omdat het waarnemingsfilter zich op een filterdiepte van ongeveer NAP – 14 m bevindt. De gemeten grondwaterstand in de ophooglaag was vanaf 1981 dalende (waarschijnlijk meelopend met de neergaande trend van de diepe stijghoogte) maar vertoont eind 2002 een trendbreuk. Na dat tijdstip ligt de grondwaterstand bijna een halve meter hoger.



Figuur 4.4 Registratie grondwaterstand peilbuizen C06124 Lange Distelstraat

#### 4.6.2 Grondwaterstanden uit onderzoek Fugro

De ondiep voorkomende grondwaterstanden liggen in het betreffende pilotgebied volgens de rapportage van Fugro (kenmerk 4005-0433-001) in mei 2006 gemiddeld op NAP + 0,2 à + 0,5 m. Er is in het gebied sprake van lokale verschillen.

In een raai dwars over Distelachterstraat 15/16 varieert de grondwaterstand globaal als volgt: NAP + 0,35 m (peilbuis HB11 achtertuin nr 15) tot NAP + 0,45 m (pb HB12 voortuin nr 15) tot NAP + 0,45 m (pb HB13 straatcunet) tot NAP + 0,6 m (pb HB14 voortuin nr 16) tot NAP + 0,65 m (pb HB15 achtertuin nr 16).

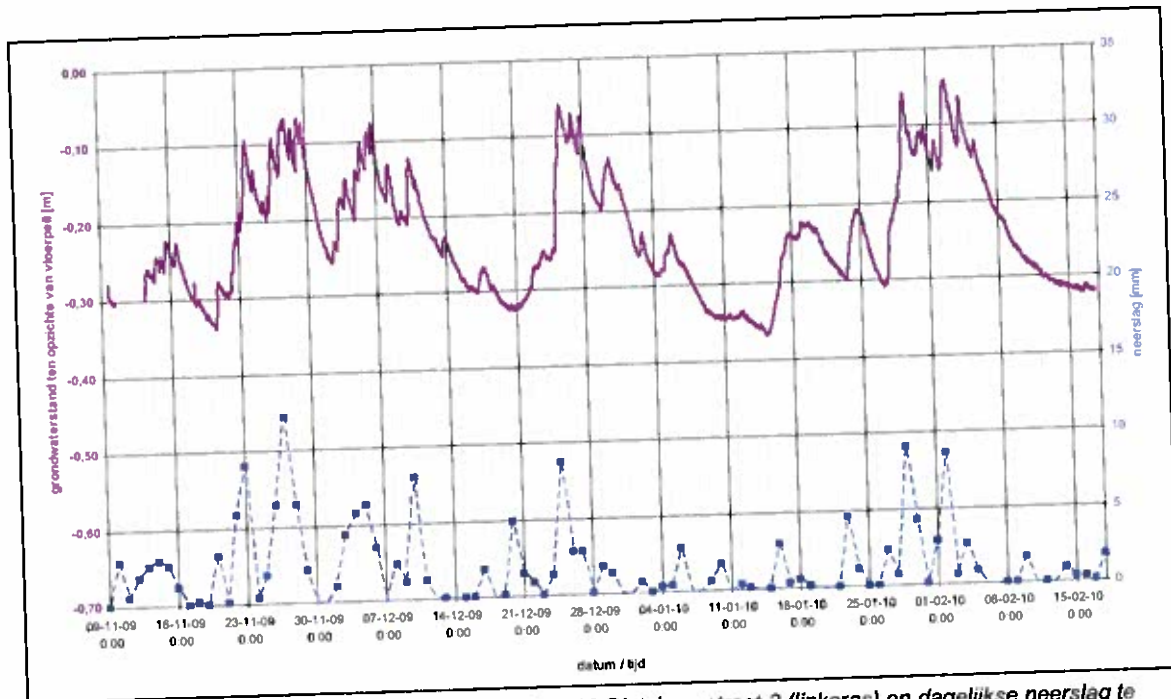
In deze omgeving is een zandlaag van nauwelijks 0,1 m dik onder de woningen aangetroffen. Het cunet in de straat bevat zand met een laagdikte van 0,5 tot 1,1 m.

In een raai dwars over Distelvoorstraat 5/6 varieert de grondwaterstand globaal als volgt: NAP + 0,45 m (peilbuis HB16 achtertuin nr 5) tot NAP + 0,5 m (pb HB17 voortuin nr 5) tot NAP + 0,45 m (pb HB18 straatcunet).

Hier bevindt zich onder de woningen een circa 0,5 m dikke zandlaag.

#### 4.6.3 Resultaat aanvullend verricht onderzoek

Door Deltares is in pandig in hoekpand Distelweg/Distelvoorstraat 2 peilbuis PB03 geplaatst. De peilbuis is in een circa 0,5 m dikke zandlaag geplaatst dat onder dit pand aanwezig is. De grondwaterstanden variëren van P - 0,06 m tot P - 0,36 m (P = vloerpeil) ofwel (als peil = dorpelpeil NAP + 0,82 m) naar schatting van NAP + 0,46 tot NAP + 0,76 m. Zoals blijkt uit de volgende grafiek volgen de grondwaterstanden de variatie van de neerslag in de meetperiode (die gelopen heeft van november 2009 tot februari 2010). Enkele malen zijn in deze periode buien van 10 mm/dag of meer opgetreden.



Figuur 4.5 Grondwaterstand [m-P] peilbuis PB03 Distelvoorstraat 2 (linkeras) en dagelijkse neerslag te Schiphol [mm/d] (rechteras) in zelfde meetperiode, P = NAP + 0,82 m.

#### 4.7 Ontwerpwaarden voor de aan te houden neerslag

De gemiddelde neerslag die in Amsterdam geldt, is afgeleid van de website van het KNMI. Volgens neerslagstation Amsterdam (KNMI nr 441) valt jaarlijks normaal 866,6 mm ofwel gemiddeld 2,37 mm/d. De Makkink-verdamping in het dichtstbijzijnde meetpunt in De Bilt is 542,7 mm per jaar (verdamping van een grasoppervlak). De gemiddelde jaarlijkse nuttige neerslag voor een dergelijk grasoppervlak is dus 323,9 mm ofwel circa 0,89 mm/d. Niet alle neerslag infiltreert in de bodem. Alleen in niet-gerioleerde gebieden zonder afstroming naar open water (zoals in tuinen of parken) kan volledige infiltratie aan de orde zijn. Voor bestraat oppervlak kan worden aangehouden dat circa 30% van de neerslag infiltreert en het overige deel in de riolering afstroomt. Ter plekke van bebouwing vindt geen neerslag of verdamping plaats (als de dakafvoeren niet op maaiveld lozen). Voor zover bekend en visueel kan worden beoordeeld zijn alle dakafvoeren in Disteldorp op de riolering aangesloten. Op basis van de beschreven neerslag-afvoer-relatie en een indruk van de bebouwde oppervlakken in het gebied kan de gemiddelde aanvulling van het grondwater vanuit de neerslag worden bepaald. Voor wat de inrichting van Disteldorp betreft is het verhoudingsgetal bebouwd:bestraat:groenvoorziening naar schatting circa 6:4:5. Voor het pilotgebied is deze verhouding iets anders. Dit heeft echter weinig effect op de nuttige neerslag. De gemiddelde bijdrage van de neerslag aan de bodem in dit gebied is daarmee berekend op 0,49 mm/d.

Vervolgens dient een aanname te worden gedaan voor de maximale belasting door neerslag voor het ontwerp van de drainage.

Volgens de notitie Richtlijnen ter voorkoming van grondwateroverlast in nieuw bebouwd gebied uit mei 2003 (herziening 2007) van Waternet moet als norm worden aangehouden een overschrijding van maximaal toelaatbare ontwateringsdiepte met een frequentie van eens

per 2 jaar. Hierbij wordt als richtlijn een verhoogde grondwaterstand over een periode van 5 dagen achtereens als overschrijdingsduur gehanteerd.

Over maatgevende buien is voor het ontwerp van de drains het volgende afgeleid. Volgens de neerslag statistiek van de Bilt geldt voor een overschrijdingsfrequentie van eens per 2 jaar:

- Indien de neerslag 5 dagen aanhoudt valt in die periode totaal maximaal 66 mm neerslag, uitgegaan van 39 mm/d,
- Indien de neerslag met vermelde overschrijdingsfrequentie 1 dag aanhoudt moet worden
- Als de norm 5 keer 1 dag per 2 jaar wordt overschreden moet rekening worden gehouden met 25 mm neerslag.

Voor het verschil tussen Amsterdam en de Bilt moet een opslag van 11% op de extremen worden aangehouden.

Volgens het centrale natte klimaatscenario moet voor extreme bui-intensiteit voor het jaar 2100 een opslag van 20% worden gehanteerd.

Rekening houdende met vermelde opslagfactoren zijn de ontwerpwaarden:

- 5 dagen met in totaal 88 mm,
- 1 dag met in totaal 52 mm,
- 5\*1 dag met 33 mm.

#### 4.8 Drainageoplossing

Voor dit Pilotgebied is de drainageaanleg nader gedetailleerd (zie de tekening in Bijlage A-1). Deze tekening is ontleend aan het bestek d.d. 17-10-2009.

Het straatniveau ligt in het pilotgebied op circa NAP + 0,8 à + 1,1 m. Volgens het rapport van Fugro (opdrachtnummer 4005-0433-001) ligt het dorpelniveau enkele centimeters boven het straatniveau. Daarin is aangegeven dat de drainage op circa 0,8 m beneden dorpelniveau komt te liggen. Door Fugro is geadviseerd om drainage aan te leggen die een draindiameter heeft van 125 mm met een helling van 1: 500 op een niveau van maximaal NAP + 0,25 tot minimaal - 0,18 m. De drainage moet komen te liggen in een koffer van drainagezand of – grind.

#### 4.9 Oplossing met zandsleuven

Bij deze oplossing worden geen drains toegepast. In plaats van drains worden evenwijdig aan de woningen zandsleuven met een breedte van 0,5 meter en een diepte van 0,8 meter aangelegd. Bij elke woning wordt tevens een verbinding aangelegd tussen deze sleuf en het straatcunet.

Aan de achterzijde van de woning wordt alleen een sleuf evenwijdig aan de woning aangelegd.



## 5 Uitkomsten grondwatermodellering

### 5.1 ModFlow semi-3D grondwaterstromingsmodel

Om een redelijk nauwkeurige modellering van de drainage mogelijk te maken is een celgrootte in het aandachtsgebied van de pilot gekozen van  $1 \times 1 \text{ m}^2$ . Naar de randen van het model toe is de celgrootte vergroot tot een breedte van 50 m.

Er is een 3-laags model opgezet met de zandige ophooglaag, het holocene slecht doorlatende laagpakket en het regionale eerste watervoerende pakket.

Als randvoorwaarden zijn de standen in het IJ en in aangesloten kanalen aangehouden aan de rand van het modelgebied en een opgelegde stijghoogte van NAP - 2 m in het eerste watervoerende pakket.

Allereerst is getracht om de huidige gemiddelde geohydrologische situatie te berekenen uitgaande van een jaargemiddelde aanvulling in het gebied door nuttige neerslag. De globaal bekende grondwaterstanden zijn daarbij gebruikt als gegevens om het model op te ijken. Als variabele is de doorlatendheid van de holocene lagen gebruikt.

Uit de berekeningen blijkt dat globaal de initiële situatie is na te rekenen met de aangehouden parameters:

- Jaargemiddelde aanvulling door neerslag = 0,49 mm/d
- Doorlatendheid ophooglaag = 1 m/d
- Doorlatendheid 18 m holocene = 0,0035 m/d.

Daarmee is het volgende huidige gemiddelde grondwaterpatroon voor de toplaag berekend. Er is onderzocht of het patroon als initiële situatie voor de drainageberekeningen kan worden aangehouden.



Figuur 5.1 Berekende gemiddelde grondwaterstand [m+NAP] in de toplaag Disteldorp e.o.

De gemiddeld berekende opbolling in het gebied past bij het gemiddelde van de beschikbare metingen. De werkelijke situatie blijkt echter veel complexer te zijn. Er zijn lokaal veel hogere en lagere grondwaterstanden gemeten in het gebied. Dat houdt vermoedelijk verband met de aan- of afwezigheid van drainerende werking door riolen en wegcunetten en/of met de heterogeniteit van de ondergrond die lokaal ondoorlatender kan zijn dan gemiddeld voor het gebied wordt aangehouden.

Met name blijkt het gebied van Disteldorp rond de Lange Distelstraat ten opzichte van omliggend gebied hogere grondwaterstanden te hebben. Daaruit volgt dat een globaal grondwatermodel zoals in de figuur gepresenteerd niet overeenstemt met de werkelijkheid. Dat betekent dat de lokale bodemstructuur en verschillen in maaiveldgebruik in model gebracht moeten worden. Vanwege het feit dat het voorkomen van lokale afwijkingen in het geohydrologisch model niet vast te stellen is, is een andere benadering met 2D-modellen gekozen die hierna is beschreven.

## 5.2 Stationaire berekening 2D-grondwaterstroming met MSeep

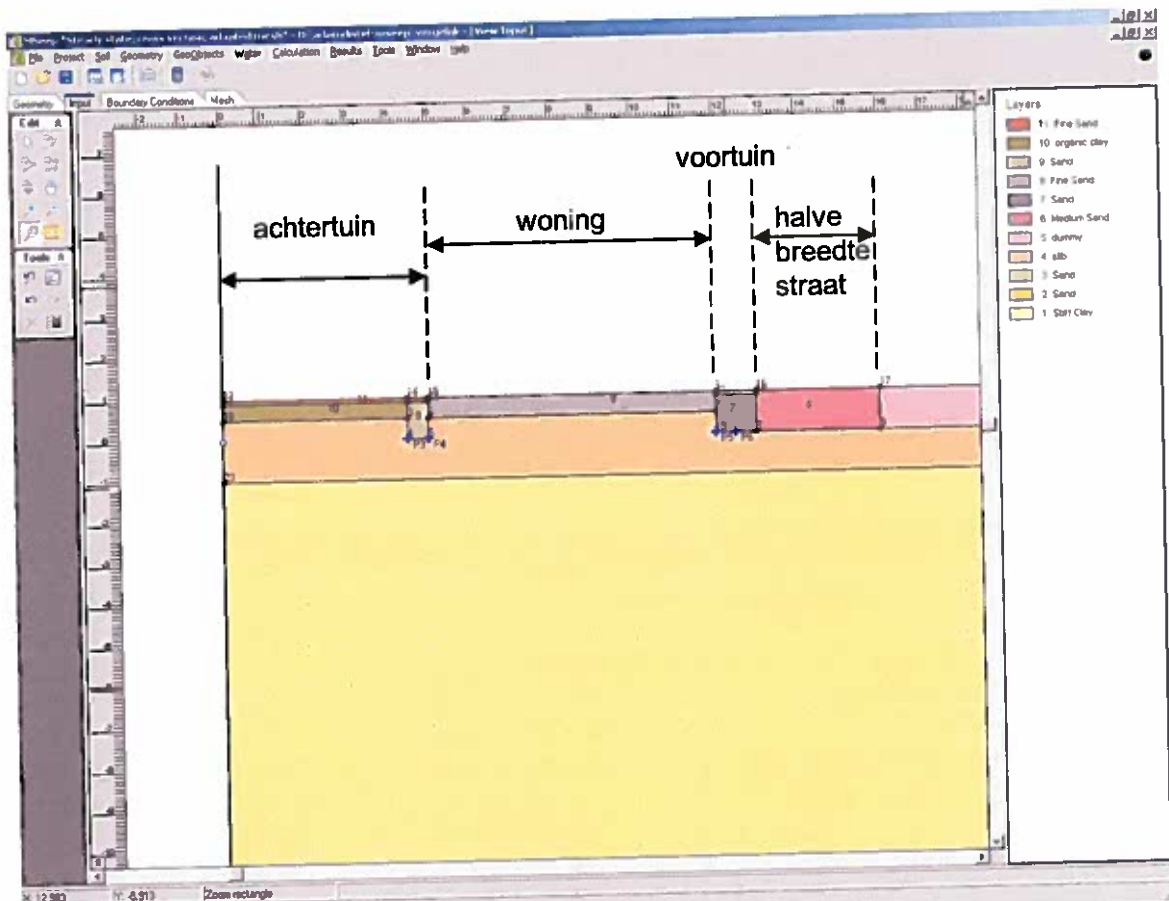
### 5.2.1 Opbouw model

Er is getracht om met een eenvoudig model op microschaal de voeding van het bodemsysteem met neerslag door te rekenen. Deze schematische aanpak berust op een 2D-model dat de situatie tuin-huis-straat beschouwt inclusief een afstroming naar diepte en naar omliggend open water via het cunet. Dat laatste is geschematiseerd in de vorm van een

kunstmatige weerstand voor de afvoer door het straatcunet naar het omliggend open water toe.

De niet-stationaire reactie op overvloedige neerslag is berekend met het 2D eindige elementen model PlaxFlow. Aangezien dat echter een zeer complex programma is waarbij ook onverzadigde grondwaterstroming wordt gemodelleerd is eerst de gemiddelde geohydrologische toestand onderzocht met het eenvoudiger 2D eindige elementen programma MSeep voor stationaire grondwaterstroming. De resultaten van de MSeep berekening zijn vervolgens vergeleken met de uitkomsten van de eerste stappen van de (stationaire) instelfase van het PlaxFlow-model.

Bij het gebruik van MSeep als 2-D stationair grondwaterstromingsprogramma is uitgegaan van de modellering in een doorsnede over een half bouwblok (hartlijn tuinen tot hartlijn straat) zoals in onderstaand schema. De vergelijking MSeep-PlaxFlow is dus gedaan voor het geval van een woning met maaiveld op NAP + 1 m en een zandfundering van 0,5 m dikte.



Figuur 5.2 Opzet stationaire controleberekening modeljking met MSeep

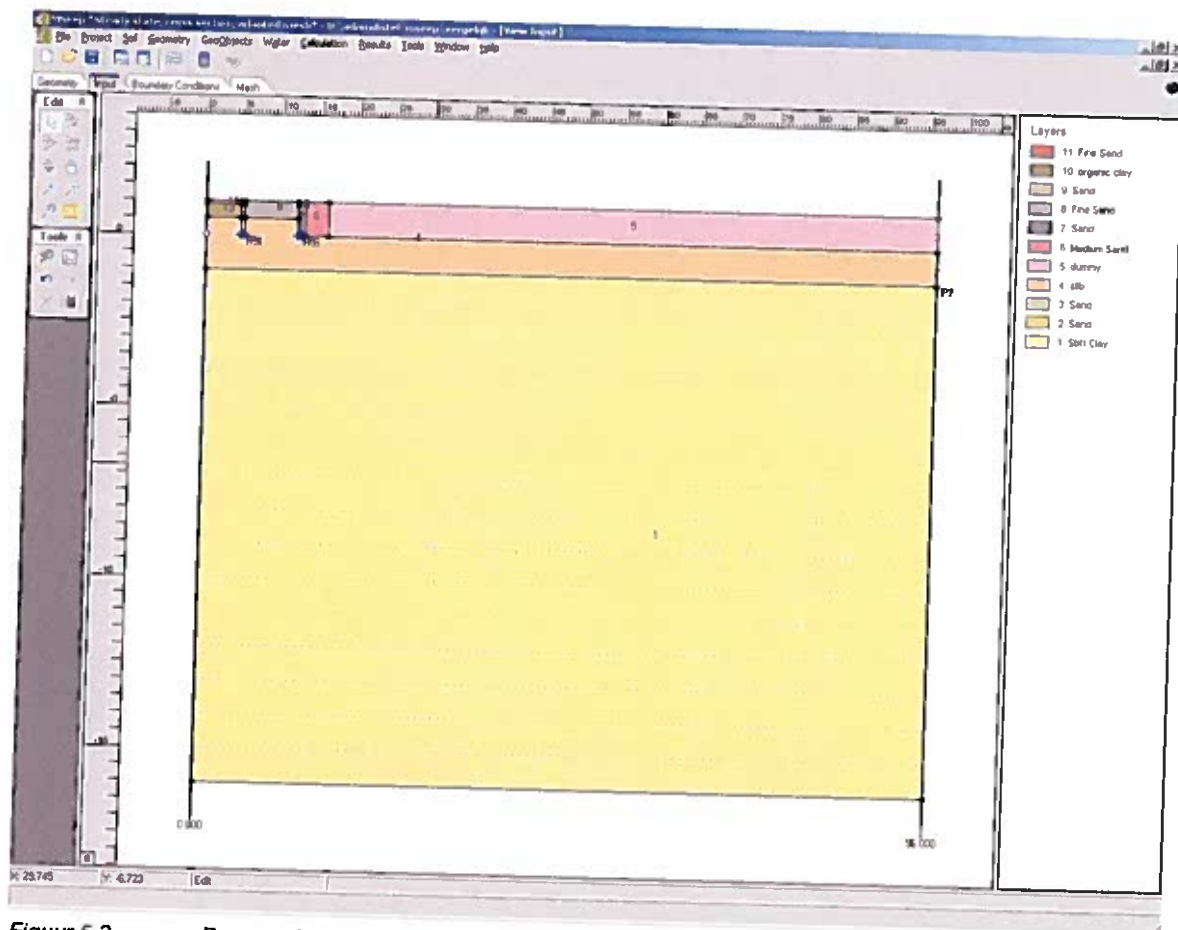
In de berekeningen is de samenstelling van de grondlagen 7 en 9 gevarieerd:

- Oorspronkelijke toestand: gerijpte, organische klei
- Zandsleuven: sleuf met zand
- Drainoplossing: sleuf met zand met drain

Om de afstroming van grondwater vanaf het bouwblok naar de ondergrond te modelleren is een afstand tot omliggend open water genomen van 80 meter. Aan die zijde ligt open water met een diepte van NAP - 1 m en een peil van NAP - 0,4 m.

De overgang naar de diepe aquifer met vast aangenomen stijghoogte van NAP – 2 m ligt op een diepte van NAP – 16 m.

De gemodelleerde grondlagen met in de legenda aangeduide bodemmateriaal zijn in de volgende figuur aangegeven.



Figuur 5.3 Doorsnede gehele 2D-model MSeep

In het model zijn de volgende doorlatendheden aangehouden:

- Holocene klei/veenlaag:  $k = 1.10^{-4}$  m/d
- Oude havensliblaag:  $k = 1.10^{-3}$  m/d
- Organische gerijpte kleiige toplaag:  $k = 1.10^{-2}$  m/d
- Fijn zand (onder woningen):  $k = 1$  m/d
- Middelfijn tot matig grof zand (cunet):  $k = 10$  m/d
- Filterzand (drainagesleuf):  $k = 25$  m/d

Verder is voor de modellering van de toplaag in het gehele wijkgebied over de lengte van gemodelleerd woonblok tot aan omliggend open water een doorlatendheid gekozen van 2 m/d. Ten opzichte van de ijking met de ModFlow-modellering was in het 2D-model een iets andere verdeling van horizontale en verticale doorlatendheid nodig om de het 2D-model te ijken op de gemiddelde grondwaterstand in de wijk. De doorlatendheid van de holocene klei-veenlaag zoals hierboven aangegeven diende behoorlijk kleiner genomen te worden.



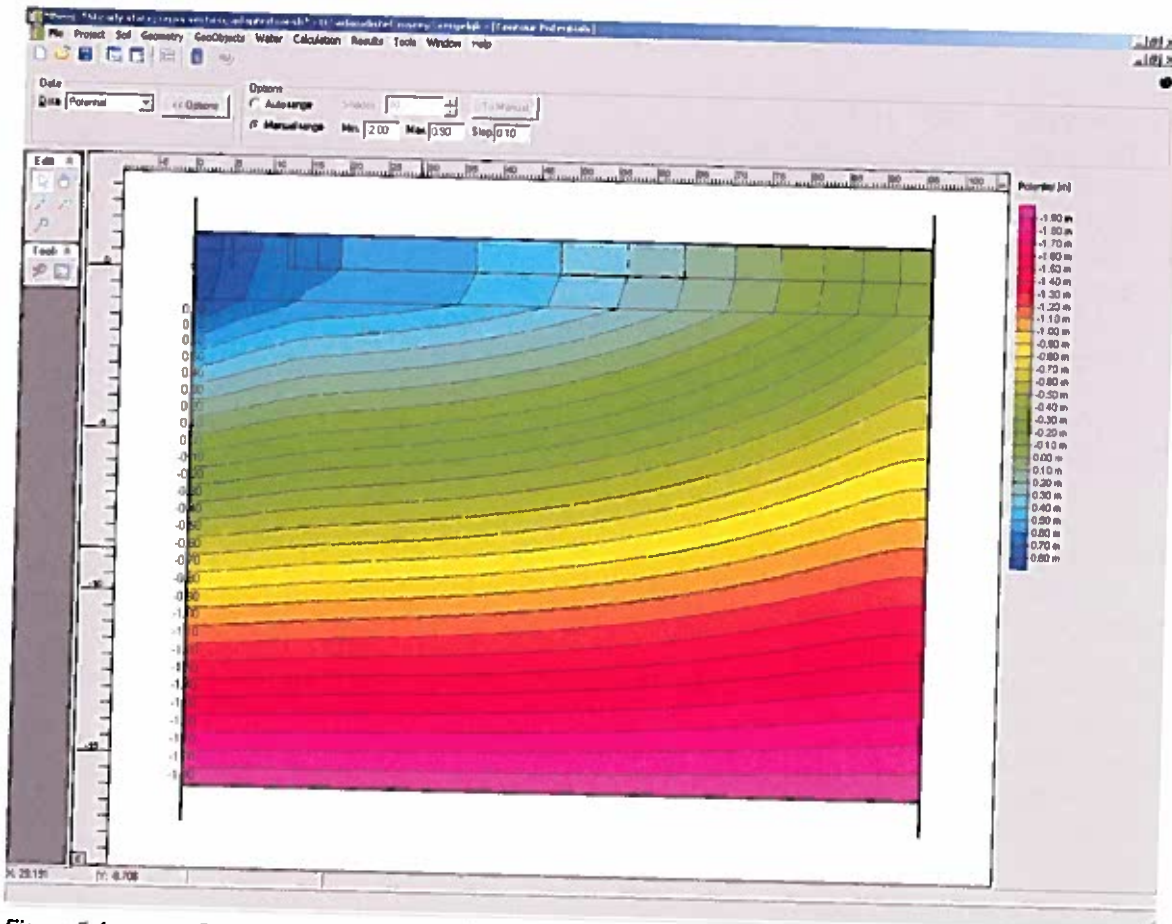
De volgende randvoorwaarden zijn gehanteerd:

- Maaiveld in model: NAP + 1 m
- Onderzijde model: randvoorwaarde potentiaal = NAP – 2 m
- Linkerzijde model: dichte rand (no flow boundary) als ware het een waterscheiding (maximale opbolling)
- Rechterzijde model: over het algemeen een dichte rand aangenomen behalve aan de bovenzijde ter plaatse van het aanwezige omliggende open water (kanaal met peil NAP – 0,4 m)
- Aanvulling uit neerslag bovenzijde:
  - Tuin: jaargemiddeld 0,89 mm/d
  - Straat: 0,3\* jaargemiddeld
  - Omliggend gebied: gebiedsgemiddeld 0,49 mm/d

#### 5.2.2 Berekende gemiddelde opbolling freatisch grondwater in huidige toestand

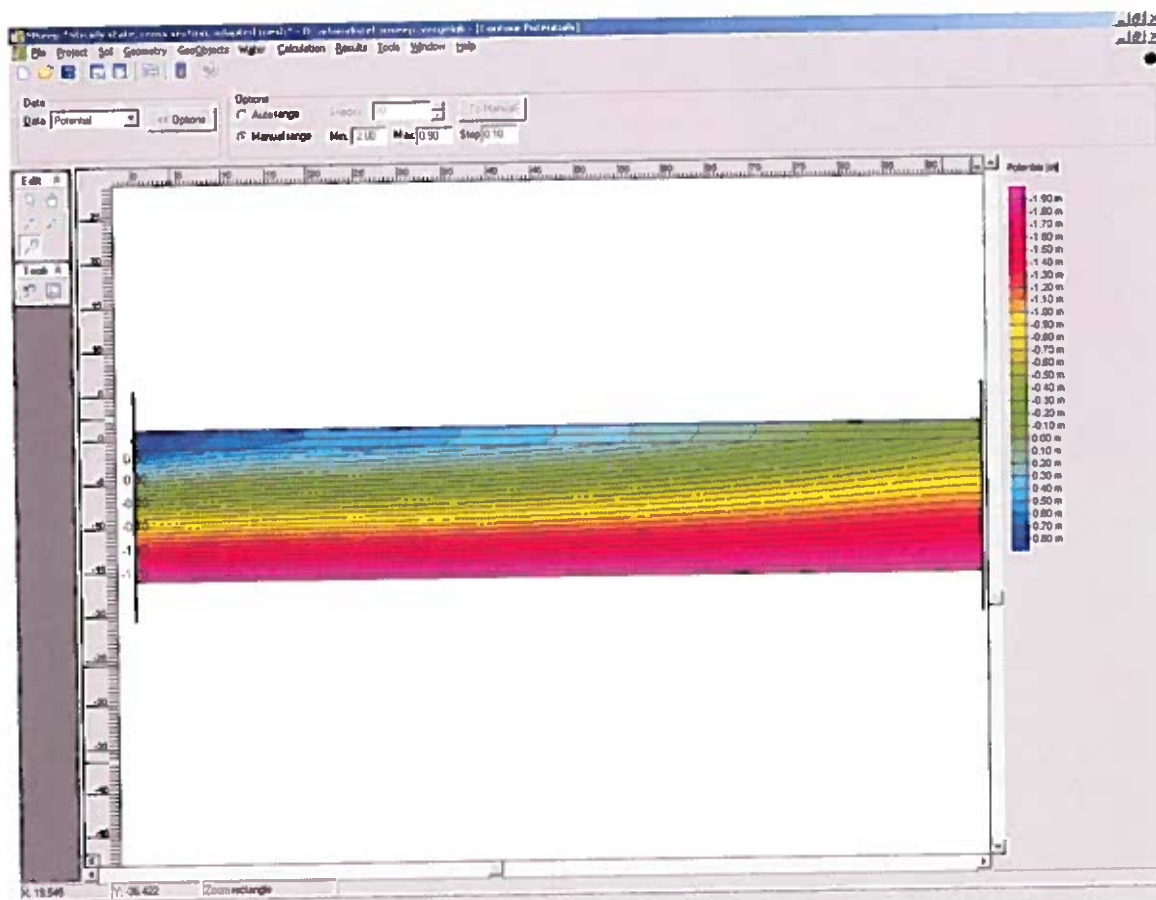
In de onderstaande figuur is de jaargemiddelde verdeling van de grondwaterstand weergegeven zoals deze volgt uit een berekening met het programma MSeep. De horizontale en verticale schaalverdelingen verschillen in de figuur.

Geheel linksboven in de figuur bevindt zich een tuin, een woning en de straat. De locatie van de woning is aangeduid met enkele verticale stroken. In de huidige toestand is er echter geen onderscheid aanwezig naar in de toekomst aan te brengen drainage sleuven (de vakken zijn in het model voor de berekening van de huidige situatie geschematiseerd met parameterwaarden voor de oorspronkelijke klei/slibbodem).



**Figuur 5.4** Resultaat ijkberekening huidige situatie met gemiddelde verdeling van de grondwaterpotentiaal volgens berekening met MSeep

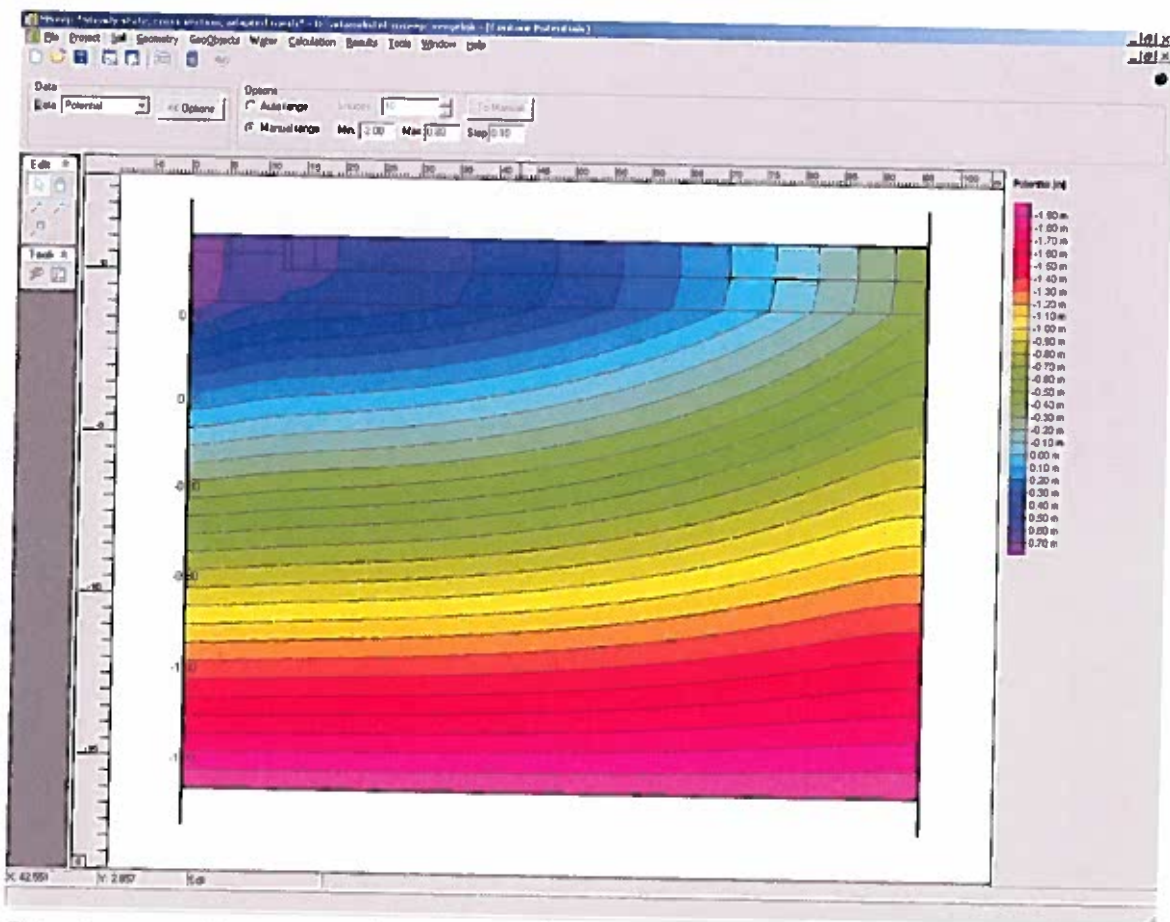
Het beeld in figuur 5.4 is verschaald om de resultaten goed zichtbaar te maken. Indien de werkelijke maatvoering (horizontale en verticale schaal gelijk) wordt beschouwd, ziet het patroon van het verloop van de grondwaterstand eruit zoals hierna aangegeven.



Figuur 5.5 Resultaat ijkberekening huidige situatie volgens werkelijke schaal en maatvoering

De berekende jaargemiddelde grondwaterstand in de tuin is dan 0,90 m+NAP (ofwel rond MV à MV - 0,1 m) en onder de woning 0,75 à 0,65 m+NAP (circa P - 0,25 m).

- 5.2.3 Resultaat berekening jaargemiddelde grondwaterstand na aanleg zandsleuven
- De te beschouwen situatie gaat uit van het eerder beschreven model waarbij langs de woningen sleuven zijn aangebracht die alleen zijn gevuld met zand. Er is geen actieve afvoer van grondwater of beheersing van de grondwaterstand via drains. Afvoer van water treedt alleen (passief) op door transport via de zandcunetten onder de wegen. Doordat de afstroming vanonder de woning naar de straat iets minder weerstand ondervindt wordt de grondwaterstand iets verlaagd. Dit kan worden opgemerkt door vergelijking van figuur 5.5 met figuur 5.6.



Figuur 5.6 Resultaat berekening grondwatersituatie na aanleg zandbanen (gemiddelde verdeling van de potentiaal in m+NAP)

De gemiddelde grondwaterstand in de tuin wordt door aanbrengen van zandbanen gemiddeld circa 0,80 m+NAP en onder de woning 0,70 à 0,65 m+NAP.

Als gevolg van de aanleg van zandbanen daalt de grondwaterstand onder een woning gemiddeld circa 0,05 à 0,1 m.

#### 5.2.4 Resultaat berekening jaargemiddelde grondwaterstand na aanleg drains

Er is uitgegaan van het model zoals in voorgaande is beschreven alleen zijn hierbij drains in drainagesleuven gemodelleerd met een ontwatering op een niveau van MV - 0,80 m.

De gemiddelde grondwaterstand in de tuin wordt dan 0,2 à 0,3 m+NAP en onder een woning circa 0,2 m+NAP (overeenkomend met het drainageniveau). Als gevolg van de aanleg van drains in een grindkoffer daalt de grondwaterstand onder een woning gemiddeld circa 0,5 m.

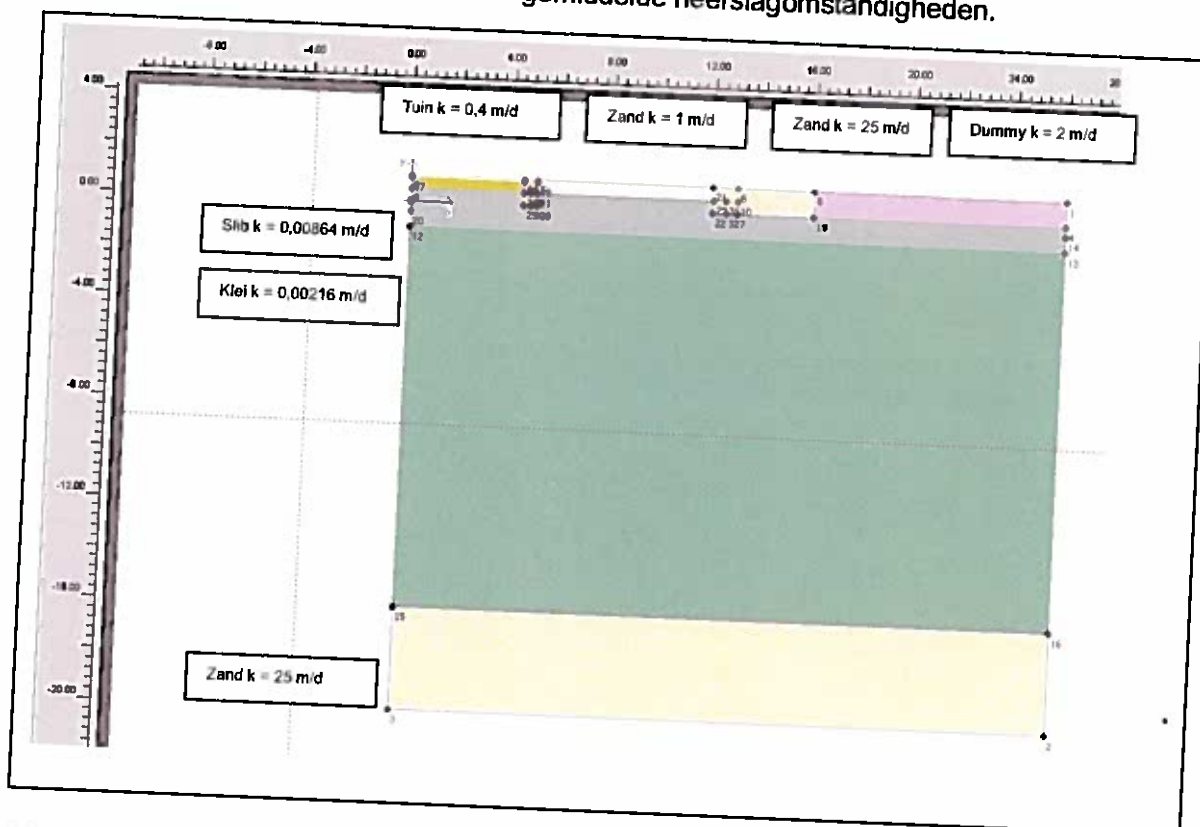




## 5.3 Tijdsafhankelijke berekening 2D-grondwaterstroming met PlaxFlow

### 5.3.1 Opbouw model

PlaxFlow is een eindige elementenprogramma voor grondwaterstroming in onverzadigde en verzadigde bodem. Voor de schematisatie in PlaxFlow is een zelfde globale bodemprofiel aangehouden als bij de berekening met MSeep. Er zijn nu echter twee gevallen onderzocht met dikten van de zandige funderingslaag van respectievelijk 0,5 en 0,1 m. In onderstaande figuur is een deel van het model getoond. Het model loopt verder door naar rechterzijde (tot  $x = 96$  m) waar dezelfde randvoorwaarden als eerder beschreven (NAP - 0,4 m in het open water) zijn opgelegd. Aan linkerzijde is een no-flow-boundary als symmetrieas opgelegd. Op diepte van pleistoceen zand is weer als eerder een vaste stijghoogte op NAP - 2 m aangehouden. Maaiveld is op NAP + 1 m aangenomen. Voor de tijdsafhankelijke modellering is uitgegaan van de situatie dat in de eerste stappen de gemiddelde uitgangssituatie wordt berekend waarna over een tijdsduur van een dag het effect van een piekbui wordt gesimuleerd en vervolgens na afloop van de bui gedurende een maand de uitzakking van de grondwaterstand wordt bepaald onder gemiddelde neerslagomstandigheden.



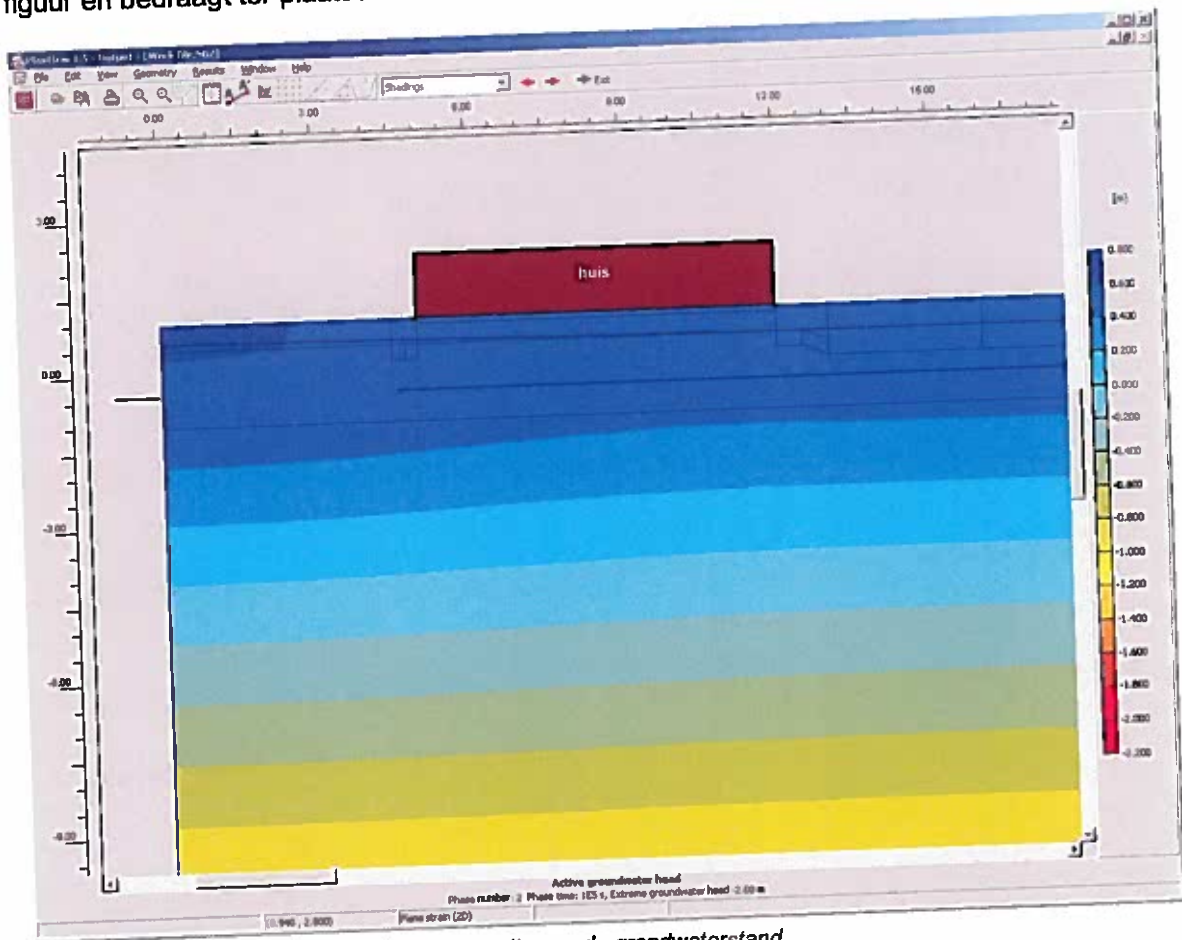
Figuur 5.8 Bodemmodel met doorlatendheidsparameters in PlaxFlow

Het model diende iets aangepast te worden ten opzichte van de MSeep modellering om stabiele numerieke berekening te verkrijgen. Een toplaag boven de klei in de tuinen is weggelaten en de doorlatendheid van de kleilaag is vergroot. Er is verder gekalibreerd om als uitgangspunt de gemiddelde grondwaterstanden in de Distelvoorstraat te verkrijgen (op circa NAP + 0,55 m). Daartoe zijn in het model de volgende doorlatendheden aangehouden:

- Holocene klei/veenlaag:  $k = 2,16 \cdot 10^{-3}$  m/d
- Oude havensliblaag:  $k = 8,64 \cdot 10^{-3}$  m/d

- Organische gerijpte kleiige toplaag:  $k = 0,4 \text{ m/d}$
- Fijn zand (onder woningen):  $k = 1 \text{ m/d}$
- Middelfijn tot matig grof zand (cunet):  $k = 10 \text{ m/d}$
- Filterzand (drainagesleuf):  $k = 25 \text{ m/d}$
- Gemiddelde van toplaag in de wijk  $k = 2 \text{ m/d}$

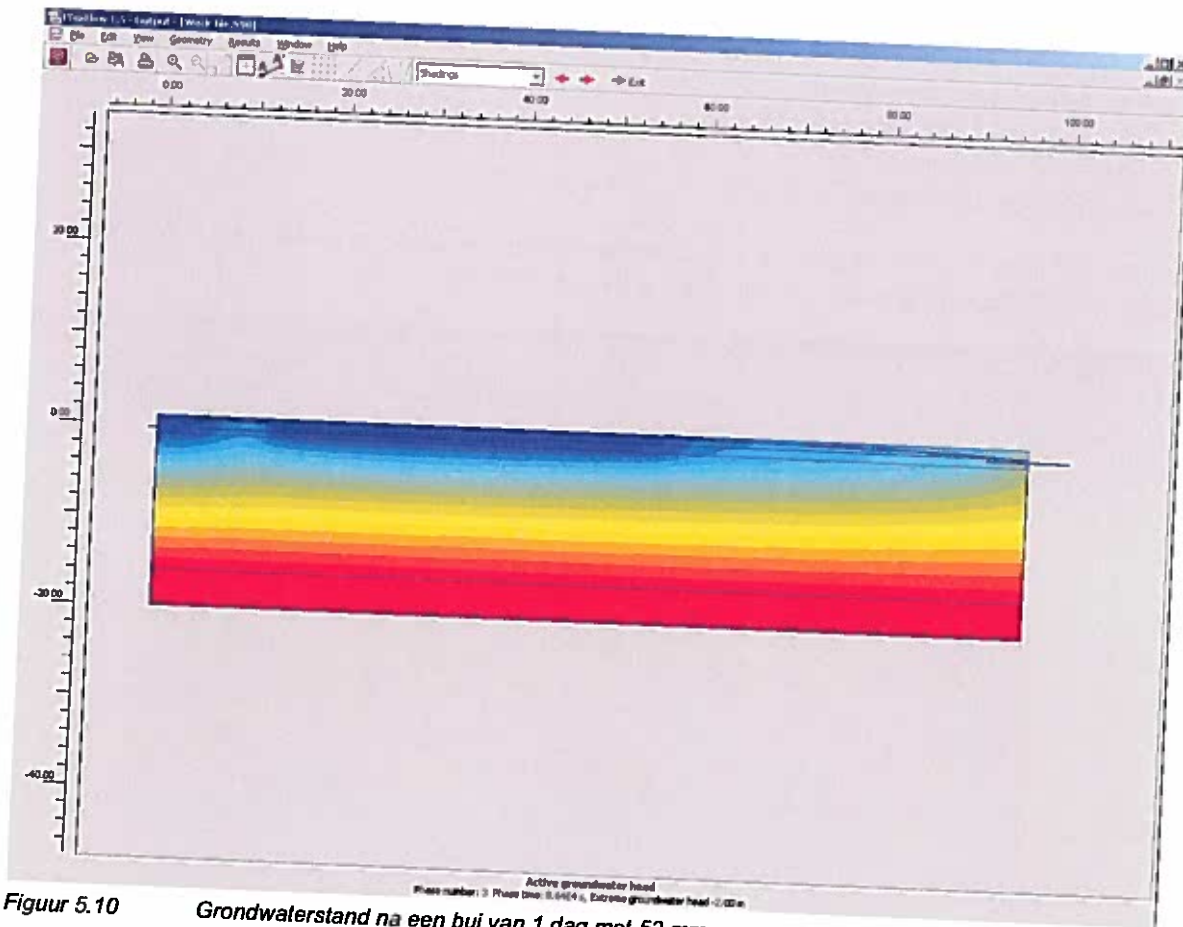
De met Plaxflow berekende gemiddelde grondwaterstand is weergegeven in de volgende figuur en bedraagt ter plaatse van de woning NAP + 0,55 m.



Figuur 5.9 Gekalibreerde uitgangssituatie van de grondwaterstand

5.3.2 Berekende variatie freatisch grondwater in huidige toestand bij voorkomende piekbuien  
 Zoals in de inleiding is gesteld is na een eerste set berekeningen het model aangepast voor de tweede en volgende versies van deze rapportage. De aanpassing betrof het geselecteerde grondmodel. In eerste instantie is het model geheel verzadigd gekozen maar dat bleek niet correct aangezien de freatische berging in PlaxFlow dan niet wordt aangesproken. De keuze was gemaakt omdat onverzadigd rekenen eerst niet stabiel leek te verlopen. In de latere versies is dat echter wel gelukt.

De uitkomst van de niet-stationaire berekening voor de huidige toestand laat zien dat na een piekbui met een frequentie van eens per 2 jaar en een hoeveelheid van 52 mm/dag in het gehele pilotgebied de grondwaterstand tot aan maaiveld stijgt. Dit is getoond in de volgende figuur.



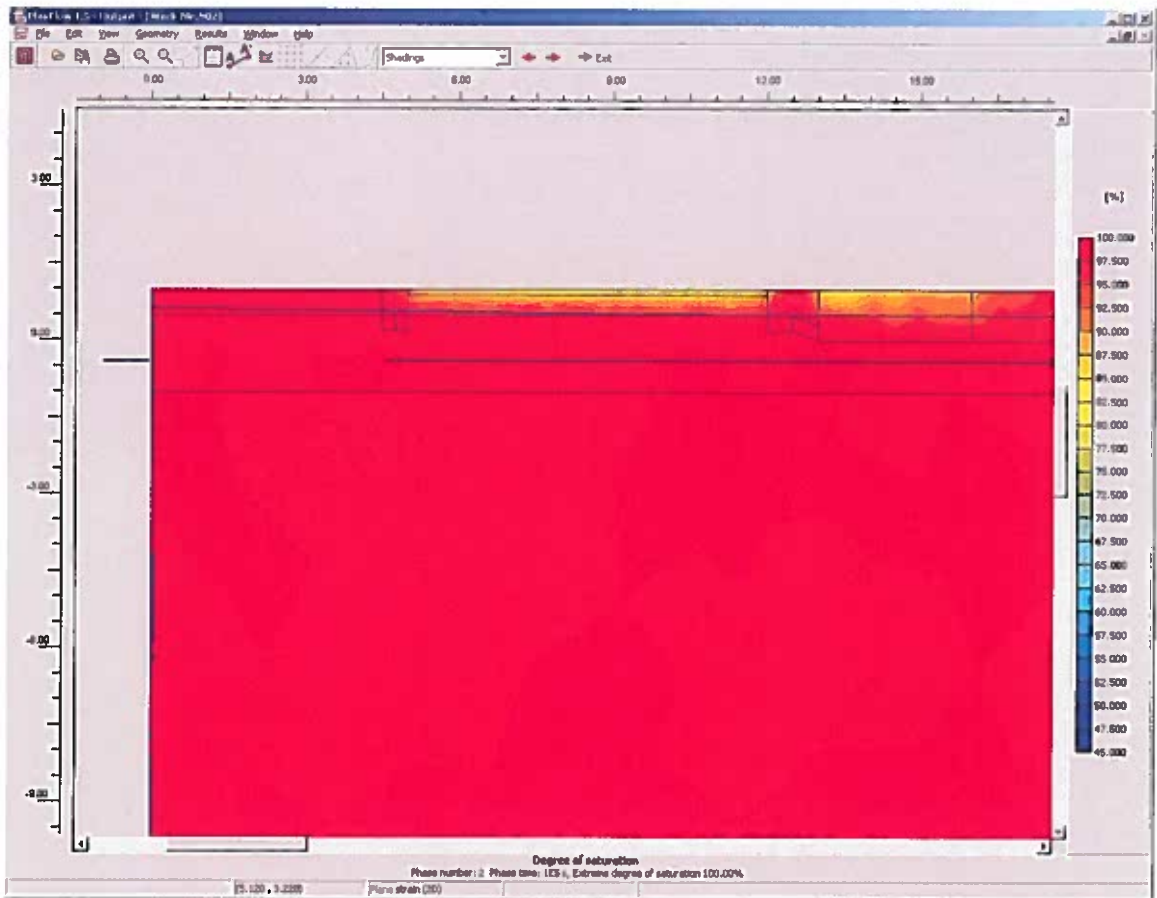
Figuur 5.10 Grondwaterstand na een bui van 1 dag met 52 mm

De vraag kan worden gesteld hoe het mogelijk is dat de grondwaterstand zo enorm stijgt na een bui.

De verklaring kan worden gevonden in het aanwezige vochtprofiel in de bodem. De vochtprofielen zijn gekozen op basis van theoretische profielen voor verschillende grondsoorten die standaard worden aangeboden in Plaxflow uitgaande van het model van Van Genuchten.

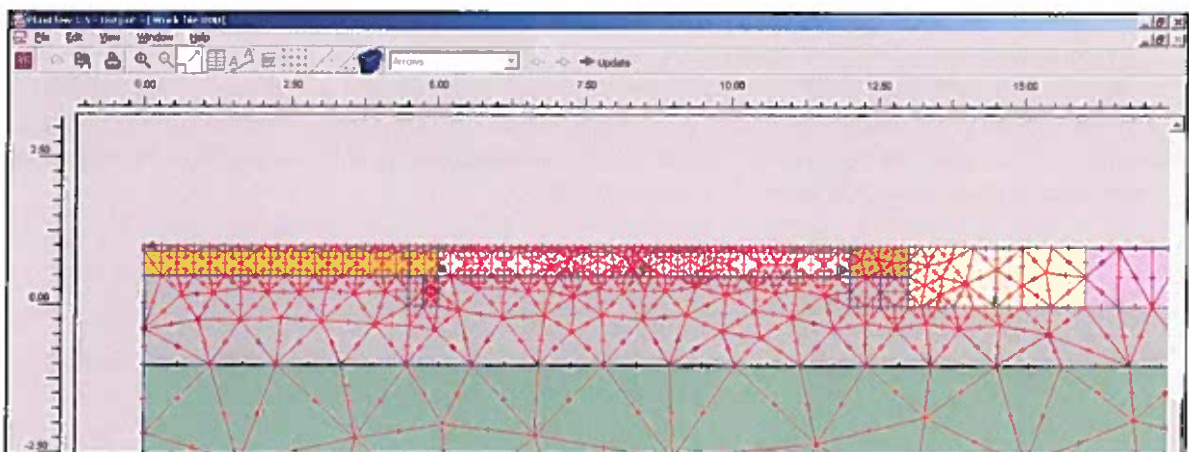
De gemiddelde vochttoestand in de bodem die volgt uit de stationaire kalibratieberekening is weergegeven in de volgende figuur. Daaruit blijkt dat de kleiige bodem voor meer dan 90% verzadigd is. Uit deze situatie volgt dat bij een dergelijke neerslag de bodem in de tuinen volledig verzadigd zal raken, aangezien de maximaal mogelijke aanvulling in de bodem is  $(100-90%)*0,5 \text{ m} = 50 \text{ mm}$ . Het is zelfs zo dat een deel van de neerslag niet zal kunnen infiltreren en op maaiveld plassen zal vormen. In het getoonde voorbeeld is een 0,5 m dikke fijnzandige laag onder de woning aangebracht. Daar is de verzadiging ook nog circa 80%. Mogelijk worden met de geschematiseerde situatie de werkelijke omstandigheden overdreven. In werkelijkheid is de kleibodem gerijpt en bevat scheuren die mogelijk meer water kunnen opnemen. Een flinke vernatting van het binnenterrein zal bij maatgevende buien echter beslist wel optreden.



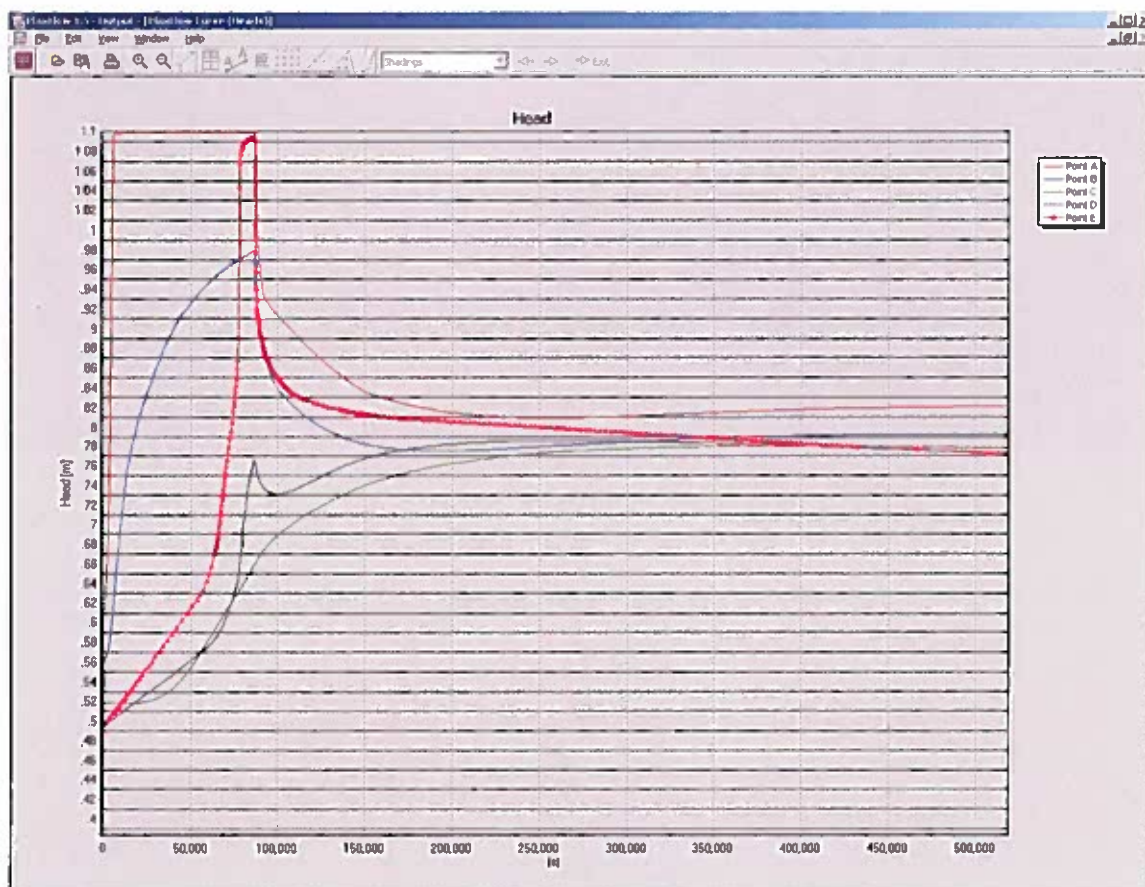


Figuur 5.11 Verzadiging van de bodem in jaargemiddelde hydrologische situatie. Dikke zandlaag onder huis.

Het verloop en de uitzakking van de grondwaterstand op enkele geselecteerde punten is uit de resultaten voor de verschillende berekeningsstappen getrokken. De ligging van geselecteerde controlepunten waar de grondwaterstand in de tijd is gecheckt, is aangegeven in onderstaande figuur. Er is 1 punt A (maximale grondwaterstand) in de tuin genomen, 3 onder de woning (B, C, D) en 1 in het wegcunet voor de woning (E).



Figuur 5.12 Locaties van controlepunten in PlaxFlow-model



Figuur 5.13 Verloop grondwaterstand in de tijd (seconden) in controlepunten bij een bui van 1 dag 52 mm in de huidige toestand. Lijn A = tuin, lijnen b-c-d = onder woning, lijn e = straatcunet.

Er kan worden opgemerkt dat de grondwaterstand bij een dergelijke extreme bui in de tuin zeer snel stijgt (tijdschaal op horizontale as: 1 dag = 86400 seconden). De grondwaterstand stijgt tot boven maaiveld omdat de ondergrond het wateraanbod niet kan verwerken en plasvorming optreedt (in deze berekening is het maaiveldniveau op 1 m + NAP aangehouden en is plasvorming in het model tot maximaal 0,1 m boven maaiveld gelimiteerd). De bodem in de tuin is snel verzadigd en blijft dit gedurende de gehele bui. De grondwaterstand aan de tuinzijde van de woning (blauwe lijn) loopt op tot circa NAP + 0,98 m (enkele centimeters onder maaiveld). Ook in het straatcunet loopt de grondwaterstand hoog op. Dit grondwater stroomt vervolgens naar de zandlaag onder de woning toe die niet direct door neerslag wordt gevoed. Zowel in de tuinen als onder de woning zal de grondwaterstand in de huidige situatie langdurig hoog zijn. De berekende situatie en de reactietijd klopt met de geconstateerde hoge waterstanden die in de praktijk worden gemeten (figuur 4.5).

### 5.3.3 Selectie PlaxFlow-berekeningen voor bestudeerde maatregelen

Op vergelijkbare wijze zijn de berekeningen uitgevoerd voor de onderscheiden schematisaties (dunne en gemiddelde dikte zandige laag), neerslag (5\* 1 dag met 33mm/d en 1\* 1 dag met 52 mm/d) en mogelijke maatregelen (zandbanen en drains). Het was niet noodzakelijk om alle combinaties van berekeningen door te rekenen. Uit de beschouwing van enkele combinaties van modelinvoer kon worden geconstateerd wat het effect van welke maatregel zou zijn. De bui van 5 dagen met in totaal 88 mm is niet maatgevend en daarom niet beschouwd.

De volgende combinaties zijn bestudeerd:

- Zandsbanen, Dikke zandlaag onder woning voor 52 mm/d. Als deze combinatie niet voldoet zijn andere berekeningen met dunne zandlaag of andere neerslagbelastingen niet meer nodig.
- Drainage met dunne zandlaag onder woning voor 33 mm/d
- Drainage met dunne zandlaag onder woning voor 52 mm/d
- Drainage met 0,5 m dikke zandlaag onder woning voor 33 mm/d
- Drainage met 0,5 m dikke zandlaag onder woning voor 52 mm/d

#### 5.3.4 Uitkomsten van PlaxFlow-berekeningen

De resultaten van de berekeningen zijn in bijlage I opgenomen in de vorm van de berekende verlopen van de grondwaterstand in de tijd (in seconden) na start van een bui.

De resultaten zijn hierna samengevat in een tabel.

De waterstand (in m t.o.v. vloerpeil P) is afgeleid op basis van een aanname van een vloerniveau van NAP + 1 m.

Maatregel	Dikte zandlaag onder woning [m]	Maatgevende bui [mm/d]	Hoogste grondwaterstand onder woning aan einde bui [m tov P]
Zandsleuven	0,5	52 mm/d	0,00 *)
Drainage	0,1	33 mm/d	-0,8
Drainage	0,1	52 mm/d	-0,75
Drainage	0,5	33 mm/d	-0,8
Drainage	0,5	52 mm/d	-0,8

Tabel 5.1 Resultaten van de Plaxflow berekeningen

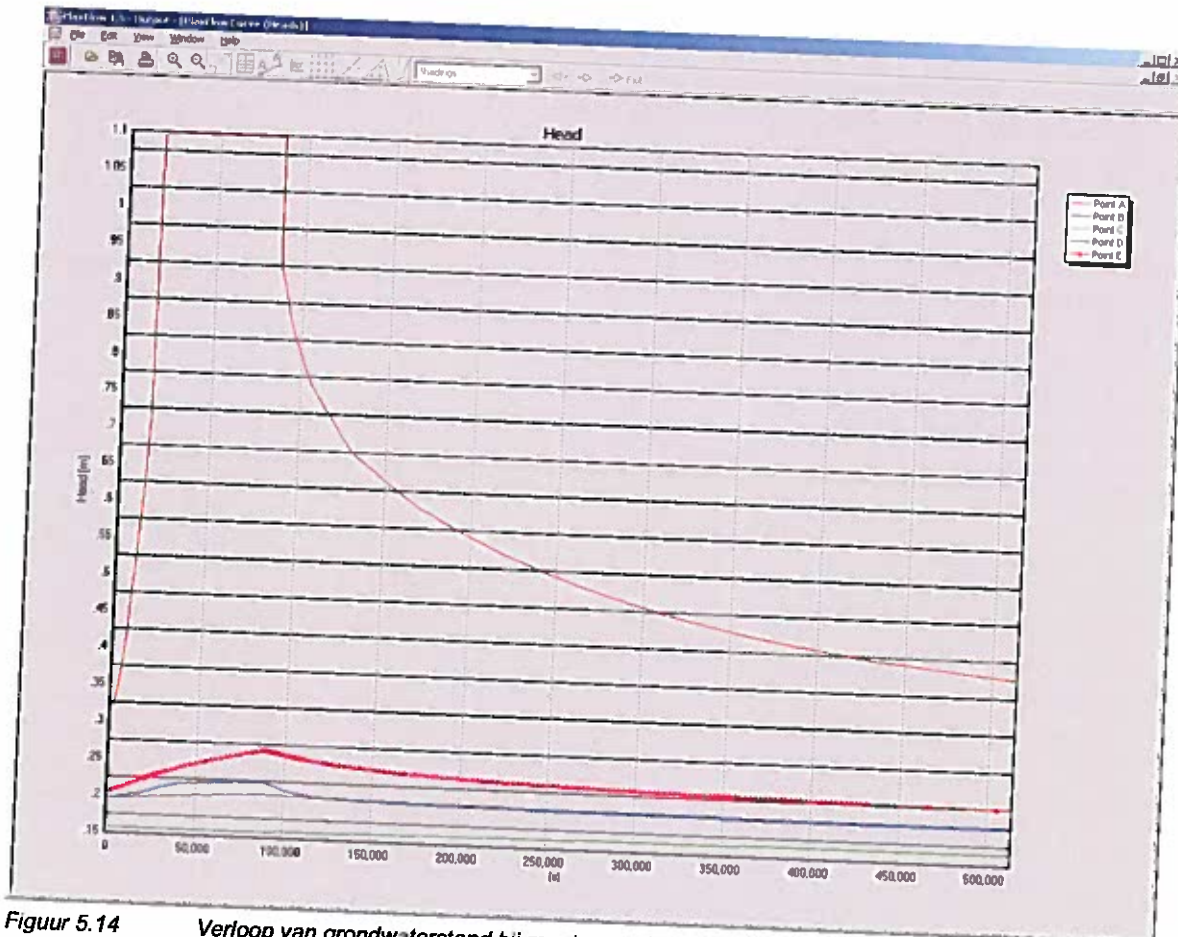
\*) Grondwaterstand 0,00 mP betekent dat grondwater de woning binnensijpelt.

Uit de berekening voor de gevallen met zandsleuven blijkt dat aan het einde van de bui de grondwaterstand nog boven peil (=bovenkant vloer) ligt. In het model is de vloer als sijpelrand gemodelleerd. Deze waterdruk neemt vervolgens langzaam af (zie bijlage I). In vergelijking met de huidige situatie treedt nauwelijks verbetering op. Door het aanleggen van zandsleuven ontstaat enige extra berging, maar deze is snel gevuld. Het water moet via de zandsleuven en het straatcunet afstromen naar het open water. Dit gaat traag vanwege de grote afstand tot het open water. Hierdoor is de oplossing met zandsleuven niet effectief om de wateroverlast te bestrijden.

Uit de berekeningen met drains volgt dat de dikte van de zandlaag onder de woningen niet bepalend is voor de hoogte van de grondwaterstand onder de vloer. De nieuw beheerste gemiddelde grondwaterstand onder de woningen wordt vooral door de drainhoogte bepaald en nauwelijks door de bodemsamenstelling. Uit het stromingsbeeld kan worden afgeleid dat nagenoeg al de aanvulling van het grondwater vanuit de neerslag wordt afgevangen door de drains en slechts in beperkte mate de ondergrond onder de woningen bereikt. Het tijdsafhankelijk verloop voor de grondwaterstanden op de geselecteerde punten is in onderstaande figuur te zien. Tijdens de bui blijft de grondwaterstand in de tuinen hoog (rode



lijn). Bij het optreden van neerslag stijgt de grondwaterstand onder de woning slechts in lichte mate (blauwe, groene en zwarte lijn). Ook de stijging van de grondwaterstand in het straatcunet neemt belangrijk af bij de aanwezigheid van drainage. Na afloop van de bui zakt de grondwaterstand snel.



Figuur 5.14 Verloop van grondwaterstand bij maatgevende bui 52 mm/d in situatie met dunne zandlaag en drainage. Lijn A = tuin, lijnen b-c-d = onder woning, lijn e = straatcunet.

Er wordt aan de eis voldaan die door het projectteam is geformuleerd.

Uit de berekeningen blijkt dat het zakken van de grondwaterstand in de binnenterreinen langer duurt dan onder de woningen. De grondwaterstand in de binnenterreinen blijft lang hoog terwijl onder de woningen de grondwaterstand door de drainage snel zakt. De drainage ontwaterd echter ook de binnenterreinen sneller dan in de uitgangstoestand zonder drains.

### 3.5 Evaluatie van de berekeningen voor de oplossingen

Uit de berekeningen volgt dat de aanleg van zandsleuven langs de huizen zonder drainage niet een passende oplossing voor het probleem van wateroverlast in het pilotgebied in Disteldorp kan bieden. Door aanleg van drainage kan de grondwaterstand onder maatgevende randvoorwaarden voor de neerslag wel voldoende worden verlaagd om de wateroverlast in het pilotgebied te bestrijden.

De gewenste drooglegging onder de vloer houdt in dat de grondwaterstand niet boven het niveau van 0,2 m onder de onderkant van de vloer mag stijgen. De vloerdikte is 0,2 m. Uit de berekeningen volgt dat na aanleg van drainage aan weerszijden van de woning een opbolling van de grondwaterstand van hooguit 0,05 m resteert bij maatgevende neerslag. Indien



bovenkant vloer als maaiveld wordt aangehouden, zouden de drains op een diepte van 0,45 m (0,55 m tot onderkant sleuf) voldoende diep liggen.

Bij de evaluatie van de drainageoplossing dient echter nog het aspect van verstopping van drainage te worden meegenomen. Dat aspect kan niet worden verdisconteerd in het PlaxFlow-model. Aanbevolen wordt om verstopping van drains aan te houden als een opslag op de berekende grondwaterstand. Het ontstaan van een intredeweerstand van de drains kan leiden tot een toename van de grondwaterstand met enkele decimeters. Er zijn verschillende mogelijkheden om aan afnemende werking door verstopping van de drainage tegemoet te komen: door regelmatig onderhoud van de drainage door middel van doorspuiten of door dieper aanleggen van de drainsleuven (0,8 m onder maaiveld is voldoende). Beide typen kunnen mogelijk in het pilotgebied worden beproefd.

Er wordt door ons op gewezen dat het dieper aanleggen van drains dan strikt nodig is, kan leiden tot het ontstaan van een te grote verlaging van de grondwaterstand en het optreden van zettingen van de aanwezige sliblaag. Zeker als zettingen door een heterogene bodemsamenstelling onregelmatig zijn, kan er schade door verschilvorming gaan ontstaan. Een te grote verlaging van de grondwaterstand kan worden voorkomen door het aanleggen van een drainagesysteem met regelbaar drainageniveau (waarbij opzetstukken op de uitmondingen van drainageleidingen in de verzamelputten worden aangebracht). Monitoring van grondwaterstanden en onderhoud van het systeem gedurende de beheerfase zijn ook bij een dergelijke uitwerking van het ontwerp noodzakelijk.

#### **5.4 Toetsing van drainageontwerp**

Uit de berekeningen volgt dat de aanleg van de drainage volgens het ontwerp van Fugro tot voldoende beheersing van de grondwaterstand leidt in vergelijking met de vooraf gestelde buifrequentie en maximale normoverschrijding.

De drainage leidt na de maximale bui van 52 mm/dag tot een afvoer van maximaal 0,27 m<sup>3</sup>/d/m<sup>1</sup> drain (11,3 liter/uur/m<sup>1</sup>). Aangezien het gehele plan uit circa 250 m drain bestaat is de totale maximale afvoer 2,8 m<sup>3</sup>/uur. Dit is meer dan in het pilotgebied aan neerslag valt omdat ook water uit de omgeving wordt aangetrokken. Het benodigde verhang in een afvoerbuis met een diameter van 100 mm om dit debiet af te kunnen voeren is verwaarloosbaar klein.

De conclusie is dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Disteldorp heeft waarschijnlijk altijd te kampen gehad met een problematische, te kleine ontwateringsdiepte ten aanzien van het grondwater in het gebied. De historische toestand waarbij sprake is van een slecht bouwrijp gemaakt gebied, terwijl de ondergrond bestaat uit een slibhoudende ophoging boven een kleiige ondergrond, is daar vooral debet aan. Peilbuismetingen in deze regio wijzen uit dat plaatselijk in Disteldorp de doorlatendheid van de bodem waarschijnlijk slechter is dan in de omgeving. Gezien optredende sprongen in tijdreeksen van de grondwaterstand is daar later nog een verdere verslechtering in opgetreden, bijvoorbeeld door wijzigingen in het rioolstelsel.

Aanleg van drainage is hier een passende maatregel om de grondwateroverlast te bestrijden. De maatregel dient te bestaan uit de aanleg van drainage in een grindkoffer. Het alternatief waarbij het water het water via zandsleuven en het straatcunet naar het open water wordt afgevoerd is niet afdoende om de wateroverlast te bestrijden.

De drainage dient zowel in de tuinen als aan de voorzijde van de woningen te worden aangelegd. Bij optredende zware buien stijgt de waterstand vooral in de tuinen en achterterreinen excessief. Afstroming naar de diepte verloopt traag en de weerstand van de grondlagen tussen tuin en wegcunet is groot.

Het voorgestelde drainageplan van Fugro is voldoende gedimensioneerd om de waterstand in het pilotgebied te beheersen en het gedraineerde grondwater af te voeren naar open water. De gemiddelde freatische grondwaterstand wordt door de drainage verlaagd tot ongeveer het aanlegniveau van de drainage. Als de drainagesleuven tot op 0,55 m diepte onder maaiveld wordt aangelegd, wordt de grondwaterstand voldoende verlaagd, ook in de situatie dat er zich slechts een dunne zandlaag onder de woningen bevindt. Door de drainage stijgt de grondwaterstand na een maatgevende bui bij de heersende bodemopbouw circa 0,1 m. In de tuinen stijgt de grondwaterstand nog wel aanzienlijk en blijft lange tijd hoog. Als normstelling is door het projectteam gesteld: een maximale grondwaterstand van 0,2 m beneden vloerniveau die met een overschrijdingsduur van 5 dagen per 2 jaar wordt overschreden. Door drainverstopping kan in de loop van jaren een weerstand tegen instroming van de drain worden opgebouwd die leidt tot een enkele decimeters hogere grondwaterstand. Er zijn voldoende mogelijkheden voor aanleg van drainage (regelmatig onderhoud, diepere aanleg met regelbaar draineerniveau) om ook bij optredende drainverstopping aan de gestelde norm voldoen.

In verband met de predictie van de werking van het drainageplan in Modelling van de drainagemaatregel in het pilotgebied kon niet met de in offerte voorziene tijdsafhankelijke 3D-modellering met ModFlow worden uitgevoerd. De mogelijkheden van het programma zijn niet voldoende om de gewenste nauwkeurigheid te bereiken. De lokale situatie (ondiepe, sterk variërende freatische grondwaterstand, dunne bodemlagen, onverzadigde zone als belangrijke factor) leent zich niet voor een dergelijke modellering. Om de gewenste tijdsafhankelijke predictie uit te voeren is de modellering uitgevoerd met het bij Deltares beschikbare 2D-PlaxFlow-programma voor niet-stationaire grondwaterstroming in onverzadigde/verzadigde bodemcondities. Wij hebben beoordeeld dat de verandering van een 3D naar 2D-modellering in het onderhavige geval verantwoord is. Een maatgevende

situatie ter plaatse van het centrum van het pilotgebied op de maximale afstand tot open water is in de berekeningen beschouwd.

## 6.2 Aanbevelingen

Aangezien de grondwaterstand onder de woningen circa 0,5 m kan dalen en de bodem uit samendrukbare lagen bestaat, is er risico op het optreden van zettingen die tot ongewenste schade kunnen leiden. Beter inzicht in dit risico kan worden verkregen door het uitvoeren van berekeningen.

Het risico op ontoelaatbare zettingen is te beheersen door een regelbaar drainageniveau in de verzamelputten te realiseren door middel van opzetstukken op de drainuitloop en het niveau bij aanvang van de pilot bijvoorbeeld 0,2 m hoger in te stellen. Hierdoor wordt de daling van de grondwaterstand bij aanvang van de pilot beperkt. Daarnaast is het risico op ontoelaatbare zettingen te beheersen door de zetting nauwkeurig en regelmatig te meten. Hiermee wordt snel inzicht gekregen in de mogelijkheid van het optreden van ongewenste zettingen. Er kan dan worden ingegrepen door het drainageniveau te wijzigen.

Wij bevelen aan om voorafgaande aan de uitvoering van de drainagepilot in het gebied controlemeetpunten aan te brengen om tijdens de pilot de grondwaterstanden op diverse plaatsen in binnenterreinen, naast woningen en in het straatcunet en de hoogten van enkele panden te monitoren. Bovendien is het aan te bevelen om de afvoer vanuit de drainage te registreren. In de uitwerking van de plannen zal met regelmatig onderhoud van de drainage rekening moeten worden gehouden.

Verder kan in het definitief ontwerp nog eventueel de locatie van de drainage in de binnenterreinen/tuinen worden geoptimaliseerd. Het aanleggen van drains pal achter de woningen kan lastig zijn vanwege voorkomende uitbouwen. Wellicht is er een mogelijkheid om het maaiveld van de binnenterreinen af te laten lopen vanaf de woningen naar drains meer centraal in het binnenterrein.