

GEOHYDROLOGISCH EN GEOTECHNISCH ONDERZOEK
Betreffende

**NIEUWBOUWLOCATIE
HAMERDEN
TE WESTERVOORT**

Opdrachtnummer: 82020009

**Opdrachtgever: Maatschap Westervoort
Hoofdstraat 48a
7311 KD APELDOORN**

**GEOHYDROLOGISCH EN GEOTECHNISCH ONDERZOEK
NIEUWBOUWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT**

82020009

Geohydrologisch en geotechnisch
onderzoek betreffende

**NIEUWBOUWLOCATIE
HAMERDEN
TE WESTERVOORT**

Opdrachtnummer: 82020009

Opdrachtgever : Maatschap Westervoort
Hoofdstraat 48a
7311 KD Apeldoorn

Datum grondonderzoek: juni 2003

Projectleider : R.G. Botterweg
Fugro Ingenieursbureau BV
Werkvoorbereiding en Directievoering

Geohydrologie : ing. G.J.P. Boers
Stedelijke Hydrologie en Waterbeheer

Geotechniek : Ing. W.M. Yu
FIBV Regio Oost, Arnhem

Gecontroleerd door : ing. F.M.R. Schrauwen
Hoofd Stedelijke Hydrologie en Waterbeheer

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	24 juli 2003	82020009.R01	
2			
3			

82020009.R01

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	1
2.	PROJECTOMSCHRIJVING	2
3.	BODEMONDERZOEK	3
3.1	Sondeeronderzoek	3
3.2	Booronderzoek	3
3.3	Terreinmeting	4
4.	BODEM- EN GEOHYDROLOGISCHE GESTELDHEID	5
4.1	Bodemgesteldheid	5
4.2	Geohydrologische gesteldheid	6
4.3	Open waterpeilen, stijghoogten en grondwaterstanden	6
4.3.1	Open waterpeilen	6
4.3.2	Hydromorfe kenmerken	7
4.3.3	Grondwaterstanden en peilbuisgegevens	8
4.3.4	Langjarige grondwaterstand-/ stijghoogtegegevens	9
4.3.5	Relatie grondwaterstand en open water huidige situatie	10
5.	GEOTECHNISCHE ANALYSE	12
5.1	Algemeen	12
5.2	Opdrijven van de riolering en opbasten van de kleilaag	12
5.3	Draagvermogen (grenstoestand 1A)	18
5.4	Zetting (grenstoestand 2)	18
6.	MOGELIJKHEDEN AANLEG OPEN WATER	19
6.1	Samenvatting van de geohydrologische uitgangspunten	19
6.2	Ontwateringscriteria	20
6.3	Ontwerp maaiveldniveaus	20
6.4	Mogelijkheden voor realisatie van permanent open water	21
6.4.1	Waterpeilen en aanlegniveaus	21
6.4.2	Opbarsten	21
6.4.3	Afdichting	22
6.4.4	Inpassing van de watergangen	23
6.5	Mogelijkheden 'afkoppelen' van verharde terreinoppervlakken	24
6.5.1	Bergen in open water	24
6.5.2	Bodemtechnische mogelijkheden	25
6.6	Waterhuishouding toekomstige situatie	26
7.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27

BIJLAGEN

Onderzoek

- Situatietekening met locaties grondonderzoek 82020009-1
- Locatieoverzicht peilbuizen NITG-TNO 82020009-1A
- “Legenda Terreinproeven en Grondsoorten”
- Sondeergrafieken 82020009-DKM1 t/m -DKM8
- “Continu Elektrisch Sonderen”
- Boorstaten handboringen 82020009-HB45 t/m -HB55

Bodem

- Geïnterpoleerde maaiveldhoogten 82020009-2
- Geïnterpoleerd overzicht onderzijde klei(dek)laag 82020009-3

Grondwater

- Specifieke informatie peilbuizen (en boringen) Fugro 82020009-4
- Overzicht grondwaterstanden 82020009-5
- Open waterpeilen 82020009-6
- Overzicht open waterpeilen 82020009-7
- Geïnterpoleerde grondwaterstanden ondiepe peilbuizen 82020009-8
- Tijd-stijghoogtegegevens peilbuizen NITG-TNO 82020009-9A en -9D
- Richtlijnen inrichting nieuw stedelijk gebied 82020009-10

Uitvoering

- “Richtlijnen grondverbetering”
-

1. INLEIDING

Op 27 mei 2002 werd door Fugro van de maatschap Westervoort te Apeldoorn de opdracht ontvangen om een gecombineerd geotechnisch- en geohydrologisch bodemonderzoek uit te voeren en adviezen uit te brengen ten behoeve van de nieuwbouwlocatie Hamerden te Westervoort.

Het verkennend milieuonderzoek wordt separaat onder het nummer 82020009 uitgebracht.

De doelstellingen van het geotechnisch en geohydrologisch onderzoek zijn:

- Bepalen van de aanwezigheid, de samenstelling en de dikte van de deklaag;
- Verkrijgen van inzicht in de (geo)hydrologische situatie op en in de directe omgeving van de projectlocatie;
- Verkrijgen van inzicht in de draagkracht van de ondergrond voor het aanleggen van wegen, het uitvoeren van grondverbeteringen en de aanleg van funderingen voor gebouwen;
- Aangeven van de mogelijkheden van aanleggen van open water op de projectlocatie;
- Aangeven van de relatie van de waterhuishouding van het plangebied en de directe omgeving tot de rioleringsstructuur.

De rapportage vormt tevens een basis voor het ontwerpen van het stedelijke inrichtingsplan.

In hoofdstuk 2 wordt een algemene projectomschrijving gegeven. De resultaten van het voor dit project uitgevoerde bodemonderzoek worden in hoofdstuk 3 toegelicht. De bodem- en hydrologische gesteldheid wordt op basis van dit onderzoek in hoofdstuk 4 geïnterpreteerd. In hoofdstuk 5 wordt de geotechnische analyse voor de aanleg van de riolering uitgewerkt en in hoofdstuk 6 worden ontwerpvoorstellen gegeven voor de aanleg van open water op de locatie. Hoofdstuk 7 volgen de conclusies en aanbevelingen.

2. PROJECTOMSCHRIJVING

Het project is gesitueerd ten noordoosten van de spoorlijn te Westervoort en wordt begrensd door de Hamersestraat, de St. Dominicuslaan, de Noordelijke Parallelweg en de Liemersallee. Het terrein beslaat een oppervlakte van ca. 10 hectare. Een overzicht van de projectlocatie is weergegeven op bijlage 82020009-1 en op bijlage 82020009-1A is de locatie op een topografische ondergrond gepresenteerd. Binnen het Rijksdriehoeknet heeft de locatie globaal de coördinaten $X = 195.525$ en $Y = 441.600$.

De aanwezige bebouwing aan de westzijde behoort niet tot het onderzoeksgebied. De twee bebouwde percelen aan de zuidzijde van het gebied behoren wel tot de onderzoekslocatie. Het terrein bestaat overwegend uit grasland en bouwland.

Door de opdrachtgever is de volgende informatie ter beschikking gesteld:

- Inrichtingsschets projectlocatie, schaal 1 : 1000, datum onbekend, SAB Arnhem;
- Plan Hamerden, schaal 1 : 2000, d.d. oktober 1999 SAB Arnhem.

Op basis van deze schetsen wordt het plan in aanvang van het onderzoek als volgt beschreven:

- Aan de Hamersestraat, de St. Dominicuslaan en de Noordelijke Parallelweg is een aantal groepen kavels gepland waar tussen een aantal watergangen zal worden aangelegd;
- In het midden van de projectlocatie tot aan de Liemersallee is ruimte gereserveerd voor een waterpartij, waarin een aantal woningen is gepland;
- De huidige watergangen aan de St. Dominicuslaan en de Noordelijke Parallelweg blijven in de ingerichte situatie gehandhaafd;
- De sloten binnen het projectgebied komen grotendeels te vervallen.

Bij Waterschap Rijn en IJssel is informatie ingewonnen over waterpeilen van open water op en rond de projectlocatie. Rijkswaterstaat Oost Nederland heeft informatie geleverd met betrekking tot de waterstandsduurlijnen van de IJssel (zie verder par. 4.3.1).

3. BODEMONDERZOEK

Voor de advisering met betrekking tot de verdere inrichting van het terrein is in juni 2003 een gecombineerd geotechnisch en geohydrologisch bodemonderzoek uitgevoerd. De resultaten van de geotechnische en geohydrologische onderzoek worden in deze rapportage beschreven.

3.1 Sondeeronderzoek

Het sondeeronderzoek ten behoeve van de diepere bodemopbouw is uitgevoerd op 12 juni 2003. Voorafgaand aan de sondeerwerkzaamheden zijn de sondeerlocaties uitgezet en ingemeten ten opzichte van NAP. Een overzicht van de onderzoekslocaties is weergegeven op bijlage 82020009-1.

Er zijn 8 diepsonderingen uitgevoerd, allen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM). De resultaten van de sonderingen zijn weergegeven op de bijlagen 82020009-DKM1 t/m -DKM8, waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van NAP. Op de grafieken is tevens het wrijvingsgetal, de verhouding tussen plaatselijke kleef en conusweerstand, weergegeven. Empirisch is vastgesteld dat het wrijvingsgetal een nauwe relatie met de grondsoort vertoont. Het verticaal sonderen is gecontroleerd door middel van een in de conus ingebouwde hellingmeter. Eventuele afwijkingen zijn vermeld op de sondeergrafieken. De sonderingen zijn met elektrische conussen uitgevoerd conform NEN 5140. Nadere informatie omtrent het toegepaste sondeersysteem is gegeven op de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

3.2 Booronderzoek

Voor het geohydrologisch onderzoek zijn door Fugro d.d. 16 en 20 juni 2003 5 handboringen uitgevoerd tot een diepte van ca. MV -3 m en 6 handboringen tot een diepte van ca. MV -6 m. In de boorgaten zijn ondiepe peilbuizen afgesteld ter bepaling van de actuele grondwaterstand. In de diepe boorgaten zijn tevens diepe peilbuizen afgesteld. De resultaten van deze boringen zijn weergegeven in bijlage 82020009-HB45 t/m -HB55, waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van MV. Op deze bijlagen is tevens de afstelling van de peilfilters aangegeven. Voor een verklaring van de op de situatietekening en boorstaten gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten". In bijlage 82020009-4 is een overzicht gegeven van de peilbuisgegevens van de peilbuizen ten opzichte van NAP.

Na afloop van het booronderzoek zijn op 23 juni 2003 en op 14 juli 2003 de grondwaterstanden in de peilbuizen gemeten. Een overzicht van deze grondwaterstanden is weergegeven op bijlage 82020009-5. In paragraaf 4.3 zal nader worden ingegaan op het open waterpeilen en de grondwaterstandsgegevens.

3.3 Terreinmeting

Door Fugro zijn binnen het projectgebied op 30 locaties dwarsprofielen over de watergangen opgenomen ten behoeve van aanvullend inzicht in de staat van de reeds aanwezige sloten (dikte sliblaag e.d.). Hierbij zijn tevens de slootbodems en waterpeilen ingemeten ten opzichte van NAP. Een overzicht van de onderzoekslocaties en gegevens van de sloten zijn weergegeven op respectievelijk bijlage 82020009-1 en 82020009-6.

Ten tijde van de uitvoering van de verschillende onderzoeken zijn de volgende maaiveldniveaus op de onderzoekslocaties ingemeten ten opzichte van NAP:

- Het maaiveldniveau van de sonderingen die door Fugro op 12 juni 2003 zijn uitgevoerd varieerde van ca. NAP +9,93 m (DKM1) tot +9,39 m (DKM8).
- Ter plaatse van de boringen varieerde het maaiveldniveau op 16 en 20 juni 2003 van ca. NAP +9,98 (HB51) tot +9,38 m (HB48).
- Bij de hoogtemetingen op de projectlocatie in een raster van ca. 50 x 50 m varieerde het maaiveldniveau op de projectlocatie van ca. NAP +10,3 tot +9,0 m.

Alle onderzoekspunten, open waterpeilen, dwarsprofielen en slootbodems zijn ingemeten ten opzichte van NAP.

De hoogte van de straten rondom de projectlocatie zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 1: MV hoogte wegen rondom de projectlocatie

Locatie	Gemiddelde hoogte in m t.o.v. NAP
Hamersestraat	Van 10,8 tot 10,5
Liemersallee	Van 10,6 tot 10,4
Noordelijke Parallelweg	Van 10,1 tot 9,9
St. Dominicuslaan	Van 10,3 tot 10,1

4. BODEM- EN GEOHYDROLOGISCHE GESTELDHEID

Op basis van het geotechnisch en geohydrologisch onderzoek, de beschikbare bodemgegevens uit het milieukundige onderzoek, aangevuld met gegevens uit de literatuur, worden in dit hoofdstuk de bodem- en de (geo)hydrologische gesteldheid beschreven.

4.1 Bodemgesteldheid

Tijdens het bodemonderzoek varieerde het maaiveldniveau ter plaatse van de onderzoekslocaties van ca. NAP +10,3 m nabij DKM1 tot ca. NAP +9,0 m nabij profiel 15. Uitgaande van het bodemonderzoek is de bodemgesteldheid geschematiseerd zoals weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Bodembeschrijving

Diepte in m t.o.v. NAP (ca.)	Bodembeschrijving	Geohydrologische typering
+10,3 à +9,0	Maaiveld	
+10,3 à +9,0 tot +8,2 à +7,2	KLEI, sterk siltig, zwak tot matig roesthoudend	Deklaag
+8,2 à +7,2 tot +7,1 à +5,6	ZAND, los tot matig vast gepakt, matig fijn tot matig grof, zwak siltig, lokaal zwak humeus	
+7,1 à +5,6 tot +6,6 à +5,0	KLEI ¹⁾ , sterk siltig, zwak tot sterk humeus, plaatselijk doorsneden door dunne veenlaagjes	
+6,6 à +5,0 tot -6,0 ²⁾	ZAND, vast tot zeer vast gepakt, matig tot zeer grof, zwak siltig, zwak tot sterk grindig	1 ^e Watervoerend pakket (Formatie van Kreftenheije)
-6,0	Maximaal verkende diepte geotechnisch onderzoek	
1) Lokaal los tot matig vast gepakt zand aangetroffen;		
2) Booronderzoek uitgevoerd tot NAP +3,5 m		

In bijlagen 82020009-2 en -3 zijn respectievelijk de volgende gegevens weergegeven:

- Kaart met geïnterpoleerde maaiveldhoogten;
- Kaart met geïnterpoleerde diepten van de onderzijde van de klei(dek)laag.

4.2 Geohydrologische gesteldheid

Met behulp van de grondwaterkaart van Nederland kaartblad 40 West en de resultaten van het bodemonderzoek is de ondergrond geohydrologisch geschematiseerd.

De deklaag in het projectgebied bestaat vanaf maaiveld uit kleilagen met een daartussen liggende zandlaag. De dikte van de klei(dek)laag varieert tussen ca. 2,5 en ca. 1,5 m tot een niveau van ca. NAP +8,2 m à +7,2 m (zie bijlage 82020009-3). In het noordoosten van de projectlocatie zijn er onvoldoende gegevens met betrekking tot de tweede kleilaag beschikbaar. De dikte van deze kleilaag varieert naar verwachting tussen ca. 1,1 en ca. 0,3 m. De tussenliggende zandlaag varieert in dikte tussen ca. 2,0 m en ca. 0,6 m.

Onder de deklaag bevindt zich vanaf ca. NAP +6,6 à +5,0 m het eerste watervoerend pakket, bestaande uit goed doorlatende zandige afzettingen met een dikte van ca. 30 meter. Het doorlaatvermogen van dit pakket is geraamd op ca. 1.200 m²/dag.

Onder het eerste watervoerend pakket bevindt zich vanaf ca. NAP -24,0 m een scheidende laag van ca. 7,0 meter dik en heeft een weerstand tegen verticale waterbewegingen. In dit rapport wordt deze laag beschouwd als geohydrologische basis.

Op ca. 3.500 m ten noordwesten van de projectlocatie bevindt zich de grens van de gestuwde gebieden, waarbij het maaiveldniveau afloopt richting de projectlocatie.

4.3 Open waterpeilen, stijghoogten en grondwaterstanden

4.3.1 Open waterpeilen

Uit de gegevens van het Waterschap Rijn en IJssel blijkt dat het stuwpeil voor alle stuwen in Westervoort ca. NAP +8,7 m bedraagt. In de zomer (droge periode) staat het waterpeil in diverse watergangen laag of treedt er zelfs droogstand op. Ten tijde van hoogwater in de IJssel is er volgens het Waterschap sprake van een kwelsituatie.

Rondom en op de projectlocatie bevinden zich diverse watergangen. Het waterpeil van deze watergangen is tijdens het grondonderzoek gemeten en varieerde van ca. NAP +8,9 m tot ca. NAP +8,5 m. De watergangen aan de St. Dominicuslaan en aan de Liemersallee stonden ten tijde van het onderzoek droog (hoge ligging slootbodemp, zie bijlage 82020009-6 en -7).

Diverse wijken in Westervoort hebben een overstort op de watergang aan de Noordelijke Parallelweg ten zuidoosten van de projectlocatie, waarbij de afvoer richting het zuidoosten plaatsvindt. Het bodemniveau in deze watergang bedraagt ca. NAP +7,8 m (gegevens Waterschap Rijn en IJssel).

Op ca. 400 m ten noordoosten van de projectlocatie bevindt zich een nat gebied. Hier wordt het waterpeil niet op een bepaald niveau beheerst. Het maaiveldniveau ligt hier lager dan in de omgeving.

Op ca. 1.500 m ten westen en ten noorden van de projectlocatie bevindt zich de IJssel. Ten tijde van het grondonderzoek werd volgens Rijkswaterstaat Oost Nederland het streefpeil in de IJssel ter hoogte van de IJsselkop op ca. NAP +8,3 m gehouden. Aan de hand van de waterstandsduurlijn is in tabel 3 de gemiddelde onderschrijding in de periode 1901-2000 bij enkele waterstanden ter plaatse van de IJsselkop en nabij het viaduct van de A12 weergegeven.

Tabel 3: Waterstandsduurlijn van de IJssel

Afvoer Bovenrijn [m ³ /dag]	Waterstanden in de IJssel [m t.o.v. NAP]		Gemiddelde onderschrijding periode 1901 - 2000
	bij IJsselkop	bij brug A12	
1.301	7,75	7,26	61,17
2.380	8,73	8,27	247,83
3.160	9,64	9,19	312,91

Het Waterschap heeft aangegeven dat er geen inlaten ter plaatse van de IJssel zijn ten behoeve van een continue watertoevoer in de watergangen. Er zijn evenmin restricties met betrekking tot een minimale waterhoogte in de watergangen.

4.3.2 Hydromorfe kenmerken

Tijdens het booronderzoek is gelet op hydromorfe kenmerken. Aan de hand van deze kenmerken (roest, grijskleuring) is nagegaan tot welk niveau de grondwaterstand (regelmatig) is gestegen. Bij de boringen 82020009-HB45 t/m -HB55 zijn deze hydromorfe kenmerken duidelijk te onderscheiden.

Tabel 4: Hydromorfe kenmerken

Locatie	Omschrijving hydromorfe kenmerken	Niveau m t.o.v. MV	Niveau m t.o.v. NAP	Onderliggende bodemlaag
HB45	Zwak roesthoudend	-0,5	+9,2	KLEI, sterk siltig
HB46	Zwak roesthoudend	-0,5	+9,1	KLEI, sterk siltig
HB47	Zwak roesthoudend	-0,4	+9,1	KLEI, sterk siltig
HB48	Zwak roesthoudend	-0,0	+9,4	KLEI, sterk siltig, matig roesthoudend
HB49	Zwak roesthoudend	-0,0	+9,4	KLEI, sterk siltig, matig roesthoudend
HB50	Zwak roesthoudend	-0,5	+9,0	KLEI, sterk siltig, zwak humeus
HB51	Matig roesthoudend	-0,5	+9,4	KLEI, sterk siltig, matig roesthoudend
HB52	Zwak roesthoudend	-0,5	+8,5	KLEI, sterk siltig, zwak roesthoudend
HB53	Matig roesthoudend	-1,0	+8,6	KLEI, sterk siltig, zwak roesthoudend
HB54	Zwak roesthoudend	-0,0	+9,6	KLEI, sterk siltig, zwak roesthoudend
HB55	Zwak roesthoudend	-0,0	+9,6	ZAND, matig fijn, zwak siltig

Uit de hydromorfe kenmerken blijkt dat, vanwege het voorkomen van ondiepe sterk siltige kleilagen, lokaal (tijdelijke) schijngrondwaterspiegels kunnen ontstaan. Op basis van roest en de scheiding bruin/grijze kleur wordt aangenomen dat de grondwaterstand tenminste tot ca. MV -0,5 m kan stijgen.

4.3.3 Grondwaterstanden en peilbuisgegevens

Voor het onderzoek zijn een 11-tal ondiepe peilbuizen geplaatst in de bovenste zandlaag. Tevens zijn een 5-tal diepe filters geplaatst in het overwegend grindige zandpakket boven in het eerste watervoerend pakket.

Op 23 juni 2003 zijn kort na het boren de grondwaterstanden in de peilbuizen gemeten. Een tweede meting is op 14 juli 2003 uitgevoerd. De grondwaterstanden in de ondiepe peilbuizen varieerden ten tijde van de eerste meting van ca. NAP +8,9 m tot ca. NAP +8,1 m. In de diepe peilbuizen varieerde de grondwaterstand van ca. NAP +8,7 m tot ca. NAP +8,5 m. Een overzicht van de grondwaterstanden is weergegeven op bijlage 82020009-4. In deze bijlage is duidelijk waarneembaar dat de tweede meting in een relatief droge periode heeft plaats gevonden, waarbij de grondwaterstanden ca. 20 à 30 cm lager waren dan direct na uitvoering. De gemeten waterpeilen van het freatische grondwater zijn weergegeven op de kaart in bijlage 82020009-5, waarbij zowel de ondiepe als de diepere filters zijn vermeld.

Op basis van de gemeten grondwaterstanden is een isohypsenkaart van het freatische grondwater gemaakt zoals is weergegeven in bijlage 82020009-8. Voor de interpolatie is gebruik gemaakt van een lineaire methode. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de open waterpeilen niet meegenomen konden worden. Uit de isohypsenkaart blijkt dat het verhang in het grondwater zeer beperkt is. De grondwaterstand zal in de tijd fluctueren. Om meer inzicht te krijgen in de grondwaterstanden en -fluctuaties wordt geadviseerd de geplaatste peilbuizen regelmatig waar te nemen.

Volgens de Gemeente Westervoort zijn er geen recente lokale peilbuisgegevens beschikbaar. Ca. 15 jaar geleden zijn er voor het laatst enkele peilbuizen gemonitord. Het is onduidelijk of deze peilbuizen nog aanwezig zijn en nog functioneren.

4.3.4 Langjarige grondwaterstand-/ stijghoogtegegevens

Ter verificatie van grondwaterstanden en stijghoogten is gebruik gemaakt van de Grondwaterkaart van Nederland en zijn in het grondwater archief (DINO) van NITG-TNO langjarige peilbuisgegevens opgevraagd vanaf 1985 tot heden. Op de projectlocatie zelf bevindt zich geen peilbuis van NITG-TNO, dus wordt de situatie geanalyseerd aan de hand van peilbuizen in de omtrek. Een overzicht van de peilbuislocaties is weergegeven op bijlage 82020009-1A. Een samenvatting van de verwachte maatgevende hoge, lage en gemiddelde grondwaterstand over bovengenoemde meetperiode is weergegeven in tabel 5. Opgemerkt dient te worden dat deze waarden zijn afgeleid uit tijd-stijghoogtegrafieken en geen statische analyse betreffen. De tijd-stijghoogtegrafieken zijn weergegeven op bijlage 82020009-9A t/m -9D.

Tabel 5: Peilbuisgegevens DINO NITG-TNO

Nr. Peilbuis	Afstand en richting t.o.v. de locatie in m	Filterafstelling van/tot in m t.o.v. NAP	Stijghoogte (m t.o.v. NAP) ca.		
			Hoge	Gem.	Lage
B0005 01	1.100 NO	- tot -8,19 (1 ^e wvp)	+9,3	+8,9	+8,0
B0012 01	550 NW	+2,40 tot -9,60 (1 ^e wvp)	+9,5	+8,5	+7,5
P0011 01	1.200 ZW	+0,95 tot -0,05 (1 ^e wvp)	+9,7	+9,2	+8,1
P0026 01	2.275 NW	-32,90 tot -33,90 (2 ^e wat.rem.)	+11,2	+9,4	+8,0
P0029 01	1.100 NO	+1,45 tot -1,55 (1 ^e wvp)	+9,5	+8,7	+7,5
P0377 01	1.750 Z	+8,40 tot +6,40 (2 ^e wvp)	+10,1	+9,1	+8,3
P0377 02	1.750 Z	-32,60 tot -34,60 (2 ^e wat.rem.)	+9,8	+9,0	+7,7

Op basis van de grondwaterstandgegevens kan het volgende worden opgemerkt:

- Voor dit onderzoek wordt met name gebruik gemaakt van de gegevens van de peilbuizen P0011 en P0029;
- Verwacht wordt dat het grondwater in het 1^e watervoerend pakket op de projectlocatie in noordoostelijke richting stroomt;
- De maatgevende hoge stijghoogte in het eerste watervoerend pakket wordt op basis van de peilbuisgegevens geraamd op ca. NAP +9,6 m. Deze waarde wordt met name bepaald door tijdelijke kortdurende hoogwatergolven op de IJssel. Een betrouwbare uitspraak over deze werkelijke piekstijghoogte kan op basis van de beschikbare gegevens niet worden gedaan;
- Op de projectlocatie worden gemiddelde stijghoogten verwacht van ca. NAP +8,8 m à NAP +8,7 m met een jaarlijkse fluctuatie van ca. 1,5 m;
- Op de projectlocatie is er sprake van een kwelsituatie ten tijde van hoge waterstanden in de IJssel. De mate van kwel is afhankelijk van deze stijghoogte en de hydraulische weerstand van de deklaag (kleilagen). In paragraaf 6.3 wordt hier nader op ingegaan.

4.3.5 Relatie grondwaterstand en open water huidige situatie

Uit een vergelijking tussen de ondiepe peilbuisgegevens in de tussenzandlaag en de slootwaterstanden (opname 23 juni 2003) blijkt dat op verschillende locaties 0,1 à 0,3 m hogere slootpeilen voorkomen. De sloten zullen dus infiltreren. De sloten liggen waarschijnlijk nog net in de klei(dek)laag. Om te blijven voorzien in een waterpeil is een bepaalde aanvoer van water van buiten de locatie noodzakelijk.

De afvoer van de watergang aan de Noordelijke Parallelweg zal op basis van de meetgegevens en de gegevens van het Waterschap naar verwachting richting zuidoosten plaatsvinden. Deze watergang vormt de hoofdafvoer van de projectlocatie.

De watergangen aan de St. Dominicuslaan en de Liemersallee stonden tijdens de opname droog. Op basis van de slootboderniveaus wordt verwacht dat de watergangen richting de Noordelijke Parallelweg afwateren. Echter bij de Liemersallee, nabij profiel 5, lijkt de afvoer richting de Hamersestraat plaats te vinden, waarna het water via de sloot ten westen weer richting de Noordelijke Parallelweg stroomt. De slootbodems liggen boven de aangetroffen waterspiegels, waardoor deze sloten leeglopen.

De sloot langs de Hamersestraat wordt gezien het hogere oppervlaktewaterpeil naar verwachting gevoed vanuit het noorden. Nadere gegevens met betrekking tot deze voeding van deze sloot zijn niet beschikbaar. Het verdient aanbeveling nader te onderzoeken waar dit water vandaan komt. De sloot staat vervolgens met een sloot op het terrein in contact. De hogere grondwaterstand nabij boring 82020009-HB51 is mogelijk het gevolg van een hoger oppervlaktewaterpeil, dat tijdens de opname ca. 0,22 m hoger staat dan deze grondwaterstand (oppervlaktewaterpeil ca. NAP +8,89 m).

De sloten in het midden van het projectgebied wateren af richting de Noordelijke Parallelweg. Gezien het open waterpeil in deze watergang en de waterstanden in de betreffende sloten (ca. 10 cm verschil) worden deze sloten gevoed vanuit het noorden. Het slootbodenniveau op de projectlocatie loopt af richting de Noordelijke Parallelweg. De slootafstand tussen de sloten in het midden van de projectlocatie bedraagt ca. 50 m, de overige sloten liggen op ca. 100 m afstand van deze sloten.

Verwacht wordt dat de slootafstand mede is vastgesteld op basis van benodigde afvoer van kwelwater bij hoogwaterafvoeren op de IJssel. De watergangen zullen in die gevallen de omgeving draineren en afvoeren naar hoofdwatergangen.

De grondwaterstanden in de diepe peilbuizen (1^e watervoerend pakket) zijn in het algemeen lager dan in de ondiepe peilbuizen die geplaatst zijn in de tussenzandlaag. Het diepere grondwater stroomt richting het noordoosten. De stroming van het oppervlaktewater is richting het zuidzuidwesten.

Enkele meetgegevens wijken af van de hierboven geschetste situatie. Om de bovenstaande geschetste situatie te bevestigen verdient het aanbeveling de peilbuizen waar te blijven nemen en ook de slootwaterpeilen te monitoren.

5. GEOTECHNISCHE ANALYSE

In dit hoofdstuk wordt het fundatie type voor de toekomstige bebouwing aangegeven en zal de veiligheid tegen opbarsten van de deklaag bij aanleg van de riolering worden behandeld.

5.1 Algemeen

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de bebouwing komt voor de fundering van de geplande bebouwing in het project een fundering op palen in aanmerking.

De keuze van het paaltype is afhankelijk van verschillende factoren. Gezien het feit dat de bestaande woningen zich op een straal van minimaal 25 m buiten het bouwterrein bevinden, is het toepassen van prefab betonpalen mogelijk. Doordat de bodemopbouw de eerste 4 à 5 meters uit klei en losgepakte zand bestaat, zal de voortplantingssnelheid van de trillingen, veroorzaakt door het heien van de palen, relatief laag zijn. Naar verwachting zullen de trillingen toelaatbaar zijn en geen schade veroorzaken aan de fundatie van de bestaande woningen.

Indien in het ontwerp van gebouwen en woningen kelders zijn opgenomen, dient te worden nagegaan of de ontgraving van de kelders met behulp van een spanningsbemaling moet geschieden. Door ontgraving in de deklaag bestaat het risico dat de bodem opbarst ten gevolge van de stijghoogte van het grondwater in het diepere zandpakket.

5.2 Opdrijven van de riolering en opbasten van de kleilaag

Voor het bepalen van de veiligheid tegen opbarsten is uitgegaan van rioolbuizen met een inwendige doorsnede van $\text{Ø}400$ mm en een wanddikte van 50 mm. Voor de lengte van het riooltracé is uitgegaan van 350 m met een verhang van 1:300. Boven in het rioolsysteem (hoge zijde) is de ontgravingsdiepte aangehouden op NAP +7,9 m en onderin het rioolsysteem (lage zijde) is een ontgravingsdiepte aangehouden op NAP +6,7 m.

Om opdrijven door opwaartse grondwaterdruk te voorkomen dient boven de rioolbuis voldoende gewicht aanwezig te zijn (gronddekking). In de berekeningen is uitgegaan van een minimale gronddekking van 1,0 meter aan de hoge zijde van het rioolstreng (aanlegniveau bedraagt NAP +8,1 m, inclusief grondverbetering). Indien de stijghoogte van het grondwater beneden NAP +9,8 m gehandhaafd blijft, dan bestaat geen gevaar van opdrijven in de eindfase.

Bij het graven van sleuven in de deklaag bestaat gevaar voor het opbarsten van de sleufbodem onder invloed van de stijghoogte van het grondwater beneden de deklaag. Opbarsten kan worden vermeden door het toepassen van een spanningsbemaling in het watervoerende zandpakket.

Voor de controle van het opbarsten van de kleilaag onder het aanlegniveau zijn 2 criteria in beschouwing genomen:

- Opbarsten kleilaag ten gevolge van de stijghoogte van het grondwater in de tussen zandlaag;
- Opbarsten van de diepere kleilaag ten gevolge van de stijghoogte in het grondwater in het pleistocene zandpakket (1^e watervoerende pakket).

Hierbij zijn twee soorten ontgravingen getoetst:

- Integrale ontgraving;
- Sleufontgraving (smalle bouwput).

In het geval van een smalle bouwput of ingraving mag, voor de beoordeling van de veiligheid tegen opbarsten, het effect van spanningsspreiding door de aan weerszijden van de ontgraving aanwezige hogere grondbelasting meegenomen worden in de toetsing.

In tabel 6a en 6b zijn de resultaten van de toetsing weergegeven. De neerwaartse en opwaartse druk zijn berekend voor verschillende stijghoogten van het grondwater en verschillende ontgravingsdieptes.

De berekening zijn gemaakt voor sondering 82020009-DKM3. Geadviseerd wordt om voor andere locaties de representatieve sondering te raadplegen. In sondering 82020009-DKM2 bijvoorbeeld is sprake van een deklaag die minder diep reikt, in dat geval is opbarsten van de deklaag kritischer of het aanlegniveau bevindt zich in de zandlaag.

Tabel 6a: Berekening opbarsten van de kleilaag (integrale ontgraving met talud 2:1)

Stijghoogte	Ontgravings-niveau	Neerwaartse druk zonder sleufwerking	Opwaartse druk	Opmerking
[m tov NAP]	[m tov NAP]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	
9,6	7,9	34,0	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,5	26,4	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,1	18,8	42,9	Idem
	6,7	12,5	42,9	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
9,2	7,9	34,0	38,5	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,5	26,4	38,5	Idem
	7,1	18,8	38,5	Idem
	6,7	12,5	38,5	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,8	7,9	34,0	34,1	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,5	26,4	34,1	Idem
	7,1	18,8	34,1	Idem
	6,7	12,5	34,1	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,4	7,9	34,0	29,7	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	26,4	29,7	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,1	18,8	29,7	Idem
	6,7	12,5	29,7	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,0	7,9	34,0	25,3	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	26,4	25,3	Idem
	7,1	18,8	25,3	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	6,7	12,5	14,3	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
7,6	7,9	34,0	20,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	26,4	20,9	Idem
	7,1	18,8	20,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	6,7	12,5	20,9	Kleilaag barst niet op

Tabel 6b: Berekening opbarsten van de kleilaag (sleufontgraving met talud 2:1)

Stijghoogte [m tov NAP]	Ontgravings- niveau [m tov NAP]	Neerwaartse druk met sleufwerking [kN/m ²]	Opwaartse druk [kN/m ²]	Opmerking
9,6	7,9	46,6	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,1	26,9	42,9	Idem
	6,7	17,2	42,9	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
9,2	7,9	46,6	38,5	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	38,5	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,1	26,9	38,5	Idem
	6,7	17,2	38,5	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,8	7,9	46,6	34,1	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	34,1	Idem
	7,1	26,9	34,1	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	6,7	17,2	34,1	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,4	7,9	46,6	29,7	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	29,7	Idem
	7,1	26,9	29,7	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	6,7	17,2	29,7	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,0	7,9	46,6	25,3	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	25,3	Idem
	7,1	26,9	25,3	Idem
	6,7	17,2	25,3	Kleilaag barst niet op
7,6	7,9	46,6	20,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	36,2	20,9	Idem
	7,1	26,9	20,9	Idem
	6,7	17,2	20,9	Kleilaag barst niet op

Volgens de evenwichtsvergelijking hangt het wel of niet opbarsten van de kleilaag af van de optredende stijghoogte van het grondwater en van de ontgravingsdiepte.

Indien de kleilaag opbarst ten gevolg van stijghoogte in de tussen zandlaag, kan dat voorkomen worden door een bemaling met verticale filters in de ondiepte zandlaag te plaatsen. Hierdoor wordt de stijghoogte verlaagd en het opwellen van grondwater via de bodem van de sleuf tegen gegaan.

Indien het ontgravingsniveau zich in de tussen zandlaag bevindt, dan dient aandacht geschonken worden aan het droog maken van de bouwsleuf. Dat kan geschieden met behulp van een bemaling.

In de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De maatgevende hoge grondwaterstand is aangenomen op NAP +9,6 m;
- De gemiddelde hoge grondwaterstand is aangenomen op NAP +8,8 à +8,7 m;
- De maatgevende lage grondwaterstand is aangenomen op NAP +7,6 m;
- In de berekening is sondering DKM3 als maatgevende sondering genomen;
- De bouwsleuf heeft een talud helling van 2:1;
- Een bouwsleuf breedte van 1,5 m is aangehouden;
- Een veiligheidsfactor van 1,1 is toepast op de opwaartse druk van het grondwater;
- In de ontgravingsdiepte is rekening gehouden met 0,20 m grondverbetering;
- Het gemiddelde maaiveldniveau is aangenomen op NAP +9,7 m;
- Volume gewicht $Y_{\text{klei}} = 14 \text{ kN/m}^3$ (nat en droog), $Y_{\text{zand}} = 19 \text{ kN/m}^3$ (nat), $Y_{\text{betn}} = 24 \text{ kN/m}^3$ en $Y_{\text{diepere kleilaag}} = 12,5 \text{ kN/m}^3$ zijn aangehouden voor de berekeningen.

De opdrachtgever dient de bovenstaande uitgangspunten te controleren. Indien de bovengenoemde uitgangspunten grote verschillen vertonen met de werkelijkheid, dan zal de berekening herzien moeten worden. Geadviseerd wordt om een concept rioleringsplan te laten controleren om na te gaan waar opbarsten van de sleufbodem een rol speelt.

Het is aan te bevelen de stijghoogte van het grondwater in de zandlaag te controleren voordat het werk van start gaat.

Tevens moet opgemerkt worden dat indien een sleufbekisting (met rechte wanden) wordt toegepast in plaats van een bouwsleuf (met talud helling van 2:1) het extra gewicht aan weerszijden van de bouwsleuf in verband met de sleufwerking groter zal zijn. In tabel 7 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen weergegeven indien een sleufbekisting met rechte wanden wordt toegepast.

Tabel 7: Berekening opbarsten van de kleilaag (sleufbekisting met rechte wanden)

Stijghoogte [m tov NAP]	Ontgravings- niveau [m tov NAP]	Neerwaartse druk met sleufwerking [kN/m ²]	Opwaartse druk [kN/m ²]	Opmerking
9,6	7,9	51,6	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	42,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	7,1	35,0	42,9	Idem
	6,7	26,5	42,9	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
9,2	7,9	51,6	38,5	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	38,5	Idem
	7,1	35,0	38,5	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen, opbarsten diepere kleilaag
	6,7	26,5	38,5	Opbarsten kleilaag, spanningsbemaling toepassen
8,8	7,9	51,6	34,1	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	34,1	Idem
	7,1	35,0	34,1	Idem
	6,7	26,5	34,1	Kleilaag barst niet op
8,4	7,9	51,6	29,7	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	29,7	Idem
	7,1	35,0	29,7	Idem
	6,7	26,5	29,7	Kleilaag barst niet op
8,0	7,9	51,6	25,3	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	25,3	Idem
	7,1	35,0	25,3	Idem
	6,7	26,5	25,3	Kleilaag barst niet op
7,6	7,9	51,6	20,9	Gefundeerd in tussen zandlaag, bemaling toepassen
	7,5	42,8	20,9	Idem
	7,1	35,0	20,9	Idem
	6,7	26,5	20,9	Kleilaag barst niet op

Tenslotte moet opgemerkt worden dat de berekeningen zijn gemaakt met aangenomen grondparameters van klei. Indien het gewenst is om exact de grondparameters te bepalen, is het aan te bevelen een aantal kleimonsters in het laboratorium te beproeven.

5.3 Draagvermogen (grenstoestand 1A)

Op het aanlegniveau van de rioolbuizen is klei aangetroffen. Een grondverbetering in de vorm van een zandbed met een dikte van minimaal 0,20 m dient te worden toegepast. Voor materiaalkeuze en aanbevelingen ten behoeve van de uitvoering van de grondverbetering wordt verwezen naar de bij Fugro Ingenieursbureau B.V. geldende "Richtlijnen Grondverbetering".

Het draagvermogen van de ondergrond is bij de genoemde aanlegniveaus ruim voldoende.

5.4 Zetting (grenstoestand 2)

Aangezien de rioolbuizen een geringe belastingstoename veroorzaken in de klei grond zullen de zakkingen beperkt zijn na de grondverbetering.

6. MOGELIJKHEDEN AANLEG OPEN WATER

Op basis van de herinrichtingsplannen voor de onderhavige locatie worden in dit hoofdstuk de mogelijkheden voor realisatie van open waterpartijen beschreven.

6.1 Samenvatting van de geohydrologische uitgangspunten

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt het volgende geconcludeerd:

- Tijdens het grondonderzoek is een verloop van het maaiveld ter plaatse van de projectlocatie aangetroffen van ca. NAP +10,3 m nabij de Hamersestraat tot ca. NAP +9,0 m ter plaatse van de Noordelijke Parallelweg;
- In het onderzoeksgebied wordt vanaf maaiveld een ca. 1,5 à 2,5 m dikke sterk siltige klei(dek)laag aangetroffen tot een diepte van ca. NAP +8,3 m à NAP +7,2 m (zie ook bijlage 8202009-3);
- Onder deze klei(dek)laag bevindt zich tot ca. NAP +7,1 à NAP +5,6 m een zwak siltige zandlaag, gevolgd door een ca. 0,1 à 0,3 m dikke tweede kleilaag. Hieronder volgt het goed doorlatende 1^e watervoerend pakket;
- Het stuwpeil van het open water aan de Noordelijke Parallelweg is destijds door het Waterschap Rijn en IJssel vastgesteld op NAP +8,7 m. Tijdens ons onderzoek bedroeg het waterpeil in de sloten rond ca. NAP +8,7 m. In de watergang aan de Noordelijke Parallelweg bedroeg het open waterpeil ca. NAP +8,6 m. Hieruit valt af te leiden dat het open water wordt gevoed vanuit het noorden. Nadere gegevens met betrekking tot de voeding ontbreken echter;
- Op verschillende locaties bedragen de slootpeilen ca. 0,1 à 0,3 m hoger dan de lokale grondwaterstand. De sloten zullen dus infiltreren. Een aanvoer van water van buiten de projectlocatie wordt dan ook verwacht;
- De watergang aan de Noordelijke Parallelweg vormt de hoofdafvoer van het water op de locatie. De afvoer vindt plaats in zuidoostelijke richting. Deze afvoer zal met name bij kwel bij hoge grondwaterstanden fors kunnen toenemen;
- De te verwachten maatgevende hoge stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket wordt op basis van de peilbuisgegevens geraamd op ca. NAP +9,55 m;
- De gemiddelde stijghoogten op de projectlocatie bedragen naar verwachting ca. NAP +8,8 à NAP +8,7 m met een jaarlijkse fluctuatie van ca. 1,5 m;
- Op de projectlocatie is sprake van een kwelsituatie ten tijde van hoge waterstanden in de IJssel. De mate van kwel is afhankelijk van deze kwel en de hydraulische weerstand van de deklagen (kleilagen).

6.2 Ontwateringscriteria

Structureel (te) hoge grondwaterstanden kunnen leiden tot schade aan verhardingen en plantsoenen en wateroverlast in gebouwen (kruipruimten). In het algemeen worden de volgende uitgangspunten voor ontwateringscriteria gehanteerd:

- Uitgaande van de richtlijnen van de Model Bouwverordening dient bij toepassing van een kruipruimte waarin zich leidingen bevinden onder een beganegrondvloer van steenachtig materiaal (Art. 162.1), de hoogst toelaatbare grondwaterstand zich minimaal 0,45 m beneden de onderzijde van deze vloer te bevinden (Art. 68.2);
- Om vochtoverlast in woonruimten te voorkomen wordt de norm gehanteerd dat de grondwaterstand niet langer dan 2 dagen boven het niveau van bodem kruipruimte -0,20 m mag uitstijgen, uitgaande van een grofzandige kruipruimtebodem.

Voor stedelijke gebieden worden veelal de volgende ontwateringsnormen gehanteerd:

- De ontwateringsdiepte voor de primaire wegen bedraagt tenminste ca. MV -1,0 m;
- De ontwateringsdiepte voor de secundaire wegen bedraagt tenminste ca. MV -0,7 m;
- De ontwateringsdiepte voor de plantsoenen varieert afhankelijk van het type begroeiing van ca. MV -0,5 tot -1,0 m;
- Voor kabels en leidingen varieert de ontwateringseis afhankelijk van het type van ca. MV -0,7 tot -1,0 m.

6.3 Ontwerp maaiveldniveaus

Uitgaande van een maatgevend oppervlakte waterpeil van NAP +8,7 m en rekening houdend met een maatgevende hoge stijghoogte van ca. NAP +9,6 m, dient het maaiveld ter plaatse van de projectlocatie opgehoogd te worden om te kunnen voldoen aan de ontwateringscriteria. De klei die vrijkomt bij het graven van watergangen en wegcunetten kan wellicht gebruikt worden voor het ophogen van tuinen.

Bij een minimale dekking op de HWA-riolering van 1,0 m en lozing onder vrij verval op het open water dient het maaiveld opgehoogd te worden tot een niveau van tenminste NAP +10,0 m. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het optreden van zettingen. Op basis van de topografische kaart en de hoogten van wegen bij onze profielen wordt het maaiveldniveau in de omgeving geraamd op ca. NAP +10,0 à NAP +10,6 m (zie tevens paragraaf 3.3).

Voorgesteld wordt het gewenste maaiveldniveau in de vervolgfase nader vast te stellen en af te stemmen op de omgeving en het riool- en waterhuishoudingsplan. In deze fase kan eveneens een grondbalans verder worden uitgewerkt.

6.4 Mogelijkheden voor realisatie van permanent open water

Aan de zuidzijde, parallel aan de Noordelijke Parallelweg, loopt een permanent waterhoudende watergang met een stuwpeil van NAP +8,7 m. De watergangen aan de St. Dominicuslaan blijven volgens de inrichtingsschets van SAB in de toekomstige inrichting hun functie behouden. De watergangen parallel aan de Hamersestraat en de Liemersallee en de sloten binnen het projectgebied worden gedempt. Dwars op de Hamersestraat en de Noordelijke Parallelweg zijn op de inrichtingsschets een 4-tal nieuwe watergangen tussen de geplande woonblokken gesitueerd.

De opdrachtgever heeft het voornemen een waterpartij in het midden van de projectlocatie aan te leggen. De mogelijkheden voor deze uitbreiding van het open watersysteem is mede afhankelijk van de hoogte en de fluctuatie in de grondwaterstand ter plaatse van deze waterpartij. Hieronder zal een technische beschouwing worden gegeven van de mogelijkheden en globale consequenties vanuit geohydrologisch oogpunt.

6.4.1 Waterpeilen en aanlegniveaus

Op de projectlocatie wordt een klei(dek)laag aangetroffen die in dikte varieert van ca. 2,3 m in het westen tot ca. 1,5 m in het zuidoosten. Bij hoge waterstanden in de IJssel is er volgens het Waterschap Rijn en IJssel sprake van een kwelsituatie. Bij de aanleg van een waterpartij dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid van opbarsten van de (resterende) klei(dek)lagen. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met lage grondwaterstanden.

6.4.2 Opbarsten

Door het deels afgraven van de klei(dek)laag neemt de neerwaartse belasting af. Hierdoor bestaat de kans dat de bodem opbarst doordat de opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse grondbelasting. Voor voldoende veiligheid tegen opbarsten van de bodem is een minimale gronddruk op het opbarstniveau (onderzijde klei(dek)laag) vereist, welke gelijk is aan 1,1 maal de waterdruk aldaar (veiligheid is dan 1,1). Voor de kleilaag is een soortelijk gewicht aangenomen van ca. 14 kN/m³. In tabel 8 is een overzicht gegeven van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen bij ontgravingswerkzaamheden ten behoeve

van een waterpartij. Hierbij is het maximale ontgravingsniveau bepaald waarbij de veiligheid tegen opbarsten 1,1 bedraagt.

Tabel 8: Resultaten stabiliteitsberekening.

Onderdeel	Stijghoogte in 1 ^e watervoerend pakket [m t.o.v. NAP]	Maximaal ontgravingsniveau [m t.o.v. NAP]
Waterpartij	+9,6	+8,6
Waterpartij	+8,8	+7,9

Uit de resultaten blijkt dat, indien er geen aanvullende maatregelen worden getroffen ten behoeve van de afdichting van de waterpartij, de veiligheid tegen opbarsten van de ondiep en dieper gelegen kleilaag van de bodem van de waterpartij bij een relatief ondiepe ontgraving niet voldoende is.

6.4.3 Afdichting

Bij het aanleggen van een waterpartij op de projectlocatie zal de aanwezige klei(dek)laag voor een groot deel verwijderd worden ten einde een waterdiepte van ca. 1,0 m te kunnen realiseren, waardoor de weerstand tegen verticale stroming vanuit het 1^e watervoerend pakket afneemt en de kwel toeneemt. Indien nauwkeuriger inzicht in de effecten en in de kwelintensiteit wenselijk is wordt voorgesteld voor een bepaalde variant ondersteunende grondwaterstromingsberekeningen uit te voeren.

Om een constant waterpeil te kunnen realiseren zullen er maatregelen moeten getroffen worden voor de afdichting van de waterpartij. Te denken valt aan het toepassen van een stabiele kleilaag of een folieafdichting gestabiliseerd met zand. Indien geen maatregelen worden getroffen zal het waterniveau fluctueren en kan er in de zomerperiode droogstand optreden. Ook bij toepassing van een “dichte watergang” dient aanvulling en conservering van water plaats te vinden om te kunnen voorzien in doorstroming en voldoende waterkwaliteit. Opgemerkt wordt dat tijdens extreme kwelsituaties door oppervlakte-waterpeilstijging wellicht onvoldoende in een beschikbare berging van hemelwaterafvoer kan worden voorzien.

Binnen het gebied moet wel in voldoende ontwateringsmiddelen worden voorzien om bij hoge stijghoogten wateroverlast te voorkomen, e.e.a. afhankelijk van het ontwerpmaaiveld niveau. Als alternatief voor open water kan hiervoor ook drainage worden aangelegd. Voorgesteld wordt deze onderdelen verder uit te werken in een gecombineerd riool-waterhuishoudingsplan.

6.4.4 Inpassing van de watergangen

Voor waterhoudende en watervoerende watergangen is het noodzakelijk een voldoende waterdiepte te realiseren. Volgens het Waterschap Rijn en IJssel dienen watergangen die permanent water voeren in de zomersituatie ten minste 1,0 m diep zijn. Bij stilstaand water dient rekening met grotere waterdiepten. De watergangen moeten, in verband met de veiligheid voor kinderen en visueel gehandicapten, voorzien zijn van plasbermen van minimaal 1 m breed.

In aanvulling hierop dient de waterbreedte (waterlijn) van de watergangen bij voorkeur minimaal 5 m te bedragen. Bij bredere en diepere watergangen dient voor het onderwatertalud rekening te worden gehouden met een talud van ca. 1:4 of flauwer. Bij smallere en meer ondiepe watergangen is een verhoogde kans van vervuiling van het water, te hoge peilfluctuaties bij lozing van verharde terreindelen op het open water en op dichtgroei van watergangen.

Er wordt veelal uitgegaan van een harde oeverbeschoeiing. De boven water taluds bedragen daarbij veelal hoogstens ca. 1:3. Afhankelijk van de inrichtingskeuze dient bij ecologische zones of bij een meer recreatief gebruik, rekening te worden gehouden met een flauwer talud van ca. 1:5. In tabel 9 is ter oriëntatie voor een voorbeeld watergang het ruimtebeslag beschreven, uitgaande van indicatieve gegevens op basis van bovengenoemde uitgangspunten. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele schouwpaden.

Tabel 9: Ruimtebeslag watergangen, niveaus in m t.o.v. NAP, maten in meters

Maaiveld/ waterpeil	Drooglegging	Waterdiepte	Waterbreedte (aannname)	Breedte bij 1x talud 1:3	Breedte bij 1x talud 1:5	Totaal ruimtebeslag
+10,7/+8,7	2,0	1,0	5,0	6,0	10,0	21 m
+10,2/+8,7	1,5	1,0	5,0	4,5	7,5	17 m
+9,7/+8,7	1,0	1,0	5,0	3,0	5,0	13 m

Uit tabel 9 volgt dat met name bij een grotere drooglegging (verschil maaiveld en waterpeil) rekening moet worden gehouden met een brede strook voor de watergangen. Veelal wordt uitgegaan van een drooglegging van ca. 1,2 à 1,5 m. Bij een grotere drooglegging wordt de waterbeleving eveneens een stuk meer beperkt. Uitgaande van een drooglegging van 1,5 m dient rekening te worden gehouden met een ruimtebeslag van ca. 17 m, inclusief de recreatieve of ecologische zone.

6.5 Mogelijkheden ‘afkoppelen’ van verharde terreinoppervlakken

Door toename van verharde en gerioleerde oppervlakken neemt de mate van infiltratie van regenwater in de bodem af. In de huidige situatie wordt een groot deel van de projectlocatie gevormd door bouwland, omgeven door sloten. De woningen aan de Hamersestraat en aan de Noordelijke Parallelweg blijven behouden.

Het Waterschap Rijn en IJssel heeft richtlijnen opgesteld voor de inrichting van nieuw stedelijk gebied (zie bijlage 82020009-10). Ter compensatie van de verharding en riolering dient regenwater te worden ‘afgekoppeld van de riolering’ en in het gebied geborgen te worden. Hierbij worden de volgende ontwerpnormen voor waterpartijen gehanteerd:

- Uitgaan van een statistische regenbui T=10 volgens Buishand en Velds (T=10 is een berekende herhalingstijd van éénmaal in de 10 jaar);
- Voor de maximale landelijke afvoer een waarde aanhouden van 1 l/s/ha, het overige water dient geborgen te worden in het gebied;
- Als maximale peilstijging in een aan te leggen waterpartij dient ca. 0,5 m te worden aanhouden.

6.5.1 Bergen in open water

Om te kunnen bepalen wat het oppervlak aan open water zal kunnen zijn om te kunnen voldoen aan de richtlijnen zijn oriënterende berekeningen uitgevoerd. Op basis van de inrichtingsschets van SAB is het verhard oppervlak voor de locatie weergegeven in de tabel 10.

Tabel 10: Toekomstig verhardingsoppervlak

Locatie	Oppervlak	
	in m ²	%-tage van 10 ha
Dakoppervlak	6.645	6,6
Wegen	10.730	10,7
Voetpaden	4.620	4,6
Parkeerplaatsen	3.438	3,4
Totaal verhard oppervlak	25.450	25,5

Ter oriëntatie van het noodzakelijk oppervlak aan open water zijn op basis van de eerdere uitgangspunten indicatieve bergingsberekeningen uitgevoerd. Bij deze berekeningen is naast de neerslag op de verharde terreindelen (afvoer is 1 l/s/ha) rekening gehouden met de neerslag die valt op de watergang en de bermen (raming ca. 15 m²/m sloot. In de onderstaande tabel is het benodigde percentage aan open water weergegeven in het geval van een maximale peilstijging van ca. 50 cm.

Tabel 11: Peilstijging in cm bij percentage aan open water

Percentage ¹⁾ open water (waterspiegel)	Peilstijging bij statistische regenbui		
	T=10	T = 25	T = 100
[%]			
2,0	54	65	81
2,5	46	55	68
5,0	29	35	43
7,5	24	28	35
10,0	21	25	32

1) 1% = 1.000 m²

Uit de gegevens blijkt dat een percentage van tenminste 2,5 % aan open water op de projectlocatie gerealiseerd dient te worden. Dit komt overeen met een oppervlak (waterspiegel) van ca. 2.500 m². Hierbij wordt opgemerkt dat een peilstijging van 50 cm voor T=10 erg groot is, waarvoor wordt geadviseerd in een groter oppervlak te voorzien. Voor het inrichten van permanent open water zijn verschillende beperkingen van toepassing (zie paragraaf 6.4).

6.5.2 Bodemtechnische mogelijkheden

Als alternatief voor het aanleggen van open waterpartijen kunnen ook ondiepe bergingsvoorzieningen worden aangelegd zoals bijvoorbeeld wadi's. Met behulp van deze voorzieningen kan in een tijdelijke berging van regenwater worden voorzien, waarna het water wordt geïnfiltreerd of vertraagd wordt geloosd op lager gelegen watersystemen. Deze voorzieningen kunnen tevens voorzien in de ontwatering tijdens hoge stijghoogten. Tijdens extreme kwelsituaties kan mogelijk niet in voldoende berging worden voorzien.

6.6 Waterhuishouding toekomstige situatie

In de toekomstige, ingerichte situatie zal de ontwatering plaatsvinden door de watergangen, wadi's en/of aanvullend door de drainage in de wegcunetten. In de toekomstige situatie zal naar verwachting in de volgende 'waterstromen' worden voorzien:

Tabel 12: 'Waterstromen'

Soort water	Kwaliteit	Afwatering via
Drainagewater	Grondwater	Watergangen, wadi's en/of drainage
Hemelwater van de daken	Schoon regenwater	Gescheiden HWA-stelsel (direct) op open water of wadi
Hemelwater van verhardingen *	Mogelijk vervuild regenwater	Gescheiden HWA-stelsel op open water, alternatief wellicht wadi
Afvalwater	Vervuild	Via DWA-riool naar AWZI
* Indien van toepassing		

De ontwatering van de aan te leggen wegcunetten zal plaatsvinden met behulp van drains. De afwatering van overig hemelwater gebeurt via HWA-leidingen of over het oppervlak naar een wadi (bovengronds). Er dient rekening te worden gehouden met voldoende verhang naar voorzieningen of lozingspunten toe.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Door Fugro is op de nieuwbouwlocatie Hamerden een gecombineerd geotechnisch en geohydrologisch bodemonderzoek uitgevoerd. Deze onderzoeken zijn in dit advies nader uitgewerkt.

Geohydrologisch

Op de projectlocatie is er sprake van een kwelsituatie ten tijde van hoge waterstanden in de IJssel. Om te kunnen voldoen aan de ontwateringscriteria dient het terrein te worden opgehoogd.

Voor de realisatie van permanent open water dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid van opbarsten van de (resterende) kleilagen, indien er geen aanvullende maatregelen worden getroffen ten behoeve van de afdichting van het open water. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat zonder kunstmatige maatregelen de waterpartijen niet het gehele jaar watervoerend zullen zijn. Er dient aanvulling en conservering van water plaats te vinden om te kunnen voorzien in doorstroming en voldoende waterkwaliteit.

De mogelijkheden voor het 'afkoppelen' van verharde terreinoppervlakken zijn voor de toekomstige situatie onderzocht. Om te kunnen voldoen aan de gestelde richtlijnen dient een percentage van tenminste 2,5% aan open water (exclusief talud en groenstroken) op de projectlocatie te worden gerealiseerd voor berging van regenwater. Als alternatief voor het aanleggen van open water kunnen ondiepe bergingsvoorzieningen worden aangelegd zoals bijvoorbeeld wadi's.

Geotechnisch

Op basis van de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de toekomstige bebouwing komt voor de fundering van deze bebouwing een fundering op palen in aanmerking.

Bij het graven van sleuven in de deklaag ten behoeve van de aanleg van de riolering bestaat er gevaar voor opbarsten van de sleufbodem. Uit de stabiliteitsberekeningen ten behoeve van het bepalen van de veiligheid tegen opbarsten blijkt dat, afhankelijk van de optredende stijghoogte van het grondwater en de ontgravingsdiepte, in bijna alle gevallen

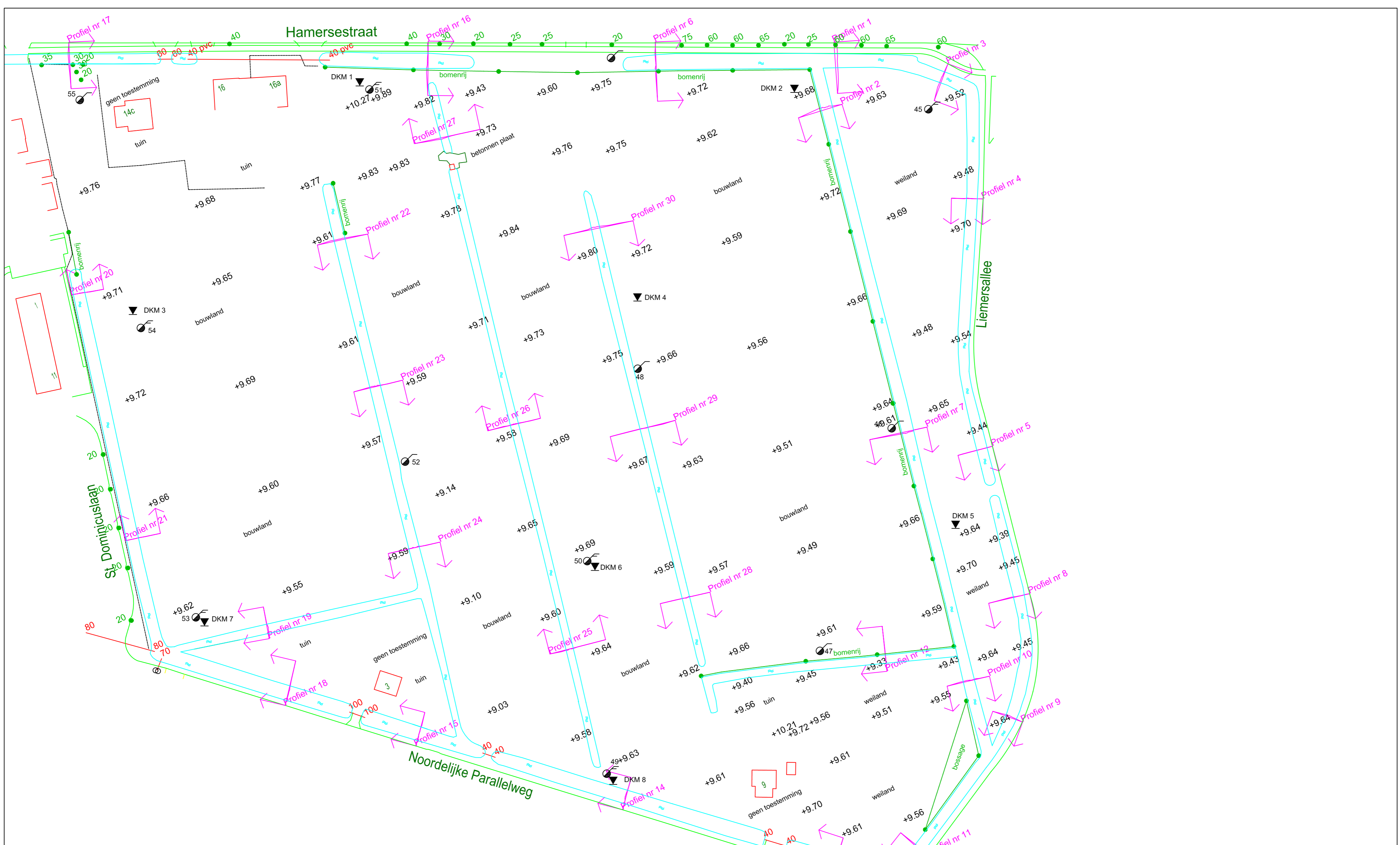
tijdens de aanleg een bemaling toegepast dient te worden. Het toepassen van een sleufbekisting kan de veiligheid tegen opbarsten vergroten.


Inrichting

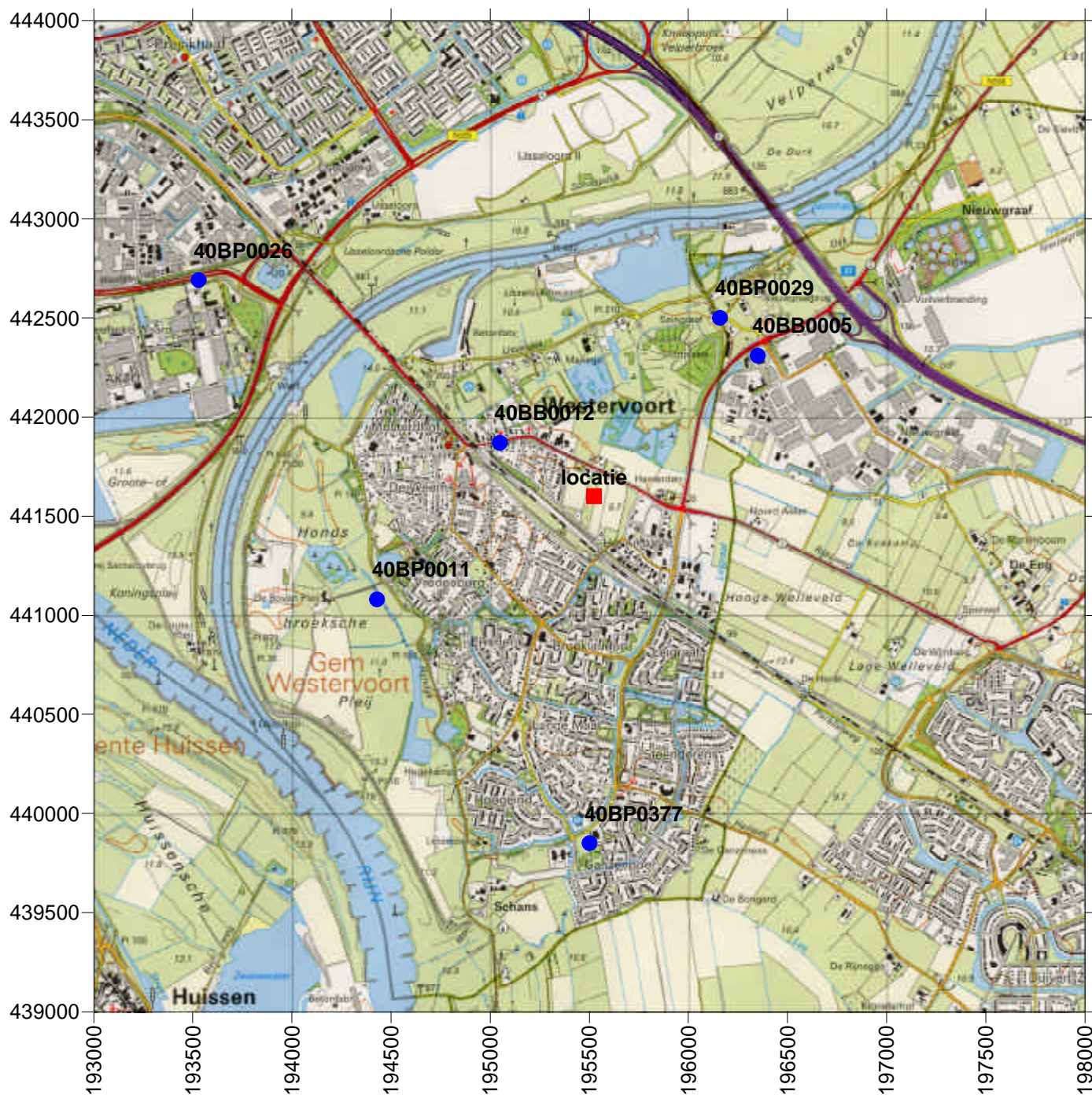
Deze rapportage vormt een basis voor het ontwerp van het stedenbouwkundig plan en in een later stadium het inrichtingsplan. Fugro Ingenieursbureau B.V. heeft de expertise om samen met de stedenbouwkundige het ontwerp te optimaliseren. Bij deze optimalisatie kunnen door ons verschillende alternatieven worden voorgesteld om optimaal rekening te houden met de beschreven geotechnische en waterhuishoudkundige aspecten.

Nadat het stedenbouwkundig plan is vastgesteld kan een waterhuishoudkundig plan, gecombineerd met een rioolplan worden uitgewerkt.

In deze fase is de opstelling van een grondbalans wezenlijk, als voorbereiding op de verdere uitvoeringsvoorbereiding.



Fugro Ingenieursbureau BV		Kantoor Leidschendam		Veurse Achterweg 10		
070-3111333		2264 SG				
Get.: MJB	Datum: 24-07-03	Formaat: A2	Schaal: 1:1000			
SITUATIETEKENING						
NIEUWBOUWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT						Opdr.: 82020009
						Bijl.: 1
Versie:						Revisie datum:



Copyright © Topografische Dienst, Emmen

Legenda

- Projectlocatie
- Locatie peilbuis

Schaal 1 : 30.000

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

BORINGEN/PEILBUIZEN

Aanduidingen

- mechanische boring
- ◉ handboring
- niet uitgevoerde boring
- /↗ boring met peilbuis
- /↗/▭ boring met peilbuis ondiep filter en diep filter
- /↗/▭/▭ boring met peilbuis ondiep filter, middeldiep filter en diep filter
- ◉/↗ handboring met peilbuis
- ⊕ hellingmeterbuis
- ↘/▭ gedrukte peilbuis/minifilter

Type boringen

- B mechanische boring
- HB handboring

SONDERINGEN

Aanduidingen

- ▼ diep-/diepzware sondering
- ▽ middelzware-/lichte sondering
- ▼/▭ diep-/diepzware sondering met plaatselijke kleefmeting
- ▽/▭ middelzware-/lichte sondering met plaatselijke kleefmeting
- ◉ slagsondering
- ▽ niet uitgevoerde sondering
- ◉/↗ waterspanningsmeter
- ▲ bodemluchtmonstername

Type sonderingen

- L lichte sondering
- M middelzware sondering
- D diepsondering
- DZ diepzware sondering
- S slagsondering

Toegevoegde metingen

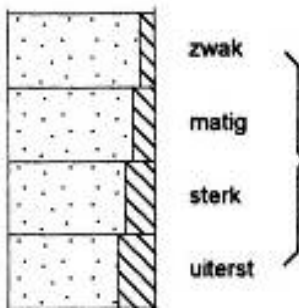
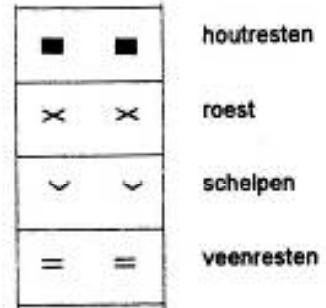
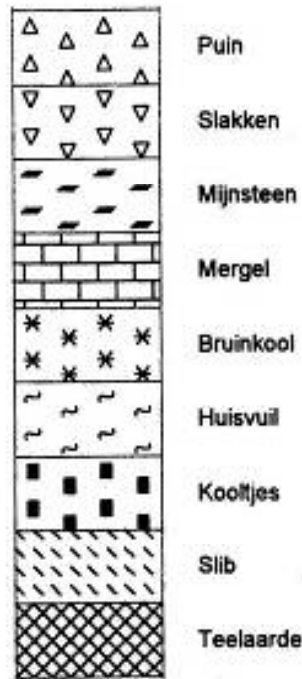
- KM meting van de plaatselijke kleef
 - P meting van de waterspanning
 - G meting van de geleidbaarheid
 - S seismische meting
-

GRONDSOORTEN (conform NEN 5104)

Grondsoort/toevoeging

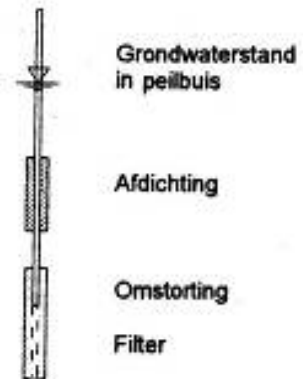
Hoofdbestanddeel/soms toevoeging

Bijmengsel



Toevoeging siltig in grondsoort zand

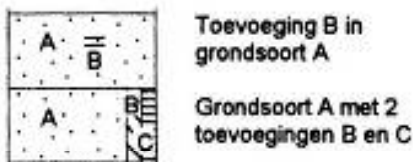
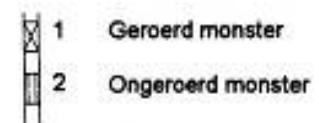
Peilbuis

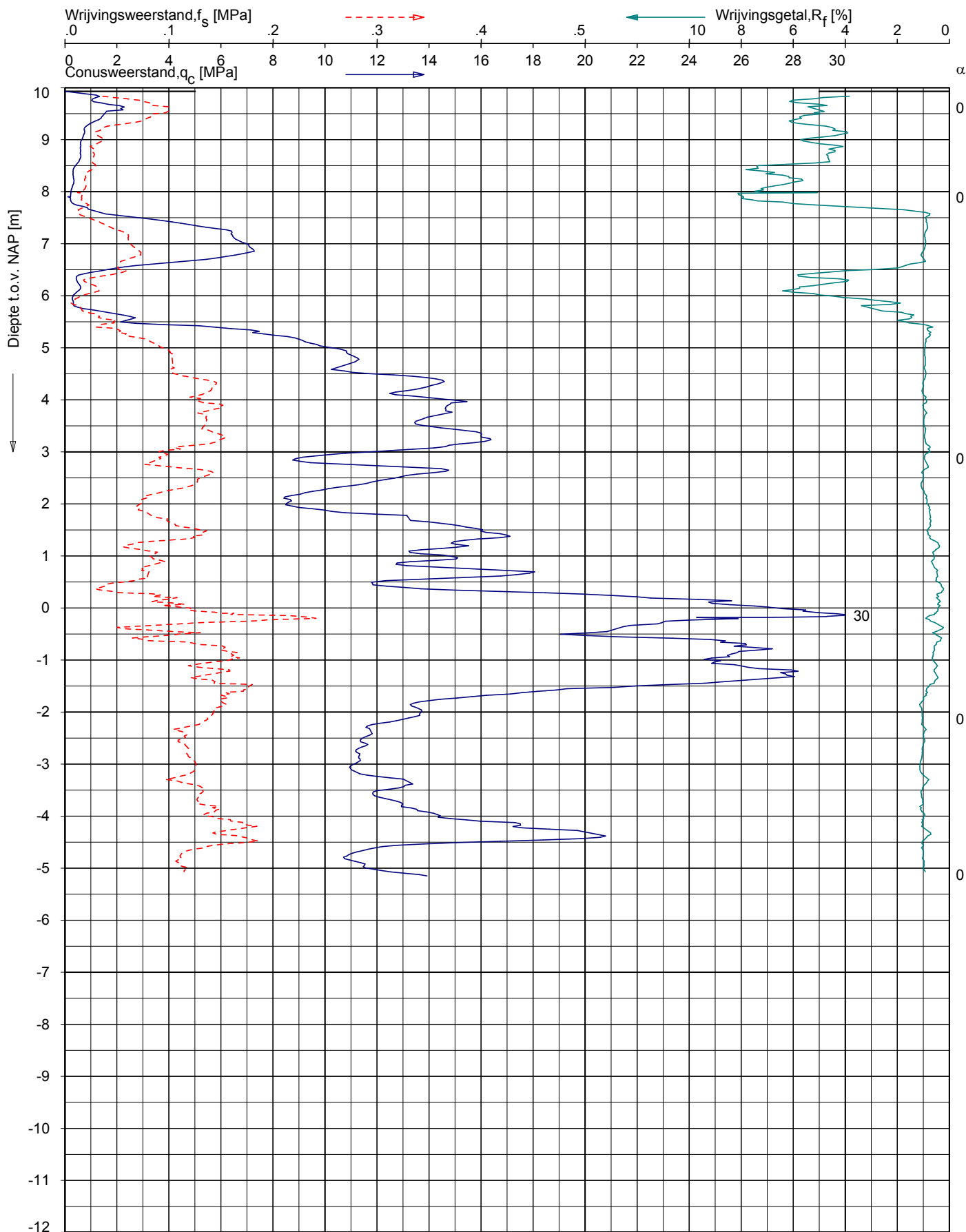


Niet geperforeerd

Geperforeerd

Grondwaterstand tijdens boren





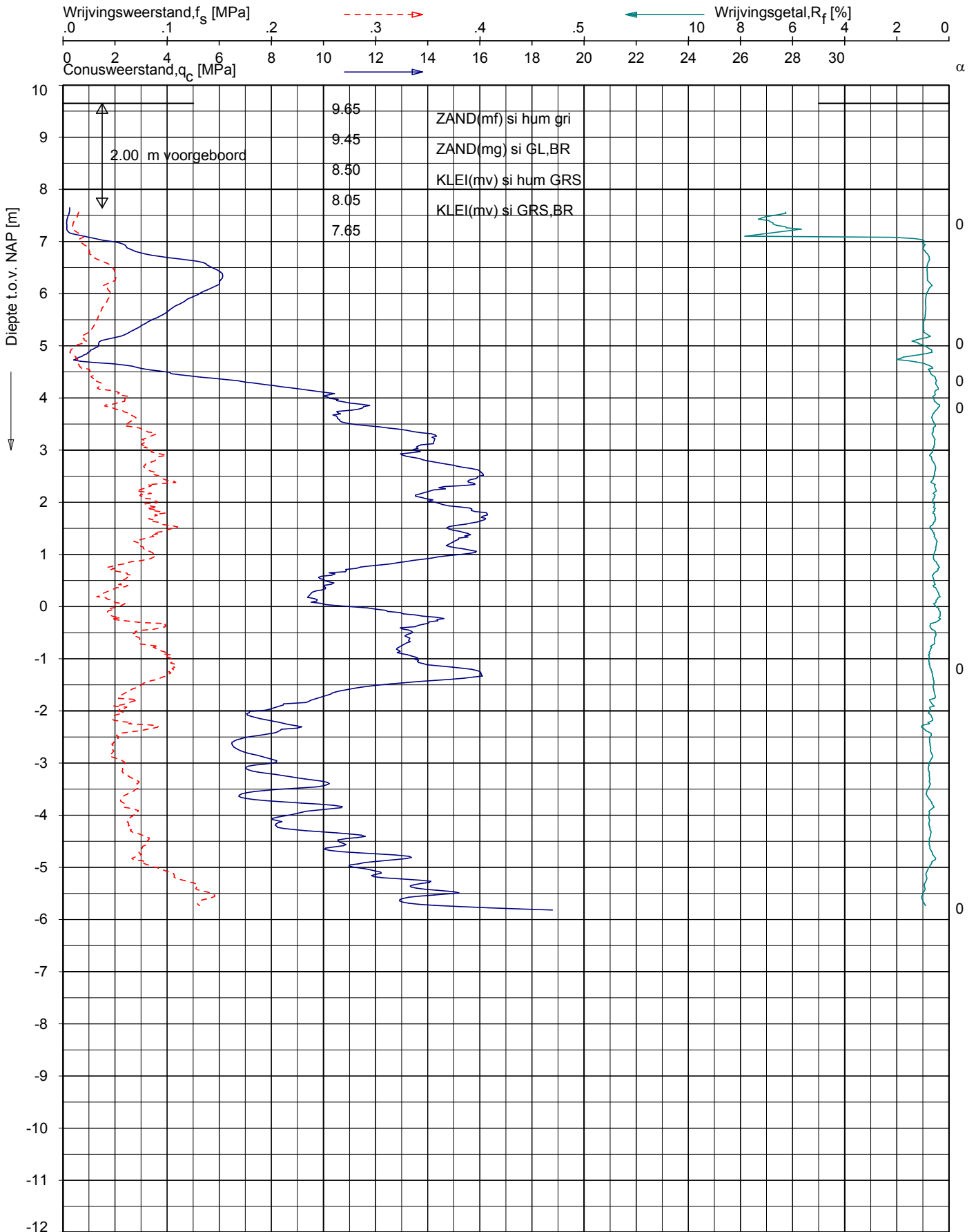
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195531
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.93 m Y = 441715

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 8202009
 Sond. DKM1



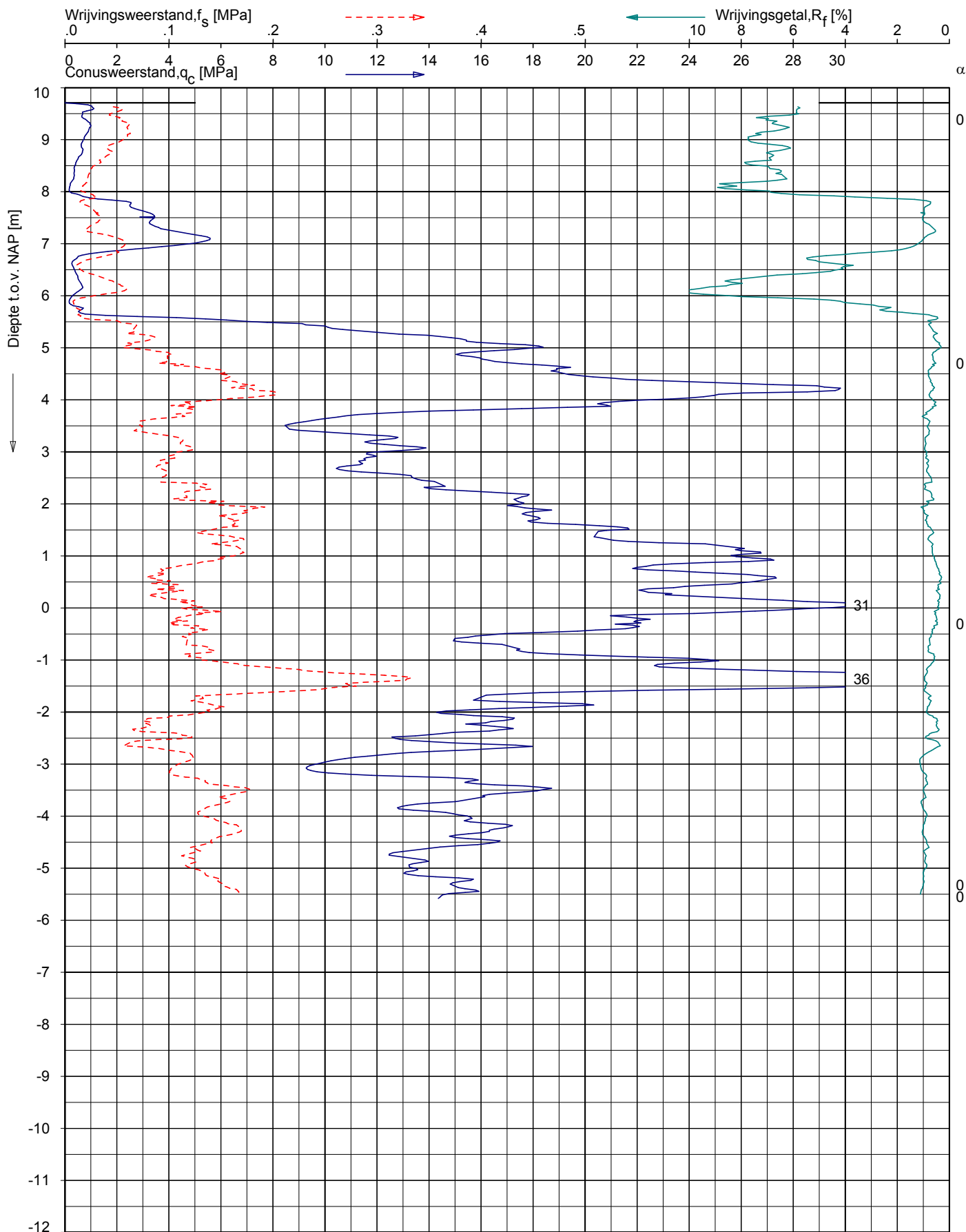
Opg. : JMM d.d. 24-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195725
 Get. : GMR d.d. 25-jun-2003 MV = NAP +9.65 m Y = 441617

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sondr. DKM2





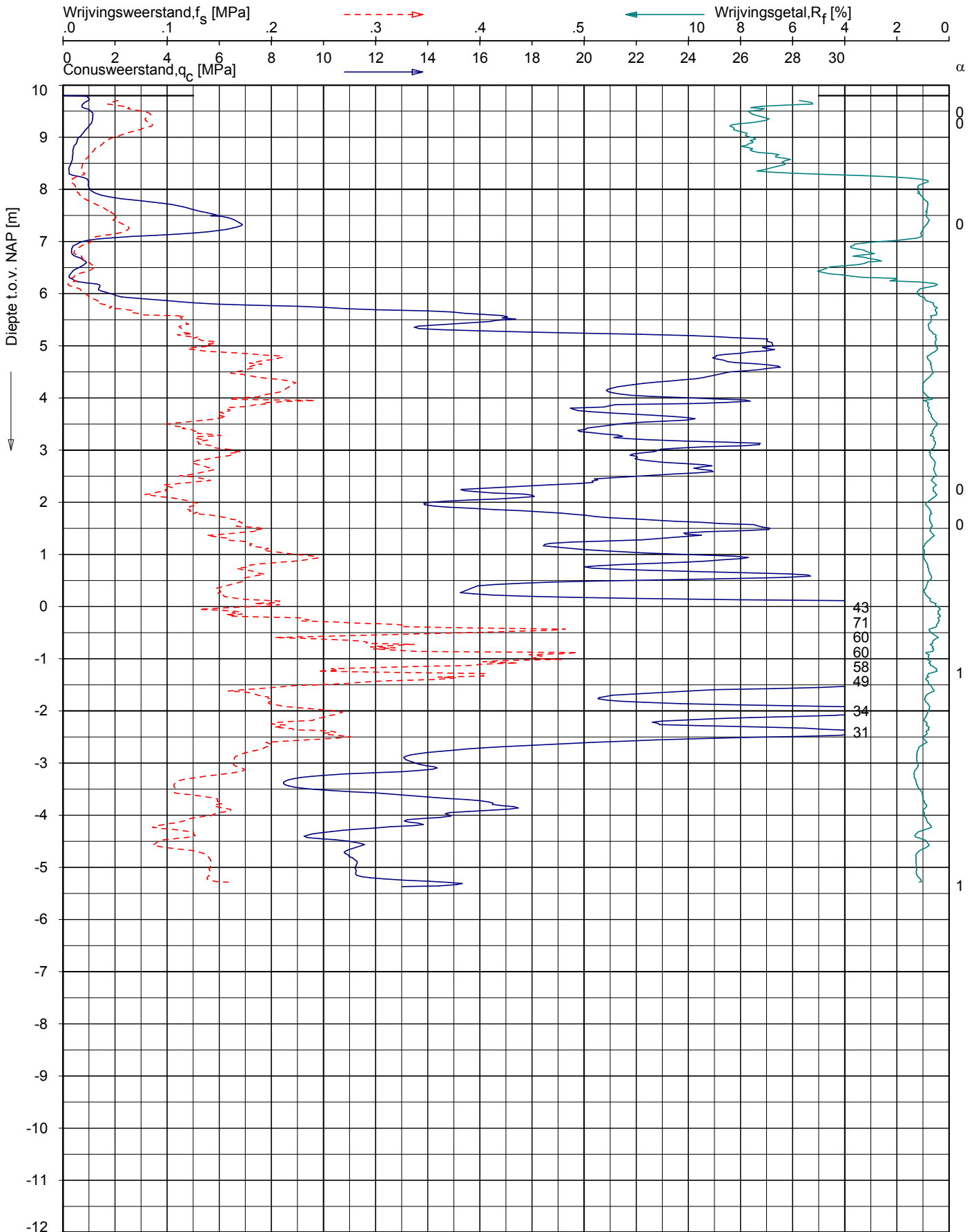
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195411
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.71 m Y = 4412675

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM3





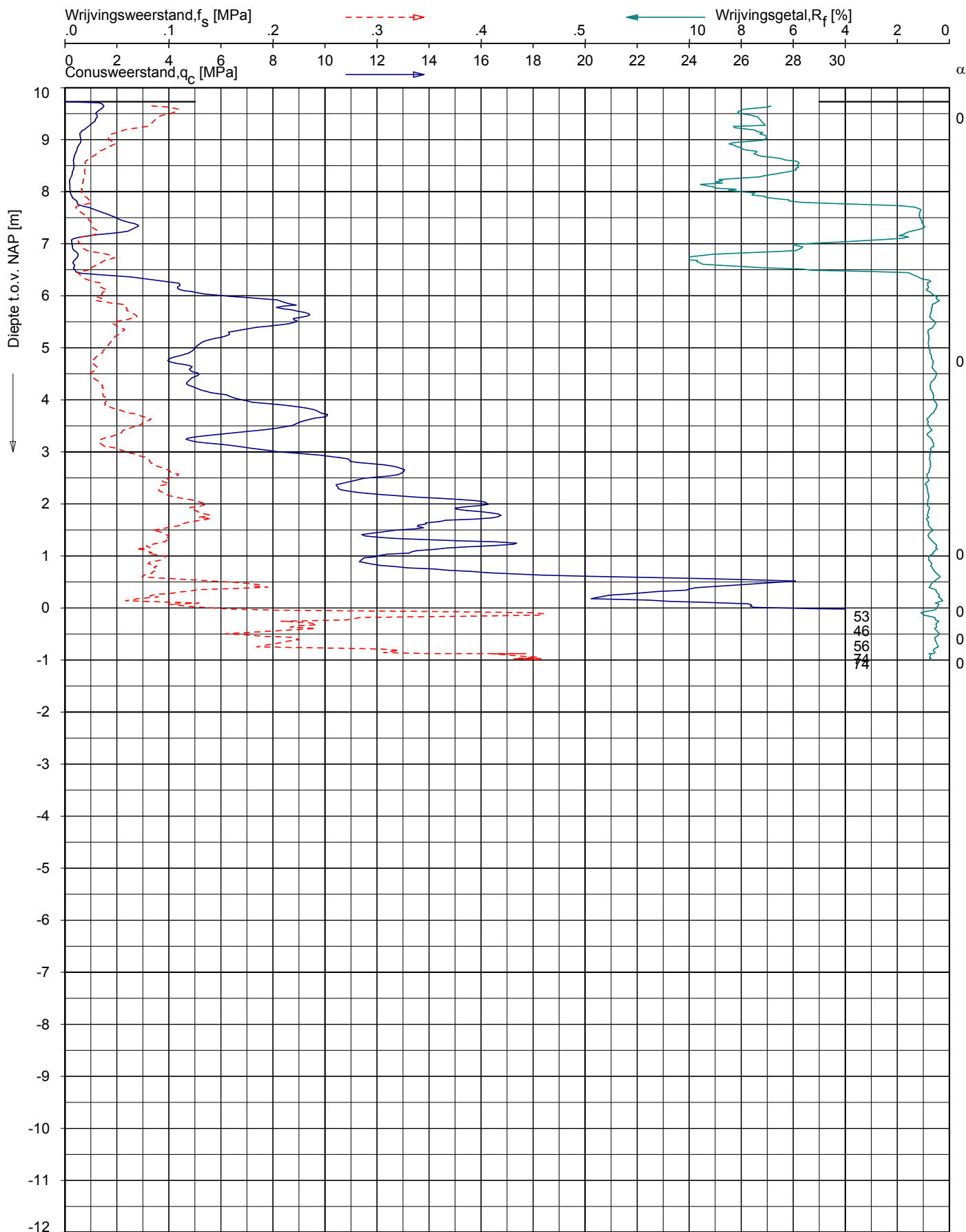
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195591
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.80 m Y = 441598

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM4



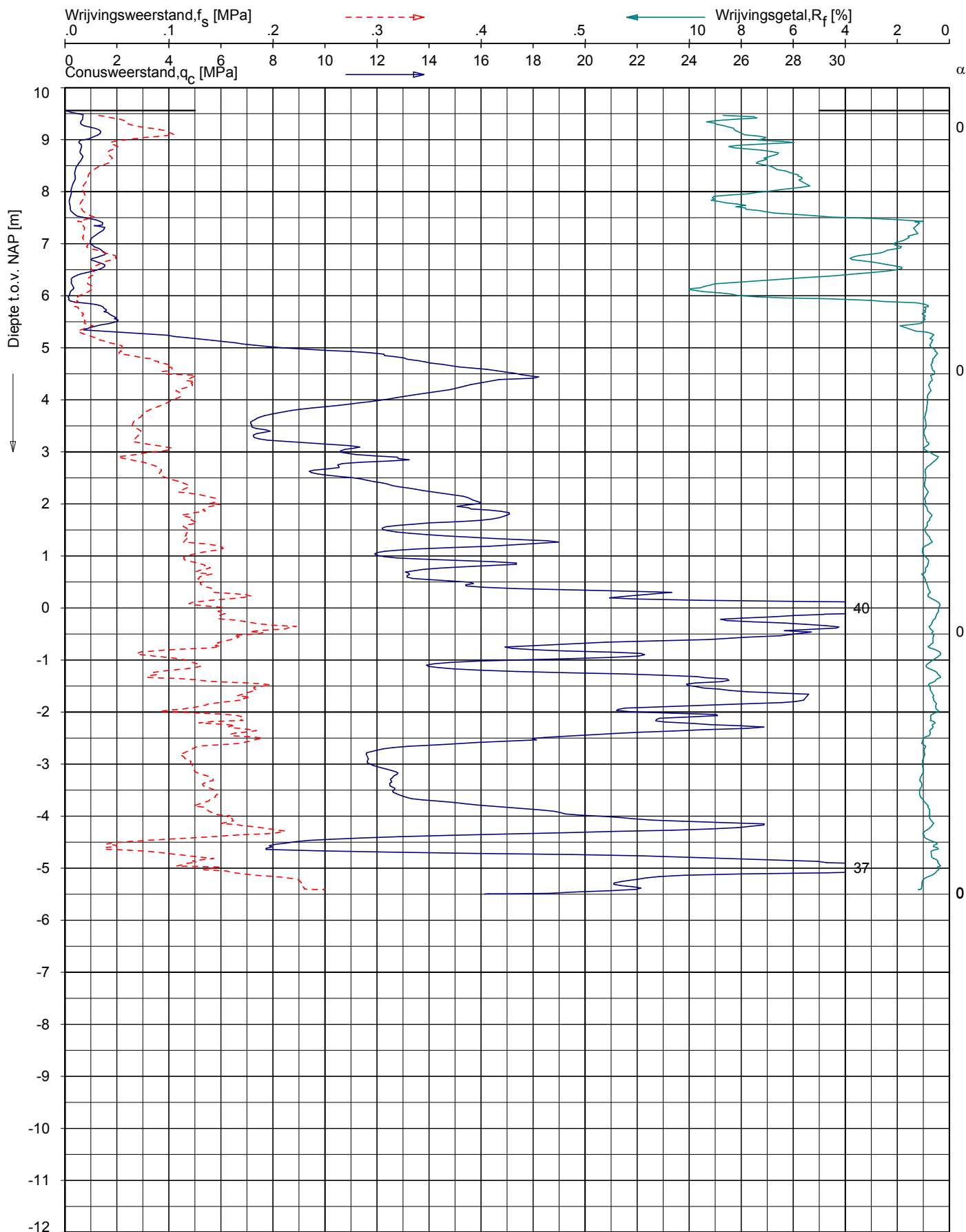
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195664
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.73 m Y = 441464

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM5



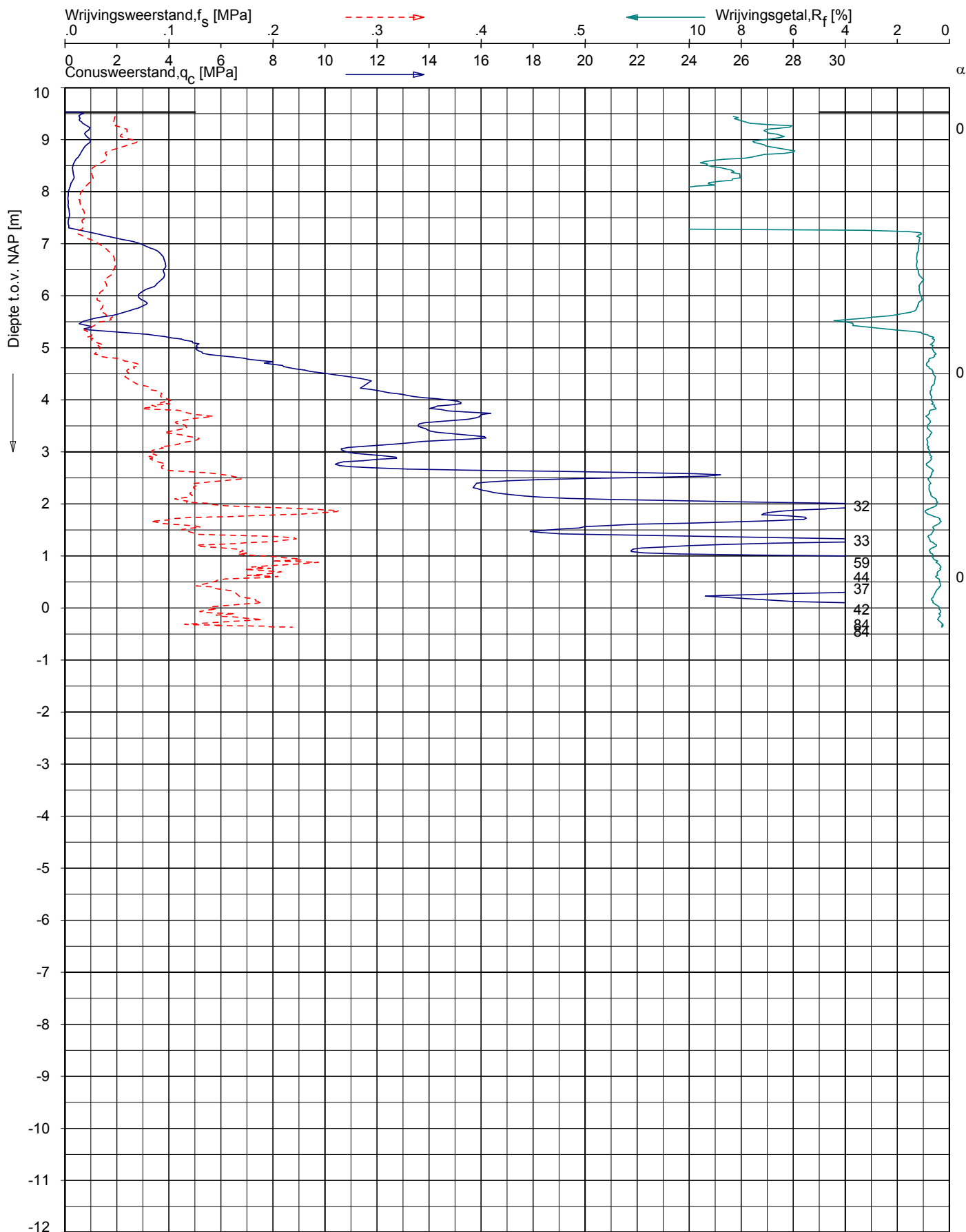
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195530
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.56 m Y = 441512

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM6





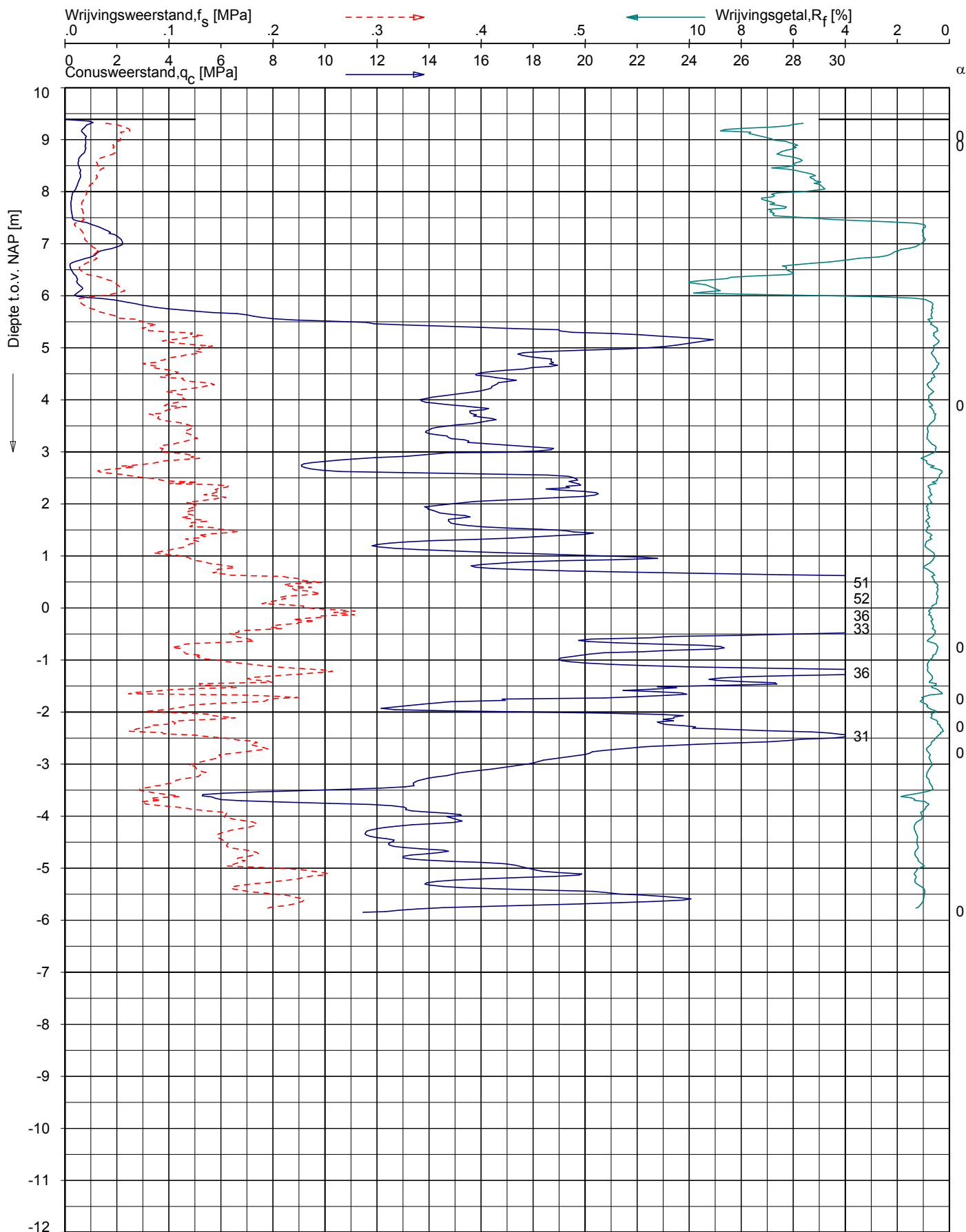
Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195389
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.53 m Y = 441537

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPLAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM7



Opg. : MF/JMM d.d. 12-Jun-2003 conus : F7.5CKE/V X = 195497
 Get. : GMR d.d. 16-jun-2003 MV = NAP +9.39 m Y = 441435

Sondering volgens norm NEN 5140: klasse 2
 conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 BESTEMMINGSPAN TUSSEN HAMERSESTRAAT
 EN DE NOORDELIJKE PARALLELWEG TE WESTERVOORT

Opdr. 82020009
 Sond. DKM8



Meettechniek

Bij het uitvoeren van een sondering conform NEN 5140 wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm^2 met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken¹⁾. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) wordt door rekstrookjes in de conus continu gemeten. De meetsignalen worden via een kabel naar een elektrische meeteenheid gestuurd en tezamen met de diepte en de tijd in een computer opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten conusweerstand tegen de diepte in grafiekvorm wordt uitgewerkt. Door continue registratie van de conusweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

In de elektrische conus is standaard een hellingmeter ingebouwd waarmee tijdens het sonderen de afwijking van de conus met de verticaal wordt geregistreerd. Onjuiste diepteaanduiding als gevolg van "krom sonderen" wordt hiermee voorkomen. Afhankelijk van de sondeerklasse wordt de diepte hiervoor gecorrigeerd.

Naast de conusweerstand kunnen, bij gebruik van andere conustypen, ook andere gegevens worden gemeten. De meest toegepaste conus is de "elektrische kleefmantelconus", waarmee zowel de conusweerstand als de plaatselijke wrijvingsweerstand gelijktijdig wordt gemeten. Hiertoe is een mantel met een oppervlak van 15000 mm^2 boven de punt aangebracht. De plaatselijke wrijving wordt op dezelfde wijze als de conusweerstand gemeten en geregistreerd.

¹⁾ Volgens NEN 5140 mag het basisoppervlak tussen 500 en 2000 mm^2 variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten behoeven te worden toegepast.

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand als de plaatselijke wrijvingsweerstand maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand, vermenigvuldigd met een factor 100. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal geeft samen met de conusweerstand over het algemeen een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen, dan wel lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

grondsoort	wrijvingsgetal	grondsoort	wrijvingsgetal
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, leem, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen.

Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

type meting	meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt	registreren waterremmende lagen indicatie stijghoogte grondwater classificatie / gelaagdheid bodem
geleidbaarheid	elektrische geleiding grond en grondwater	indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens onderzoek verspreiding verontreiniging
temperatuur	temperatuurmeting op verschillende diepten	warmteoverdracht in de bodem bepaling temperatuurgradiënt
schuifgolfsnelheid (seismisch)	dynamische bodemparameters op verschillende diepten	machinefunderingen, windturbinefunderingen
versnelling	versnellingen op verschillende diepten	heirillingen / verkeerstrillingen
CPM (conuspressiometer)	spannings-tek-gedrag en sterkte in situ	bepaling grondstijfheid, horizontale korrelspanning, ongedraineerde schuifweerstand en relatieve dichtheid
MIP (membrane interface probe)	verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (rapid optical screening tool)	verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
video	videobeeld van de grond bij het passeren van de conus	nadere geotechnische classificatie / structuur informatie over bodemverontreiniging (verkleuring)

Klassenindeling NEN 5140

De norm gaat uit van vier kwaliteitsklassen. Voorafgaand aan de uitvoering dient een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse het werk uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten conusweerstand, plaatselijke wrijvingsweerstand en diepte, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

klasse	meetgrootte	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	

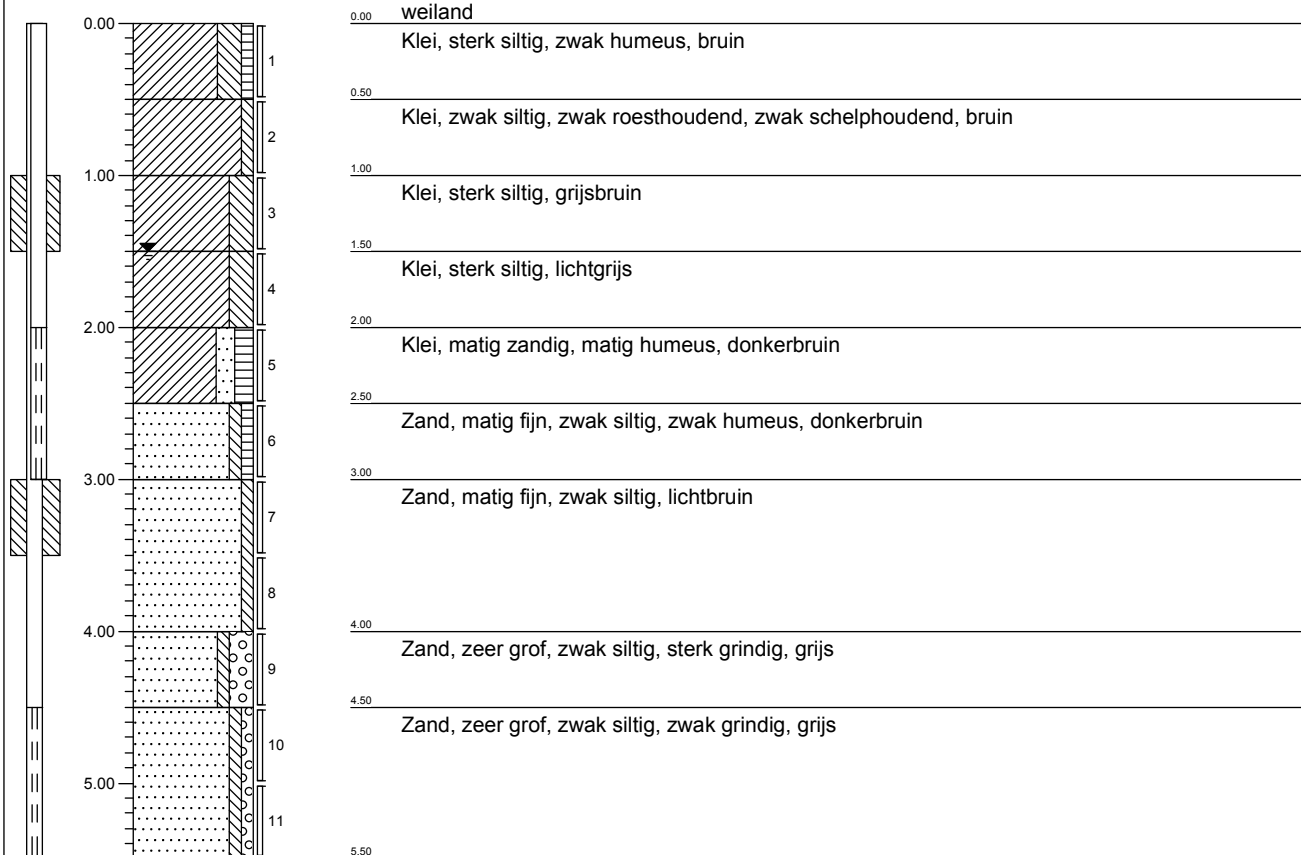
Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 1 NEN 6740 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is in slappe grondlagen met lage conusweerstand extra moeilijk om aan de eisen van klassen 1 en 2 te voldoen. Dit in tegenstelling tot grondsoorten met hoge conusweerstand. Het bij Fugro gehanteerde meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door strikte kwaliteitscontroles en calibraties. Fugro sonderingen vallen dan ook standaard in klasse 2. Klasse 1 sonderingen dienen alleen voor calibratiedoeleinden en wetenschappelijk onderzoek. Bij routinematige sonderingen kunnen de specificaties van klasse 1 sonderingen alleen door aanvullende maatregelen worden benaderd.

Boring: 45

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

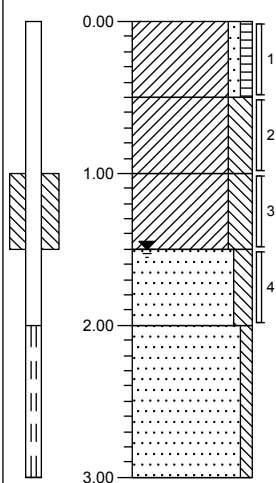
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 46

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.00	akker
	Klei, zwak zandig, zwak humeus, donkerbruin
0.50	
	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, bruin
1.00	
	Klei, sterk siltig, grijs
1.50	
	Zand, matig fijn, matig siltig, donkergrijs
2.00	
	Zand, matig grof, zwak siltig, grijs
3.00	

Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

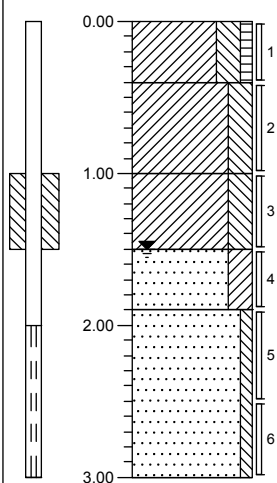
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 47

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.00	akker
	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig puinhoudend, donkerbruin
0.40	
	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, bruin
1.00	
	Klei, sterk siltig, grijs
1.50	
	Zand, matig fijn, kleiïg, grijs
1.90	
	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijsbruin
3.00	

Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP): 0
GWS (cm tov MV): 150

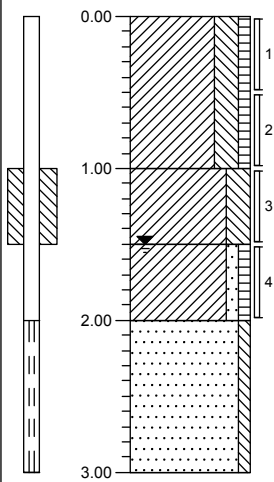
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 48

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.00	akker
	Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak roesthoudend, bruin
1.00	
	Klei, sterk siltig, matig roesthoudend, grijsbruin
1.50	
	Klei, zwak zandig, zwak humeus, donkerbruin
2.00	
	Zand, matig grof, zwak siltig, grijs
3.00	

Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

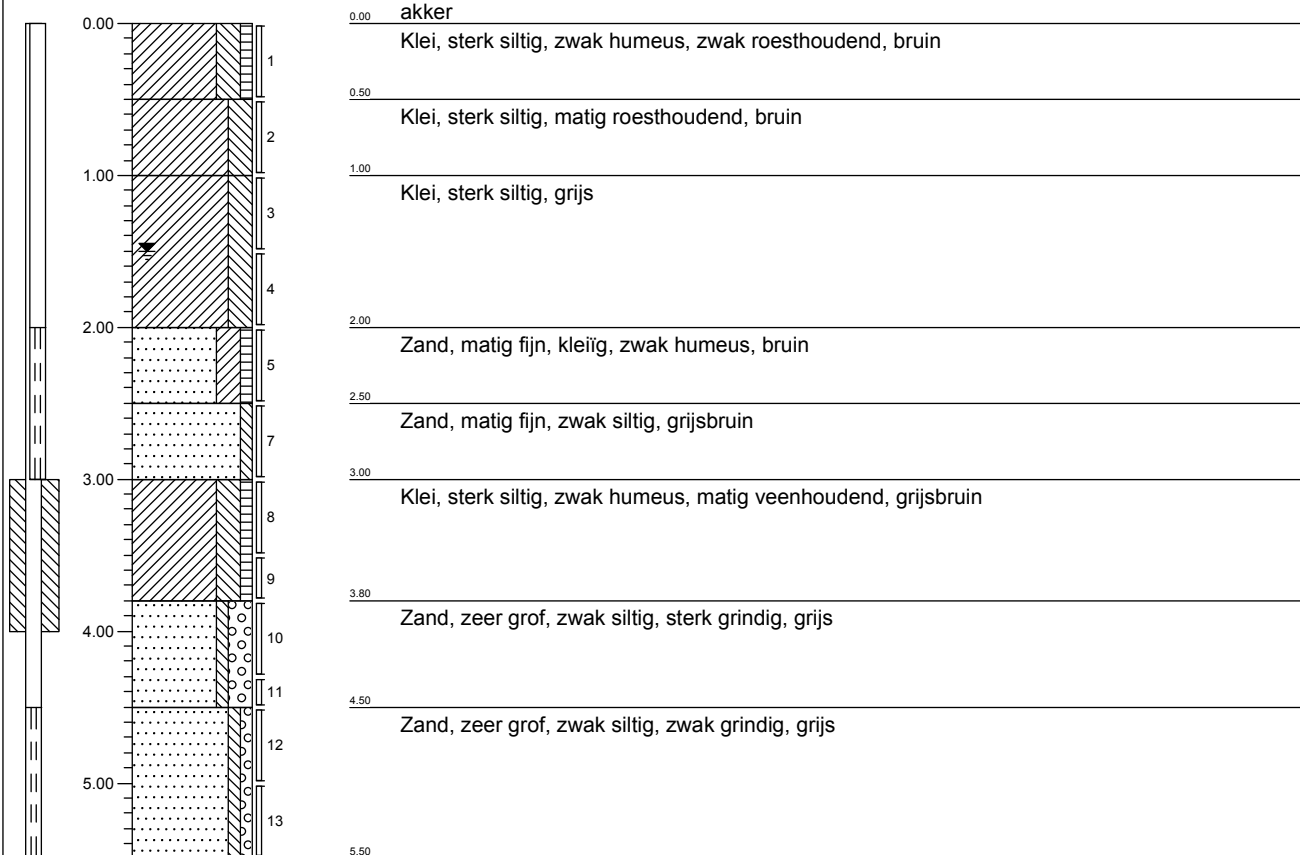
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 49

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

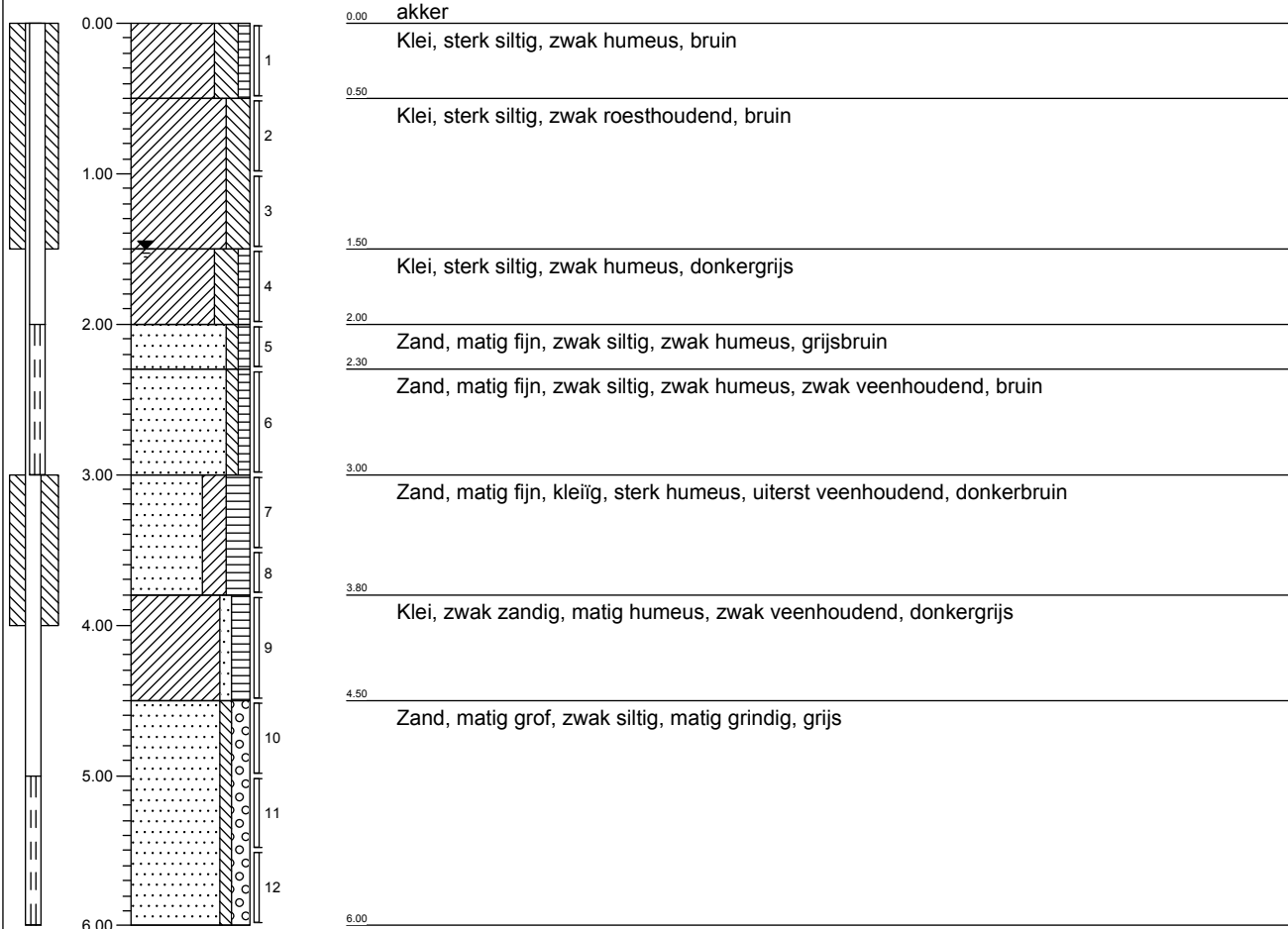
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 50

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

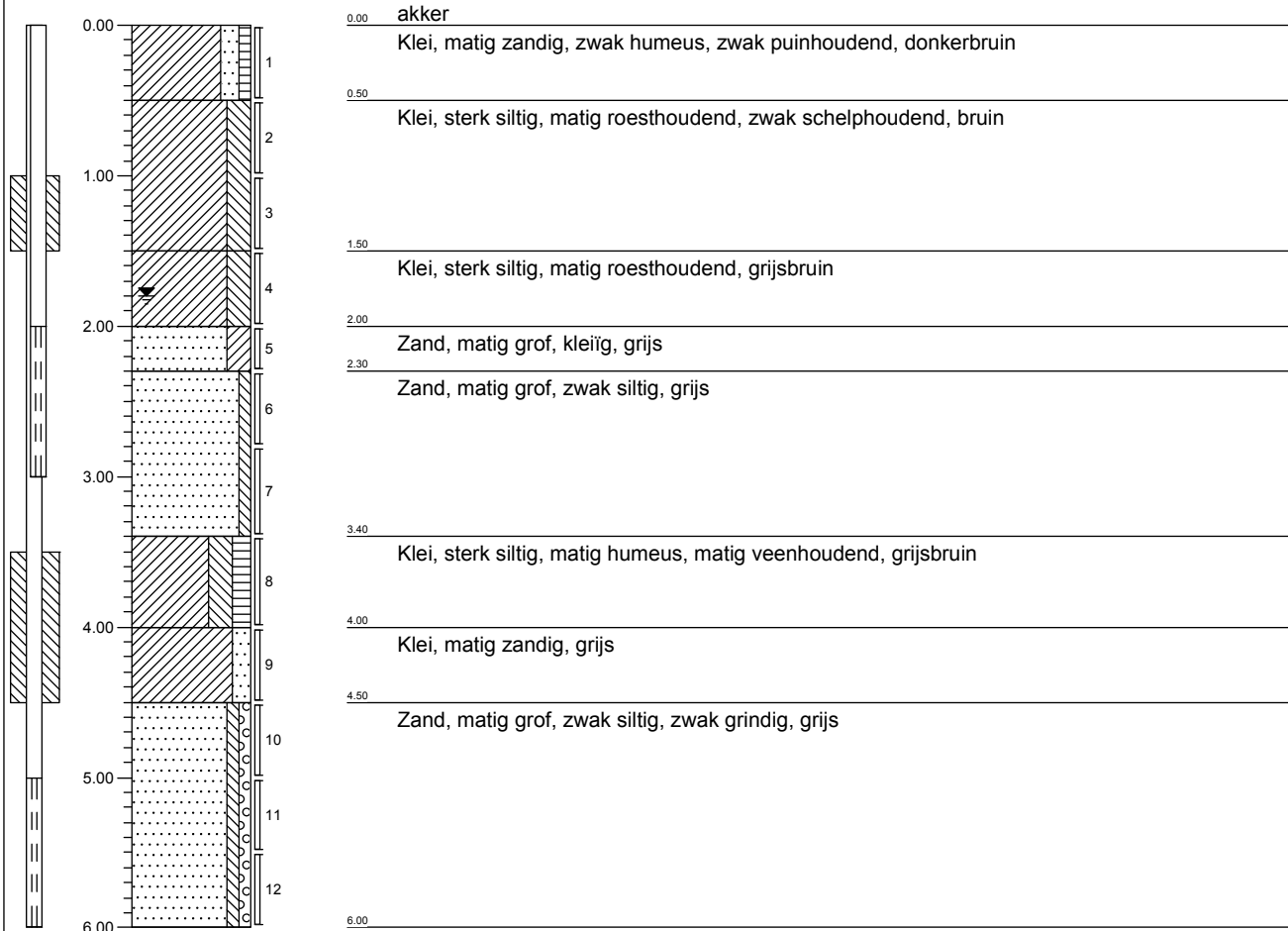
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 51

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 180

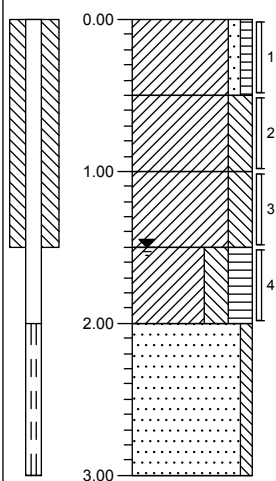
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 52

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.00	akker
	Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig puinhoudend, bruin
0.50	
	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, bruin
1.00	
	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, grijsbruin
1.50	
	Klei, sterk siltig, sterk humeus, zwak veenhoudend, donkerbruin
2.00	
	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
3.00	

Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

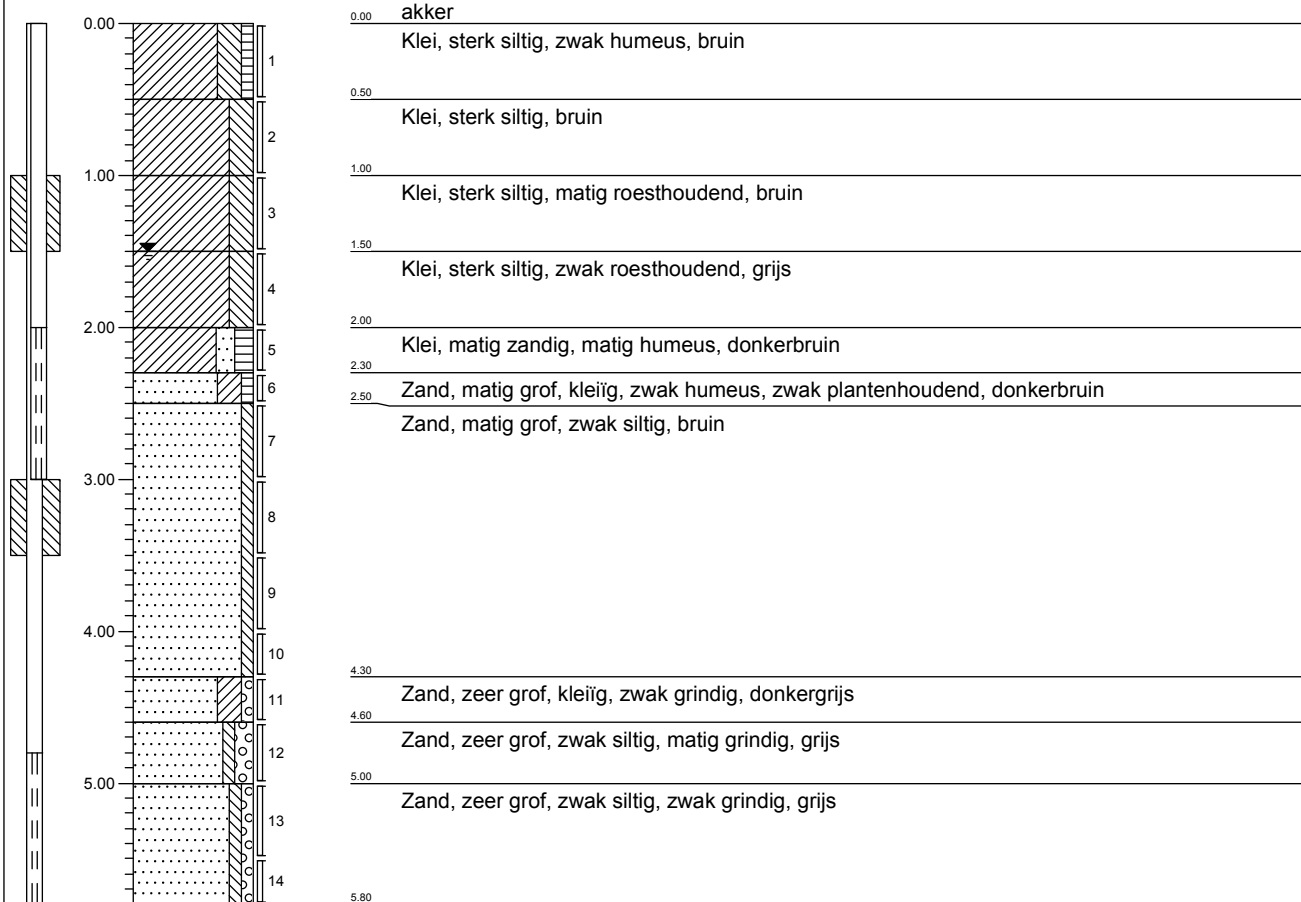
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 53

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 20-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

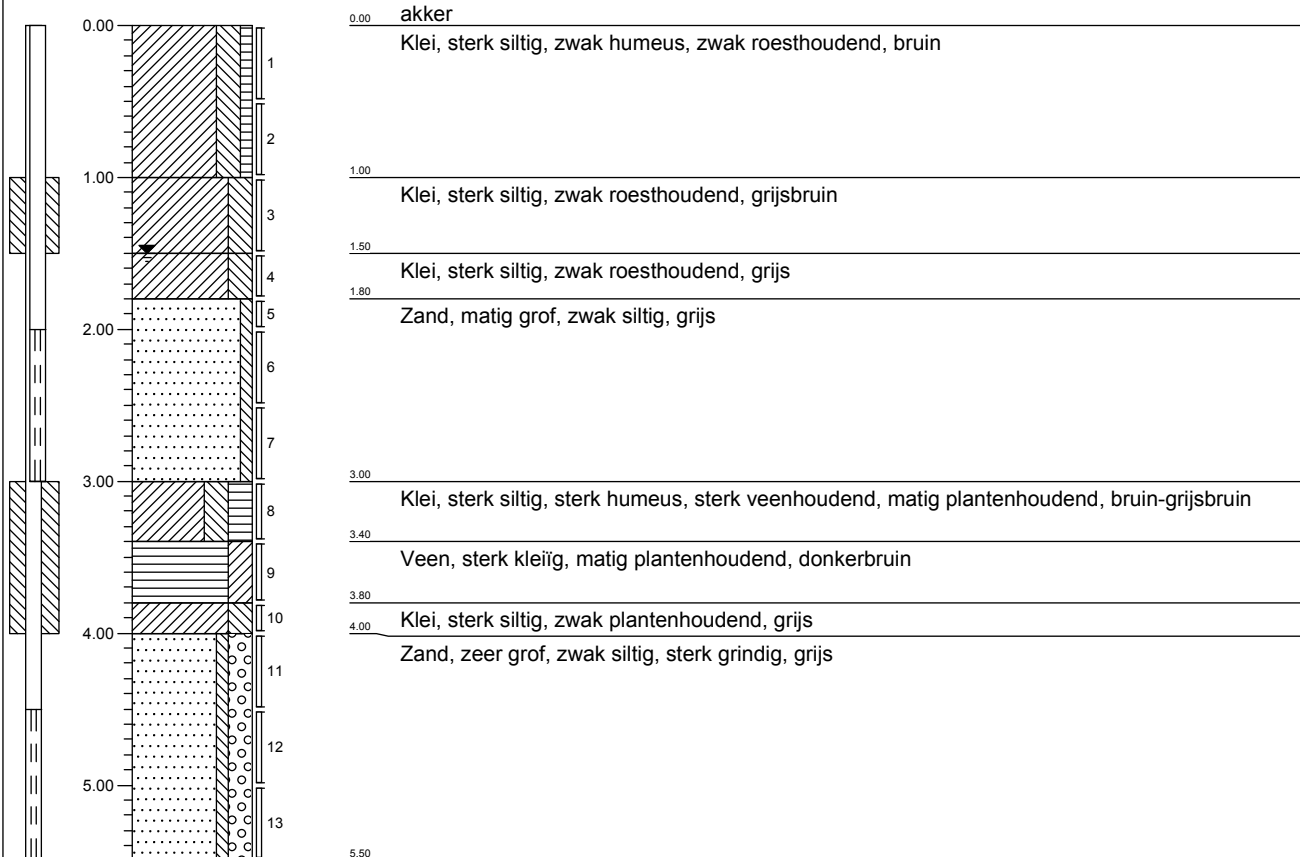
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 54

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

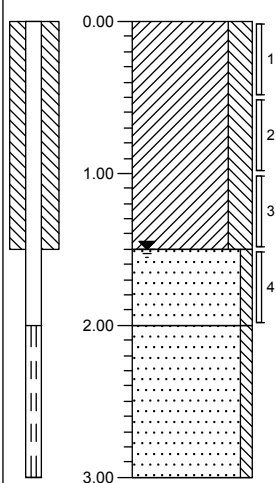
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):

Boring: 55

Diepte (m tov MV) Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.00	braak
	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, bruin
1.50	Zand, matig fijn, zwak siltig, lichtbruin
2.00	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
3.00	

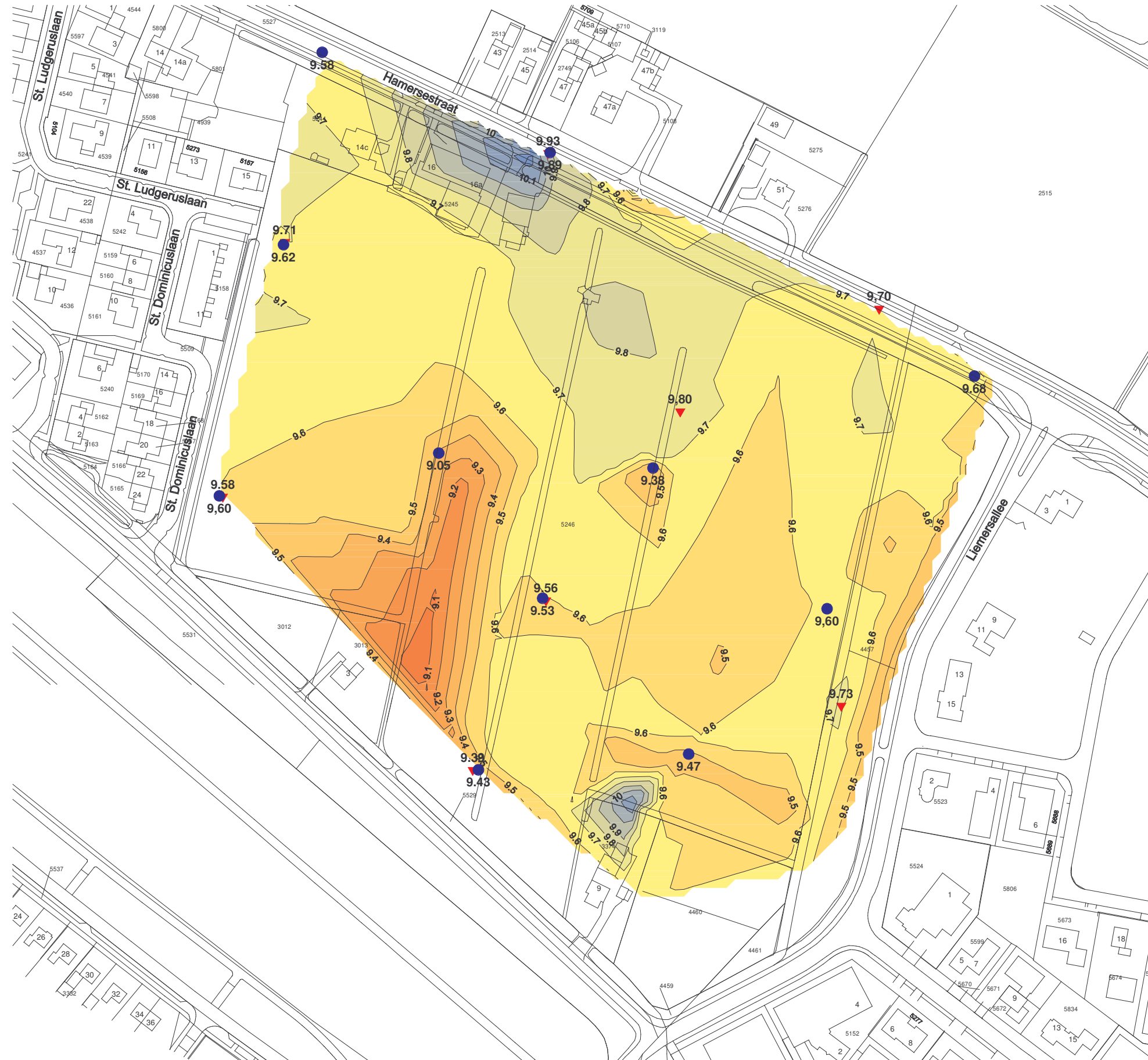
Uitvoering: 16-06-2003

X:
Y:

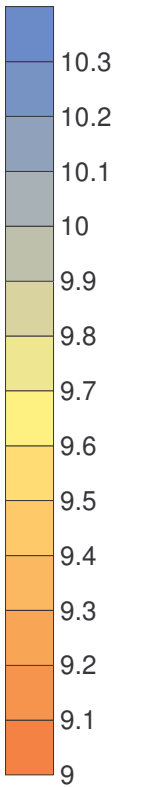
MV (m tov NAP):
GWS (cm tov MV): 150

GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov MV):



Maaiveldhoogte
in m tov NAP



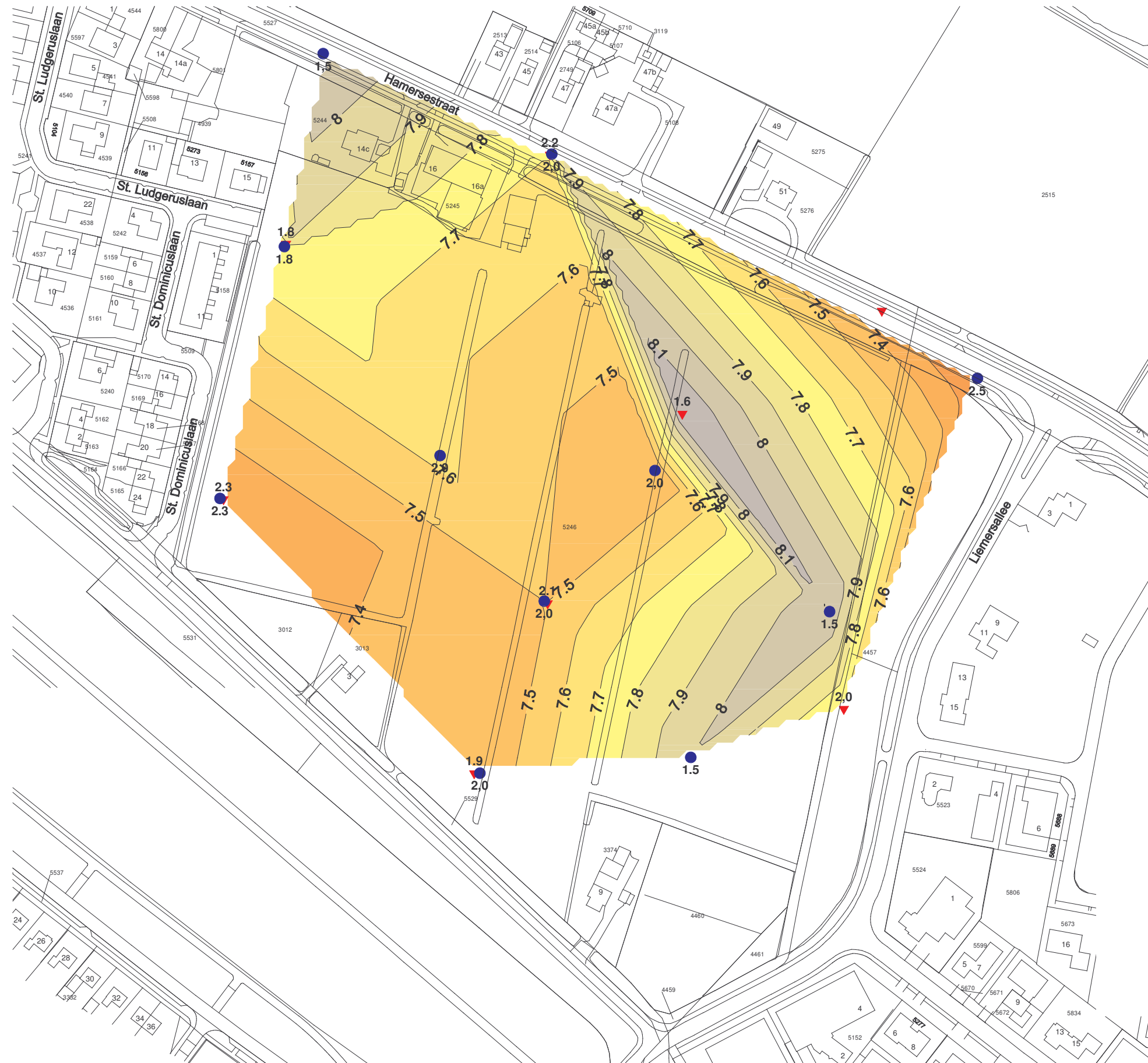
Legenda

- 9,60 MV hoogte boring
- ▼ 9,80 MV hoogte sondering

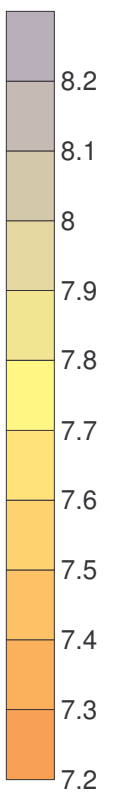
Schaal 1 : 20.000

**GEINTERPOLEERDE MAAVELDHOOGTE TIJDENS ONDERZOEK
PERIODE JUNI 2003**

NIUWBOWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT



O.k. klei(dek)laag
in m tov NAP



Legenda

- 2,0 dikte klei(dek)laag boring
- ▼ 2,0 dikte klei(dek)laag sondering

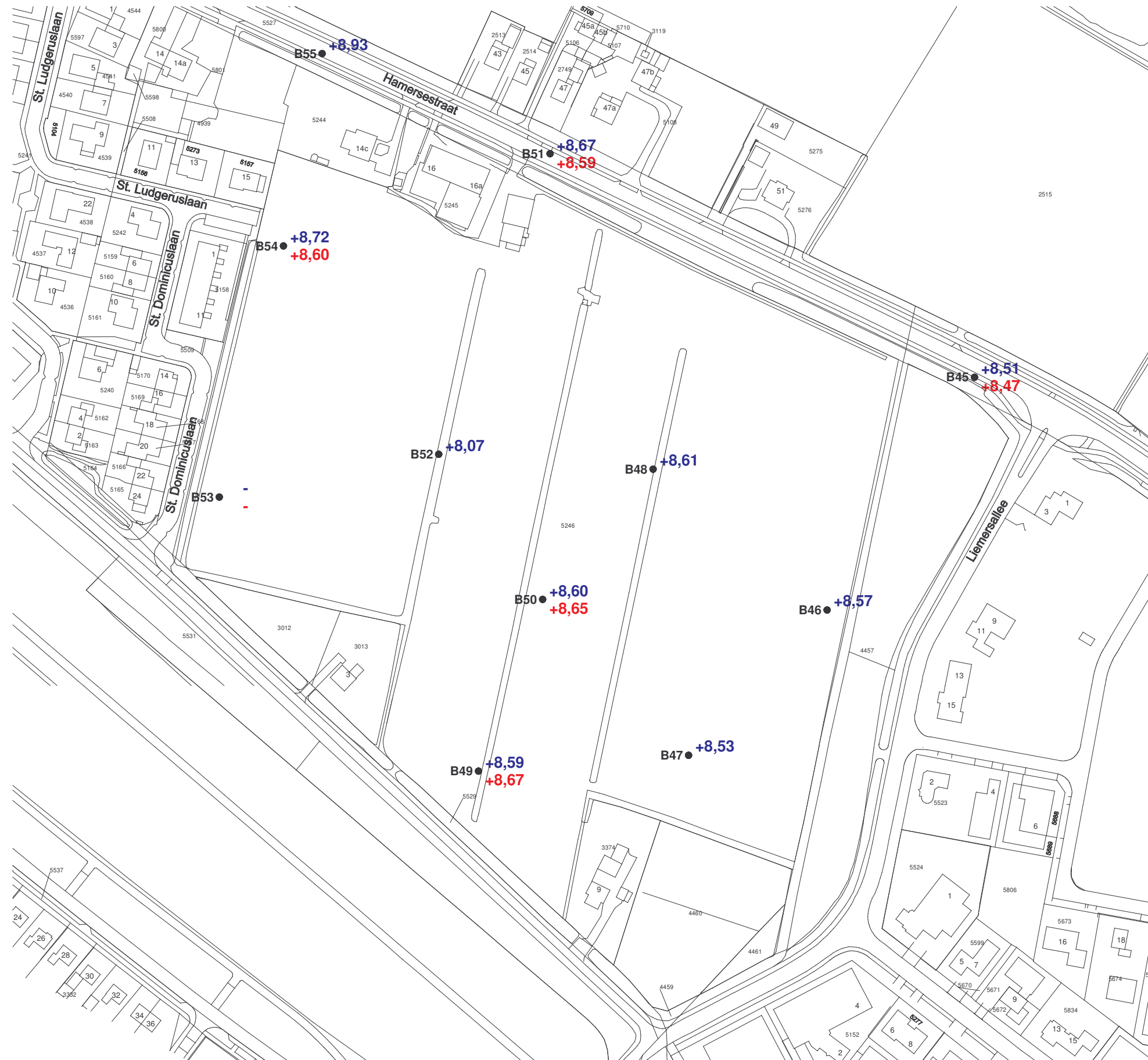
Schaal 1 : 20.000

Peilbuisgegevens mechanische boringen

Locatie peilbuis	Maaiveld [m t.o.v. NAP]	Bovenkant peilbuis [m t.o.v. NAP]	Filterafstelling [m t.o.v. NAP]	Grondwaterstand [m t.o.v. NAP] (ca.)	
				23 juni 2003	14 juli 2003
B45-ondiep	+9,68	+9,63	van +7,68 tot +6,68	+8,51	+8,24
B45-diep	+9,68	+9,55	van +5,18 tot +4,18	+8,47	+8,18
B46-ondiep	+9,60	+10,00	van +7,60 tot +6,60	+8,57	+8,15
B47-ondiep	+9,47	+10,05	van +7,47 tot +6,47	+8,53	+8,31
B48-ondiep	+9,38	+10,14	van +7,38 tot +6,38	+8,61	+8,26
B49-ondiep	+9,43	+10,02	van +7,43 tot +6,43	+8,59	+8,41
B49-diep	+9,43	+10,00	van +4,93 tot +3,93	+8,67	+8,39
B50-ondiep	+9,53	+9,95	van +7,53 tot +6,53	+8,60	+8,25
B50-diep	+9,53	+9,77	van +4,53 tot +3,53	+8,65	+8,43
B51-ondiep	+9,89	+10,46	van +7,89 tot +6,89	+8,67	+8,41
B51-diep	+9,89	+10,38	van +4,89 tot +3,89	+8,59	+8,28
B52-ondiep *	+9,05	+10,00	van +7,05 tot +6,05	+8,07	+7,72
B53-ondiep	+9,60	+10,05	van +7,60 tot +6,60	Niet gemeten	+8,27
B53-diep	+9,60	+10,12	van +4,81 tot +3,81	Niet gemeten	+8,39
B54-ondiep	+9,62	+10,19	van +7,62 tot +6,62	+8,72	+8,43
B54-diep	+9,62	+10,09	van +5,12 tot +4,12	+8,60	+8,28
B55-ondiep	+9,58	+10,36	van +7,58 tot +6,58	+8,93	+8,73

* Deze gegevens worden minder representatief geacht.

**OVERZICHT GRONDWATERSTANDEN
23 JUNI 2003 EN 14 JULI 2003**



Legenda

- +8,65 Ondiepe peilbuis
- +8,60 Diepe peilbuis

Schaal 1 : 20.000

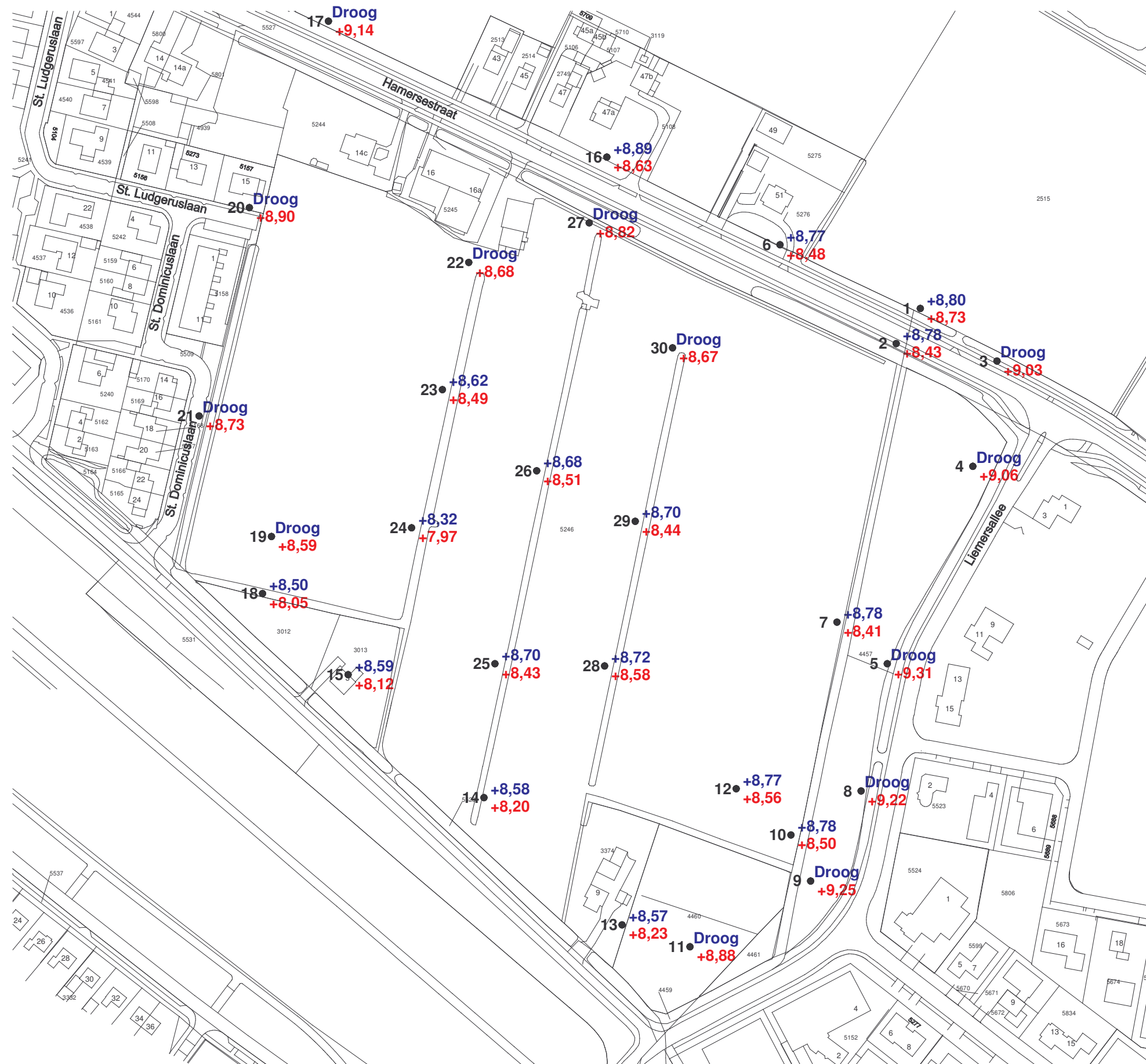
**PEILBUIZEN FUGRO TIJDENS ONDERZOEK
PERIODE 23 JUNI 2003**

NIEUWBOUWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT

Gegevens watergangen projectlocatie

Profiel	Maaiveld niveau linkerkant [m t.o.v. NAP]	Maaiveld niveau rechterkant [m t.o.v. NAP]	Slootboderniveau [m t.o.v. NAP]	Open waterpeil [m t.o.v. NAP]
				23 juni 2003
1	+10,12	+9,82	+8,73	+8,80
2	+9,79	+9,64	+8,43	+8,78
3	+10,30	+9,63	+9,03	Droog
4	+10,27	+9,53	+9,06	Droog
5	+10,26	+9,63	+9,31	Droog
6	+10,03	+9,54	+8,48	+8,77
7	+9,56	+9,41	+8,41	+8,78
8	+10,27	+9,49	+9,22	Droog
9	+10,28	+9,60	+9,25	Droog
10	+9,62	+9,39	+8,50	+8,78
11	+10,39	+9,65	+8,88	Droog
12	+9,36	+9,44	+8,56	+8,77
13	+9,96	+9,61	+8,23	+8,57
14	+9,70	+9,47	+8,20	+8,58
15	+9,68	+9,73	+8,12	+8,59
16	+10,14	+9,58	+8,63	+8,89
17	+10,19	+10,02	+9,14	Droog
18	+9,69	+9,62	+8,05	+8,50
19	+9,50	+9,39	+8,59	Droog
20	+9,93	+9,70	+8,90	Droog
21	+10,06	+9,67	+8,73	Droog
22	+9,69	+9,49	+8,68	Droog
23	+9,50	+9,56	+8,49	+8,62
24	+9,22	+9,25	+7,97	+8,32
25	+9,49	+9,49	+8,43	+8,70
26	+9,57	+9,65	+8,51	+8,68
27	+9,68	+9,57	+8,82	Droog
28	+9,57	+9,59	+8,58	+8,72
29	+9,65	+9,72	+8,44	+8,70
30	+9,70	+9,83	+8,67	Droog

**OVERZICHT OPEN WATERPEILEN
23 JUNI 2003**

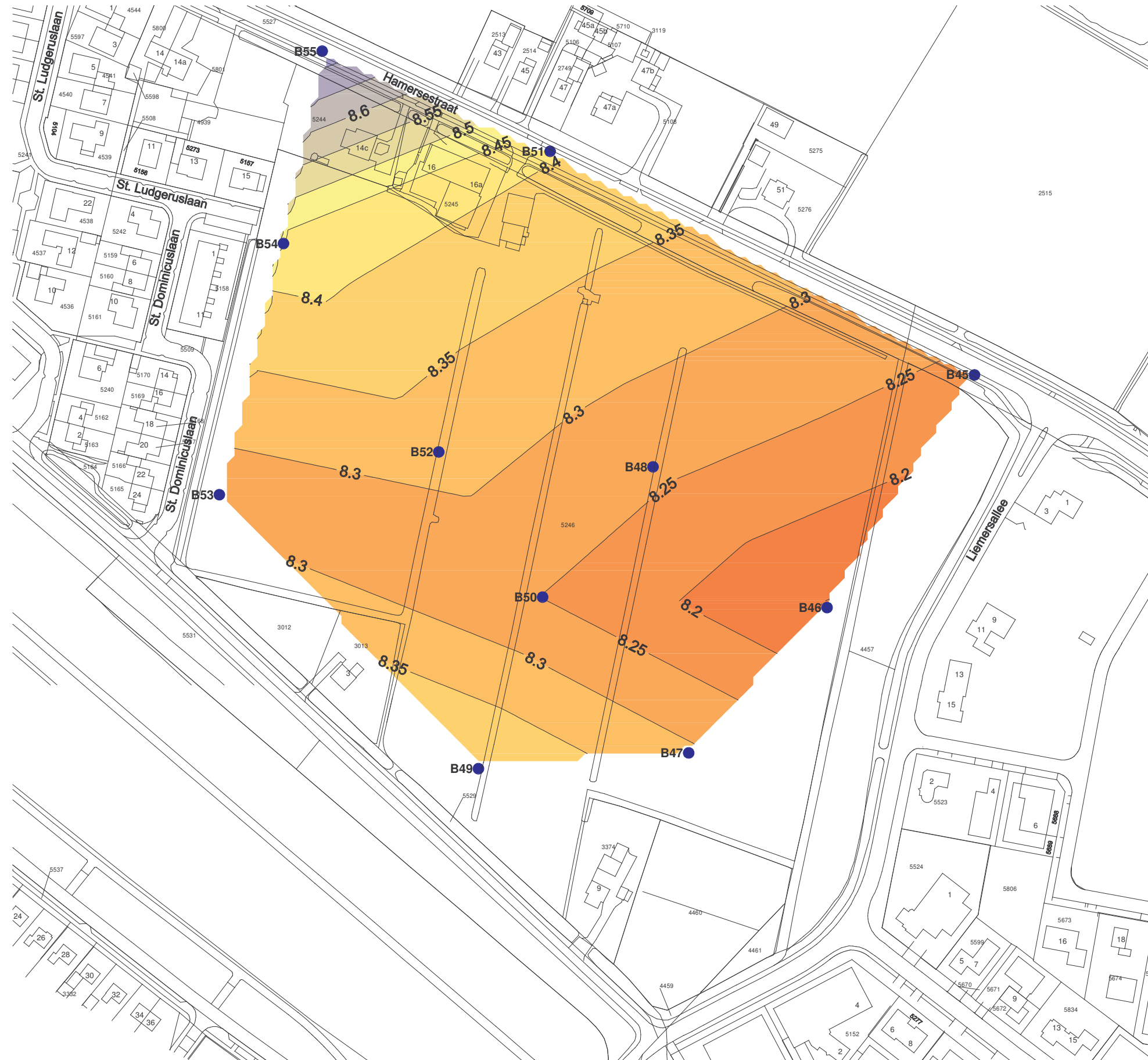


- Legenda**
- 2 ● Profielnummer
 - +8,70 Open waterpeil
 - +8,43 Slootbodem

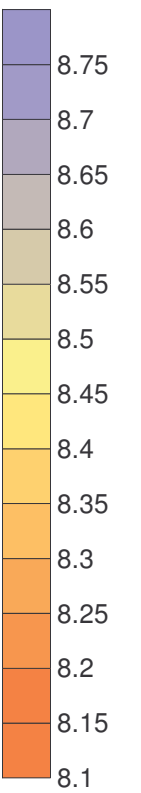
Schaal 1 : 20.000

OPEN WATERPEILEN EN SLOOTBODEMS TIJDENS ONDERZOEK
PERIODE JUNI 2003

NIJWBOWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT



Gws ondiepe pb
in m tov NAP



Legenda

● boring met ondiepe peilbuis

Schaal 1 : 20.000

GEÏNTERPOLEERDE GRONDWATERSTAND ONDIEPE PB TIJDENS ONDERZOEK
PERIODE 14 JULI 2003

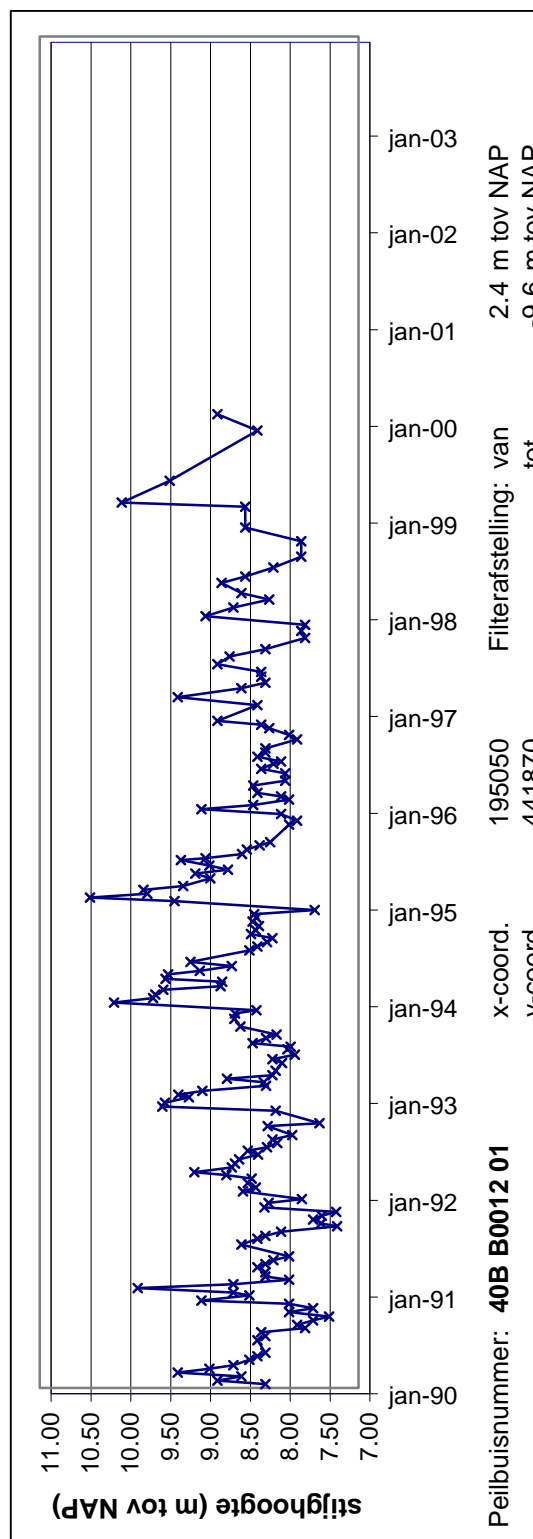
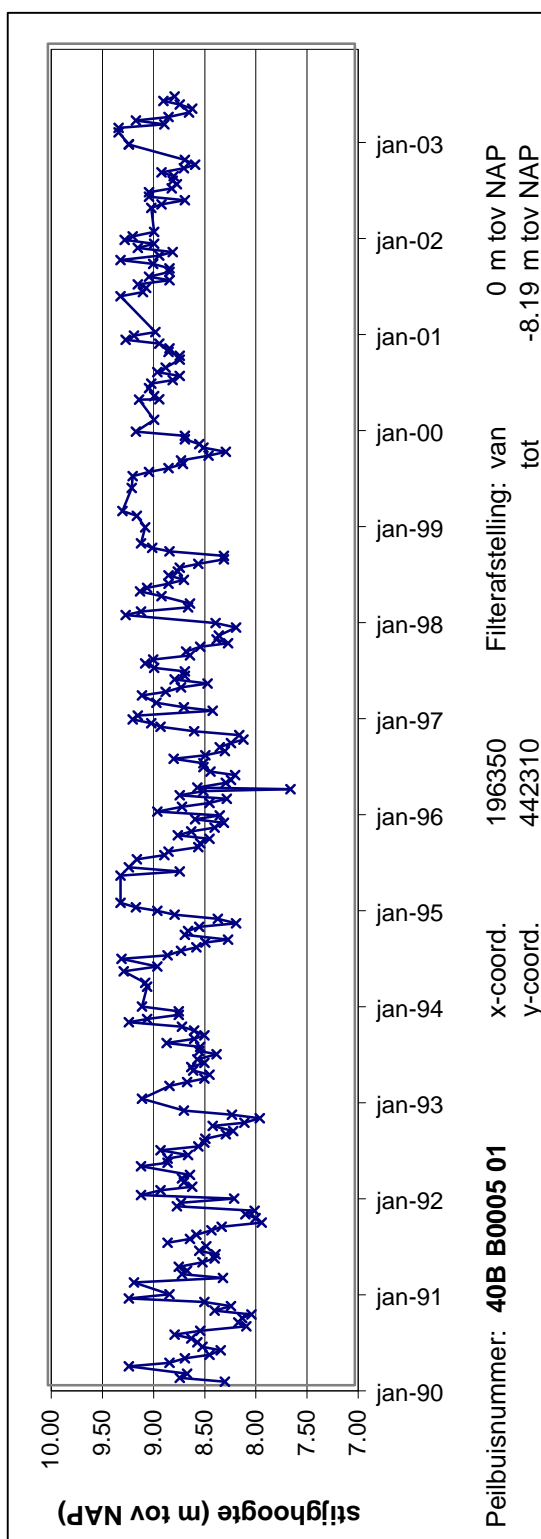
NIEUWBOUWLOCATIE HAMERDEN TE WESTERVOORT



DINO
Grondwater
NITG-TNO

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1990 tot: 1-1-2004 Ref.niveau: NAP

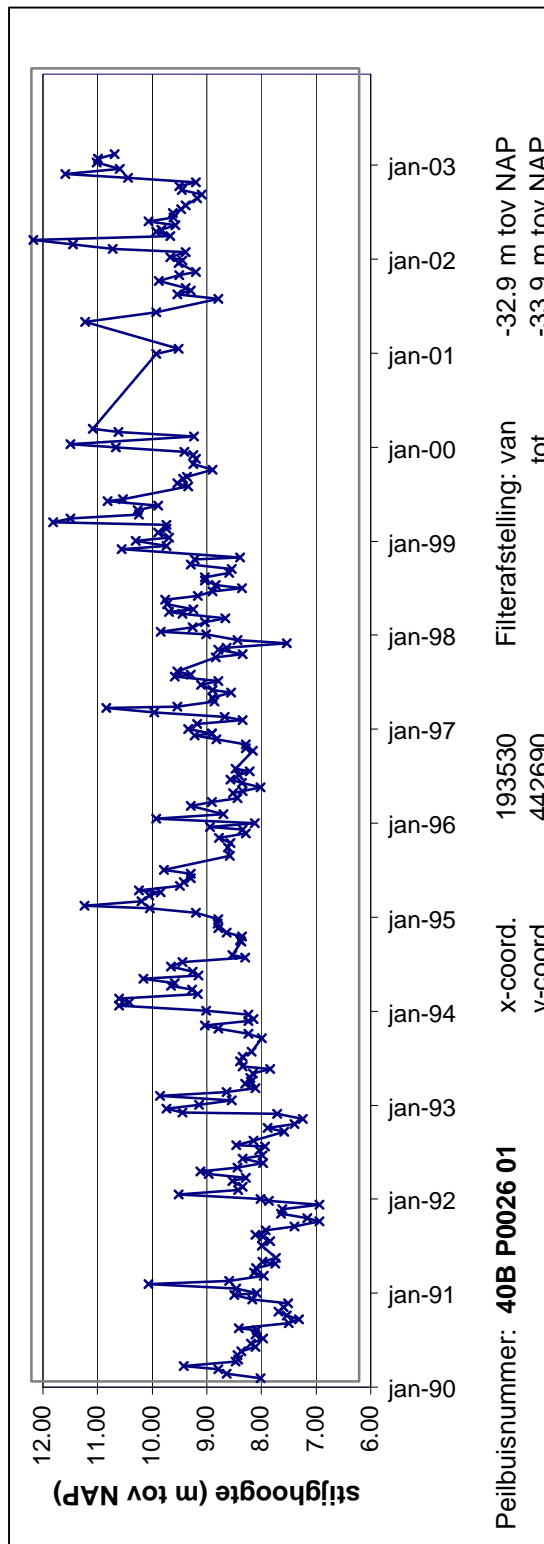
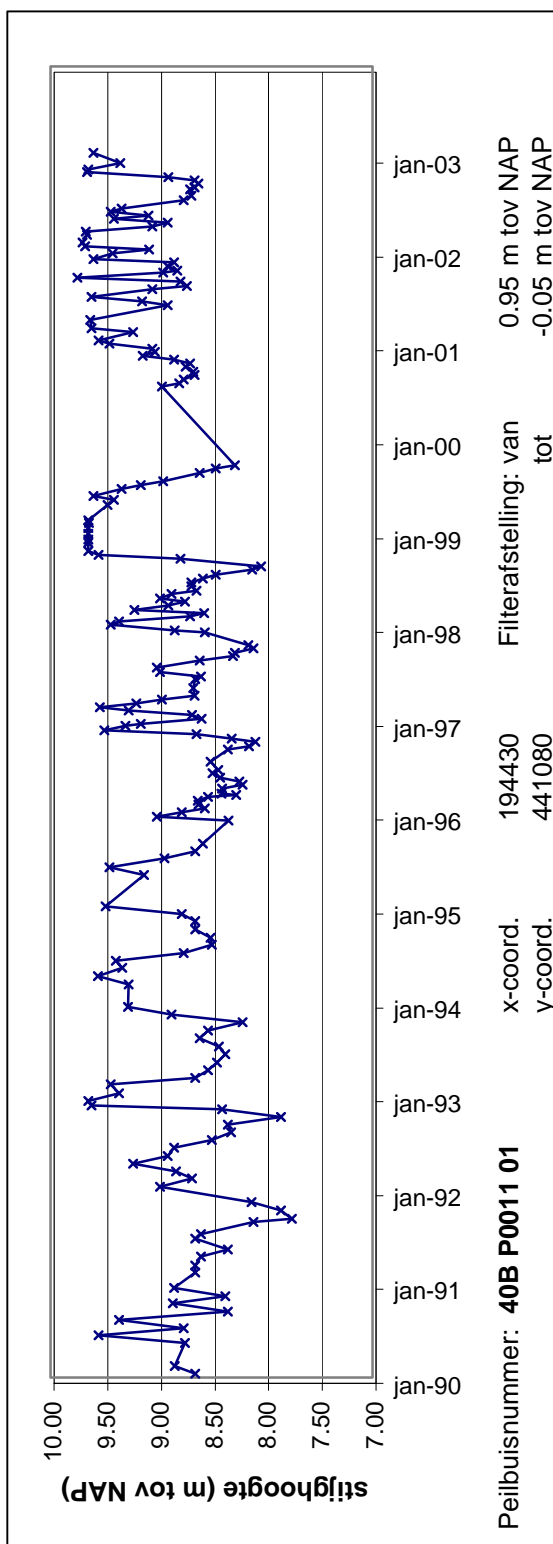




DINO
Grondwater
NITG-TNO

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1990 tot: 1-1-2004
Ref.niveau: NAP

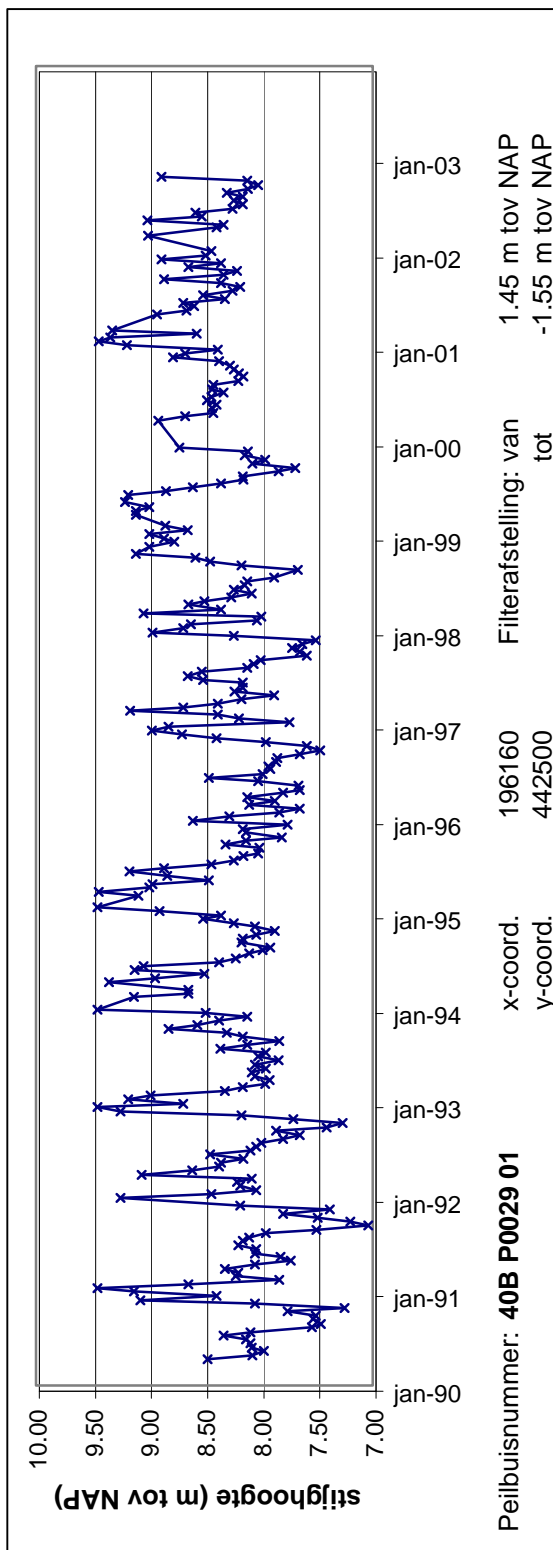




DINO
Grondwater
NITG-TNO

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1990 tot: 1-1-2004 Ref.niveau: NAP

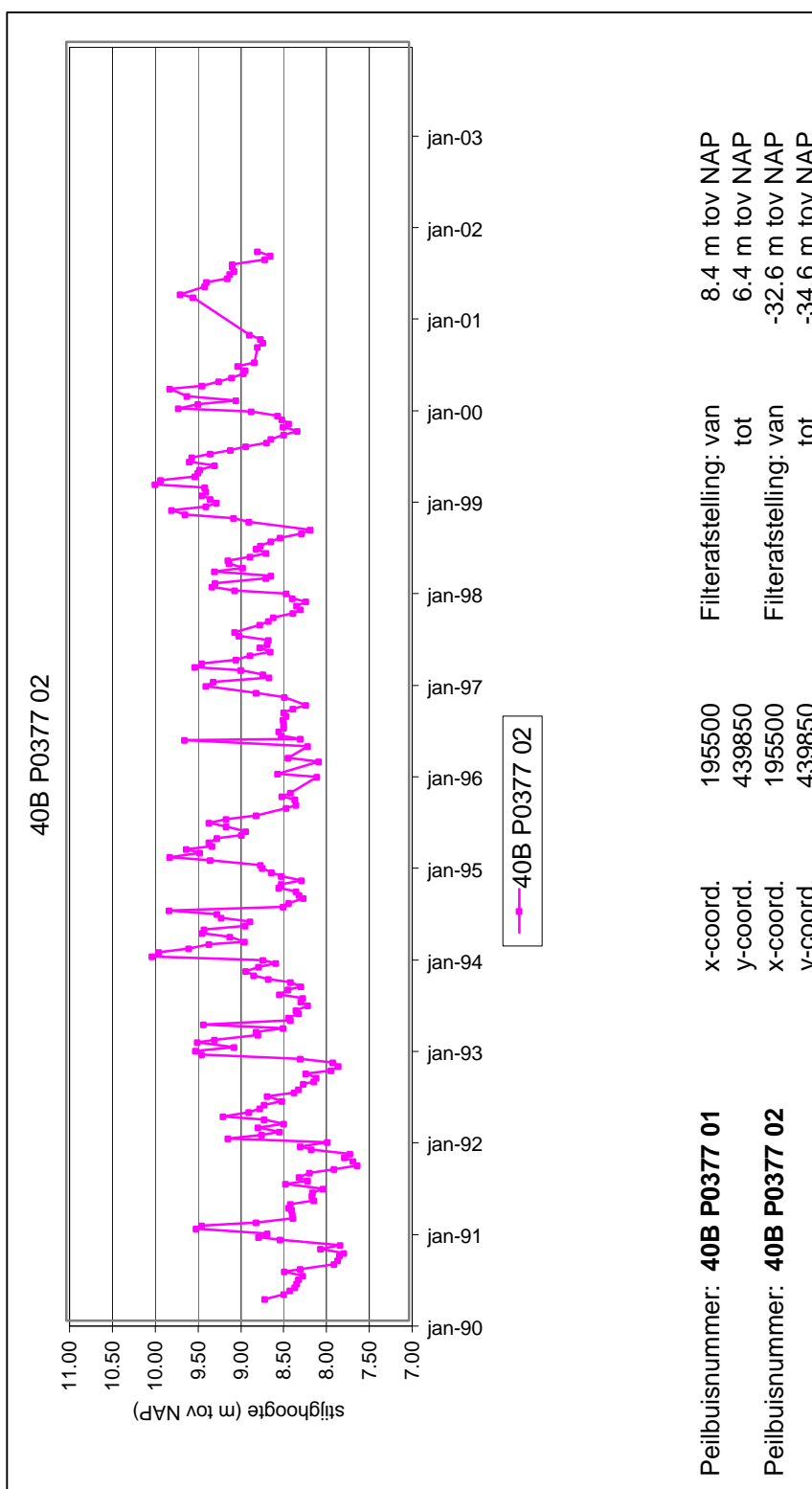




DINO
Grondwater
NITG-TNO

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1990 tot: 1-1-2004 Ref.niveau: NAP



Waterschap Rijn en IJssel

Bijlage B: Richtlijnen inrichting nieuw stedelijk gebied

Deze richtlijnen zullen aan de hand van de ervaringen aangevuld en bijgesteld worden.

Richtlijnen inrichting waterhuishouding nieuw stedelijk water door het waterschap.

- de wijze van inrichting is in overeenstemming met het stedelijk beeld.
- water, oevers, noodzakelijke onderhoudsstroken in principe in eigendom van waterschap.
- De benodigde grond zal zo mogelijk door het waterschap worden verworven. In nieuw te ontwikkelen gebieden wordt daarbij uitgegaan van de oorspronkelijke agrarische waarde.
- watergangen moeten onderhoudbaar zijn, bij voorkeur vanaf de kant, via onderhoudsstroken van 4 m breed. Indien, vanwege inrichtingseisen onderhoud vanaf het water nodig is dienen watergangen en duikers bevaarbaar (voldoende diep en breed) te zijn.
- oevers, voor zover passend in het stedelijk beeld, zonder verdediging maar stabiel (dus zo nodig flauwere taluds)
- watergangen moeten, in verband met de veiligheid voor kinderen en visueel gehandicapten voorzien worden van plasbermen van minimaal 1 m. breed;
- watergangen die permanent water voeren en niet volledig beschaduwd zijn dienen in de zomersituatie ten minste 1 m diep te zijn;
- plasbermen tellen niet mee voor de bepaling van de hydraulische afvoer-capaciteit, zij dragen wel bij aan het retentieoppervlak;
- in situaties waar beplante waterlopen van nature voorkomen en past binnen het stedelijke ontwerp is eenzijdige beplanting langs lijnvormig water ter breedte van minimaal 4 m. een optie;
- peilregulerende kunstwerken horen bij de waterhuishoudkundige voorzieningen
- overige kunstwerken zoals duikers en bruggen zijn onderdeel van de noodzakelijke ontsluiting en komen ten laste van de gemeenten. Dit zelfde geldt voor meerkosten van b.v. oeververdediging die waterbouwkundig niet noodzakelijk is en primair een functie heeft voor het in stand houden van het naast liggend gebruik (weg, hengelpaats, etc.).

NB:

Ontwerpnorm waterpartijen:

- Uitgaan van een statistische regenbui van 1 * 10 jaar (zomerhalf jaar) volgens Buishand en Velds;
- Voor de maximaal landelijke afvoer een waarde aanhouden van 1 l/s/ha, het overige water dient geborgen te worden in het gebied;
- Als maximale peilstijging in een aan te leggen waterpartij dient ca. 50 cm te worden aanhouden.

OVERZICHT RICHTLIJNEN WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

Aan het zand te stellen eisen

De grondverbetering dient uitgevoerd te worden met geschikt zand, dat goed verdichtbaar is. Het zand moet worden onderzocht op korrelverdeling, korrelvorm, humusgehalte en verdichtbaarheid. Dit geldt zowel voor het van nature aanwezige zand als voor eventueel aan te voeren zand. De vereiste eigenschappen zijn:

- De korrelfractie kleiner dan 0,063 mm dient bij voorkeur niet meer te bedragen dan 5%; indien minder strenge eisen worden gesteld aan de grondverbetering is 10% [m/m] toelaatbaar.
Opmerking: in de wegenbouw is voor zandbed volgens RAW art. 22.06.03 een gehalte van 15% toelaatbaar.
- De gelijkmatigheidscoëfficiënt D_{60}/D_{10} dient bij voorkeur tenminste 2,0 te bedragen, waarbij:
 D_{10} = korreldiameter met een zeefdoorval van 10 % [m/m]
 D_{60} = korreldiameter met een zeefdoorval van 60 % [m/m].
- De korrelvorm dient bij voorkeur hoekig te zijn.
- Het humusgehalte mag maximaal 3% [m/m] bedragen.
- De "Proctor"-curve, waarmee de verdichtbaarheid wordt aangegeven en waarin het watergehalte is uitgezet tegen de droge dichtheid, dient rond de maximum dichtheid een flauw verloop te hebben.

Zand dat minder goede eigenschappen heeft, is vaak nog wel verdichtbaar. De benodigde verdichtingsenergie kan dan echter aanzienlijk toenemen.

Verdichtingswijze

Voor een optimale verdichting van zand met bovengenoemde eigenschappen wordt de volgende werkwijze geadviseerd:

- Het ontgravingsniveau afrillen alvorens de eerste laag wordt aangebracht.
- De grondverbetering in lagen aanbrengen en verdichten met een trilplaat of trilwals in minimaal 4 gangen, kruiselings en overlappend.
- De laagdikte afstemmen op de aan te wenden verdichtingsapparatuur en de eigenschappen van het zand. In de onderstaande tabel is hiervoor een indicatie gegeven.

Apparaat	Gewicht	Laagdikte
trilplaat	1 à 2 kN	0,2 m
trilplaat	3 à 5 kN	0,3 m
hand-trilwals	6 à 8 kN	0,2 m
tandem trilwals	12 à 15 kN	0,2 m
tandem trilwals	ca 20 kN	0,3 m
zelfrijdende (tril)wals	80 à 120 kN	0,3 à 0,5 m
zelfrijdende (tril)wals	≥ 120 kN	0,5 m

Opgemerkt wordt, dat voor een grote dieptewerking in het algemeen een groot aantal gangen (10 à 15) vereist is doordat de effectiviteit met de diepte snel afneemt. Daarnaast is de staat van onderhoud van de apparatuur ook een belangrijk aspect.

- Het funderingsniveau natrillen met een lichte trilplaat indien de bovenlaag los is geschud door het gebruik van zware trilapparatuur.
- De aanlegbreedte van de grondverbetering zodanig kiezen, dat een spreiding van de funderingsdrukken mogelijk is onder een hoek van 45° met de verticaal gerekend vanaf de rand van de fundering.

Grondwaterstand en watergehalte

Tijdens de verdichting dient het grondwater dieper dan 0,5 m beneden het werkniveau te staan. Indien de grondwaterstand te hoog is, zal, afhankelijk van de doorlatendheid van het zand en de eigenschappen van de trilapparatuur, drijfzand kunnen ontstaan, waardoor verdichting onmogelijk wordt.

Het watergehalte van het zand dient tijdens het verdichten bij voorkeur 8 tot 15 gewichtsprocent te bedragen. Een en ander is af te leiden uit de Proctor-proef, waarbij het optimale watergehalte wordt bepaald in relatie tot de hoogst verkregen dichtheid.

Controle grondverbetering

De kwaliteit van de grondverbetering dient zodanig te zijn, dat minstens de hoek van inwendige wrijving wordt bereikt die in de berekening van de draagkracht is gehanteerd. De controle op de kwaliteit van de uitgevoerde grondverbetering kan geschieden op de navolgende wijze:

- Handsonderingen. De mogelijkheden hiermee zijn beperkt, zowel voor wat betreft de nauwkeurigheid als de diepte. Gesteld kan worden dat een verdichte zandlaag van 0,4 à 0,5 m hiermee te controleren is, eventueel in combinatie met een handboor.
- Sonderingen conform NEN 5140. Hierbij kan de grondverbetering tot grote diepte worden gecontroleerd.
- Dichtheidsbepalingen met behulp van volumesteekringen, nucleaire meetapparatuur, de CMC-methode, de kunststoffoliemethode of de zand-vervangingsmethode. De onderzoeksdiepte is beperkt, zodat iedere laag afzonderlijk moet worden gecontroleerd alvorens de volgende laag wordt aangebracht.

In een goede grondverbetering loopt de conusweerstand gelijkmatig op tot:

- 6 MPa op 0,3 m diepte bij handsonderingen (conusoppervlak 100 mm²)
- 10 MPa op 1,0 m diepte bij sonderingen conform NEN 5140.

De gemeten dichtheid kan ook worden gerelateerd aan de uit de Proctor proeven verkregen maximale dichtheid. In het algemeen dient de gemeten dichtheid 95 tot 98% van de standaard Proctor dichtheid te bedragen waarbij geldt dat 95% een lage eis is. Voor funderingslagen met $\varphi' = 32,5^\circ$ en voor de bovenlaag van de aardebaan is 98% een normale eis.