

RAPPORT
betreffende

**GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK
BREDIUSHAL A/D ZAAANSTRAAT TE
AMSTERDAM**

Opdrachtnummer: 4006-1107-003

Opdrachtgever : De Principaal b.v.
Postbus 2643
1000 CP AMSTERDAM

Projectleider : ing. G.J.P. Boers
Projectleider
Adviesgroep Stedelijke Hydrologie en Waterbeheer

Opgesteld door : ing. M. de Kwaadsteniet
Adviseur
Adviesgroep Stedelijke Hydrologie en Waterbeheer

Gecontroleerd door : ing. G.J.P. Boers
Projectleider
Adviesgroep Stedelijke Hydrologie en Waterbeheer

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	25 januari 2008	eerste versie	
2			
3			

FILE: 4006-1107-003.R01.doc Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
2. PROJECTOMSCHRIJVING	2
2.1. Gebruikte informatie	2
2.2. Beschrijving toekomstige situatie	2
2.3. Uitgangspunten toekomstige inrichting	3
3. BODEM- EN (GEO)HYDROLOGISCHE GESTELDHEID	4
3.1. Booronderzoek	4
3.2. Bodemgesteldheid	4
3.3. Open waterpeilen en grondwaterbeheersmaatregelen	5
3.4. Grondwaterstanden en stijghoogten	5
3.4.1. Peilbuizen Fugro	5
3.4.2. Langjarige grondwaterstandgegevens TNO-NITG	6
3.4.3. Langjarige grondwaterstandgegevens Waternet	7
4. GEOHYDROLOGISCHE MODELLERING	9
4.1. Kwalitatieve toetsing barrièrewerking	9
4.2. Modelopbouw	10
4.3. Modelresultaten	11
4.4. Belangrijke aandachtspunten	12

BIJLAGEN

• Locatieschets	4006-1107-003-1
• "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten"	
• Schetsen met principe maatvoering en dwarsdoorsneden P-kelder (model 1 en 3)	4006-1107-003-2
• Boorstaten handboringen	4006-1107-003-HB1 t/m -HB3
• Overzichtskaart peilbuizen TNO-NITG	4006-1107-003-3
• Tijd-stijghoogtegegevens peilbuizen TNO-NITG	4006-1107-003-4.1 t/m -4.5
• Overzichtskaart peilbuizen Waternet	4006-1107-003-5
• Grondwaterstandsgrafieken peilbuizen Waternet	4006-1107-003-6.1 t/m 6.3
• Theoretische onderbouwing barrièrewerking	4006-1107-003-7

1. INLEIDING

Op 12 december 2007 ontving Fugro Ingenieursbureau B.V. te Amsterdam van "De Principaal B.V." de opdracht voor het uitbrengen van adviezen met betrekking tot de gevolgen van de nieuwbouw van de Brediushal aan de Zaanstraat te Amsterdam op de lokale waterhuishouding. De wens is bij de bouw van de Brediushal om een 1 of 2-laags (parkeer)kelder onder een groot deel van de hal aan te leggen.

In deze rapportage worden adviezen gegeven met betrekking tot de effecten van de aan te leggen parkeerkelder op de lokale waterhuishouding. Met dit onderzoek wordt inzicht verkregen in de bodem- en geohydrologische gesteldheid op de projectlocatie en de mogelijke wijzigingen in de grondwaterstand als gevolg van de te realiseren ondergrondse parkeerkelder, waarbij zowel ingegaan zal worden op de effecten van een 1-laags als de effecten van een 2-laags (parkeer)kelder.

Door Fugro is op 1 maart 2007 grondonderzoek uitgevoerd, bestaande uit sonderingen. Dit onderzoek is onder het Fugronummer 4006-1107-000 uitgebracht.

De voorliggende rapportage is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 wordt een omschrijving gegeven van de toekomstige inrichting van het terrein, waarna in hoofdstuk 3 de resultaten van het uitgevoerde veldwerk worden beschreven en de bodem- en (geo)hydrologische gesteldheid van de projectlocatie. In hoofdstuk 4 worden de gemaakte grondwaterstandsberekeningen beschreven en de resultaten gepresenteerd.

2. PROJECTOMSCHRIJVING

De projectlocatie is gelegen aan de Zaanstraat te Amsterdam. De projectlocatie is driehoekig gevormd. De projectlocatie wordt aan de zuidwestzijde begrensd door het spoor (tussen station Amsterdam Centraal en station Amsterdam Sloterdijk), aan de noordoostzijde door de Zaanstraat en aan de noordzijde door het perceel Zaanstraat 354 en de achterzijde van het zwembadterrein aan de Spaarndammerdijk. De projectlocatie zelf heeft huisnummer Zaanstraat 353. Binnen het Rijksdriehoeknet heeft het plangebied globaal de coördinaten ca. X = 119.800 en Y = 489.450. Van het projectgebied is in bijlage 4006-1107-003-1 een locatieschets weergegeven.

2.1. Gebruikte informatie

In het kader van dit onderzoek zijn door de opdrachtgever de volgende schetsen aangeleverd:

- Bredius, Amsterdam, Mulleners +Mulleners architecten Amsterdam, Stedenbouwkundige bvo massastudie optimalisatie (dwarsdoorsnede B-B'), model 1, d.d. 28 november 2007, schaal 1:400;
- Bredius, Amsterdam, Mulleners +Mulleners architecten Amsterdam, Stedenbouwkundige bvo massastudie optimalisatie (dwarsdoorsnede B-B'), model 2, d.d. 28 november 2007, schaal 1:400;
- Bredius, Amsterdam, Mulleners +Mulleners architecten Amsterdam, principe maatvoering P-kelder model 1, d.d. 19 december 2007, schaal 1:400 (verdieping -1);
- Bredius, Amsterdam, Mulleners +Mulleners architecten Amsterdam, principe maatvoering P-kelder model 1, d.d. 19 december 2007, schaal 1:400 (verdieping -2);
- Bredius, Amsterdam, Mulleners +Mulleners architecten Amsterdam, principe maatvoering P-kelder model 3, d.d. 19 december 2007, schaal 1:400 (verdieping -1);

2.2. Beschrijving toekomstige situatie

Het plan betreft nieuwbouw waarbij de huidige bebouwing gesloopt zal worden. In plaats daarvan zal een vijfkantig gebouw komen met zijden van ca. 105 m (langs het spoortalud), 50 m, 35 m, 110 m en 10 m lang.

Het gebouw zal volgens het voorlopige ontwerp voor een groot deel worden onderkeldert. Er zijn twee modellen (model 1 en 3) uitgewerkt:

- Model 1 is het ontwerp, waarbij 2 lagen beneden maaiveld worden uitgevoerd. Op een vloerpeil van NAP -5,74 (-6,4 m beneden het peil van de begane grond) is een parkeerkelder geplant met een oppervlak van 2.053 m². Daarboven met een vloerpeil niveau van NAP -2,54 m (-3,2 m beneden het peil van de begane grond) komt de sporthal met kleedkamers en bergingen met een totaal oppervlak van 2.495 m².
- Model 3 is het ontwerp, waarbij 1 laag beneden maaiveld worden uitgevoerd. Op een vloerpeil van NAP -2,54 m (-3,2 m beneden het peil van de begane grond) is een parkeerkelder gepland met een oppervlak van 1.998 m².

Schetsen met de contouren, de principe maatvoering en dwarsdoorsneden van de (parkeer)kelder zijn per model weergegeven op bijlage 4006-1107-003-2.

Belangrijke bouwwerken in de buurt de nieuwbouw is met name de aardebaan van de spoorwegen. Waternet geeft aan dat de grondwaterstroming naar het open water gericht is. Door de bouw van diepe kelders kan de grondwaterstroming worden belemmerd (barrièrewerking) en kan bovenstrooms grondwateroverlast kan ontstaan. Bovenstrooms ligt de aardebaan van de spoorwegen. De spoorwegen zelf hanteren eisen aan de ontwatering

van de aardebaan. De bewoners zijn benedenstrooms van de projectlocatie gesitueerd, waarbij door barrièrewerking een verlaging van de grondwaterstand kan ontstaan.

2.3. Uitgangspunten toekomstige inrichting

Op basis van de beschikbare gegevens zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- Door de opdrachtgever is vloerpeil van de begane ter beschikking gesteld. Het vloerpeil heeft een NAP hoogte van +0,66 m. Uit het eerder uitgevoerde grondonderzoek blijkt dat het maaiveld varieert tussen ca. NAP +0,72 en ca. NAP +0,62 m.
- Voor het aanleggen van de (parkeer)kelder op de projectlocatie zal naar verwachting de bouwput binnen damwanden worden uitgevoerd. Er wordt ervan uitgegaan dat de geplande damwanden na afloop van de bouwwerkzaamheden zullen worden verwijderd. De geschatte oppervlakten en geschatte aanlegniveau's van de kelder zijn weergegeven in tabel 1;
- Aangenomen is dat de kelder waterdicht wordt uitgevoerd.

Tabel 1: Afmetingen, aanleg- en ontgravingsniveaus

Onderdeel	Oppervlak [m ²]	Vloerpeil kelder [m t.o.v. vloerpeil begane grond]	Vloerpeil kelder ¹⁾ [m t.o.v. NAP]	Aanlegniveau kelder ²⁾ [m t.o.v. NAP]
Optie 2-laags kelder (model1)	ca. 2.495 m ²⁽³⁾	ca. -6,4	ca. -5,7	ca. -6,0
Optie 1-laags kelder (model3)	ca. 1.998 m ²	ca. -3,2	ca. -2,5	ca. -2,8

¹⁾ Niveau vloerpeil.

²⁾ Aanlegniveau incl. aangenomen dikte van de keldervloer van ca. 0,30m

³⁾ Kelderverdieping -1 heeft een oppervlak van 2.495 m². Kelderverdieping -2 heeft een oppervlak van 2.053 m². Het oppervlak van kelderverdieping -1 (2.495 m²) is in de berekeningen als maatgevend oppervlak aangehouden.

3. BODEM- EN (GEO)HYDROLOGISCHE GESTELDHEID

Op basis van het geohydrologisch veldonderzoek, het voorgaande geotechnisch veldonderzoek en het Fugro archief wordt in dit hoofdstuk de bodem- en de (geo)hydrologische gesteldheid beschreven ter plaatse van de onderzoekslocatie.

3.1. Booronderzoek

Op 26 februari 2007 zijn ter verkenning van de toplagen en de actuele grondwaterstand 3 handboringen (tot 3,0 m – MV) uitgevoerd. De resultaten van de uitgevoerde handboringen zijn gegeven op handboorstaten 4006-1107-003-HB1 t/m -HB3. De diepte is hierop uitgezet in meters ten opzichte van NAP. In elk boorgat is een ondiep peilfilter afgesteld.

De locaties van de handboringen zijn aangegeven in bijlage 4006-1107-003-1. Voor een verklaring van de op boorstaten gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

3.2. Bodemgesteldheid

Op basis van de genoemde bronnen is de bodemgesteldheid ter plaatse van de geplande kelder geschematiseerd zoals weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Bodembeschrijving

Diepte in m t.o.v. NAP (ca.)	Bodembeschrijving	Laag
+0,62 à +0,72	Maaiveld	0
+0,62 à +0,72 tot -3,2 à -3,5	ZAND, matig fijn tot matig grof, zwak tot matig siltig, niet tot matig humeus, al dan niet kleilig - Ter plaatse van HB2 wordt vanaf ca. NAP -1,11 m tot onderzijde boring een zwak siltige, sterk humeuze kleilaag aangetroffen - Ter plaatse van HB3 komt op ca. NAP -0,08 tot -0,23 m een matig zandig kleilaagje voor van ca. 0,15 m dikte - Maximaal verkende diepte handboringen Fugro ca. NAP -2,3 m	1
-3,2 à -3,5 tot -5,2 à -5,6	VEEN	2
-5,2 à -5,6 tot -13,2 à -13,9	KLEI - De kleilaag wordt over de gehele laagdikte doorsneden door diverse zandlaagjes. - Bij alle sonderingen wordt aan de onderzijde van de kleilaag vanaf ca. NAP -12,8 à -13,4 m tot ca. NAP -13,2 à -13,9 m een basisveenlaagje aangetroffen	3/4 ^{*)}
-13,2 à -13,9 tot -15,4 à -17,4	ZAND	5
-15,4 à -17,4 tot -16,2 à -18,1	KLEI Deze laag wordt met name aangetroffen ter plaatse van DKM3 t/m DKM5	4 ^{*)}
-16,2 à -18,1 tot -25,7 à -26,7	ZAND Ter plaatse van DKM4 komt op ca. NAP -17,8 à -18,1 m een kleilaagje voor	5
-25,7 à -26,7	Maximaal verkende diepte sonderingen Fugro	

^{*)} De kleilaag wordt over de gehele laagdikte doorsneden door diverse zandlaagjes. Deze laag is daarom in het model geschematiseerd als twee lagen (3 en 4). Een watervoerende laag 3 (schematisatie van de diverse zandlaagjes binnen de kleilaag) en één waterremmende laag 4 (schematisatie van de kleilaag).

^{**)} Deze laag is in het model niet geschematiseerd, vanwege de zeer beperkte invloed van deze laag op de barrièrewerking door de aanleg van de kelder op het freatische grondwater.

Met behulp van de Grondwaterkaart van Nederland, literatuur en de resultaten van het bodemonderzoek is de ondergrond geohydrologisch geschematiseerd.

Op basis van het uitgevoerde bodemonderzoek en met behulp van de Grondwaterkaart van Nederland is inzicht verkregen in de geohydrologische gesteldheid op de projectlocatie. Tijdens het onderzoek varieerde het maaiveldniveau ter plaatse van de projectlocatie van ca. NAP +0,62 m tot ca. NAP +0,72 m. Vanaf maaiveld wordt een ca. 3,5 à 4,0 m dikke topzandlaag aangetroffen. Deze laag is naar verwachting opgebracht. Lokaal worden in de laag kleilagen aangetroffen (HB2 en HB3). Onder de zandige toplaag wordt vanaf ca. NAP -3,2 à -3,5 tot een veenlaag aangetroffen. Onder deze veenlaag wordt vanaf ca. NAP -5,2 à -5,6 een kleilaag aangetroffen. Deze kleilaag wordt over de gehele laagdikte doorsneden door diverse zandlaagjes. De veen- en kleilagen behoren regionaal gezien tot de deklaag. De dikte van de deklaag bedraagt ca. 15 à 20 m. Hieronder bevindt zich tot ca. NAP -25,0 à -35,0 m het 1^e watervoerend pakket, bestaande uit een zandpakket lokaal doorsneden door kleilaagjes. Het 1^e watervoerend pakket heeft een dikte van ca. 10 à 15 m. Onder het 1^e watervoerend pakket bevindt zich een scheidende laag met een dikte van ca. 30 à 40 m.

3.3. Open waterpeilen en grondwaterbeheersmaatregelen

Op de locatie is geen open water aanwezig. Aan de noordzijde van de locatie loopt de weg Spaarndammerdijk. Ten noorden hiervan bevindt zich het Noordzeekanaal. Deze bevindt zich op ca. 525 à 725 m van de projectlocatie. Het waterpeil in het Noordzeekanaal wordt op ca. NAP -0,4 m gehandhaafd. Onbekend is of er op de projectlocatie, dan wel nabij de projectlocatie, drainage of drainerende voorzieningen aanwezig zijn.

3.4. Grondwaterstanden en stijghoogten

Informatie over de grondwaterstand en stijghoogten is verkregen uit de door Fugro geplaatste peilbuizen, het grondwaterarchief van TNO-NITG, het grondwaterarchief van Waternet en uit de Grondwaterkaart van Nederland.

3.4.1. Peilbuizen Fugro

Tijdens het uitvoeren van het grondonderzoek d.d. 26 februari 2007 zijn in de handboringen peilbuizen geplaatst. De freatische grondwaterstanden zijn op 26 februari 2007 na plaatsing van de peilbuizen, op 5 maart 2007, 11 december 2007 en 2 januari 2008 gemeten. De locatie van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 4006-1107-003-1. In bijlage 4006-1107-003-HB1 t/m -HB3 zijn de boorstaten van de handboringen weergegeven met daarin de filterafstelling van de peilbuizen. In tabel 3 is een overzicht gegeven van de door Fugro uitgevoerde peilbuismetingen op de locatie.

Tabel 3: Overzicht peilbuismetingen Fugro

Peilbuizen	Maaiveld niveau [m t.o.v. NAP]	Bovenkant peilbuis [m t.o.v. NAP]	GWS ¹⁾ 26-2-2007 [m t.o.v. NAP]	GWS 5-3-2007 [m t.o.v. NAP]	GWS 11-12-2007 [m t.o.v. NAP]	GWS 2-1-2008 [m t.o.v. NAP]
HB1	+0,72	+0,63	+0,01	-0,05	-0,27	-0,36
HB2	+0,69	+0,60	+0,19	+0,16	-0,07	-0,18
HB3	+0,67	+0,59	+0,17	+0,15	-0,08	-0,19

¹⁾ Opname grondwaterstand direct na plaatsing peilbuis.

Op basis van bovenstaande peilbuisgegevens kan het volgende worden opgemerkt:

- Op 26 februari 2007 zijn de hoogste grondwaterstanden gemeten. Op basis van deze meting kan worden gesteld dat op de projectlocatie grondwaterstanden van ca. NAP +0,19 m kunnen voorkomen;
- De hoogst gemeten grondwaterstand bedraagt ca. NAP +0,19 m (HB2) op 26-2-2007;
- De laagst gemeten grondwaterstand bedraagt ca. NAP -0,36 m (HB1) op 2-1-2008;
- De fluctuatie in de peilbuizen tijdens de meetperiode bedraagt ca. 0,4 m. Opgemerkt dient te worden dat de tussenliggende periode tussen de waarnemingen maximaal 9 maanden bedraagt;
- Het verhang op de locatie bedraagt ca. 0,20 m. Opgemerkt wordt dat dit is bepaald op basis van vier metingen, waarvan één meting is uitgevoerd tijdens het plaatsen van de peilbuizen;
- Uit de gemeten grondwaterstanden blijkt dat de waarnemingen op de locaties HB1 en HB2 nagenoeg gelijk zijn;
- De ontwateringsdiepten variëren gedurende de meetperiode tussen ca. MV -0,5 m (HB3) en MV -1,1 m (HB1);
- Op basis van de gemeten grondwaterstanden is geen duidelijke stroomrichting van het grondwater op de maken. De peilbuizen in HB2 en HB3 laten namelijk een vergelijkbaar grondwaterstandverloop zien. Verwacht wordt dat de lokale grondwaterstroming noordelijk gericht is, richting het open water ten noorden van de Spaarndammerdijk.

3.4.2. Langjarige grondwaterstandgegevens TNO-NITG

Ter verificatie van de grondwaterstanden op de projectlocatie en om inzicht te krijgen in de mate van grondwaterstandfluctuatie zijn uit het grondwaterarchief van TNO-NITG een vijftal datasets met peilbuismetingen opgevraagd. Een overzicht van de peilbuislocaties is weergegeven in bijlage 4006-1107-003-3. De tijd-stijghoogtegrafieken zijn weergegeven in bijlage 4006-1107-003-4.1 t/m -4.5. De gegevens zijn samengevat in tabel 4. Bij dit project wordt uitgegaan van de verwachte maatgevende hoge, lage en gemiddelde grondwaterstand over de meetperiode. De "maatgevend hoge" ligt daarbij beperkt hoger dan de GHG (Gemiddeld Hoge Grondwaterstand) en wordt als meer maatgevend gezien voor ontwerpberoekeningen. De in tabel 4 genoemde waarden zijn niet middels een statistische analyse tot stand gekomen.

Tabel 4: Overzicht grondwaterstandsgegevens TNO-NITG

Peilbuis	Afstand tot projectlocatie [m]	Peilbuisfilter [m t.o.v. NAP]	Hoog ¹⁾ [m t.o.v. NAP]	Gemiddeld [m t.o.v. NAP]	Laag [m t.o.v. NAP]
B25B0330-01	ca. 2.200 (Z-ZW)	ca. -14,45 tot -15,45 (1 ^e WVP)	ca. -2,3	ca. -2,5	ca. -2,7
B25B0330-02	ca. 2.200 (Z-ZW)	ca. -19,90 tot -20,90 (1 ^e WVP)	ca. -2,3	ca. -2,5	ca. -2,7
B25B1005-01	ca. 1.100 (N-NW)	ca. -16,72 tot -17,72 (1 ^e WVP)	ca. -2,0	ca. -2,2	ca. -2,4
B25B1005-02	ca. 1.100 (N-NW)	ca. -27,72 tot -28,72 (1 ^e WVP)	ca. -2,0	ca. -2,2	ca. -2,4
B25B1020-01	ca. 1.200 (Z-ZW)	ca. -2,46 tot -3,46 (deklaag)	ca. -0,1	ca. -0,3	ca. -0,5
B25B1020-02	ca. 1.200 (Z-ZW)	ca. -12,77 tot -13,77 (1 ^e WVP)	ca. -2,3	ca. -2,5	ca. -2,7
B25B1020-03	ca. 1.200 (Z-ZW)	ca. -25,84 tot -26,84 (1 ^e WVP)	ca. -2,3	ca. -2,5	ca. -2,7
B25B0823-01	ca. 800 (O-ZO)	ca. -1,36 tot -2,36 (deklaag)	ca. +0,1	ca. -0,2	ca. -0,5
B25B0823-02	ca. 800 (O-ZO)	ca. -13,27 tot -14,27 (1 ^e WVP)	ca. -2,3	ca. -2,5	ca. -2,6

¹⁾ Incidenteel kunnen de grondwaterstanden hoger stijgen.

De filters van de peilbuizen van TNO-NITG staan afgesteld in de deklaag en het 1^e watervoerend pakket. Op basis van de grondwaterstandgegevens van TNO-NITG kan het volgende worden opgemerkt:

- Op de projectlocatie zijn geen peilbuizen van het landelijke meetnet van TNO-NITG aanwezig.
- Peilbuis B25B1020 en B25B0823 staan afgesteld in de deklaag. De jaarlijkse fluctuatie in deze peilbuizen bedraagt naar verwachting ca. 0,4 à 0,6 m;
- Op basis deze twee peilbuizen is geen duidelijke stroomrichting van het grondwater op de maken. Verwacht wordt dat de lokale grondwaterstroming noordelijk gericht is richting het open water;
- Peilbuizen B25B0330, B25B1005, B25B1020 en B25B0823 staan afgesteld in het 1^e watervoerend pakket. De jaarlijkse fluctuatie in het plangebied bedraagt naar verwachting ca. 0,3 à 0,4 m;
- De maatgevend hoge grondwaterstand op de projectlocatie wordt geraamd op ca. NAP -2,2 m. De gemiddelde grondwaterstand op de projectlocatie wordt geraamd op ca. NAP -2,4 m;
- Incidenteel kunnen de grondwaterstanden op de projectlocatie kortstondig hoger stijgen dan de genoemde maatgevend hoge grondwaterstand.
- Op basis van bovenstaande peilbuisgegevens en de Grondwaterkaart van Nederland wordt verwacht dat de grondwaterstroming in het 1^e watervoerend pakket noord-, noordoostelijk gericht is.

3.4.3. Langjarige grondwaterstandgegevens Waternet

Ter verificatie van de grondwaterstanden op de projectlocatie en om inzicht te krijgen in de mate van grondwaterstandfluctuatie zijn tevens uit het grondwaterarchief van Waternet een drietal datasets met peilbuismetingen opgevraagd. Een overzicht van de peilbuislocaties is weergegeven in bijlage 4006-1107-003-5. De grondwaterstandgrafieken zijn weergegeven in bijlage 4006-1107-003-6.1 t/m -6.3. De gegevens zijn samengevat in tabel 5. Bij dit project wordt uitgegaan van de verwachte maatgevende hoge, lage en gemiddelde grondwaterstand over de meetperiode. De "maatgevend hoge" ligt daarbij beperkt hoger dan de GHG (Gemiddeld Hoge Grondwaterstand) en wordt als meer maatgevend gezien voor ontwerpberoeeningen. De in tabel 5 genoemde waarden zijn niet middels een statistische analyse tot stand gekomen.

Tabel 5: Overzicht grondwaterstandsgegevens Waternet

Peilbuis	Afstand tot projectlocatie [m]	Peilbuisfilter [m t.o.v. NAP]	Hoog ¹⁾ [m t.o.v. NAP]	Gemiddeld [m t.o.v. NAP]	Laag [m t.o.v. NAP]
C05080A	ca. 50 (Z-ZW)	ca. -1,85 tot -2,85 (deklaag)	ca. -0,2	ca. -0,4	ca. -0,6
C05113A	ca. 30 (N)	ca. -2,06 tot -3,06 (deklaag)	ca. -0,2	ca. -0,4	ca. -0,6
C05125A	ca. 130 (O-NO)	ca. -1,90 tot -2,90 (deklaag)	ca. -0,1	ca. -0,3	ca. -0,5

¹⁾ Incidenteel kunnen de grondwaterstanden hoger stijgen.

De filters van de peilbuizen van Waternet staan afgesteld in de deklaag. Op basis van de grondwaterstandgegevens van Waternet kan het volgende worden opgemerkt:

- Op de projectlocatie zijn geen peilbuizen van Waternet aanwezig.
- Alle drie de peilbuizen staan afgesteld in de deklaag. De jaarlijkse fluctuatie in deze peilbuizen bedraagt naar verwachting ca. 0,4 m;

- Incidenteel kunnen de grondwaterstanden op de projectlocatie kortstondig hoger stijgen dan de genoemde maatgevend hoge grondwaterstand;
- Op basis deze drie peilbuizen is geen duidelijke stroomrichting van het grondwater op de maken. De peilbuizen C05080A en C05113A laten namelijk een vergelijkbare (gemiddelde, hoge en lage) grondwaterstand zien. Verwacht wordt dat de lokale grondwaterstroming noord-, noordoostelijk gericht is, richting het open water ten noorden van de Spaarndammerdijk.

4. GEOHYDROLOGISCHE MODELLERING

4.1. Kwalitatieve toetsing barrièrewerking

In dit hoofdstuk is nagegaan of de in hoofdstuk 2 beschreven keldervarianten (Optie 2-laags kelder [model1] en Optie 1-laags kelder [model3]) een significant effect hebben op de lokale grondwaterstanden. Aangenomen wordt dat bij de aanleg van de kelder rondom geen permanente damwand zal worden aangebracht. Het aanbrengen van de kelder heeft mogelijk tot gevolg dat de grondwaterstroming nabij de projectlocatie wijzigt ten gevolge van barrièrewerking. In bijlage 4006-1107-003-7 wordt barrièrewerking nader toegelicht. Samengevat kan significante barrièrewerking optreden onder de volgende omstandigheden:

- 1) Wanneer sprake is van een significant verhang van de grondwaterspiegel over de beschouwde locatie;
- 2) Wanneer een watervoerende laag over meer dan 60 à 70% van de totale hoogte van de laag wordt doorsneden,
 - a) waarbij de totale barrière een significante breedte loodrecht op de grondwaterstromingsrichting heeft van enkele tot meerdere tientallen meters;
 - b) waarbij de totale barrière een significante lengte in de richting van de grondwaterstroming heeft van meerdere tientallen meters;
- 3) Wanneer de watervoerende laag aan boven- en onderzijde wordt begrensd door waterremmende lagen met een grote weerstand van enkele honderden tot (enkele) duizend(en) dagen waardoor voeding in verticale zin (verwaarloosbaar) klein blijft.

Ad 1: Barrièrewerking is alleen aan de orde indien er sprake is van een verhang van de grondwaterspiegel over de projectlocatie. Op basis van de gemeten grondwaterstandgegevens op de projectlocatie blijkt dat er tijdens de meetperiode sprake was van een licht verhang naar verwachting richting het noorden (van ca. 0,2 m). Dit kan barrièrewerking veroorzaken.

Ad 2: Bij een freatisch pakket is de doorstroomde dikte van de watervoerende laag afhankelijk van de grondwaterstand. Uitgaande van de gemeten grondwaterstanden in de peilbuizen op de projectlocatie en een onderzijde van het doorsneden pakket op een diepte van ca. NAP -3,2 à -3,5 m blijkt dat de watervoerende zandige toplaag in de situatie met een 1-laags kelder (model 3) over een dikte van ca. 85% wordt doorsneden. In de situatie met een 2-laags kelder (model 1) bedraagt de doorsneden dikte 100% van de zandige toplaag, waarbij tevens de onder liggende "scheidende" veenlaag volledig wordt doorsneden. De barrièrewerking wordt in de regel significant bij 60 à 70% doorsnijding van de watervoerende laag. Verwacht wordt dat voor zowel de 1-laags kelder als de 2-laags kelder barrièrewerking zal optreden. Zowel loodrecht op de stroming als met de stroming mee is er, gezien de breedte en lengte van de constructie, sprake van een significante doorsnijding van de zandige toplaag.

Ad 3: Een waterremmende laag met een geringe weerstand onder de doorsneden watervoerende laag kan zorgen voor een vermindering van de barrièrewerking. Onder de zandige toplaag is een scheidende veen- en kleilaag aanwezig. Deze heeft een redelijke weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Hierdoor is er sprake van relatief weinig stroming naar de onderliggende watervoerende laag (1^e watervoerend pakket) en vindt slechts een geringe vermindering van de barrièrewerking plaats. Gezien het potentiaalverschil tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het

1^e watervoerend pakket kan worden opgemaakt dat er een redelijke weerstand tegen verticale grondwaterstroming in deklaag aanwezig zal zijn.
Op basis van bovenstaande gegevens wordt verwacht dat er barrièrewerking optreedt. Dit komt met name doordat de watervoerende zandige toplaag voor meer dan 60 à 70% wordt doorsneden. Om deze uitspraak kwantitatief te kunnen onderbouwen zijn modelberekeningen uitgevoerd.

4.2. Modelopbouw

Om inzicht te krijgen in de mate van barrièrewerking is gekozen voor de modellering in het eindige elementen programma MicroFem (versie 4.00). Hiermee is een ontwerp van de modelgrenzen en het elementennetwerk gemaakt waarin de geohydrologische uitgangspunten zijn opgenomen. Bij het opstellen van randvoorwaarden en uitgangspunten voor het model is tevens gebruik gemaakt van de inrichtingsplannen zoals deze zijn beschreven in hoofdstuk 2 en de analyse van de bodem- en geohydrologische gesteldheid in hoofdstuk 4.

Op basis van de in tabel 3 weergegeven bodemschematisatie is de in tabel 6 weergegeven geohydrologische schematisatie opgesteld. Hierbij is de weerstand tegen verticale grondwaterstroming door een waterremmende laag weergegeven met een c-waarde en is het horizontaal doorlaatvermogen van een watervoerende laag weergegeven met een kD-waarde. De genoemde parameterwaarden zijn geraamd op basis van ervaring, gegevens uit het Fugro archief en de literatuur, en zijn niet in het veld geverifieerd. De in tabel 6 weergegeven geohydrologische schematisatie is in de modelberekeningen toegepast.

Tabel 6: Geohydrologische schematisatie

Laag	Typering	Geohydrologische parameterwaarden c en kD
0	Infiltratieoppervlak	ondoorlatend
1	Watervoerende topzandlaag	kD = 25 m ² /dag
2	Waterremmende veenlaag	c = 70 dagen
3*	Watervoerende zandlaag	kD = 15 m ² /dag
4*	Waterremmende kleilaag	c = 40 dagen
5	Watervoerende laag (1 ^e WVP)	kD = 400 m ² /dag

* De kleilaag onder de veenlaag wordt over de gehele laagdikte doorsneden door diverse zandlaagjes. Deze kleilaag is daarom in het model geschematiseerd als twee lagen (3 en 4). Eén watervoerende laag 3 (schematisatie van de diverse zandlaagjes binnen de kleilaag) en één waterremmende laag 4 (schematisatie van de kleilaag).

Tijdens de meetperiode werd over de projectlocatie een grondwaterstandsverschil van ca. 0,2 m aangetroffen. Gekozen is om het tijdens de meetperiode waargenomen verschil te modelleren als uitgangssituatie. Hierbij zijn verder de volgende stappen ondernomen:

- Het model is opgesteld volgens het superpositiebeginsel. Hierbij is aan de modelgrenzen een dusdanig peil opgelegd dat over de aan te leggen parkeerkelder een grondwaterstandsverschil van ca. 0,2 m ontstaat (uitgangssituatie);
- In het model is vervolgens op de locatie van de kelder een ondoorlatende laag aangebracht met een diepte overeenkomstig het aanlegniveau van de kelder. Deze situatie is als toekomstige situatie beschouwd. Deze stap is zowel voor een 1-laags als voor een 2-laags kelder uitgevoerd;

- Het effect van het aanbrengen van de kelder op de lokale grondwaterstand is bepaald door het verschil te berekenen tussen de grondwaterstanden in de toekomstige situatie en de grondwaterstanden in de uitgangssituatie;
- De berekeningen zijn uitgevoerd volgens het principe van stationaire grondwaterstroming.

4.3. Modelresultaten

De modelresultaten (de verschilsituatie tussen de huidige en de toekomstige situatie) zijn voor beide opties weergegeven in tabel 7. Op basis van de berekeningen wordt het volgende geconcludeerd:

Situatie met een 1-laags kelder (model 3) met een aanlegniveau van ca. NAP -2,8 m:

- Ten zuiden van de projectlocatie zullen de grondwaterstanden stijgen. Deze stijging bedraagt direct naast de geplande kelder halverwege de zuidzijde van de kelderwand ca. 4 à 5 cm;
- Ten noorden van de projectlocatie zullen de grondwaterstanden dalen. Deze daling bedraagt direct naast de geplande kelder halverwege de noordzijde van de kelderwand ca. 2 à 3 cm;
- De grootste verschillen doen zich voor in het midden van de kelderwanden aan de zuidoost- en zuidwestzijde (bovenstroomse) en in het midden van de kelderwanden aan de noordoost- en noordwestzijde (benedenstroomse). Naar de zijkanten (de oost en de westzijde van de kelder) nemen de verschillen ten opzichte van de huidige situatie af.

Situatie met een 2-laags kelder (model 1) met aanlegniveau van ca. NAP -6,0 m:

- Ten zuiden van de projectlocatie zullen de grondwaterstanden stijgen. Deze stijging bedraagt direct naast de geplande kelder halverwege de zuidzijde van de kelderwand ca. 6 à 7 cm;
- Ten noorden van de projectlocatie zullen de grondwaterstanden dalen. Deze daling bedraagt direct naast de geplande kelder halverwege de noordzijde van de kelderwand ca. 3 à 4 cm;
- De grootste verschillen doen zich voor in het midden van de kelderwanden aan de zuidoost- en zuidwestzijde (bovenstroomse) en in het midden van de kelderwanden aan de noordoost- en noordwestzijde (benedenstroomse). Naar de zijkanten (de oost en de westzijde van de kelder) nemen de verschillen ten opzichte van de huidige situatie af.

Tevens is het verschil bepaald tussen een 1-laags en een 2-laags kelder. Uit de modelberekeningen blijkt dat bij de aanleg van een 2-laags kelder de stijging van de grondwaterstand bovenstrooms van de kelder ca. 2 cm meer is dan bij de aanleg van een 1-laags kelder.

Tabel 7: Berekende stationaire grondwaterstandverschillen ter plaatse van het midden van de kelder

Situatie	Locatie (afstand tot damwand)	Wijziging grondwaterstand in meter t.o.v. gemodelleerde huidige situatie					
		0	10	25	50	100	150
1-laags kelder (model 3)	Noordzijde	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
	Zuidzijde	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
2-laags kelder (model 1)	Noordzijde	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00
	Zuidzijde	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01

Opgemerkt wordt dat de waarden van de in dit rapport gebruikte geohydrologische parameters in de praktijk kunnen afwijken. Hierdoor kan de werkelijke verhoging van de grondwaterstand afwijken van de berekende verhoging. Tevens kan de werkelijke verhoging en/of verlaging afwijken doordat het werkelijk verhang van het grondwater afwijkt van de in dit rapport genoemde waarden (o.a. tijdens hevige neerslag).

In de berekeningen is geen rekening gehouden met de invloed van open water ten noorden van de projectlocatie, eventueel aanwezige andere ontwateringsmiddelen (drainage) en de invloed van neerslag.

4.4. Belangrijke aandachtspunten

Benadrukt wordt dat deze rapportage betrekking heeft op de aanleg van een 1-laags en een 2-laags (parkeer)kelder met de in hoofdstuk 2 beschreven afmetingen, locatie en diepteligging. In geval van wijzigingen in het ontwerp of de ligging van de parkeerkelder en de aanleg binnen een permanente damwand, dienen in overleg nieuwe berekeningen te worden uitgevoerd.

Aarde baan spoorwegen

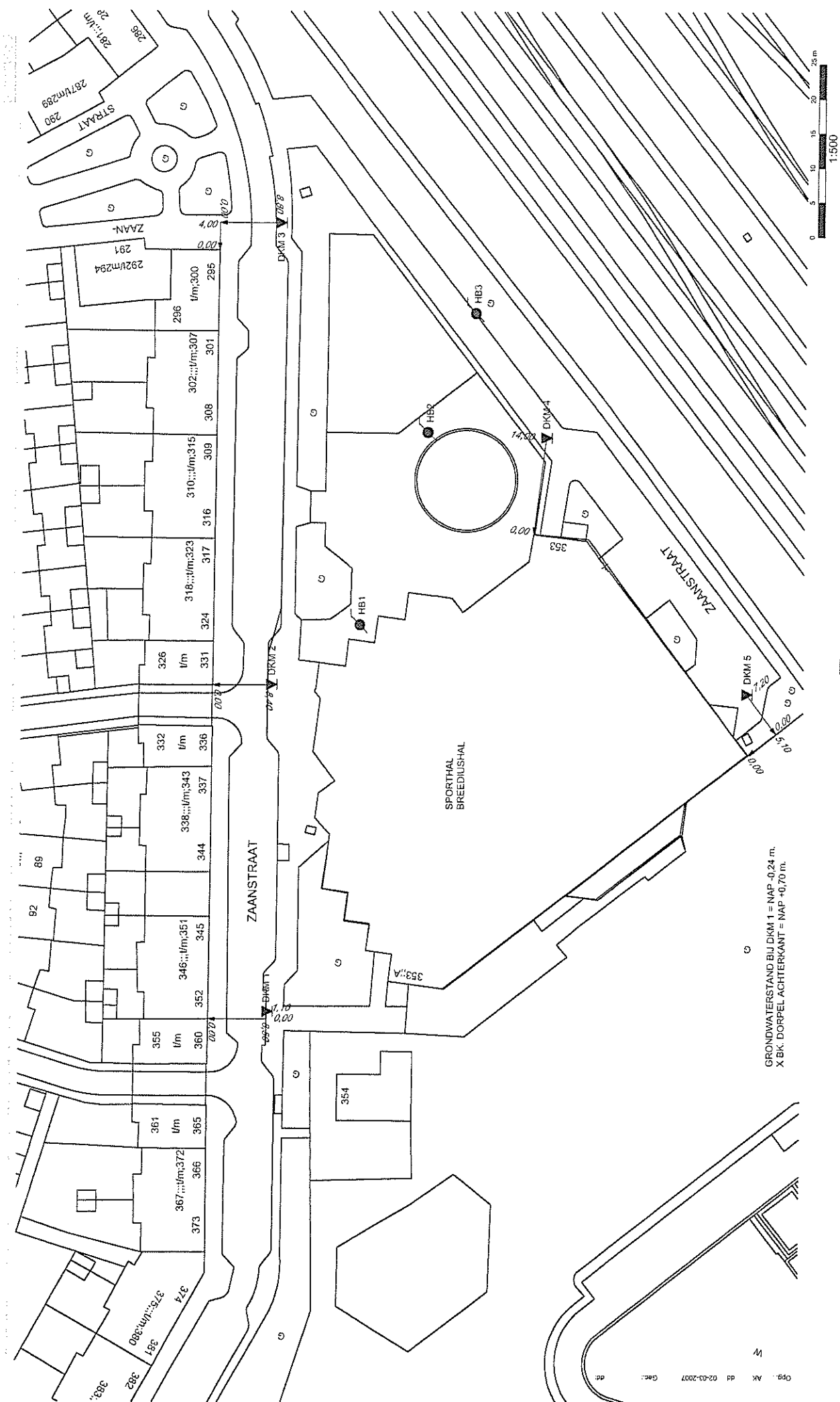
De aarde baan van de spoorwegen ligt ten zuiden van de "Brediushal". Hier zal een grondwaterstandsstijging optreden. Deze stijging bedraagt in de situatie met een 2-laags kelder ter hoogte van de aarde baan naar verwachting ca. 2 à 3 cm. In de situatie met een 1-laags kelder zal de stijging ter hoogte van de aarde baan naar verwachting ca. 1 à 2 cm zijn. Deze stijgingen van de freatische grondwaterstand zijn marginaal. In overleg met de spoorwegbeheerder kan worden bepaald of deze grondwaterstandsstijging toelaatbaar is.

Omgeving

Gezien de bodemopbouw wordt verwacht dat de bebouwing aan de Zaanstraat ten noordoosten van het plangebied op palen is gefundeerd. In een situatie met zowel een 2-laags als 1-laags kelder zal de grondwaterstands daling aan de noord-, noordoost van de kelder ter hoogte van de Zaanstraat marginaal zijn.

De optredende stijging blijft voor beide opties naar verwachting binnen het niveau van de natuurlijke grondwaterstandsfluctuatie.

Benadrukt wordt dat dit advies zich richt op de gevolgen in de toekomstige situatie na afloop van de herinrichting. Dit onderzoek geeft geen inzicht in wijzigingen van de grondwaterstand ten gevolge van een eventuele bemaling van de bouwput tijdens de aanleg. Een nadere uitwerking van de bemaling van de bouwput valt buiten deze opdracht maar kan eventueel door Fugro worden verzorgd.



Opdr. : 4006-1107-003
Bijl. : 1

BREDIUSHAL A/D ZAAANSTRAAT TE AMSTERDAM

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN



BORINGEN/PEILBUIZEN

-  mechanische boring (B)
-  handboring (HB)
-  niet uitgevoerde boring
-  niet uitgevoerde handboring
-  boring met peilbuis
-  boring met peilbuis, ondiep en diep filter
-  boring met peilbuis, ondiep, middeldiep en diep filter
-  handboring met peilbuis
-  hellingmeterbuis (HMB)
-  gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF)
-  boring derden
-  boring derden met peilbuis

SONDERINGEN

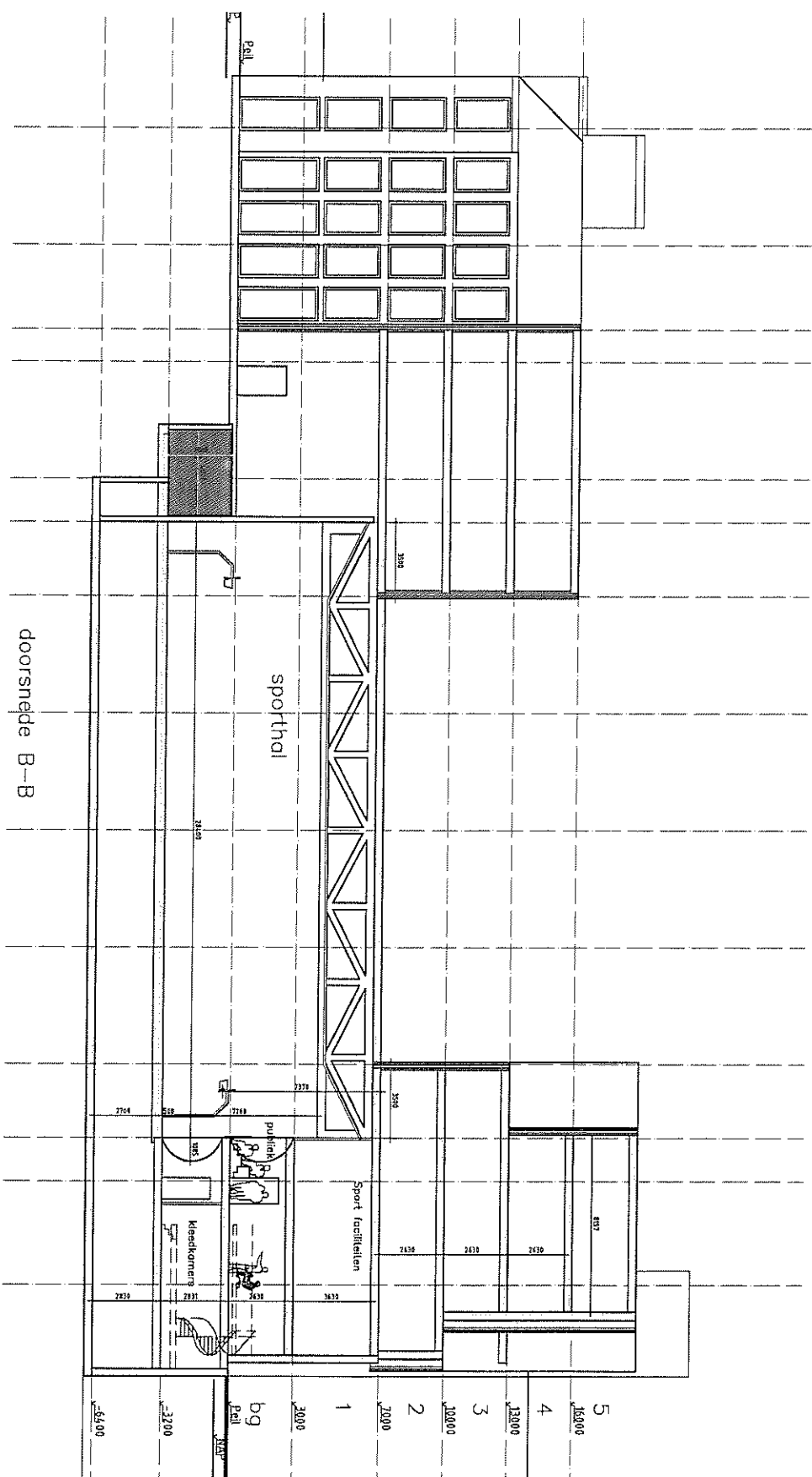
-  diep-/diepzware sondering
-  middelzware sondering
-  diep-/diepzware sondering met plaatselijke kleefmeting
-  middelzware sondering met plaatselijke kleefmeting
-  slagsondering
-  niet uitgevoerde sondering
-  waterspanningsmeter (WSM)
-  sondering derden
-  sondering derden met plaatselijke kleefmeting

Type sonderingen

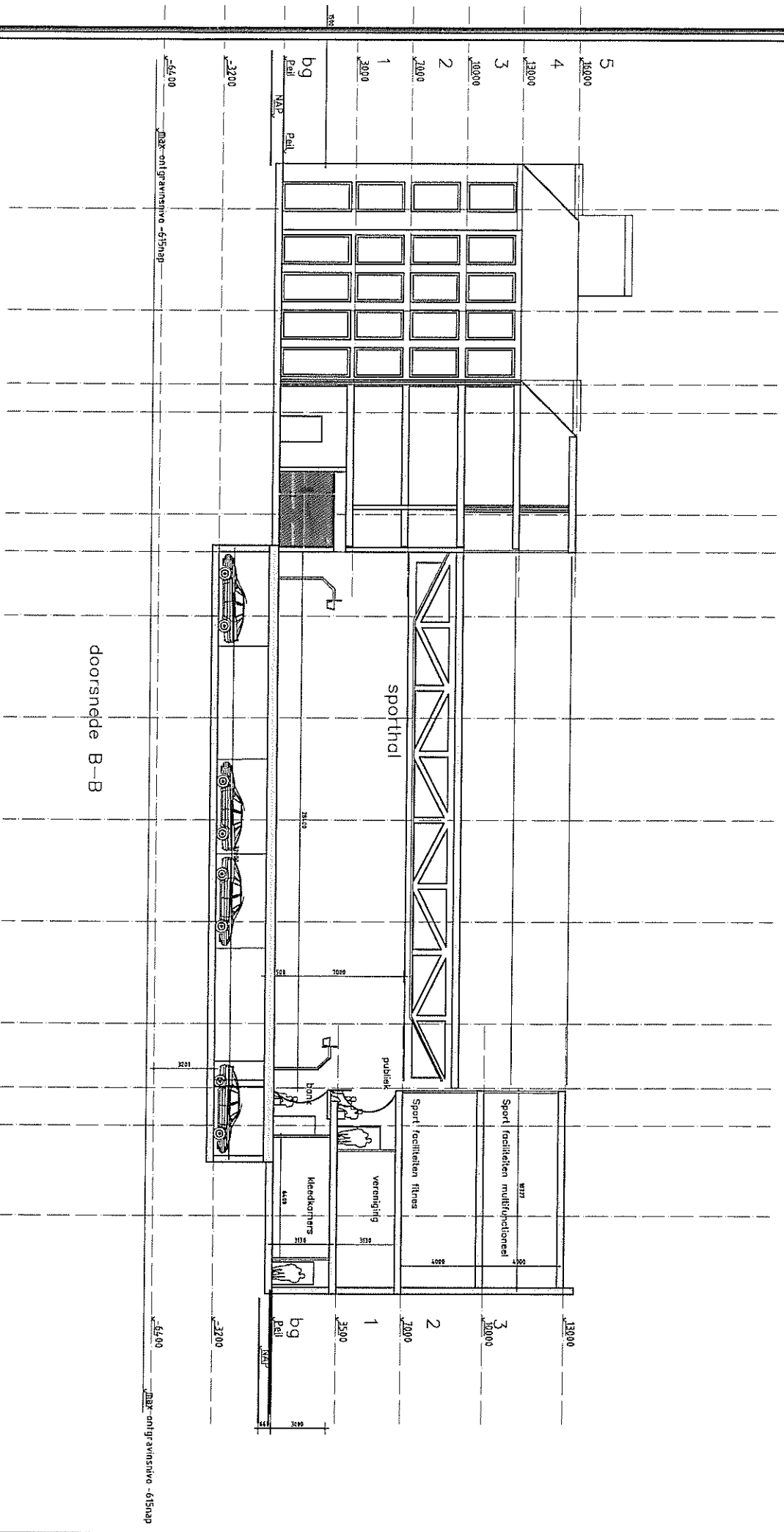
M	middelzware sondering
D	diepsondering
DZ	diepzware sondering
S	slagsondering

Toegevoegde metingen

KM	meting van de plaatselijke kleef
P	meting van waterspanning
M	meting van de magnetische veldsterkte
G	meting van de geleidbaarheid
S	meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
T	meting van de temperatuur



MODEL 2

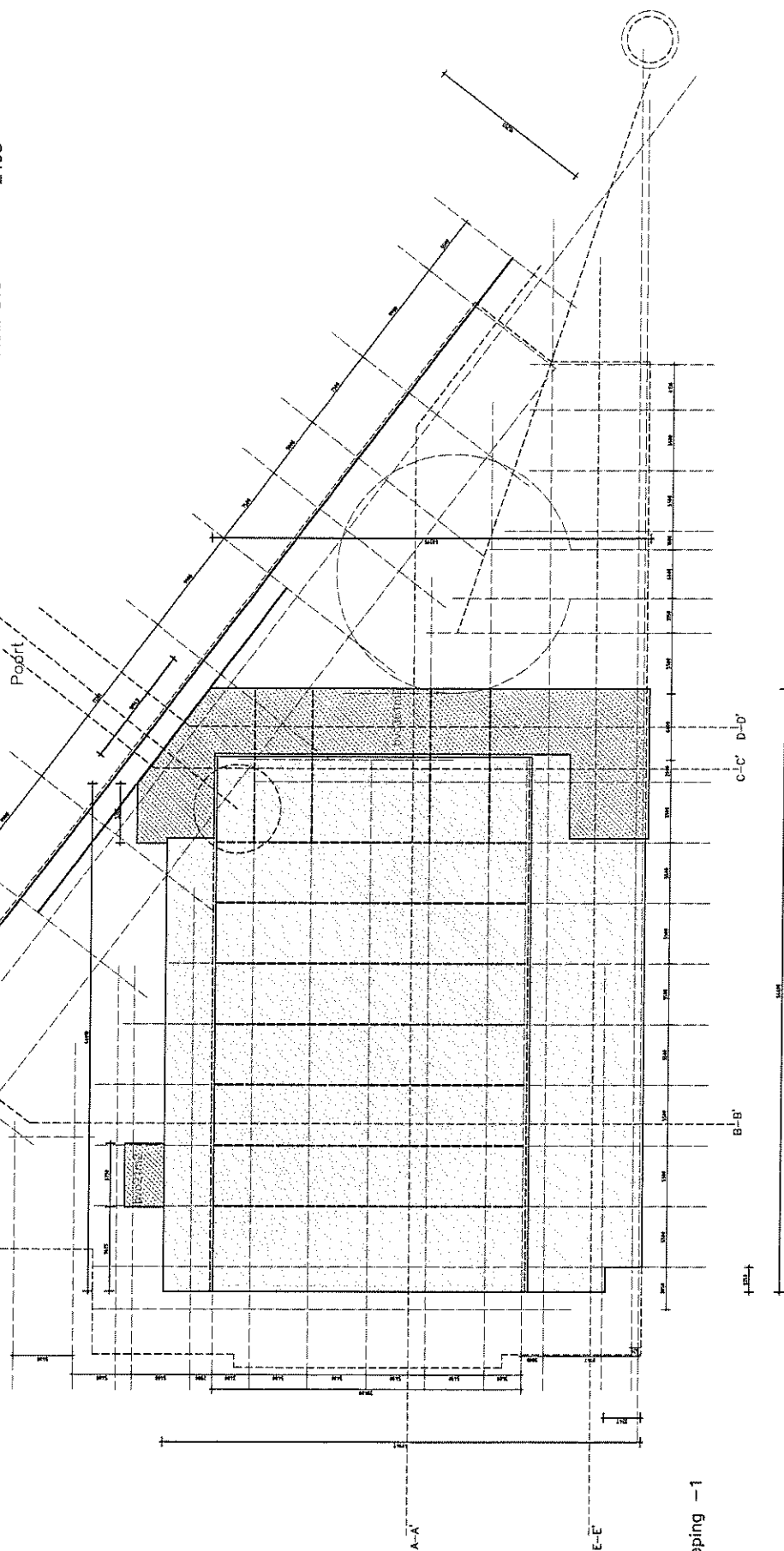


MODEL 1

bvo21m2
bvo381m2

Totaal bvo 2495

Totaal bvo

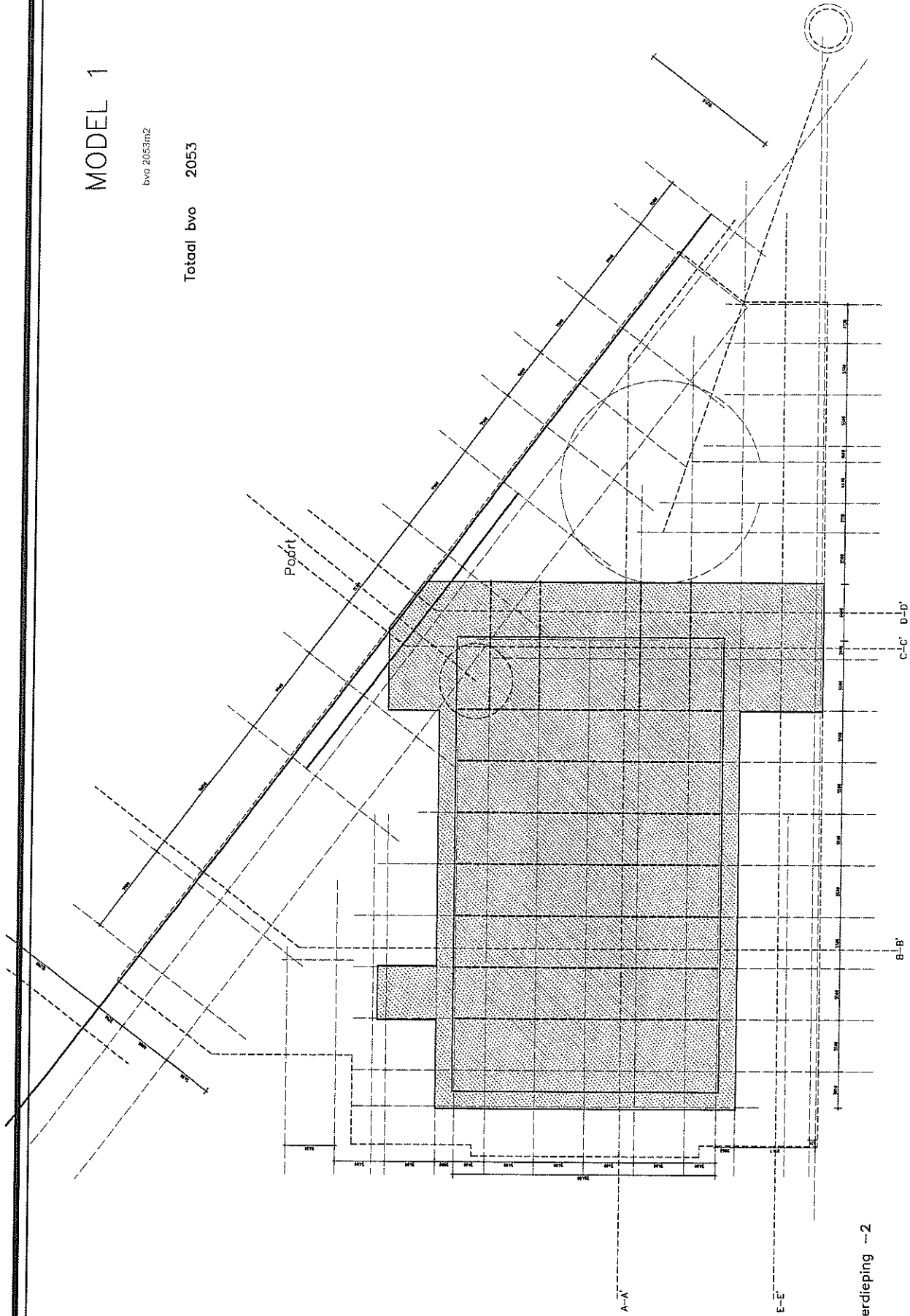


verdieping -1

MODEL 1

bvo 2053m2

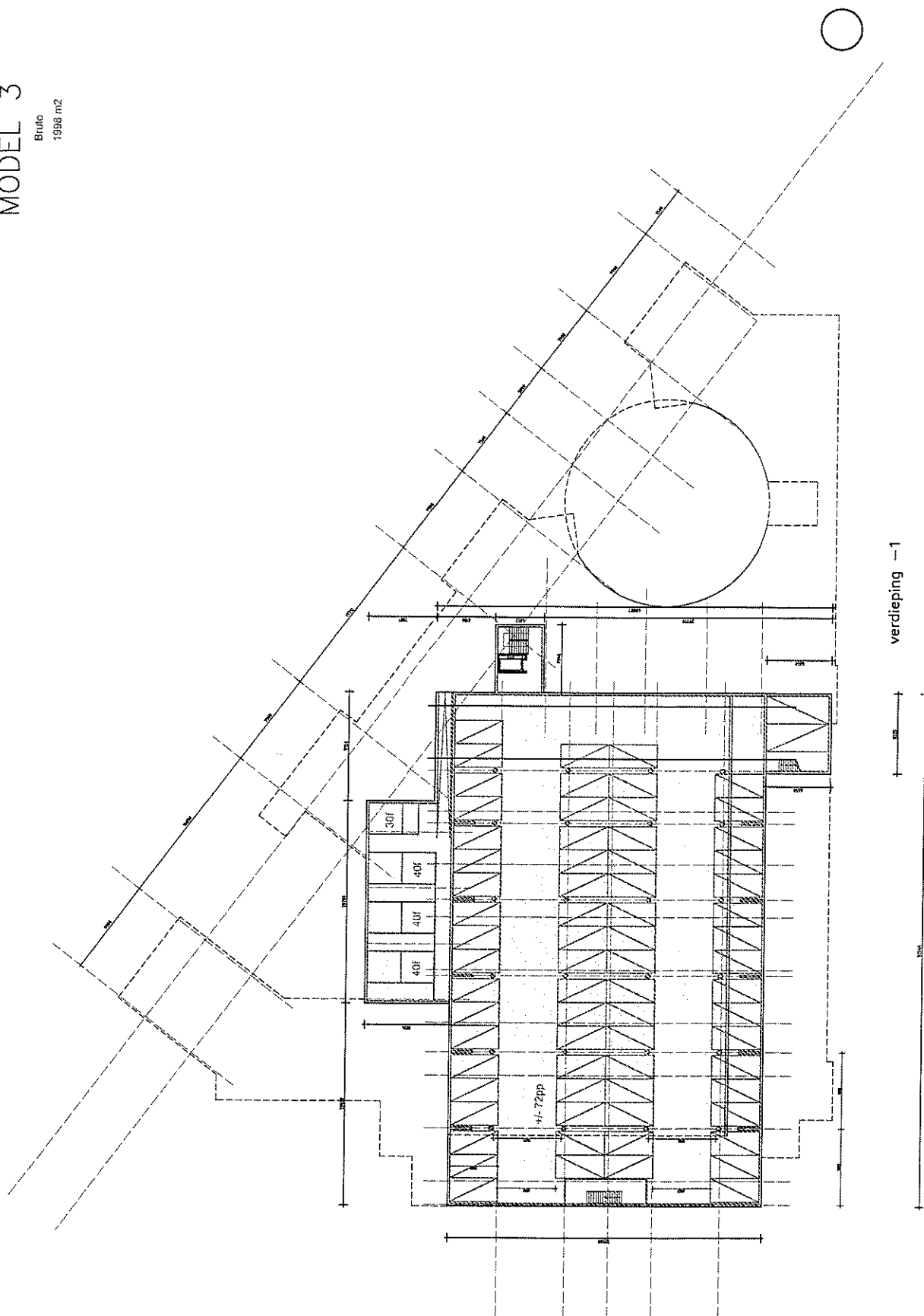
Totaal bvo 2053



verdieping -2

MODEL 3

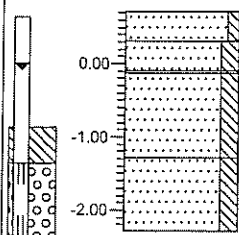
Bruto
1998 m²



verdieping -1

Boring: HB1

Diepte (m tov NAP) Monsternr. Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.72	tegel
0.32	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijsbruin
-0.13	Zand, matig grof, matig siltig, grijs
	Zand, matig grof, matig siltig, bruin
	Zand, matig fijn, matig siltig, grijs
-1.28	Zand, matig grof, matig siltig, grijs
-2.28	

Uitvoering: 26-02-2007

X:
Y:

MV (m tov NAP): 0.72
GWS (cm tov MV):

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

Bk PB (m tov NAP):
Boormeester:

JHH

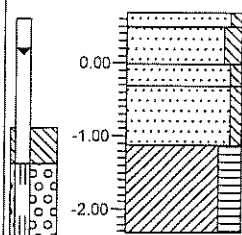
BORING VOLGENS NEN 5119

4006-1107-002

BREDIUSHAL A/D ZAA NSTRAATE AMSTERDAM

Boring: HB2

Diepte (m tov NAP) Monsternr. Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.69	tegel
0.49	Zand, matig grof, zwak siltig, grijs
-0.01	Zand, matig grof, matig siltig, grijsbruin
-0.31	Zand, matig grof, zwak siltig, sintels, bruin, geroerd
-1.11	Zand, matig grof, zwak siltig, sintels, zwart
	Klei, matig vast, sterk humeus, donkerbruin
-2.31	

Uitvoering: 26-02-2007

X:
Y:

MV (m tov NAP): 0.69
GWS (cm tov MV):

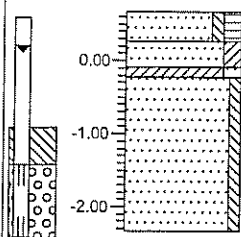
GHG (cm tov MV):
GLG (cm tov MV):

Bk PB (m tov NAP):
Boormeester:

JHH

Boring: HB3

Diepte (m tov NAP) Monsternr. Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.67	groenstrook
0.27	Zand, matig grof, zwak siltig, matig humeus, bruin
-0.08	Zand, matig grof, matig kleifig, geelbruin
-0.25	Klei, matig vast, matig zandig, grijs
	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
-2.33	

Uitvoering: 26-02-2007

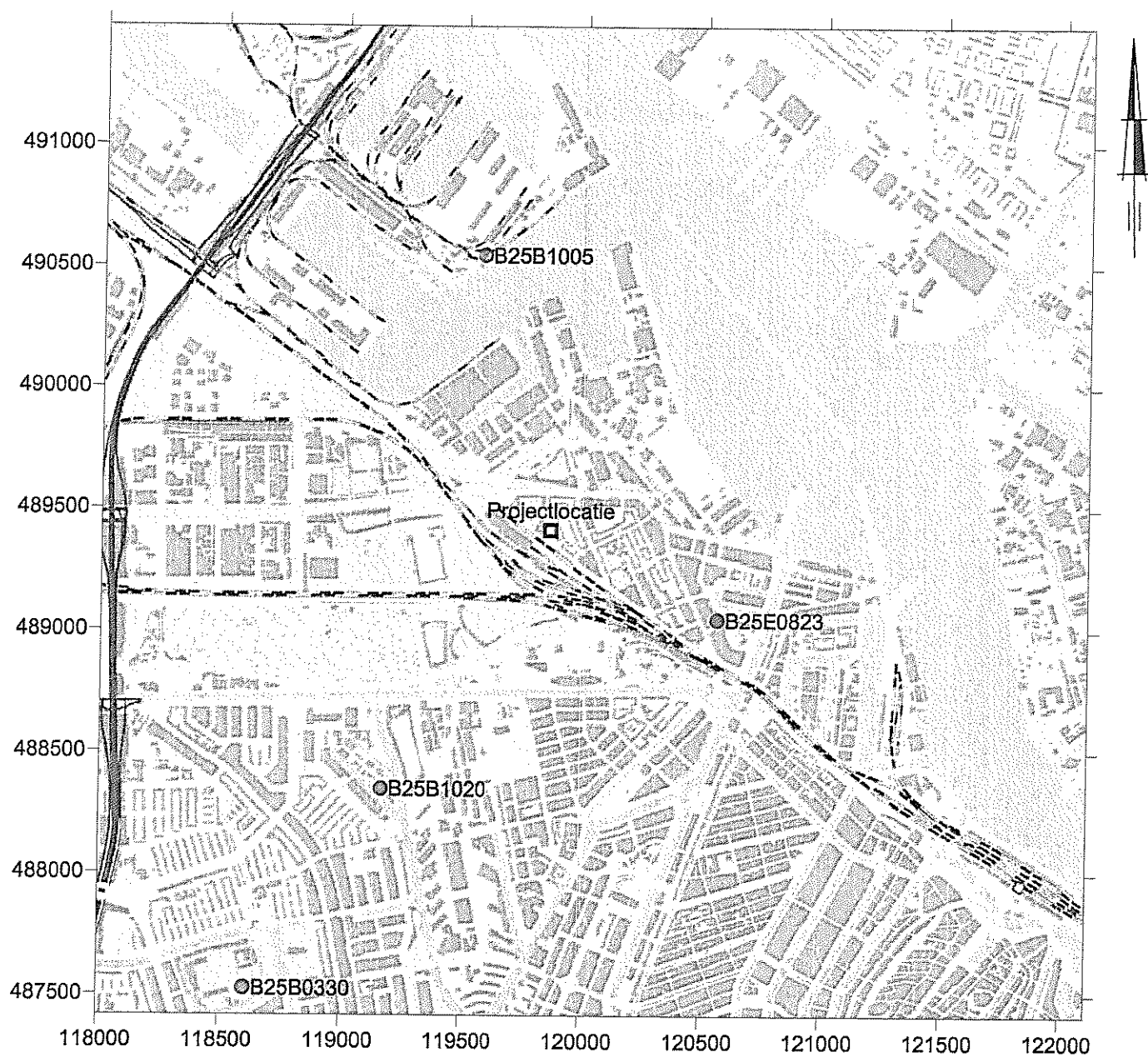
X:
Y:

MV (m tov NAP): 0.67
GWS (cm tov MV):

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

Bk PB (m tov NAP):
Boormeester:

JHH



○ Peilbuizen van het landelijk meetnet van TNO-NITG
(topografisch kaartblad 25B, 25D, 25E en 25G)

0 200 400 600 800 1000

LOCATIEOVERZICHT EN PEILBUISLOCATIES TNO-NITG

BREDIUSHAL AAN DE ZANSTRAAT TE AMSTERDAM

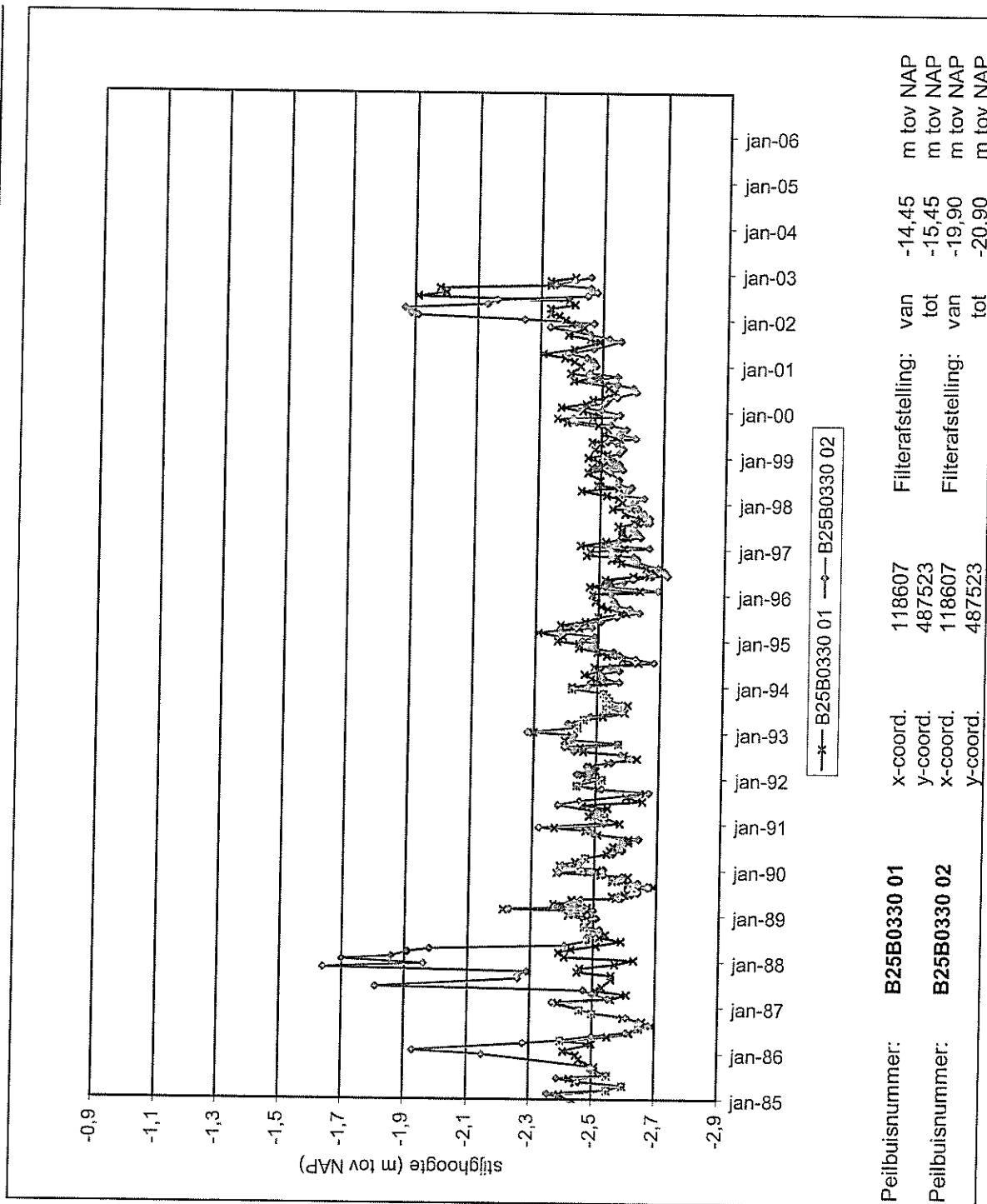
Opdr. : 4006-1107-003
Bijlage : 3



DINO
Grondwater
TNO-NITG

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1965 tot: 1-1-2007 Referentie: NAP

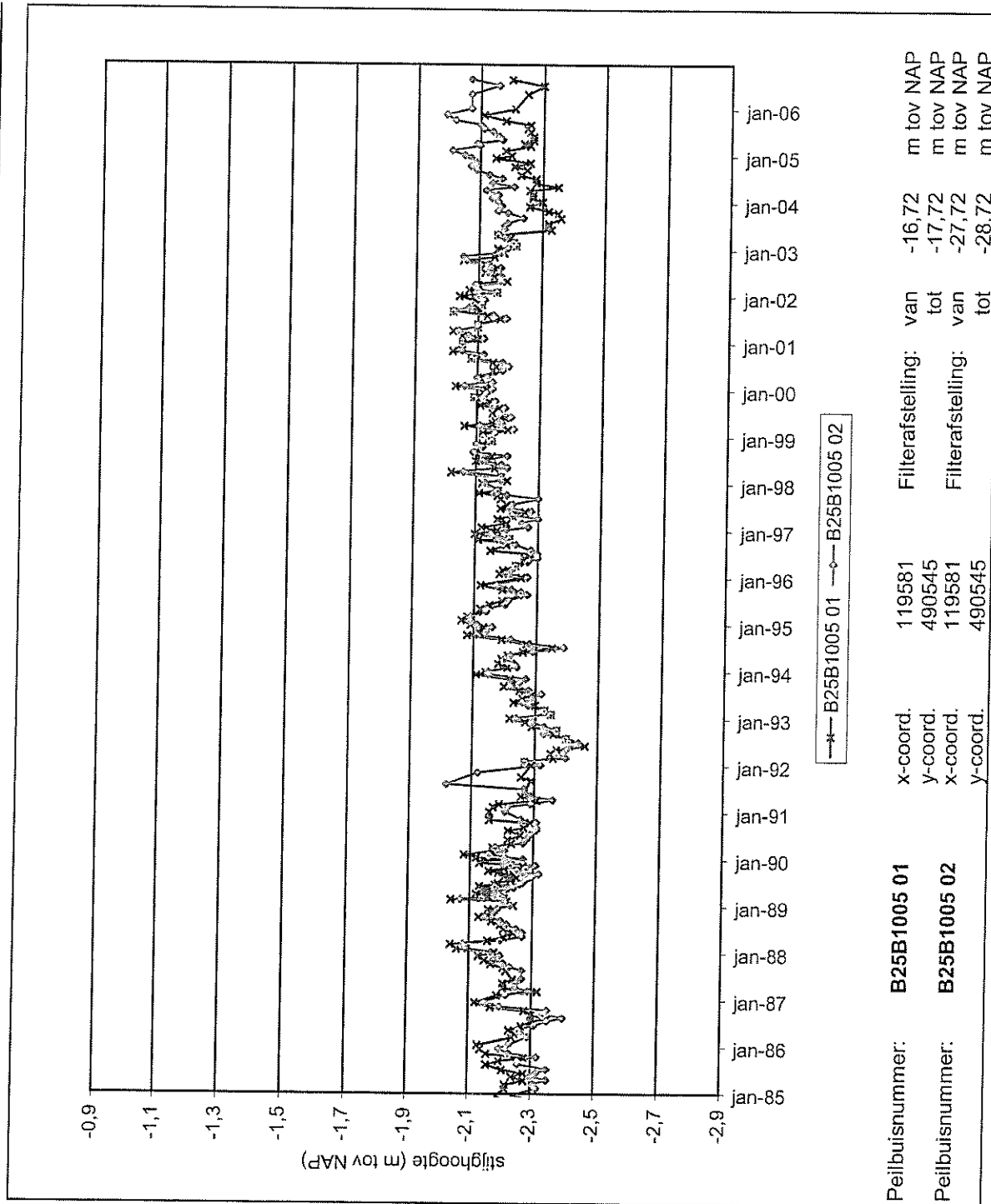


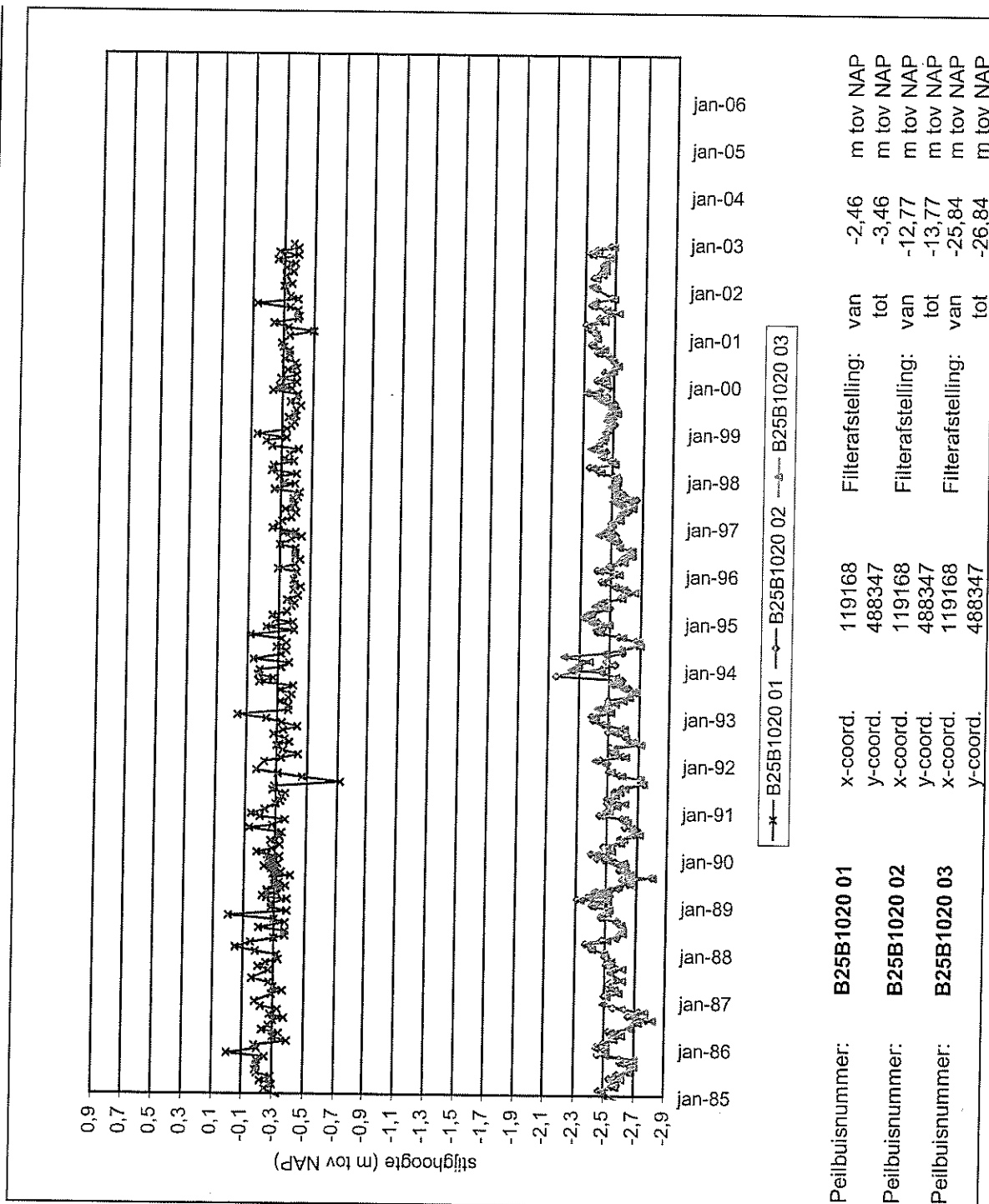


DINO
Grondwater
TNO-NITG

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1965 tot: 1-1-2007 Referentie: NAP



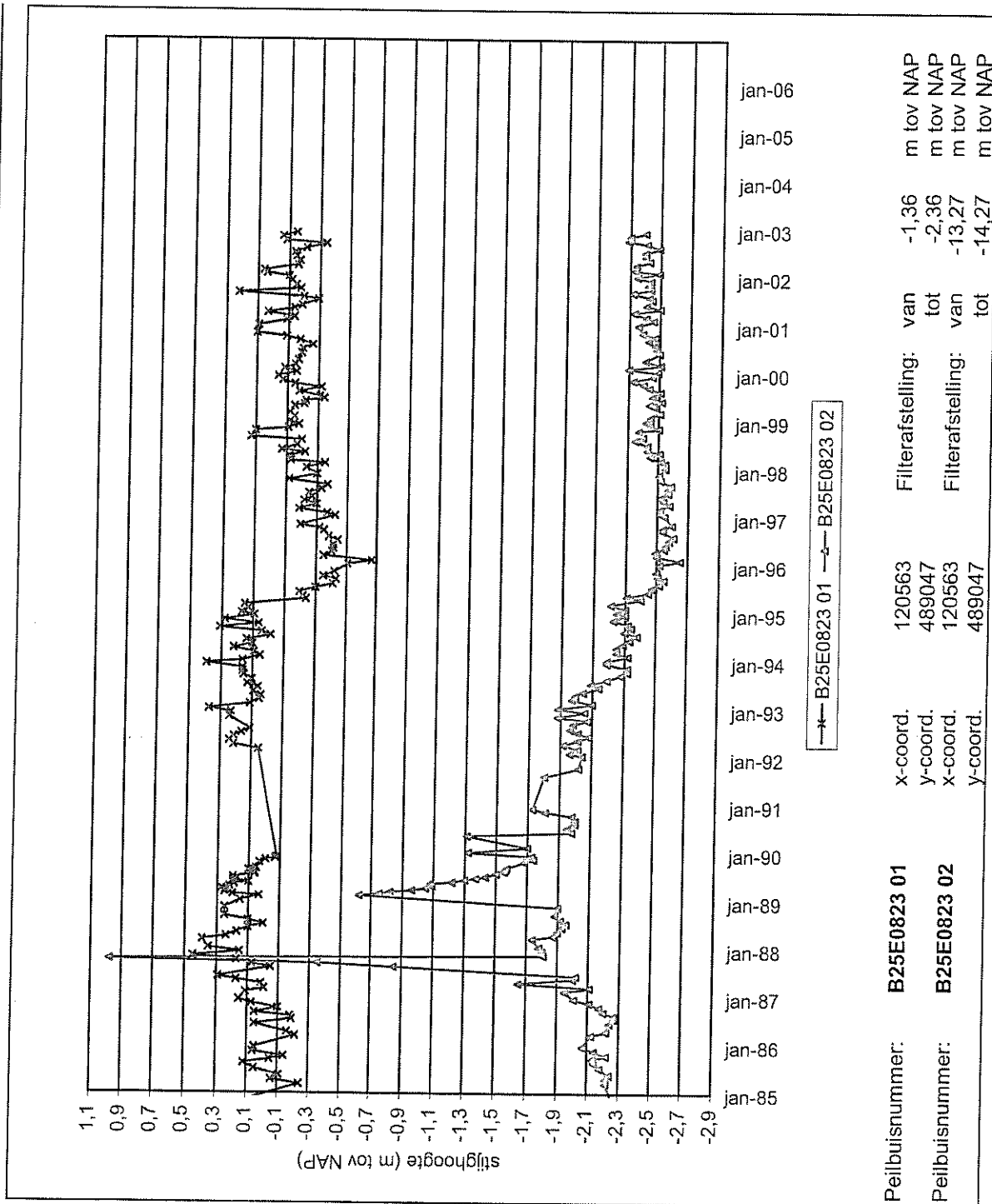


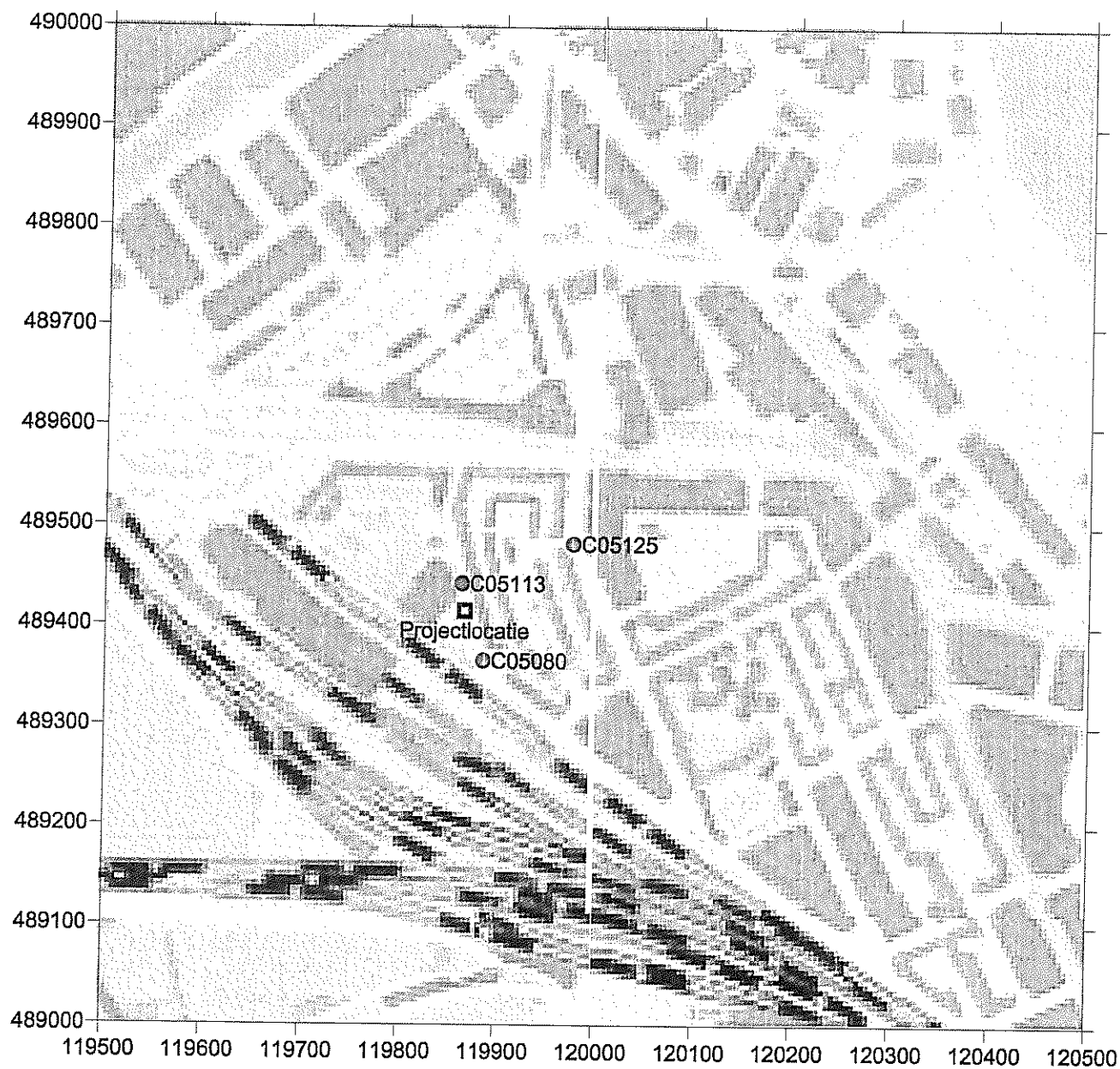


DINO
Grondwater
TNO-NITG

Tijd-stijghoogtelijnen

Periode van: 1-1-1965 tot: 1-1-2007 Referentie: NAP





○ Peilbuizen van Waternet
(topografisch kaartblad 25B, 25D, 25E en 25G)

0 50 100 150 200

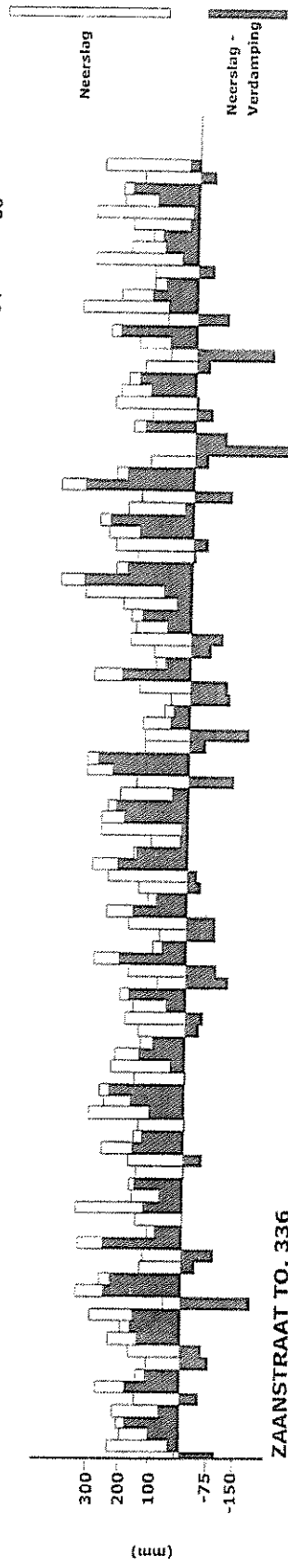
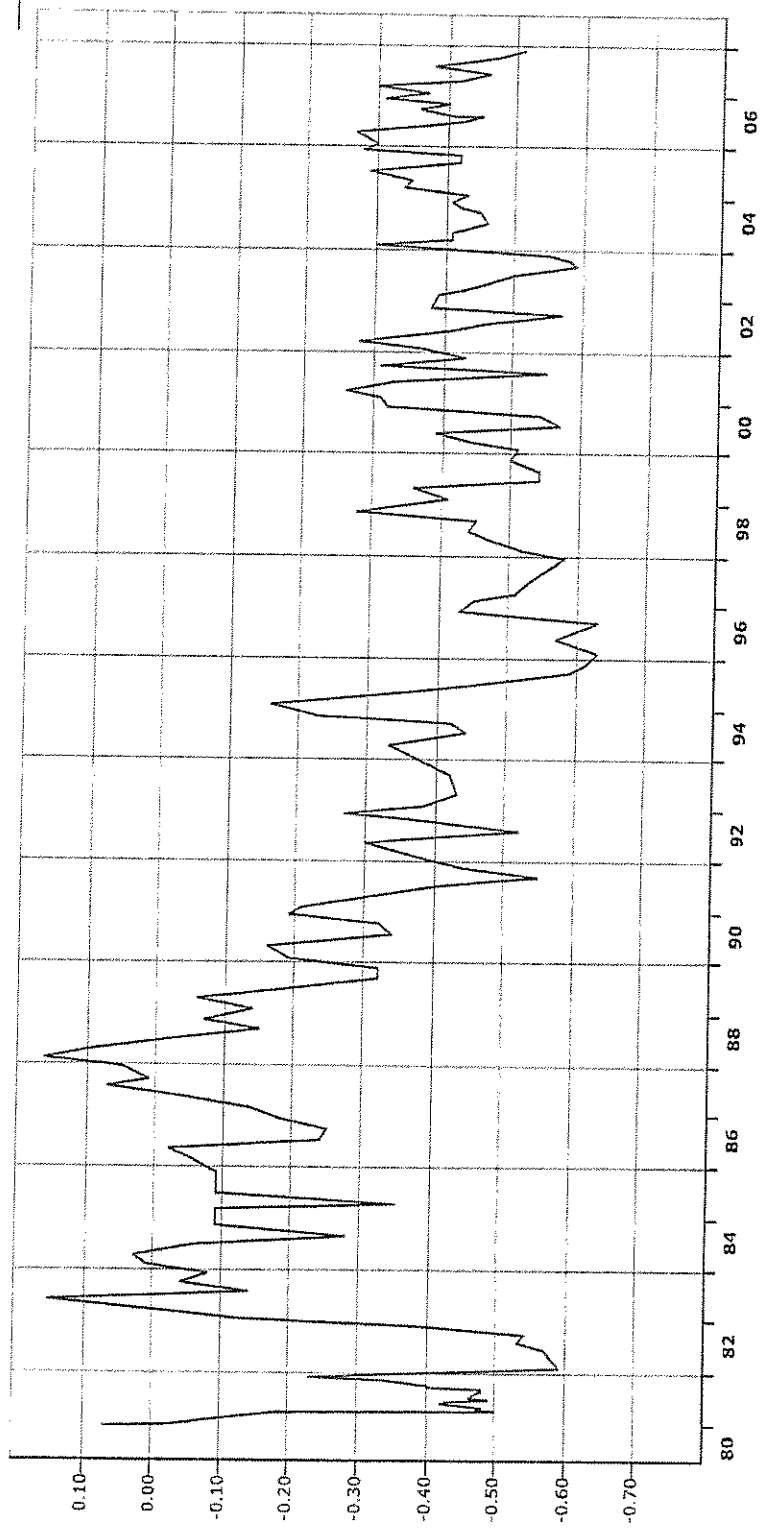
LOCATIEOVERZICHT EN PEILBUISLOCATIES TNO-NITG

BREDIUSHAL AAN DE ZAANSTRAAT TE AMSTERDAM

Opdr. : 4006-1107-003
Bijlage : 5

grondwaterstand in m t.o.v. NAP

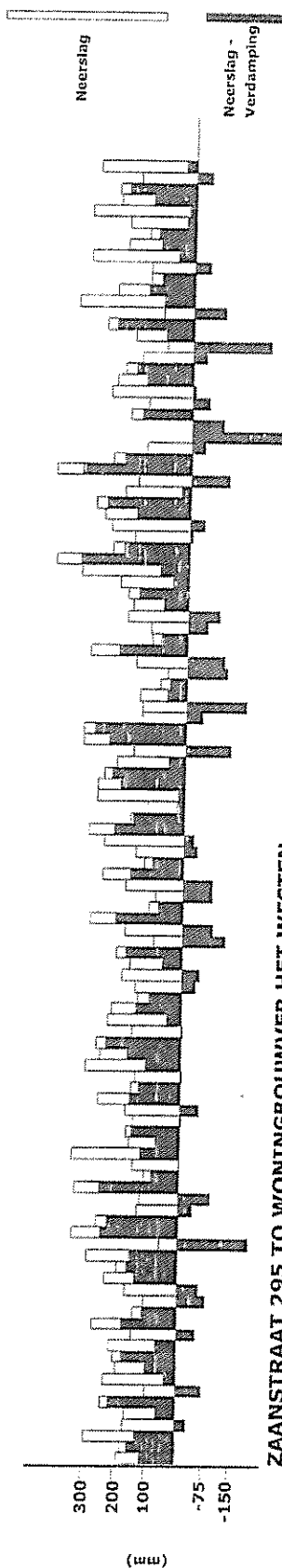
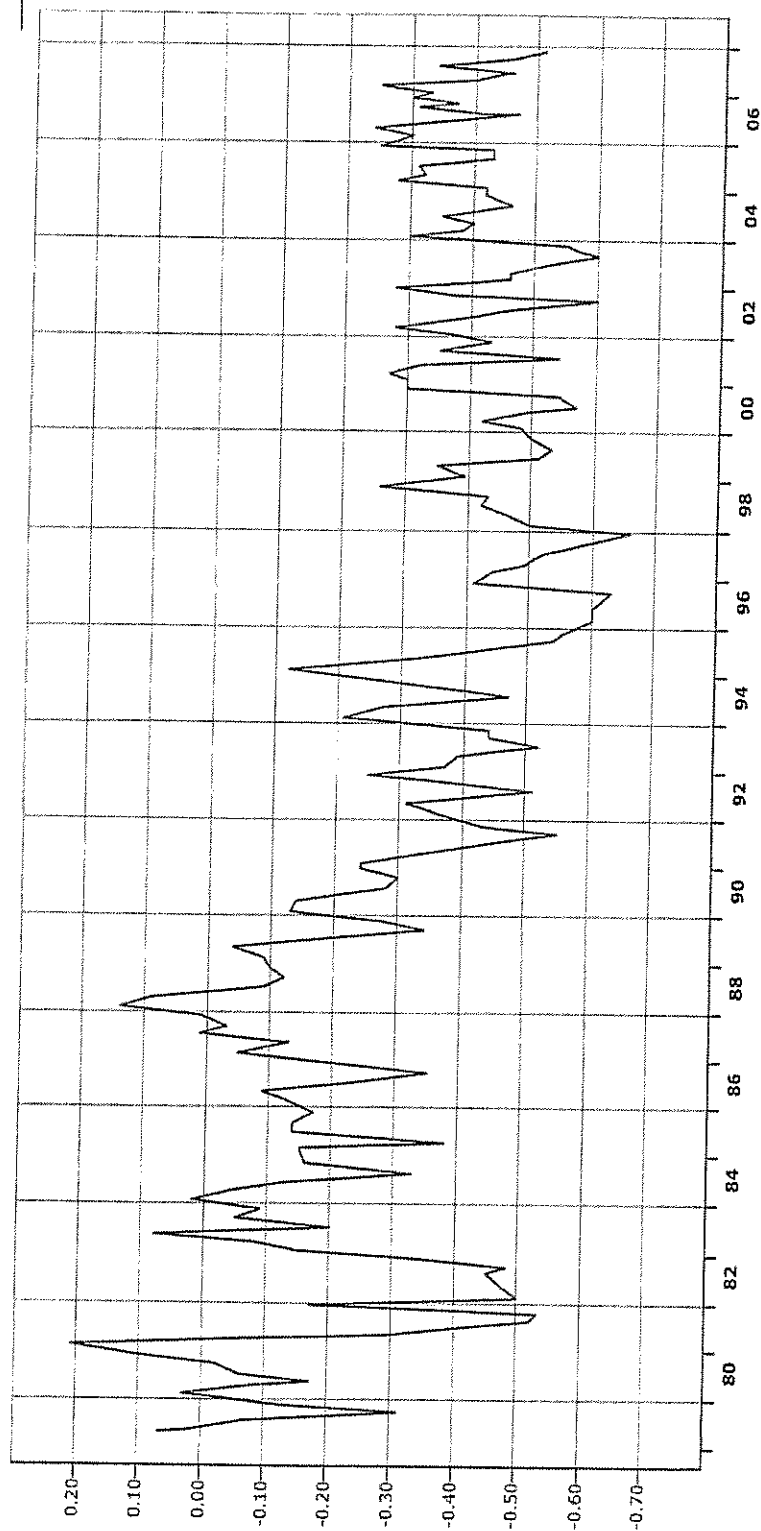
C05113A



ZAANSTRAAT TO. 336
Maaiveldniveau : 0.71 m tov NAP

grondwaterstand in m t.o.v. NAP

C05080A



ZAANSTRAAT 295 TO WONINGBOUWVER.HET WESTEN.

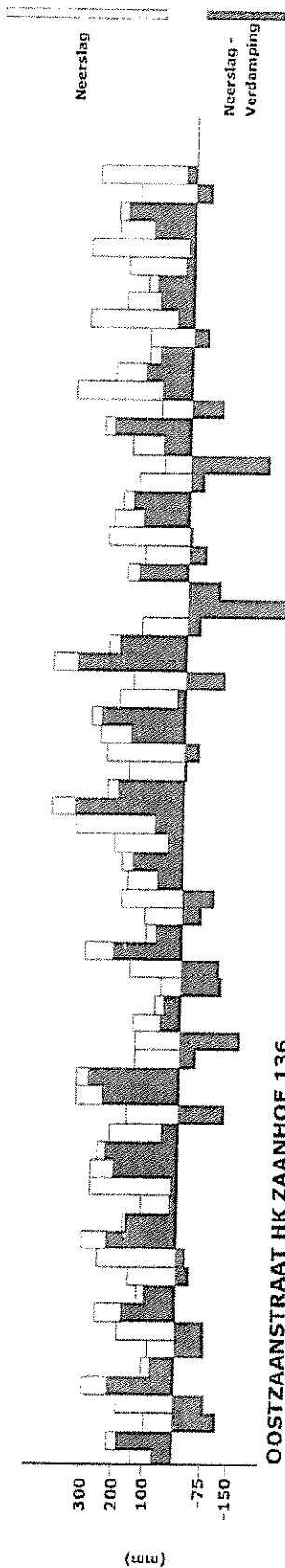
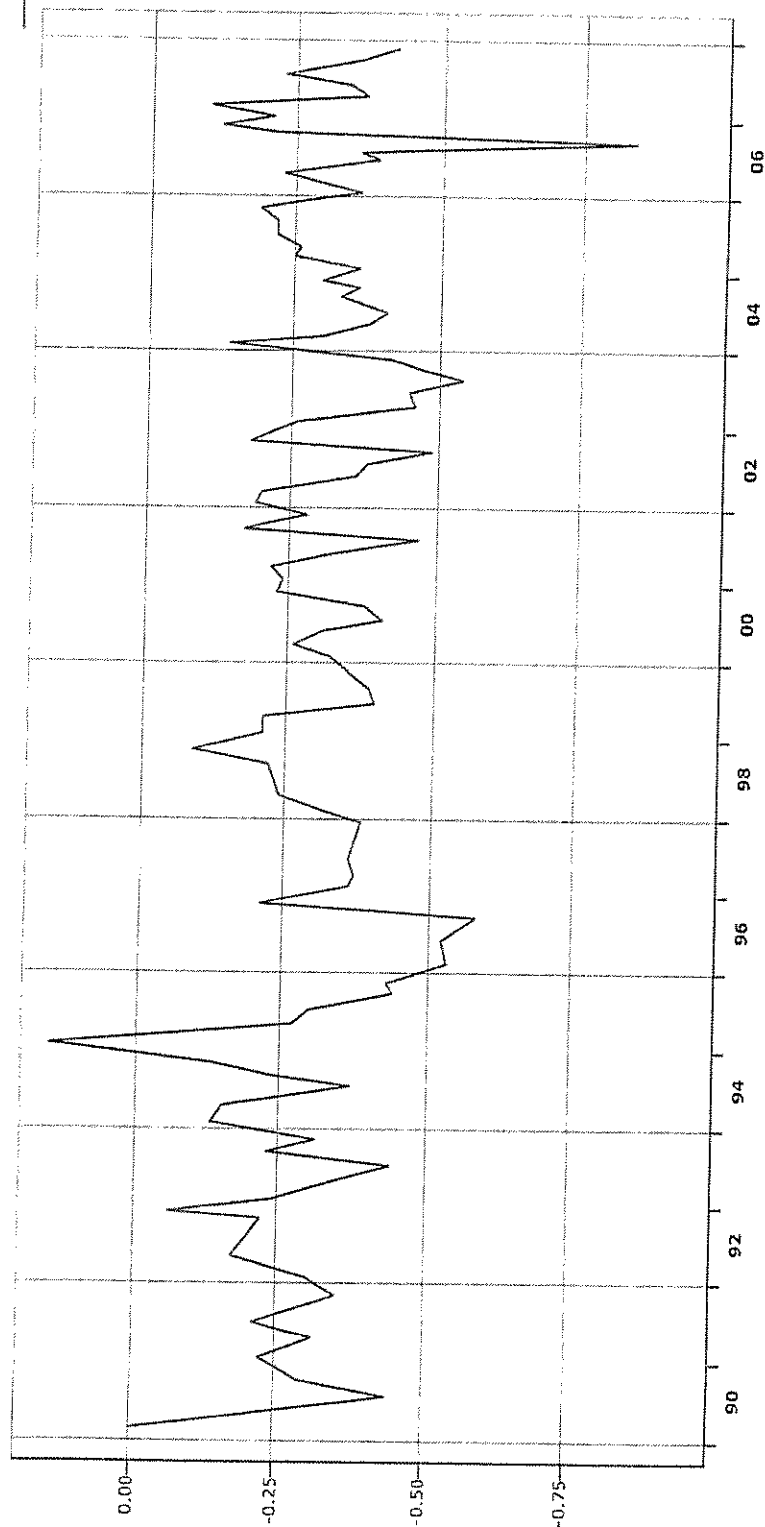
Maatveldniveau : 0.77 m tov NAP

2008-01-09	Grafiek Grondwaterstanden	Project 1558454001
Sonnysoft	Onderzoek en Projecten (O&A)	Bijlage

waterQnet

grondwaterstand in m t.o.v. NAP

C05125A



Maaiveldniveau : 0.68 m tov NAP

OOSTZAANSTRAAT HK ZAAHOF 136

water **net**

2008-01-09 Grafiek Grondwaterstanden

Somyssoft

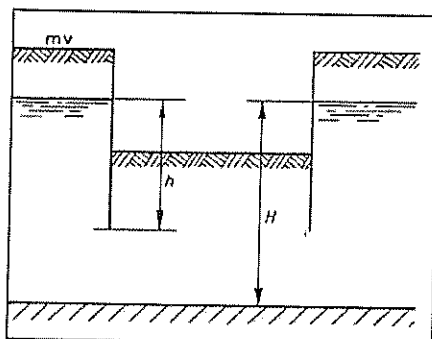
Onderzoek en Projecten (O&A)

Project 1558454001

Bijlage

THEORETISCHE ONDERBOUWING BARRIÈREWERKING

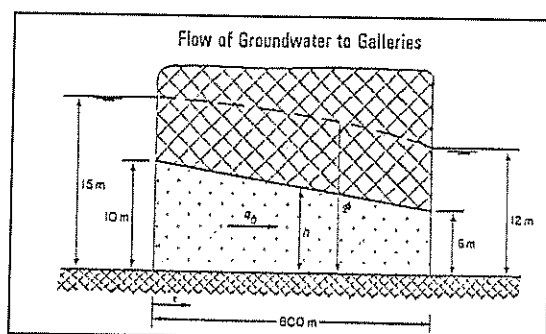
Fugro heeft, ten behoeve van de Geotechniekdag 2001 te Breda, barrièrewerking nader bestudeerd en toegelicht in een artikel. De hiernavolgende theoretische onderbouwing van barrièrewerking is aan dat artikel ontleend [1].



De theoretische veronderstelling is dat de grootte van de barrièrewerking afhankelijk is van de mate waarin de ondergrondse constructie de watervoerende lagen afsluit. Hierbij is er sprake van een analogie met de onderzoeken van Weber (*H. Weber, Die Reichweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen, 1928*). Uit deze bleek dat er minder water naar een bouwput stroomt naarmate de damwand die de bouwput omsluit, dieper wordt geheid en daarmee een groter deel van de watervoerende laag afsluit.

Figuur 1 Principeschets bouwput

De relatie die werd gevonden, bleek onafhankelijk van de doorlatendheid (k-waarde), maar (niet verwonderlijk) afhankelijk van de verhouding tussen de inheidiepte van de damwand ten opzichte van het piezometrisch niveau (h) en de diepte van de onderzijde van de beschouwde watervoerende laag ten opzichte van hetzelfde piezometrische niveau (H) zoals op figuur 1 [Bron: M.J. Fraanje, 'Bronbemaling', 1974, p. 166.] is weergegeven. Wanneer de damwand de watervoerende laag geheel afsluit geldt $h/H = 1,0$ en is de reductie in het waterbezwaar uiteraard 100%. De reductie wordt pas significant wanneer de verhouding h/H groter is dan 0,6 à 0,7.



Figuur 2 Grondwaterstroming

De hoeveelheid water die van de ene naar de andere kant wil stromen, is afhankelijk van het verschil in stijghoogte, de dikte van het doorstroomde pakket en de doorlatendheid. Met vaste aangenomen stijghoogten op de randen en met een afnemende dikte van de watervoerende laag lijkt het model op Huismans' "Flow of groundwater through a confined aquifer without recharge" [Bron: L. Huismans; *Groundwater Recovery*, 1972, p. 19], zie figuur 2. Hierbij mag de rechterkant van de figuur ook gelezen worden als een ondergronds element (bijv. een kelder) die de watervoerende laag doorsnijdt. In deze figuur, waarin h is uitgedrukt als $h = a + bx$ geldt dat:

$$\phi = -q_0/kb \cdot \ln(a+bx) + C$$

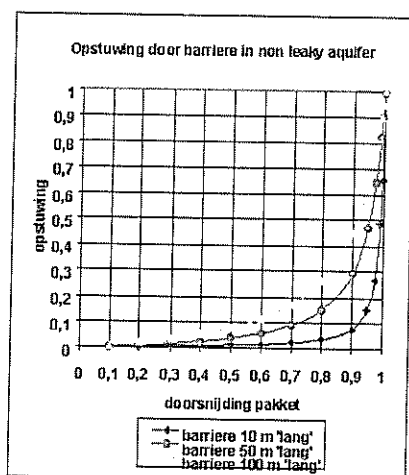
THEORETISCHE ONDERBOUWING BARRIÈREWERKING

GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK BREDIUSHAL

Opdracht : 4006-1107-003

Bijlage : 7

In figuur 3 zijn de resultaten gegeven van een simulatie van de geohydrologisch meest simpele situatie van 1 watervoerende laag met 'volkomen' spanningswater: zowel aan de boven- als onderzijde wordt de watervoerende laag begrensd door 100% ondoorlatende lagen, waardoor er geen 'voeding' is door bijvoorbeeld neerslag of kwel.

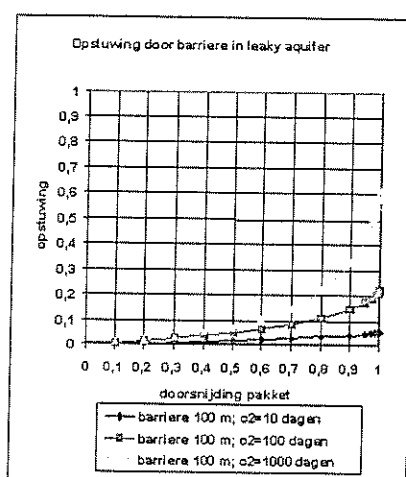


Figuur 3 Berekende opstuwing door barrière

In de simulatie is sprake van een oneindig brede barrière die waterondoorlatend is (de lengte in stromingsrichting varieert van 10, 50 en 100 m 'lang'). In de grafiek is zichtbaar dat, omdat er geen sprake is van voeding, alle lijnen bij 100% doorsnijding van de watervoerende laag een opstuwing van 100% te zien geven, waarbij 100% gelijk is aan het halve verschil in stijghoogte zoals dat er was voordat de barrière werd gerealiseerd. Uit de grafiek is te concluderen dat bij een betrekkelijk 'korte' barrière pas na zeer significante afsluiting van een watervoerend pakket enige opstuwing merkbaar is. Bij langere barrières, bijvoorbeeld 50 of 100 m in de stromingsrichting (en 'volkomen' in de breedte) zijn de effecten eerder

merkbaar, maar worden ook pas vanaf een afsluiting van 60 tot 70% significant.

Omdat de 'ideale' geohydrologische situatie niet voorkomt, is een simulatie uitgevoerd met dezelfde barrière maar met een extra watervoerende laag onder de barrière. De watervoerende lagen zijn van elkaar gescheiden door een waterremmende laag met een weerstand (in 'dagen') tegen verticale grondwaterbeweging die bepalend is voor de hoeveelheid grondwater die van de ene naar de andere laag kan stromen. Deze weerstand is in de simulaties gevarieerd (10, 100 en 1000 dagen).



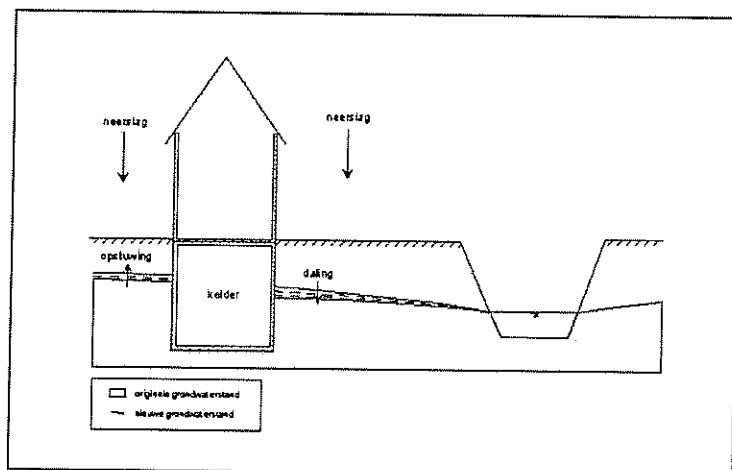
Figuur 4 Berekende opstuwing door barrière met onderliggende watervoerende laag

Uit figuur 4 blijkt duidelijk dat, als gevolg van de voeding, ook bij 100% doorsnijding van de bovenste watervoerende laag, de opstuwing nooit 100% zal kunnen worden, tenzij de weerstandslaag een oneindig grote weerstand heeft. Verder is duidelijk uit de figuur op te maken dat, in vergelijking met de vorige figuur, het effect van de barrière nu veel minder merkbaar is.

Na aanvullende simulaties met kleinere objecten werd besloten met de volgende conclusie: opstuwing van grondwater door de barrièrewerking van ondergrondse constructies zal over het algemeen pas significant worden:

1. wanneer sprake is van een significant stijghoogteverschil over de beschouwde locatie;
2. wanneer een watervoerende laag over meer dan 60 à 70% van de totale hoogte van de laag wordt doorsneden,
 - a. waarbij de totale barrière een significante breedte loodrecht op de grondwater stromingsrichting heeft van enkele tot meerdere tientallen meters;
 - b. waarbij de totale barrière een significante lengte in de richting van de grondwaterstroming heeft van meerdere tientallen meters;
3. wanneer de watervoerende laag aan boven- en onderzijde wordt begrensd door waterremmende lagen met een grote weerstand van enkele honderden tot (enkele) duizend(en) dagen waardoor voeding in verticale zin (verwaarloosbaar) klein blijft.

In een omgeving met meerdere aaneengesloten ondergrondse constructies, mag wanneer sprake is van een stijghoogteverschil, significante opstuwing niet worden uitgesloten, met name niet in ondiepe freatische watervoerende lagen.



Figuur 5: Barrièrewerking