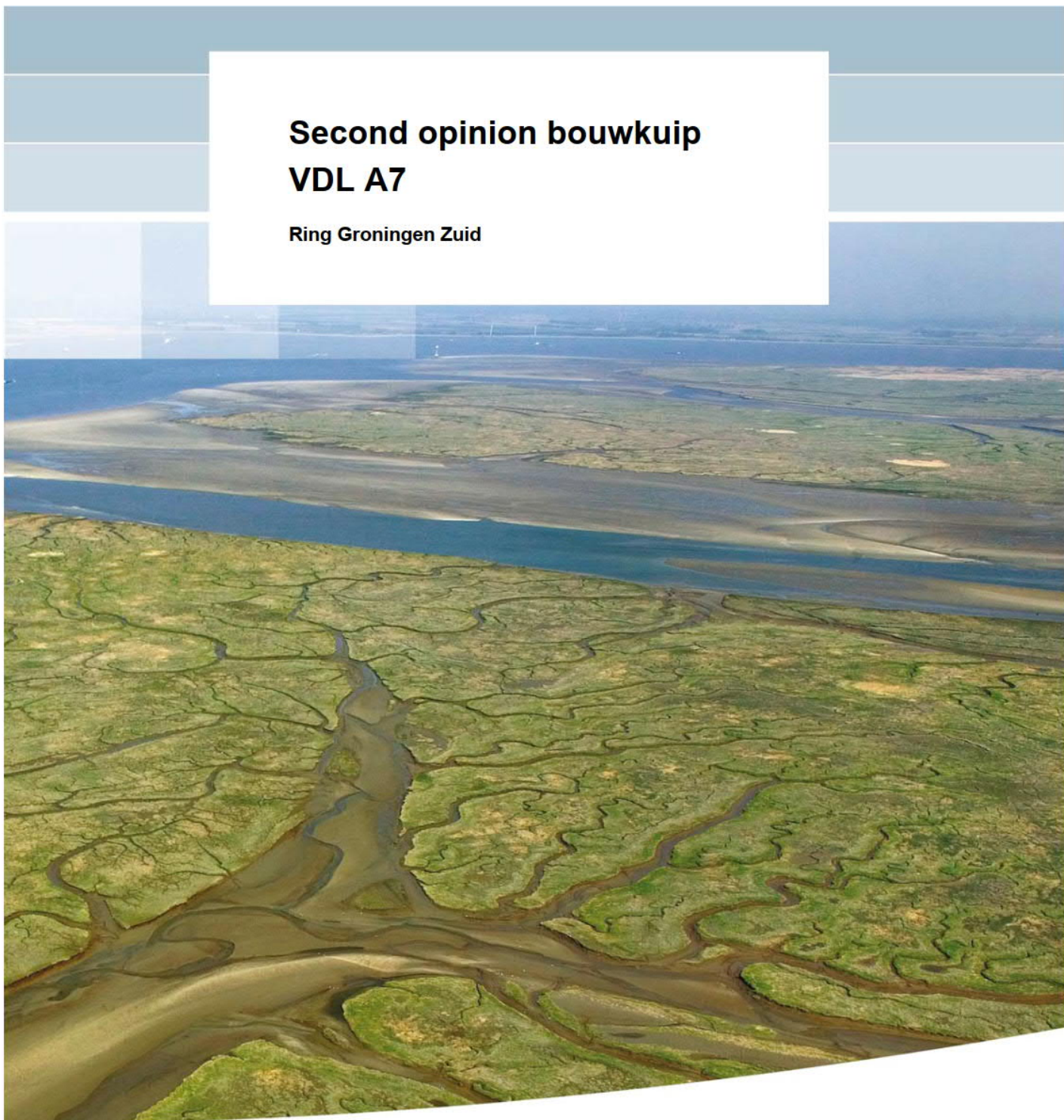


**Second opinion bouwkuip  
VDL A7**

**Ring Groningen Zuid**



## Second opinion bouwkuip VDL A7

Ring Groningen Zuid

de heer [REDACTED]  
de heer [REDACTED]  
de heer [REDACTED]



**Titel**

Second opinion bouwkuip VDL A7

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, UTRECHT	11203524-000	11203524-000-GEO-0003	57

**Trefwoorden**

Ring Groningen Zuid, second opinion, bemaling, damwand, omgevingsrisico

**Samenvatting**

Deltares en TNO zijn door Rijkswaterstaat (RWS) gevraagd om een second opinion te geven op de geologische en geohydrologische aspecten van het gewijzigd ontwerp van de damwanden/kwelschermen bij de verdiepte ligging in de Ring Groningen Zuid en daarmee verband houdende constructieve/geotechnische aspecten. Daartoe zijn documenten van opdrachtnemer Combinatie Herepoort (CHP) doorgenomen. Er is sprake van een groot aantal memo's die erg beknopt zijn gerapporteerd over een wijzigend ontwerp.

Door experts van TNO is een geologisch profiel opgezet met data van CHP die een grotere dichtheid heeft dan bestaande databanken van DINOloket. De sonderingen van CHP zijn echter ondiep, tot NAP - 20 m, ongeveer de diepte van de damwanden. Boringen zijn circa 40 m diep.

De bovenzijde van de aanwezige keileem is grof en bevat grind, plaatselijk stenen. De onderzijde van de keileem ligt zeer vlak op ongeveer NAP – 5m.

De Peelo zanden in het watervoerende pakket onder de keileem worden in meerdere lagen ingedeeld en bestaan voornamelijk uit zeer fijn zand, wat grover aan de top, waarbij de afzetting in het westelijk deel vooral uit matig fijn zand met kleiige bijmenging bestaat en naar het oosten toe grover wordt met lokale waaiers van grover materiaal. Op NAP – 10 tot -16 m komt in de fijnzandige afzetting een kleiige laag van 2 tot 4 m dikte voor. De onderzijde van de afzetting met fijn zand wordt gevormd door een potkleilaag op NAP – 29 tot – 41 m, dieper in oostelijke richting. Vervolgens wordt een grofzandige laag aangetroffen van van circa 26 tot 30 m dik, die tot Peelo of Urk Formatie wordt gerekend. Direct daaronder komt grof zand voor van de Appelscha Formatie.

In sonderingen in de Peelo zanden zijn niet veel scherpe teruggangen in conusweerstand gemeten. In tegenstelling tot de aanname van CHP zijn de afzettingen daarom niet sterk gelaagd. De sonderingen laten onderling wel sterke verschillen zien. De variatie in Peelo zanden over korte afstanden wijst op zeer grote heterogeniteit. Deze waarneming (ultra fijn tot grof zand, afgewisseld met klei en leem en zeer scheef staande kleilagen, gaten in potklei) blijkt overeen te komen met praktijkervaringen uit Groningse ondergrondse bouwwerken.

De doorlatendheid van het fijne Peelo zand is gemiddeld gering, circa 0,2 à 0,3 m/d maar maximale waarden komen op 18 m/d. Vooral bij de oostelijke diepe bouwputten is er meer kans op grotere doorlatendheid. Uit de pompproeven kan alleen worden afgeleid dat het totale doorlaatvermogen 60 à 70 m<sup>2</sup>/d is. De grondwaterverlagingen reiken echter ver. Verder is de hydraulische weerstand van de keileem aan westkant groot en aan oostkant geringer (waar de freatische grondwaterverlaging circa een kwart bedraagt van de stijghoogteverlaging in het watervoerende pakket). Het is niet mogelijk om uit de pompproeven de verticale doorlatendheid van de Peelo zanden of de weerstand van voorkomende (pot)kleilagen te bepalen. Het aantal van 2 pompproeven is te gering om een representatief beeld te geven voor alle bouwkuipen in het gehele tracé omdat de Peelo zanden heterogeen van samenstelling zijn.

Het grondwatermodel dat CHP heeft gebruikt voor ontwerp van bemaling en bouwkuipen is gebaseerd op het beschikbare en uitgevoerde grondonderzoek. Vanwege vermelde beperking aan de pompproeven is in het model grote onzekerheid omtrent de verticale weerstand. Door CHP uitgevoerde berekeningen met verwachtingswaarden zijn niet gebaseerd op metingen. Gevoeligheidsanalyses geven geen uitsluitsel over aan te houden worst case scenario's.



**Titel**

Second opinion bouwkuip VDL A7

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, UTRECHT	11203524-000	11203524-000-GEO-0003	57

Het geologisch profiel geeft aan dat een kleiiger laag binnen de bouwkuipen voorkomt op geringe diepte onder de ontgraving. Opbarstgevaar, verweking van de bouwputbodern en tegenvallende werking van (spannings)bemaling zijn hierbij risico's bij de diepe bouwputten waar terdege rekening mee moet worden gehouden. Het gevaar bestaat dat de bemaling tegenvalt met het risico dat aanpassing nodig is waarbij de omgevingseffecten toenemen.

In de variatie- en gevoeligheidsberekeningen van CHP is steeds de situatie met waterbezwaar en omgevingseffecten voor een enkele bouwput beschouwd en niet voor meerdere bouwputten tegelijkertijd terwijl dat volgens de planning van CHP wel aan de orde zal zijn, waarbij op gegeven moment zelfs 6 of meer compartimenten tegelijk bemalen kunnen worden. De varianten- en gevoeligheidsanalyse levert onvoldoende onderbouwing om daarop een keuze voor ondiepere plaatsing van kwelschermen bij de diepste bouwkuipen te baseren. Bij de varianten zijn effecten tot op grote afstand (350 m) te verwachten. Voor panden op staalfundering bestaan niet goed gekwantificeerde zettingsrisico's, vooral nabij oostelijk deel van tracé (Oosterpoortbuurt).

De variatie van maatgevend waterspanningsverloop langs damwanden is aangegeven maar de onderbouwing van de keuze is niet helder. Slechts 1 variant met een niet aangetoonde verwachtingswaarde is door CHP doorgerekend. Effect van variatie op moment en ankerkracht is niet duidelijk gemaakt. Tegenvallers worden beschouwd als calamiteit met veiligheid 1. Omdat de kansverdeling van variaties niet bekend is, is die aanpak niet acceptabel.

Bij ontwerp van damwanden dient rekening te worden gehouden met overconsolidatie van de ondergrond en voldoende corrosietoeslag. Daarnaast moet bij inbrengen en verwijderen met effecten voor de omgeving rekening worden gehouden

Mitigerende maatregelen zijn vermeld maar deze zijn te beperkt en niet uitgewerkt. De uitvoeringsrisico's voor de omgeving zijn derhalve onvoldoende in beeld gebracht. Het advies van Deltares is dat CHP voor worst-case-situaties de risico's voor de omgeving en bijbehorende beheersmaatregelen uitwerkt.

Vanwege de bezwaren van Deltares op de ontwerpen van CHP adviseert Deltares aan RWS om maatregelen te eisen van CHP die de gesignaleerde risico's beter beheersen en beperken. Ons advies is dat ARZ de onderhandeling met Opdrachtnemer in gaat door CHP te vragen om 2 oplossingen te ontwikkelen: een worst case aanpak en één volgens een aanpak met proefkuipen waarbij men de haalbaarheid tijdens de uitvoering vooraf aan ontgraving vaststelt. Op het moment dat de tweede methode niet blijkt te werken moet CHP terug kunnen vallen op de eerste aanpak (worst case). Mogelijkheden zijn toepassing van diepere wanden (zoals cementbentoniet met ingehangen damwand) of aanbrengen van een bodemafdichting (onderwaterbeton). Een verbeterd ontwerp insteken op een worst case aanpak voor de gehele verdiepte ligging lijkt een te zwaar middel. Een onderscheid tussen oost en west deel op basis van de grondopbouw en invloed wordt geadviseerd. Dit moet echter blijken uit analyse door CHP.

Het is noodzakelijk dat grenswaarden voor weging van omgevingseffecten helder zijn zodat grondwatermonitoring tot snelle besluitvorming kan komen voor noodzakelijke aanpassingen.

Eventuele uitvoering van het oostelijk deel met retourbemaling kan alleen als er een goed onderbouwd plan ligt. Invloeden van bemaling en retour moet CHP aantonen. Wij raden aan om eventuele inzet van retourbemaling pas na gebleken geschiktheid te overwegen waarbij ter onderbouwing een retourproef nodig is.



**Titel**  
Second opinion bouwkuip VDL A7

**Opdrachtgever**  
Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving,  
UTRECHT

**Project**  
11203524-000

**Kenmerk**  
11203524-000-GEO-0003

**Pagina's**  
57

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	jan. 2019						
2.0	feb. 2019						

**Status**  
definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vraagstelling</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Analyse van de bodemopbouw in het grondprofiel A7 VDL</b>	<b>5</b>
3.1	Algemene beschrijving bodemopbouw	5
3.2	Interpretatie data naar geologische profielen door TNO	10
3.2.1	Onderzoek van beschikbare onderzoeksdata	10
3.2.2	Geologische eenheden	11
3.3	Algemeen beeld en voorlopige interpretatie van TNO	13
3.4	Analyse van beschikbare doorlatendheidsmetingen	14
3.4.1	Doorlatendheidsbepaling in het laboratorium	14
3.4.2	Doorlatendheden uit constant head tests	14
3.4.3	Doorlatendheid uit korrelverdelingen	15
3.5	Antwoord op gestelde vragen	23
<b>4</b>	<b>Beoordeling van de pompproeven van CHP</b>	<b>24</b>
4.1	Grondwaterstanden	24
4.2	Pompproef #1 Hereweg	25
4.3	Aanvullende pompproef #2 Wichersstraat	28
4.4	Antwoord op gestelde vragen	31
<b>5</b>	<b>Geohydrologisch model tbv ontwerp kwelschermen en bemalingsontwerp</b>	<b>33</b>
5.1	Bodemopbouw en schematisatie volgens CHP	33
5.2	Uitgangspunten grondwaterstand en stijghoogte, ontgraving en verlaging	35
5.3	Vergelijking van het model van CHP met MIPWA en NHI	36
5.4	Controle van bouwkuipbemalingen in ontwerp CHP	36
5.4.1	Te stellen eisen aan de bemaling	36
5.4.2	Aanlegmethode	36
5.4.3	Globale controleberekening bemaling door Deltares	38
5.4.4	Gevoeligheidsanalyse CHP en omgevingseffecten	39
5.4.5	Planning van CHP voor bemalingen	40
5.5	Antwoorden op gestelde vragen over het grondwatermodel	43
<b>6</b>	<b>Beoordeling van constructief ontwerp damwanden</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Terugvalscenario's</b>	<b>48</b>
7.1	Maatregelen volgens CHP	48
7.2	Risico's die niet duidelijk belicht zijn door CHP	49
7.3	Antwoord op gestelde vragen omtrent beheersmaatregelen	52
7.4	Ervaringen uit de praktijk met ondergronds bouwen in Groningen	52
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>53</b>
8.1	Algemene opmerking	53
8.2	Geologisch profiel	53
8.3	Bevindingen second opinion geohydrologische aspecten	54
8.4	Constructief ontwerp damwanden	56



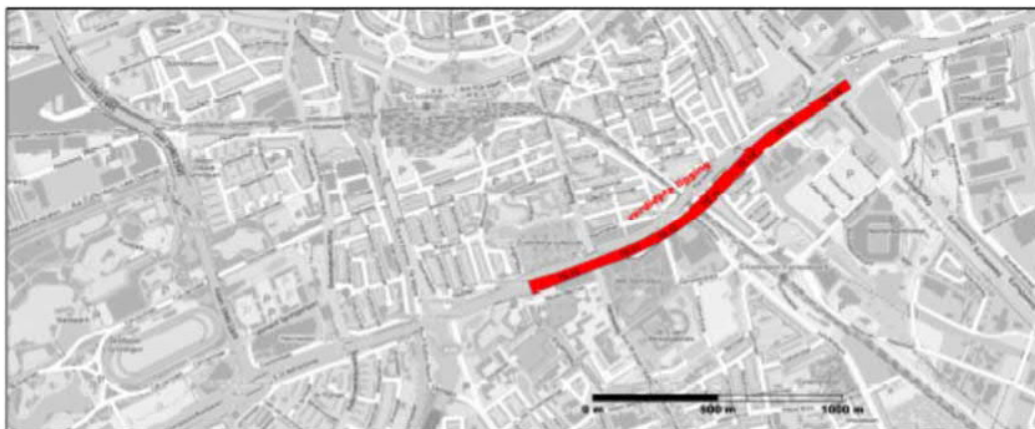
8.5 Advies aan RWS over verdere aanpak	56
<b>9 Referentielijst</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Informatie uit DINOloket ondergrondmodel REGIS II v2.2</b>	<b>A-1</b>
<b>B Berekening van doorlatendheid uit de korrelverdeling</b>	<b>B-1</b>
<b>C Informatie uit regionaal model MIPWA en NHI</b>	<b>C-1</b>
<b>D Omgevingsbelangen</b>	<b>D-1</b>
<b>E Controleberekening debiet en stijghoogteverlaging</b>	<b>E-1</b>
<b>F Geologisch profiel TNO</b>	<b>F-1</b>
<b>G Doorlatendheidsprofiel</b>	<b>G-1</b>

## 1 Inleiding

Het project A7 Ring Groningen Zuid wordt gerealiseerd door de Combinatie Herepoort CHP. De projectorganisatie Aanpak Ring Zuid (ARZ) is opdrachtgever. In dit project is vanwege de kruising van de spoorlijn en het Oude Winschoterdiep een verdiepte ligging (VDL) gepland over circa 1,2 km, globaal gelegen tussen Julianaplein en Europaplein (zie figuur 1.1). Onlangs heeft CHP in het uitvoeringsontwerp van de VDL voorgesteld om de damwanden (in hun terminologie: kwelschermen) rond de bouwkuip ondieper te maken (zie figuur 1.2) en daarbij ter beperking van kwel van grondwater naar de bouwkuip gebruik te maken van door CHP verwachte verticale hydraulische weerstand van bodemlagen bestaande uit zeer fijn zand (Peelo afzettingen). ARZ heeft het ontwerp afgekeurd waarbij werd gesteld dat door opdrachtnemer CHP onvoldoende was aangetoond dat het uitvoeringsontwerp aan de eisen voldoet, alsmede een beheerste uitvoering geborgd is. ARZ heeft twijfels over de juistheid van de interpretatie van de ondergrond na kennis genomen te hebben van een mogelijk andere schematisatie in ondergrondmodellen zoals GeoTop en het geohydrologische regionale model MIPWA. Er zijn risico's gesignaleerd vanwege de onzekerheid over mogelijke afwijkingen van het conceptueel ondergrondmodel, grotere lekkage, verminderde stabiliteit van de damwand en effecten in de omgeving van de bouwkuip. Vanwege de signalering van mogelijke risico's voor project en omgeving heeft RWS behoefte aan een second opinion over het ontwerp en daarmee samenhangende geohydrologische en geotechnische aspecten van de bouwkuip van de VDL. Om die reden is Deltares gevraagd om een second opinion uit te brengen. RWS heeft Deltares gevraagd om bij de advisering TNO te betrekken zodat geologen van TNO een oordeel kunnen geven over de samenstelling van de ondergrond.

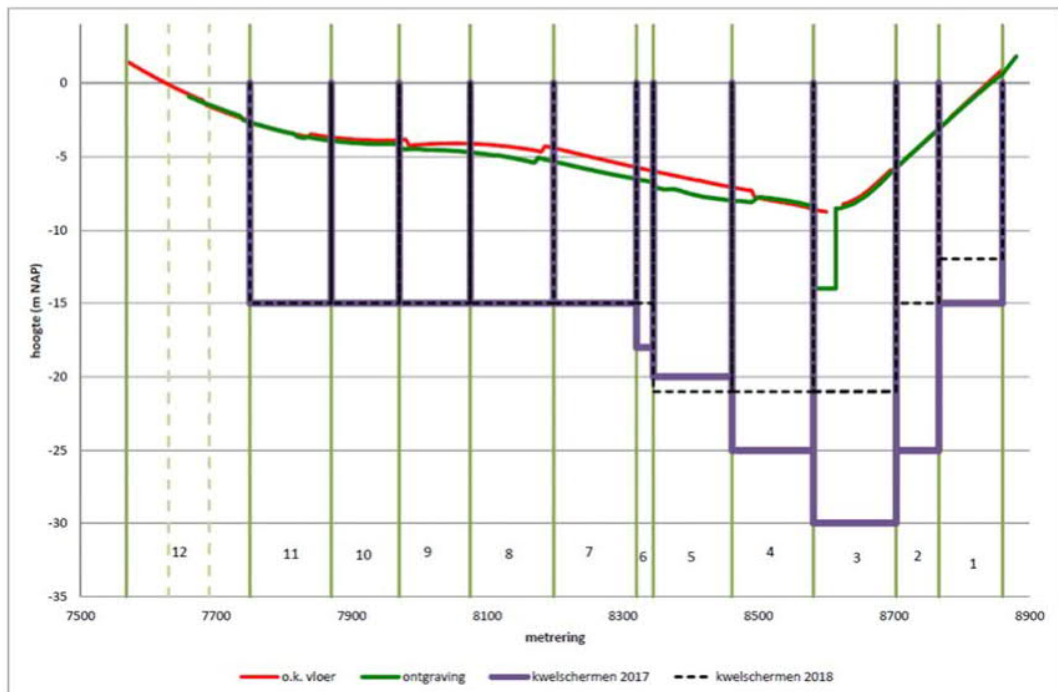
De compartimentnummers en de damwanddiepten zijn aangegeven in Figuur 1.2. Ter toelichting op Figuur 1.2 vermelden wij de volgende locatieaanduiding:

- Op de grens van compartiment 10 en 11 ligt de kruising van de Hereweg.
- Ter plekke van compartiment 6 wordt de spoorkruising gemaakt.
- De kruising van het Oude Winschoterdiep wordt gemaakt in compartiment 3.



Figuur 1.1 Tracé van de verdiepte ligging in de A7 Ring Groningen Zuid





Figuur 1.2 Diepte van damwanden (kwelscheren) rond VDL in ontwerp 2017 (blauw) en aanpassing in UO 2018 (gestippeld) [CHP]

Alle documenten die betrekking hebben op de keuze voor de bouwkuipoplossing en de bemaling die vermeld zijn in de referentielijst in hoofdstuk 8. De stukken zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat en zijn doorgenomen door Deltares in het kader van de second opinion. TNO heeft de boringen en sonderingen geïnterpreteerd en een grondlagenprofiel opgezet.

## 2 Vraagstelling

De scope van het door Deltares uit te voeren onderzoek is door RWS aangegeven (onder andere in het offertevoorzak van 29 november en voorafgaande memo van [REDACTED] van 13 november 2018):

1. Uitvoering van een second opinion van de bodemopbouw, met de volgende deelvragen (zie ook advies van RWS WV ( [REDACTED] ) aan ARZ ( [REDACTED] ) van 06-11-2018):

A. Uitgangspunten in het bemalingsontwerp t.a.v. bodemopbouw: in hoeverre klopt de aanname van CHP t.a.v. doorlatendheid en homogeniteit van (diepere) grondlagen? De beantwoording wordt ter hand genomen door TNO i.o.v. Deltares.

Van belang hierbij is om de volgende deelvragen na te gaan (niet limitatief):

- Hoe groot is de kans op voorkomen van zandlagen onder de keileemlaag die anders zijn dan zeer fijn zand?
- In hoeverre komt de inschatting overeen met beschikbare informatie van boringen en sonderingen?
- Hoe groot is de variabiliteit van de bodemlagen en wat betekent dat dan voor de kans op afwijking van de aanname van een sterk gelaagd watervoerend pakket waarin fijn zand voorkomt met een lage verticale doorlatendheid?

B. Resultaten van pompproeven in de H.L. Wicherstraat en de Hereweg: in hoeverre zijn de uitgevoerde pompproeven representatief voor de bouwkuip VDL?

Hierbij spelen de volgende deelvragen een rol (niet limitatief):

- Zijn de pompproeven correct opgezet en uitgevoerd en in hoeverre zijn de conclusies op de juiste wijze getrokken?
- Zijn de pompproeven representatief voor het gehele VDL-tracé?
- Welk extra onderzoek is nodig, als sprake is van heterogene bodemopbouw?

C. Grondwatermodel: in hoeverre zijn variaties in bodemopbouw (zie A) correct vertaald naar het grondwatermodel en daarin aangehouden parameterwaarden?

De volgende deelvragen zijn hierbij van belang (niet limitatief):

- Hoe is de heterogene bodemopbouw vertaald naar het grondwatermodel en modelparameters?
- Welke worst-case scenario's zijn doorgerekend en is dat voldoende om de uitvoeringsrisico's in beeld te brengen?
- In hoeverre is in het grondwatermodel (bij de keuze en variatie van modelparameters) voldoende rekening gehouden met een heterogene bodemopbouw (zie punt 1A) ten aanzien van:
  - Het berekende bemalingsdebiet (met bandbreedte).
  - De grootte van het beïnvloedingsgebied met verlaging van grondwater (bij mogelijke variaties).
  - De grootte van effecten in de omgeving (bij mogelijke variaties)?



2. Analyse van beheersmaatregelen in relatie tot punt 3:

- Wat zijn in de gegeven situatie (dicht stedelijk gebied Groningen, veel objecten en belangen in de omgeving) adequate en realistische beheersmaatregelen?

3. Risicobeschouwing van de uitvoeringswijze (t.a.v. geohydrologie & constructieve veiligheid van de bouwkuip) incl. beheersmaatregelen en terugvalopties.

Dit aspect van constructieve veiligheid van de bouwkuip hangt samen met de geohydrologie en kan uitwerken in de veiligheid en stabiliteit van damwanden, maar ook van de werkvloer (in de zin van "opbarsten").

Bij de risicobeschouwing zijn de volgende deelvragen gesteld (niet limitatief):

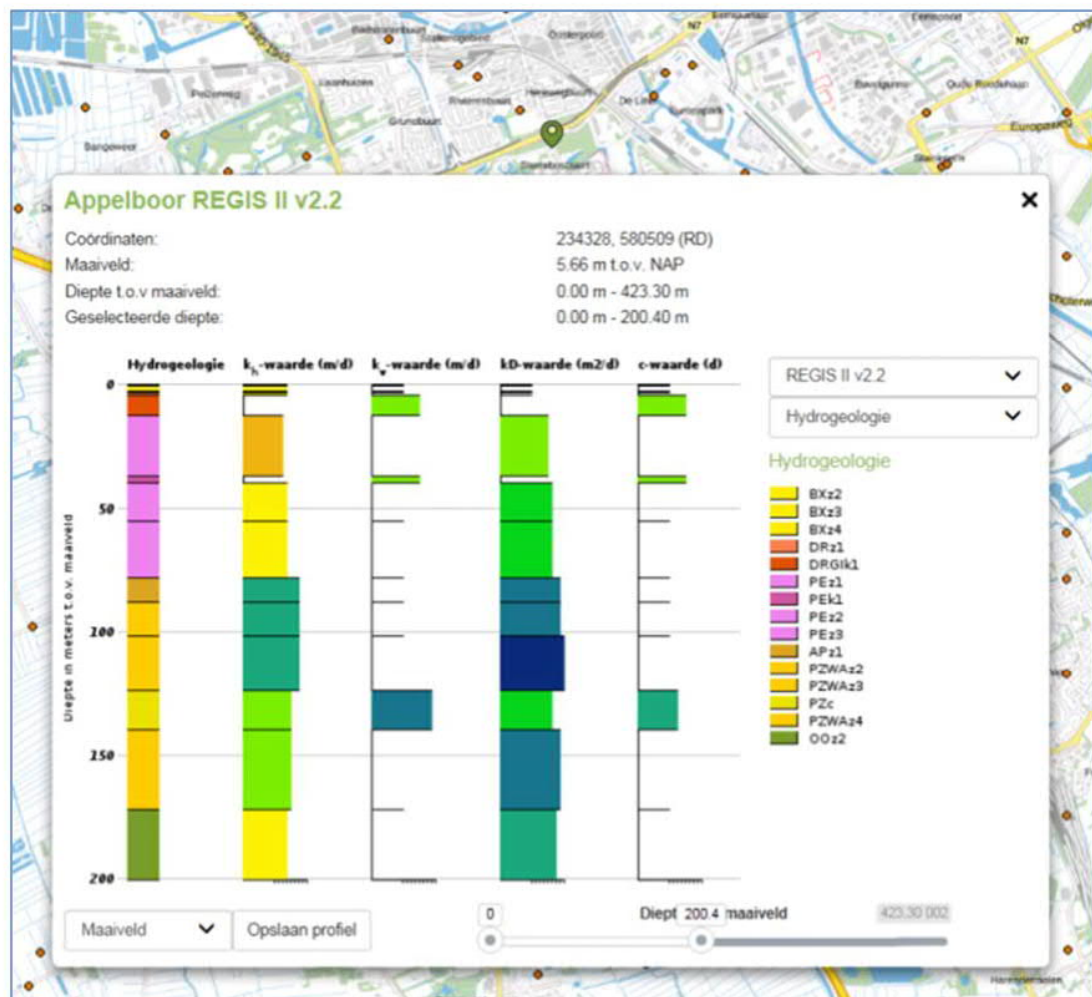
- Welke risico's m.b.t. geohydrologie kunnen optreden tijdens de uitvoering van ontwatering cq. bemaling (bouwkuip VDL en omgeving)?
- Welke risico's voor constructieve veiligheid zijn aan de orde (bouwkuip VDL en omgeving)?
- Welke beheersmaatregelen en terugvalopties zijn voorgesteld door CHP? In hoeverre zijn de voorgestelde maatregelen adequaat en realistisch?

De risicobeschouwing wordt door Deltares uitgevoerd in de vorm van een korte analyse waarna een risicosessie volgt met experts van RWS en Deltares/TNO, technisch manager van project ARZ ( ) en prof.ir. ( ).

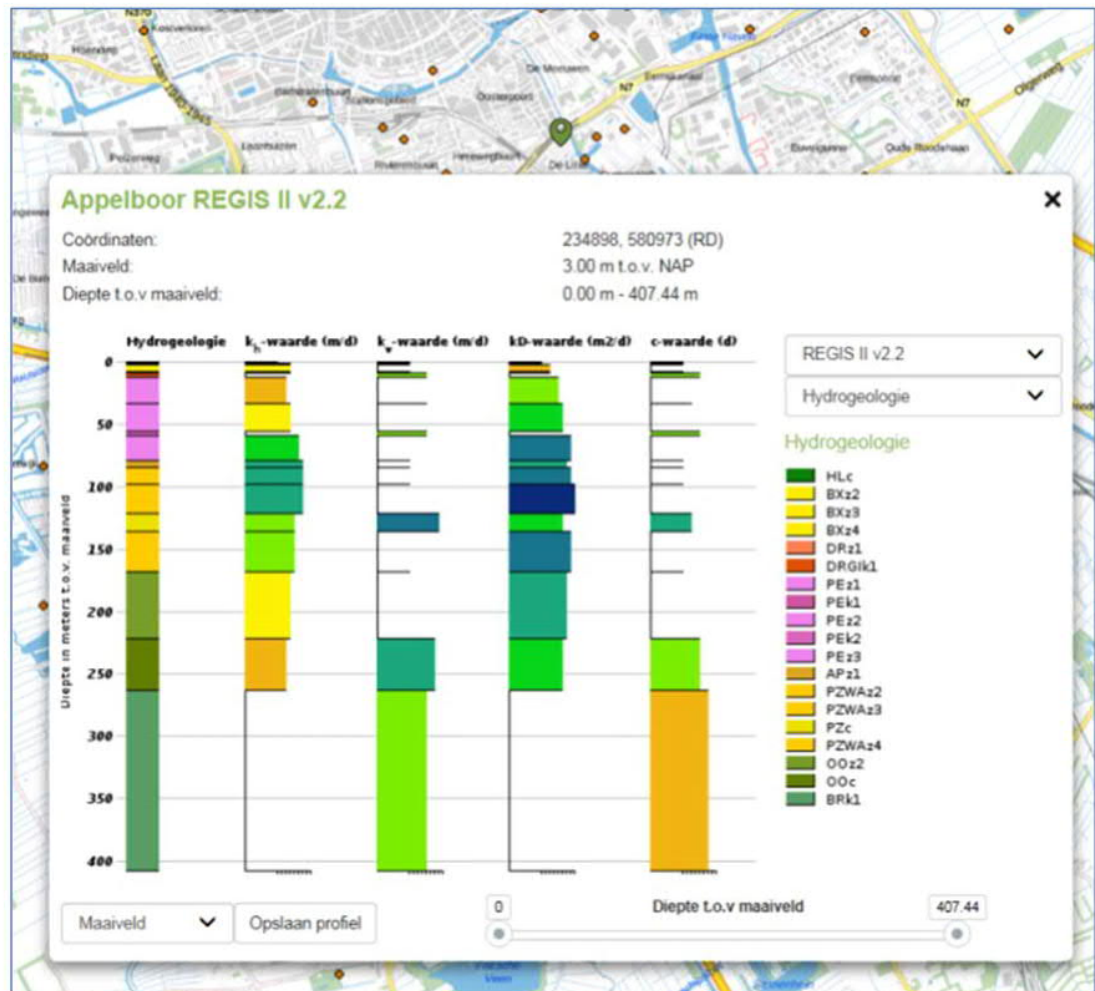
### 3 Analyse van de bodemopbouw in het grondprofiel A7 VDL

#### 3.1 Algemene beschrijving bodemopbouw

Om meer begrip te krijgen van de lokale situatie is allereerst de informatie beschouwd die beschikbaar is via DINOloket. De globale geohydrologische schematisatie van de ondergrond in het betreffende gebied inclusief waarden voor geohydrologische parameters kan worden ontleend aan de bodemopbouw die is aangegeven in het REGIS-model in DINOloket.



Figuur 3.1 Globale verticale bodemopbouw ter plekke van Hereweg (DINOloket, REGIS II)



Figuur 3.2 Figuur 2. Globale verticale bodemopbouw ter plekke van Oude Winschoterdiep (DINOloket, REGIS II)

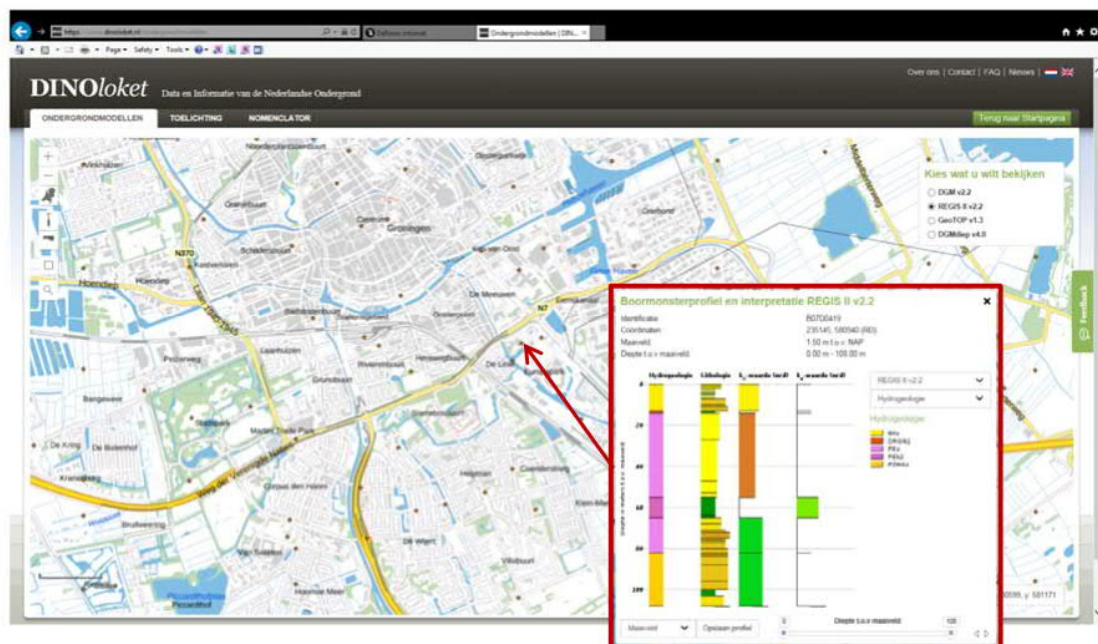
Uit een verticaal profiel volgens de appelboor optie in DINOloket (zie figuur 3.1 en 3.2) blijkt dat de volgende laagindeling kan worden aangehouden:

- Holocene toplaag, vooral kleiige afzettingen van enkele decimeters tot enkele meters dikte.
- Enkele meters zand van de Formatie van Bostel ( $k=5$  à  $10$  m/d)
- Keileem (inhomogene afzetting van klei vermengd met zand, grind en leem) van het laagpakket van Gieten in de Formatie van Drenthe. De keileem komt voor tot een diepte van circa NAP – 5 m ( $c=1000$  tot  $5000$  d) en bevindt zich in een band die van noordwest naar zuidoost loopt in een lijn onder het centrum van de stad Groningen door. Deze afzetting ligt voornamelijk westelijk van het Winschoterdiep.
- Eerste fijnzandige laag van de Formatie van Peelo ( $kD=50$  à  $100$  m<sup>2</sup>/d).
- Eerste kleiige laag van de Formatie van Peelo van circa 1 tot enkele meters dikte op een diepte van circa NAP – 30 tot – 35 m. Deze laag komt in het tracé voor ten westen van de spoorlijn ( $c=500$  d).
- Tweede fijnzandige laag van de Formatie van Peelo ( $kD=100$  à  $200$  m<sup>2</sup>/d).

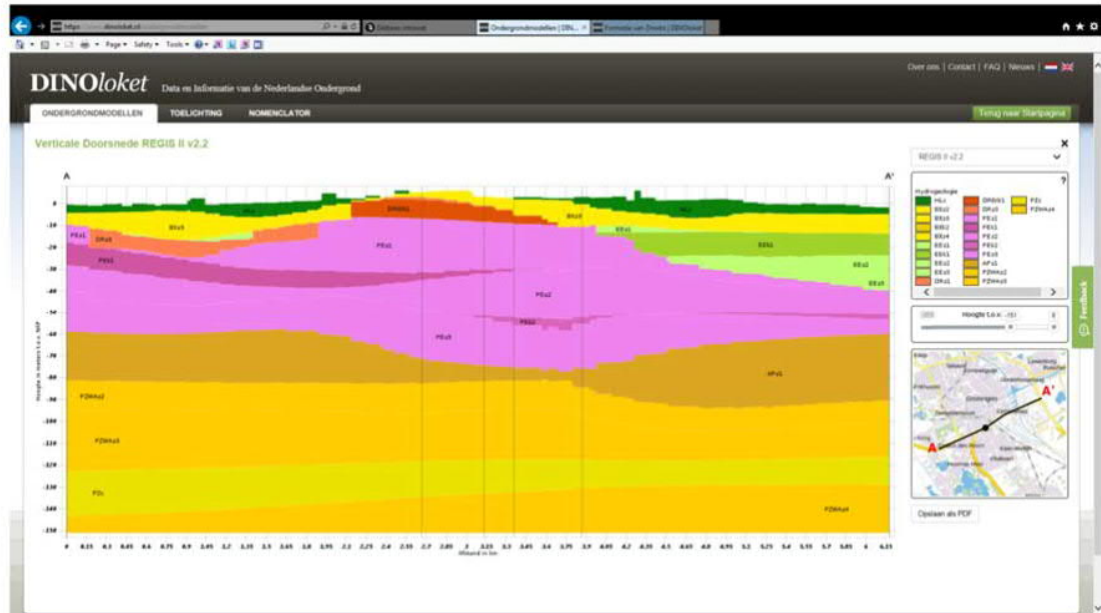


- Tweede kleiige laag van de Formatie van Peelo. Deze laag komt in het tracé voor van spoorlijn tot ongeveer Europaplein op circa NAP – 45 tot -50 m (c=1000 à 5000 d).
- Derde zandige laag van de Formatie van Peelo (kD=100 à 200 m2/d).
- Eerste zandige laag van de Formatie van Appelscha tussen NAP – 70 en – 80 m (kD=500 m2/d).
- Zandige lagen van de Formaties van Peize/Waalre (kD=1000 m2/d).
- Op circa NAP – 120 m een 15 m dikke complexe eenheid (klei/zand) van de Oosterhout Formatie (c=500 d).

De laagopbouw is weergegeven in figuur 4 waaruit het voorkomen van kleiige lagen van de Peelo Formatie blijkt die ter plaatse van de VDL A7 zouden liggen op circa NAP – 30 m en circa NAP – 50 m. Deze lagen wiggen echter uit. De verbreiding van afzettingen en geohydrologische parameterwaarden volgens het REGIS ondergrondmodel zijn aangegeven in de bijlagen. Er wordt opgemerkt dat het aantal boringen waarop de REGIS-kartering is gebaseerd, beperkt is (zie figuur 3.3).

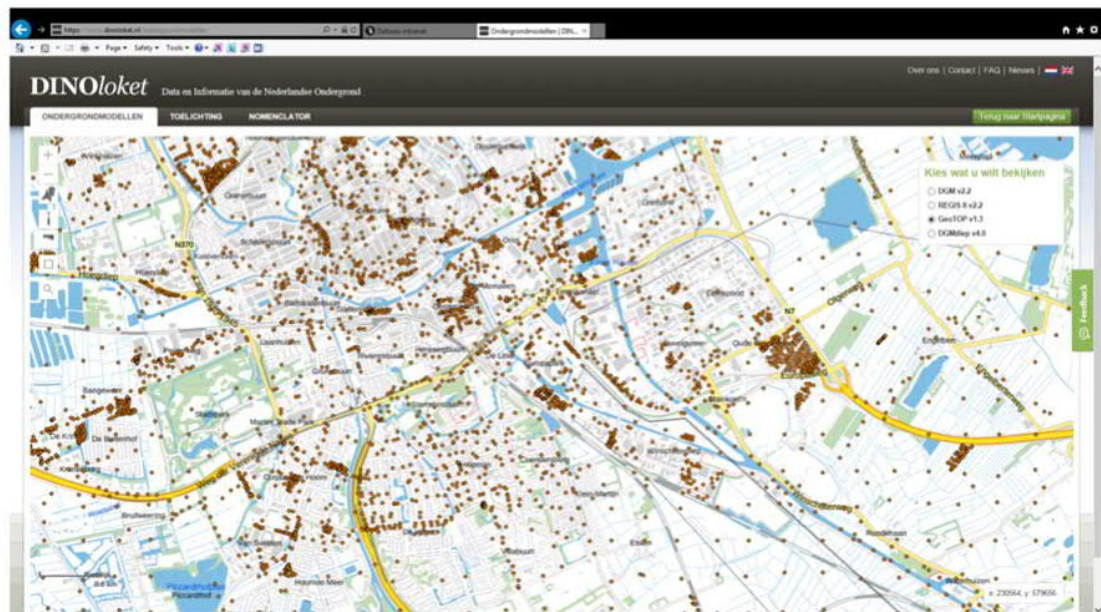


Figuur 3.3 Boringen in DINOloket waarvan via ondergrondmodel REGIS informatie is opgevraagd



Figuur 3.4 Geologisch profiel over de A7, DINOloket grondmodel REGIS tot NAP – 150 m

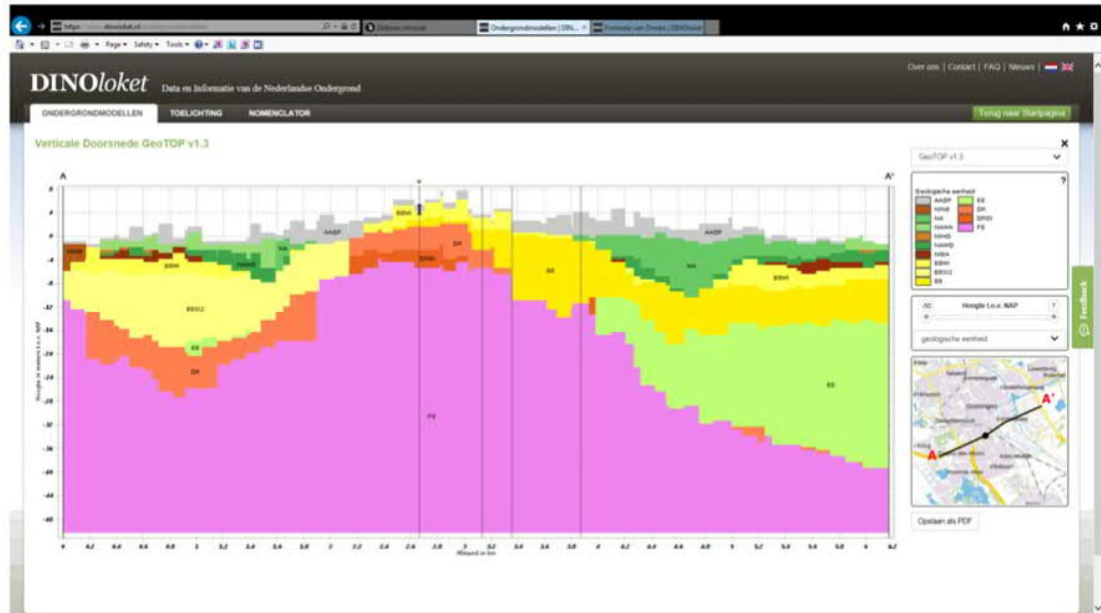
Om meer lokaal inzicht te krijgen in de ondiepe bodemstructuren is DINOloket ondergrondmodel GeoTOP geraadpleegd (zie Figuur 3.6). Dit model is gebaseerd op veel meer boorgegevens (zie Figuur 3.5) maar heeft een kleiner dieptebereik van 50 m – MV.



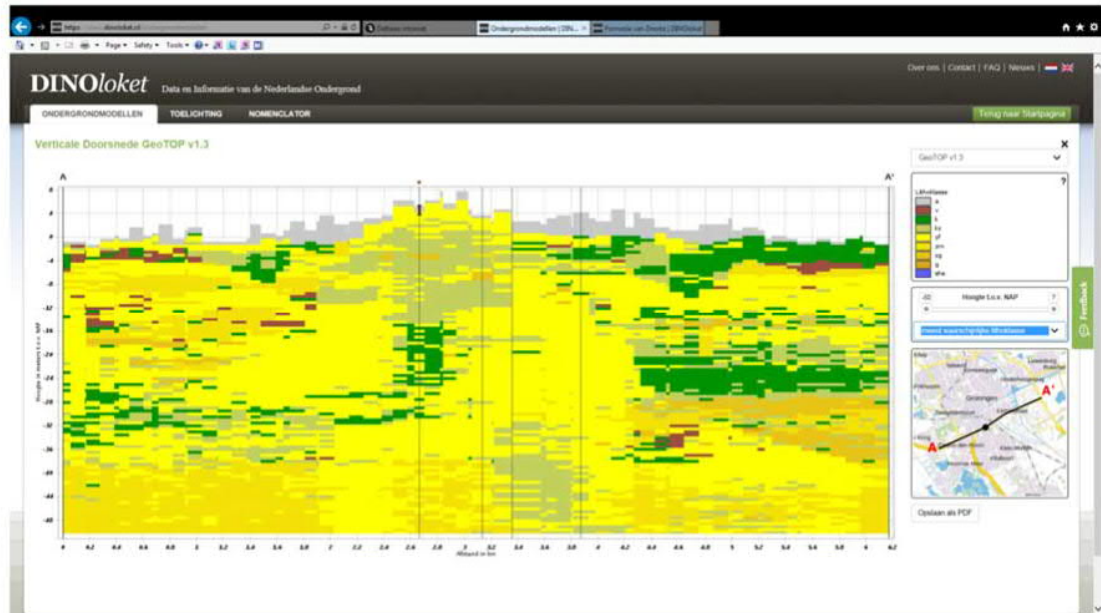
Figuur 3.5 Boringen in DINOloket waar GeoTOP op is gebaseerd

In het geologisch model in GeoTOP zijn de kleiige eenheden in de Peelo Formatie niet meer onderscheiden (Figuur 3.6). In het lithologisch model met de verschillende grondsoorten zijn wel kleiige zones te herkennen (Figuur 3.7).



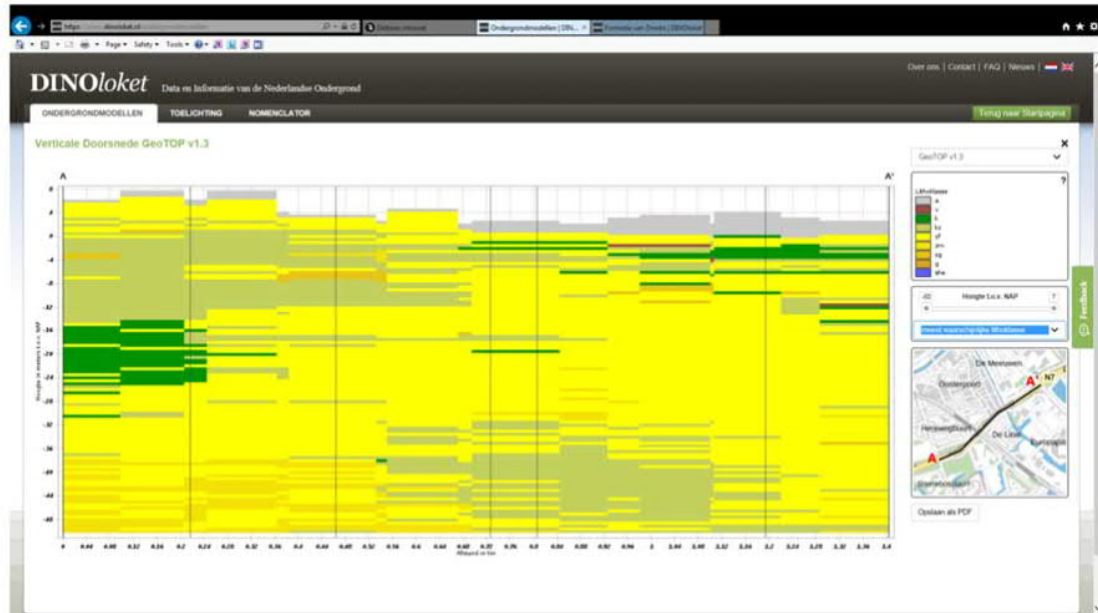


Figuur 3.6 Uitsnede geologisch profiel in DINOloket. Tussen de verticale lijnen t.p.v. Hereweg en Europaweg bij circa 2,65 en 3,85 km ligt het tracé van de VDL A7



Figuur 3.7 Uitsnede lithologisch profiel A-A' volgens GeoTOP in DINOloket. Tussen de verticale lijnen t.p.v. Hereweg en Europaweg bij circa 2,65 en 3,85 km ligt het tracé van de VDL A7





Figuur 3.8 Lithologisch profiel volgens GeoTOP in DINOloket alleen voor het tracé van de VDL A7

In DINOloket model GeoTOP zou de eerste kleiige eenheid in de Peelo Formatie ter plekke wat ondieper kunnen voorkomen dan REGIS vermeldt (uitwiggend naar NAP – 20 m ter plekke van het spoor). De tweede kleiige eenheid zou kunnen worden aangeduid tussen NAP – 32 en – 50 m en komt voor van Kempkensberg tot voorbij het Oude Winschoterdiep. Er is in de Peelo Formatie wel veel variatie in de voorkomende lithoklasse in het profiel aanwezig, van kleiig zand tot zand fijn en zand matig. Nadere studie aan de hand van het door de aannemer uitgevoerde grondonderzoek is noodzakelijk om meer inzicht in eventueel aanwezige afzettingen te verkrijgen. Hierop is in volgende paragraaf ingegaan.

### 3.2 Interpretatie data naar geologische profielen door TNO

#### 3.2.1 Onderzoek van beschikbare onderzoeksdata

Op basis van de boor- en sondeerdata van CHP (uitgevoerd door Wiertsema) is door geologen van TNO een profiel gemaakt over het tracé. Hierbij zijn 19 boringen en 51 sonderingen gebruikt van de dataset (met boor- en sondeerdata van Wiertsema) die is toegestuurd door opdrachtgever. Punten die niet op het VDL A7 tracé lagen zijn erop geprojecteerd. De locaties van de gebruikte meetpunten zijn aangegeven in de attachment (voor boringen: blauw zijn TNO nummers, groen de Wiertsema nummers, dit ter vergelijking). Hoewel nog een dataset (met oudere grondonderzoeksdata van RWS) ter verwerking is aangeleverd, leidde dat niet tot belangrijke nieuwe bevindingen / toevoegingen.

In het opgestelde profiel zijn 9 geologische eenheden onderscheiden. Het zijn eenheden die lithologisch van elkaar te onderscheiden zijn en vaak ook in de sonderingen te vervolgen zijn. Eenheden waarvan niet zeker is hoe het verloop precies is, zijn aangegeven met een stippellijn.

Door TNO zijn twee profiel bestanden gemaakt. De interpretatie / lijnen in beide profielen zijn identiek. Het enige verschil is welke gegevens in de punten worden weergegeven:

- RWS\_M63\_v1.xlsm (**tabblad Profile**): In dit profiel is uit het door RWS/ARZ verstuurd zeefanalyse.xls bestand de Mz (M63, zandmediaan) aangegeven als puntjes in een grafiek met een schaalverdeling van 0 tot 0,6 mm. De dikte van het geanalyseerde interval van iedere meting is aangegeven. 0,1mm geldt als gemiddelde korrelgrootte voor fijn zand, 0,2mm als overgang van fijn naar middel zand en 0,5mm als overgang van middel naar grof zand.
- RWS\_PCT500\_v1.xlsm (**tabblad Profile**): In dit profiel is het percentage uit de korrelverdeling  $\geq 0,5$  mm (overgang van middel naar grof zand) weergegeven als puntjes in een grafiek met schaalverdeling 1 tot 5%. Dit percentage is berekend uit het door RWS/ARZ verstuurd xls bestand met resultaten van zeefanalyses. De dikte van het geanalyseerde interval van iedere meting is in de grafieken aangegeven.

In de PCT500 versie van het profiel ziet men dat plaatselijk een grover interval aanwezig is, in de M63 versie is dit minder duidelijk maar is het wel degelijk zichtbaar.

### 3.2.2 Geologische eenheden

#### **Eenheid AAOP**

Dit is antropogeen opgebracht materiaal (o.a. Talud, ophoging e.d.).

#### **Eenheid NA\_NI**

Dit is slappe klei en plaatselijk veen van Holocene ouderdom (hier jonger dan 9000 jaar). We noemen dit de Formatie van Naaldwijk en/of Formatie van Nieuwkoop. Overgang naar bovenliggend pakket is soms moeilijk aan te geven. Deze eenheid komt alleen voor in het oostelijk deel van het profiel vanaf boring B07D9889 (oostelijk van de spoorlijn).

#### **Eenheid BX**

Deze eenheid bestaat uit matig grove en matig fijne zanden met plaatselijk ingeschakelde leemlagen uit het laatste deel van de laatste ijstijd (Weichselien). De eenheid komt vooral voor in het oostelijk deel van het profiel vanaf sondering S07D02362. Ten westen hiervan komt de eenheid plaatselijk ook voor maar is nauwelijks te onderscheiden van bovenliggende eenheid A. Daarom is de ten westen van sondering S07D02362 samengevoegd met Eenheid AAOP.

#### **Eenheid DRGI**

Dit is de keileem of leemlaag. Deze laag is afgezet als onderdeel van de Drenthe Formatie onder een ijsmassa in de Saale ijstijd, ruwweg 150.000 jaar geleden. Lithologisch bestaat deze eenheid voornamelijk uit leem met een zandige en/of grindige bijmenging. Naar boven toe wordt de eenheid zandiger. Plaatselijk komen er grindlagen voor (bv. boring B07D9899 nabij de Hereweg). De eenheid komt nagenoeg overal voor tussen de -4 en -6m NAP en heeft ten westen van boring B07D9889 een dikte van 4 tot 10 m. De onderzijde op -4 tot -6 m NAP ligt tamelijk vlak. Ten oosten van boring B07D9889 (niet op tekening aangegeven, bij sondering S07D02362, iets noord-oostelijk van het spoor) wordt de eenheid snel dunner maar blijft aanwezig in het profiel. Vanaf boring B07D9895 (niet aangegeven op locatietekening, bij sondering S07D02331) naar het oosten komen de basis en de top van de eenheid dieper te liggen. Nog verder oostelijk (gelegen buiten het profiel) is de keileem volledig versneden door een groot versnijdend dal systeem (Hunze oerstroombdal), dat ontstond toen de ijsmassa afsmolt.



**Eenheid PE\_1**

Deze eenheid vormt de top van de Formatie van Peelo. De eenheid betreft een zone waarin de korrelgrootte over het algemeen grover is (0,150 tot 0,200 mm) dan onderliggende sedimenten van de Formatie van Peelo (Eenheden PE\_2 en PE\_3). De eenheid lijkt plaatselijk vrij scherp begrensd te zijn (op NAP – 10 tot -16 m) met onderliggende sedimenten van de Formatie van Peelo maar dit is niet overal het geval. In deze laatste situatie lijkt de eenheid meer een 'vergroevings-continuüm' te zijn van onderliggende eenheden (bv. boring B07D9894). De dikte bedraagt 4 tot 10m maar is over het algemeen sterk variabel. Van west naar oost krijgt Eenheid E steeds meer inschakelingen van matig grof en zeer grof zand en bevat de eenheid meer grind. Vanaf de spoorlijn naar het oosten (vanaf boringen B07D9885 en B07D9887 nabij het spoor) lijken de grof zandigere inschakelingen frequenter/dikker te worden. Ze komen daar voor tot een diepte van NAP – 28 m. Dit beeld is vooral te zien in de PCT500 versie. In REGIS terminologie valt eenheid PE\_1 in de eenheid Pez1.

**Eenheid PE\_2**

Eenheid G is een relatief fijne eenheid met een karakteristieke dikte van 2 tot 4 m die direct onder Eenheid PE\_1 voorkomt op diepten van NAP – 12 tot -16 m. De eenheid bestaat uit zandige klei of kleiig zand. De conus is vaak lager dan die van overliggende eenheid PE\_1. In de meeste gevallen is de overgang naar onderliggende eenheid diffuus en moeilijk aan te geven (bv. boring B07D9888), en derhalve gestippeld. De eenheid lijkt verbonden te zijn met een vrij dik kleipakket in de uiterste oostelijke verbreding maar de directe relatie met dit dikke kleivoorkomen is onzeker. Bij sondering S07D02323 (nabij het spoor) is de eenheid lokaal afwezig. In REGIS terminologie valt eenheid PE\_2 in de eenheden Pez1 en Pek1.

**Eenheid PE\_3**

Eenheid H is een complex van uiterste fijne (ZUF), zeer fijne (ZZF) zanden ( $M63 < 0,1\text{mm}$ ) en zandige klei behorende tot de Formatie van Peelo. Zeer plaatselijk komen grovere inschakelingen voor (B07D9882, 175 m oostelijk van de Hereweg). Er lijken in het profiel PCT500 tot grote diepte relatief grove delen voor te komen (zie bv. B07D9887, nabij het spoor waar tot NAP – 28 m grof materiaal aanwezig is). Deze grove stukken tonen echter geen systematisch beeld en kunnen derhalve niet lateraal worden vervolgd / gekarteerd (zie opmerking 1 hieronder). Binnen eenheid PE\_3 kon een relatief continue fijnere zone worden aangegeven waarvan de eigenschappen vergelijkbaar zijn met die van eenheid PE\_2. In REGIS terminologie valt eenheid PE\_3 in de eenheid Pez2.

**Eenheid PE\_4**

Eenheid I is een 0.5 - 1m dik pakket klei en/of kleiig zand die relatief continu voorkomt over de volledige lengte van het profiel. De diepteligging neemt toe van west naar oost. De eenheid ligt zeer scherp op onderliggende Eenheid PE\_5. De eenheid lijkt verbonden te zijn met een vrij dik kleipakket in de uiterste oostelijke verbreding maar de directe relatie met dit dikke kleivoorkomen is onzeker. In REGIS terminologie valt eenheid PE\_4 in de eenheid Pek2.

**Eenheid PE\_5**

Eenheid PE\_5 komt voor op een diepte groter dan NAP -38 m en is over het algemeen een pakket matig fijne tot zeer fijne zanden met een hoge waarde voor de conusweerstand. De eenheid heeft een dikte van 30 tot 35m. Plaatselijk komen echter ook grove en uiterst grove zanden voor (zie geprojecteerde boring B07D0065).

De stratigrafie van eenheid PE\_5 is niet helemaal duidelijk. Mogelijk representeert dit pakket toch een fijne facies van de Formatie van Urk, welke de origine van de sedimenten fluviatiel en/of estuarien maakt. In REGIS terminologie valt eenheid PE\_6 in de eenheid Pez3.



**Eenheid AP**

Eenheid AP komt voor op een diepte tussen NAP -60 en -70m. Dit is een ruwe schatting op basis van een aantal geprojecteerde boringen. Dit zijn grofzandige en grindrijke sedimenten behorende tot de Formatie van Appelscha. In het meest oostelijk deel van het profiel lijkt de top van deze Formatie te zijn versneden door de Formatie van Peelo.

**3.3 Algemeen beeld en voorlopige interpretatie van TNO**

De genese van de keileem (Eenheid DRGI) is subglaciaal afgezet [Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten, grondmorene] tijdens de Saalien glaciatie. Dit is een zeer heterogene afzetting, van klei en leem tot grof zand, grind en stenen.

Het pakket onder de keileem (Eenheden PE\_1 t/m Pe\_4, dat wil zeggen vanaf onderzijde keileem op circa NAP – 5 m tot NAP – 26 à 30 m bij de Hereweg tot circa NAP – 40 m ten oosten van het Oude Winschoterdiep) is volgens onze interpretatie afgezet in een fluvio-lacustrien afzettingsmilieu tijdens de Elsterien glaciatie. Voor het ijs was een zoetwatermeer aanwezig waarin tijdens rustige periodes (weinig afsmelt van ijs) kleien en uiterst fijne zanden werden afgezet (bv. eenheid PE\_2, PE\_4). Deze sedimenten werden aangevoerd door erosie van onder het ijs. Tijdens periodes met grotere afsmelting van ijs werden er relatief grovere sedimenten afgezet bestaande uit matig fijne, matige grove en plaatselijk grovere zanden (bv. eenheid PE\_1, PE\_3). Dit beeld van matig fijn zand in plaats van zeer fijn zand is bijvoorbeeld goed waarneembaar in boring B19031. Het hele systeem kan worden omschreven als een waaier/fan-achtig systeem (lokale waaiers met grover materiaal) dat uitbouwde in / intercaleert met de fijnere afzettingen. Doordat deze waaier/fan zich langzaam uitbouwde, vertoont het pakket een vergroving naar boven toe maar vooral ook lateraal in oostelijke richting, vooral vanaf de spoorlijn. Waarschijnlijk lag het oostelijk deel van het profiel dus dicht bij de sediment bron.

Vanwege het fan-achtige karakter van grovere delen in de Formatie van Peelo is de kartering van laterale verbreidingen op basis van de huidige set boringen en sonderingen vrijwel onmogelijk. We kunnen alleen een aantal "fijne" en "grovere" zones aangeven waarin de afzettingscondities relatief rustig versus relatief energetisch waren. Binnen deze zones vindt echter ook nog korrel grootte variatie plaats (in eenheid PE\_2 zit bijvoorbeeld niet overal klei).

Het is mogelijk dat de Eenheid PE-5 al een andere formatie is dan de nu geïnterpreteerde Formatie van Peelo.

De aanwezigheid van een 8m dik grofzandig pakket in bv. boring B19032/B07D9895 is uitzonderlijk en moeilijk te verklaren in een afzettingsmilieu als dat van de Formatie van Peelo en doet meer denken aan de aanwezigheid van fluviaatiele of estuariene geul lichamen van de Formatie van Urk. Om dit te kunnen vaststellen is nader onderzoek nodig omdat eigen boringen van TNO te beperkt zijn om hier uitsluitel over te kunnen geven. Nader onderzoek naar de boorzakjes van Wiertsema is daarbij zeer belangrijk.

### 3.4 Analyse van beschikbare doorlatendheidsmetingen

#### 3.4.1 Doorlatendheidsbepaling in het laboratorium

In het kader van het grondonderzoek voor CHP zijn in het tracé van de VDL 30 boringen verricht (B19000 tot - 9, B19012 en 13, B19015-21, B19023-26, B19028-34), met een gemiddelde diepte van NAP - 30,4 m, maximaal tot NAP – 37,7 m, waaruit een groot aantal monsters zijn genomen. De resultaten zijn gerapporteerd in:

- ARZ-OM-KW19-1180 65521-19 R47532 Geotechnisch onderzoek KW19.

Het merendeel van de monsters (499) is uit een lang boortraject afkomstig zodat waarschijnlijk sprake is van geroerde monsters. Een kleiner aandeel (113 stuks) betreft monsters die zijn genomen uit Ackermann steekbussen.

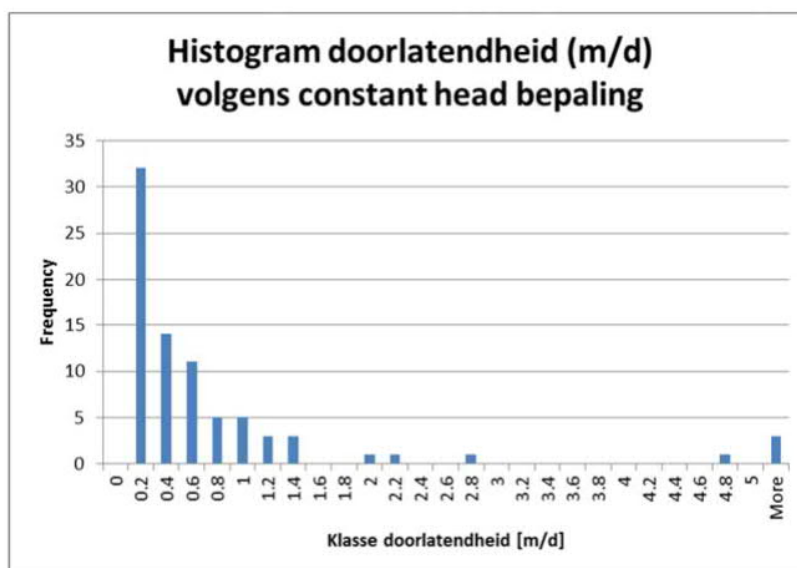
De doorlatendheden zijn in het laboratorium van Wiertsema bepaald. De bepalingen zijn volgens het rapport op 3 manieren uitgevoerd:

- Doorlatendheid berekend uit korrelverdelingen.
- Doorlatendheid uit constant head tests.
- Doorlatendheid uit falling head tests.

Resultaten van falling head tests (die voornamelijk op kleig materiaal zouden moeten zijn uitgevoerd) hebben wij echter niet aangetroffen in vermeld rapport.

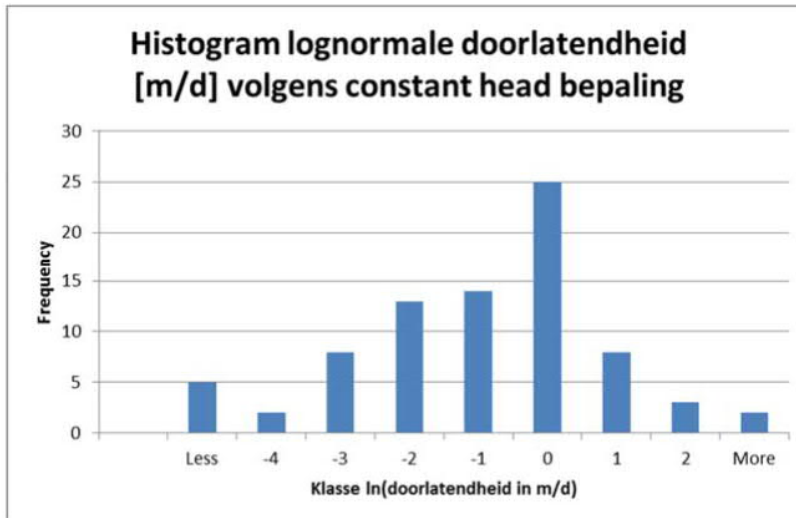
#### 3.4.2 Doorlatendheden uit constant head tests

Door Wiertsema zijn in het laboratorium 80 doorlatendheidsbepalingen uitgevoerd op non-cohesief monstermateriaal (voornamelijk fijn zand) uit de boringen volgens de constant head methode. Door Deltares is de statistische verdeling van de doorlatendheden van de verzamelde monsters bepaald volgens de normale en lognormale verdeling en gepresenteerd in de volgende histogrammen.



Figuur 3.9 Normale kansverdeling van doorlatendheidswaarden volgens constant head bepaling van doorlatendheid van monsters uit de Peelo zanden in ondergrond VDL A7





Figuur 3.10 Lognormale kansverdeling van doorlatendheidswaarden volgens constant head bepaling van doorlatendheid van monsters uit de Peelo zanden in ondergrond VDL A7

De doorlatendheid van zand is lognormaal verdeeld (niet kleiner dan nul en waarden met grover wordende korrelgrootteklasse nemen toe met een schaal factor 10).

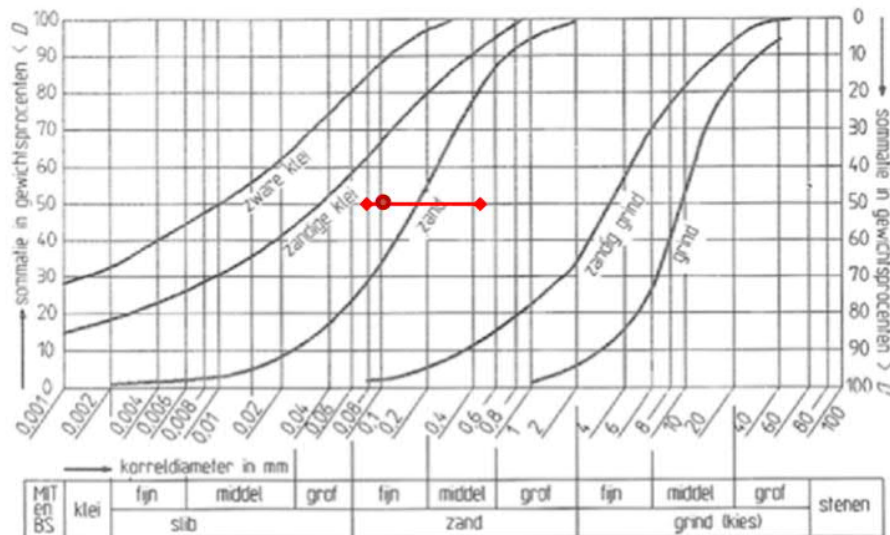
Op basis van de lognormale verdeling is de gemiddelde doorlatendheid van de verzameling grondmonsters 0,2 m/d (log  $k = -1,62$  met een spreiding op logaritmische schaal van 2,1). De doorlatendheden van het Peelo zand zijn derhalve over het algemeen klein. De karakteristieke bovengrenswaarde (95%) voor de doorlatendheid is 14,4 m/d. De bepaalde waarden voor de doorlatendheid liggen in de range van minimaal  $1 \cdot 10^{-4}$  tot maximaal 17,6 m/d. De variatie is dus groot. De grootste waarden komen voor in boring B19031 en B19032 in de bovenste 10 meter van de Peelo Formatie.

### 3.4.3 Doorlatendheid uit korrelverdelingen

Wiertsema heeft alle analyseresultaten van de korrelverdelingen met hun projectkenmerk 65521 beschikbaar gesteld. Het betreft 274 monsters. Daarvan zijn er 239 afkomstig uit zandlagen van de Peelo Formatie beneden een niveau van NAP – 5 m (onderkant van de keileem).

Over het algemeen (Figuur 3.11) tonen de korrelverdelingen dat in de Peelo Formatie zeer fijne zanden voorkomen (de mediane korrelgrootte  $M_z$  ligt gemiddeld op 0,110 mm, met een spreiding van 0,08 tot 0,47 mm).



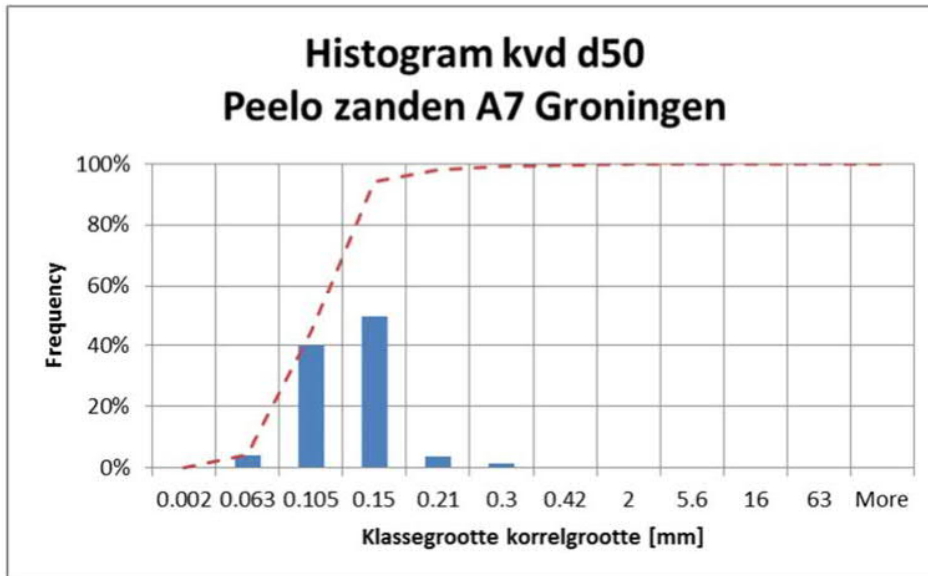


Figuur 3.11 Globaal overzicht van korrelverdelingen van in Nederland voorkomende grondsoorten met ligging van de mediane korrelgrootte van de Peelo zanden in grondonderzoek A7 VDL

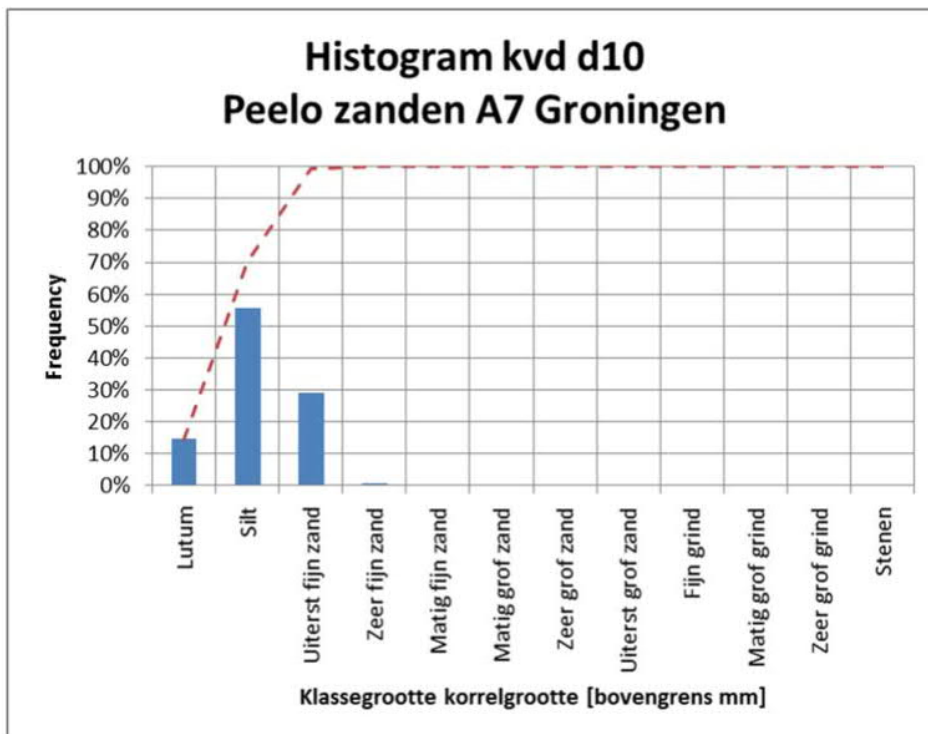
Fractie	Ondergrens [mm]	Bovengrens [mm]	Aandeel [%]
Zeer grof grind	16.000	63.000	0.0
Matig grof grind	5.600	16.000	0.0
Fijn grind	2.000	5.600	0.0
Uiterst grof zand	0.420	2.000	0.4
Zeer grof zand	0.300	0.420	0.4
Matig grof zand	0.210	0.300	1.3
Matig fijn zand	0.150	0.210	3.8
Zeer fijn zand	0.105	0.150	49.8
Uiterst fijn zand	0.063	0.105	40.2
Silt	0.002	0.063	4.2
Lutum		0.002	0.0

Tabel 3.1 Gemiddelde ligging van  $d_{50}$  van alle korrelverdelingen. Benaming en grenzen van fracties in de korrelverdeling volgens Internationale classificatie: NEN-EN-ISO 14688

Wanneer naar de mediane korrelgrootte van de Peelo zanden wordt gekeken (Figuur 3.12) ligt totaal 94% in de klassen tot en met zeer fijn zand. 6% van de monsters valt in de klassen matig fijn tot uiterst grof zand.



Figuur 3.12 Kansverdeling zandmediaan d50 voor alle monsters over de fracties



Figuur 3.13 Kansverdeling korrelgrootte d10 voor alle monsters over de fracties

Uit Figuur 3.13 blijkt dat de fijne fractie volgens het histogram voor d10 voor de hele verzameling monsters voor meer dan 55% in de categorie silt valt. Circa 15% van de monsters heeft een d10 korrelgrootte die valt in de lutumfractie.



Uit de korrelverdeling kan de waterdoorlatendheid van het Peelo zand worden berekend. Daarvoor worden in de adviespraktijk verschillende formules gebruikt (zie bijlage B). De meeste worden standaard echter toegepast op de verdeling van de korrelgrootten in de zandfractie (0,063 tot 2 mm). Zoals hiervoor aangegeven bevatten de monsters uit de Peelo Formatie echter veel fijne delen (in de lutum- en siltfractie <math>< 63 \mu\text{m}</math>). De gebruikelijke correlatieformules van Beijer en Den Rooijen voor doorlatendheid van zand met bijbehorende factoren gaan dan niet op voor dit grondtype.

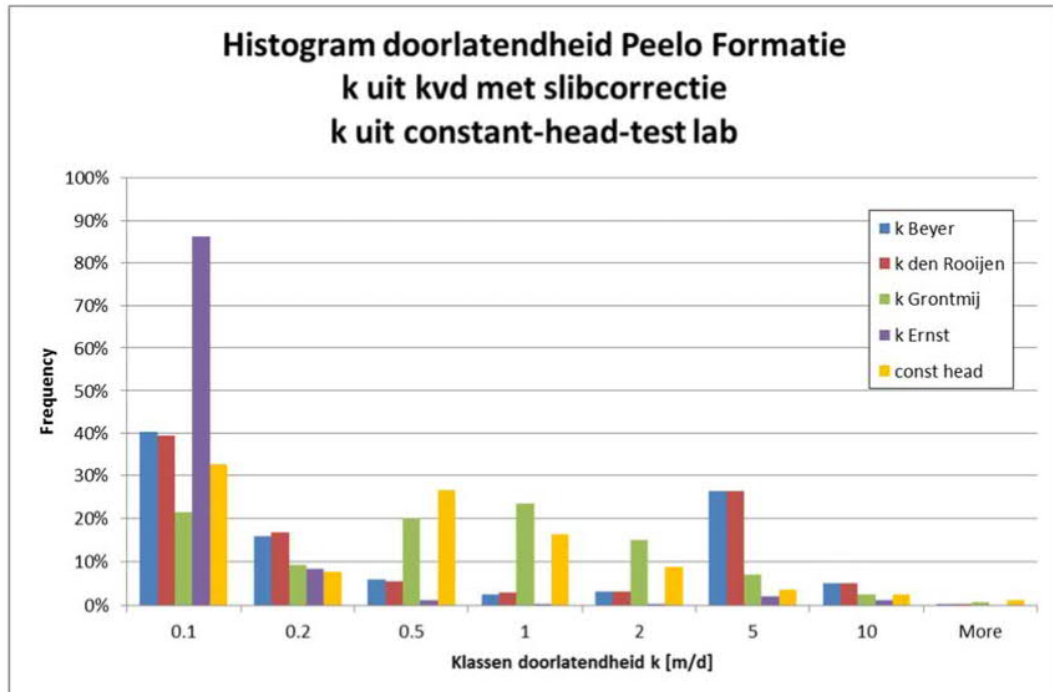
Ook correctie voor het slibgehalte (met de methode van Van den Akker of met de correctiemethode van Ernst, zie bijlage 2) waarbij rekening gehouden wordt met de fijne fractie is niet geschikt. De methode van Ernst voor bepaling van doorlatendheid uit de korrelverdeling geldt eigenlijk voor de zandfractie, maar verbreding naar de gehele korrelverdeling (inclusief slib en grind) is in dit kader wel geprobeerd. Wanneer een verrekening volgens het U-cijfer van de gehele korrelverdeling wordt toegepast en niet alleen van de zandfractie blijkt echter dat de doorlatendheidsberekening ontspoort en leidt tot een onderschatting. Bepaling op basis van alleen de zandfractie leidt echter juist tot te hoge doorlatendheden.

De fractie <math>< 0,016 \text{ mm}</math> is gemiddeld 7,5% zodat een correctie nodig is om de juiste waarde van de doorlatendheid vast te stellen uit korrelverdelingen. De  $d_{50}$  van de verzameling monsters ligt gemiddeld op 0,110 mm en dergelijk zeer fijn tot uiterst fijn zand valt buiten het nomogram van Van den Akker. Correctie is met de Methode Van den Akker dus niet mogelijk maar in principe wel met de rekenkundige methode van Ernst. Toepassing van de methode van Grontmij (zie bijlage 2) die geldt voor korrelverdelingen van zavel en kleiig zand is wel mogelijk. Keuze voor die methode door CHP is dus correct. Deze methode gaat uit van de zandmediaan maar beschouwt ook de lutumfractie (delen <math>< 2 \mu\text{m}</math>).

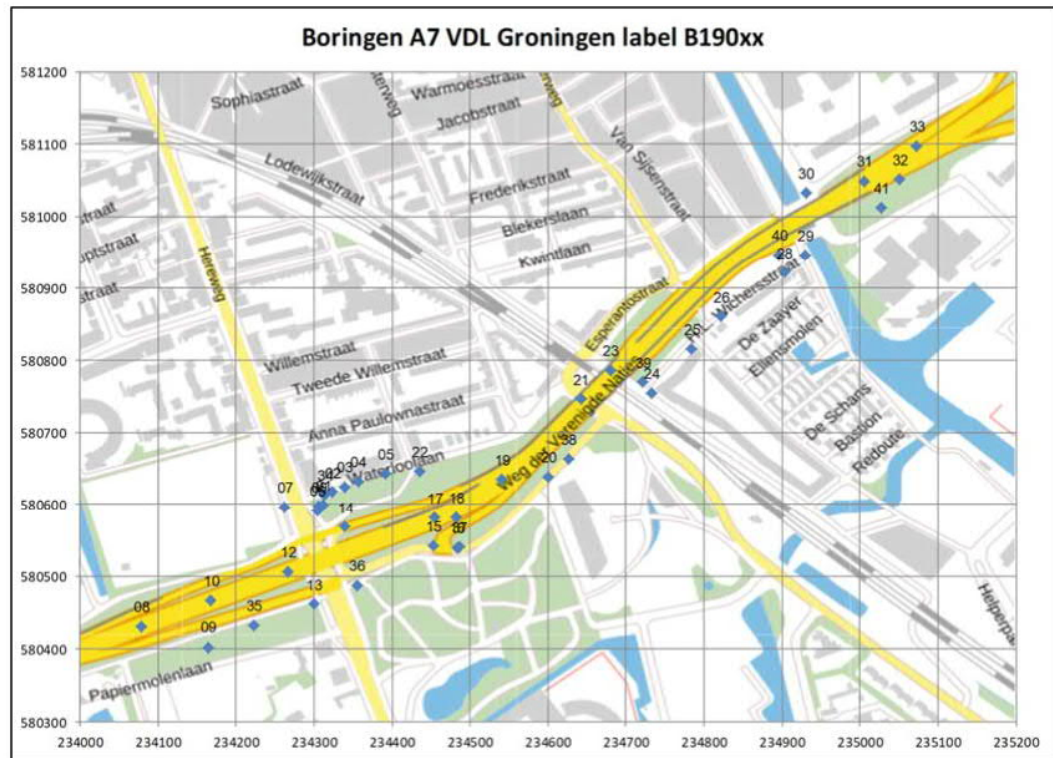
De verschillende resultaten van de analyse van alle korrelverdelingen zijn in een histogram gezet. Daarbij is ook een vergelijking gemaakt naar de bepalingen van de doorlatendheid met de constant head methode in het laboratorium.

In Figuur 3.14 is weergegeven dat de resultaten van de bepaling met de Methode van Grontmij goed past bij de resultaten van de constant head tests. Uit de analyse komt naar voren dat een deel van de monsters (21%) als slecht doorlatend kan worden geclassificeerd ( $k < 0,1 \text{ m/d}$ ). Een deel van de monsters (53%) is matig doorlatend ( $0,1 < k < 1 \text{ m/d}$ ). De overige monsters (26%) kunnen als redelijk doorlatend worden gekenmerkt. Uit de geschetste verdeling komt naar onze mening naar voren dat het watervoerend pakket van de Peelo zanden een basis heeft van slecht en matig doorlatende fijne zanden waarbinnen ook redelijke doorlatende zanden te verwachten zijn.

Uitgaande van een correlatie tussen korrelverdeling en doorlatendheid volgens de methode van Grontmij stellen wij vast dat een gemiddelde doorlatendheid voor de fijnzandige afzettingen in de Peelo Formatie volgt uit de korrelverdelingen van circa 0,3 m/d uitgaande van een lognormale verdeling en 1,3 m/d uitgaande van een normale verdeling. Uitgaande van een representatieve steekproef bestaat 50% kans op delen in het profiel met een hogere doorlatendheid.



Figuur 3.14 Verdeling van fijnzandige monsters uit de Peelo Formatie naar diverse onderscheiden doorlatendheidsklassen op basis van correlatie van doorlatendheid met korrelverdeling volgens 4 methoden (Beyer, den Rooijen, Ernst, Grontmij) en vergelijking met doorlatendheidsmeting met de constant head methode



Figuur 3.15 Locaties van boringen CHP met code B190xx waarin xx het nummer in de figuur is



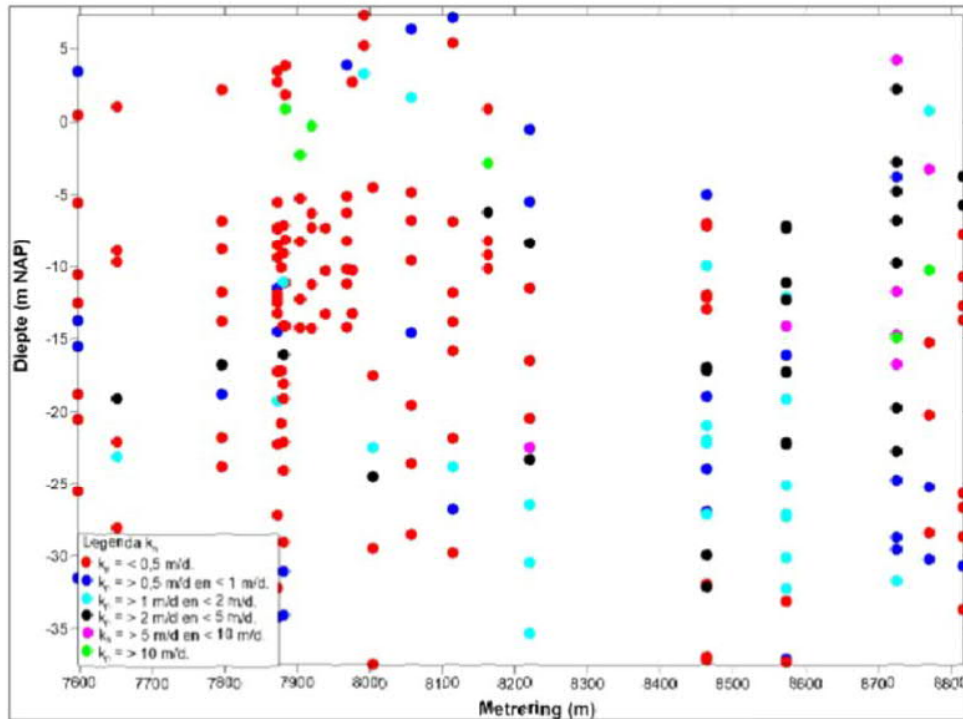
Indien we Tabel 3.2 met geselecteerde hoogste waarden van de doorlatendheid uit de korrelverdelingen en proefuitkomsten over de verschillende boringen beschouwen, dan vinden wij het beeld dat ongeveer halverwege spoor en Oude Winschoterdiep in oostelijke richting de grondopbouw in Peelo zand grover wordt over dikkere lagen en de doorlatendheid daarin wat hoger is. Daarin komen ook doorlatendheden voor net onder 10 m/d (redelijk doorlatend). Dit doet zich juist voor in het diepste deel van de VDL waar de wegligging onder NAP – 5 m komt. Bij boringen B19028, B19031 en B19032 (zie figuur 3.15) zien we een ruim 25 m dikke laag met een redelijke doorlatendheid (1 tot 10 m/d) (tabel 3.2).

Deze redelijk doorlatende laag bij boringen B19028, B19031 en B19032 reikt tot een diepte van bijna NAP – 32 m en dat is ruim onder niveau onderkant damwand.

Boring	Ordering op kilometering A7	Diepte [mNAP]	Doorlatendheid volgens Grontmij formule [m/d]	Doorlatendheid volgens labproef [m/d]
B19008	7598	-28.8	1	
B19009	7652	-23.1	2.2	
B19012	7796	-16.8	1.2	
B19013	7873	-7	1.4	
		-12.3	0.6	
		-19.3	0.8	
B19034	7881	-11.1	1.6	
		-16.1	2.6	
		-34.1	0.5	
B19017	8004	-24.5	1.9	
B19018	8057	-14.6	0.5	
B19019	8114	-21 - -24	0.9	5.6
B19020	8163	-6.2	1.8	
B19021	8220	-8.4	1.7	
		-22.5 - -23.3	2.4 – 3.5	
B19026	8464	-17 - -30	0.5 – 1.4	0.5 -1.3
		-32	1.2 a 1.1	
B19028	8573	-7 - -32	0.4 – 8.5	0.3 – 1.9
		-37	0.3 – 0.7	0.3
B19029		-8 - -9	58	
		-20 - -34	0,2 – 1,7	
B19031	8725	-4.7 - -31.7	0.7 – 9.4	0.4 – 17.6
B19032	8770	-10 - -11	29	
		-15 - -29	0.2 – 0.6	
B19033	8817	-3.7 - -6	3	0.8
		-10.7	0.5	
		-30.7 – 33.7	0.6	0.5

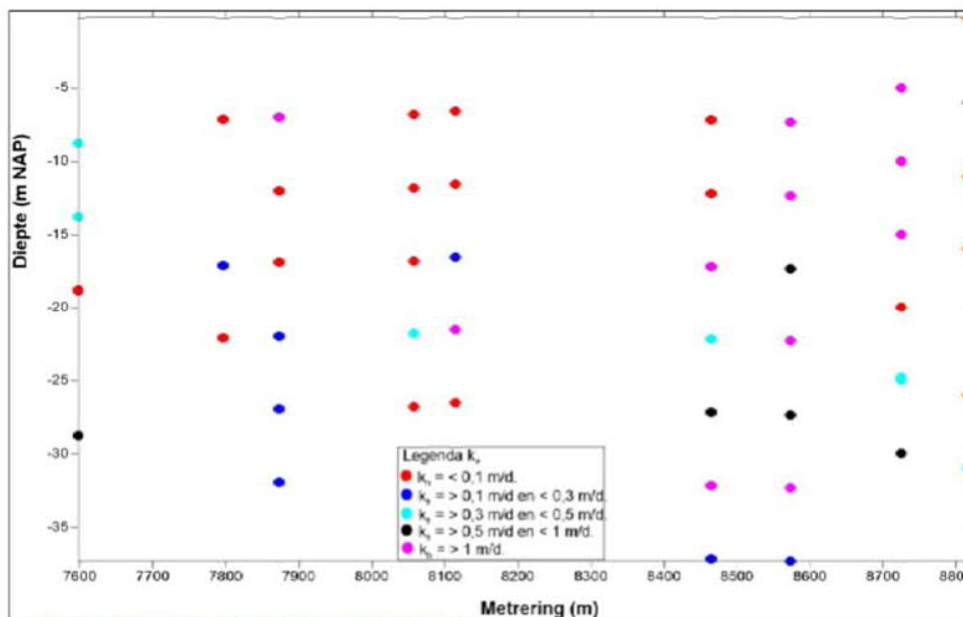
Tabel 3.2 Verdeling van de hoogst gemeten doorlatendheden over de verschillende boringen en diepte

Die resultaten zijn ook gevisualiseerd in het advies van CHP over de bemaling. Figuur 3.16 geeft de doorlatendheden die door CHP zijn afgeleid uit de korrelverdelingen; de kleurindicatie is ongelukkig gekozen: rood is matig doorlatend; zwarte en roze stippen geven delen aan met doorlatendheden hoger dan 2 m/d.



Figuur 3.16 Profiel met doorlatendheden uit korrelverdelingen volgens Bemalingsadvies CHP [1328]

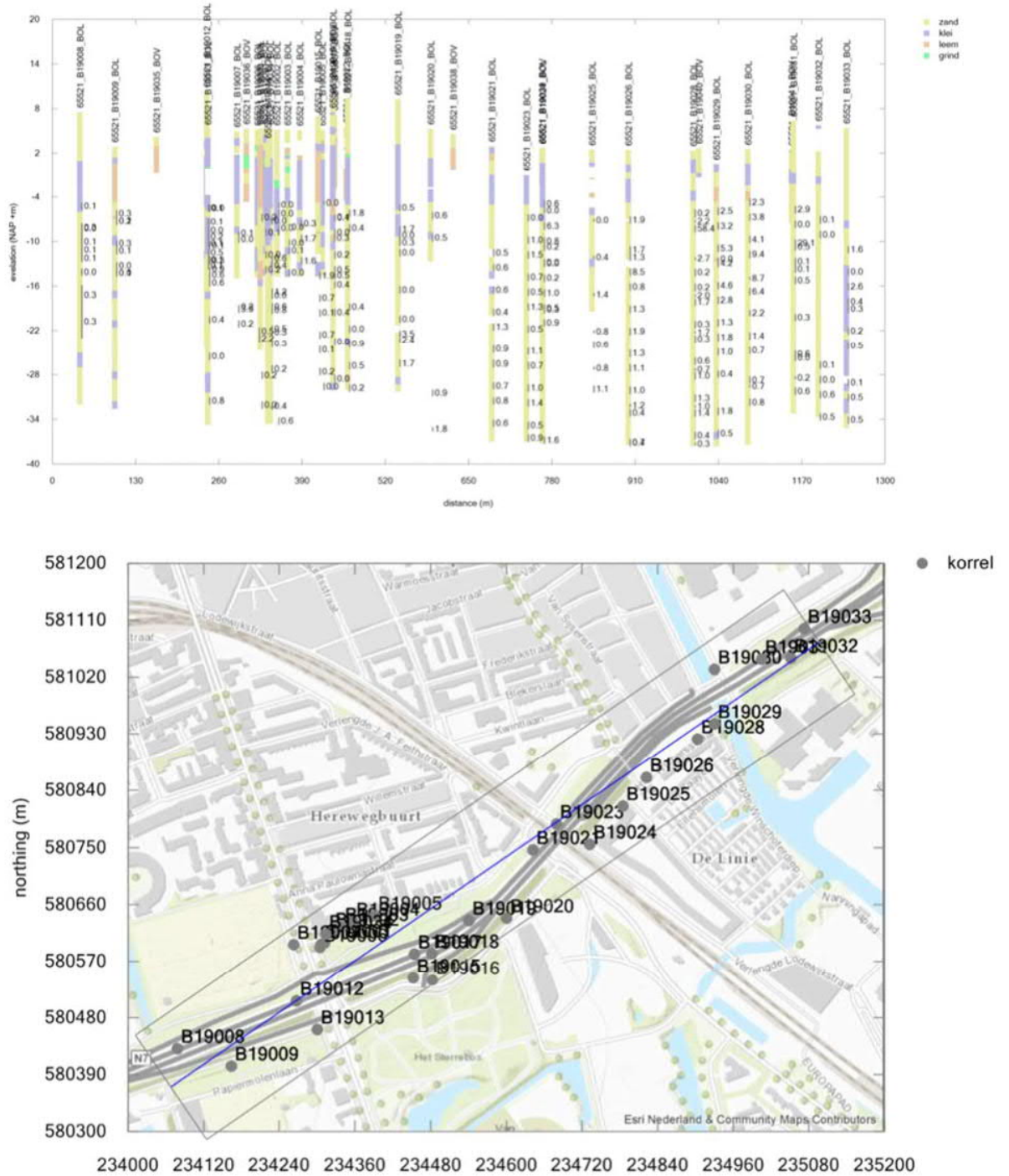
Figuur 3.17 geeft de doorlatendheden die door CHP zijn afgeleid uit de constant head tests; roze stippen geven delen aan met doorlatendheden hoger dan 1 m/d.



Figuur 3.17 Profiel met doorlatendheden uit constant head tests volgens Bemalingsadvies CHP [1328]



Om meer overzicht te krijgen zijn de waarden van doorlatendheden door Deltares geplot in het volgende lengteprofiel (Figuur 3.18, zie ook Bijlage G).



Figuur 3.18 Profiel van Deltares met doorlatendheidswaarden in boringen volgens CHP

### 3.5 Antwoord op gestelde vragen

De door RWS gestelde vragen zijn als volgt door TNO en Deltares beantwoord:

- Hoe groot is de kans op voorkomen van zandlagen onder de keileemlaag die anders zijn dan zeer fijn zand?

Onder de keileem komen zanden van de Peelo Formatie voor. Dit zijn over het algemeen zeer fijne zanden met een gemiddelde doorlatendheid van 0,2 à 0,5 m/d. Echter, de samenstelling van de Peelo afzetting is zeer heterogeen en volgens de beschouwing van de doorlatendheid van monsters uit boringen komen plaatselijk matig fijne tot matig grove delen voor met een doorlatendheid tot maximaal 17 m/d.
- In hoeverre komt de inschatting (van CHP) overeen met beschikbare informatie van boringen en sonderingen?

De verzameling data van CHP is goed, zij het dat de sonderingen op grote onderlinge afstanden staan en dat boringen en sonderingen erg ondiep zijn uitgevoerd, zeker in relatie tot het ontwerp van damwanden en bemaling.

Voor de analyse van doorlatendheid van zanden is door CHP gebruik gemaakt van de formules van Ernst en Grontmij. Vooral de laatste formule is voor zeer fijn silthoudend zand een goede keuze omdat daarbij een goede aansluiting wordt gevonden tussen doorlatendheden bepaald uit korrelverdelingen op boormonsters en doorlatendheden bepaald uit constant head tests op steekmonsters in het laboratorium.

Door TNO is aanvullend op het profiel van CHP een beschrijving van de in het profiel geschetste afzettingen gemaakt. Daarbij is op basis van geologie meer onderbouwing gegeven hoe de verdeling van grondsoorten en bijmengingen in het tracé kan worden begrepen. In sonderingen in de Peelo zanden zijn niet veel scherpe teruggangen te zien. De afzettingen zijn dus niet sterk gelaagd. Dit is in tegenstelling tot wat CHP opmerkt in hun rapport Geohydrologie en kwelschermen [8419] waarin zij stellen in par. 7.1: "Voor de bepaling van waterbezwaar en hydrologisch invloed is de verticale doorlatendheid van de bovenste 10 à 20 meter van het watervoerende pakket maatgevend. Met kwelschermen willen we gebruik maken van de gelaagdheid van het pakket om daarmee de invloed op de omgeving en het waterbezwaar te be(pe)rken."
- Hoe groot is de variabiliteit van de bodemlagen en wat betekent dat dan voor de kans op afwijking van de aanname van een sterk gelaagd watervoerend pakket waarin fijn zand voorkomt met een lage verticale doorlatendheid?

Wij merken op dat de sonderingen onderling sterke verschillen laten zien. Daaruit wordt geconcludeerd dat de variatie in de Peelo zanden over korte afstanden wijst op zeer grote heterogeniteit in de afzetting. Dat strookt met lokale projectervaringen van geotechnisch adviseurs. Zoals hiervoor vermeld is er echter geen sprake van een sterk gelaagd watervoerend pakket in verticale richting.

In de Peelo zanden komen wel 2 onderscheiden kleilagen (potklei) voor van 1 tot enkele meters dikte. Het REGIS profiel is daarin redelijk betrouwbaar. Naar het westen toe is de eerste Peelo kleilaag op een diepte van circa NAP – 30 m aanwezig. Naar het oosten toe is de tweede Peelo kleilaag op een diepte van circa NAP – 50 m aanwezig. Deze potkleilagen kennen ook een sterke variabiliteit op korte afstand. Discontinuïteiten zijn in potkleilaag zeker te verwachten. In het sondeerbeeld zijn geen scherpe teruggangen waargenomen (zoals die in wadzanden wel te zien zijn). Eerder is sprake van delen in het profiel waar het slib- en lutumgehalte in het fijne zand hoog is. Naar het westen toe (spoor tot Hereweg) is het profiel kleiiger in het fijne zand. Naar het oosten toe (spoor tot Europaweg, B26 t/m B30) bevat het zand minder slib en is er meer kans op een grotere korrelgrootte en een redelijke doorlatendheid tussen 1 en 10 m/d.



## 4 Beoordeling van de pompproeven van CHP

De locaties nabij de Hereweg en de Wichersstraat van de pompproeven die voor CHP zijn uitgevoerd, zijn weergegeven op onderstaande kaart.



Figuur 4.1 Locaties van de pompproeven

### 4.1 Grondwaterstanden

De uitgangstoestand van het grondwater vooraf aan de proeven is niet genoteerd in de rapportages. Voor een globale indruk van de hoogte van grondwaterstanden en stijghoogten moet daarom gebruik worden gemaakt van het CHP-rapport Uitgangspunten notitie geohydrologie [0075]. De analyses van GxG en extreme waarden met Menyanthes en Gumbel-analyse die daarin zijn opgenomen zijn naar onze indruk door CHP volgens state of art methoden verricht. Maatgevende stijghoogten voor UGT en BGT zijn correct afgeleid door CHP.

De (freatische) grondwaterstand nabij de Hereweg boven de keileem blijkt bijzonder hoog te zijn vanwege voorkomen boven de keileem. Typische grondwaterstanden GLG en GHG zijn:

- Hereweg: GLG/GHG = NAP + 2,83/3,70 m.
- Wichersstraat: GLG/GHG = NAP + 0,65/1,00 m.

Typische grondwaterstijghoogten GLG en GHG in de Peelo zanden beneden de keileem zijn:

- Hereweg: GLG/GHG = NAP -0,50/-0,00 m
- Wichersstraat: GLG/GHG = NAP -0,80/-0,50 m.

Op basis van het stijghoogteverschil tussen freatisch en diep grondwater concluderen wij dat de infiltratie van neerslag naar het eerste watervoerende pakket gemiddeld genomen gering is. Wel kunnen lokaal grove delen in de keileem aanwezig zijn waar wel infiltratie kan optreden. De stroming van zowel freatisch als diep grondwater is vanaf Hereweg naar het (noord)oosten toe. CHP merkt op in de memo Gevolgen kwelerschermen [9759] dat vanwege de stroming in langsrichting van permanente damwanden nagenoeg geen opstuwung wordt verwacht.

#### 4.2 Pompproef #1 Hereweg

In het kader van de second opinion is het volgende document van Combinatie Herepoort beoordeeld:

- Resultaten pompproef kunstwerk 19, ARZ-TD-Cluster VDL-0232, dd 8-9-2016 [0232].

De locatie van de uitgevoerde pompproef is nabij de hoek van Waterloolaan en Hereweg (zie Figuur 4.2). Het maaiveld ligt ter plekke relatief hoog (MV=NAP + 5,4 m). De geplaatste pompput staat tussen MV – 10 en - 30 m. De geïnstalleerde peilbuizen staan op MV-2 tot -3m, de diepe peilbuizen tussen NAP – 15 en -16 m.

Ter plaatse komt keileem voor tussen NAP + 3,24 m en - 5,36 m.

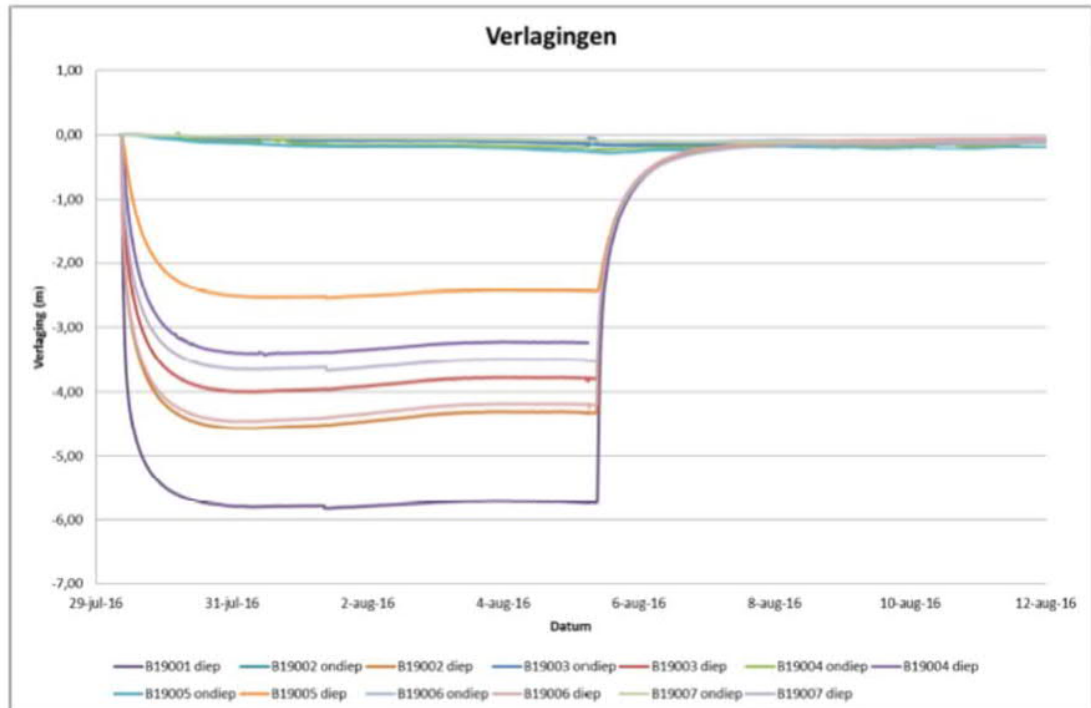
In het rapport van CHP wordt over de bodemopbouw opgemerkt dat het watervoerend pakket 100 m dik is. Volgens DINoloket model GeoTOP v1.3 komt echter bovenin het watervoerende pakket tussen NAP – 4 (onderkant keileem) en NAP – 30 m veel kleiig zand en klei voor. Blijkens de boorstaat van de pompput komt tussen NAP – 12,56 en – 15,86 m een kleilaag voor. De pompput staat hier doorheen.

Tijdens de pompproef is uit de pompput een debiet van 13,9 m<sup>3</sup>/u onttrokken. De verlaging van de stijghoogte in de peilbuizen op 5 tot 100 m afstand van de put is redelijk groot (2,5 tot 6 m). De tijdsafhankelijke verlaging in het beschouwde gebied wordt snel stationair (zie figuur 4.3).



Figuur 4.2 Locaties van de meetpunten in de pompproef Hereweg





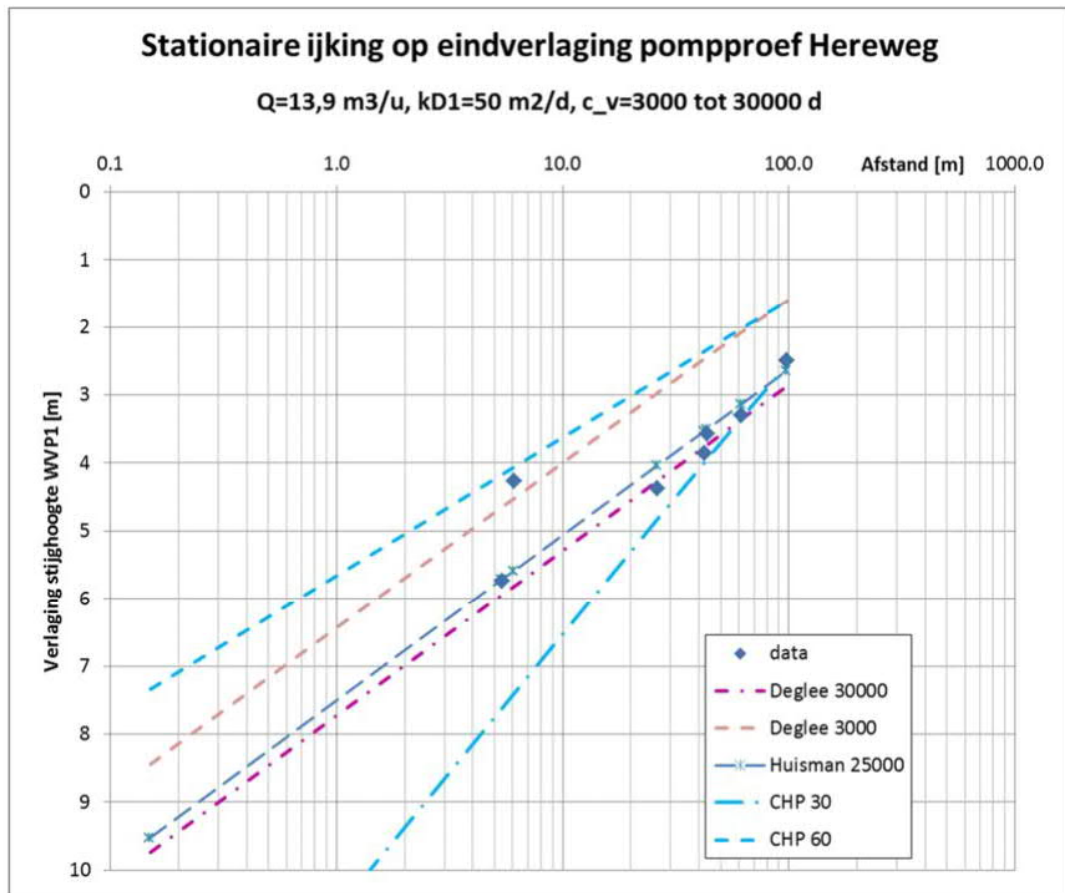
Figuur 4.3 Verloop van de stijghoogten in de peilbuizen tijdens de pompproef aan de Hereweg met een onttrekkingsdebiet van 13,9 m<sup>3</sup>/u

De back-analyse op de stijghoogtemetingen tijdens de pompproeven is door CHP gedaan met het programma MLU waarmee een 3-laags geohydrologisch schema is onderzocht. De doorlaatvermogens van Bostel zand en van het diepere watervoerend pakket zijn daarbij constant gehouden. Vervolgens zijn de verticale weerstand van de keileem en het doorlaatvermogen van het Peelo zand afgeleid.

Uit de analyse van CHP komen de volgende parameterwaarden naar voren:

- Een doorlaatvermogen van 30 à 60 m<sup>2</sup>/d.
- Een hydraulische weerstand van keileem van minimaal 4200 tot 4775 dagen.
- En een bergingsfactor in het WVP van  $S_2=3.E-4$ . Bergingsfactor  $S_1$  van de toplaag zou vrij klein zijn (0,014).

De met deze parameterwaarden berekende stijghoogten kloppen echter niet mooi met de metingen (verschillen van 5 tot 50%). Door Deltares is een controle met een enkellaags Degrée-model uitgevoerd (Figuur 4.4), volgens de vereenvoudiging dat aan het eind van de pompproef stationaire stroming optreedt.



Figuur 4.4 Vereenvoudigde stationaire ijking van Deltares voor pompproef Hereweg met debiet 13,9 m<sup>3</sup>/u

Vervolgens is door ons een controle met het tijdsafhankelijke programma MWell uitgevoerd voor een meerlaags profiel. Daaruit leiden wij af dat het doorlaatvermogen van de Peelo zanden circa 50 m<sup>2</sup>/d is. Dat komt aan de hoge kant uit van de door CHP aangegeven bandbreedte. Men stelt in de CHP rapportage dat de weerstand van de toplaag behoorlijk groot zou kunnen zijn. Ook onze controle wijst uit dat de af te leiden zogenaamde vervangende hydraulische weerstand zeer groot is. De vervangende hydraulische weerstand is een soort bulkparameter waarin alle remming van toestroming in de ondergrond wordt verdisconteerd. Dat betreft niet alleen de toestroming van onder en bovenaf maar ook de remming van toestroming vanaf de zijkant. Toestroming is zeer gering omdat in dit gebied niet veel open water is. Bovendien is het een locatie in gerioleerd stedelijk gebied waarin een keileemlaag in de bovenlaag voorkomt zodat de aanvulling vanuit neerslag zeer gering is.

Bij een combinatie van kD=50 m<sup>2</sup>/d en totale weerstand c=30000 d vinden wij een verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten van gemiddeld 8%. Het grootste deel van de afwijking wordt echter door peilbuis 19006 bepaald zodat de ijking in het geheel genomen goed is.

Zeker zal een deel van de weerstand door de bovenliggende keileem worden bepaald. CHP heeft moeite om de afgeleide grootte van de weerstand te verklaren. De freatische laag boven de keileem reageert namelijk niet op de pompproef. Door er van uit te gaan dat alle aanvulling van bovenaf komt, leidt men een weerstand af van 4200 tot 4775 dagen. Maar deze waarde is bij de aangehouden afleidingsmethode een onderschatting.



Waarschijnlijk is er veel variatie in de samenstelling van de keileem. Door CHP wordt op basis van ervaring een ondergrens gegeven voor de weerstand van 3000 dagen. Maar die keuze van CHP is niet onderbouwd.

Welk deel van het fijnzandige watervoerend pakket aan de stroming deelneemt, kan vanwege de inrichting van de pompproef niet worden afgeleid. De pompput in het watervoerende pakket heeft namelijk een beperkte diepte en er zou dus sprake kunnen zijn van effecten van onvolkomenheid van de bron. Daarbij zijn er alleen peilbuizen in het watervoerende pakket geplaatst op circa NAP – 15 m maar geen diepere (niet op grotere diepte in het watervoerende pakket en ook niet onder de regionaal onderscheiden kleilaag op 35 m diepte). De verticale weerstand in de stroming naar de pompput vanuit het diepere deel van het watervoerende pakket kan daarom dus niet worden bepaald omdat daar geen metingen voor zijn uitgevoerd. De hydraulische weerstand en de voeding van onderaf naar de bron toe is uit de analyse van de pompproeven dan ook niet op te lossen. Aan welke geologische afzetting de verticale weerstand moet worden toegewezen is dus niet te bepalen uit deze pompproef. Mogelijk komt de weerstand voort uit de eerste kleiige laag van de Formatie van Peelo op NAP – 30 of – 50 m.

Verder constateren wij uit het stijghoogteverloop dat de aanpassing van de stijghoogte snel plaatsvindt, ook in de omgeving. De bergingscoëfficiënt is volgens onze analyse vele orden kleiner dan CHP heeft afgeleid. Het watervoerend pakket reageert zeer snel op start van onttrekkingen of uitschakeling van bemaling.

Door CHP wordt gesteld dat er aanwezigheid is van kleistorlagen in het Peelo zandpakket. Die waarneming kan alleen zijn afgeleid uit de boringen en niet uit de pompproefresultaten. De waarneming is daarom alleen geldig voor deze locatie. Voorkomen van kleiige lagen op deze locatie komt overeen met ondergrondmodel GeoTop in Dinoloket.

#### 4.3 Aanvullende pompproef #2 Wichersstraat

Begin 2017 is een tweede pompproef uitgevoerd in het oostelijk deel van het tracé van de VDL. De locatie van de aanvullend uitgevoerde pompproef is nabij het oude Winschoterdiep en de voormalige Wichersstraat.

In het kader van de second opinion is het volgende document van Combinatie Herepoort beoordeeld:

- Resultaten pompproef Wichersstraat, Kunstwerk 19 ARZ-TD-Cluster VDL-3683- Pompproeven HL Wichersstraat, dd 29-8-2017, Status: Concept, Revisie: 01 [3683].

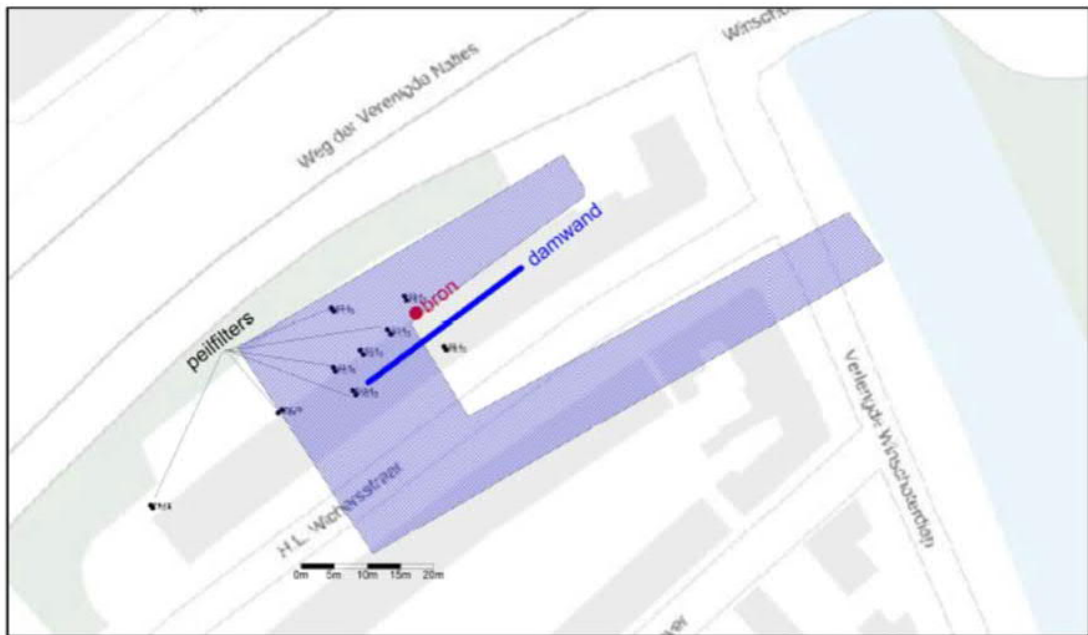
Op de locatie komt onder een kleiige holocene deklaag (fijn) zand voor, waarbeneden keileem tussen NAP – 3 m en – 5 m ligt, en begint het watervoerende pakket met Peelo zanden op NAP – 5 m. Tussen NAP – 15 en – 17 m kan wat kleiig zand voorkomen. Volgens DINOloket model GeoTOP v1.3 bevindt zich onder NAP – 30 m circa kleiig zand maar dat wordt in boring B19026 en 28 niet bevestigd. Volgens het profiel van TNO (bijlage F) ligt ter plekke op circa NAP – 34 m een potkleilaag.

De geplaatste pompput staat tussen MV – 10 en – 30 m. Maaiveld ligt op NAP + 1,8 m. De geïnstalleerde peilbuizen staan op MV – 3 tot – 4 m, de diepe peilbuizen tussen NAP – 13 en – 15 m.

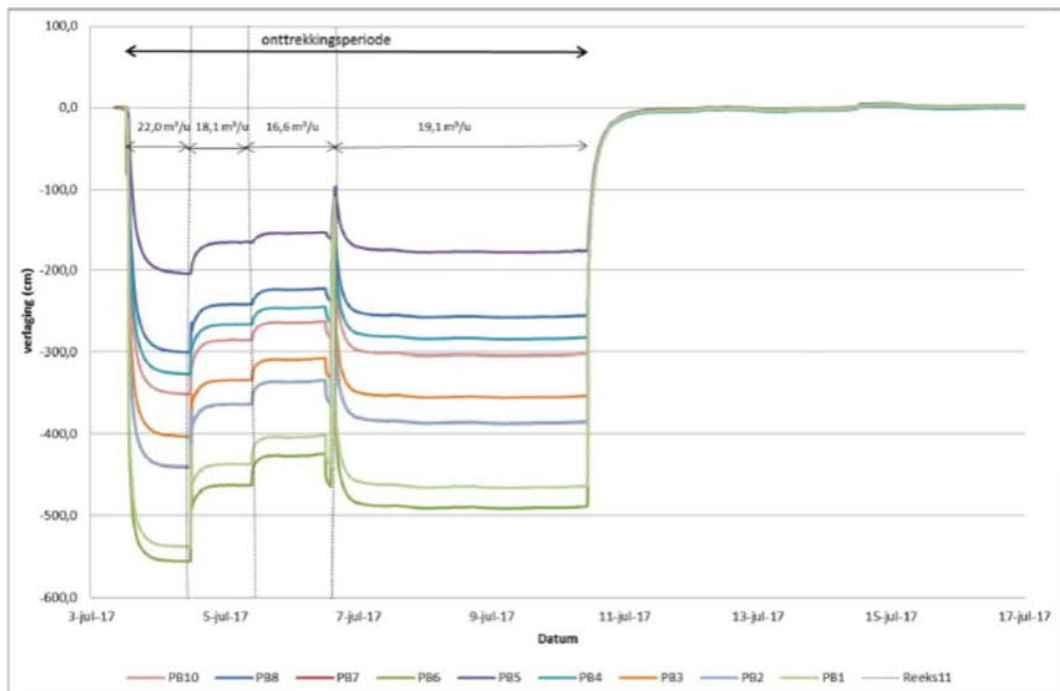
De bron en omliggende peilbuizen staan vlakbij een geplaatste damwand en op een locatie waar ooit een ondiep haventje (een zogenaamd balkgat) is gedempt. Volgens CHP staat de damwand 15 m in de Peelo zanden.

De onttrekking uit de pompput is begonnen met 22,1 m<sup>3</sup>/u maar uiteindelijk werd 19,1 m<sup>3</sup>/u onttrokken. De verlagingen in de peilbuizen op 2 tot 50 m afstand van de put zijn groot (2 tot 5

m). De verlaging van de stijghoogte in het beschouwde gebied lijkt snel stationair te worden. De ondiepe grondwaterstanden waren echter trager dalend. Het systeem is dus nog niet echt stationair geworden.



Figuur 4.5 Locaties van de meetpunten in de pompproef Wichersstraat



Figuur 4.6 Verloop van de stijghoogten in de peilbuizen tijdens de pompproef aan de Wichersstraat met een onttrekkingsdebiet van 19,1 m<sup>3</sup>/u

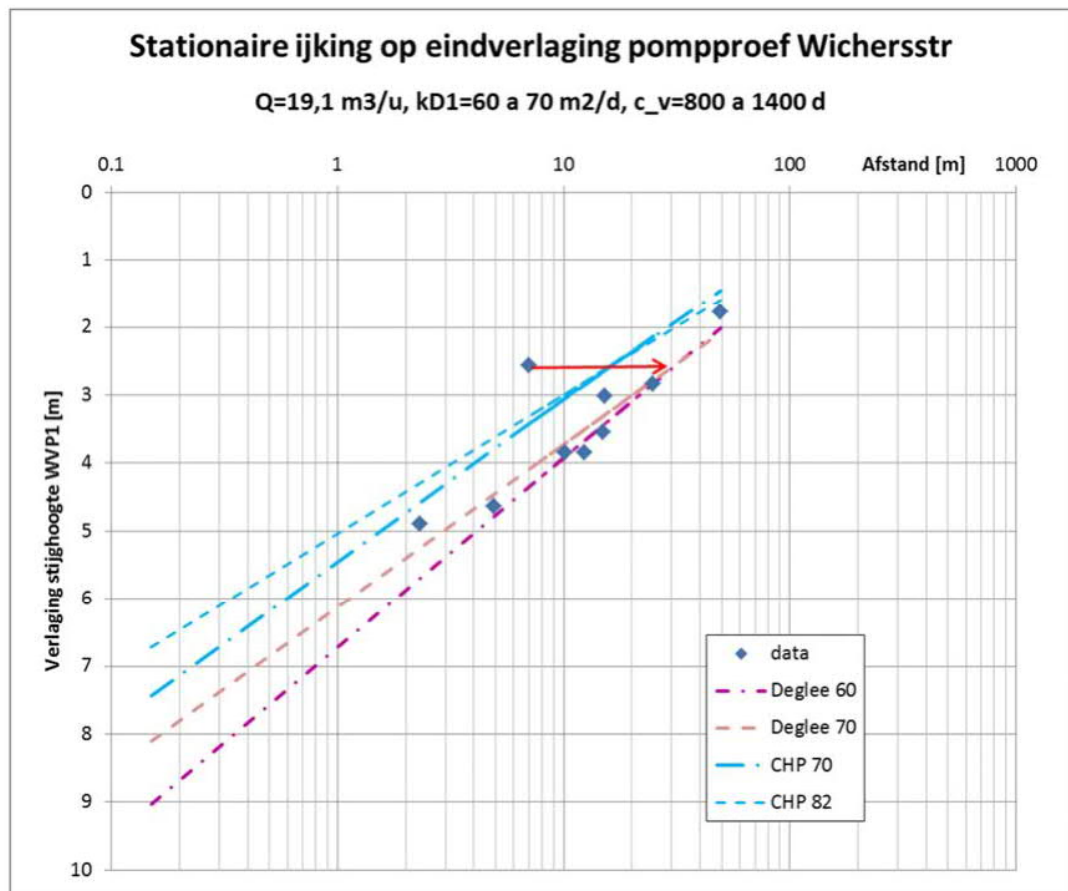


De optredende verlagingen bij de meetpunten zijn groot (2 tot 5 m). Meetpunt F8 aan de andere zijde van de damwand reageert minder dan andere meetpunten op korte afstand. Daarom is door CHP de afstand van F8 tot bron gecorrigeerd van 7 naar 30 m voor een stroombaanlengte om de damwand heen. In dat geval volgt een redelijke afpompslijn.

In de analyse van CHP zijn meerdere parameterwaarden uitgeprobeerd. Uit de verschillenanalyse komen de volgende parameterwaarden naar voren:

- Een doorlaatvermogen van 70 à 82 m<sup>2</sup>/d.
- Een hydraulische weerstand van 2 m dikke keileem van 400 tot 800 dagen totaal.
- Een verticale weerstand van de zanden in het watervoerend pakket van totaal 150 dagen of een verticale doorlatendheid  $k_v$  van 0,1 m/d.
- En een bergingsfactor in het WVP van  $S_2=3.E-4$ . Bergingsfactor  $S_1$  van de toplaag zou vrij klein zijn (0,014).

Door Deltares is voor de pompproef Wichersstraat ter controle een stationaire ijking uitgevoerd. Daarbij komt het doorlaatvermogen uit op 60 à 70 m<sup>2</sup>/d en is de vervangende weerstand 800 à 1400 dagen. De meeste weerstand is toegekend aan de keileemlaag met  $c=5000$  dagen en een geringer deel  $c=1000$  d voor een kleilaag onderin het profiel van de Peelo-lagen.



Figuur 4.7 Vereenvoudigde stationaire ijking van Deltares voor pompproef Wichersstraat, rode peil is de verschuiving van meetpunt F8

De interpretatie van Deltares voor deze pompproef wijkt wat doorlaatvermogen  $kD$  betreft niet ver af van de interpretatie van CHP. Naar onze mening zijn er echter onvoldoende meetpunten op grotere diepte om goed onderbouwd een uitspraak te doen over de verticale doorlatendheid danwel de weerstand in de fijnzandige lagen. Het is niet verantwoord om een dergelijke conclusie alleen te trekken uit een enkele afwijkende meting bij F8. Het kan ook niet worden uitgesloten dat de verstoring van de ondergrond door het oude balkgat of de nabijheid van het open water is veroorzaakt of dat sprake is van een slecht werkende peilbuis, bijvoorbeeld door het voorkomen van kleiig zand op filterdiepte.

Het freatisch systeem reageert langzaam op de pompproef. De uitwerking van de relatie tussen verlaging van stijghoogte en van freatisch grondwater is volgens CHP onmogelijk. Er lijkt een enkele fout in de metingen en de uitwerking te zitten. Grofweg nemen wij uit de data waar dat de grondverlaging in de freatische laag circa een kwart is van de stijghoogteverlaging in het watervoerend pakket. Dat geeft aan dat de weerstand van de keileem ter plekke niet bijzonder groot is. De door CHP aangegeven weerstand van 400 tot 800 dagen van de 2 m dikke keileemlaag is naar ons idee geloofwaardig.

#### 4.4 Antwoord op gestelde vragen

De volgende vragen zijn als volgt door Deltares beantwoord:

- Zijn de pompproeven correct opgezet en uitgevoerd en in hoeverre zijn de conclusies op de juiste wijze getrokken?

De uitvoering van de pompproeven door CHP had aangevuld moeten zijn met diepere peilbuizen om daarmee de verticale doorlatendheid te kunnen afleiden uit de metingen. Het doorlaatvermogen van de watervoerende fijnzandige laag van de Peelo Formatie varieert volgens de resultaten van de pompproeven van 50 tot 70 m<sup>2</sup>/dag. Uit het opgestelde geologisch profiel volgt dat het bovenste deel van het watervoerend pakket waarin de pompproeven plaatsvonden, aan de bovenzijde op NAP – 5 m ligt en aan de onderzijde op circa NAP – 26 m nabij de Hereweg en op circa NAP – 40 m nabij Europaweg.

Uit onze controle volgt dat de hoogste waarden van het doorlaatvermogen uit de bandbreedte die door CHP is bepaald, moet worden aangehouden. De ijkingen van CHP op de metingen hadden een te grote resterende foutenmarge.

De uit de pompproeven afgeleide vervangende hydraulische weerstand is groot, circa 25000 dagen bij de Hereweg tot 5000 dagen bij de Europaweg. Verticale hydraulische weerstanden zijn vanwege de diepte van de peilbuizen niet per laag uit de proeven af te leiden. De hydraulische weerstand van keileem en Peelo potkleien is waarschijnlijk groot maar niet uit de uitgevoerde pompproeven af te leiden.

De verticale doorlatendheid van de Peelo zanden is ook niet af te leiden vanwege het ontbreken van diepe peilbuizen.

CHP stelt uit de metingen af te leiden wat de verticale doorlatendheid in het watervoerend pakket is. Gezien de inrichting van het meetveld is het onmogelijk om een dergelijke afleiding op basis van de uitgevoerde metingen te doen (de peilbuizen in het watervoerende pakket staan namelijk alle op dezelfde diepte van 14 m onder maaiveld). De door CHP aangegeven verticale doorlatendheid van 0,1 m/d is niet uit de metingen af te leiden. TNO concludeert uit de geologische interpretatie van de boringen en kennis van de afzettingen dat er niet veel kans op een grote anisotropie met een veel kleinere verticale dan horizontale doorlatendheid in de Peelo zanden.

Uit de analyse van doorlatendheden uit constant head tests en korrelverdelingen blijkt dat een waarde van 0,2 à 0,5 m/d een gemiddelde (horizontale) doorlatendheid is voor de Peelo zanden. Omdat de laag waaruit de monsters zijn genomen circa 25 m dik is en reikt



van NAP – 5 m (onderkant keileem) tot NAP – 30 m (gemiddelde boordiepte van boringen 19008 tot 19034, afgezien van ondiepe en niet bemonsterde boringen 19010, 19014 en 19022), dan ligt onder NAP – 30 m diepte nog een laag met een wat hoger aandeel in het totale doorlaatvermogen. Het grootste deel van het doorlaatvermogen zou mogelijk ook in grove banen kunnen voorkomen die door de matrix van de Peelo afzettingen met een basaal doorlaatvermogen van 15 m<sup>2</sup>/d heen lopen.

- Zijn de pompproeven representatief voor het gehele VDL-tracé?  
 Voor wat betreft het bepaalde doorlaatvermogen kD van de watervoerende laag met Peelo zanden zijn de uitgevoerde pompproeven betrouwbaar.  
 De weerstand van bovenliggende keileemlaag is niet goed af te leiden aangezien de verlagingen van grondwater daarboven erg gering zijn.  
 Er is wel sprake van variatie in het profiel. De laagdikte van keileem wordt naar het westen toe groot en de laag is daar waarschijnlijk zeer kleiig en lemig. Maar zeer waarschijnlijk varieert de weerstand van de keileem sterk door de heterogeniteit van die laag met lokaal voorkomen van zandige en grindige delen. Naar het oosten toe wordt de laag dunner waarbij de top meer zand bevat. De verlaging boven de keileem is daar circa een kwart van de verlaging van stijghoogte.  
 Omdat er weinig voeding vanuit de top en open water in het gebied is, wordt een zeer hoge waarde van de hydraulische weerstand gevonden. Daaruit is niet goed de verticale weerstand van onderliggende Peelo kleilagen af te leiden, zeker niet vanwege het feit dat er voor de pompproeven geen diepe peilbuizen zijn geplaatst.  
 Vanwege de heterogeniteit van de keileem en de Peelo zanden met plaatselijk slecht en plaatselijk goed doorlatende stukken zijn de pompproeven lokaal geldig en niet voor het gehele tracé.
- Welk extra onderzoek is nodig, als sprake is van heterogene bodemopbouw?  
 Indien meer inzicht gewenst is (afhankelijk van de keuze voor de constructieve oplossing) zouden voor verbetering van het ontwerp van bemaling en damwanddiepte de pompproeven kunnen worden herhaald, waarbij op enkele posities meer peilbuizen in het watervoerende pakket op verschillende diepten moeten worden aangebracht (onder niveau onderkant damwand en boven en onder Peelo kleilagen). Echter, vanwege de gesinalerde heterogeniteit zal ook een verbeterde pompproef nog geen sluitend beeld opleveren voor de benodigde parameterwaarden voor het bemalingsontwerp van alle te bemalen bouwkuipen.

## 5 Geohydrologisch model tbv ontwerp kwelschermen en bemalingsontwerp

### 5.1 Bodemopbouw en schematisatie volgens CHP

Volgens de uitgangspuntennota UO geotechniek en geohydrologie [7267] is de doorlatendheid van de zandige lagen door CHP op voorhand (vooraf aan de evaluatie van grondonderzoek en pompproeven) als volgt geschat:

- Toplagen van de Formatie van Boxtel:  $k = 5$  à  $10$  m/d.
- Fijnzandige lagen onder de keileem:  $k = 1$  à  $2$  m/d.

In het bemalingsadvies van CHP is de bodemopbouw als volgt geschematiseerd.

diepte circa in meters NAP		dikte circa in meters	Grondsoort	Geohydrologische eenheid
maaiveld	tot ca +4 à -1	1 à 7	zand, matig fijn	zandtoplaag
ca +4 à -1	tot ca -4 à -6	3 à 6	klei/leem, mogelijk met stenen en keien, deze laag kan lokaal (oostelijk deel van traject) ontbreken	waterremmende laag / 1e scheidende laag
ca -4 à -6	tot ca -95 <sup>1</sup>	90	zand, toplagen tot diepte van -40 m NAP zijn fijn (Formatie van Peelo). Het zand wordt lokaal doorkruist door kleilagen (met name op -20 à -30 m NAP)	watervoerende pakket

Tabel 5.1 Schematisatie van de bodemopbouw volgens CHP [Bemalingsadvies CHP]

Het watervoerende pakket dat onder de keileem voorkomt, wordt door CHP als een zeer dik pakket gezien en het is opgedeeld in 7 lagen (T2 tot en met T8) waartussen weerstandbiedende lagen zijn geschematiseerd. De met labproeven bepaalde doorlatendheden, pompproeven en andere informatiebronnen zijn door CHP omgewerkt naar een matrix met geohydrologische parameterwaarden als input voor modelleringen (tabel 6.2).

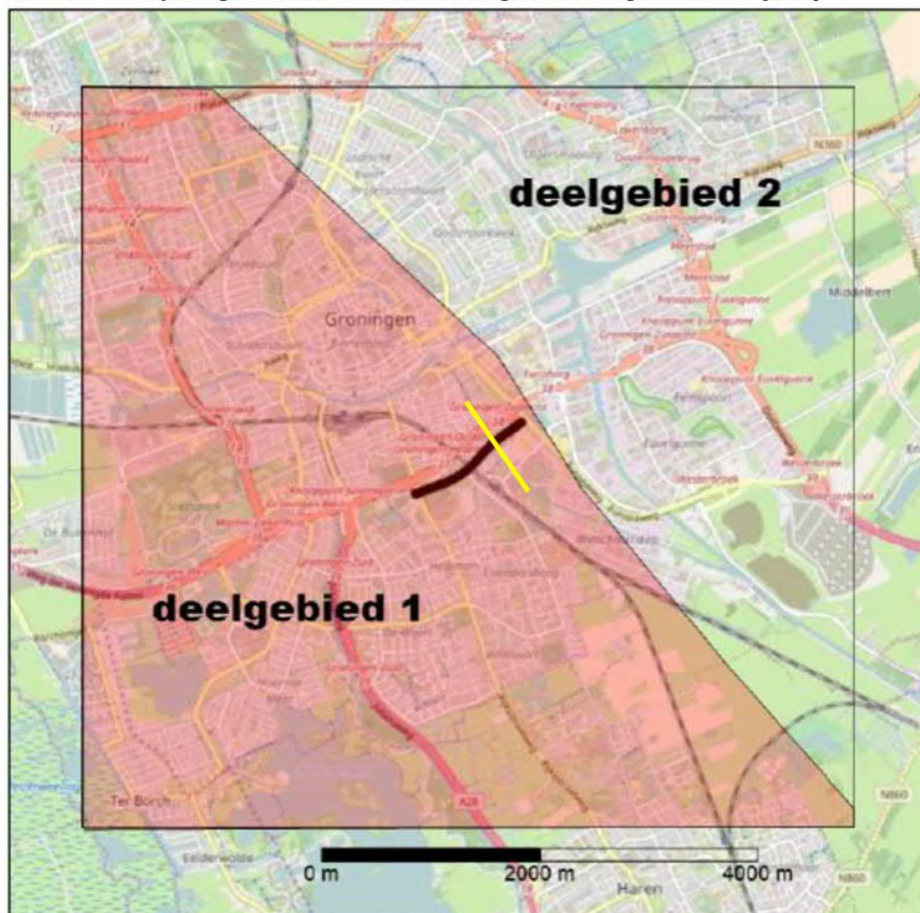
De modellering voor de bemalingsberekening is gedaan door rond het project 2 deelgebieden te onderscheiden (zie Figuur 5.1). Volgens CHP ligt de VDL in deelgebied 1.

De grens tussen deelgebied 1 en 2 ligt (op basis van de beschrijving en het profiel van TNO en de beschouwing van korrelverdelingen) meer naar het westen. De grens tussen deelgebied 1 en 2 ligt iets westelijk van de plek van boring B19026 waar het maaiveld lager is en als zodanig de overgang van Hondsrug naar Hunzedal aangeeft (zie Figuur 5.1).

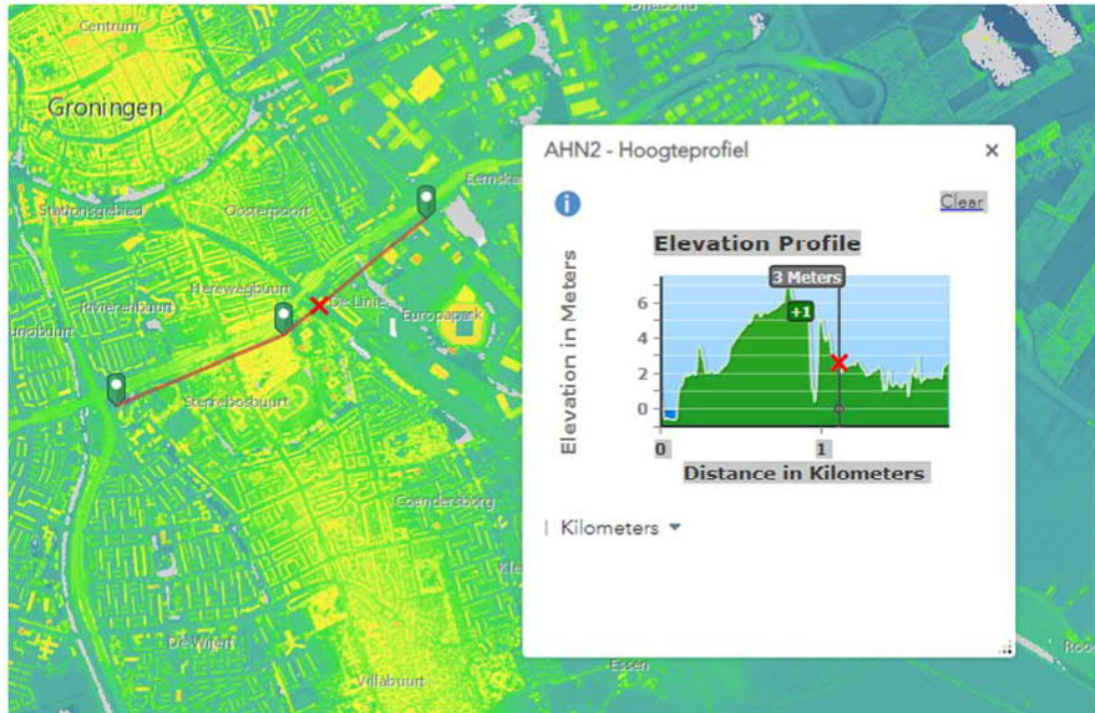


Laag	Eenheid	dikte (m)		o.k. laag (m NAP)	Waardes			
		deelgebied 1	deelgebied 2		deelgebied 1		deelgebied 2	
					min	max	min	max
C0	dagen	-	-		800		800	
T1	m <sup>2</sup> /dag	3	1	0	10		30	
C1	dagen	5	5	-5	1500		250	
T2	m <sup>2</sup> /dag	10	10	-15	10	20	10	20
C2	dagen	-	-		50	100	20	50
T3	m <sup>2</sup> /dag	3	3	-18	3	6	3	6
C3	dagen	-	-		15	30	6	15
T4	m <sup>2</sup> /dag	2	2	-20	2	4	2	4
C4	dagen	-	-		10	20	4	10
T5	m <sup>2</sup> /dag	5	5	-25	5	10	5	10
C5	dagen	-	-		25	50	10	25
T6	m <sup>2</sup> /dag	5	5	-30	5	10	5	10
C6	dagen	-	-		25	50	10	25
T7	m <sup>2</sup> /dag	15	15	-45	15	30	15	30
C7	dagen	-	-		15	30	15	30
T8	m <sup>2</sup> /dag	15	15	-60	100		100	

Tabel 5.2 Geohydrologische modelschematisatie volgens Bemalingsadvies CHP [1328]



Figuur 5.1 Indeling van het grondwatermodel van CHP in 2 deelgebieden volgens Bemalingsadvies CHP [1328]



Figuur 5.2 Profiel van maaiveldhoogte volgens AHN2 met aanduiding van de locatie van het spoor  
[\[https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/\]](https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/)

## 5.2 Uitgangspunten grondwaterstand en stijghoogte, ontgraving en verlaging

In de zandige toplaag is sprake van een freatische grondwaterstand die van veel lokale factoren en de neerslag en verdamping afhangt, voor het grondwater in de watervoerende laag spreekt men van stijghoogte die door regionale stroming wordt bepaald. De maatgevende waarden voor ontwerp zijn op deskundige wijze door CHP afgeleid in notitie Uitgangspunten geohydrologie [0075]. Maatgevende waarden voor de stijghoogte bij gecontroleerde compartimenten 3 en 8 volgens CHP zijn aangegeven in de volgende tabel.

Stijghoogte cq diepte [m NAP]	Comp 8 (ca km 8.150) bij Hereweg	Comp 3 (ca km 8.650) bij Oude Winschoterdiep
GLG	-0,60	-1,15
BGT	0,00	-0,50
UGT	+0,20	-0,30
ontgravingsdiepte	-4,61	-8,35
Damwand/kwelschermdiepte	-15	-30 > -21 na wijziging CHP
Brondiepte	-13	-20
Benodigde gw-verlaging	5,5 meter	8,5 meter

Tabel 5.3 Maatgevende stijghoogten bij compartimenten 3 en 8 volgens CHP [0075]



### 5.3 Vergelijking van het model van CHP met MIPWA en NHI

Deltares heeft het lokale model van CHP vergeleken met beschikbare regionale modellen. Een overzicht van de laagopbouw en parameterkeuze in MIPWA is opgenomen in bijlage C. De doorlatendheden van Peelo zand in het MIPWA model zijn te hoog (5 tot 30 m/d).

Aan het lokale model van CHP voor het deel tot een diepte van NAP – 30 m liggen meer boor-, sondeer- en meetdata van doorlatendheden ten grondslag dan aan een uitsnede van het MIPWA model ter plekke van de VDL. Zoals eerder opgemerkt resteert echter ondanks alle analyses onzekerheid over de verticale doorlatendheid van het pakket Peelo zanden. Het model MIPWA geeft daar geen antwoord op. Uit de bevindingen van de geologisch expert van TNO volgt dat er niet een sterke anisotropie kh/kv met een lage verticale doorlatendheid bestaat in de Peelo zanden omdat lokaal geen duidelijke klei- of leemlenzen in de afzettingen voorkomen.

### 5.4 Controle van bouwkuipbemalingen in ontwerp CHP

#### 5.4.1 Te stellen eisen aan de bemaling

Door CHP in memo kwelschermen [1144] aangehouden eisen:

- West van spoor (nabij Sterrebos): maximale verlaging van de grondwaterstand boven de keileem direct naast de bouwput van 0,5 m.
- Oost van spoor: maximale verlaging van de grondwaterstand boven de keileem direct naast de bouwput van 1 m.

In rapport Geohydrologie en kwelschermen VDL [8419] is gesteld:

- Een 0,5 m stijghoogteverlaging is de situatie waarbij de maaiveldzettingen in orde van grootte van enkele millimeters zijn.
- In oostelijk deel moet 0,25 m stijghoogteverlaging worden aangehouden omdat de maaiveldzettingen daar dan in orde van grootte van 5 millimeter zijn.
- Bij het Sterrebos moet een freatische verlaging van 0,05 m als grens worden aangehouden. Daarom moeten volgens CHP daar infiltratiesleuven worden gemaakt.

Het is ons niet duidelijk welke set eisen moet worden gehanteerd als ontwerpuitsgangspunt. De set eisen in [8419] is logischer vanwege de omgevingsbelangen en veel strenger dan die in [1144].

De eisen aan vermelde effecten zijn van belang bij de afweging van omgevingsaspecten Groen, Bebouwing op staal (aan de noordzijde) en Begraafplaats nabij de Hereweg (zie bijlage D). Het OTB/MER-rapport van Grontmij wordt door CHP als basisrapport met betrekking tot de verontreinigingssituatie in de omgeving gezien.

CHP merkt op dat KWO, verontreinigingen en archeologie niet van belang zijn bij de afweging van damwanddiepte maar naar onze mening kan dat pas worden beoordeeld als de verlaging- en stromingseffecten per gevarieerde damwanddiepte duidelijk zijn nagegaan. Dat is echter niet gedaan door CHP.

#### 5.4.2 Aanlegmethode

Voor de westelijke toerit van de VDL is door CHP gekozen voor een polderconstructie in compartiment 12, gebaseerd op het voorkomen van de slecht doorlatende laag klei/keileem. Over de andere delen van de VDL is in de uitgangspunten nota geen uitspraak gedaan. In het DO ontwerprapport Bemalingsadvies van CHP [1328] is vermeld dat de verdiepte ligging met een lengte van 1,2 km van km 7.568 tot 8.860, wordt verdeeld in 12 compartimenten en dat de



bouwputten van compartimenten 1 t/m 11 middels een bemaling worden droog gehouden. Rond de bouwputten worden door CHP zogenaamde kwelchermen geplaatst die worden uitgevoerd met stalen damwanden.

Het betreffende ontwerprapport [1328] gaat uit van het uitgevoerde grondonderzoek inclusief de eerste pompproef.

Volgens CHP memo kwelchermen [1144] zijn per compartiment met een MicroFEM model stationaire berekeningen gemaakt van de kwel in de bouwputten en de verlaging van grondwater daarbuiten. Compartimenten 1 en 7 t/m 11 hebben damwanden tot een diepte van NAP – 15 m. Compartimenten 2 t/m 6 hebben in eerste instantie in het DO een variërende damwanddiepte van NAP – 25 tot – 18 m met een maximum van NAP – 30 m in compartiment 3 (ter plekke van de kruising met het Oude Winschoterdiep). Voor het UO is in de memo Geohydrologie en kwelchermen [8419] de diepte van de damwanden ingekort tot maximaal NAP – 21 m.

De uitvoeringsduur van de bemaling per compartiment is 1,5 maand en 3 weken in het korte compartiment 6. Waarschijnlijk is de duur gerelateerd aan de aanleg van de betonvloer in ieder compartiment. Op basis van de planning van CHP is een totale bemalingsduur voorzien van ongeveer 1,25 jaar.

De bemaling van de bouwputten zonder bodemafdichting dient te worden uitgevoerd met een spanningsbemaling om opbarsten te voorkomen. Volgens het bemalingsontwerp van CHP is de inrichting van de bemaling als volgt:

- Drainage van de bouwputbodemp met drainsleuven.
- Combinatie van filterbemaling en deepwell-bemaling tot een diepte van maximaal 2 m boven onderkant damwanden (dat is dus NAP – 13 à – 19 m).

compartiment	lengte (m)	kilometring (m)		max. ontgraving (m NAP)		stijghoogte verlaging (m NAP)	diepte kwelcherm (m NAP)	bemalings- duur (maanden)	bemaling bereken- de debieten (m <sup>3</sup> /dag)		waterberwaar (m <sup>3</sup> )		bemalingsperiode	
		van	tot	van	tot				max	min	max	min	van	tot
1	94	8766	8860	0,93	-2,95	-3,45	-15	4,1	275	130	33550	15860	8-3-2019	8-7-2019
2	63	8703	8766	-3,12	-5,68	-6,18	-25	4,6	500	300	69000	41400	6-2-2019	24-6-2019
3	122	8581	8703	-5,77	-8,72	-9,22	-30	7,8	690	415	161460	97110	11-9-2018	3-5-2019
3 (kabelkanaal)	122				-4,08	-4,58	-30	1,4	300	150	12300	6150	9-4-2019	20-5-2019
4	120	8461	8581	-7,09	-8,52	-9,02	-25	6,1	900	712	165600	131008	18-7-2018	18-1-2019
4 (kabelkanaal)	120				-3,38	-3,88	-25	1,1	285	150	9405	4950	21-2-2019	26-3-2019
5	116	8345	8461	-6,01	-7,05	-7,55	-20	2,9	886	536	76196	46096	3-7-2018	27-9-2018
5 (kabelkanaal)	116				-2,99	-3,49	-20	1,7	315	175	16380	9100	17-12-2018	7-2-2019
6	25	8320	8345	-5,76	-5,96	-6,46	-18	8,2	375	200	92250	49200	20-8-2018	23-4-2019
6 (TVP, kabelkanaal)	25				-3,08	-3,58	-18	0,3	250	150	2000	1200	6-8-2017	14-8-2017
7	122	8198	8320	-4,42	-5,71	-6,21	-15	5,3	400	250	63200	39500	14-1-2019	21-6-2019
7 (kabelkanaal)	122				0,04	-0,46	-15	1,3	50	30	2000	1200	21-6-2019	31-7-2019
7 (DEK)	40				0,00	-0,50	-15	2,7	50	30	4000	2400	25-5-2018	29-3-2019
8	123	8075	8198	-4,11	-4,64	-5,14	-15	5,1	300	175	45800	26600	7-2-2019	9-7-2019
8 (kabelkanaal)	123				0,81	0,31	-15	1,9	30	15	1140	570	30-7-2019	6-9-2019
9	105	7970	8075	-3,83	-4,22	-4,72	-15	3,2	275	150	26675	14550	2-4-2019	8-7-2019
9 (kabelkanaal)	105				0,84	0,34	-15	1,3	30	15	1200	600	25-9-2019	4-11-2019
10	100	7870	7970	-3,69	-3,88	-4,38	-15	6,1	275	150	50325	27450	21-3-2019	20-9-2019
10 (kabelkanaal)	100				0,71	0,21	-15	1,3	30	15	1140	570	8-10-2019	15-11-2019
11	120	7750	7870	-2,49	-3,67	-4,17	-15	7,0	250	150	52500	31500	3-9-2018	1-4-2019
11 (kabelkanaal)	120				0,70	0,20	-15	0,4	30	15	330	165	25-3-2019	5-4-2019
12a	60	7690	7750	-1,65	-2,56	-0,32	-3	7,2	130	75	28210	16275	28-9-2018	3-5-2019
12b	60	7630	7690	-0,21	-1,56		-3		30	15	6510	3255		
12c	62	7568	7630	1,49	-0,09		-3		30	15	6510	3255		

Tabel 5.4 Uitgangspunten Bemalingsberekeningen volgens Bemalingsadvies VDL [1328, bijlage 7]



In het DO bemalingsadvies [1328] en in Memo kwelschermen VDL [1144] is bovenvermelde tabel opgenomen waarbij de diepte van kwelschermen bij compartiment 3 zijn bepaald op NAP – 30 m. In [1144] wordt echter ook gesteld dat wordt verwacht dat met een damwanddiepte tot NAP – 20 m kan worden volstaan zonder onwenselijke omgevingseffecten. Dit is gesteld nog voor uitvoering van de extra pompproef #2. Het is niet duidelijk gemaakt waarop de uitspraak is gebaseerd. In de memo is voor compartiment 3 een schematisatie aangehouden waarin als weerstand is opgegeven 10 a 20 d over bovenste 10 m, 20 a 30 voor tweede 10 m in Peelo. Kennelijk is een schematisatie toegepast die is beperkt tot onderkant Peelo zand op NAP – 35 m. Die diepte is in de schematisatie in berekeningen voor de andere compartimenten ook beperkt gehouden.

In de rapportage Geohydrologie en kwelschermen VDL [8419] is de optimalisatie van de kwelschermen beschouwd na de uitvoering van de tweede pompproef.

Gezien de benodigde lengte van onttrekkingsfilters van 8 m onder ontgravingsdiepte is bij de ondiepe compartimenten 8 t/m 12 met een ontgravingsdiepte van circa NAP – 5 m de damwanddiepte minstens NAP – 15 m. Bij de diepe compartimenten 3 t/m 5 is de ontgravingsdiepte bijna NAP – 9 m en wordt de damwanddiepte gekozen op NAP – 21 m.

In rapport [8419] is een redeneerlijn gekozen vanuit de effecten voor de omgeving en toegestane onttrekkingshoeveelheden en praktische afwegingen richting bepaling van minimale plaatsingsdiepte van damwanden.

De set eisen die als uitgangspunt wordt toegepast is tamelijk streng. Dat is terecht want binnen 200 m van de bouwput komen groenvoorzieningen, begraafplaats en funderingen op staal voor. Dus aanhouden van strenge eisen is verstandig.

Die insteek van een redenering is wat ons betreft in orde. Alleen moet het dan ook wel zo worden uitgevoerd! En dat is niet correct gedaan.

Bij de bepaling van benodigde verlaging worden veel uitgangspunten naar een kant afgerond die de mate van verlaging kleiner maken (8,5 ipv 8,9). Er dient van de juiste aangenomen stijghoogte te worden uitgegaan! De rapportages van CHP zijn zo bondig dat keuzes niet voldoende zijn onderbouwd.

De berekeningen in advies [8419] zijn uitgevoerd volgens door CHP gekozen “verwachtingswaarden”. De verwachtingswaarden gaan volgens bijlage 5 in dat rapport uit van een keileemlaag met  $c = 1500$  d en een  $kD$  van  $60 \text{ m}^2/\text{d}$  die gesplitst is in 40/20 over 2 gestapelde lagen met een weerstand van 50 dagen daartussen. De verdeling 40/20 zou volgens het grondonderzoek ook 20/40 kunnen zijn. Op basis van de ondergronddata die in het geologisch profiel zijn verwerkt is het niet verstandig om van een verticale weerstand van 50 dagen in de Peelo zanden uit te gaan in het model. De dikte van de zandlaag onder de bronnen onderin de bouwput is maar 2 m tot onderkant damwand en de horizontale doorlatendheid is  $kh=0,5$  tot  $1 \text{ m}/\text{d}$ . Anisotropie  $kh/kv$  is niet goed vastgesteld en TNO verwacht eerder een redelijk homogene massa. Verder zijn diepere watervoerende lagen die onder de potklei van de Peelo Formatie voorkomen zeer waarschijnlijk niet in het model meegenomen. Uit de berekeningen van CHP zijn in tabellen debieten en stijghoogteverlagingen in de omgeving gepresenteerd voor de bemaling van 1 bouwput voor ieder afzonderlijk compartiment. Het waterbezwaar van afzonderlijke bouwputbemaling is volgens CHP uitgaande van de verwachtingswaarden  $340 \text{ m}^3/\text{d}$  voor compartiment 8 en  $450 \text{ m}^3/\text{d}$  voor compartiment 3.

#### 5.4.3 Globale controleberekening bemaling door Deltares

Indien Deltares voor compartiment 8 uitgaat van een verticale weerstand van 20 dagen over een laag van 2 meter kleiig zand met een (vrij willekeurig aangenomen) verticale



doorlatendheid van 0,1 m/d onder de bouwput met een oppervlak van 120\*40 m<sup>2</sup>, dan berekenen wij een kwel bij een stijghoogteverschil van 5,3 m van 1272 m<sup>3</sup>/d. CHP houdt een marge aan van 175 tot 300 m<sup>3</sup>/d. Dat is onveilig en niet reëel voor deze grote bouwput. Indien Deltares voor compartiment 3 uitgaat van een verticale weerstand van 20 dagen over een laag van 2 meter kleiig zand met een (vrij willekeurig aangenomen) verticale doorlatendheid van 0,1 m/d onder de bouwput met een oppervlak van 120\*40 m<sup>2</sup>, dan berekenen wij bij een stijghoogteverschil van 8,9 m een kwel van 2136 m<sup>3</sup>/d. CHP houdt een marge aan van 415 tot 690 m<sup>3</sup>/d. Ook hier is dat onveilig en niet reëel voor deze grote bouwput. Verder volgt uit het geologisch profiel van TNO dat in bouwput compartiment 3 een kleiige laag aanwezig is tussen circa NAP – 12 en – 16 m diepte. De opbarstveiligheid van die laag is minimaal (veiligheid orde nul). Bovendien zullen problemen ontstaan omdat de verticale bemalingsbronnen in die laag niet goed geplaatst kunnen worden. Het gevolg zal zijn dat de bronnen onder die laag geplaatst worden en de verlagingen in het watervoerende pakket dus groter worden.

#### 5.4.4 Gevoeligheidsanalyse CHP en omgevingseffecten

Uit berekeningen met verwachtingswaarden (bijlage 4 in [8419]) volgt volgens CHP dat bij compartiment 3 met een damwanddiepte van NAP – 21 m de 0,5 m verlagingsslijn van stijghoogte ruim 185 m van de bouwput ligt en bij compartiment 8 met een damwanddiepte van NAP - 15 m de 0,5 m verlagingsslijn van stijghoogte 200 tot 350 m van de bouwput ligt (zie tabel 5.5). Dat geldt al bij bemalingsberekening voor 1 bouwput. De aanwezige kwetsbare objecten met staalfundering vallen binnen de contour. Overigens dateert de oude bebouwing Oosterpoortbuurt uit het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw zodat het vrijwel zeker is dat er alleen op staalfundering is gebouwd (zie bijlage D). Aanvullend onderzoek naar de funderingstoestand zal daarin weinig nieuw inzicht opleveren.

Het is zeer de vraag of de modelkeuze onder de berekeningen van CHP volgens verwachtingswaarden wel juist is. De berekende verlagingen zijn naar onze indruk te gering. Een variant met een andere doorlatendheidsverdeling in het Peelo zand (dieper meer doorlatend dan bovenin voor het aangegeven totaal van 60 à 70 m<sup>2</sup>/d) is niet beschouwd.

Onze conclusie is dat op basis van de parameterkeuze volgens CHP alleen al volgens verwachtingswaarden grote verlagingen buiten de bouwkuipen zijn te voorzien. Bij worst case variaties zullen de verlagingen nog ernstiger zijn. Bovendien voorzien wij uitvoeringsproblemen door gevaar voor opbarsten van een kleiige laag in de diepe bouwputten en problemen met de plaatsing van de verticale bemalingsbronnen.

In [8419] is daarna door CHP een gevoeligheidsanalyse naar de spreiding in de bodemparameters verricht voor compartiment 7 (niet het diepste) om inzicht te krijgen in de effecten van parametervariatie op effecten.

Model laag	eenheid	Ref.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
C1	dagen	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T1	m <sup>2</sup> /dag	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4	15
C2	dagen	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	3750	-	-
T2	m <sup>2</sup> /dag	40	100	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3	dagen	50	-	-	5	500	125	20	-	-	-	-	-	-	-	-
T3	m <sup>2</sup> /dag	20	-	-	-	-	-	-	200	2	50	8	-	-	-	-

Tabel 5.5 Diverse varianten beschouwd door CHP [8419]



Uit de analyse van de gevoeligheid door CHP blijkt dat het veel uitmaakt in debieten en verlagingen als het pakket minder gelaagd is. Dus maakt het ook veel uit in effecten in de omgeving. Bij de opmerking "minder gelaagd" in de tabel is ons niet duidelijk welke parametervariant hiervoor staat.

	Uitgangssituatie				minder gelaagd zandpakket			
	-15	-18	-21	-24	-15	-18	-21	-24
<b>Onderkant kwelschermen (m NAP)</b>								
<b>Compartment 8</b>								
Waterbezwaar (m <sup>3</sup> /dag)	346	304 (-12%)	274 (-21%)		575 (+66%)	545 (+58%)	515 (+49%)	
invloedsgebied zetting (+ verdroging) stijghoogte (0,5 m verlagingslijn) (m)	300	245 (-18%)	200 (-33%)		370 (+51%)	350 (+43%)	330 (+35%)	
invloedsgebied verdroging freatische grondwaterstand (5 cm verlagingslijn) (m)	650	625 (-4%)	80 (-12%)		645 (+3%)	630 (+1%)	620 (-1%)	
<b>Compartment 3,</b>								
Waterbezwaar (m <sup>3</sup> /dag)	573	505 (-12%)	452 (-21%)	409 (-29%)	1260 (+267%)	1015 (+195%)	950 (+175%)	830 (+141%)
invloedsgebied zetting (+ verdroging) stijghoogte (0,5 m verlagingslijn) (m)	240	210 (-13%)	185 (-33%)	175 (-46%)	380 (+58%)	370 (+54%)	350 (+46%)	335 (+40%)
invloedsgebied verdroging freatische grondwaterstand (5 cm verlagingslijn) (m)	620	580 (-6%)	560 (-10%)	540 (13%)	760 (+23%)	750 (21%)	730 (+18%)	710 (+15%)

Tabel 5.6 Vergelijking van debieten en invloed bij diverse damwanddiepten en bodemschematisatie volgens Geohydrologie en kwelschermen [8419]

Er zijn meer varianten doorgerekend dan in tabel 5.5 is aangegeven. Alle varianten overziende nemen de debieten 50 tot 450% toe! Het beïnvloede gebied rond de bouwputten neemt volgens de gevoeligheidsanalyse tot 100% toe.

Volgens onze beschouwing van het beschikbare document zijn de prognoses van zettingen bij gewijzigde damwanddiepte en variatieberekening niet gemaakt. Verder ligt de voormalige verontreiniging Aagrulol tussen Europaweg en Winschoterdiep op 500 m aan noordzijde van A7. In bemalingsadvies [1328] werd gesteld dat er geen effect is op deze verontreiniging.

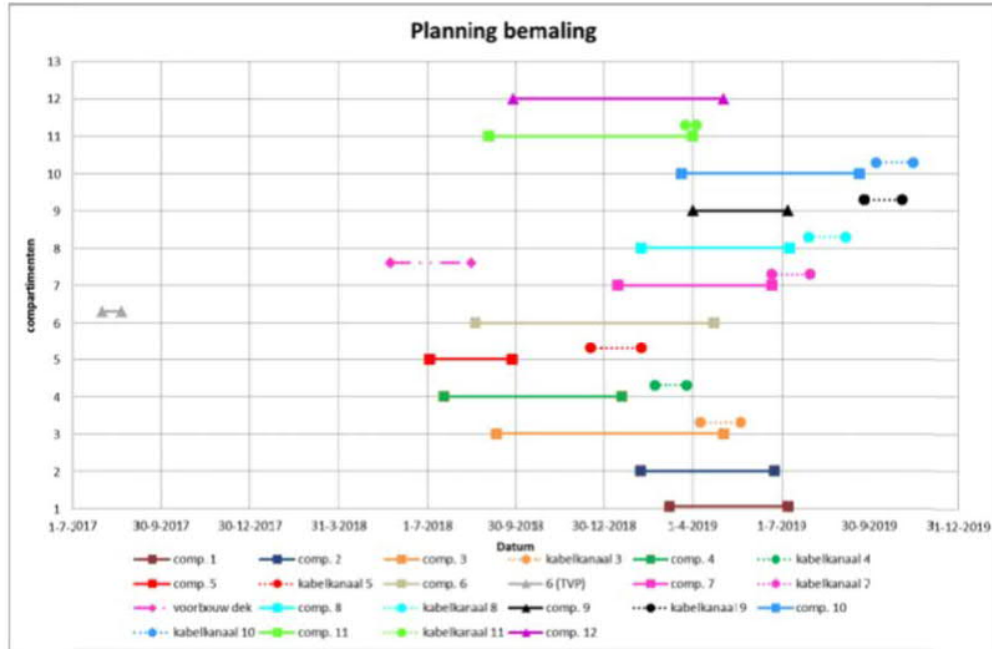
Door CHP is niet nagegaan wat de effecten voor de omgeving zijn bij parametervarianten in geval van de veranderde damwanddiepte.

Als er door Deltares een controleberekening wordt gemaakt voor een enkele bouwkuip als compartiment 3 volgen stijghoogteverlagingen van 2 tot 2,5 m buiten de bouwkuip uitgaande van een weerstand onderin de bouwkuip van 20 dagen (zie Bijlage E). Onze controleberekening (bijlage E) ligt dicht bij Variant F in de bijlage 5 van CHP [8419] en die is veiliger. De variatieberekeningen van CHP zijn uitgevoerd voor compartiment 7. Het waterbezwaar van Variant F is 50% groter dan de waarde voor de door CHP verwachte bodemopbouw. Effecten in de omgeving reiken dan over een 20 tot 33% groter gebied.

NB De diepere compartimenten zijn 2 m dieper dan compartiment 7.

#### 5.4.5 Planning van CHP voor bemaligen

Het belangrijkste bezwaar is dat er volgens planning van CHP die in het bemalingsadvies is aangegeven zeker 3 tot 6 bouwputten tegelijk worden gerealiseerd (zie Figuur 5.3)!

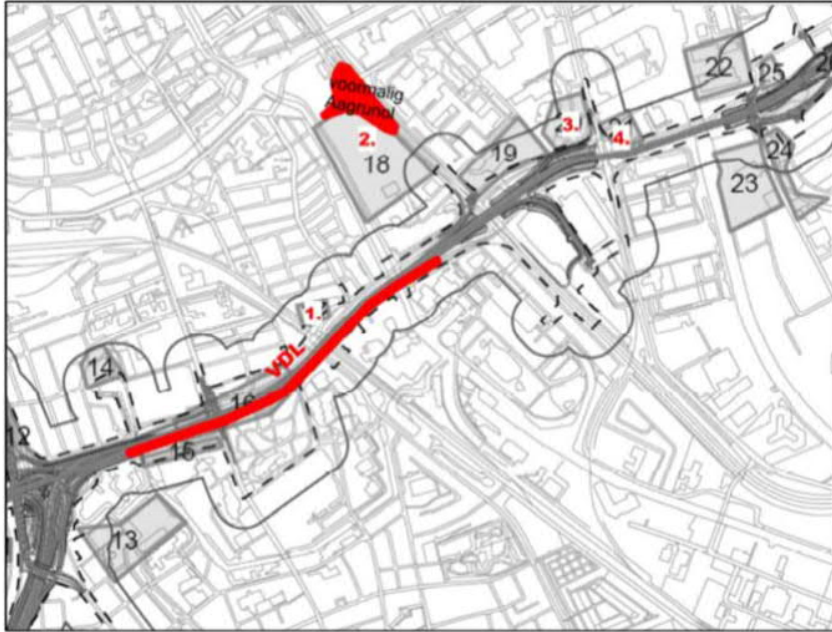


Afbeelding 2-3 Planning bemaling

Figuur 5.3 Voorziene bouwplanning van CHP volgens Bemalingsadvies [1328]

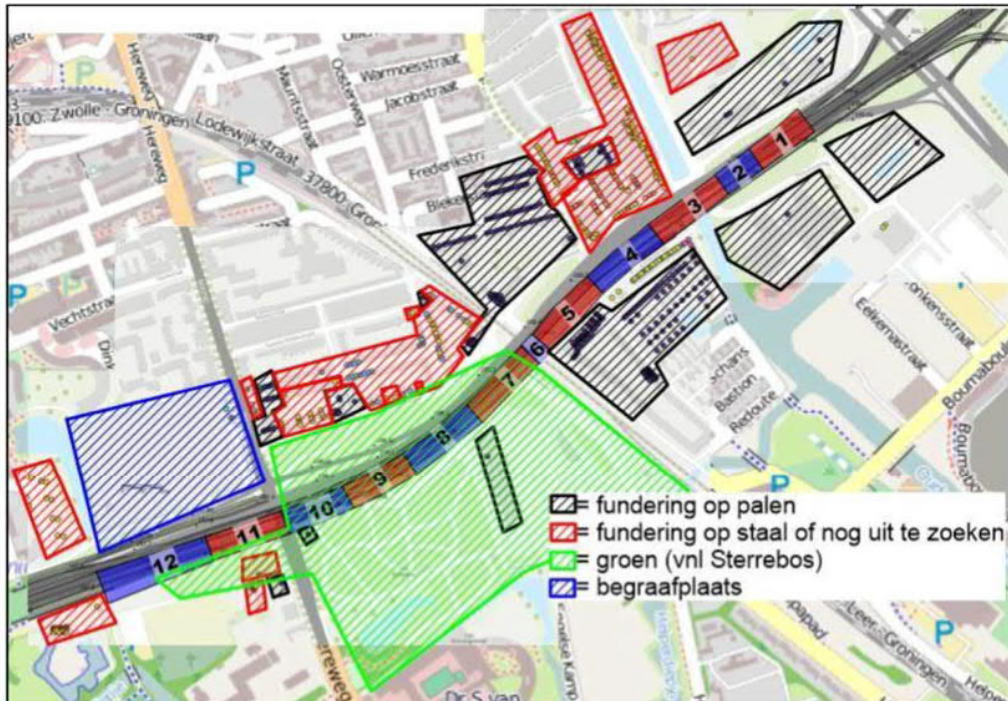
Als meerdere bouwkuipen tegelijk worden bemalen zoals de planning is van CHP (Figuur 5.3), nemen de effecten op het grondwater buiten die bouwkuipen navenant toe. Dergelijke effecten dienen bij de wens om de damwanden ondieper te plaatsen serieus te worden bestudeerd waarna pas kan worden besloten of aanpassingen voldoende zijn afgewogen.





Abbeelding 5.5 Ligging mobiele grondwaterverontreiniging tov VDL

Figuur 5.4 Locaties van mobiele verontreinigingen nabij VDL volgens bemalingsadvies [1328]



Figuur 5.5 Omgevingsbelangen nabij VDL volgens bemalingsadvies [1328]



## 5.5 Antwoorden op gestelde vragen over het grondwatermodel

De volgende vragen zijn aan ons gesteld:

- Hoe is de heterogene bodemopbouw vertaald naar het grondwatermodel en modelparameters?
- Welke worst-case scenario's zijn doorgerekend en is dat voldoende om de uitvoeringsrisico's in beeld te brengen?
- In hoeverre is in het grondwatermodel (bij de keuze en variatie van modelparameters) voldoende rekening gehouden met een heterogene bodemopbouw (zie punt 1A) ten aanzien van:
  - Het berekende bemalingsdebiet (met bandbreedte).
  - De grootte van het beïnvloedingsgebied met verlaging van grondwater (bij mogelijke variaties).
  - De grootte van effecten in de omgeving (bij mogelijke variaties)?

De algemene vraag was in hoeverre variaties in bodemopbouw correct zijn vertaald naar het grondwatermodel en daarin aangehouden parameterwaarden. Naar aanleiding van onze beoordeling moet deze vraag als volgt worden beantwoord:

- Het aangehouden model volgens verwachtingswaarden en mogelijke varianten daarop is onzeker vanwege onbekendheid met de verticale doorlatendheid en weerstand van de Peelo zanden onderin en onder de bouwput die resteert na vooronderzoek dat daar onvoldoende duidelijkheid in heeft opgeleverd. Nadrukkelijk wordt er op gewezen dat het grondwatermodel is gebouwd naar aanleiding van grondonderzoek en doorlatendheidsproeven en dat het model niet is gecalibreerd op peilbuismetingen van grondwaterstanden in de omgeving van het bouwproject.
- Vanwege de onzekerheid over de weerstand in de Peelo zanden dient CHP van het worst case scenario uit te gaan en niet van een variant met verwachtingswaarden.
- Vanwege bovenstaande is er onvoldoende veiligheid ten aanzien van bemalingsdebiet en omgevingseffecten.
- Samenvattend kunnen we stellen dat bij de keuze van bouwputten zonder bodemafdichting en met korte damwanden (NAP – 15 tot – 21 m) bij het aanhouden van verwachtingswaarden voor geohydrologische parameters een effect in de omgeving optreedt dat niet voldoet aan de gestelde eisen. Wanneer de variatieberekeningen met andere waarden voor geohydrologische parameters worden gemaakt door CHP wordt de grootte van het debiet en de ernst van de effecten alleen maar erger. Desalniettemin stelt CHP voor om de verkorte damwanden aan te houden. Enkele ongunstige varianten zijn naar ons inzicht passender bij het geologisch profiel dan de door CHP verwachte bodemopbouw, bijvoorbeeld een combinatie met een geringe weerstand onderin de bouwput, en deze hebben veel ernstiger gevolgen voor bemalingsdebiet en effecten in de omgeving.
- Volgens onze beschouwing van het geologisch profiel kan in de diepste bouwputten op enige diepte een kleiige laag voorkomen (PE-2) waardoor opbarstgevaar kan optreden of de noodzaak kan ontstaan om de spanningsbemaling dieper te plaatsen met grotere effecten voor verlagingen in de omgeving tot gevolg.
- De potkleilagen en diepe watervoerende pakketten onder de potkleilagen zijn door CHP niet in de modellering meegenomen. Het gevolg daarvan is niet helder.
- Het is uit de rapportages niet duidelijk of in het bemalingsadvies [1328] de effecten voor de bemaling van meerdere bouwputten gelijktijdig zijn beschouwd. In latere rapportages zoals bij de beoordeling van ondiepere kwelschermen in Rapport Geohydrologie en



kwelschermen [8419] is het effect van meerdere bemalingen gelijktijdig zeker niet beschouwd. Waarschijnlijk zijn 3 tot 6 bouwkuipen gelijktijdig in uitvoering.

- De effecten van bouwputbemalingen zoals weergegeven in Rapport Geohydrologie en kwelschermen [8419] voor de beschouwde varianten zijn zeer ongunstig voor de omgeving en voldoen niet aan de projecteisen. De effecten voor de omgeving bij de verschillende varianten zijn onvoldoende vergeleken met de projecteisen. Een invloed met een verlaging van de stijghoogte onder de keileem van 0,5 kan volgens onze controle verder dan 350 m van de diepste bouwputten voorkomen.
- Er is in de berekeningen niet uitgegaan van mitigerende maatregelen. Er wordt slechts gesteld in [1328] dat met monitoring de ernst van verlagingen wordt gevolgd en dat bij te grote verlagingen zal worden ingegrepen met lokale retourbemaling. Door CHP is echter nog niet nagegaan of kan worden vertrouwd op goede werking van retourbemaling. Deltares stelt dat deze onzekerheid moet worden voorkomen door nu voldoende veiligheid in het ontwerp in te bouwen. CHP geeft in haar notitie Kwelschermen [8419] aan dat langere kwelschermen (damwanden, maar niet aangegeven hoe lang ze dan moeten worden) nodig zijn om de gebieden aan de noordzijde met bebouwing op staalfundering te beschermen. Toch kiest CHP voor kortere kwelschermen. Maar de mitigerende maatregelen zijn niet ontworpen.
- Ook merken we op dat de benodigde onttrekkingsmiddelen nog niet zijn gedimensioneerd door CHP. In de Notitie Memo bemaling werkvloer VDL [9757] van CHP is alleen de afvoer van de drains berekend en niet de opbolling tussen de drains bij uitval van bronnen. Zoals opgemerkt voorzien wij problemen met de opbrengst en de diepte van bronnen door het voorkomen van een kleiige laag in de bouwputten.
- In de memo Geohydrologie en kwelschermen [8419] wordt opgemerkt dat toepassing van alleen drainage kan leiden tot opbarsten (verweken) van het fijnzandige zandpakket. Dat is volgens Deltares zeker waar. Maar CHP heeft niet uitgewerkt wat de gevolgen zijn met een risicoanalyse en selectie van maatregelen. De bronbemaling mag zeker niet uitvallen. Dit stelt hoge eisen aan de aannemer. Deltares heeft geen terugvalplan met maatregelen van CHP kunnen inzien.

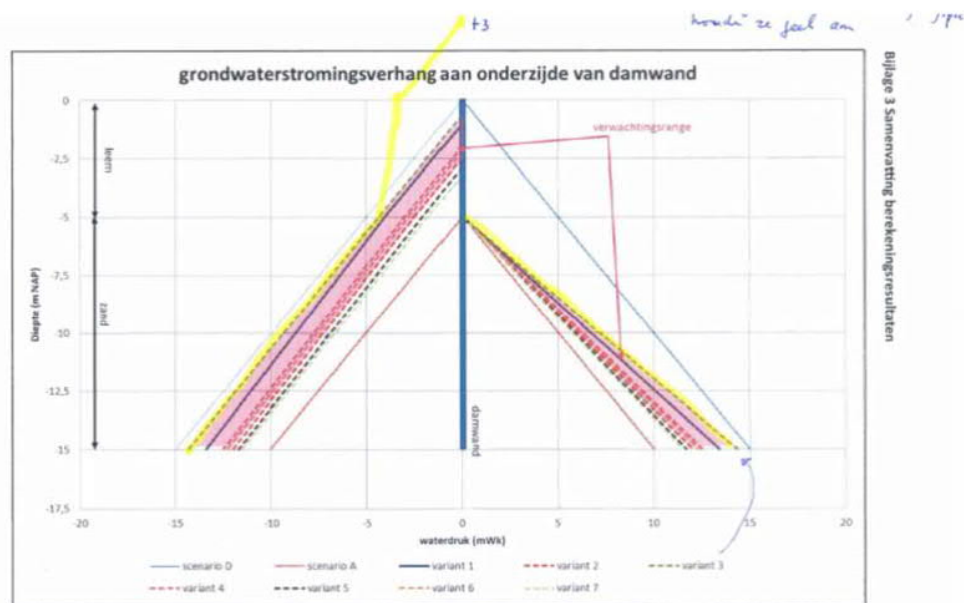
## 6 Beoordeling van constructief ontwerp damwanden

Voor de beoordeling van het ontwerp van de damwanden zijn de volgende rapporten bestudeerd en becommentarieerd:

### 1. Memo Grondwaterstandsverloop langs kwel scherm (versie 1 d.d. 05-10-2017)

In deze memo is het verloop van de stijghoogte langs de damwanden berekend. Hierbij zijn 8 varianten van doorlatendheid beschouwd. De stijghoogteverlaging is 5 meter. Onderkant damwanden is NAP -15 m. Variant 1 is de verwachtingswaarde. Daarnaast is een range aangegeven waarbinnen de grondwaterdrukken zich bevinden. Volgens de memo moeten de buiten deze range berekende drukken als worst case worden beschouwd.

Buiten de range vallen scenario A en D. Dit zijn scenario's waarbij de waterdruk in de diepe laag aan de buitenkant gelijk is aan de binnenkant (A) en de put onder water staat (D).



Figuur 6.1 Berekende grondwaterdrukken tegen damwand voor verschillende scenarios. Uiteindelijk is in de berekeningen de gele lijn aangehouden

#### Opmerkingen:

- Er zijn ook nog 2 scenario's B en C; de resultaten van die scenario's staan niet in afbeelding 1 aangegeven.
- De resultaten van berekening variant 8 zijn niet in afbeelding 1 weergegeven.
- In de damwandberekeningen (geconcludeerd uit de 2<sup>e</sup> memo) is uiteindelijk alleen een drukverloop dat lijkt op het verloop van variant 3, met het verschil dat de grondwaterstand aan de buitenkant niet is verlaagd en de stijghoogtesprong over de leemlaag (tussen 0 en -5) is gezet.
- Het is onduidelijk waarom niet met de range van grondwaterdrukken is gerekend en wat er met resultaten van de worst case scenarios is gedaan.
- De berekeningen zijn uitgevoerd voor 1 geval (1 bouwput en 1 stijghoogte-verlaging). Is dit representatief voor alle bouwkuipen en stijghoogteverlagingen?



Het is nodig om in de berekeningen van de damwanden rekening te houden met een range aan waterdrukken. De waterdruk is niet exact bekend. Waterdruk heeft een grote invloed op de momenten in de wand, ankerkrachten en stabiliteit. Er is niet 1 waterdrukverloop te bedenken dat voor zowel wand, ankerkracht als stabiliteit het meest ongunstig is. Daarnaast is in het grondwaterdrukverloop aangehouden dat er onder de toplaag leem zit. In het oosten ontbreekt deze laag lokaal. Het grondwaterdrukverloop is daar dan zeker anders dan aangenomen.

2. Resultaten optimalisatie fase 0 (ARZ-TD-KW19-6628-ME-UO-AL, versie 1 22.06.2018)

In deze memo zijn voor 4 dwarsdoorsneden 4 varianten berekend. Variant 1 is de verwachtingswaarde van de grondwaterdrukken. Variant 2 een worst case scenario van de bemaling. Er is echter niet aangegeven en dus onduidelijk wat nou de worst case is. Men stelt voor dit als calamiteit te beschouwen en de veiligheidsfactoren op 1,0 te zetten. Volgens de tekst zal het moment en snedekrachten voldoen. Bij variant 3 wordt de 2<sup>e</sup> stempellaag niet voorgespannen. Bij variant 4 is de freatische grondwaterstand lineair geïnterpoleerd over de keileem laag (de gele lijn in figuur 7.1). Gesteld wordt dat dit een realistischer scenario is en daarom wordt voorgesteld dit drukverloop in UO aan te houden.

Opmerkingen:

- Bij de berekening van variant 1 voldoet het verticale evenwicht niet.
  - Bij variant 2 (een worst case scenario bemaling) worden de veiligheidsfactoren op 1 gezet. Onduidelijk is wat de worst case inhoudt. Als dit een reële kans van optreden heeft, moeten de gebruikelijke veiligheidsfactoren worden toegepast.
  - Bij variant 2 staat dat de verwachting is dat het voldoet. Dit moet worden aangetoond.
  - In het berekeningsrapport (onder 6) staan andere berekeningsvarianten dan in dit optimalisatierapport.
  - Op de keileem en Peelo-Formatie heeft een 300 tot 400 m dikke ijskap gelegen. In grondmechanisch opzicht betekent dit dat vermelde grondlagen zwaar zijn overgeconsolideerd naar een hoge  $K_0$  (de neutrale gronddrukcoëfficiënt voor de verhouding tussen horizontale spanningen en verticale spanningen is dan groot). De hoge  $K_0$  moet worden meegenomen in het damwandontwerp. Verder geldt dat als in de Peelo zanden wordt geboord, geheid of gegraven, loopt de horizontale grondspanning vrijwel direct weg, met het risico van slecht draagvermogen van funderingselementen of verzakkingen in de omgeving.
3. Ontwerpnota bouwkuip KW19, revisie 3 (ARZ-TD-KW19-6630 d.d. 29.06.2018)  
In de tekst staat dat om te borgen dat de grondwaterstand niet te veel wordt verlaagd, monitoring wordt toegepast. Worden de op staal gefundeerde panden ook gemonitord? Hoe wordt voorkomen dat deze woningen niet teveel gaan zakken?
4. Uitgangspuntennota KW19 Grondkering UO, revisie 1 (ARZ-TD-KW19-8433 d.d. 22.06.2018)  
Voor de grondwaterdrukken is de grondwaterstand aan de buitenkant niet verlaagd en de stijghoogtesprong over de leemlaag (tussen NAP 0 en -5 m) gezet.

Opmerking:

- Dit is een verwachte grondwaterdruk. Echter als de leemlaag er niet is of de doorlatendheden van het pakket eronder zijn anders dan verwacht dan zal de grondwaterdruk anders zijn. Daarom moet met andere grondwaterdrukken ook rekening worden gehouden.
  - Pagina 27: De invloed van de bestaande gebouwen op de grondkering wordt beschouwd. Wordt ook de invloed van de grondkering en bemaling op de gebouwen beschouwd?
  - Pagina 30: Er zijn op staal gefundeerde woningen op een korte afstand (minimaal 8,5 m) tot de VDL (verdiepte ligging). Wat is de invloed van bemaling en grondkering op deze woningen?
  - Pagina 30/31: Er zijn 3 viaducten in de N7. Deze staan op palen. Wat is de invloed van de bemaling en bouw op deze viaducten?
5. Overleg constructieve aspecten (powerpountpresentatie)  
Deze presentatie gaat over risicoaanpak en fall-back-maatregelen. Deltares merkt op dat het risico van grotere buigende momenten in de damwanden en/of grotere ankerkrachten door een andere grondwaterdruk niet is afgedekt.
6. Aanpak Ring Zuid. Berekeningsrapport geotechnisch uitvoeringsontwerp tijdelijke grondkerende constructies, revisie 1 (ARZ-TD-KW19-8434 d.d. 22.06.2018)  
Opmerkingen:
- Ter voorkoming van zetting worden damwanden nabij een aantal panden in een cement-bentoniet sleuf of CSM sleuf aangebracht. Is hiermee in het ontwerp van de wanden rekening gehouden (gronddrukberekening).
  - Voor de corrosie van damwanden is 1,2 mm per zijde aangehouden. Volgens CUR166, tabel 9.2 geldt dit voor ongeroerde schone bodem. Per zijde en voor 100 jaar. In geroerde grond, verontreinigde bodem zure bodem of agressieve gronden gelden hogere corrosiewaarden. Hoe zeker is dat de bodem ongeroerd en schoon is?
  - De berekeningen zijn uitgevoerd met 1 grondwaterdrukverloop (zelfde als eerder gemaakte opmerkingen).



## 7 Terugvalscenario's

### 7.1 Maatregelen volgens CHP

In memo [1144] en memo [8419] worden de volgende maatregelen vermeld:

- **Infiltratiesleuf buiten damwand**  
Een infiltratiesleuf wordt door CHP vermeld als maatregel om freatische verlagingen tegen te gaan. Echter het mitigerend effect daarvan is maar heel lokaal. Inzijing uit de sleuf in fijn zand gaat moeizaam. De effecten reiken verder van de damwand dan een infiltratiesleuf kan bereiken doordat freatische verlagingen voortkomen uit stijghoogteverlagingen in het watervoerende pakket die tot grote afstand reiken.
- **Monitoring**  
Monitoring is volgens CHP nodig om de werkelijk optredende effecten vast te stellen. Je kan dat moeilijk een maatregel noemen. Het is alleen signalering. Men wil eigenlijk gewoon aan de slag gaan en nagaan wat er gebeurt om als de verlagingen onwenselijk groot zijn dan terugvalscenario's te gaan implementeren. Maar dat is vreemd want er is nu al duidelijk dat de verlagingen onwenselijk worden, zelfs bij de volgens CHP verwachte geohydrologische parameterset.  
CHP stelt voor om de bouwputten en bemaling te installeren en dan na te gaan wat de effecten zijn. Op dat moment kan men eigenlijk niet meer de damwanden aan gaan passen, mocht dat nodig zijn.  
Uit de beschrijving van CHP voor aanpassing van de bouwmethode naar aanleiding van peilbuismetingen blijkt dat de bemaling en inzet van retourbemaling naar bevindt van zaken moet worden aangepast onder verantwoordelijkheid van de in te schakelen bemalingsaannemer. Zonder duidelijk terugvalplan en alarmwaarden geeft zo'n voorgestelde aanpak weinig vertrouwen.
- **Dikkere gewapende werkvloer**  
Het inzetten van een vermelde terugvalmaatregel met een dikkere gewapende werkvloer met meer ankers is een ingrijpende constructieve kwestie die terdege moet zijn voorbereid. Achter de hand houden met eventuele inzet van deze maatregel zal tot grote vertraging te leiden.
- **Retourbemaling**  
Door CHP is voorzien dat buiten de bouwkuipen infiltratiesleuven en retourfilters worden toegepast. Door CHP geschatte retourcapaciteit is 1,5 m<sup>3</sup>/u maar ook dit wordt proefondervindelijk uitgevoerd.  
De vraag is of men voldoende retourcapaciteit van retourbemaling kan realiseren om het grootste deel van het onttrekkingsdebiet terug te brengen in de bodem. CHP verwacht zelf beperkte toepasbaarheid en naar onze mening is dat correct. Er is sprake van zeer fijnzandige grondslag. Wij schatten grofweg een maximale capaciteit van pompputten van 80 m<sup>3</sup>/d en van infiltratieputten van 20 tot 30 m<sup>3</sup>/d. Dat is in lijn met de schatting van CHP. Stel dat een uitvoering met bouwputbemaling plaatsvindt van gemiddeld 500 tot 1000 m<sup>3</sup>/d en 6 bouwputten tegelijk gaande zijn dan is te voorzien dat veel meer dan honderd retourfilters nodig zijn als men integraal wil retouren. Deels retouren is mogelijk maar ook dan zal een zeer intensief retourbemalingssysteem in stedelijk gebied nodig zijn met leidingen en putonderhoud die tot overlast leiden voor stedelijke infrastructuur.
- **Suppleren van bodemvocht in het Sterrebos.**  
Suppleren kan alleen door middel van een zeer dicht net van bewatering. Ondiepe infiltratiebronnen (in de holocene laag) hebben onvoldoende capaciteit om aan de kwetsbare natuur vocht te leveren.

## 7.2 Risico's die niet duidelijk belicht zijn door CHP

In de volgende tabel zijn risico's vermeld die naar onze mening niet afdoende zijn geadresseerd in de stukken van CHP.

nr	Ongewenste gebeurtenis	Oorzaak	Gevolg	Beheersmaatregel
1	damwanden komen niet op diepte	Peelo zand zeer fijn en zwaar overgeconsolideerd	omgevingstrillingen	voorboren
2	damwanden komen niet op diepte	Peelo zand zeer fijn en zwaar overgeconsolideerd	waterbezwaar groter dan verwacht, omgevingseffecten vallen tegen	voorboren
3	damwanden lopen uit het slot	grind, stenen en blokken in keileem	lekkage van damwanden, groter waterbezwaar, tegenvallende omgevingseffecten	voorboren
4	verweking van bouwputbodem	ontoereikende bronbemaling in kleiige lagen	vertraging	bijplaatsen van bemaling
5	verweking van bouwputbodem	uitval van bronbemaling waarna drainbemaling waterbezwaar niet aan kan	vertraging	alarmering op bemaling, aanbrengen van deelsystemen
6	welvorming binnenin bouwput	heterogeniteit van ondergrond met goed doorlatende delen in fijn zand of potklei, scheefgestelde kleilagen	groter waterbezwaar, verweking van de bouwputbodem	visuele inspectie tijdens uitvoering, alarmering op grondwatermonitoring
7	grote verlaagde grondwaterstanden in de omgeving, overschrijding van vergunde onttrekkingen	afwijkingen tov ontwerpmodel, onvoldoende grondonderzoek, foutieve interpretatie, toestroming van grondwater ernstiger dan voorzien tgv grotere doorlatendheid en heterogeniteit fijn zand of potklei	zettingen van funderingen op staal, droogteschade bij groenvoorziening, ongunstige publiciteit, vertraging	grondonderzoek, verbeteren van ontwerpmodel, monitoring van grondwaterstanden, overschakelen op andere oplossing (retourbemaling, onderwaterbeton)
8	grote verlaagde grondwaterstanden in de omgeving, overschrijding van vergunde onttrekkingen	damwanden kwelscherm te kort bij optredende afwijkende bodemopbouw die niet voldoende is onderzocht	zettingen van funderingen op staal, droogteschade bij groenvoorziening, ongunstige publiciteit, vertraging	overschakelen op andere oplossing (retourbemaling, onderwaterbeton)



nr	Ongewenste gebeurtenis	Oorzaak	Gevolg	Beheersmaatregel
9	grote verlaagde grondwaterstanden in de omgeving	retourbemaling niet voldoende capaciteit door fijnzandige ondergrond	zettingen van funderingen op staal, droogteschade bij groenvoorziening, ongunstige publiciteit, vertraging	grondonderzoek, verbeteren van ontwerpmodel, monitoring van grondwaterstanden, overschakelen op andere oplossing (onderwaterbeton)
10	trillingsschade bij bebouwing	heien of intrillen van funderingselementen in zeer fijn en zwaar overgeconsolideerd Peelo zand	schadeclaims en ongunstige publiciteit	boren ipv trillen of voorboren
11	schade bij belendingen door grondvervorming naast het werk	grondvervorming door uittrillen van damwand	schadeclaims en ongunstige publiciteit	achterlaten van damwanden
12	lekkage in de bouwput door opbarsten van de bodem	opbarsten van de bouwputbodem door wateroverdruk onder kleilagen PE-2 in de bouwput	wateroverlast in de bouwput en noodzaak tot bijplaatsen bemaling met grotere effecten in omgeving	per compartiment kleivoorkomen bepalen en oplossing en bemaling afstemmen
13	vorming van de damwand	sterke grondwaterstroming aan de teen van de damwand	maatafwijkingen in de bouwput, schade aan funderingselementen, vertraging, schade aan belendingen	ontwerp afstemmen op worst case waterdrukverloop langs de damwanden
14	grondvervorming en in de bouwput	heind inbrengen van trekelementen (GEWI-palen) in de ontgraven bouwput	maatafwijkingen in de bouwput, vertraging, schade aan belendingen	borend inbrengen van trekelementen (GEWI-palen) in de ontgraven bouwput of liever vooraf aan ontgraving
15	zetting van belendingen	grondwaterstandverlaging leiden tot zetting van kleilagen waarop panden op staal zijn gefundeerd	schadeclaims en ongunstige publiciteit	beperking van verlaging door vermindering van bemaling, afdichting van de bouwkuip of aanbrengen van voldoende retourbemaling
16	Verspreiding van mogelijke restverontreiniging bij Aagrunol	langdurige grondwaterverlagingen en stroming	schadeclaim van beherende organisatie (gemeente, provincie)	beperking van verlaging door vermindering van bemaling, afdichting van de bouwkuip of aanbrengen van

nr	Ongewenste gebeurtenis	Oorzaak	Gevolg	Beheersmaatregel
				voldoende retourbemaling
17	langdurige verkeershinder	vertraging van werkzaamheden door optredende ongewenste gebeurtenissen met grote effecten buiten de bouwkuipen	schadeclaims en ongunstige publiciteit	risicobeheersing
18	grondvervorming en in de bouwput	borend inbrengen van trekelementen (GEWI-palen) in de ontgraven bouwput	maatafwijkingen in de bouwput, vertraging, schade aan belendingen	borend inbrengen van trekelementen (GEWI-palen) vooraf aan ontgraving
19	verzakkingen in de bouwput	heterogene grondslag in Peelo zanden met lokale kleilagen	vertraging	grondverbetering aanbrengen
20	levensduur van damwand minder dan voorzien	corrosietoeslag niet meegenomen	eerdere vervanging nodig, hoge kosten	corrosietoeslag vergroten, ondergrondcondities in ontwerp meenemen, corrosiebescherming
21	vervorming van de damwand	momentenverdeling anders dan voorzien door afwijkende grondopbouw en overgeconsolideerde lagen	maatafwijkingen in de bouwput, schade aan funderingselement en, vertraging	verbetering van ontwerp, bijplaatsen van ankers of stempels
22	vervorming van de damwand	stempeling of verankering niet toereikend, onvoldoende veiligheid in ontwerp bij tegenvallende omstandigheden	maatafwijkingen in de bouwput, schade aan funderingselement en, vertraging	verbetering van ontwerp, bijplaatsen van ankers of stempels
23	verdroging van particuliere tuinen of groenvoorziening in de stad	sterk verlaagde grondwaterstand door grote verlagingen rond de bouwputten en grotere lokale doorlatendheid van keileem	schadeclaims, slechte publiciteit	suppletie van water, retourbemaling, beperking van verlaging door vermindering van bemaling, afdichting van de bouwkuip

De vermelde lijst met risico's volgt uit voorliggende second opinion door Deltares. De risico's zijn door Deltares alleen geïnventariseerd en niet op ernst beoordeeld. Naar aanleiding van de reeds verzamelde risicolijsten en nog uit te voeren risicosessies met RWS, ARZ en CHP moet de risicolijst worden geactualiseerd.



Door CHP dienen tegenmaatregelen te worden benoemd met actieplan en signaleringswaarden.

### 7.3 Antwoord op gestelde vragen omtrent beheersmaatregelen

De vraag is door RWS gesteld wat in de gegeven situatie (dicht stedelijk gebied Groningen, veel objecten en belangen in de omgeving) adequate en realistische beheersmaatregelen zijn. Een overzicht van beheersmaatregelen is in de risicotabel in voorgaande paragraaf opgenomen. De volgende richtingen van maatregelen worden door ons genoemd:

- 1 Grondonderzoek uitbreiden:
  - Meting van verticale doorlatendheid in aanvullende pompproeven met diepere peilbuizen.
  - Herziening van ontwerp.
- 2 Introduceren van een werkbare oplossing per compartiment
  - Proefdambwandkuipen proefbemalen met monitoring van stijghoogten, debiet en verlagingen in de omgeving.
  - Diepere damwanden realiseren.
  - CementBentoniet-wand met ingehangen damwand, soilmixwand met ingehangen damwand of diepwand.
  - Onderwaterbeton (NB keuze voor ondiepe damwanden is dan niet verstandig);
  - Toepassen van retourbemaling.

Toepassing van een Injectielaag als onderafdichting wordt door Deltares niet als haalbaar beoordeeld vanwege problemen met injectie in een zeer fijnzandige en heterogene bodemlaag.

### 7.4 Ervaringen uit de praktijk met ondergronds bouwen in Groningen

Tijdens projectoverleg op 30 januari 2019 zijn door een ervaren adviseur van Fugro Groningen (Onno Dijkstra) ervaringen van Fugro met bouwputten in Groningen naar voren gebracht:

- De samenstelling van de keileem is zeer divers en kan over korte afstanden aanzienlijk verschillen (stenen, grind in klei en leem).
- Fijn (Peelo) zand dat enorm bleef lopen (door ontspanning van de ondergrond) in ontgravingen of sleuven voor CB-wanden waardoor CB-wanden meer lekten dan verwacht (Westerhaven). Laatste leidde tot grote stijghoogteverlaging buiten de bouwput en noodzaak tot inzet van retourbemaling.
- Lekken in potklei met grote stijghoogteverlaging buiten de bouwput en noodzaak tot aanvullende injectie (Westerhaven).
- Bij ontgraving of boren sterk teruglopende conuswaarden door flinke ontspanning wat het draagvermogen van palen en wanden sterk heeft beïnvloed.
- Onverwacht voorkomen van scheefgestelde kleilagen (Gasunie bouwput).
- Plaatselijk slechte draagkracht van klei of nat fijn leem en zand.
- Welvorming met uitspoeling van fijn zand.

Het is belangrijk om de ervaringen van Fugro en anderen te verzamelen en te delen met CHP.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Algemene opmerking

Deltares en TNO zijn door Rijkswaterstaat (RWS) gevraagd om een second opinion te verstrekken met betrekking tot de geologische en geohydrologische aspecten van het ontwerp van de verdiepte ligging in de Ring Groningen Zuid en daarmee verband houdende constructieve/geotechnische aspecten. Daartoe is een groot aantal documenten van opdrachtnemer Combinatie Herepoort (CHP) doorgenomen. Het feit dat sprake is van een groot aantal memo's die soms kort zijn gerapporteerd, over een wijzigend ontwerp, is ongewenst met het oog op een aanstaande uitvoering in een gebied met veel complexe omgevingsbelangen. Deze situatie maakte het lastig om binnen korte tijd een volledig beeld op de doorgevoerde aanpassingen en ontwerpberoevingen te krijgen en een goed afgewogen oordeel te geven.

### 8.2 Geologisch profiel

Door experts van TNO is een geologisch profiel opgezet met data van CHP omdat dit een grotere datadichtheid bevat dan bestaande databanken van DINOloket. Er wordt opgemerkt dat sonderingen van CHP ondiep zijn, waarvan er niet veel beneden NAP - 20 m in de Peelo Formatie reiken. Enkele diepe boringen uit DINOloket zijn toegevoegd om meer informatie aan het profiel toe te voegen over diepere lagen.

De geologische interpretatie van TNO is conform naamgeving in regionaal onderscheiden lagen opgebouwd. Het vervaardigde profiel is geprojecteerd op de wegas en opgenomen in bijlage.

#### *Beschrijving profiel:*

De bovenzijde van de keileem is grof en bevat grind. In keileem komen ook stenen en blokken voor. De onderzijde van de keileem (Drenthe Gieten Formatie) ligt zeer vlak.

De lacustriene smeltwaterafzetting met fijn zand uit de Peelo Formatie is door TNO ingedeeld in 5 lagen. De diepteligging van de kleiige laag PE-2 varieert met enkele meters.

OK laag [m NAP]	Naam	Beschrijving
-4 à -6	DRGI	Keileem (klei, leem, zand), grof aan bovenzijde (grind, stenen, blokken)
-10 à -14	PE-1	matig fijn/grof zand, met een grove top, afzetting naar oosten vergroevend
-10 à -16	PE-2	kleiige fijnzandige laag
-28 à -40	PE-3	dikke laag matig fijn zand met kleiige bijmenging met name in westen
-29 à -41	PE-4	kleiige laag (potklei), 0,5 tot 1 m dik, dieper naar oosten. Deze laag is waarschijnlijk discontinu (gaten) maar waar aanwezig zeer dicht.
-62 à -68	PE-5	grofzandige laag van circa 26 tot 30 m dik, misschien Urk afzetting.

De Appelscha Formatie begint op NAP -60m en is een grofzandige en grindige laag.

PE-4 en Appelscha Formatie liggen hellend in oostelijke richting, waar juist nabij Europaplein een overgang is naar een diep Peelo geulsysteem waarin meer dikke kleilagen voorkomen.



**Bijzonderheden:**

In sonderingen in de Peelo zanden zijn niet veel scherpe teruggangen in conusweerstand gemeten. De afzettingen zijn daarom niet sterk gelaagd<sup>1</sup>. De sonderingen laten onderling wel sterke verschillen zien. Daaruit wordt geconcludeerd dat de variatie in Peelo zanden over korte afstanden wijst op zeer grote heterogeniteit. Deze waarneming (ultra fijn tot grof zand, zeer scheef staande kleilagen) blijkt overeen te komen met ervaringen van een geraadpleegde adviseur van Fugro Groningen (Onno Dijkstra). Deze grote variabiliteit op korte afstand geldt ook voor de potklei. Discontinuïteiten zijn in de potkleilaag PE-4 zeker te verwachten.

**8.3 Bevindingen second opinion geohydrologische aspecten****Doorlatendheid:**

In het voorbereidend onderzoek van CHP zijn 33 boringen gezet (met puls en sonic boormethode) met zeer veel monsternamen. Bij de bepalingen van doorlatendheden zijn de korrelverdelingen voor een belangrijk deel op mengmonsters gemaakt. Keuze van CHP voor de Methode Grontmij voor uitwerking van doorlatendheid uit de korrelverdeling is goed. De doorlatendheid komt overeen met bepaling in het lab met constant head test. De gemiddelde doorlatendheid is circa 0,2 à 0,3 m/d (met 50% kans dat het meer dan gemiddeld is en 26% kans dat de doorlatendheid meer is dan 1 m/d) maar maximale waarden komen op 18 m/d. Vooral bij de oostelijke diepe bouwputten is er meer kans op grotere doorlatendheid. In de lagen PE-1 en PE-3 komen lokale waaiers voor met grover materiaal.

De kleiige bijmenging in de Peelo afzettingen komt vooral in het westelijk deel voor. De PE-2 is een kleiiger laag die boven NAP – 14 à -18 m voorkomt en niet continu is.

**Pompproeven:**

Uit de pompproeven van CHP is het horizontale doorlaatvermogen goed te herleiden. Volgens controle door Deltares komt de waarde aan de bovengrens van wat CHP heeft afgeleid. Waarschijnlijk speelt het doorlaatvermogen beneden de bouwputbodembodem nog een belangrijke rol, maar dat dat aandeel is onduidelijk omdat er geen diepere peilbuizen zijn geplaatst. De pompproeven geven hierdoor geen goede representatie van het te verwachten gedrag bij uitvoering bouwkuip. De gemeten grondwaterverlagingen op enige afstand zijn redelijk groot (>2 m op 100 m), hetgeen wil zeggen dat de spreidingslengte groot is.

De hydraulische verticale weerstand van de keileem is groot aan de westkant van het tracé van de VDL (maar niet exact af te leiden). De weerstand aan de oostzijde is zo gering dat de freatische grondwaterverlaging circa een kwart bedraagt van de stijghoogteverlaging in het watervoerende pakket. De door CHP aangehouden proefopzet met waarnemingsfilters in de Peelo zanden op 1 hoogte is niet correct omdat dan de verticale onderliggende weerstand (van de potklei) of de verticale doorlatendheid van het fijne Peelo zand niet te herleiden is.

Om een beter beeld te krijgen van de geohydrologische eigenschappen is herhaling van de pompproeven met extra diepe waarnemingsfilters nodig.

Het effect van damwand in de 2<sup>e</sup> pompproef is niet duidelijk (omdat de veronderstelde verticale waterremming maar op 1 meting is terug te voeren en voeding vanuit het kanaal vlakbij kan een rol hebben gespeeld).

De 2 pompproeven zijn in aantal te weinig om een representatief beeld te geven voor alle bouwkuipen in het gehele tracé omdat de Peelo zanden heterogeen van samenstelling zijn. Daar komt bij dat de pompproeven niet op de juiste wijze zijn uitgevoerd als CHP daaruit de verticale doorlatendheid van de Peelo zanden wilde afleiden.

<sup>1</sup> Dit is in tegenstelling tot wat CHP opmerkt in hun rapport *Geohydrologie en kwelschermen [8419]* waarin zij stellen in par. 7.1: "Voor de bepaling van waterbezwaar en hydrologisch invloed is de verticale doorlatendheid van de bovenste 10 à 20 meter van het watervoerende pakket maatgevend. Met kwelschermen willen we gebruik maken van de gelaagdheid van het pakket om daarmee de invloed op de omgeving en het waterbezwaar te be(pe)rken."



**Model:**

In de bemalingsadviezen van CHP zijn verwachtingswaarden voor geohydrologische parameters toegepast naar aanleiding van archiefdata, beproeving van monsters uit boringen en pompproeven, waarna variatieberekeningen zijn uitgevoerd.

Door CHP is geen calibratie van het toegepaste grondwatermodel op peilbuismetingen in de omgeving uitgevoerd. Vanwege vermelde onzekerheden over weerstanden uit pompproeven zijn de onzekerheden in de modellering groot. Uit de aangegeven schematisering in bijlage 5 van CHP rapport Geohydrologie en kwelschermen [8419] zien wij slechts 3 watervoerende lagen waarvan 2 voor de Peelo zanden. Diepere lagen lijken daarin niet meegenomen te zijn en mogelijke gaten in de potklei zijn dan niet beschouwd. Modelschematisaties van CHP in de variatieberekeningen voor keuze van damwanddiepte zijn waarschijnlijk beperkt gebleven tot onderkant Peelo Formatie terwijl daaronder nog zeer doorlatende lagen voorkomen.

Toepassing van de verwachtingswaarde van 50 dagen voor de weerstand onderin de bouwkuipen is niet onderbouwd en ook niet terug te voeren op metingen uit de pompproeven. Die aangehouden weerstand is aan de grote kant omdat beneden onderkant bemalingsputten tot onderkant damwand slechts 2 m grondlaag resteert.

Door CHP berekende waterbezwaren van grote bouwkuipen zijn aan de lage kant, en kunnen bij aanhouden van een andere schematisatie wel tot een factor groter uitpakken dan verwacht door CHP. Voor de bemalingsadviezen van CHP zijn door hen variatie- en gevoeligheidsberekeningen gemaakt. Bij variatie naar minder gelaagd profiel (verticale doorlatendheid 1 ipv 0,2 m/d) neemt volgens analyse van CHP waterbezwaar en omvang van het invloedsgebied belangrijk toe. De varianten hebben echter alle een gelijke onzekerheid omdat de verticale weerstand niet uit de pompproeven kan worden afgeleid.

De damwand (kwelscherm) wordt volgens plan van CHP geplaatst in PE-3. De kleiiger PE-2 valt dan binnen de bouwkuipen (niet onderin de diepste bouwkuipen maar juist iets ondieper). Opbarstgevaar, verweking van de bouwputbodemp en tegenvallende werking van (spannings)bemaling zijn hierbij risico's waar terdege rekening mee moet worden gehouden. Het gevaar bestaat dat de bemaling tegenvalt en juist dieper geplaatst gaat worden waarbij de omgevingseffecten toenemen.

In de variatie- en gevoeligheidsberekeningen van CHP is steeds de situatie met waterbezwaar en omgevingseffecten voor een enkele bouwput beschouwd en niet voor meerdere bouwputten tegelijkertijd terwijl dat volgens de planning van CHP wel aan de orde zal zijn, waarbij op gegeven moment zelfs 6 of meer compartimenten tegelijk bemalen kunnen worden.

De varianten- en gevoeligheidsanalyse geeft onvoldoende onderbouwing en zekerheid om daarop een keuze voor ondiepere plaatsing van kwelschermen bij de diepste bouwkuipen te baseren.

Bij de varianten zijn effecten tot op grote afstand (350 m) te verwachten maar de mate van zetting is niet voor alle varianten uitgewerkt. Voor panden op staalfundering bestaan zettingsrisico's, vooral nabij oostelijk deel van tracé (Oosterpoortbuurt). Het is vreemd dat in het bemalingsadvies zettingen met Terzaghi zijn uitgewerkt terwijl abc-parameters uit labproeven beschikbaar zijn.

Mogelijk effect op de Aagrunol restverontreiniging in bodem en grondwater is onvoldoende beschouwd met het oog op risico van verplaatsen van de verontreiniging door de bemaling.

Mitigerende (beheers)maatregelen zijn vermeld maar te beperkt en niet uitgewerkt en derhalve zijn deze uitvoeringsrisico's onvoldoende in beeld gebracht. Het advies van Deltares is dat CHP ook voor worst-case-situaties de risico's voor de omgeving en bijbehorende beheersmaatregelen uitwerkt.



#### 8.4 Constructief ontwerp damwanden

De variatie van maatgevend waterspanningsverloop langs de wand is aangegeven maar de onderbouwing van de keuze is niet helder. Slechts 1 variant met een niet aangetoonde verwachtingswaarde van CHP is doorgerekend. Effect van variatie op moment en ankerkracht is niet duidelijk gemaakt. Tegenvallers worden beschouwd als calamiteit met veiligheid 1. Omdat kansverdeling van variatie niet bekend is, is die aanpak niet acceptabel.

Damwandontwerp moet met beschouwing van  $K_0$  (effect op horizontale gronddruk) worden gedaan.

Afstemming van damwanddikte met de corrosietoeslag is niet helder verwoord in de ontwerppapieren.

Wat betreft invloed van damwanden is plaatsing, vervorming, verwijdering niet meegenomen en zijn uitvoeringsrisico's onvoldoende in beeld gebracht. Het advies van Deltares is dat CHP bij de afweging van uitvoeringsmethoden de omgevingsrisico's mede in beschouwing neemt en eventueel noodzakelijke beheersmaatregelen om omgevings schade te voorkomen uitwerkt.

##### *Maatregelen CHP:*

Voorziene (beheers)maatregelen hebben een beperkt effect (drain) of een nog onbekend effect (retourbemaling, suppletie Sterrebos). Inzet van een dikkere vloer als terugvaloptie wordt geen rekening mee gehouden en is ook niet voorbereid. Resultaat van de (beheers)maatregelen van CHP is daarmee onzeker. Volgens Deltares resteren er veel niet-afgehandelde en niet-beheerste risico's.

Het advies van Deltares is dat CHP een goed terugvalplan opstelt met meerdere scenario's, terugvalopties en (beheers)maatregelen

#### 8.5 Advies aan RWS over verdere aanpak

De bezwaren van Deltares op de ontwerpen van CHP overziende adviseert Deltares aan RWS om maatregelen te eisen van CHP die de gesignaleerde risico's beter beheersen en beperken. Deltares stelt voor dat ARZ de onderhandeling met Opdrachtnemer in gaat door CHP te vragen om 2 oplossingen te ontwikkelen: een worst case aanpak en één volgens een aanpak met proefkuipen waarbij men de haalbaarheid tijdens de uitvoering vooraf aan ontgraving vaststelt. Op het moment dat de tweede methode niet blijkt te werken moet men terugvallen op de eerste aanpak (worst case). Mogelijkheden zijn toepassing van diepere wanden (cementbentoniet met ingehangen damwand bijvoorbeeld) of aanbrengen van een bodemafdichting (onderwaterbeton). Een verbeterd ontwerp insteken op een worst case aanpak voor de volledige verdiepte ligging lijkt een te zwaar middel. Een onderscheid tussen oost en west deel op basis van de grondopbouw en invloed wordt geadviseerd. Dit moet echter blijken uit analyse door CHP.

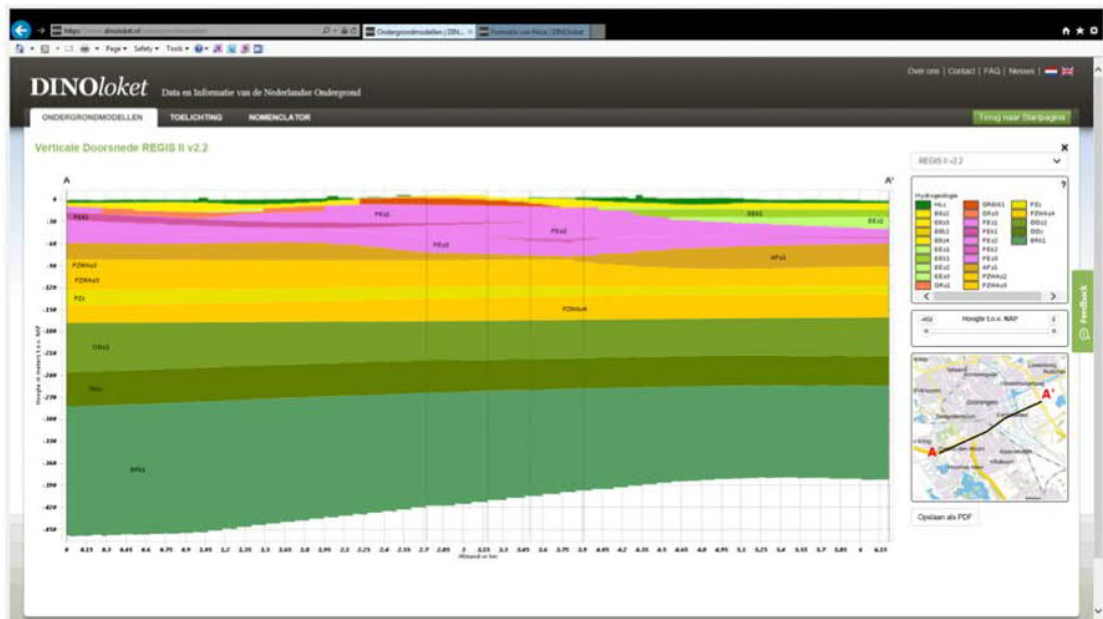
Het is noodzakelijk dat grenswaarden voor weging van omgevingseffecten helder zijn zodat grondwatermonitoring tot snelle besluitvorming kan komen voor noodzakelijke aanpassingen. Eventuele uitvoering van het oostelijk deel met retourbemaling kan alleen als er een goed onderbouwd plan ligt. Invloeden van bemaling en retour moet CHP aantonen. Wij raden aan om eventuele inzet van retourbemaling pas na gebleken geschiktheid te overwegen waarbij ter onderbouwing een retourproef nodig is.

## 9 Referentielijst

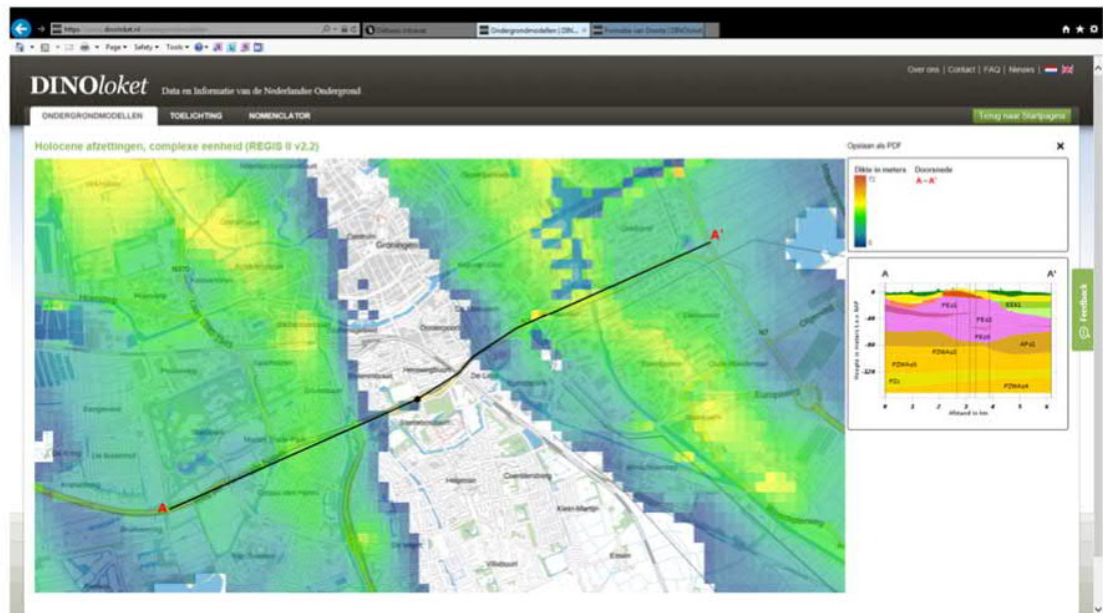
<b>Doorgenomen documenten</b>	
<b>kenmerk van ARZ</b>	<b>1) Geohydrologische documenten</b>
0075	Uitgangspunten notitie geohydrologie Verdiepte Ligging (KW19)
1144	MEMO Kwelschermen VDL, Revisie 02, 31.05.2017
2388	Geotechnisch lengteprofiel KW19 - Verdiepte ligging
7267	UO Uitgangspuntennota Geotechniek en geohydrologie
1328	Bemalingsadvies Verdiepte Ligging (KW19)
8419	Geohydrologie en kwelschermen VDL
9757	Memo bemaling werkvloer VDL
9759	Gevolgen kwelschermen VDL
0232	Pompproeven Hereweg
3683	Pompproeven H L Wicherstraat
geen	Bouwplan/schets van CHP (R. van der Hoven) aangeleverd op 17 oktober 2018
geen	Memo bemaling VDL overleg dd 25-10-2018 (d.d. 1 november 2018)
geen	Advies RWS WVL aan project ARZ mbt geohydrologie, dd 6 november 2018;
geen	Digitale gegevens van beschikbare boringen, sonderingen en peilbuizen (.GEF format).
geen	Presentatie bemaling VDL
<b>kenmerk van ARZ</b>	<b>2) Documenten met raakvlak geohydrologie (volgens kenmerk van ARZ)</b>
0676	DO-Berekeningsrapport-KW19-grondkering-rev04
6630	Ontwerpnota bouwkuip
8433	Uitgangspuntennota grondkering UO
8434	KW19 - Berekeningsrapport geotechnisch Bouwkuip
8846	Monitoringsplan Bouwkuip VDL
8845	Risicocontourenplan Bouwkuip VDL
<b>kenmerk van ARZ</b>	<b>3) Grondonderzoek</b>
1180	"Geotechnisch onderzoek (incl sonderingen/boringen, grond- en laboratoriumonderzoek) van CHP"
geen	uitgevoerde onderzoeken in OTB/MER fase (van 2015 of van eerdere datum);
<b>kenmerk van ARZ</b>	<b>4) UO-tekeningen bouwkuip (damwanden, stempels, verankering, werkvloer)</b>
diverse	Diverse bouwtekeningen



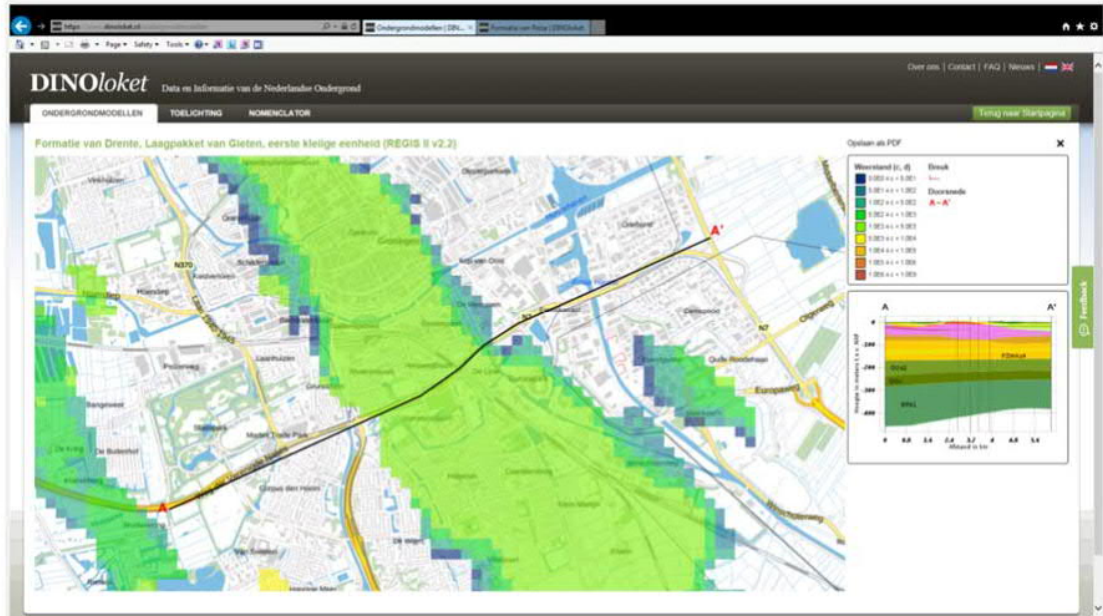
## A Informatie uit DINOloket ondergrondmodel REGIS II v2.2



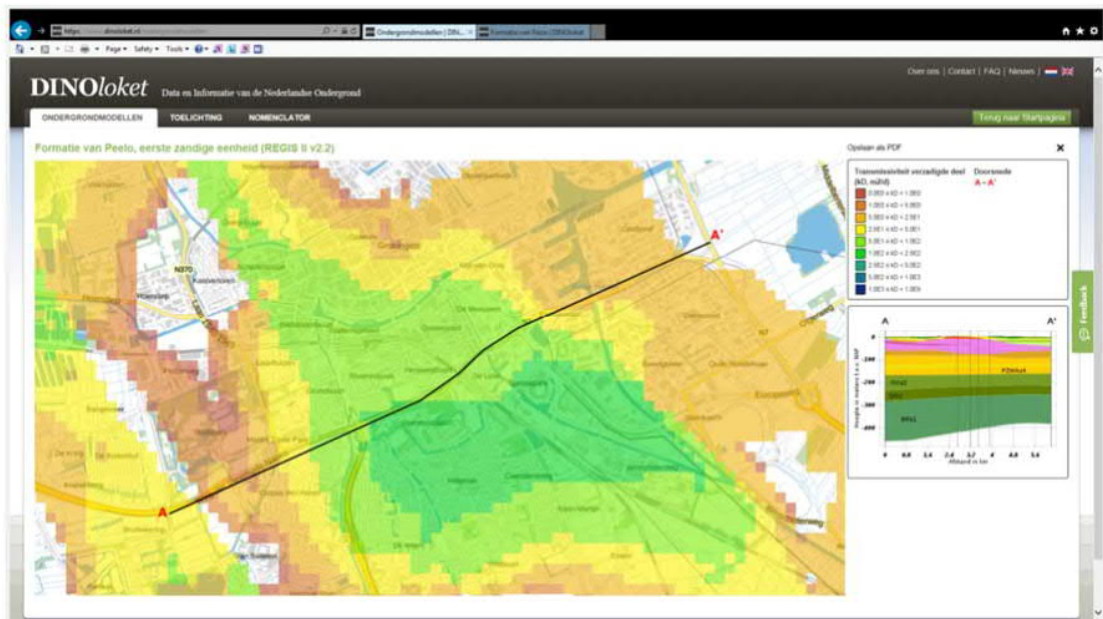
Figuur A.1. Geologisch profiel A-A' uit DINOloket volgens grondmodel REGIS over de A7



Figuur A.2. Voorkomen en laagdikte van holocene afzettingen

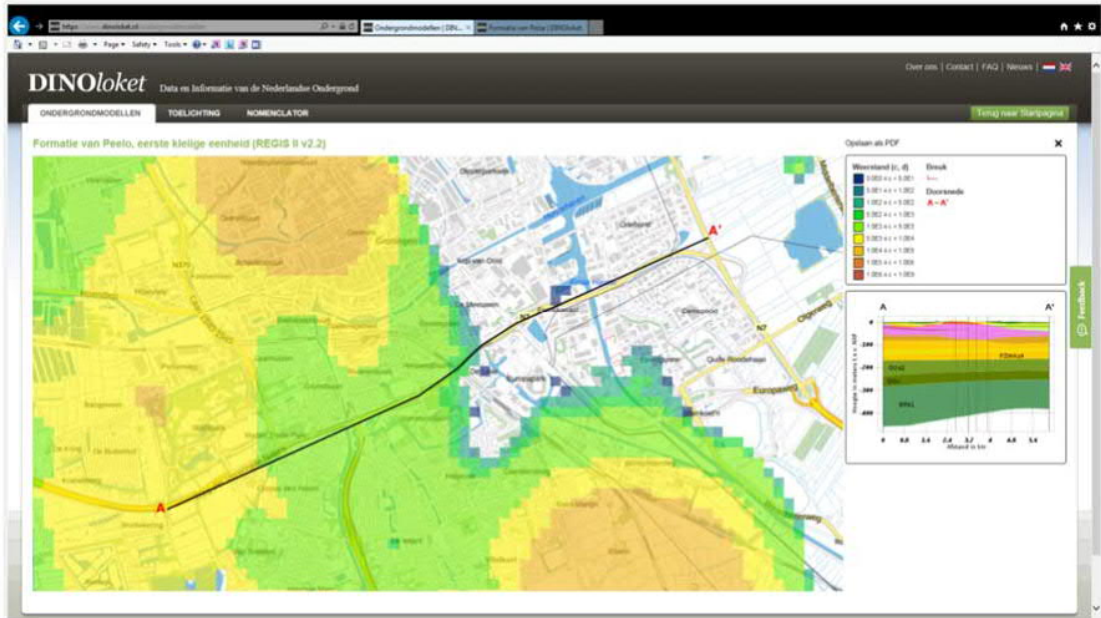


Figuur A.3. Voorkomen en verticale hydraulische weerstand van de keileem (Drenthe Formatie)

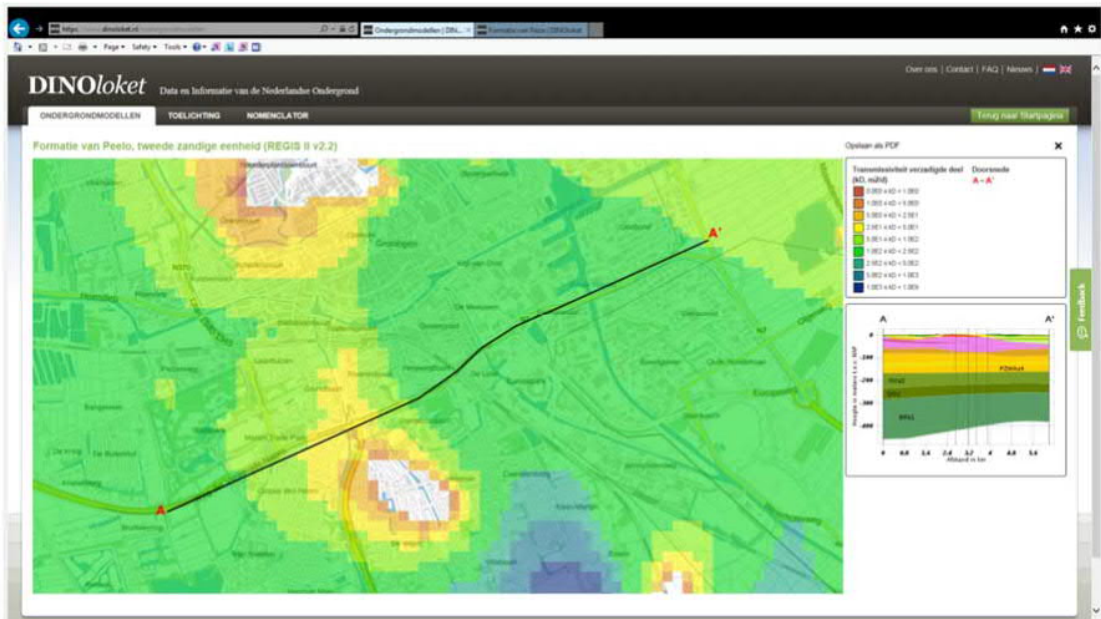


Figuur A.4. Voorkomen eerste zandige eenheid Peelo Formatie met doorlaatvermogen

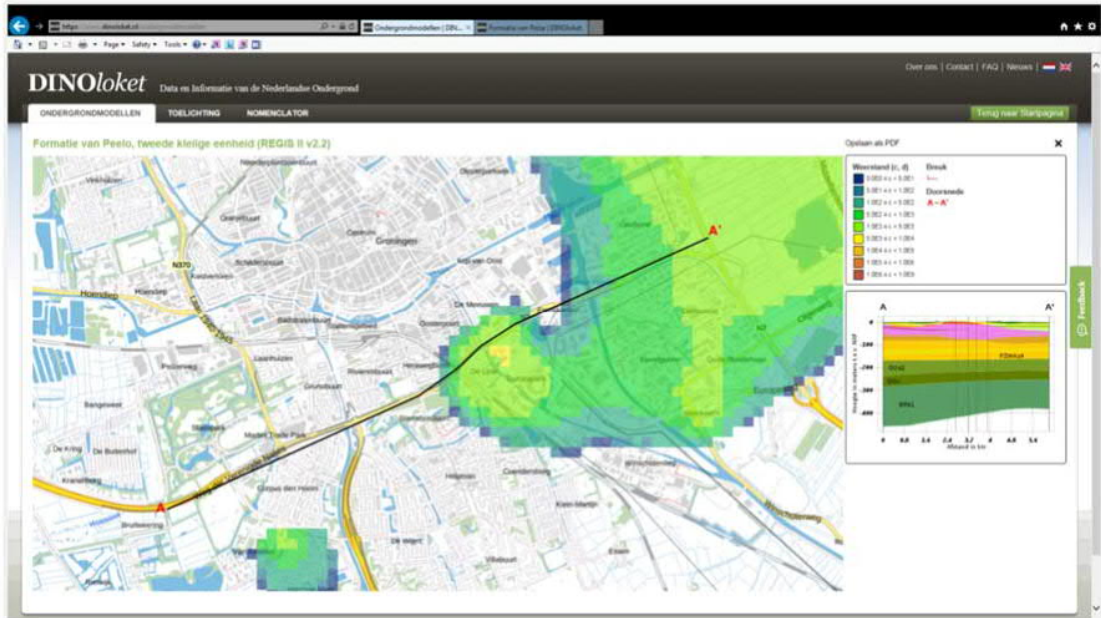




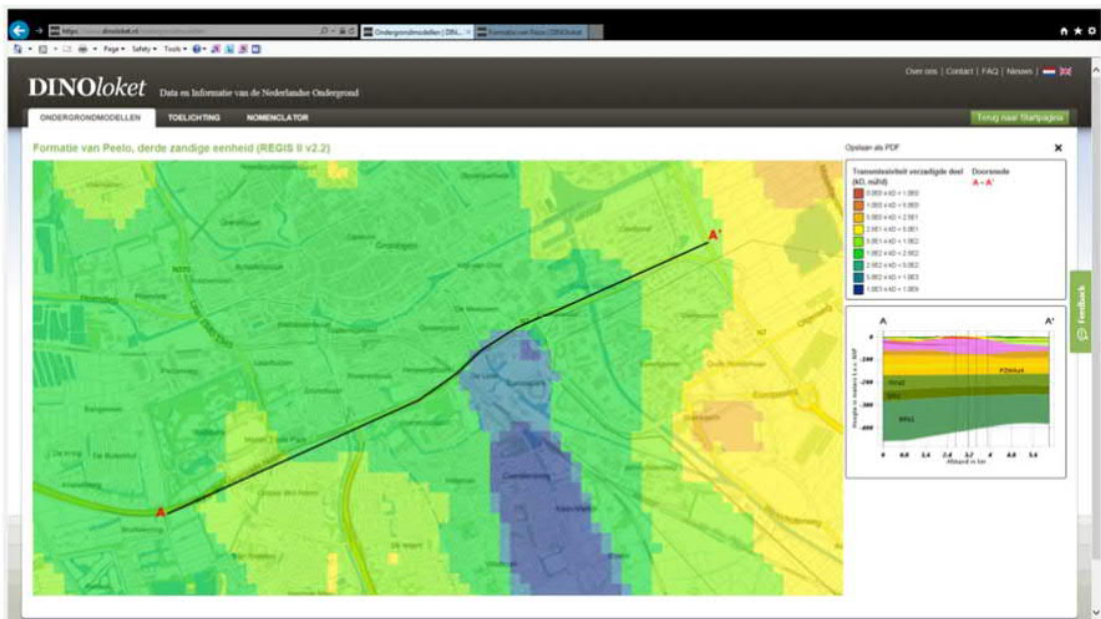
Figuur A.5. Voorkomen eerste kleiige eenheid Peelo Formatie met verticale hydraulische weerstand



Figuur A.6. Voorkomen tweede zandige eenheid Peelo Formatie met doorlaatvermogen

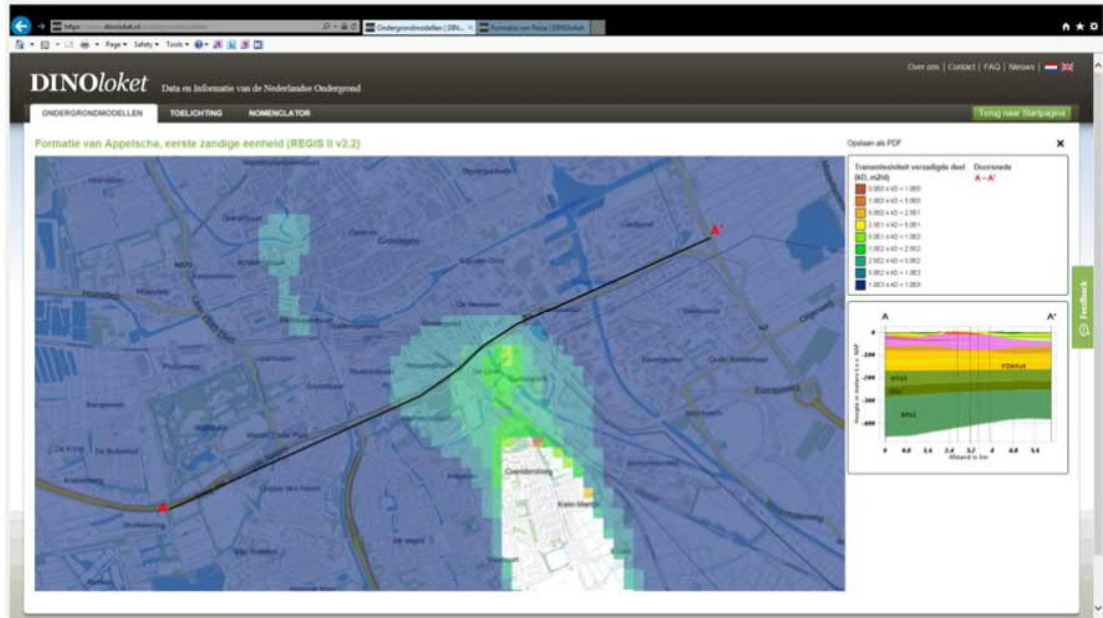


Figuur A.7. Voorkomen tweede kleiige eenheid Peelo Formatie met verticale hydraulische weerstand

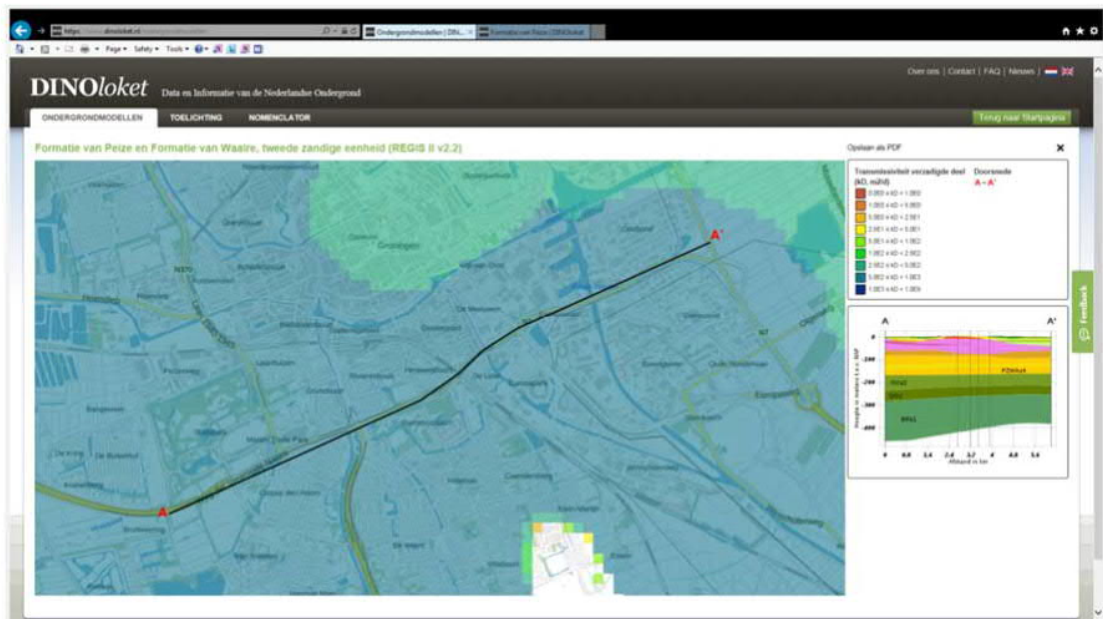


Figuur A.8. Voorkomen derde zandige eenheid Peelo Formatie met doorlaatvermogen

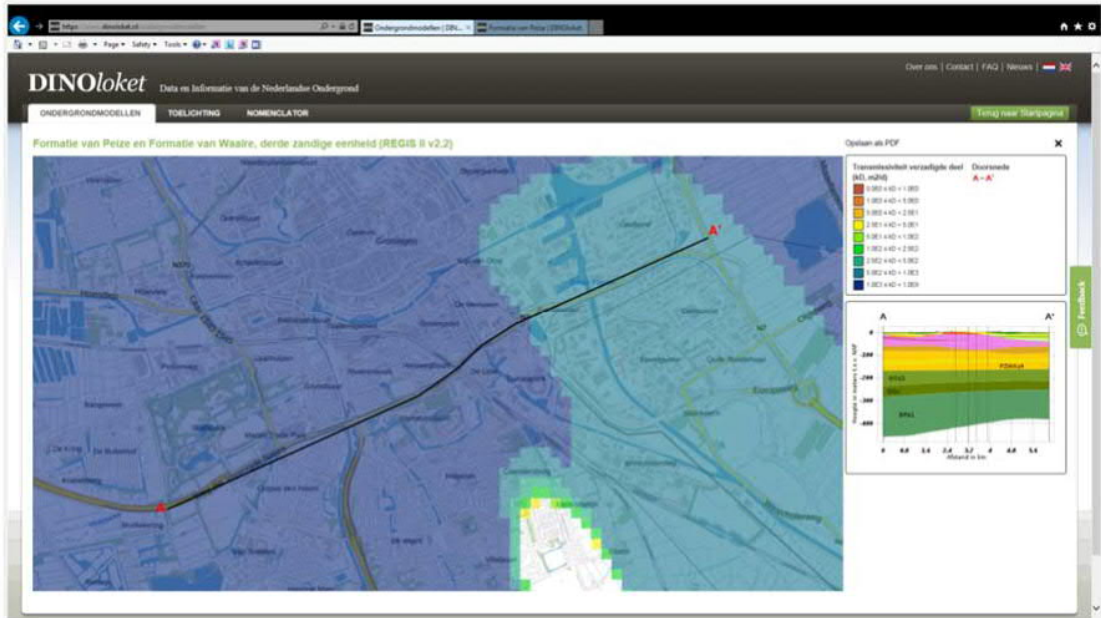




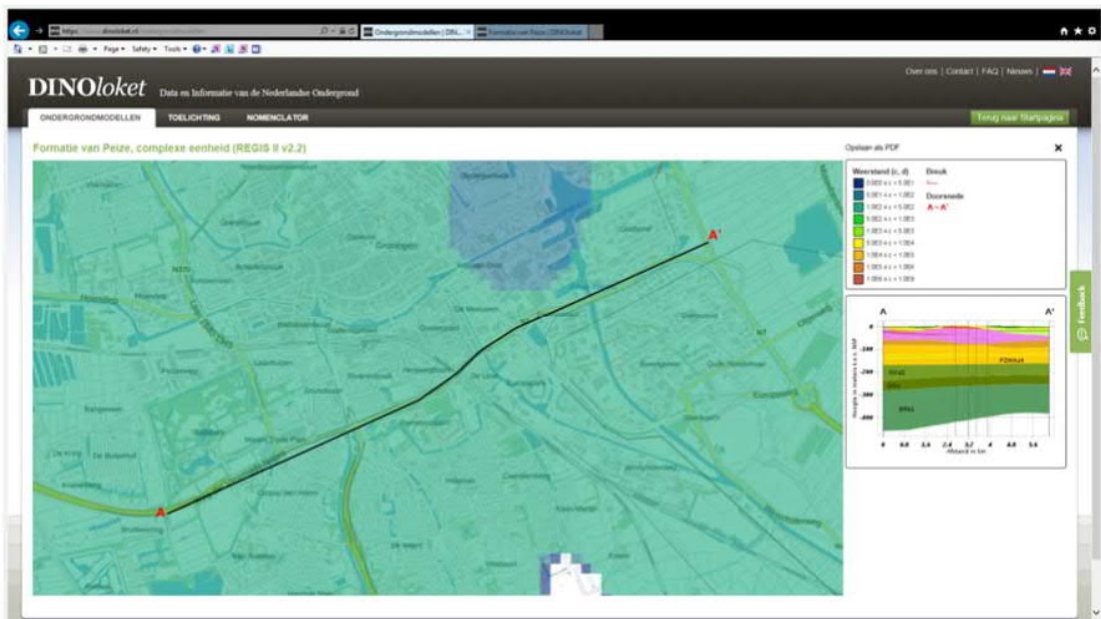
Figuur A.9. Voorkomen eerste zandige eenheid Appelscha Formatie met doorlaatvermogen



Figuur A.10. Voorkomen tweede zandige eenheid Peize Waalre Formatie met doorlaatvermogen



Figuur A.11. Voorkomen derde zandige eenheid Peize Waalre Formatie met doorlaatvermogen



Figuur A.12. Voorkomen complexe eenheid Peize Formatie met verticale hydraulische weerstand



## B Berekening van doorlatendheid uit de korrelverdeling

### Methoden voor bepaling van de zanddoorlatendheid uit een korrelverdeling

Eén van de mogelijkheden voor de bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt is om een schatting te maken op basis van de korrelverdeling van een (niet-cohesief) grondmonster. De doorlatendheid  $k$  van zand wordt veelal berekend volgens formules die volgen uit correlaties tussen laboratorium-proeven (korrelverdelingen en doorlatendheidsproeven). Bekend zijn de formules van Beyer, van Den Rooijen, van Ernst en van Grontmij. Maar er zijn meer formules bekend uit internationale literatuur (Hazen, Kozeny). Over het algemeen gelden de formules voor zanden van bepaalde afzettingen en locaties of voor een beperkt bereik.

NB: Bij gebruik van de formules moeten eenheden en coëfficiënten goed gecheckt worden!

Formule van Hazen [Poly-Technisch zakboekje, PBNA 1998]:

$$k = 0,0116 \cdot d_{10}^2$$

met:

- $k$  = waterdoorlatendheid [m/s].
- $d_{10}$  = korrelgrootte [mm] waarbij 10 gewichts % van het monster door een zeef met zekere grootte valt.

Formule van Beyer [W. Beyer, Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve, WWT, 14. Jahrgang (1964) Heft 6]. Zie eventueel ook: Grundbau Taschenbuch, Teil 1, Schmolzyk, 6e Auflage, Ernst & Sohn, 2001]:

$$k = [A/(Cu+B)+C] \cdot d_{10}^2$$

met:

- $k$  = waterdoorlatendheid [m/s].
- $d_{10}$  = korrelgrootte [cm] waarbij 10 gewichts % van het monster door een zeef met zekere grootte valt.
- $Cu$  = gelijkmatigheidscoëfficiënt =  $d_{60} / d_{10}$ .

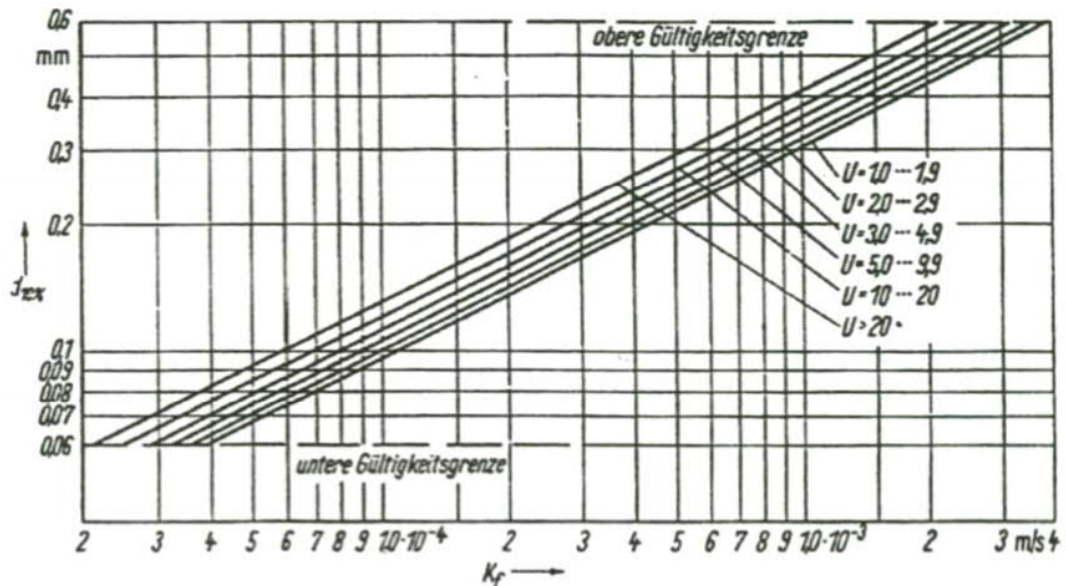
De constanten in de Formule van Beyer (die van de pakkingsdichtheid afhankelijk zijn), staan in de volgende tabel vermeld:

Pakking	Los	Matig	Vast
A	3.49	2.68	2.34
B	4.40	3.40	3.10
C	0.80	0.55	0.39

De constanten A en C komt men in de literatuur ook tegen met een honderdvoudige waarde als de  $d_{10}$  in [mm] is aangehouden.

De formule van Beyer geldt voor grof zand waarbij als grenzen voor het  $Cu$ -cijfer van de zandfractie moet gelden  $1 < Cu < 20$ .

Onderstaande grafiek geeft een goed beeld van de gevoeligheid voor  $d_{10}$  en de gelijkmatigheidscoëfficiënt  $Cu$  (in de grafiek als  $U$  vermeld).



Figuur B.1. Doorlatendheid voor matig vastgepakt zand volgens Beyer

Formule van Den Rooijen [Literatuur onderzoek doorlatendheid – korrelkarakteristieken, Grondmechanica Delft, rapport CO-326020/9, 1992]:

$$k = [c_0 - 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(Cu)] \cdot d_{10}^2$$

met:

- $k$  = waterdoorlatendheid [m/s].
- $d_{10}$  = korrelgrootte [mm] waarbij 10 gewichts-% van het monster door een zeef met zekere maaswijdte valt.
- $Cu$  = gelijkmatigheidscoëfficiënt =  $d_{60} / d_{10}$ .
- De parameter  $c_0$  is afhankelijk van de pakking:
  - Losse pakking  $c_0 = 1,50 \cdot 10^{-2}$ .
  - Middelmattige pakking  $c_0 = 1,18 \cdot 10^{-2}$ .
  - Vaste pakking  $c_0 = 1,00 \cdot 10^{-2}$ .

De formule van Den Rooijen is gebaseerd op die van Beyer en geldt dus voor grof zand waarbij als grenzen voor het  $Cu$ -cijfer van de zandfractie moet gelden  $1 < Cu < 20$ . Eventueel kan correctie plaatsvinden voor het slibgehalte volgens nomogram van Van den Akker of volgens Ernst.

Formule van Ernst (voor homogene zandgrond met minder dan 4 à 6% slib ( $d < 63 \mu m$ )):

$$k = C_{cor} \cdot C / U^2$$

met:

- $k$  = waterdoorlatendheid [m/d].
- $U$  = U-cijfer of gemiddeld specifiek (korrel)oppervlak van een grondmonster (dimensieloos).
- $C$  = constante = 54000 (voor uitdrukking van de doorlatendheid in [m/d]).



- $C_{cor}$  = correctiefactoren:  $C_{so}$  voor sortering,  $C_{cl}$  voor slibgehalte,  $C_{gr}$  voor grindgehalte (zie hieronder).

Het U-cijfer wordt als volgt berekend:

Per subfractie (het aandeel dat op iedere zeef blijft liggen) wordt het U-cijfer bepaald [Grondgedrag, feiten, normen en waarden met betrekking tot grond in de praktijk van de geotechniek, P. Lubking, Uitgave KIVI, p.70]:

$$U_f = 4,343 / (\log D_2 - \log D_1) \cdot (1/D_1 - 1/D_2)$$

Waarin:

- $D_1$  en  $D_2$  = grenzen van de subfractie (met een maximale maaswijde-verhouding  $1:\sqrt{2}$ ) in [mm]

Het U-cijfer van het totale monster is:

$$U = 1/M \cdot \sum (m \cdot U_f)$$

Met:

- $m$  = massa van een subfractie.
- $M$  = massa van het monster.

De correctiefactoren zijn vermeld in hiernavolgende figuur.

Formule van Grontmij [Cultuurtechnisch Vademecum, Deel III Water, par. 4.1.2, p.505, Vereniging voor Landinrichting, 1992]:

$$k = (M50/60)^2 \cdot 10^{-0,2L}$$

met:

- $k$  = waterdoorlatendheid [m/d].
- $M50$  = mediaan van de zandfractie [ $\mu$ m].
- $L$  = lutumgehalte in %.

De formule van Grontmij is opgesteld voor zand en zavel met maximaal 12% lutum ( $d < 2 \mu$ m).

Formule van Kozeny [[https://en.wikipedia.org/wiki/Kozeny%20%93Carman\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Kozeny%E2%80%93Carman_equation)]:

$$k = 3,7 \cdot 10^{-6} / \eta \cdot n^3 / (1-n)^2 \cdot 1/U^2$$

met:

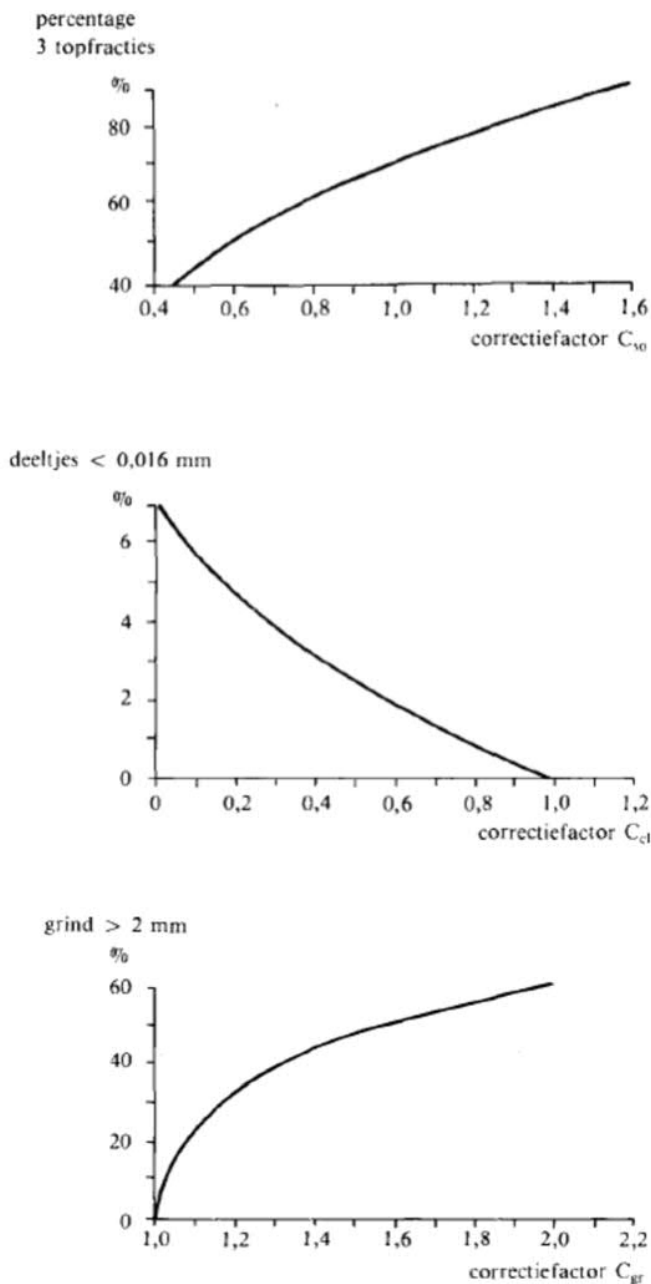
- $k$  = waterdoorlatendheid [m/s]
- $\eta$  = viscositeit (water  $\eta = 1,31 \cdot 10^{-3}$  Ns/m<sup>2</sup>)
- $n$  = (effectieve) porositeit (waarde tussen 0 en 1)
- $U$  = U-cijfer of gemiddeld specifiek (korrel)oppervlak van een grondmonster (dimensieloos)

De formule geldt voor de zandfractie (zonder slib en lutum).

NB: De formule van Kozeny wordt ook als de Formule van Hooghoudt aangeduid [Poly-Technisch zakboekje, PBNA 1998] of wordt vermeld zonder toeschrijving aan een auteur [Cultuurtechnisch Vademecum, Deel III Water, par. 4.1.2, p.505, Vereniging voor Landinrichting, 1992].

### Correctiefactoren op doorlatendheid voor de siltfractie

In geval van silthoudend zand met een fractie  $< 0,016$  mm van 4% en meer, of bij het voorkomen van een aandeel grind wordt de k-waarde die uit de zandfractie wordt afgeleid, gecorrigeerd (zie Pomper, A.B., Schatting van doorlaatafactoren (k-waarden) aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen, Stromingen 2 (1996), nr4) of onderstaande figuur uit Cultuurtechnisch vademecum, vereniging voor landinrichting, 1992).

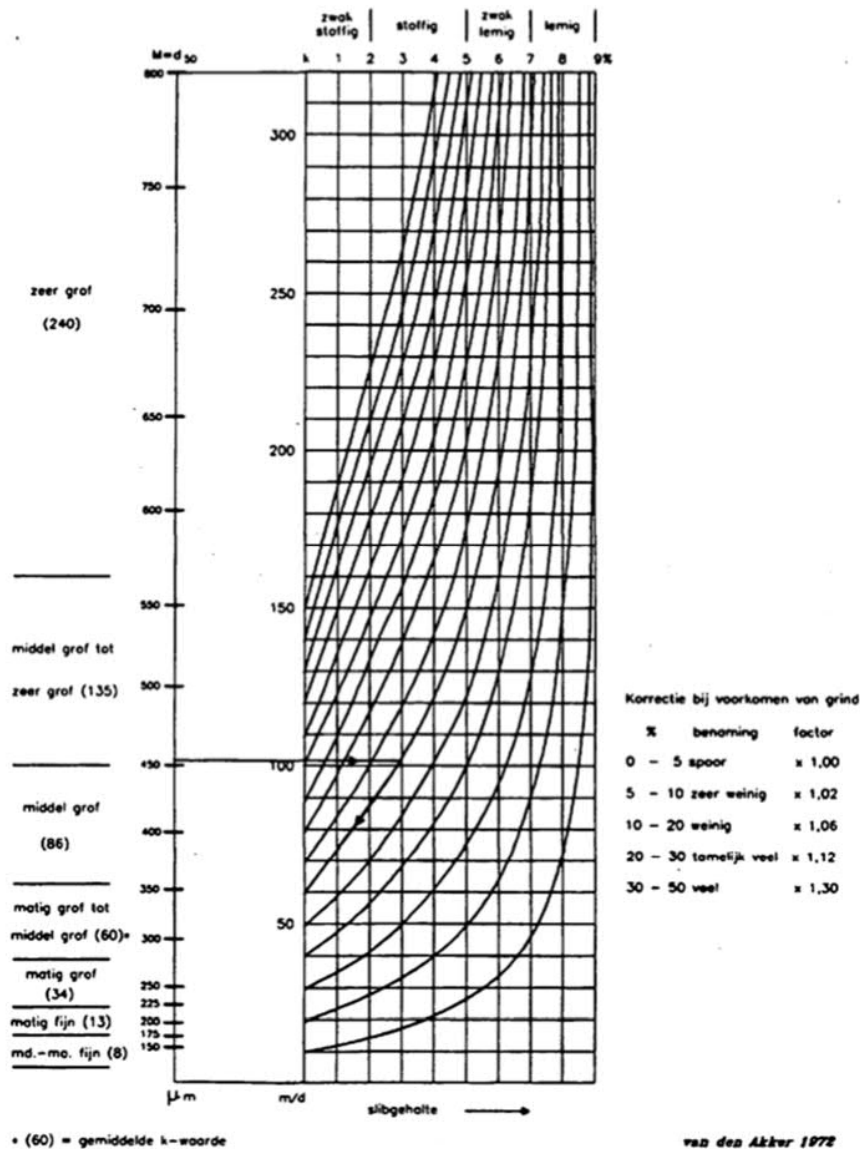


Figuur B.2 Correctiefactoren voor het schatten van de doorlaatafactor van zand uit de korrelgrootteverdeling volgens Ernst [Cultuurtechnisch vademecum]



Indien het slibgehalte groter is dan 6 à 7% is de grond nagenoeg ondoorlatend. Volgens beschrijving in het cultuurtechnisch Vademecum kan voor de correctie naar slibgehalte ook gewerkt worden volgens de methode van Van den Akker. Daarbij wordt een nomogram toegepast (figuur 15). Volgens Van den Akker wordt om de doorlatendheid te bepalen van U-cijfer of d50 gebruik gemaakt. Voor verschillende waarden van het slibgehalte (de fractie kleiner dan 0.016 mm), zijn correctiecurven voor de berekende doorlatendheid gegeven.

### Nomogram voor benadering van k-waarden



Figuur B.3. Nomogram van Van den Akker ter correctie van doorlatendheidswaarde bepaald uit de zandfractie voor een hoog slibgehalte met vermelding van correctiefactoren voor een hoog grindgehalte

## C Informatie uit regionaal model MIPWA en NHI

### Informatie uit regionaal model MIPWA

Aan de beheerder van MIPWA bij Deltares is gevraagd om de informatie weer te geven van boven- en onderkant van de bodemlagen met waarden voor doorlaatvermogen kD en verticale hydraulische weerstand c en top/bot ter plaatse van de boorpunten:

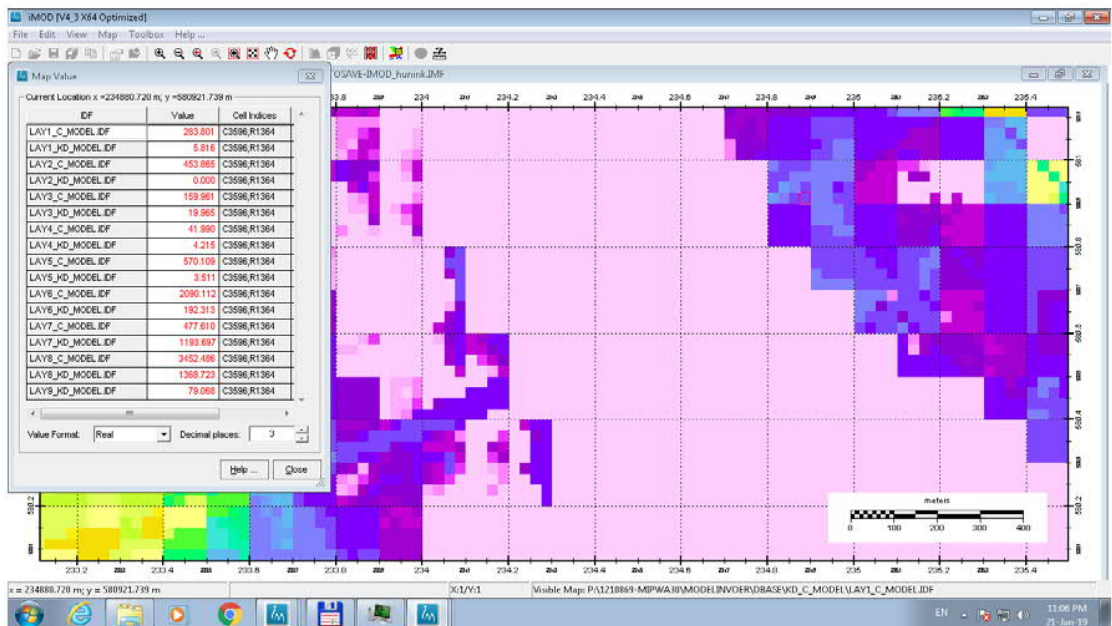
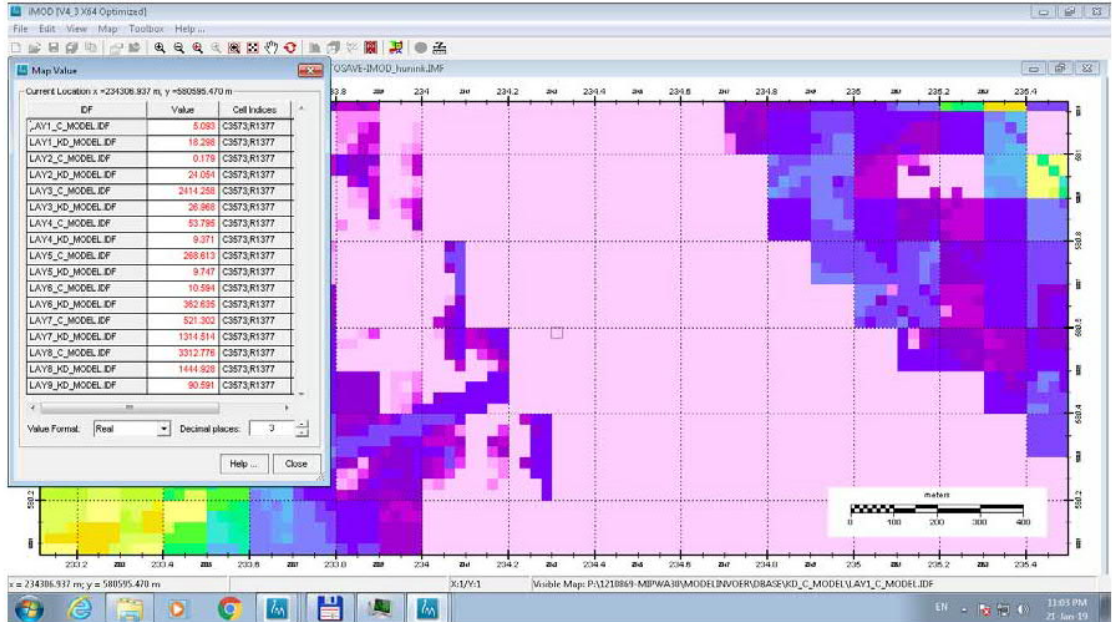
- Pompproef Hereweg B19000 X = 234306 Y = 580597.
- Pompproef Wichersstraat X = 234882 Y = 580924.

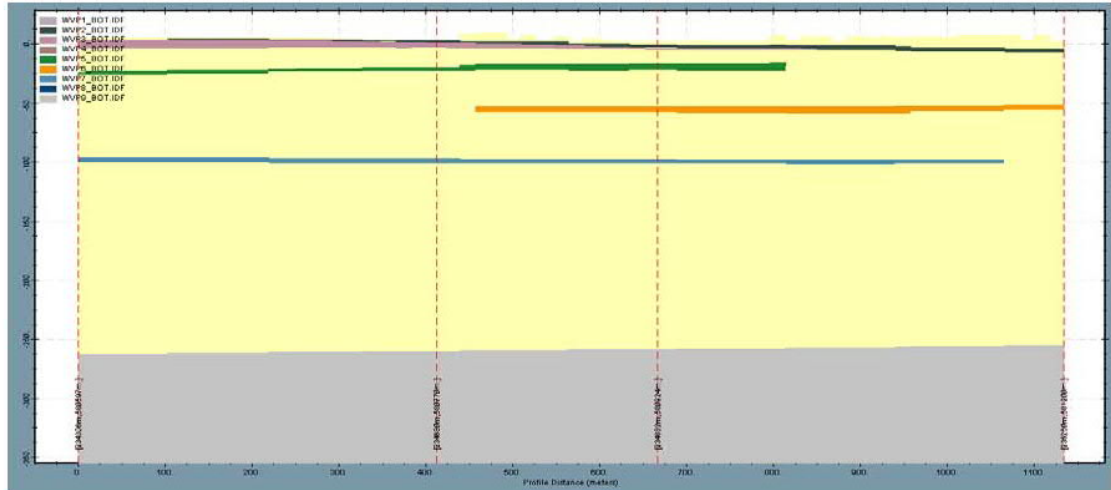
Daarnaast is een lagenprofiel gemaakt over een lijn door de volgende punten:

- Pompproef Hereweg X = 234306 Y = 580597.
- Kruising spoor X = 234680 Y = 580770.
- Pompproef Wichersstraat X = 234882 Y = 580924.
- Europaweg X = 235260 Y = 581200.

Info uit MIPWA			Hereweg		Wichersstraat		
WVP	afzetting	OK laag	c	kD	OK laag	c	kD
		MV=5,5			MV=2,4		
Wvp1	Drainagelaag+antropogeen	4,8	5	18	-0,29	284	6
Wvp2	holoceenklei+zand	3,9	0,2	24	-3,1	453	0
Wvp3	keileem+z	-4	2414	27	-3,9	160	20
Wvp4	Peelok+z	-14	54	9	-11,3	42	4
Wvp5	Pek1+Pez	-24	269	10	-22	570	4
Wvp6	Pek2+Appz	-57	11	363	-58	2090	192
Wvp7	App top+z	-96	521	1315	-101	477	1164
Wvp8	PzWa top+z	-172	3313	1445	-170	3453	1369
Wvp9	Oo complex	-260	0	91	-259	0	79







Map Value

Current Location x = 234312.260 m; y = 580599.420 m

IDF	Value	Cell Indices
LAY1_C_MODEL.IDF	5.093	C3573;R1377
LAY1_KD_MODEL.IDF	18.298	C3573;R1377
LAY2_C_MODEL.IDF	0.179	C3573;R1377
LAY2_KD_MODEL.IDF	24.054	C3573;R1377
LAY3_C_MODEL.IDF	2414.258	C3573;R1377
LAY3_KD_MODEL.IDF	26.968	C3573;R1377
LAY4_C_MODEL.IDF	53.795	C3573;R1377
LAY4_KD_MODEL.IDF	9.371	C3573;R1377
LAY5_C_MODEL.IDF	268.613	C3573;R1377
LAY5_KD_MODEL.IDF	9.747	C3573;R1377
LAY6_C_MODEL.IDF	10.594	C3573;R1377
LAY6_KD_MODEL.IDF	362.635	C3573;R1377
LAY7_C_MODEL.IDF	521.302	C3573;R1377
LAY7_KD_MODEL.IDF	1314.514	C3573;R1377
LAY8_C_MODEL.IDF	3312.776	C3573;R1377
LAY8_KD_MODEL.IDF	1444.926	C3573;R1377
LAY9_KD_MODEL.IDF	90.591	C3573;R1377
WVP1_TOP.IDF	5.461	C3573;R1377
WVP1_BOT.IDF	4.825	C3573;R1377
WVP2_TOP.IDF	4.825	C3573;R1377
WVP2_BOT.IDF	3.877	C3573;R1377
WVP3_TOP.IDF	3.877	C3573;R1377
WVP3_BOT.IDF	2.930	C3573;R1377
WVP4_TOP.IDF	-4.040	C3573;R1377
WVP4_BOT.IDF	-13.982	C3573;R1377
WVP5_TOP.IDF	-13.982	C3573;R1377
WVP5_BOT.IDF	-24.322	C3573;R1377
WVP6_TOP.IDF	-26.262	C3573;R1377
WVP6_BOT.IDF	-57.224	C3573;R1377
WVP7_TOP.IDF	-57.224	C3573;R1377
WVP7_BOT.IDF	-96.433	C3573;R1377
WVP8_TOP.IDF	-100.554	C3573;R1377
WVP8_BOT.IDF	-171.797	C3573;R1377
WVP9_TOP.IDF	-171.797	C3573;R1377
WVP9_BOT.IDF	-262.619	C3573;R1377

Value Format: Real    Decimal places: 3

Map Value

Current Location x = 234886.436 m; y = 580913.046 m

IDF	Value	Cell Indices
LAY1_C_MODEL.IDF	283.801	C3596;R1364
LAY1_KD_MODEL.IDF	5.616	C3596;R1364
LAY2_C_MODEL.IDF	453.865	C3596;R1364
LAY2_KD_MODEL.IDF	0.000	C3596;R1364
LAY3_C_MODEL.IDF	159.961	C3596;R1364
LAY3_KD_MODEL.IDF	19.965	C3596;R1364
LAY4_C_MODEL.IDF	41.990	C3596;R1364
LAY4_KD_MODEL.IDF	4.215	C3596;R1364
LAY5_C_MODEL.IDF	570.109	C3596;R1364
LAY5_KD_MODEL.IDF	3.511	C3596;R1364
LAY6_C_MODEL.IDF	2090.112	C3596;R1364
LAY6_KD_MODEL.IDF	192.313	C3596;R1364
LAY7_C_MODEL.IDF	477.610	C3596;R1364
LAY7_KD_MODEL.IDF	1193.697	C3596;R1364
LAY8_C_MODEL.IDF	3452.486	C3596;R1364
LAY8_KD_MODEL.IDF	1368.723	C3596;R1364
LAY9_KD_MODEL.IDF	79.068	C3596;R1364
WVP1_TOP.IDF	2.422	C3596;R1364
WVP1_BOT.IDF	-0.290	C3596;R1364
WVP2_TOP.IDF	-0.290	C3596;R1364
WVP2_BOT.IDF	-0.300	C3596;R1364
WVP3_TOP.IDF	-3.096	C3596;R1364
WVP3_BOT.IDF	-3.910	C3596;R1364
WVP4_TOP.IDF	-5.090	C3596;R1364
WVP4_BOT.IDF	-11.304	C3596;R1364
WVP5_TOP.IDF	-11.304	C3596;R1364
WVP5_BOT.IDF	-16.461	C3596;R1364
WVP6_TOP.IDF	-22.330	C3596;R1364
WVP6_BOT.IDF	-53.125	C3596;R1364
WVP7_TOP.IDF	-58.243	C3596;R1364
WVP7_BOT.IDF	-97.993	C3596;R1364
WVP8_TOP.IDF	-101.463	C3596;R1364
WVP8_BOT.IDF	-169.527	C3596;R1364
WVP9_TOP.IDF	-169.527	C3596;R1364
WVP9_BOT.IDF	-258.894	C3596;R1364

Value Format: Real    Decimal places: 3



## Modelparameters op de locatie A7 VDL volgens NHI

name	n sample	distribution	min	max	mean	deviation
mv (m)	20	normal	2.11	5.71	3.33	1.35
top <sub>1</sub> (m)	20	normal	1.62	5.08	2.76	1.11
bot <sub>1</sub> (m)	20	normal	-8.94	-4.15	-5.39	1.31
kD <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	9	123	58	77
c <sub>1</sub> (d)	20	lognormal	42	211	146	79
top <sub>2</sub> (m)	2	normal	-12.43	-12.43	-12.43	0.00
bot <sub>2</sub> (m)	2	normal	-13.36	-13.36	-13.36	0.00
kD <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	3	53	10	11
c <sub>2</sub> (d)	20	lognormal	1	88	4	10
top <sub>3</sub> (m)	18	normal	-27.72	-15.45	-21.71	3.63
bot <sub>3</sub> (m)	18	normal	-30.76	-21.80	-26.01	2.63
kD <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	2	18	8	6
c <sub>3</sub> (d)	20	lognormal	1	932	1635	10304
top <sub>4</sub> (m)	7	normal	-54.65	-51.94	-52.84	0.97
bot <sub>4</sub> (m)	7	normal	-58.40	-57.42	-57.96	0.42
kD <sub>4</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	165	297	242	48
c <sub>4</sub> (d)	20	lognormal	1	2549	14462	14654021
top <sub>5</sub> (m)	19	normal	-98.48	-95.90	-97.15	0.83
bot <sub>5</sub> (m)	19	normal	-101.69	-100.00	-100.99	0.54
kD <sub>5</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	1079	1519	1266	141
c <sub>5</sub> (d)	20	lognormal	1	213	314	553
top <sub>6</sub> (m)	20	normal	-118.30	-115.93	-117.15	0.80
bot <sub>6</sub> (m)	20	normal	-141.80	-139.12	-140.31	1.00
kD <sub>6</sub> (m <sup>2</sup> /d)	20	lognormal	463	695	536	60
c <sub>6</sub> (d)	20	lognormal	207	242	221	10
base (m)	20	normal	-166.26	-163.97	-165.33	0.68

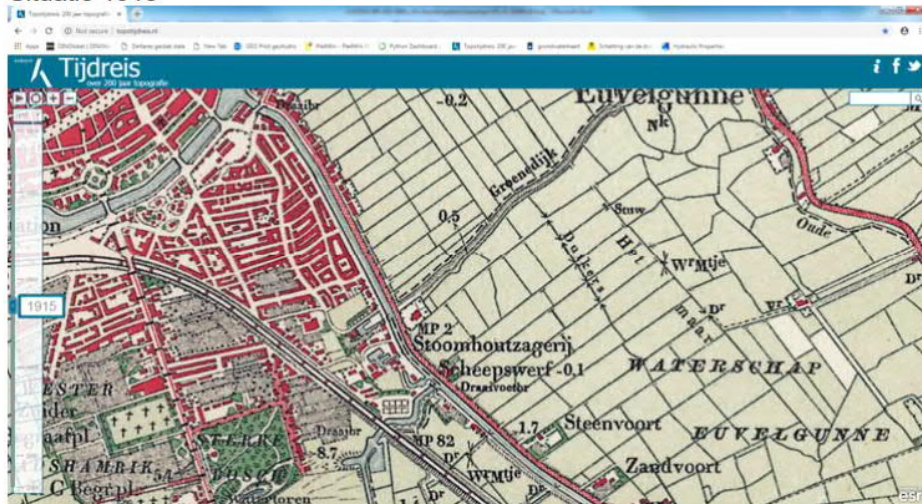




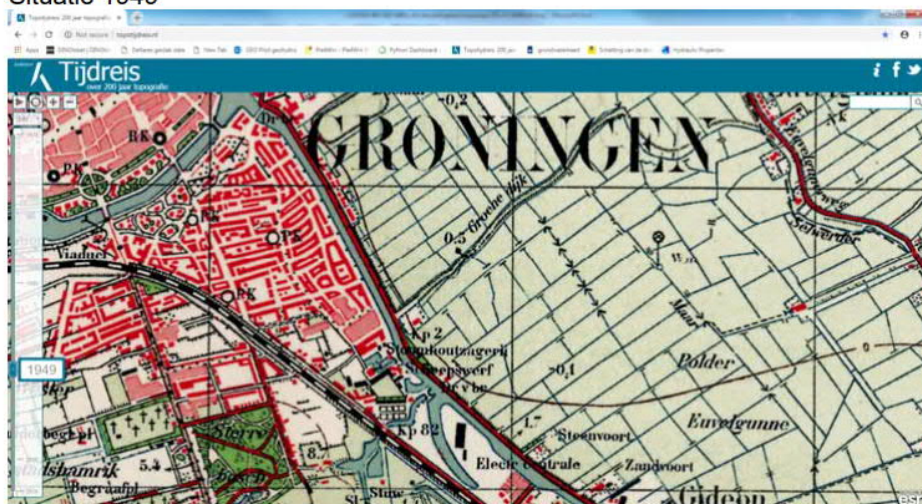
Nadere beschouwing op basis van ouderdom panden [<http://topotijdreis.nl/>]

Gebied noordelijk van A7 is oorspronkelijk van rond 1900. Funderingen op staal daar te verwachten. Waarschijnlijk gebouwd boven keileemlaag die tamelijk kleilig ontwikkeld is. De betreffende panden bestaan nog steeds en zijn dus kwetsbaar.

## Situatie 1915

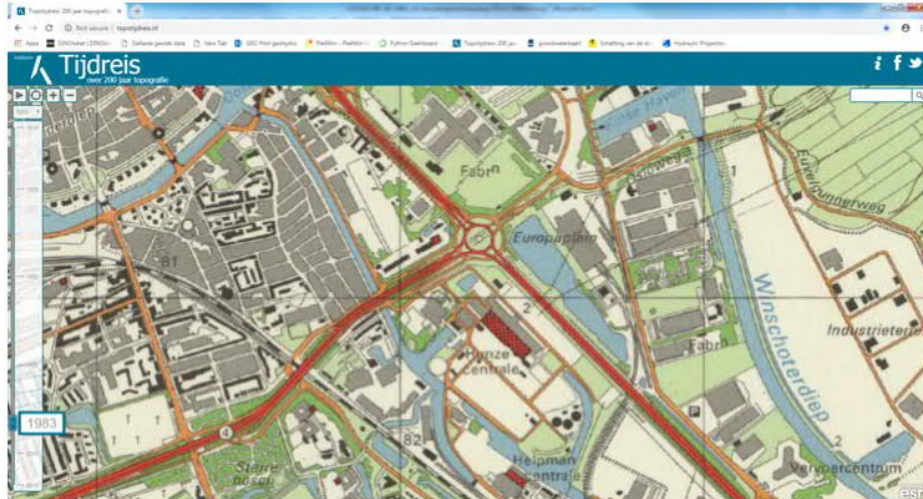


## Situatie 1949

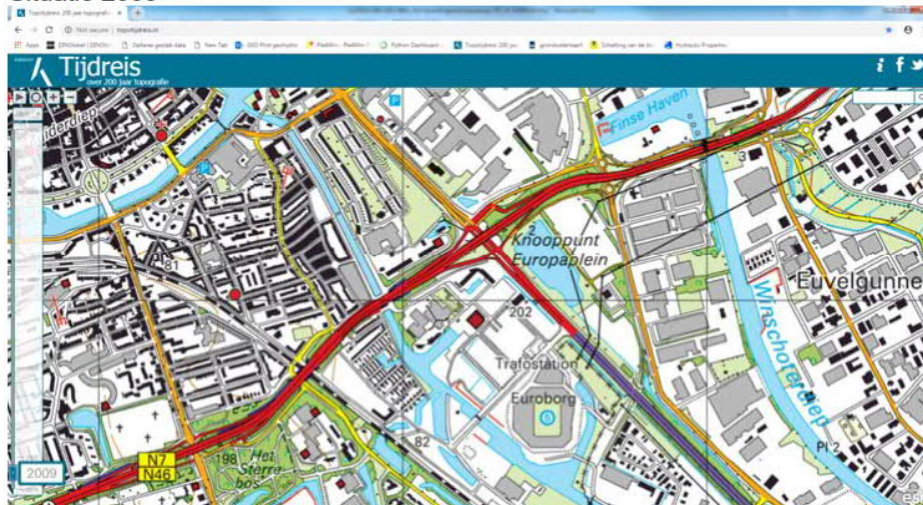




## Situatie 1983



## Situatie 2009



Globale bouwkundige situatie in de Van Sijzenstraat, Oosterpoortbuurt [Google Maps]



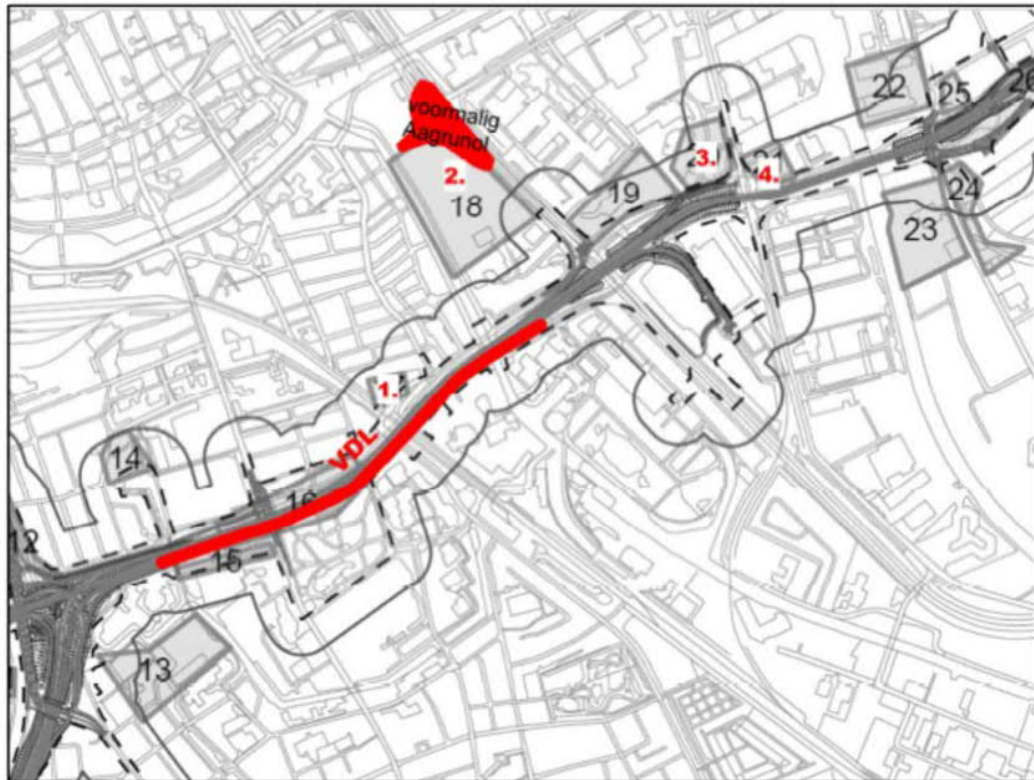
Check zettingen.

Terzaghi:		$Z = \frac{h}{c} * \ln \frac{\bar{\sigma}_M + \Delta\sigma_t}{\bar{\sigma}_M}$									
Z	=	zakking als gevolg van zetting (m)									
h	=	dikte van samendrukbare laag (m)									
c	=	constante voor samendrukbaarheid van de laag									
$\bar{\sigma}_M$	=	gemiddelde oorspronkelijke korrelspanning in de samendrukbare laag (kPa)									
$\Delta\sigma_t$	=	toename korrelspanning (kPa)									
Uitgangspunten:											
1. Geschat volumegewicht zand: 18 kN/m <sup>3</sup> , klei: 16 kN/m <sup>3</sup> , leem: 21 kN/m <sup>3</sup> ,											
2. Maximaal meewerkende dikte van de leem- of kleilaag: 2 m											
3. Geschatte C-waarde kleilaag = 10; leem = 25											
4. Berekening voor een stationaire situatie											
Sondering	o.k. zand (m NAP)	o.k. leem / klei (m NAP)	grond- waterstand (GLG m NAP)	initiele korrel- spanning (kN/m <sup>2</sup> )	c-waarde	Berekende maaiveldzetting (eindzetting) in m bij verschil- lende niveaus van stijghoogteverlagingen					
						0,25 m	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	3,0 m
DKM 19010	1,0	-4,7	-0,5	114	25	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
DKM19024	-0,5	-4,7	-0,5	145	25	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
DKM19042	-3,8	-4,8	-1,0	82	10	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
DKM19051	-1,2	-2,3	-1,3	56	10	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04

Opmerking:

- Waarom is de zettingsberekening niet met de abc-methode gedaan? De aanpak met Koppejan-methode klopt niet met uitgangspunten in de nota geotechniek.
- Situatie in Oosterpoortbuurt niet goed beschouwd (geen boring meegenomen).
- Schadecriterium 1:600 > 2 cm zetting bij kleine panden (L=10 m) kan schade inhouden.

Situatie mobiele verontreinigingen volgens bemalingsadvies [1328]



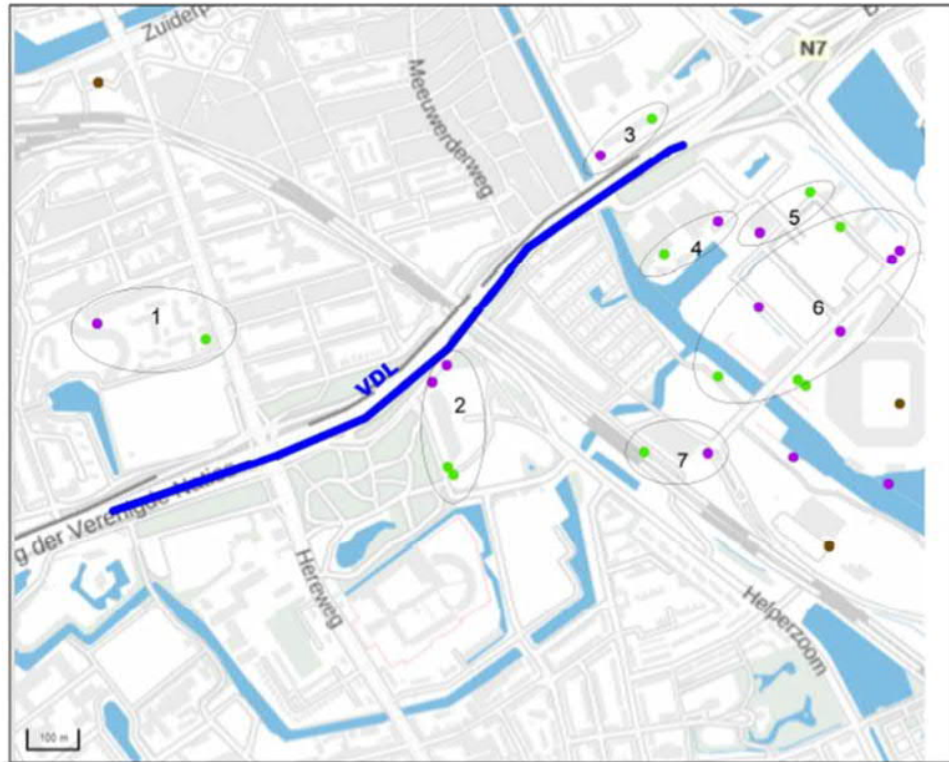
Nummer	Locatie	Verontreiniging
1	Meeuwerderweg 157	Gesaneerde asbestverontreiniging, verwijderd, niet mobiel
2	Aagrunol	Bestrijdingsmiddelen met kwik en arseen, gesaneerd maar restverontreiniging in grondwater te verwachten, mobiel.
3	Scandinavieweg 12	Matig verontreinigd met arseen, aromatische koolwaterstofverbindingen en gechloreerde koolwaterstofverbindingen.
4	Osloweg	Benzinestation, gesaneerd, mogelijk restverontreiniging?

Vraag:

Zijn in het rapport [1328] de beschouwde grondwaterstromingen wel voor een situatie met alle bouwputbemalingen tegelijk beschouwd?



KWO nabij A7; informatie uit bemalingsadvies [1328]



Nr.	Naam	Diepte m- maaiveld	Capaciteit (m <sup>3</sup> /uur)	Capaciteit (m <sup>3</sup> /jaar)
1	KWO Nuon Dinkelpark	65 - 130	35	375000
2	KWO Bouwcomb. DUO2 VOF Kempkensberg 8	66 - 300	150	2145000
3	KWO TCN Europaweg 5	73 - 98	25	165000
4	KWO Enexis BV Winschoterdiep	70 - 118	70	250000
5	KWO MENZIS Winschoterdiep 70	80 - 135		435000
6	WKO Europapark	70 - 110	200	3601600
7	WKO Dienst Sozawe stationsplein Europapark	50 - 300		2400000

## E Controleberekening debiet en stijghoogteverlaging

### Modelvorming voor de controleberekeningen

Op basis van de beschikbare informatie is de bodemopbouw ingedeeld in de volgende geohydrologische schematisatie die voor ontwerpberekeningen zou moeten worden aangehouden.

- Een holocene afzetting met plaatselijk klei op een matig fijne zandlaag.
- Keileem tot circa NAP – 5 m met een aanzienlijke hydraulische weerstand (minimaal 5000 dagen).
- Boxtel- en Peelo-afzettingen tot circa NAP – 20 m bestaande uit fijn tot matig fijn zand met een horizontale doorlatendheid van 1 tot maximaal 10 m/d (gemiddeld 4,5 m/d) en een onbekende verticale doorlatendheid (naar schatting 0,1 tot 0,5 m/d). De horizontale doorlatendheid is bepaald door de waarden voor de doorlatendheid die is afgeleid uit de korrelverdelingen en de constant head tests van de monsters uit de boringen te middelen.
- Peelo-afzettingen tot circa NAP – 36 m bestaande uit zeer fijn tot fijn zand met een horizontale doorlatendheid van 0,5 tot maximaal 2 m/d (gemiddeld 1 m/d) en een onbekende verticale doorlatendheid (naar schatting 0,1 tot 0,5 m/d).
- Klei van Peelo tot een diepte van NAP – 37 m met een hydraulische weerstand van circa 1000 dagen).
- Zandlagen tot een diepte van NAP – 120 m in afzettingen van de Formaties van Peelo, Appelscha (grof zand), Peize-Waalre, Oosterhout met een geschat doorlaatvermogen van 2000 tot 3000 m<sup>2</sup>/d.

Laag [Formatie]	OK laag	Doorlatendheid [m/d]	Doorlaatvermogen [m <sup>2</sup> /d]	Hydr.weerstand [d]
Keileem	-5	0.001		5000
Peelo zand matig fijn	-19	1-10	60	
Peelo zand fijn	-21	0.1-0.5		4-20-80
Peelo zand zeer fijn	-36	0.5-2	15	
Peelo klei	-37	0.001		1000
Peelo, Appelscha, Peize-Waalre, Oosterhout	-120	35	3000	

### MWell berekening

De aangegeven schematisatie is doorgevoerd in globaal uitgevoerde controleberekeningen met het analytisch programma MWell voor putstroming en stroming rond damwanden. Het volgende schema is aangehouden waarbij de verticale weerstand onderin de bouwkuip op het niveau van onderkant damwand is gevarieerd. Er is van uitgegaan dat de door CHP voorziene bronnen met een filterlengte van 8 m (zie CHP-notitie Geohydrologie en kwelschermen VDL) worden geplaatst tot enkele meters boven onderkant damwand (dit is NAP – 21 m bij de diepste compartimenten 3, 4 en 5 en NAP – 15 bij overige compartimenten). Alleen de doorlatendheid



van de grondlaag daaronder draagt bij aan de bepaling van de grootte van de verticale weerstand onder de bouwkuip.

De bemaling die nodig is bij de diepste compartimenten 3, 4 en 5 is maatgevend. Er is uitgegaan van een damwandkuip met een oppervlak van 120\*40 m<sup>2</sup> met benodigde grondwaterverlaging van ongeveer 9 m (ontgravingsniveau maximaal NAP – 8,5 m, uitgangsstijghoogte NAP – 0,5m, drooglegging van 1 m aangehouden).

Weerstand C Peelo [dagen]	Debiet bemaling [m <sup>3</sup> /d]	Verlaging stijghoogte buiten bouwkuip [m]
4	1140	3,5 a 4,7
20	700	2,0 a 2,5
80	320	0,75 a 0,95

De verlaging binnen de bouwkuip is redelijk vlak. Buiten de bouwkuip treedt een verlaging op die aanzienlijk is in het geval dat de damwanden ondiep zijn en de weerstand onderin de bouwkuip gering is.

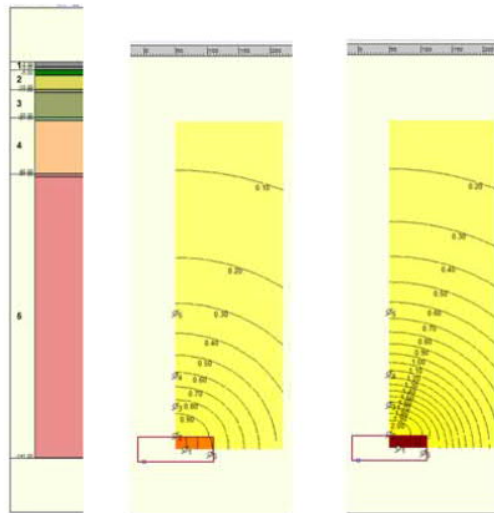
#### **Omgevingseffecten**

Om de omgevingseffecten van een enkele bouwput te bepalen, is bij de modelvorming rekening gehouden met meer verticale waterremmendheid in de bodemlagen buiten de bouwkuip dan bij de berekening van de kwel naar de bouwkuip. Daartoe is het profiel in de MWell controleberekening met 2 extra lagen uitgebreid: een toplaag en een opdeling van de laag tussen NAP – 5 en – 19 m.

Laag [Formatie]	OK laag [m- NAP]	kD [m <sup>2</sup> /d]	C [d]
holocene kleilaag	-2		1200
holocene zandlaag	-3	0,5	
keileem	-5		1200
Peelo fijn zand kh	-10	20	
Peelo fijn zand kv	-11		20
Peelo fijn zand kh	-20	40	
Peelo fijn zand kv	-21		20
Peelo fijn zand kh	-40	15	
Peelo potklei	-41		1000
WVP Ap/Pz- Wa/Oo	-140	3000	

Daarmee hebben wij de effecten van een bemaling in 1 bouwkuip van 120\*40 m<sup>2</sup> doorgerekend. De optredende kwel naar een dergelijke bouwkuip is in het voorbeeld circa 750 m<sup>3</sup>/dag. Daarbij is uitgegaan van de aanname dat de damwand tot een niveau van NAP – 21 m perfect dicht is (maar de kans daarop is niet groot vanwege zwaar werk bij inbrengen door de keileem). Op basis van een berekening met MWell is onze prognose dat er bij de bemaling van zo'n bouwkuip een verlaging van circa 2 m buiten de bouwkuip onder de keileem te verwachten is (mogelijk meer indien de weerstand van de keileem erg groot is, maar dan zijn de verlagingen van freatisch water waarschijnlijk minder groot). Een stijghoogteverlaging van 0,5 m wordt gevonden op circa 250 m afstand. De verlaging van de ondiepe grondwaterstand kan 1 m zijn net buiten de kuip. Een verlaging van de ondiepe grondwaterstand is tot op circa 500 m afstand van de bouwkuip te merken (waar dan een grondwaterstandverlaging van 0,1 m wordt bereikt).





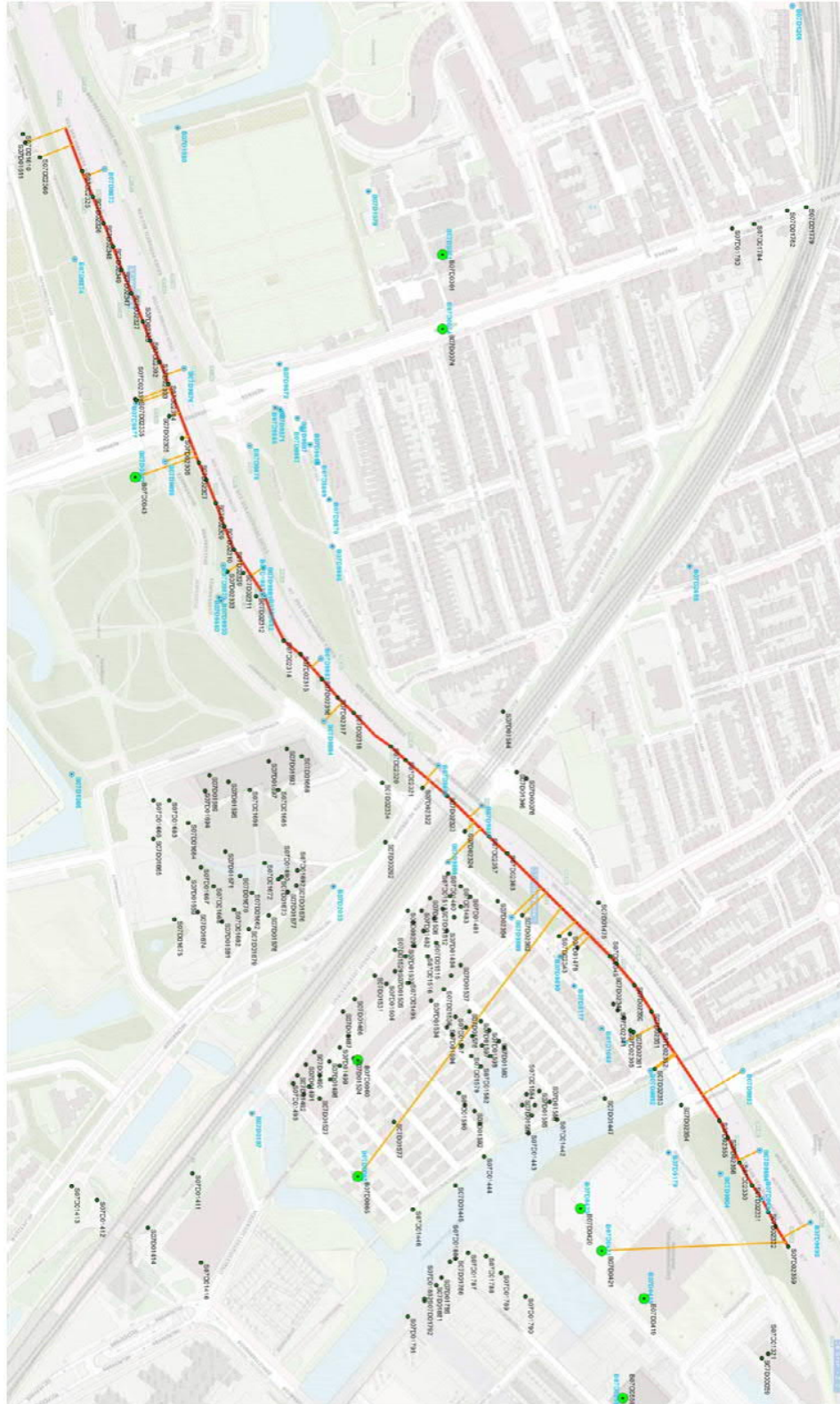
Bij bemaling van meerdere bouwputten gelijktijdig (een exercitie is verricht met een bouwput van 260 m lang waarin een verlaging van 9 m wordt bereikt) kan zich bij toepassing van een kwelscherm van 21 m diep zonder tegenmaatregelen een verlaging van 0,5 m voordoen op 350 m afstand bij een bijbehorend debiet van 875 m<sup>3</sup>/d. Meerdere bemalingen zullen elkaar beïnvloeden waarbij het debiet en de effecten niet lineair met de omvang van het te bemalen oppervlak toenemen.

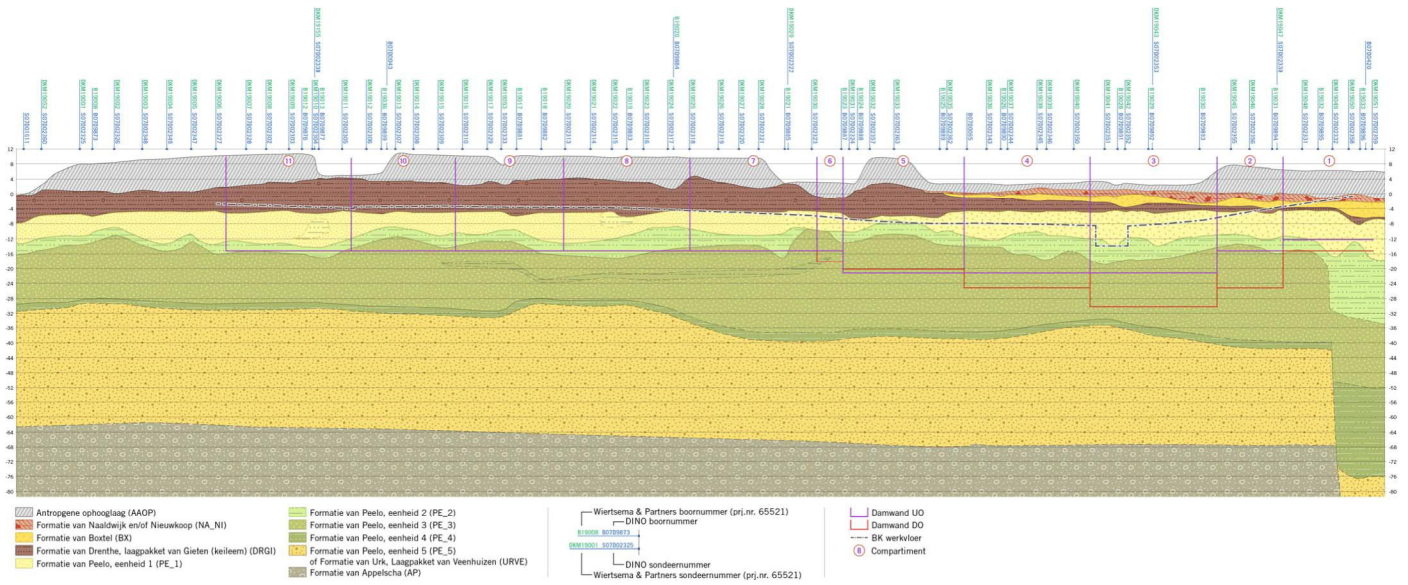
## F Geologisch profiel TNO

Vertaling van boornummers CHP naar DINO

CHP_NR	DINO_NR	X	Y
B19008	B07D987 3	234079	580431
B19012	B07D987 6	234267	580506
B19013	B07D987 7	234300	580461
B19017	B07D988 1	234455	580581
B19018	B07D988 2	234482	580582
B19019	B07D988 3	234541	580635
B19020	B07D988 4	234600	580638
B19021	B07D988 5	234642	580746
B19023	B07D988 7	234680	580787
B19024	B07D988 8	234733	580755
B19025	B07D988 9	234785	580815
B19026	B07D989 0	234822	580861
B19028	B07D989 1	234903	580922
B19029	B07D989 2	234930	580946
B19030	B07D989 3	234930	581033
B19031	B07D989 4	235005	581049
B19032	B07D989 5	235051	581051
B19033	B07D989 6	235073	581097









## **G Doorlatendheidsprofiel**

