

TNO-rapport**TNO 2017 R11404****Inventarisatie van tunneldalen en potklei van
de Formatie van Peelo rond Nij Beets en
Gorredijk**

Datum	4 oktober 2017
Auteur(s)	Dr. M.A.J. Bakker Drs. R. Harting Dr. Ir. W.J. Zaadnoordijk
Aantal pagina's	46 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Vitens N.V.
Projectnaam	Nij Beets waterwinning Vitens
Projectnummer	060.25419

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Vitens NV is voornemens de drinkwaterwinning Nij Beets in Friesland uit te breiden. In waarnemingsputten van deze winning worden oplopende chloridewaardes gemeten. De oorzaak van deze verzilting is niet geheel duidelijk. Daarnaast wordt vooronderzoek gedaan naar de aanleg van een geheel nieuwe winning in de omgeving van Gorredijk. Vitens heeft de Geologische Dienst van Nederland - TNO gevraagd nader onderzoek te doen naar de geologische situatie bij Nij Beets en Gorredijk en op basis daarvan het verziltingsrisico te analyseren en aanbevelingen te doen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van deze werkzaamheden. Het onderzoek bestaat ten eerste uit een analyse van bestaande seismische gegevens om de structuur van de diepere ondergrond te bestuderen op de aanwezigheid, ligging en geometrie van diep ingesneden glaciale tunneldalen. Ook is de aanwezigheid van ondiepe potklei onderzocht met behulp van boorgegevens.

In het tweede deel van het onderzoek zijn de mogelijke consequenties van de verbeterde geologische inzichten voor verzilting van de winningen onderzocht.

Voor de tunneldal analyse is seismiek gebruikt welke in het verleden is verzameld om (diep gelegen) delfstoffen op te sporen. Met deze gegevens kan ook de ondiepere ondergrond (ca. 200 m en dieper) worden onderzocht. Op basis van deze seismiek kan worden geconcludeerd dat in het onderzoeksgebied één diep ingesneden tunneldal voorkomt. Deze loopt vanuit het noorden, onder het puttenveld van de winning Nij Beets door, naar het zuiden, en loopt juist te westen van Gorredijk langs. Het dal is veel dieper dan tot dusver uit eerdere onderzoeken was gebleken. Het tunneldal is tot 350 à 450 m diep ingesneden en doorsnijdt de Formaties van Peize, Maassluis, Oosterhout en een deel van de Formatie van Breda. Het dal doorsnijdt daarmee ook scheidende lagen zoals die van het Peize complex. Op basis van de beschikbare seismische- en boordata kan niet worden uitgesloten dat ondiepere tunneldalen (minder aan 200 m diep ingesneden) aanwezig zijn elders in het projectgebied.

Analyse van de boringen in het projectgebied laat zien dat ondiepe potklei (tussen 10 en 40 m -NAP) vooral in het noordoostelijk deel van het projectgebied voorkomt. De ruimtelijke variabiliteit is echter erg hoog.

Het tunneldal bevat nabij de winning Nij Beets een pakket dieper gelegen potklei, die het tunneldal echter niet hydrologisch afsluit. Langs de flank van het dal, langs het potklei-lichaam, bestaat hydrologische kortsluiting tussen het grove materiaal onderin het tunneldal en het bovenliggende watervoerend pakket waaruit wordt gewonnen. Het is waarschijnlijk dat deze kortsluiting de oorzaak is van het optrekken van brak grondwater. Het temperatuurprofiel in één van de waarnemingsputten bevestigt het voorkomen van opwaartse stroming. Een alternatieve verklaring is het lateraal aantrekken van ondiep brak water in de ondergrond afkomstig van het binnendringen van de zee in de late middeleeuwen.

De opgedane geologische en hydrologische bevindingen in ogenschouw nemend, kan de kans op verdere verzilting worden beperkt door: 1) bij een nieuwe winning de putten op grote onderlinge afstanden te plaatsen, 2) door een locatie te kiezen met hoge weerstand tussen de onttrekkingsfilters en het zoet-brak grensvlak, 3) door een locatie te kiezen met lage weerstand boven het niveau van de

onttrekkingsfilters en 4) door een locatie te kiezen op afstand van het diep ingesneden tunneldal en buiten het in de late middeleeuwen door de zee beïnvloede gebied.

Het wordt aanbevolen de nieuwe (hydro)geologische inzichten uit dit onderzoek in grondwatermodellen toe te passen. Daarnaast zijn dateringen aan het water nuttig om de herkomst ervan te bepalen. Indien beter inzicht wenselijk is in de samenstelling van de ondergrond (met name het eventuele voorkomen van minder dan 200 m diepe tunneldalen) en in de geometrie van slechtdoorlatende lagen dan wordt aanbevolen dat te doen middels aanvullende seismische metingen. Dat kan worden gedaan in 2D of 3D, in hoge resolutie, met de nadruk op het in beeld brengen van de ondiepste ondergrond (<200 m) en ondersteund door één of meerdere boringen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
1.1	Situatieschets	5
1.2	Uitgangssituatie	6
1.3	Vraagstelling	6
1.4	Gebiedsdefinitie	7
2	Bestaande gegevens	9
2.1	Beknopte beschrijving relevante geologische ontwikkeling	9
2.2	Bestaande ondergrondmodellen en eerdere onderzoeken	10
3	Werkzaamheden	13
3.1	Vorbereidende werkzaamheden	13
3.2	Seismische interpretatie	13
3.3	Opstellen geologische profielen	15
3.4	Inventarisatie potklei	18
3.5	Risicoanalyse	18
4	Resultaten	19
4.1	Seismische interpretatie	19
4.2	Geologische profielen	22
4.3	Inventarisatie en geostatistische analyse ondiepe potklei	25
5	Analyse consequenties geologie voor mogelijke verzilting	29
6	Conclusies en aanbevelingen	34
6.1	Conclusies	34
6.2	Aanbevelingen	34
7	Referenties	36
8	Ondertekening	37
	Bijlage(n)	
	A Profielen RGD (1990)	
	B Kaart tunneldalen	
	C Geologische profielen	
	D Kaart potklei	

1 Inleiding

Het waterbedrijf Vitens N.V. is voornemens nieuwe grondwaterwinningen te ontwikkelen in de omgeving van Nij Beets en Gorredijk. Een belangrijk aspect bij de uitbreiding van en de zoektocht naar een winlocatie is het verziltingsrisico. De geologische situatie is sterk bepalend voor het optreden van verzilting bij een grondwaterwinning. De belangrijkste geologische onzekerheden betreffen in dit geval de ligging van diep ingesneden glaciale tunneldalen en potklei, beiden onderdeel van de Formatie van Peelo. Vitens heeft de Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) gevraagd inzicht te geven in de geologie rond Nij Beets en Gorredijk, waarbij gebruik gemaakt wordt van beschikbare boorgegevens en seismische informatie, en om een risicoanalyse te maken.

1.1 Situatieschets

In de omgeving van Nij Beets ligt een bestaande winning waar de chloridegehalten geleidelijk oplopen. Deze winning is gelegen in het Friese laagveengebied, nabij het hooggelegen Pleistocene landschap (Figuur 1). De algemene grondwaterstromingsrichting is uit het oosten tot noordoosten. De winning is gelegen in een kwelgebied. Tussen de winning Nij Beets en het Pleistocene hoog ligt een zandwinplas waar sterke kwel optreedt. De winning is gesitueerd in een noord-zuid georiënteerd tunneldal (zie par 2.1).

De huidige winning Nij Beets heeft een vergunning voor 3,5 miljoen m³ per jaar. Vitens is voornemens de wincapaciteit in deze omgeving uit te breiden naar 6,5 miljoen m³ per jaar. In eerste instantie wordt gedacht aan de aanleg van een nieuw puttenveld direct ten noordoosten van de zandwinplas of nog iets verder richting Drachten.

Naast de winning Nij Beets en een eventueel nieuw aan te leggen puttenveld ten noordoosten daarvan, voert Vitens tevens vooronderzoek uit naar een mogelijk nieuw aan te leggen winning noordoostelijk van Heerenveen, in de omgeving van Langezwaag-Gorredijk-Tynje (aangeduid als 'Gorredijk'). De verwachting is dat het tunneldal van Nij Beets doorloopt in de richting van het gebied Gorredijk en daarmee een belangrijke factor is in de locatiebepaling van de beoogde nieuwe winning.

Geconstateerd wordt dat de chlorideconcentraties van sommige pompputten in het bestaande winveld in de periode 2005-2015 opgelopen zijn. Tot op een diepte van 105 meter wordt zoet grondwater aangetroffen (met minder dan 50 mg/l chloride). Op 150 meter en dieper zijn hogere chlorideconcentraties waargenomen (maximaal 242 mg/l). Een in 2012 geplaatste boring in het beoogde nieuwe winveld ten noordoosten van de zandwinplas toont een vrij grofzandige opbouw zonder de aanwezigheid van duidelijke scheidende lagen (boring B11B1762). De oplopende chlorideconcentraties op de bestaande winlocatie en de uitgangssituatie op de nieuwe winlocatie, geven Vitens aanleiding een nader onderzoek uit te voeren naar de risico's van verzilting gezien vanuit geologisch oogpunt.

Door de voormalige Rijks Geologische Dienst (RGD, thans TNO-GDN) is in 1990 een rapportage opgesteld, met bijbehorende geologische profielen, over de ondergrond rond de huidige winning Nij Beets (RGD, 1990, zie bijlage A). In 2007 zijn door TNO grids gegenereerd van de basis, top en dikte van de kleileem en tevens van de daaronder gelegen 1e scheidende laag (kleipakket voornamelijk bestaande uit potklei van de Formatie van Peelo en deels uit klei van de Formatie van Urk; TNO, 2007). Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek kan deels gezien worden als een actualisatie van de rapporten van de RGD (1990) en TNO (2007) op basis van beschikbare nieuwe boorgegevens, voorhanden zijnde seismische gegevens en nieuwe (hydro)geologische gegevens.

1.2 Uitgangssituatie

Sinds enkele jaren worden door de Geologische Dienst van Nederland TNO nieuwe seismische interpretaties gedaan in Noord-Nederland. Het betreft relatieve ondiepe interpretaties van driedimensionale (3D) seismiek die in het verleden is geschoten voor de olie- en gasexploratie. Deze seismiek had als primaire doel de diepgelegen formaties (circa 1000-3500 m beneden maaiveld) in beeld te brengen. Echter uit het matig diepe bereik, tussen ca. 200 en 1000 m is eveneens geologische informatie te halen; de nieuwe seismische interpretaties hebben de focus op dit bereik. Tunneldalen vallen binnen het bereik van dit type seismiek indien deze meer dan circa 200 m zijn ingesneden in de ondergrond. De ligging van de diepe tunneldalen van de Formatie van Peelo zijn daarmee uit te karteren. Ondiepere tunneldalen, de meeste potklei-voorkomens en andere relatief ondiepe (hydro)geologische eenheden zoals de kleiige niveaus binnen de Formaties van Peize en Urk zijn niet zichtbaar op de gebruikte seismiek.

De nieuwe, matig diepe 3D seismische interpretaties in Noord Nederland zijn op het moment van schrijven voorlopig van aard; ze zijn nog niet afgerond en op correctheid en consistentie getoetst. De interpretaties zijn daarom nog niet vrijgegeven voor publicatie en ook nog niet opgenomen in de bestaande ondergrondmodellen DGM versie 2.2 en REGIS II versie 2.2 die beschikbaar zijn via www.dinoloket.nl.

De 3D seismische surveys dekken een groot deel van Noord Nederland, echter er zijn ook delen welke niet worden gedekt door 3D seismiek. Direct ten noorden van de huidige winning Nij Beets is geen 3D seismiek beschikbaar. In dit deel van het onderzoeksgebied zijn wel een aantal tweedimensionale (2D) lijnen voorhanden. In sommige gevallen is op 2D lijnen ook in het door 3D seismiek afgedekte gebied in het ondiepe bereik meer — of aanvullende — ondergrond informatie zichtbaar. De 2D lijnen zijn vanzelfsprekend niet gebiedsdekkend.

1.3 Vraagstelling

De werkzaamheden welke bij deze worden gerapporteerd zijn vastgelegd in TNO offerte 060.25419/02iv dd. 28 februari 2017. Vitens N.V. heeft op 13 maart 2017 opdracht verleend middels de inkooporder met nummer 4500129327. De omvang van het projectgebied is vastgelegd in de offerte (zie verder paragraaf 1.4).

Het onderzoek dat hier wordt gerapporteerd is gebaseerd op de volgende opdracht en vraagstelling:

- Maak – in het genoemde gebied - op basis van beschikbare ondergrondgegevens een overzicht van de ligging van diepe glaciale geulen (tunneldalen) van de Formatie van Peelo (middels 2D en 3D seismische gegevens) en de aanwezigheid van potklei (met behulp van boringen) in de omgeving van Nij Beets (bestaande en nieuwe locatie) en in de omgeving van Gorredijk. Construeer relevante geologische profielen.
- Analyseer de seismische en boorgegevens en geef in beschrijvende zin de risico's aan op verzilting in het bestaande en de beoogde nieuwe wingebieden Nij Beets en in de omgeving van Gorredijk. Ga in op de vraag of op basis van de huidige geologische informatie en inzichten er een risico bestaat op het versneld aantrekken van het zoet/zout grondwater door het ontbreken van scheidende lagen en/of de aanwezigheid van diepe geulen die laterale aanvoer van zoet grondwater kunnen beïnvloeden.
- Indien geconstateerd wordt dat de beschikbare hoeveelheid of het type gegevens niet toereikend is om deze vragen afdoende te kunnen beantwoorden, geef dan aanbevelingen daartoe.

Opzet van het rapport

Hoofdstuk 1 introduceert het onderzoek en geeft de vraag- en doelstelling alsmede een definitie van het projectgebied. Hoofdstuk 2 bespreekt de reeds beschikbare gegevens welke in dit gebied liggen. Dit hoofdstuk bevat daarnaast een korte beschrijving van de geologische ontwikkeling van het gebied, voor zover van belang voor het onderzoek.

In hoofdstuk 3 worden de werkzaamheden voor het geologisch onderzoek uiteengezet. Hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten ervan en in hoofdstuk 5 worden implicaties voor mogelijke verzilting besproken. Hoofdstuk 6, tot slot, geeft conclusies van het onderzoek en aanbevelingen.

1.4 Gebiedsdefinitie

Het onderzoeksgebied omvat het gebied zoals dat in 2007 is onderzocht (TNO, 2007) en een gebied in de omgeving van Langezwaag-Gorredijk-Tynje (gebiedsgrens aangegeven door Vitens). Om deze gebieden is een buffer van 1000 m gelegd, zie figuur 1. Alle binnen dit gebied vallende boringen en seismische gegevens zijn meegenomen in het in dit rapport gepresenteerde onderzoek.

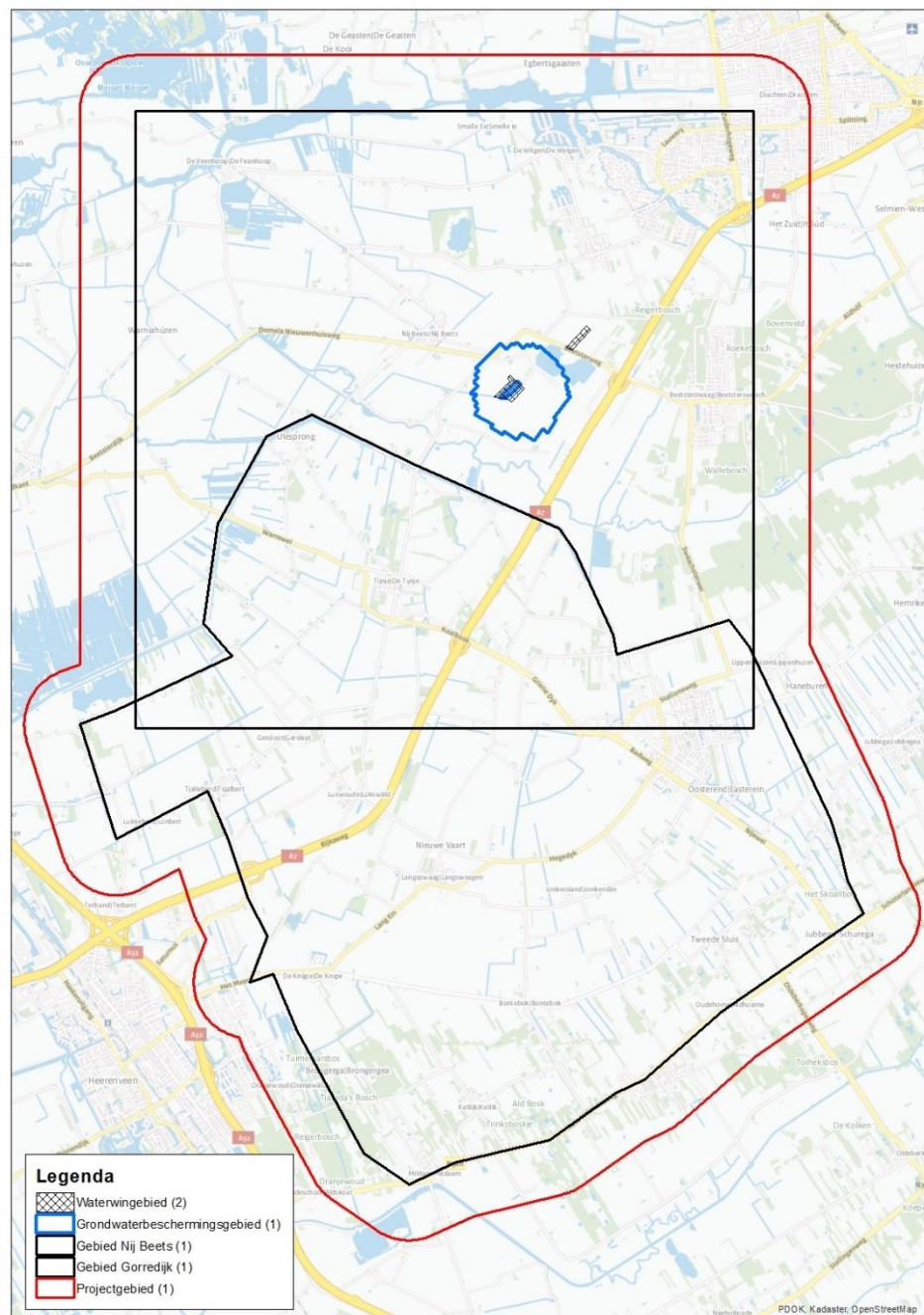


Fig. 1. Omvang van het projectgebied in de omgeving van Nij Beets en Gorredijk. Aangehouden zijn de gebiedsdefinities zoals weergegeven in offerte 060.25419/02iv plus een buffer van 1000 m (rode contour). Alle binnen dit gebied beschikbare boringen en seismische gegevens zijn meegenomen in het in dit rapport gepresenteerde onderzoek.

2 Bestaande gegevens

2.1 Beknopte beschrijving relevante geologische ontwikkeling

De in hoofdstuk 1 besproken tunneldalen en de potklei behoren tot de Formatie van Peelo. Deze formatie omvat alle afzettingen – waaronder klei, fijn zand en grindig zand – welke gedurende de twee-na-laatste ijstijd in Nederland zijn neergelegd (circa 450000 jaar geleden). Deze ijstijd wordt het Elsterien genoemd. Gedurende het Elsterien werd het noordelijke deel van Nederland door landijs bedekt, dus ook het gebied rond Nij Beets en Gorredijk. De landijsbedekking ging gepaard met de afvoer van grote hoeveelheden smeltwater welke zich door en onder het landijs een weg zocht naar het zuiden. Dit smeltwater stond onder hoge hydrostatische druk en bevatte geërodeerd sediment. De smeltwaterafvoer concentreerde zich in smalle, langgerekte zones en kon daarbij diep insnijden in de ondergrond. Op deze wijze ontstonden langgerekte geulen welke nu nog in de ondergrond te vinden zijn. De officiële benaming van deze glaciale geulen is tunneldal (in het engels aangeduid als ‘tunnel valleys’ en ook wel als ‘buried valleys’).

De meeste tunneldalen in Nederland en het Noordzeegebied zijn circa 200 tot 600 m diep, 500 tot 2000 m breed en vaak vele tientallen kilometers lang. Omdat het smeltwater onder hoge druk stond kon het een grillige weg zoeken, er is geen sprake van een normale stroomafwaartse afvoer zoals bij rivieren. Tunneldalen hebben dan ook een kenmerkende geometrie; zowel verticaal als lateraal en in de lengterichting gezien hebben ze grillige vormen. Direct na en deels zelfs tijdens de vormingsfase werden de diepste delen van de geulen opgevuld met grof zand en grindig zand. Na het afsmelten van het landijs bleven deels opgevulde grote depressies in het landschap over. In deze depressies vormden zich meren waarin massieve klei werd afgezet. Deze klei is bekend als potklei (eenheid PEK2 in het REGIS II model). In een iets latere fase werd fijn zand afgezet en daarna volgde nog een potklei fase (PEK1). Gedurende de één-na-laatste ijstijd, het Saalien, werd het noordelijk deel van Nederland opnieuw door landijs bedekt. Er is toen onder andere keileem afgezet. De massieve potklei werd toen verder samengedrukt en waardoor deze vaak zeer compact is geworden.

In Noord Nederland zijn meerdere tunneldalen bekend. Door hun relatief geringe breedte staan echter vrijwel alle diepere boringen naast of op de flank van een tunneldal; er zijn maar enkele boringen die precies in het diepste deel van een tunneldal zijn geplaatst. Deze boringen zijn dan ook doelbewust gezet op basis van eerder uitgevoerd seismisch onderzoek naar tunneldalen (Kluiving et al., 2003; Burval, 2006; Bosch et al., 2009).

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2

Hoogte t.o.v. NAP: -469

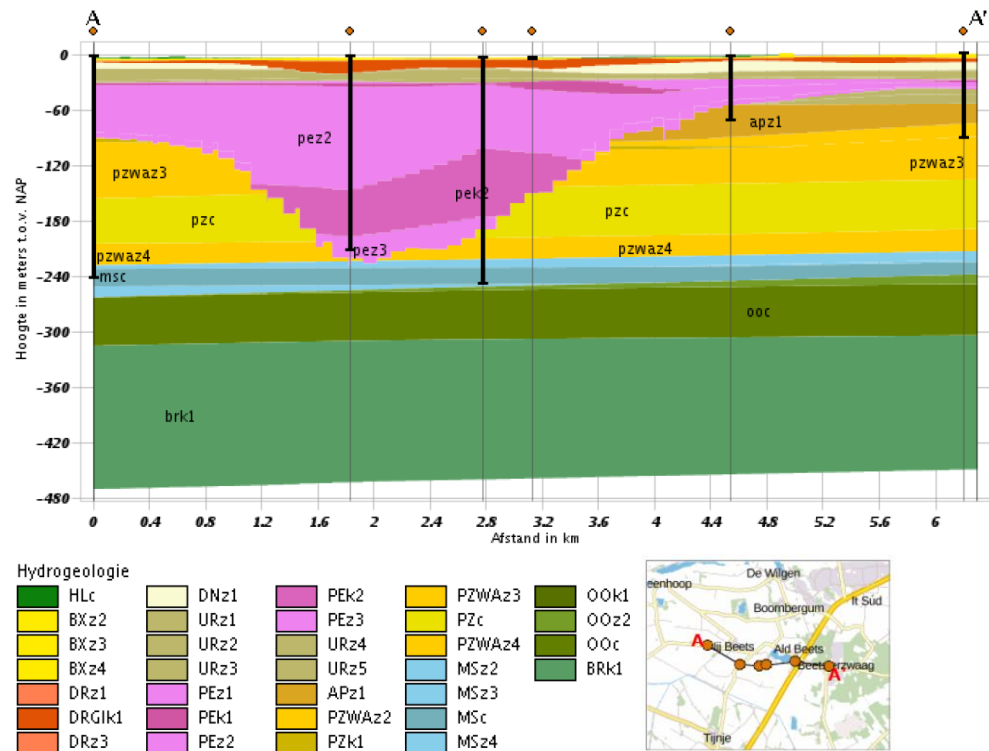


Fig. 2. Verticale doorsnede door het REGIS II v2.2 model. Zichtbaar is de Formatie van Peelo in de omgeving van Nij Beets (lichtpaarse eenheid) met een insnijding in de ondergrond tot circa 240 m diepte. Daarnaast zijn twee kleiige niveaus in de Formatie van Peelo gemodelleerd, ondiepe potklei (PEK1) nabij de top van de formatie en een goed ontwikkeld diep potklei niveau in het tunneldal (PEK2).

2.2 Bestaande ondergrondmodellen en eerdere onderzoeken

Op www.dinoloket.nl zijn de actuele versies van de ondergrondmodellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2 te raadplegen. Ter plaatse van Nij Beets is een tunneldal tot een diepte van 240 m gemodelleerd (figuur 2). De modellen zijn gebaseerd op de beschikbare boringen in de omgeving. De diepst beschikbare boring, B11B0071, geeft tot aan de basis Peelo afzettingen. De meeste overige boringen zijn veelal ondieper (rond de 90 meter). In het REGIS II v2.2 model zijn twee kleiige eenheden onderscheiden, PEK1 en PEK2, welke zijn geïnterpreteerd als potklei. De ondiepst gelegen potklei ligt nabij de top van de Formatie van Peelo (paarse eenheid PEK1 in figuur 2) en de andere op grotere diepte in de geul (PEK2).

Het bestaan van het tunneldal bij Nij Beets is al langer bekend. In 1984 is de Grondwaterkaart van Nederland blad Sneek/Heerenveen gepubliceerd (Uil & de Heer, 1984). Op het bij deze kaart uitgegeven geohydrologisch profiel C-C' is het tunneldal bij Nij Beets reeds weergegeven (zie figuur 3). De geul is tot een diepte van 170 m -mv ingetekend, waarbij het diepste deel met kleilig materiaal is opgevuld. Uitgangspunt voor de geometrie van het tunneldal was alleen boring

11B71 (nu bekend als de hierboven genoemde boring B11B0071), gelegen in het puttenveld van de winning Nij Beets.

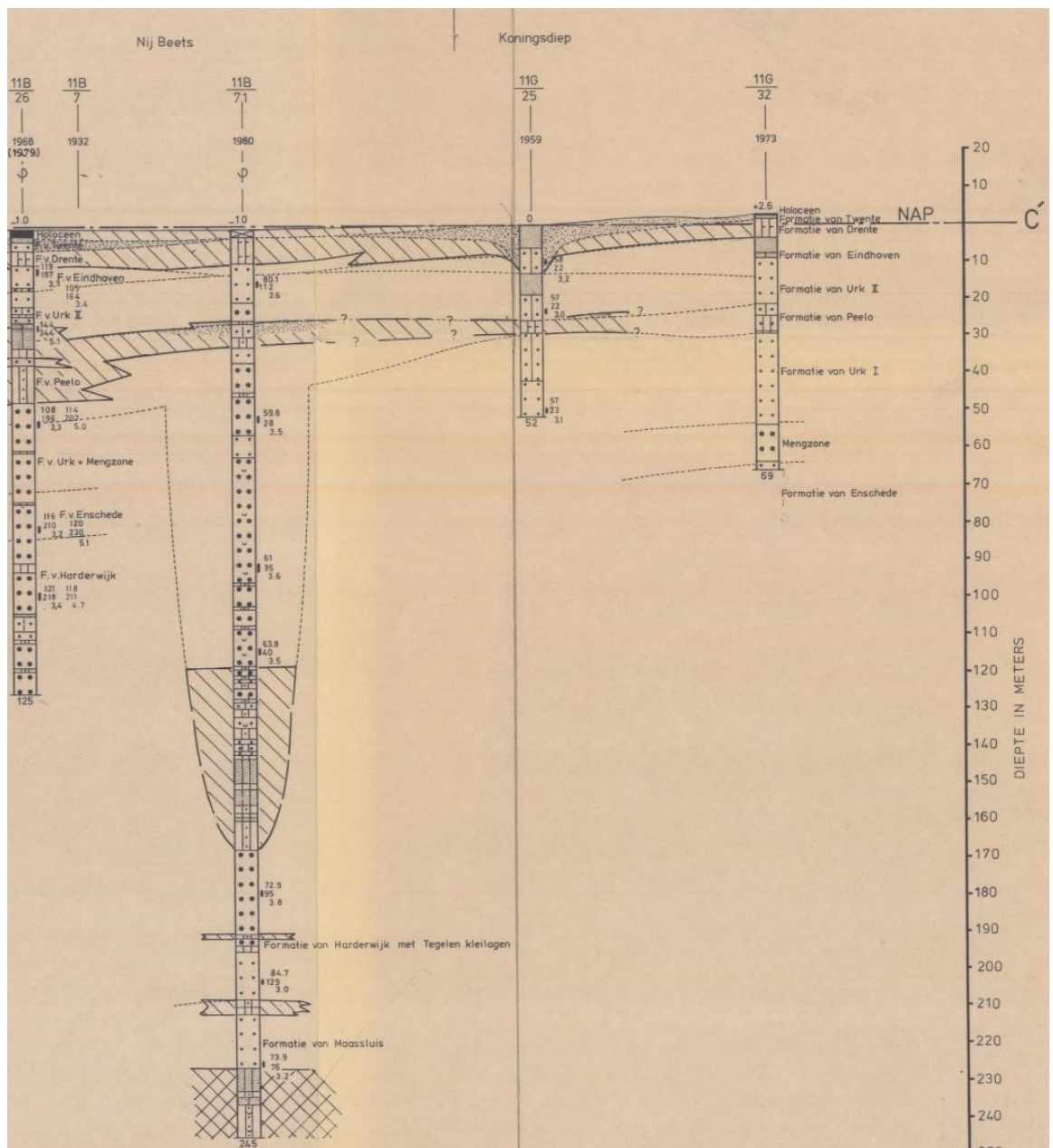


Fig. 3. Uitsnede uit profiel C-C' behorende bij blad Sneek/Heerenveen van de Grondwaterkaart van Nederland (1984). Het tunneldal bij Nij Beets is ingetekend tot een diepte van circa 170m en is aan de basis opgevuld met kleilig materiaal.

Het in de inleiding genoemde rapport uit 1990 (RGD, 1990) geeft twee profielen in de omgeving van de winning Nij Beets. Op de profielen is eveneens het tunneldal weergegeven ter hoogte van boring B11B0071, ditmaal tot een diepte van ongeveer 190 m -NAP (figuur 4 en bijlage A). Hierbij is aan de basis van de geul, onder een potklei lichaam, zandig materiaal ingetekend.

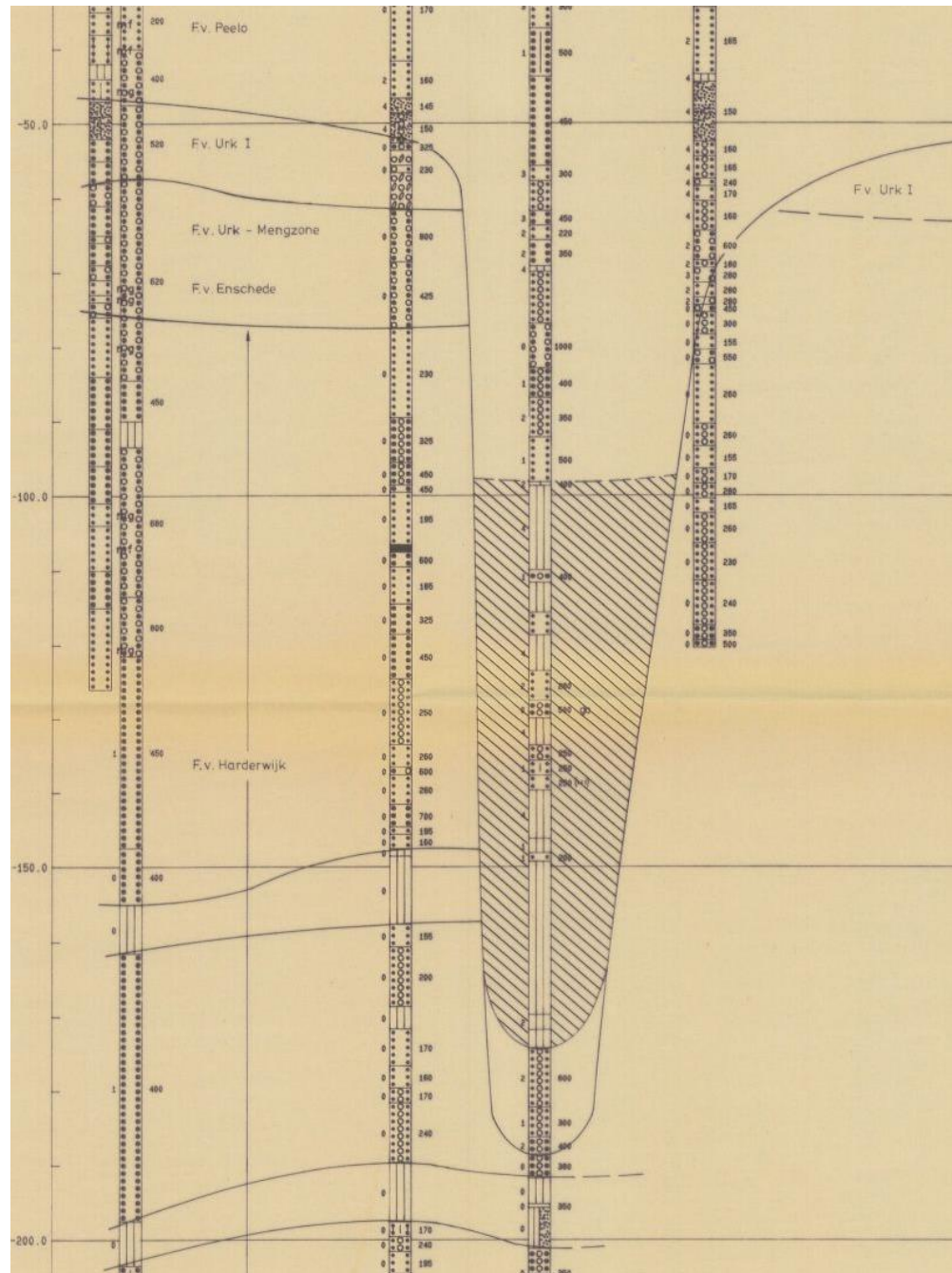


Fig. 4. Detail van Profiel A-A' behorende bij het rapport van de RGD uit 1990. Het tunneldal bij Nij Beets is ingetekend tot een diepte van circa 190 m. Hierbij is aan de basis van de geul, onder een potklei lichaam, zandig materiaal ingetekend (zie bijlage A voor het volledige profiel).

In 2007 zijn door TNO kaarten gegenereerd van de top, basis en dikte van de keileem en ondiepe klei in de omgeving van Nij Beets (TNO, 2007). Er zijn geen nieuwe profielen geconstrueerd.

3 Werkzaamheden

De hoofdwerkzaamheden van het in dit rapport beschreven onderzoek hebben bestaan uit (1) voorbereidende werkzaamheden, (2) seismische interpretatie, (3) het opstellen van geologische profielen, (4) een inventarisatie van de potkleivoorkomens en (5) het uitvoeren van een risicoanalyse en het opstellen van aanbevelingen. In dit hoofdstuk worden de diverse werkzaamheden toegelicht. In hoofdstuk 4 en 5 worden de resultaten ervan besproken.

3.1 Voorbereidende werkzaamheden

De volgende voorbereidende werkzaamheden zijn uitgevoerd:

- Het digitaliseren van in DINO aanwezige analoge boordata en het digitaliseren en verwerken van door Vitens aangeleverde analoge boordata. De verwerkte boorgegevens zijn toegevoegd aan de DINO database van TNO
- Het inrichten van een GIS omgeving
- De selectie van boorgegevens in het projectgebied
- Het verzamelen van digitaal beschikbare 2D en 3D seismische lijnen uit www.nlog.nl in het onderzoeksgebied
- Het inventariseren van geschikte analoge 2D seismische lijnen in het gebied

3.2 Seismische interpretatie

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de seismische onderzoeksmethode (doorgaans seismiek genoemd). Seismiek is een geofysische methode waarmee de structuur en opbouw van de ondergrond in beeld kan worden gebracht. De techniek werkt met akoestische bronnen ('geluid') welke nabij het aardoppervlak worden gegeneerd. De opgewekte geluidsgolven reizen in de ondergrond en kaatsen terug op akoestische contrasten in de ondergrond. Deze contrasten liggen meest op laagovergangen (bijvoorbeeld van klei naar grof zand) en zijn het gevolg van verschillen in dichtheid en stijfheid van de lagen. De teruggekaatste signalen worden aan het oppervlak weer opgevangen. Een deel van de signalen reist verder in de ondergrond en kaatst terug op nog dieper gelegen laagovergangen. De reistijd van het signaal van de bron, via de ondergrond, terug naar de ontvanger is een maat voor de diepte waar de laagovergang zich bevindt. Seismische surveys kunnen langs lijnen worden opgemeten (2D seismiek) of gebiedsdekkend (3D seismiek). Op deze wijze wordt de ondergrondse structuur in beeld gebracht.

De voor dit onderzoek bestudeerde seismiek is in het verleden verzameld voor olie, gas- en zoutexploratie met als primaire doel diepgelegen formaties in beeld te brengen. De oudst beschikbare lijnen zijn 2D surveys uit de jaren '60 van de vorige eeuw en alleen beschikbaar in analoge vorm. Recentere 2D lijnen zijn van hogere kwaliteit en digitaal beschikbaar. Gebieden die op basis van 2D seismische lijnen economisch interessant leken, zijn in een latere fase in 3D opgenomen. De meer recente 2D lijnen zijn weliswaar ouder dan de 3D surveys maar van redelijk goede kwaliteit.

Figuur 5 geeft een overzicht van de ligging van de beschikbare digitale seismische surveys in het onderzoeksgebied. De in dit figuur gepresenteerde seismische gegevens zijn ontsloten via www.nlog.nl. De figuur laat zien dat het grootste deel van het gebied wordt gedekt door 3D seismische surveys (aangegeven in blauw). In het noordelijk deel liggen alleen een aantal 2D lijnen. Deze 2D lijnen komen uit drie digitaal beschikbare 2D surveys genaamd FR75, L2CHE1982A en L2CHE1984A.

Op www.nlog.nl staat ook een overzicht van analoge 2D lijnen (papieren versies, veelal oude 2D surveys). Deze analoge lijnen zijn beoordeeld op kwaliteit, bruikbaarheid en de aanwezigheid van tunneldalen. Op geen enkele van deze lijnen zijn aanwijzingen te vinden van diep ingesneden tunneldalen. Om deze reden zijn analoge seismische data niet meegenomen in dit onderzoek.

Seismische lijnen hebben een verticale as in tijd (in milliseconden). Deze tijd geeft aan hoe lang een signaal erover heeft gedaan om van het aardoppervlak (waar het akoestische signaal is opgewekt), terug te kaatsen op een reflector in de ondergrond en weer terug te reizen naar het oppervlak (alwaar ontvangers staan). Zogenaamde tijd-diepte conversie is nodig om de reistijd van het signaal om te zetten in daadwerkelijke dieptes beneden maaiveld. De tijd-diepte conversie is uitgevoerd met een signaal snelheid van iets meer dan 1800 m/s.

Methodiek

Op de seismische data is, met behulp van het software programma Petrel, de basis van de Formatie van Peelo geïnterpreteerd. Van de 3D dataset is iedere 20° zogenaamde Inline en Xline geïnterpreteerd, dat wil zeggen iedere 500 m een noord-zuid lijn en iedere 500 m een oost-west lijn. Daarnaast is op alle 2D lijnen de basis van de Formatie van Peelo geïnterpreteerd.

Bij seismische interpretatie wordt gekeken naar de reflectiepatronen welke de in de ondergrond voortreizende signalen hebben gegeneerd. Daarbij zijn reflectieafsnijdingen en de zogenaamde seismische facies grenzen van belang. Met behulp van de boringen kunnen de reflectiepatronen en de opgeboorde lithostratigrafische eenheden aan elkaar worden gekoppeld.

De beschikbare seismische lijnen hebben een diepte-beperving. De 3D seismiek geeft alleen informatie dieper dan 200 m. Sommige 2D lijnen geven al informatie vanaf 100 m beneden maaiveld. Deze beperking is gerelateerd aan het doel waarvoor de seismiek destijds is geschoten, namelijk het in beeld brengen van nog veel dieper gelegen olie- en gas- en/of zoutreservoirs.

Alleen de basis van de Formatie van Peelo is geïnterpreteerd. Daarbij is boorinformatie gebruikt om de seismische signatuur te toetsen op lithologische beschrijvingen en boorgatmetingen. Op seismische lijnen valt de basis van deze formatie vaak op als een verticale insnijding in veelal (sub)horizontaal gelaagde, oudere afzettingen. Gezien de beperkingen van de gebruikte seismiek is voorwaarde daarmee wel dat de insnijdingen dieper dan 100-200 m zijn. Ondiepere Peelo geulen zijn met de beschikbare soort seismiek niet te karteren.

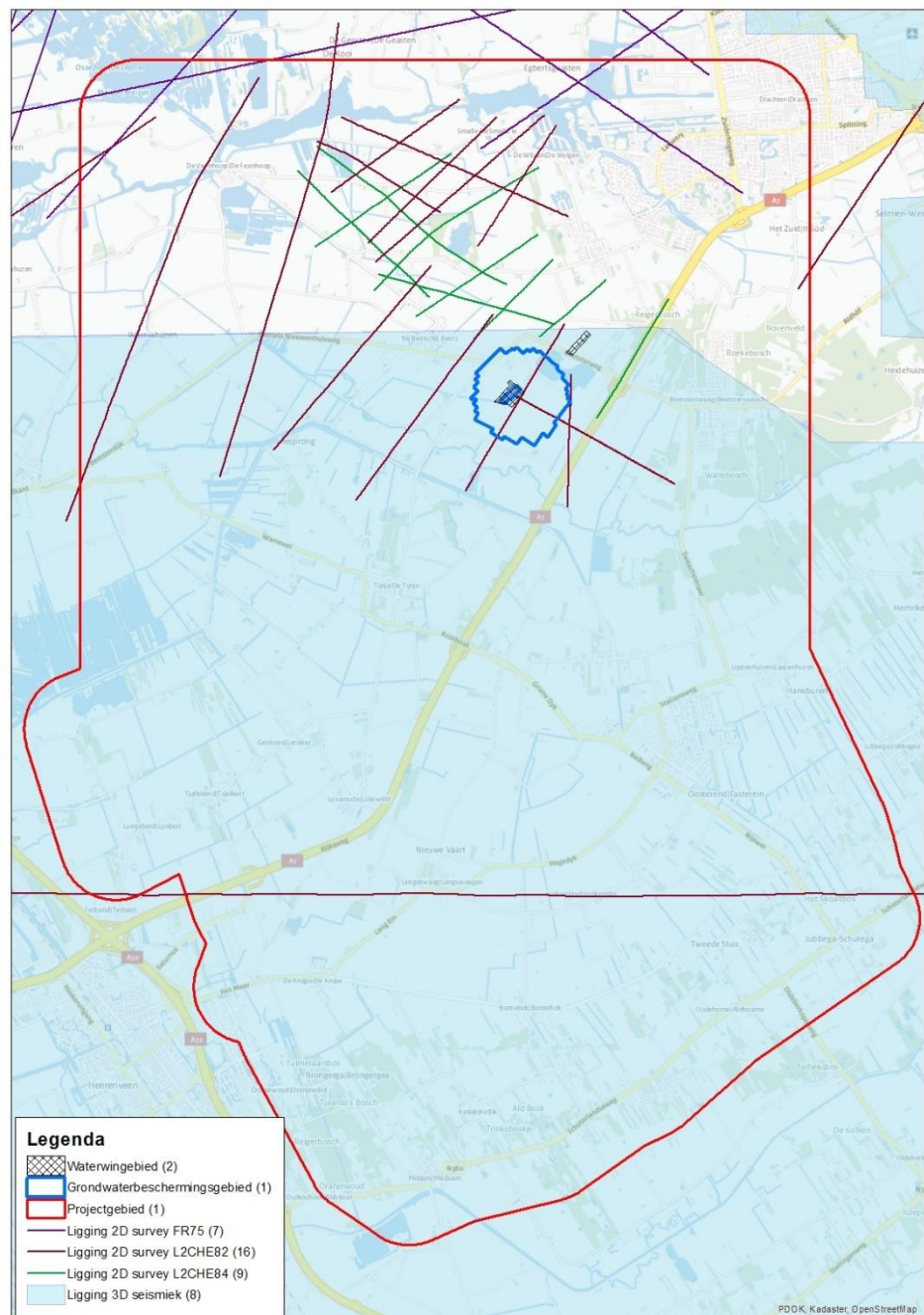


Fig. 5. Kaart van het onderzoeksgebied, het grondwaterbeschermingsgebied en de ligging van de gebruikte 3D surveys (in lichtblauw) en 2D seismische lijnen (aan de noordzijde van het gebied).

3.3 Opstellen geologische profielen

Na het digitaliseren van de analoge boringen en het laden van deze boringen in de DINO database is een data-extractie uitgevoerd van alle boringen gelegen binnen

het projectgebied. Alleen boringen dieper dan 10 m zijn geselecteerd. Deze set omvat 291 boringen, waarvan 25 boringen dieper dan 100 m (zie figuur 6). Drie geologische profielen zijn gedefinieerd langs boringen waarbij rekening is gehouden met de boordiepte, boorkwaliteit en de aanwezigheid van geofysische boorgatmetingen. Profielen 1 en 2 kruisen elkaar ter hoogte van boring B11B0071 in het huidige puttenveld van Nij Beets (figuur 6). Profiel 3 loopt langs Langezwaag over Gorredijk naar het noordoosten. De boringen gelegen op de profielen zijn waar nodig stratigrafisch ge(her)ïnterpreteerd waarna het ruimtelijk verloop van de geologische eenheden tussen de boringen is vastgesteld.

3.4 Inventarisatie potklei

Potklei is in een Noord Nederland veel voorkomende kleisoort met zeer specifieke eigenschappen. Kenmerkend is het hoge lutumgehalte, de hoge mate van compactie en het sterk waterkerende karakter. Alle genoemde 291 boringen zijn beoordeeld op de aanwezigheid van potklei. Criteria daarbij waren de beschrijving van specifieke potklei kenmerken (compactie, kleur en dergelijke), stratigrafische ligging en een minimale dikte van 10 cm. Kleilagen met potklei-kenmerken welke op een diepte van 10 tot 40 m -NAP voorkomen zijn gerekend tot de ondiepe potklei (PEk1). Potklei voorkomens dieper dan 70 m -NAP worden gerekend tot de diepe potklei (PEk2). Kleilagen op andere dieptes en stratigrafische niveaus zijn niet meegenomen in de potklei inventarisatie.

De resultaten van deze inventarisatie zijn op kaart gezet. De boringen zijn eveneens gebruikt in een beknopte geostatistische analyse om de kansen op potklei, op plaatsen waar geen boorinformatie beschikbaar is, in te kunnen schatten.

3.5 Risicoanalyse

Voor mogelijke verzilting zijn de verdeling van de chlorideconcentraties in het grondwater en de hydrogeologie van belang. De verdeling van chloride is geïnventariseerd en vervolgens gecombineerd met de geologische bevindingen tot een verziltings-risicoanalyse. De analyse staat beschreven in hoofdstuk 5.

4 Resultaten

4.1 Seismische interpretatie

Uit de seismische interpretaties blijkt dat er in het onderzoeksgebied één diep ingesneden tunneldal van de Formatie van Peelo voorkomt. Dit dal heeft een min of meer noordnoordwest – zuidzuidoost richting, loopt onder de huidige winning Nij Beets door en gaat vlak westen van Gorredijk langs (zie figuur 7 en bijlage B). De diepte van het dal bedraagt circa 350 tot 450 m beneden het huidige maaiveld. Dat is aanzienlijk meer dan tot dusver bekend uit eerder onderzoek (hoofdstuk 2). Het tunneldal snijdt door de Formaties van Peize, het Peize-complex (en dus ook door de hydrologische basis), Maassluis, Oosterhout en tot in de Formatie van Breda. Op grotere diepte is de geul tamelijk smal, in de orde van 750 tot 850 m breed. Het tunneldal komt ten zuiden van Gorredijk samen met een ander dal welke ten oosten van Drachten naar het zuiden loopt. Vervolgens loopt deze gezamenlijke geul verder in de richting van Wolvega (bijlage B). De diepteligging van de basis van het tunneldal vertoont een nogal grillig verloop (figuur 7).

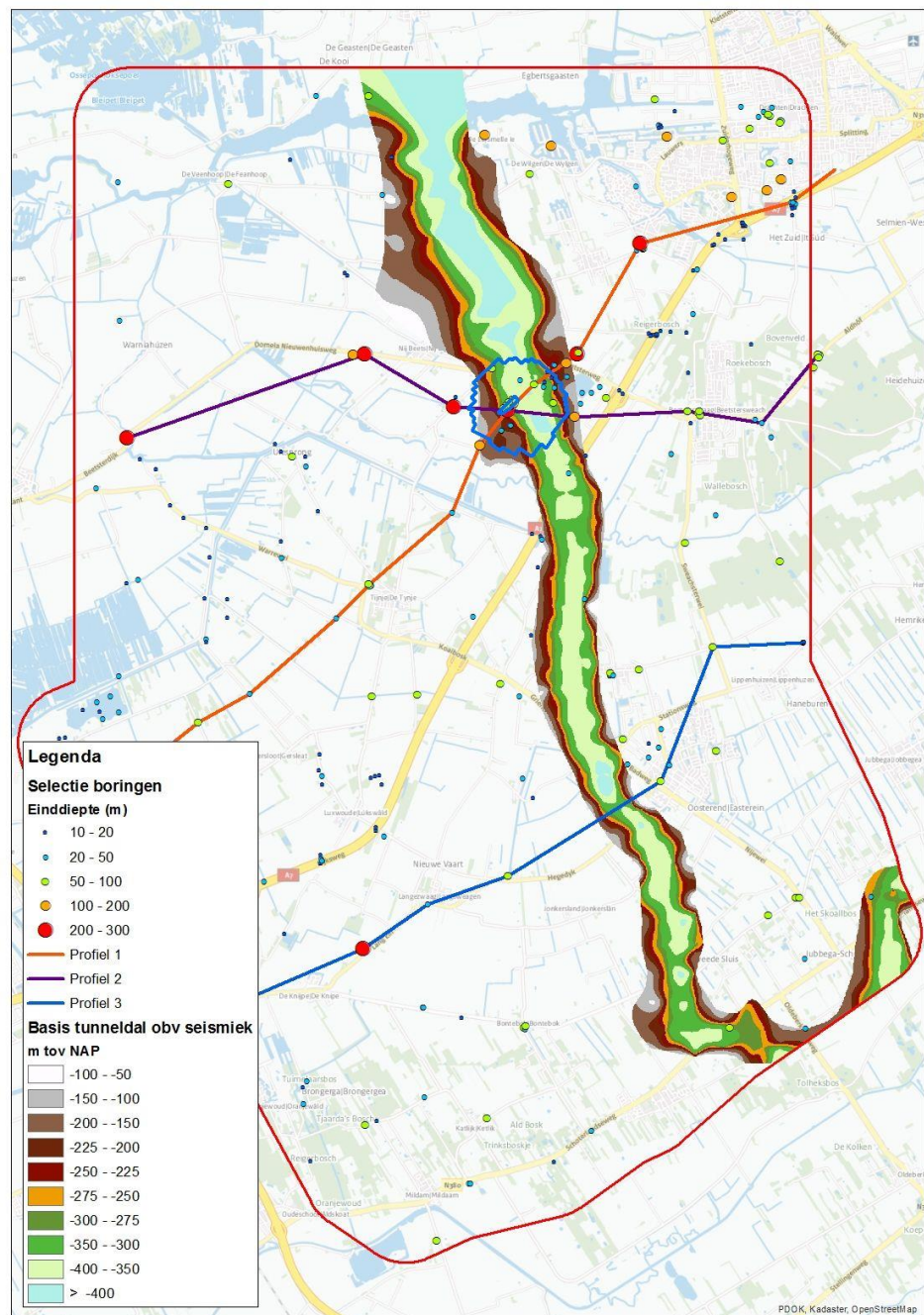


Fig. 7. Kaart van het onderzoeksgebied en de diepte van het met seismiek gekarteerde tunneldal. Het diepste deel van de geul ligt op ongeveer 350 tot 450 meter beneden het huidige maaiveld. Tunneldalen kunnen met het gebruikte type seismiek alleen worden gekarteerd indien deze dieper zijn dan circa 200 m. Het is dus mogelijk elders in het projectgebied ondiepere geulen aanwezig zijn binnen de Formatie van Peelo.

Op het overige deel van de seismiek is in het projectgebied geen (diep) tunneldal waargenomen. Het kan echter niet worden uitgesloten dat daar ondiepere geulen aanwezig zijn; ondieper dan circa 200 m is geen seismische data beschikbaar.

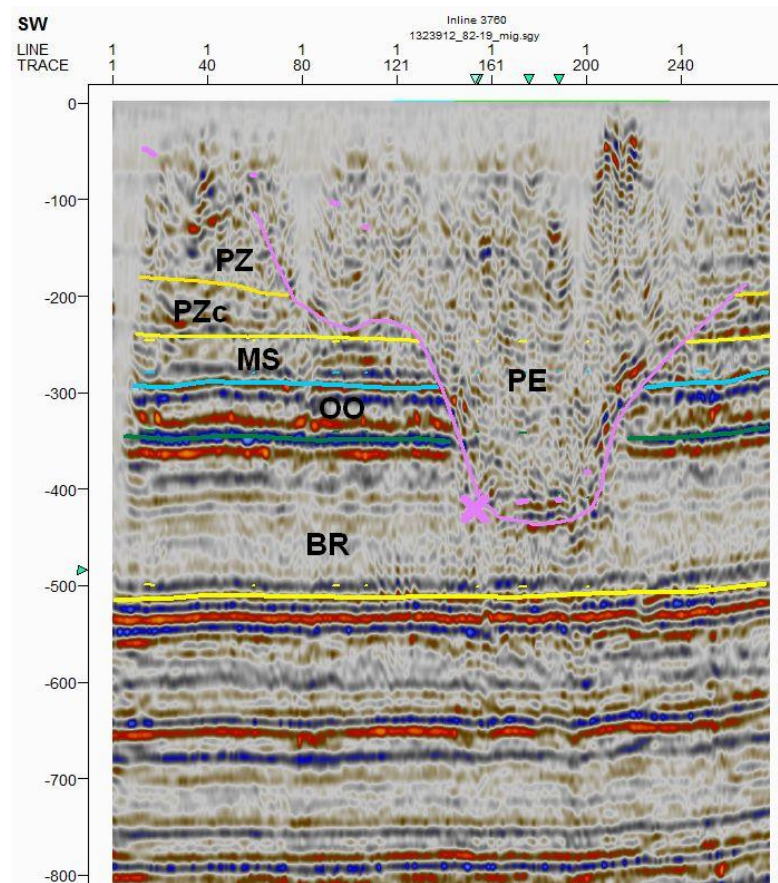


Fig. 8. Geïnterpreteerd 2D seismisch profiel (lijn L2CHE82-18). De paarse lijn geeft de basis van de Formatie van Peelo (PE) aan. Het tunneldal snijdt door de Formaties van Peize (PZ), Maassluis (MS) en Oosterhout (OO) tot in de Formatie van Breda (BR). De verticale as geeft de tijd in ms (400 ms is circa 380 m). Het profiel is 3500 m breed.

Figuur 8 geeft een goede indruk van het tunneldal zoals deze is ingesneden in de oudere formaties. Op enkele 2D lijnen van hogere kwaliteit zijn binnen de geïnterpreteerde Peelo geul sterke reflecties te zien (zie figuur 9). Deze reflecties worden geïnterpreteerd als de diepe potklei (PEk2). De ondiepe potklei (PEk1) is te ondiep gelegen om met de gebruikte soort seismiek te kunnen worden waargenomen.

Het is niet waarschijnlijk dat de diepe potklei (PEk2) nauw aansluit aan de aangrenzende kleiige eenheden zoals de complexe eenheid binnen de Formatie van Peize (REGIS eenheid PZc, zie figuur 9 en de volgende paragraaf). Tijdens de vorming van de diepe potklei, in diepe zoetwatermeren welke de tunneldalen opvulden, traden waarschijnlijk massa bewegingen op langs de steile flanken van de geulen, welke zijn ingesneden in een overwegend zandige ondergrond. Deze hellingafzettingen zijn sterk heterogeen, waaronder een zeker aandeel zand.

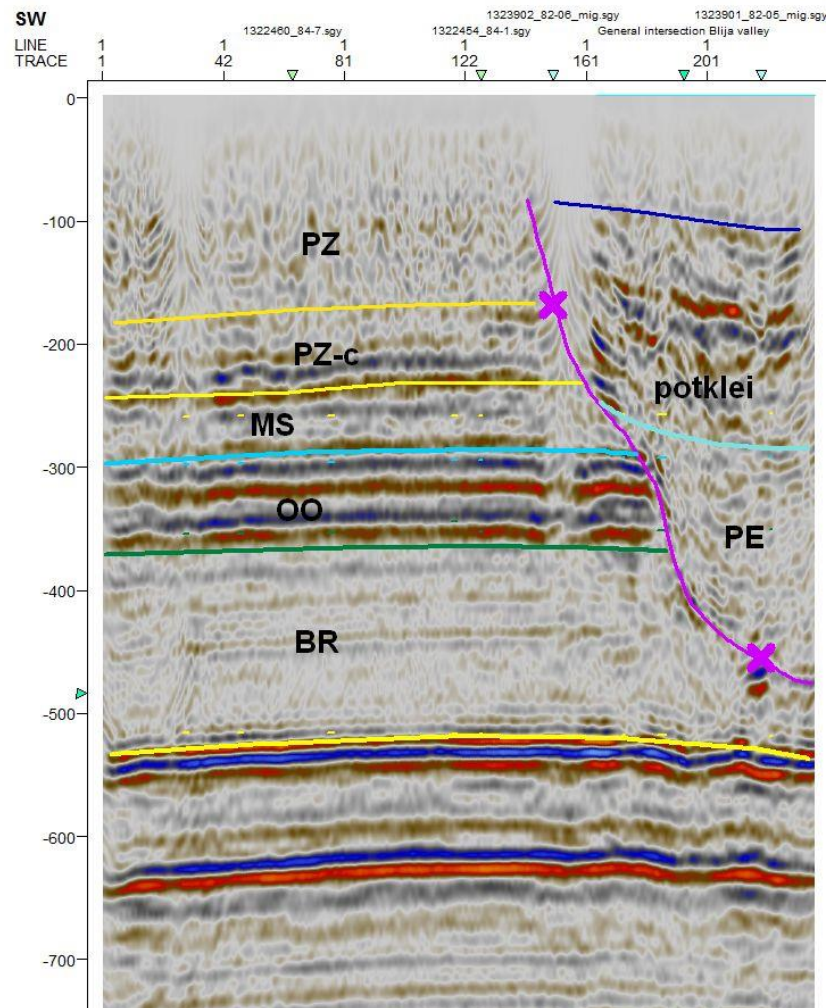


Fig. 9. Geïnterpreteerd 2D seismisch profiel (lijn L2CHE84-2). De paarse lijn geeft de basis van de Formatie van Peelo (PE) aan. Het tunneldal snijdt door de Formaties van Peize (PZ), Maassluis (MS) en Oosterhout (OO) tot in de Formatie van Breda (BR). In het tunneldal zijn de sterke reflecties zichtbaar, welke waarschijnlijk door de diepe potklei (PEK2) worden gegenereerd. De verticale as geeft de tijd in ms (400 ms is circa 380 m). Het profiel is 2900 m breed.

4.2 Geologische profielen

Op basis van de lithostratigrafisch ge(her)interpreteerde boringen en boorgatmetingen zijn drie geologische profielen geconstrueerd (zie figuren 10-12 en bijlage C). Vanwege de schaal is alleen het bovenste deel van het diepe tunneldal van de Formatie van Peelo weergegeven.

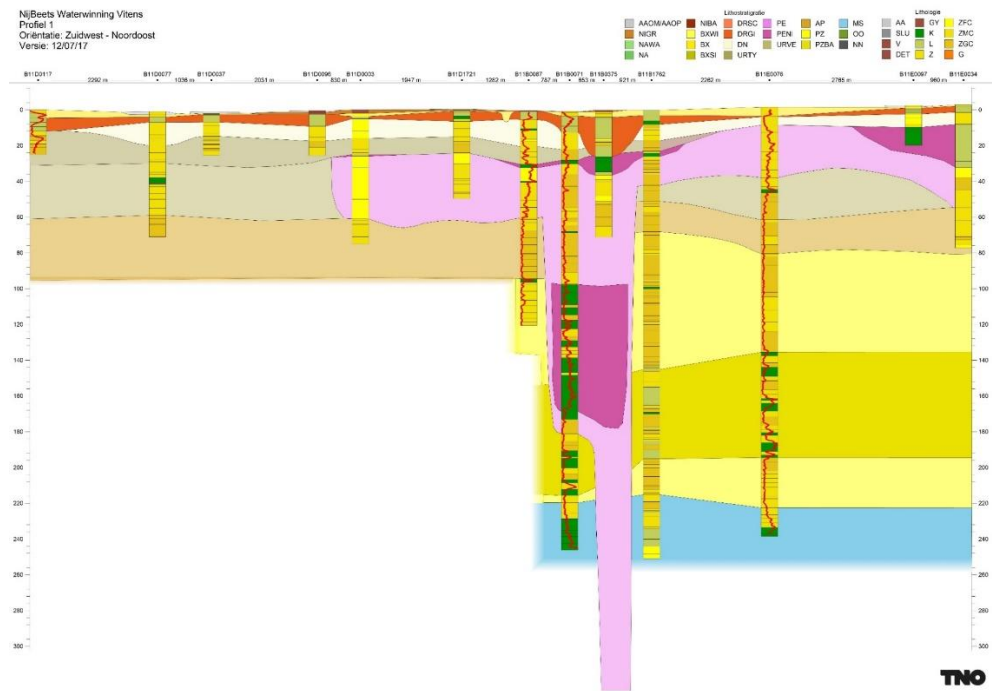


Fig. 10. Geologisch profiel 1. Zie figuur 6 en 7 voor de ligging van dit profiel en bijlage C voor een grotere versie.

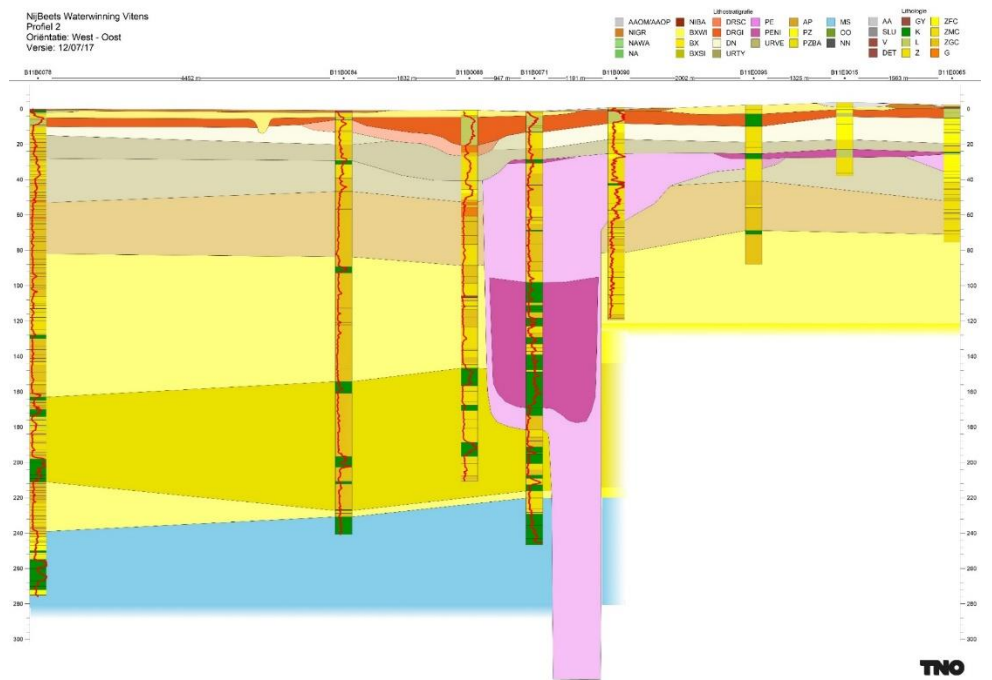


Fig. 11. Geologisch profiel 2. Zie figuur 6 en 7 voor de ligging van dit profiel en bijlage C voor een grotere versie.

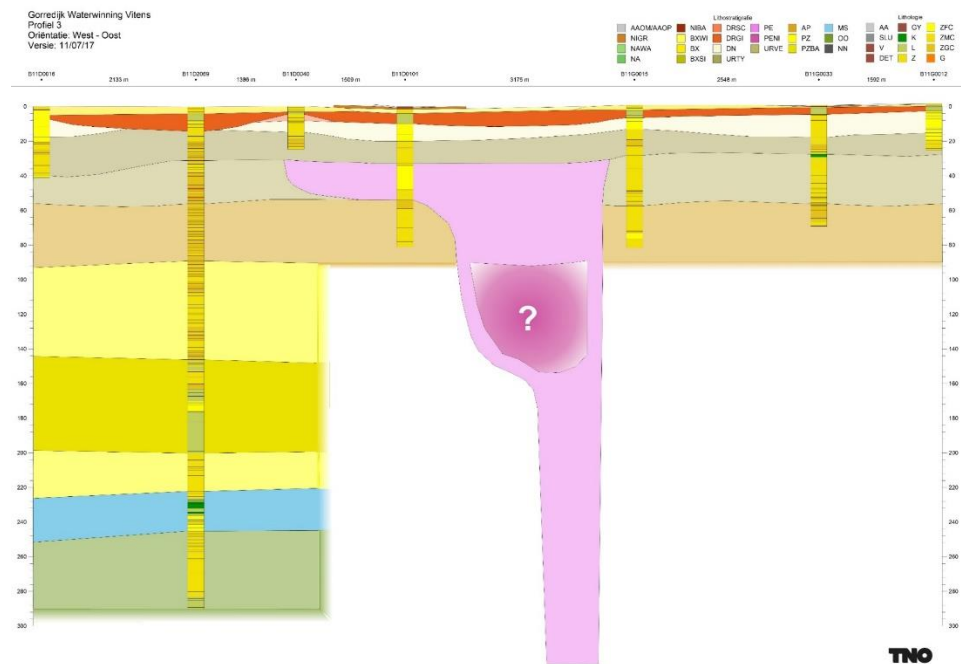


Fig. 12. Geologisch profiel 3. Zie figuur 6 en 7 voor de ligging van dit profiel en bijlage C voor een grotere versie.

Er zijn geen boringen die precies in het midden van deze geul zijn gezet en al helemaal niet tot grote diepte. Boring B11B0071 staat weliswaar in de geul, maar enigszins aan de flank ervan.

Het geologisch profiel geeft evenwel een beeld van de differentiële invulling van de Formatie van Peelo. Aan de top van de Formatie van Peelo ligt de ondiepe potklei (PEk1) of zeer fijn zand met een dikte van maximaal 4 tot 10 m. Naar het noordoosten toe, richting het tunneldal welke oost van Drachten ligt, wordt dit pakket over het algemeen dikker (tot meer dan 20 meter, zie profiel 1). Onder dit pakket, tot ongeveer 90 m -NAP ligt een pakket matig tot zeer grof zand, met soms dunne (<2m) kleilagen en zeer fijne zandlagen. Deze dunne kleilagen variëren tussen boringen sterk in hun diepteligging en zijn niet onderling te correleren. Ze worden daarom niet tot de ondiepe danwel diepe potklei gerekend en zijn ook niet meegenomen in de geostatistische analyse zoals beschreven in de volgende paragraaf.

Het diepe potkleipakket (PEk2) heeft een diepteligging van ongeveer 90 m -NAP tot meer dan 170 m -NAP. Dit interval lijkt uit twee delen te bestaan zoals herkenbaar in de boorgatmeting van boring B11B0071. De bovenste 40 tot 50 meter is een gelaagd interval met klei- en zandlagen van enkele meters dik, terwijl de onderste 20 tot 30 meter een zeer massief potkleipakket is met zeer weinig tot geen fijnzandige intervallen.

Het diepe potkleipakket is schematisch ingetekend en sluit niet direct aan op de flanken van het tunneldal, in overeenstemming met hetgeen is aangegeven in de vorige paragraaf. Het is niet bekend of de diepe potklei ter plaatse van profiel 3 aanwezig is.

De invulling van het diepste deel van het tunneldal is niet aangeboord. Wel is onderin boring B11B0071 zeer grof zand aanwezig wat geïnterpreteerd wordt als

hellingafzetting. Diepe boringen, gelegen in de diepste delen van tunneldalen elders in Noord Nederland, laten zien onderin de geulen overwegend matig grof tot zeer grof zand, incidenteel met wat grind, voorkomt. In dit grofzandige pakket zijn vaak sporen te vinden (zoals glauconiet, kleiballen, fossielen, etc.). van Vroeg-Kwartaire en zelfs Tertiaire formaties welke door het smeltwater stroomopwaarts zijn geërodeerd.

Op de profielen is verder zichtbaar dat keileem vrijwel overal voorkomt. De dikte varieert sterk. Het Peize complex (Laagpakket van Balk van de Formatie van Peize) is in aanleg overal aanwezig maar de dikte, samenstelling en continuïteit van de slecht doorlatende lagen varieert sterk en kan plaatselijk vrijwel afwezig zijn (zoals in boring B11B1762 ten noordoosten van de huidige winning Nij Beets).

4.3 Inventarisatie en geostatistische analyse ondiepe potklei

In boringen met voldoende diepte zijn de top en basis van de ondiepe en de diepe potklei (PEk1 en PEk2) bepaald. De diepe potklei is slechts in 5 boringen aangetroffen. Deze boringen liggen allen in het tunneldal bij de huidige winlocatie Nij Beets (figuur 13).

In 62 boringen is de ondiepe potklei aangetoond, zie eveneens figuur 13. Een aantal boringen heeft wel de vereiste diepte voor de ondiepe potklei (tussen de 10 en 41 m -NAP), maar heeft een dusdanig lage kwaliteit dan niet kan worden aangetoond dat de ondiepe potklei daadwerkelijk aan- of afwezig is.

De ondiepe potklei is vrijwel alleen in de noordoosthoek van het projectgebied aangetoond. Met name in de richting van Drachten neemt zowel het aantal boringen met ondiepe potklei, alsmede de dikte van deze ondiepe potklei, toe. In het overige deel van het projectgebied is geen ondiepe potklei aangeboord.

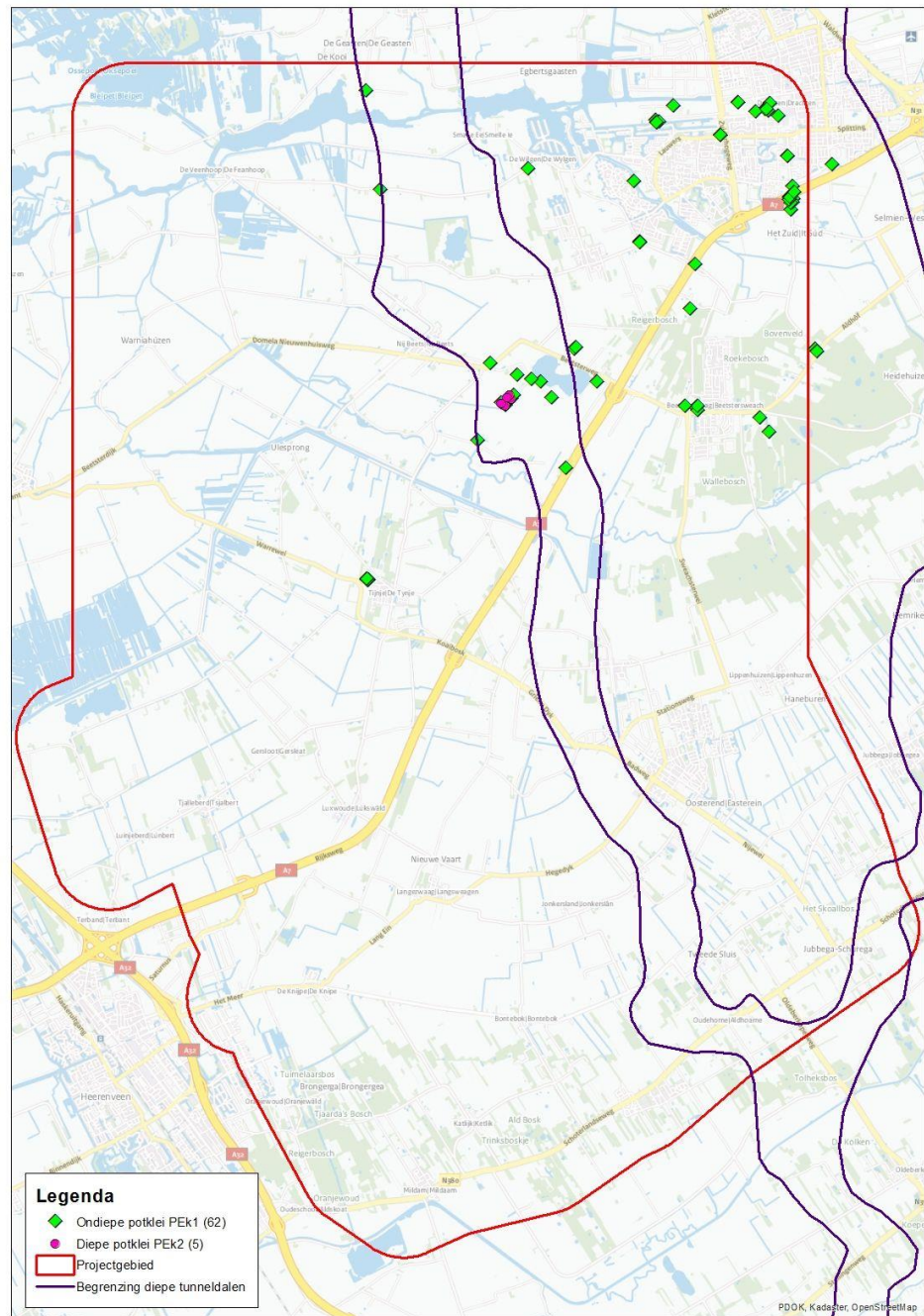


Fig. 13. Kaart van het onderzoeksgebied en de ligging van de boringen met ondiepe potklei (PEK1, groen) en diepe potklei (PEK2, in paars).

Geostatistische analyse

Alle boringen in het projectgebied zijn gebruikt om uitspraken te kunnen doen over de kans op aanwezigheid van ondiepe potklei (PEK1) op plaatsen waar geen boringen beschikbaar zijn. Enkele boringen zijn uitgesloten van deze analyse

vanwege het te lage kwaliteitslabel (bijvoorbeeld WKO boringen met zeer slechte laagbeschrijvingen).

De kans op aanwezigheid van ondiepe potklei is berekend met behulp van de volgende boorclassificaties:

1. Boringen waarin de Formatie van Peelo niet is aangetroffen en die een einddiepte hebben dieper dan 40m – NAP (het diepst gelegen niveau waarop PEk1 is aangetroffen). Er wordt verondersteld dat deze boringen dan inderdaad geen potklei hebben: de kans op potklei = 0
2. Boringen waar de Formatie van Peelo wel is aangetroffen, maar deze niet geheel is doorboord en waarin geen potklei is aangetroffen tot op een diepte tot -40m NAP: kans op potklei = 0
3. Alle boringen waarin ondiepe potklei is aangetroffen: kans op potklei = 1

Omdat de boringen vaak geclusterd voorkomen is per gridcel van 100x100m het aantal boringen bepaald dat voorkomt binnen deze cel en is de gemiddelde kans op voorkomen van potklei bepaald. Op deze manier wordt de invloed van een cluster van boringen enigszins gereduceerd. Dit levert een dataset van 63 datapunten op, waarvan 28% met kans = 0 op potklei en 72% met kans=1 op potklei. Een vlakdekkend beeld van de (kans op) aan- en afwezigheid van ondiepe potklei is vanuit deze dataset geïnterpoleerd met behulp van Indicator Kriging naar een grid met een resolutie van 100x100m.

De korte-afstand variabiliteit van de ondiepe potklei is groot, zoals ook blijkt uit de ruimtelijke analyse met behulp van een variogram. De verhouding tussen korte (<250m) en langere afstands-variabiliteit is hoog, ongeveer 45%. Met de huidige configuratie van datapunten en de grote variatie over korte afstand, is de onzekerheid van het voorkomen van klei voor een groot deel van het gebied hoog.

Het ruimtelijk patroon van de kansen op aanwezigheid van ondiepe potklei (PEk1) laat zien dat de kansen in noordoostelijke richting groter worden. De kansen op hogere hydraulische weerstand boven het niveau van de onttrekkingsfilters neemt dus in deze richting toe. Let wel, dit betreft alleen de ondiepe potklei, keileem is niet meegerekend.

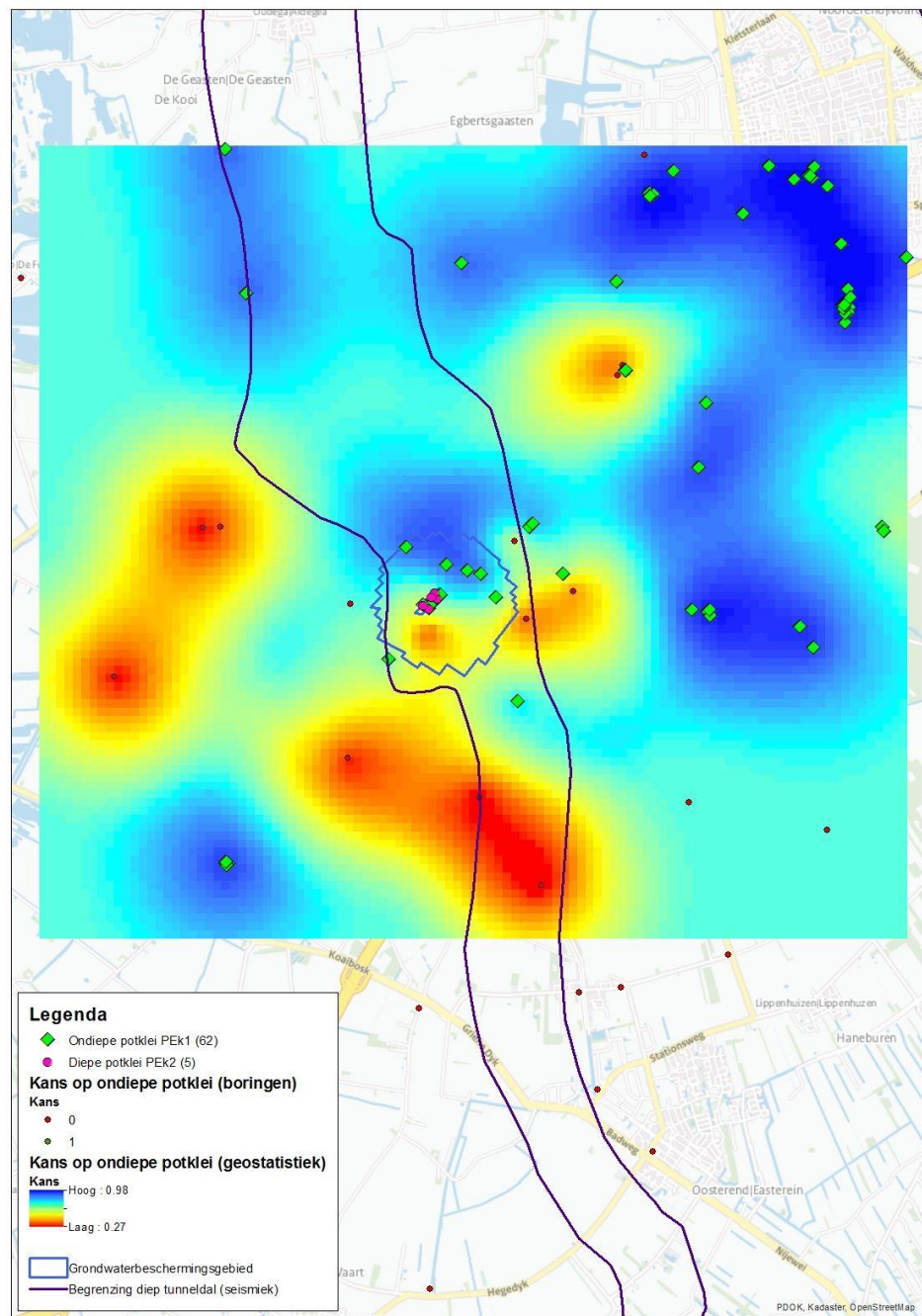
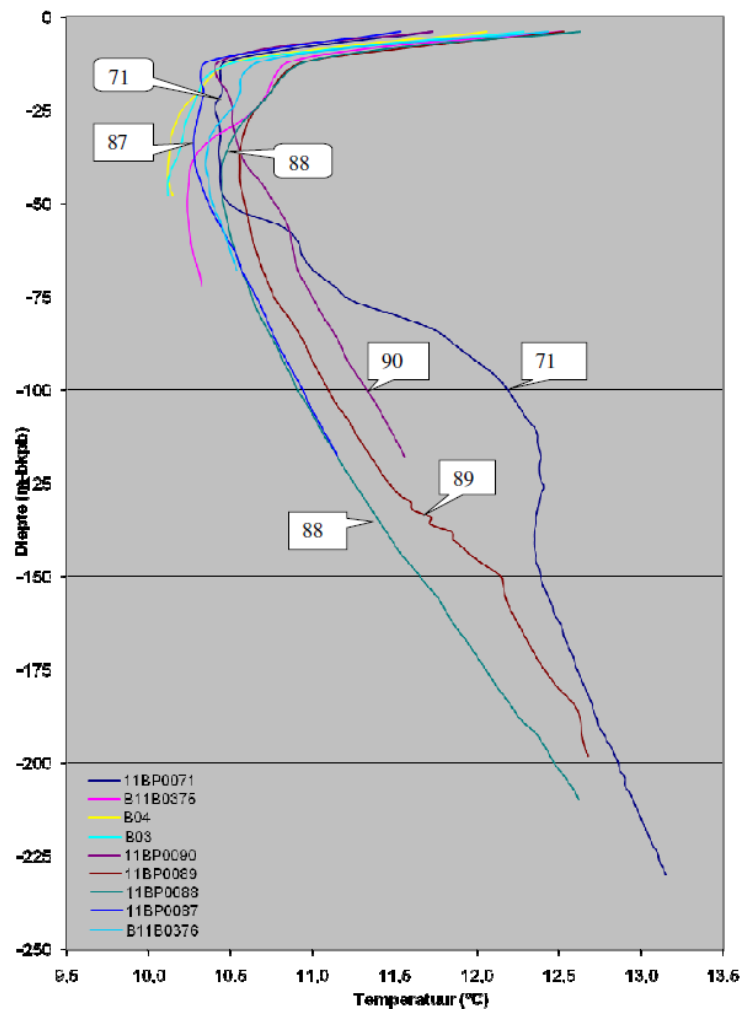


Fig. 14. Kans op ondiepe potklei (PEK1) in het noordoostelijk deel van het projectgebied (blauw is hoge kans, rood lage kans). De korte-afstand variabiliteit van de ondiepe potklei is hoog; op korte afstand kan de aan -en afwezigheid van potklei sterk variëren. In het overige deel van het projectgebied komt geen ondiepe potklei voor (zie bijlage D voor volledige kaart).

5 Analyse consequenties geologie voor mogelijke verzilting

Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek laat zien dat het diepe tunneldal bij Nij Beets en Gorredijk insnijdt tot in de mariene klei en fijne zanden van de Formatie van Breda. Hierbij worden ook de mariene afzettingen van de formaties van Maassluis en Oosterhout doorsneden. Dit betekent dat er meer contact is met het brakke of zoute water in deze formaties dan tot nog toe werd aangenomen. Ook de kleilagen binnen de complexe eenheid van de Formatie van Peize (Peize Complex, rond 200 m -NAP) zijn doorsneden. In de geul bevindt zich een massief potklei-lichaam (Pek2), maar deze sluit niet goed aan op de weerstand biedende lagen van het Peize Complex. Hierdoor is er langs de randen van de geul een kortsluitroute langs de kleipakketten aanwezig waarlangs brak water kan worden opgetrokken.



Figuur 15. Temperatuurprofielen van diverse peilbuizen bij de winning Nij Beets (Rus, 2011). Profiel 71 (boring B11B0071) laat duidelijk verhoogde temperaturen zien tussen 75 en 145 m diepte.

Dat er opwaartse stroming langs de rand van de geul is blijkt uit metingen van de grondwatertemperatuur (Rus, 2011). Het temperatuurprofiel in put B11B0071, welke op de flank van het tunneldal staat, laat duidelijk verhoogde temperaturen zien tussen 75 en 145 m diepte (figuur 15). Dit duidt op de toevoer van warm water, welke alleen van grotere diepte afkomstig kan zijn.

Er is geen informatie beschikbaar over de chlorideconcentraties onderin het tunneldal; de waarnemingsfilters van Vitens gaan niet dieper dan 240 meter. Op deze diepte zijn concentraties gemeten van 242 mg/l (11BP0071) en 171 mg/l (B11B1762).

Het regionale brak-zout grensvlak (1000 mg/l) ligt volgens de kartering van TNO uit 2012 ter plaatse van de huidige winlocatie op een diepte van circa 250 meter (figuur 16). Gezien de chloridemetingen van Vitens is de verwachting dat het niveau lokaal dieper ligt.

De interpretaties van de VES-metingen op DINOloket geven beperkte aanvullende extra informatie (zie eveneens figuur 16). Voor elke VES-meting is de onderste diepte van de interpretatie uitgelezen, waar de weerstand R_s overgaat van een waarde rond 70 naar 5 Ohm-m, wat geïnterpreteerd is als het zoet-zoutgrensvlak.

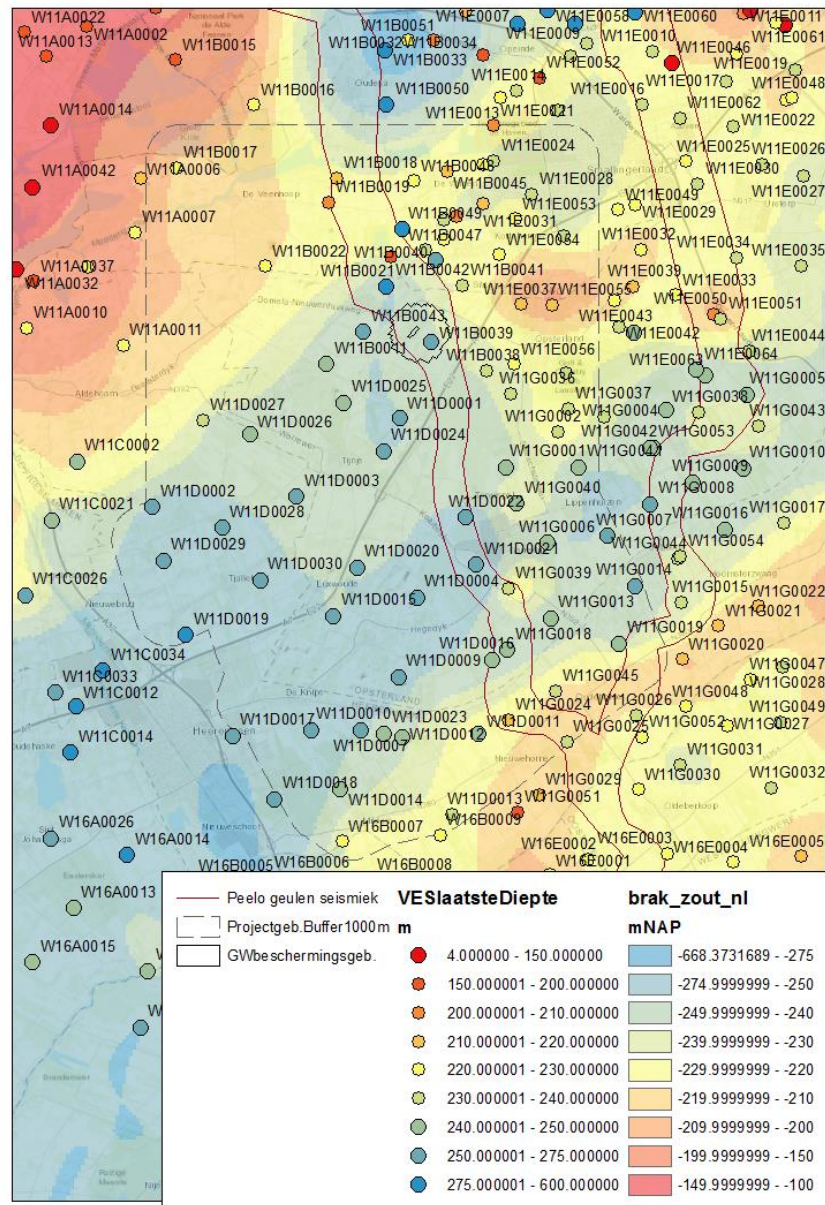


Fig. 16. Diepte ligging van het brak-zout grensvlak in meters t.o.v. NAP (TNO, 2012) en diepste interpretatievlak in VES metingen.

De VES-meting zuidoostelijk van het puttenveld van Nij Beets heeft een diepste waarde van 260 meter (W11B0039). Ten noordwesten is een diepte bepaald van 350 meter (W11B0042). Beide VES-metingen zijn uitgevoerd in de Peelo geul. De volgende VES meting in de geul (W11B0021) heeft de relatief ondiepe waarde van 200 meter, maar deze VES-meting heeft de kwalificatie 'slecht'.

Bovenstaande leidt tot de voorzichtige conclusie dat de chlorideconcentraties onder in het tunneldal hoger zijn dan 1000 mg/l. Dat is realistisch aangezien de Peelo insnijding is gevormd door de erosie van zoet water onder het landijs. Door diffusie van zout uit de mariene formaties kan het chloride gehalte onder in de insnijding wel weer toegenomen zijn omdat de zoete grondwaterstroming vanuit de oostelijk

gelegen hogere gebieden dwars over de insnijding stroomt en te gering was om dit zout uit te spoelen. Wellicht dat de historische simulaties die uitgevoerd gaan worden binnen de 'Brede grondwaterstudie Fryslân' hier meer inzicht in kunnen geven.

De combinatie van hogere chlorideconcentraties onder in het tunneldal en de kortsluitstroming langs de rand ervan kan de verhoging van de chloride concentraties bij Nij Beets verklaren.

Naast de diepe potklei in de Peelogeul (PEK2) komt er, zoals gesteld, ook ondiepe potklei voor (PEK1). Deze ondiepe potklei kan ook invloed hebben op de diepte vanwaar water wordt aangetrokken door de winputten. Potklei boven het niveau van de onttrekkingsfilters in de winputten beperkt de toestroming van bovenaf en bevordert daardoor het aantrekken van dieper grondwater. Dit effect wordt versterkt als de winputten dicht bij elkaar gelegen zijn; het effect is minder als de winputten over een groter gebied verspreid zijn.

Deze verzilting van onderaf kan tegengegaan worden bij een nieuwe winning door de putten te spreiden in de ruimte, door een locatie te kiezen met hoge weerstand tussen de onttrekkingsfilters en het zoet-brak grensvlak, met lage weerstand boven het niveau van de onttrekkingsfilters en op afstand van de rand van het diepe tunneldal.

Tot slot kan de mogelijkheid van laterale verzilting niet uitgesloten worden. Rond het jaar 1500 waren ten noorden en ten zuiden van Nij Beets waterlopen aanwezig waar intrusie van zout water plaatsgevonden zou kunnen hebben (zie figuur 17).

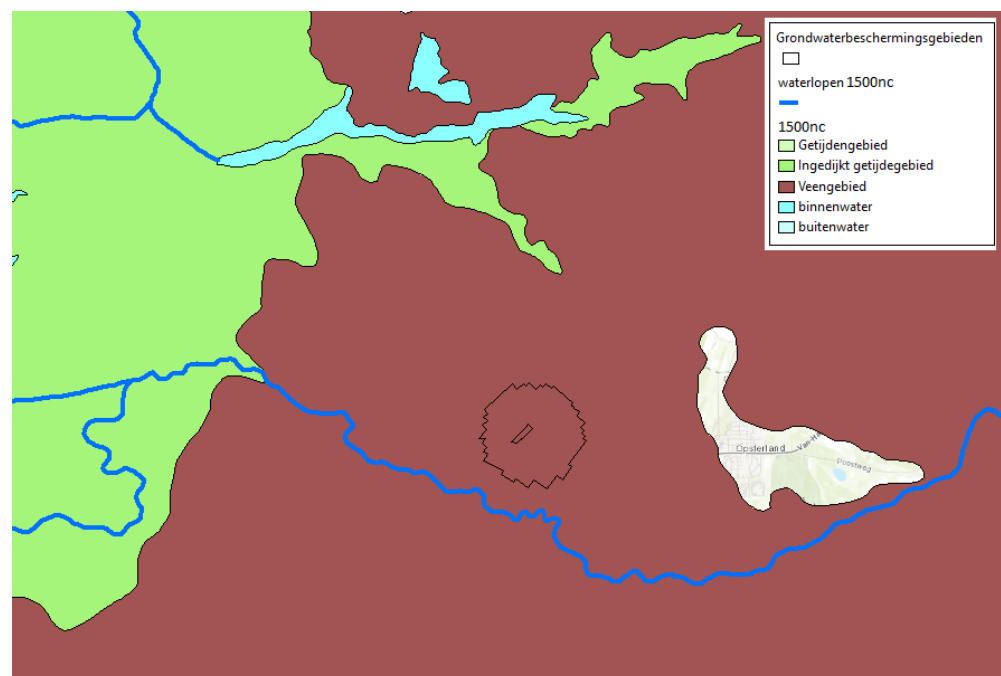


Fig. 17. Uitsnede van de paleogeografische kaart 1500 AD rondom de winning Nij Beets (Vos & de Vries, 2013).

De brakwater voorkomens van deze intrusies zullen, indien aanwezig, ruimtelijk grillig zijn. Door de grilligheid zijn er geen algemene uitspraken te doen over het voorkomen van deze vorm van verzilting.

Dat de chlorideverdeling aan de westkant van het onderzoeksgebied grillig is wordt ook bevestigd door eerder onderzoek (Uil, 1985). Figuur 18 is overgenomen uit dit onderzoek en laat de ligging van inversiegebieden zien.

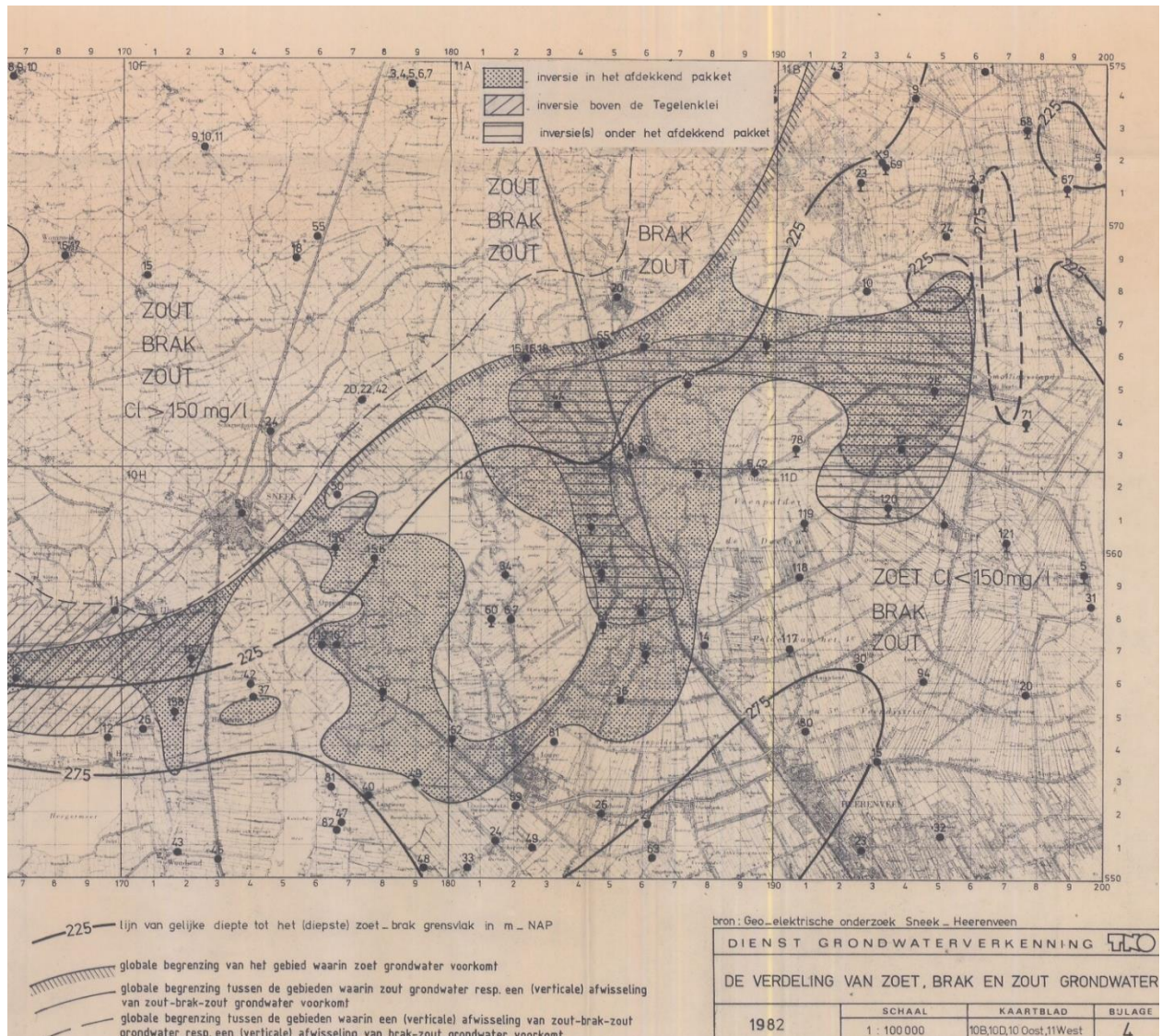


Fig. 18. Verdeling zoet, brak en zout grondwater uit Uil (1985).

Door de grondwaterkwaliteit nader te onderzoeken en datering van het onttrokken grondwater uit te voeren kan waarschijnlijk meer inzicht worden verkregen in hoeverre de verhoogde chlorideconcentraties bij Nij Beets worden veroorzaakt door optrekken van brak water van grote diepte, uit het tunneldal, of door aantrekken van ondiep brak water vanuit de westelijke intrusies. Voor een nieuwe winlocatie is het bovendien aan te bevelen om de aanwezigheid van weerstandbiedende niveaus van de potklei nader in beeld te brengen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Analyses van bestaande seismiek, welke in het verleden voor olie- en gasexploratie is uitgevoerd, laten zien dat er in het projectgebied bij Nij Beets en Gorredijk één diep ingesneden tunneldal voorkomt. Dit dal snijdt tot een diepte van circa 350-450 m – NAP in de mariene Formaties van Maassluis, Oosterhout en Breda. Dat is dus veel dieper dan uit eerder onderzoek is gebleken. De slecht-doorlatende lagen van de complexe eenheid van de Formatie van Peize zijn eveneens doorsneden. In het diepe tunneldal komt (plaatselijk) massieve potklei voor (REGIS eenheid PEK2). Dit potklei-lichaam sluit naar verwachting niet aan op de zijanten van de geul en de (doorsneden) slecht doorlatende lagen. Er is dan ook hydrologische kortsluiting te verwachten tussen de ingesneden mariene pakketten en het watervoerend pakket (Formatie van Peize) waaruit gewonnen wordt.

Ondiepe potklei (PEK1) komt vooral voor in het noordoosten van het projectgebied. De geometrie van deze potklei is tamelijk complex. Geostatistische analyse laat zien dat de kort-afstand variabiliteit groot is.

Het temperatuurprofiel in waarnemingsput B11B0071 laat zien dat er opwaartse grondwaterstroming is naar het gepompte pakket. De genoemde kortsluitstroming vormt een aannemelijke verklaring voor de waargenomen toename van de chlorideconcentraties in enkele winputten omdat onder in de geul chlorideconcentraties hoger dan 1000 mg/l voor kunnen komen. Een alternatieve verklaring is het lateraal aantrekken van ondiep brak grondwater dat afkomstig is van het binnendringen van de zee rond het jaar 1500.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van het in dit rapport gepresenteerde onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Verzilting van onderaf kan worden beperkt worden door:

1. bij een nieuwe winning de putten te spreiden in de ruimte;
2. een locatie te kiezen met hoge weerstand tussen de onttrekkingsfilters en het zoet-brak grensvlak;
3. een locatie te kiezen met lage weerstand boven het niveau van de onttrekkingsfilters;
4. een locatie te kiezen op afstand van het tunneldal en buiten het gebied dat in de late middeleeuwen door de zee is beïnvloed.

De volgende aanvullende activiteiten worden geadviseerd:

1. gebruik de nieuwste (hydro)geologische inzichten in grondwatermodellen;
2. voer dateringen van het water en grondwaterkwaliteit analyses uit om de herkomst ervan te bepalen.

Indien beter inzicht wenselijk is in de samenstelling van de ondergrond en de geometrie van slechtdoorlatende lagen zoals de ondiepe potklei, is het mogelijk nader veldwerk uit te voeren. Gezien de complexiteit van de ondergrond wordt aanbevolen aanvullend onderzoek te doen middels geofysische metingen (in 2D of 3D), ondersteund door één of meerdere boringen. Te denken valt aan hoge-resolutie seismiek waarmee al vanaf 30 m beneden maaiveld een goed beeld van de ondiepe ondergrond kan worden verkregen. Dit is dus een ander soort seismiek dan die in deze studie gebruikt is. Electromagnetische metingen vanuit een helikopter (HEM of SkyTEM) hebben hun dienst bewezen in gebieden waar de complexe Formatie van Peelo aanwezig is (zie Burval, 2006; Bosch et al 2009). Het uitvoeren van alleen een boorprogramma houdt het risico in dat de ruimtelijke correlatie van stratigrafische en hydrogeologische eenheden tussen de boringen onduidelijk blijft.

7 Referenties

Bosch, J.H.A., M.A.J. Bakker, J.L. Gunnink & B.F. Paap (2009). Airborne electromagnetic measurements as a basis for a 3D geological model of an Elsterian incision. *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 160(3), 249-258.

Burval Working Group (2006). *Groundwater resources in buried valleys. A challenge for Geosciences*. Hannover: Leibniz Inst. Applied Geoscience, 303 pp.

RGD. (1990). *Geologische opbouw rond waterwingebied Nijbeets*. RGD rapport BP 10913, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Kluiving, S.J., J.H.A. Bosch, J.H.J. Ebbing, C.S. Mesdag & R.S. Westerhoff (2003). Onshore and offshore seismic and lithostratigraphic analysis of a deeply incised Quaternary buried valley-system in the Northern Netherlands. *Journal of Applied Geophysics*, 53, 249-271.

Rus, J.S. (2011). *Evaluatie grondwaterwinning Nij Beets*. Hunzebreed, rapportnr.108, Zuidlaren.

TNO. (2007). *Nadere kartering keileem en ondiepe potklei*. Projectnr. 034.69268. Brief, ref: BG07-10.304/sh, J.A.H. Bosch, 17 april 2007, TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.

TNO. (2012). *Kartering brak-zout vlak*. Geraadpleegd op <https://www.dinoloket.nl>

Uil, H. (1985). *Geohydrologische verkenning van Nederland – hydrochemie Sneek/Heerenveen (kaartbladen 10 B, D, 10 Oost en 11 West)*. Rapportnr. OS 85-11, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

Uil, H. & E. de Heer (1984). *Grondwaterkaart van Nederland Sneek/Heerenveen Kaartbladen 10B, 10D, 10 Oost en 11 West*. Rapportnr. GWK 33, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

Vos, P. & S. de Vries (2013). *Tweede generatie palaeogeografische kaarten van Nederland*. Deltares, Utrecht. Geraadpleegd op <http://www.archeologieinnederland.nl>

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever

Vitens Waterbedrijf
t.a.v. de Heer F. Bonnema
Oude Veerweg 1
8000 GA Zwolle

Naam en ondertekening interne reviewer



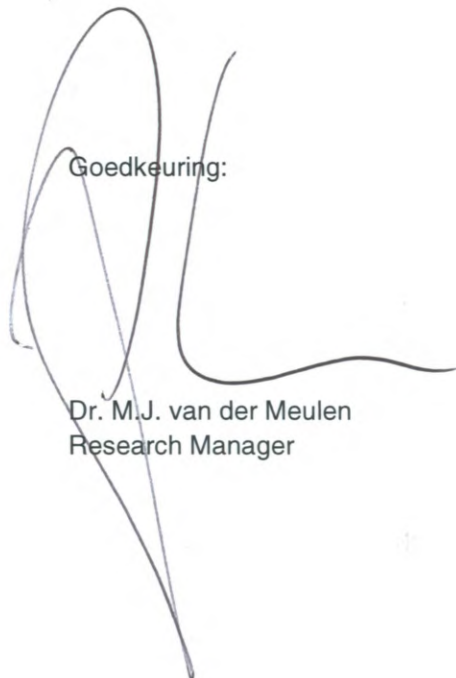
Ir. R.W. Vernes

Ondertekening:



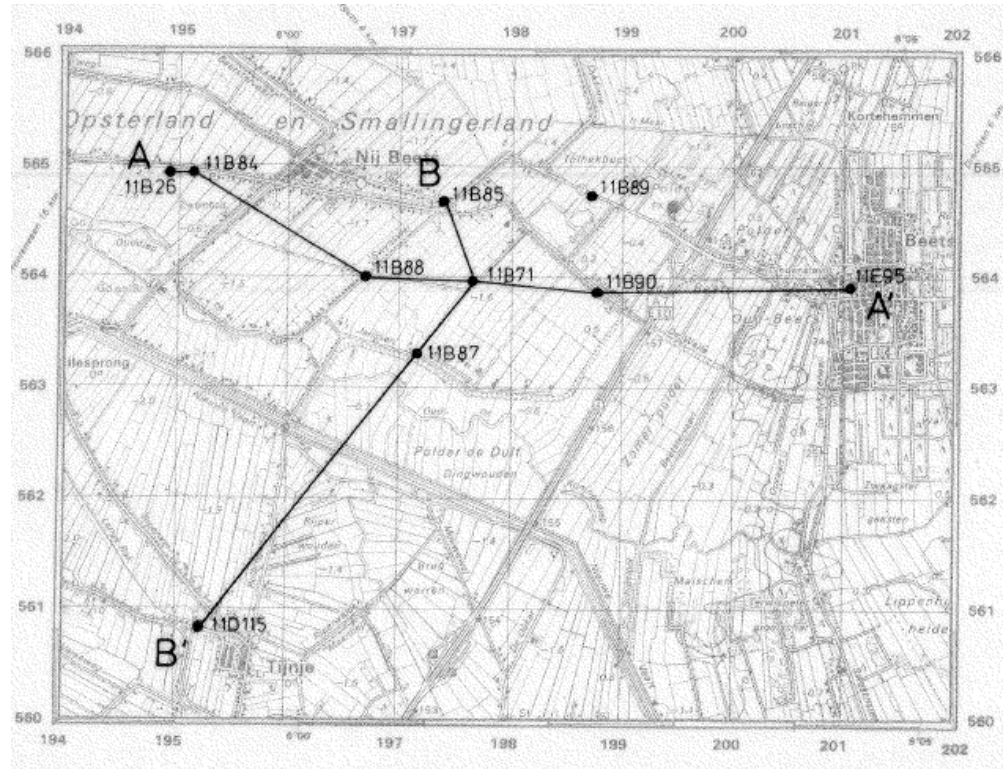
Dr. M.A.J. Bakker
Auteur

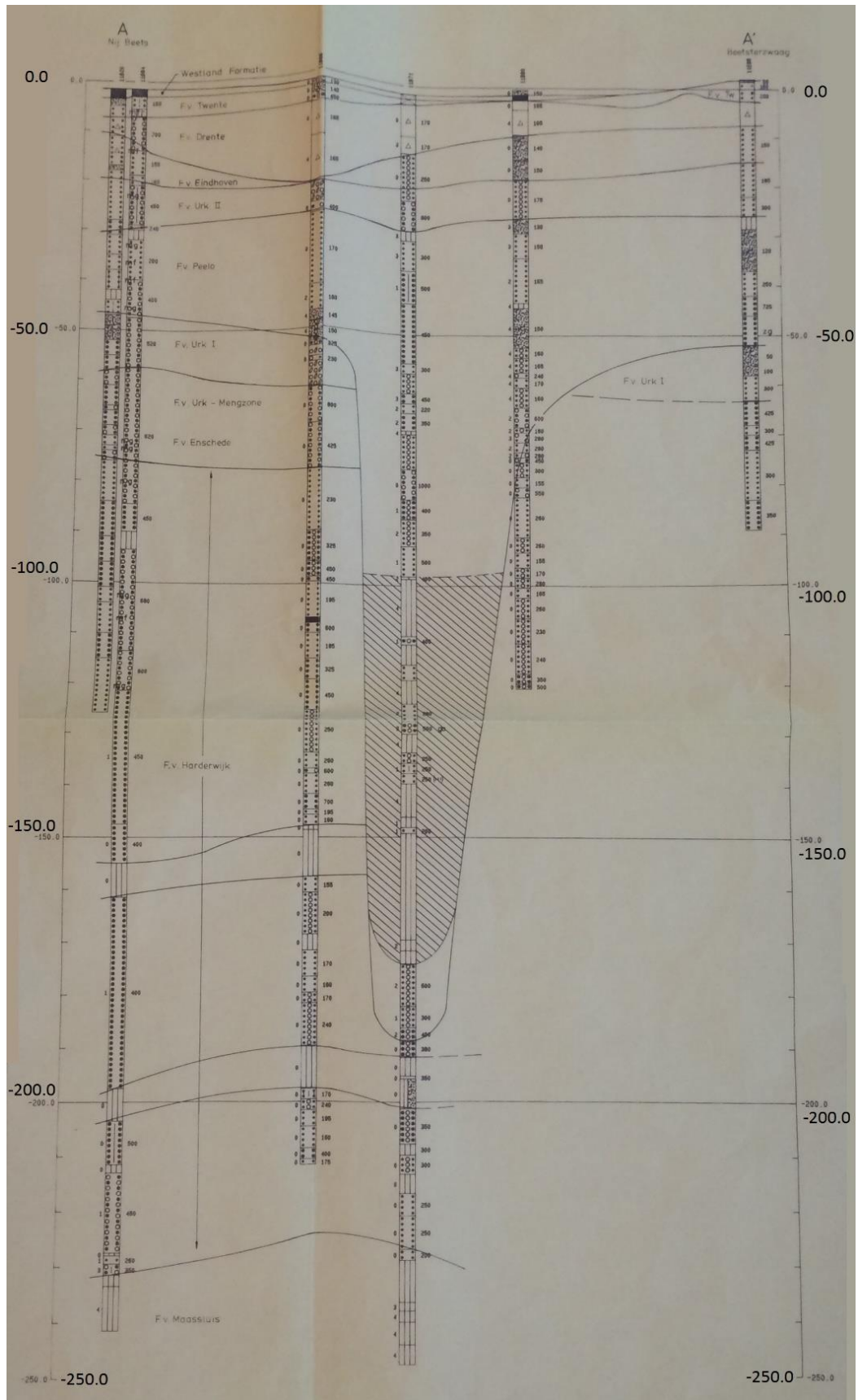
Goedkeuring:

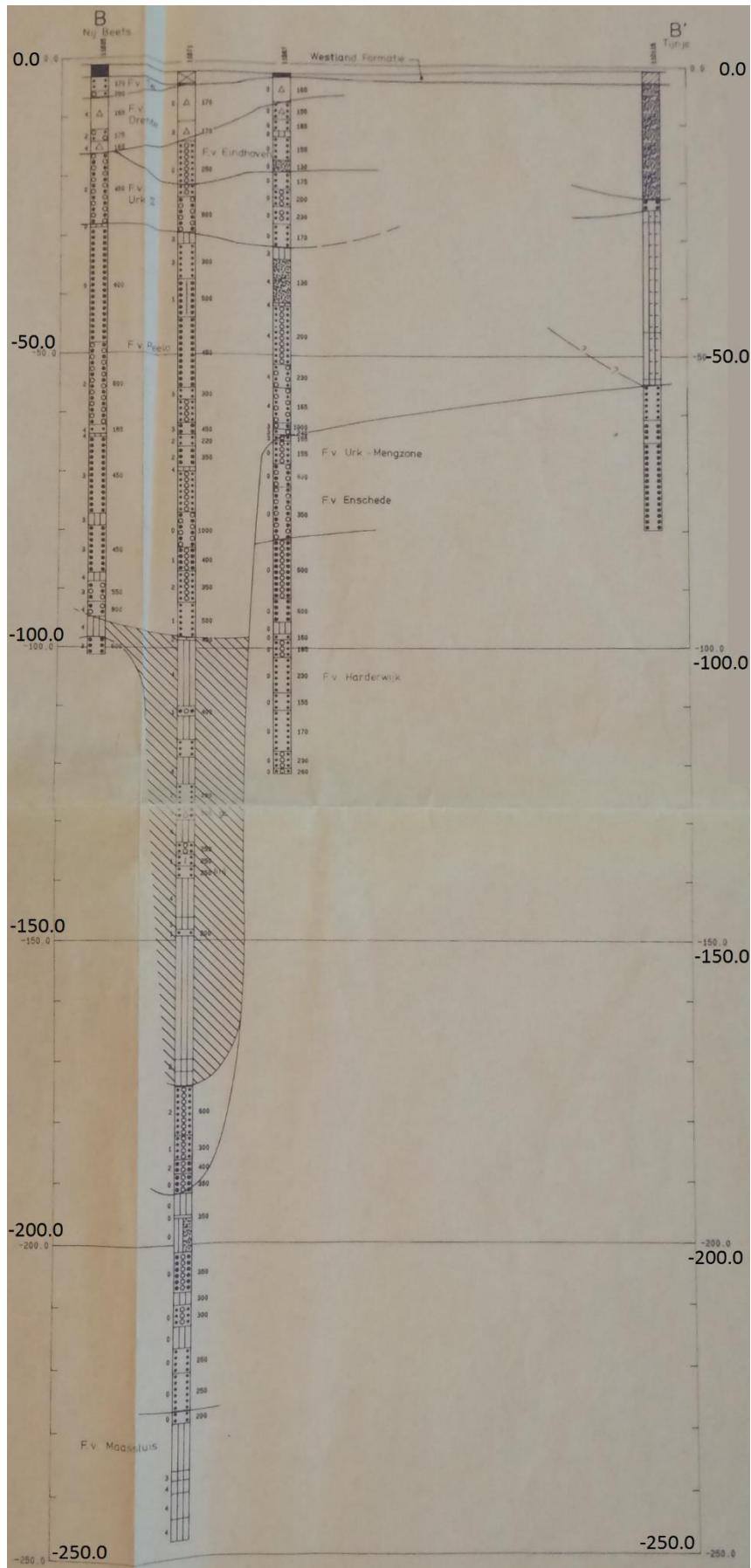


Dr. M.J. van der Meulen
Research Manager

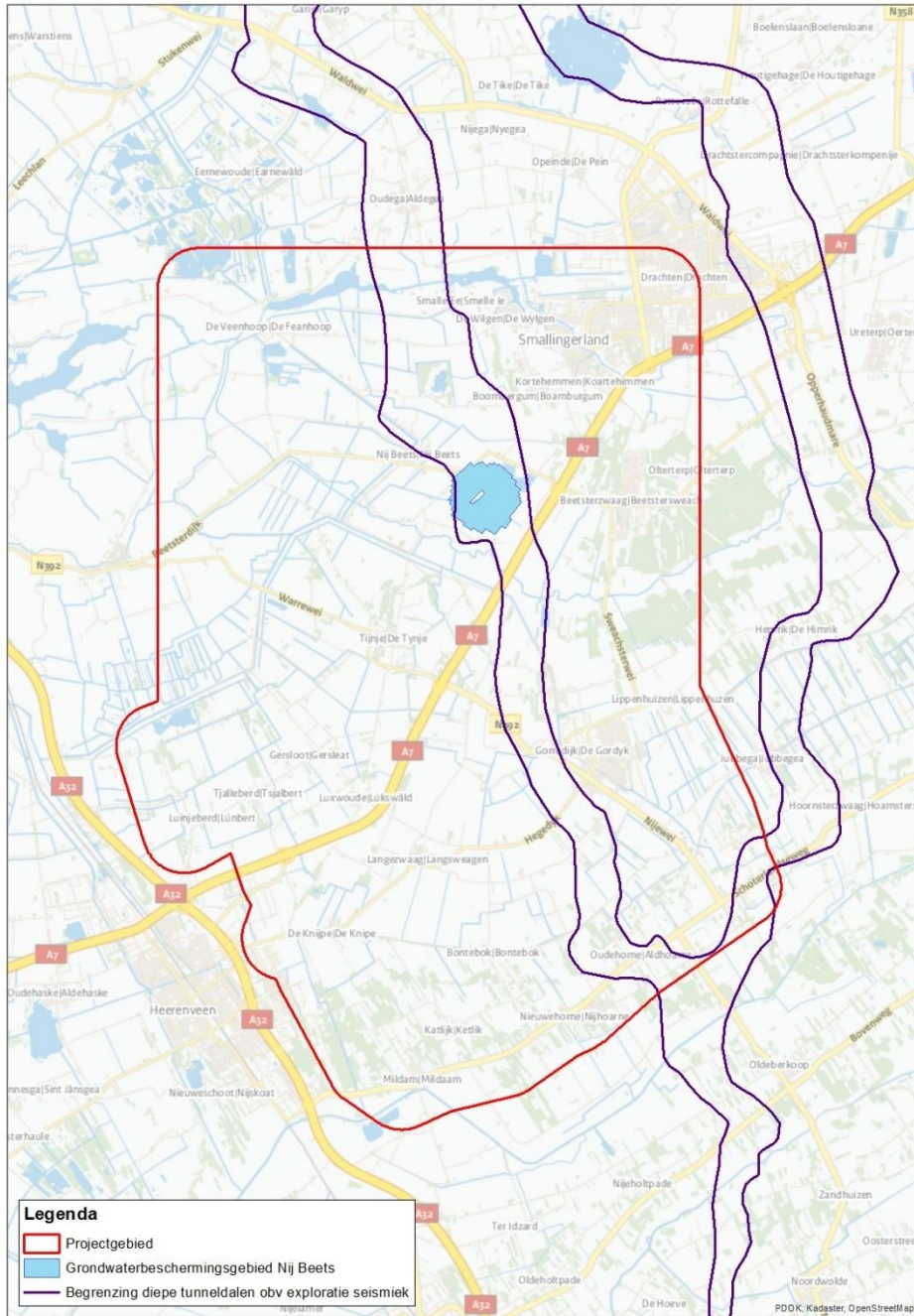
A Profielen RGD (1990)



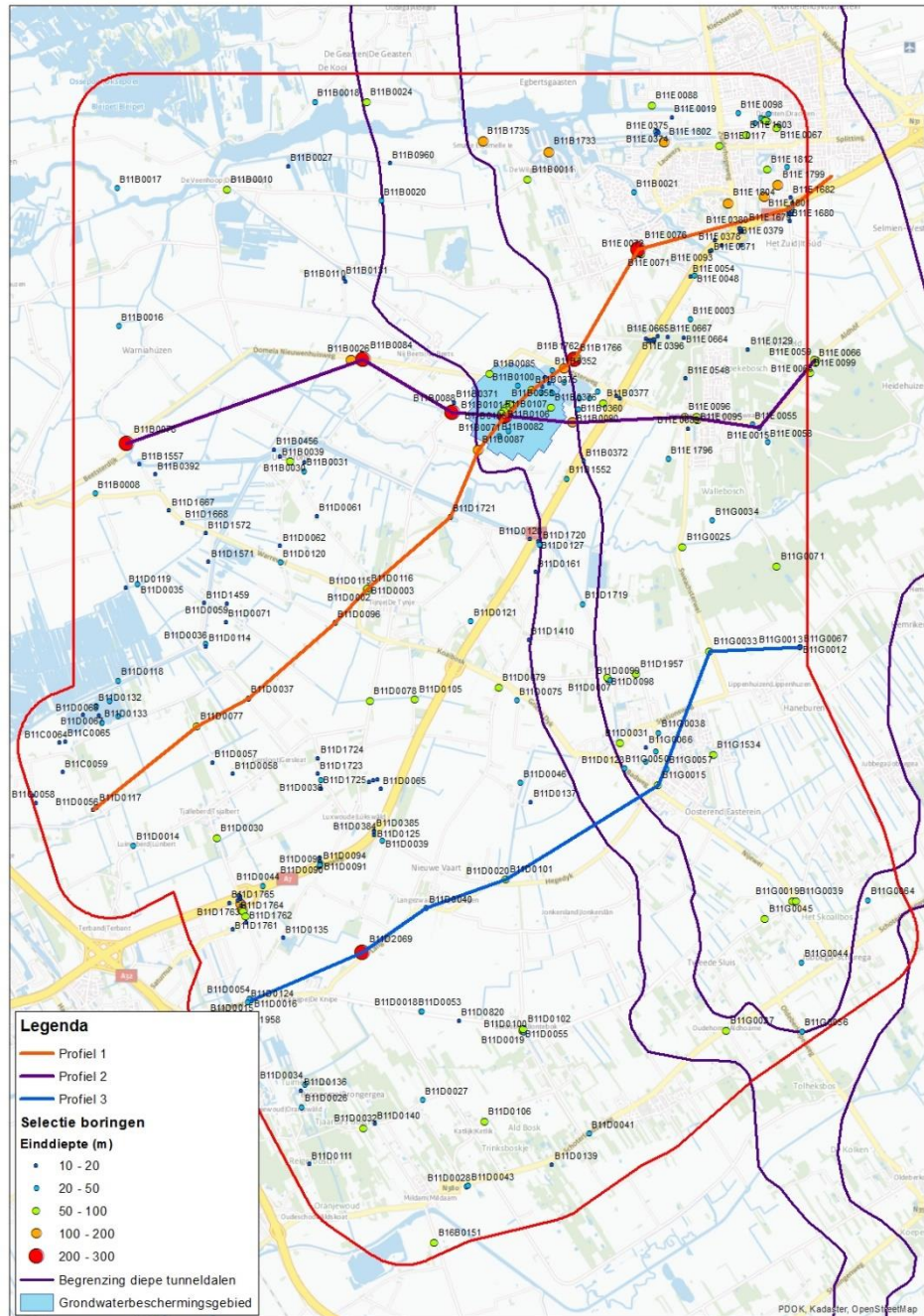




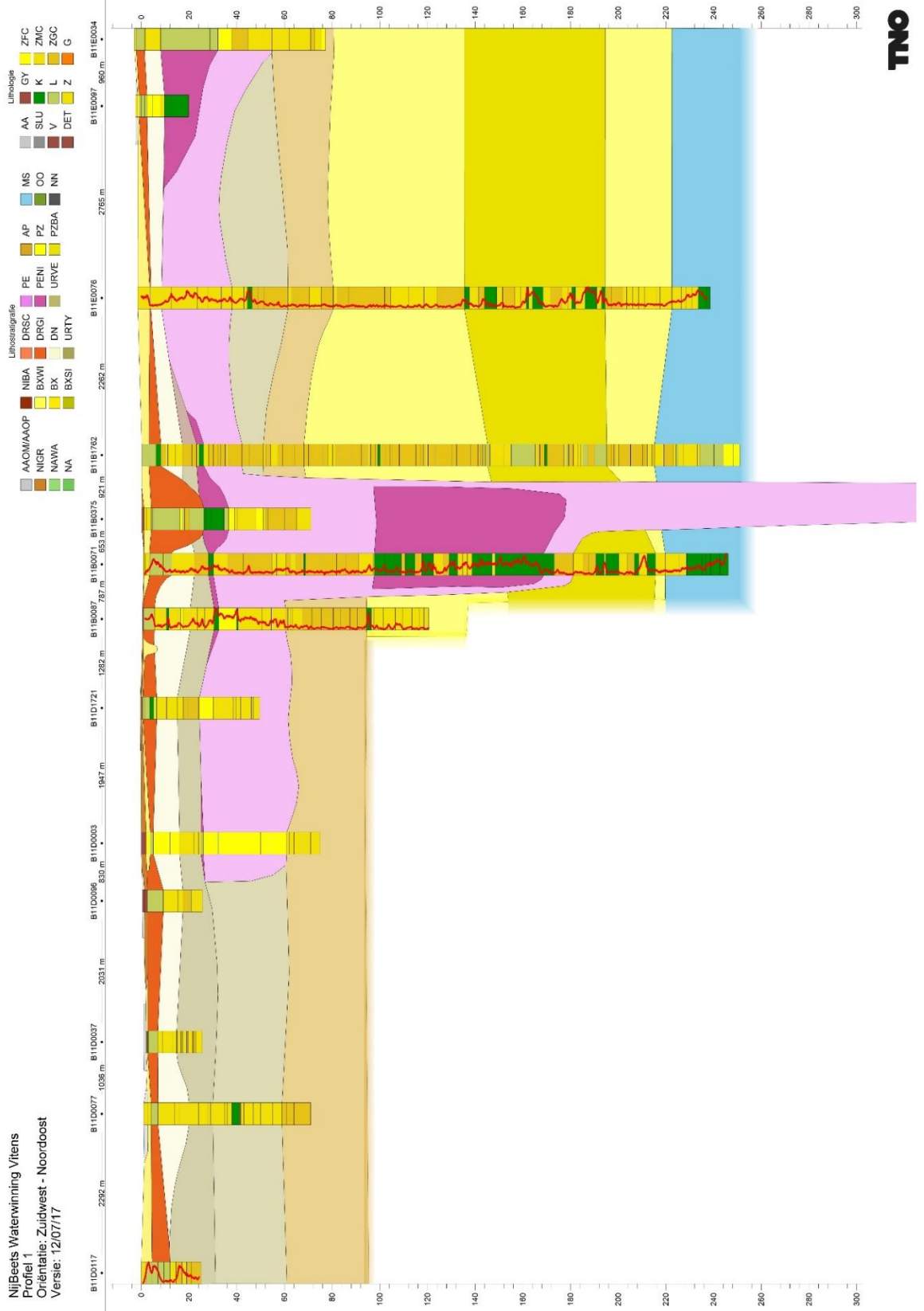
B Kaart tunneldalen



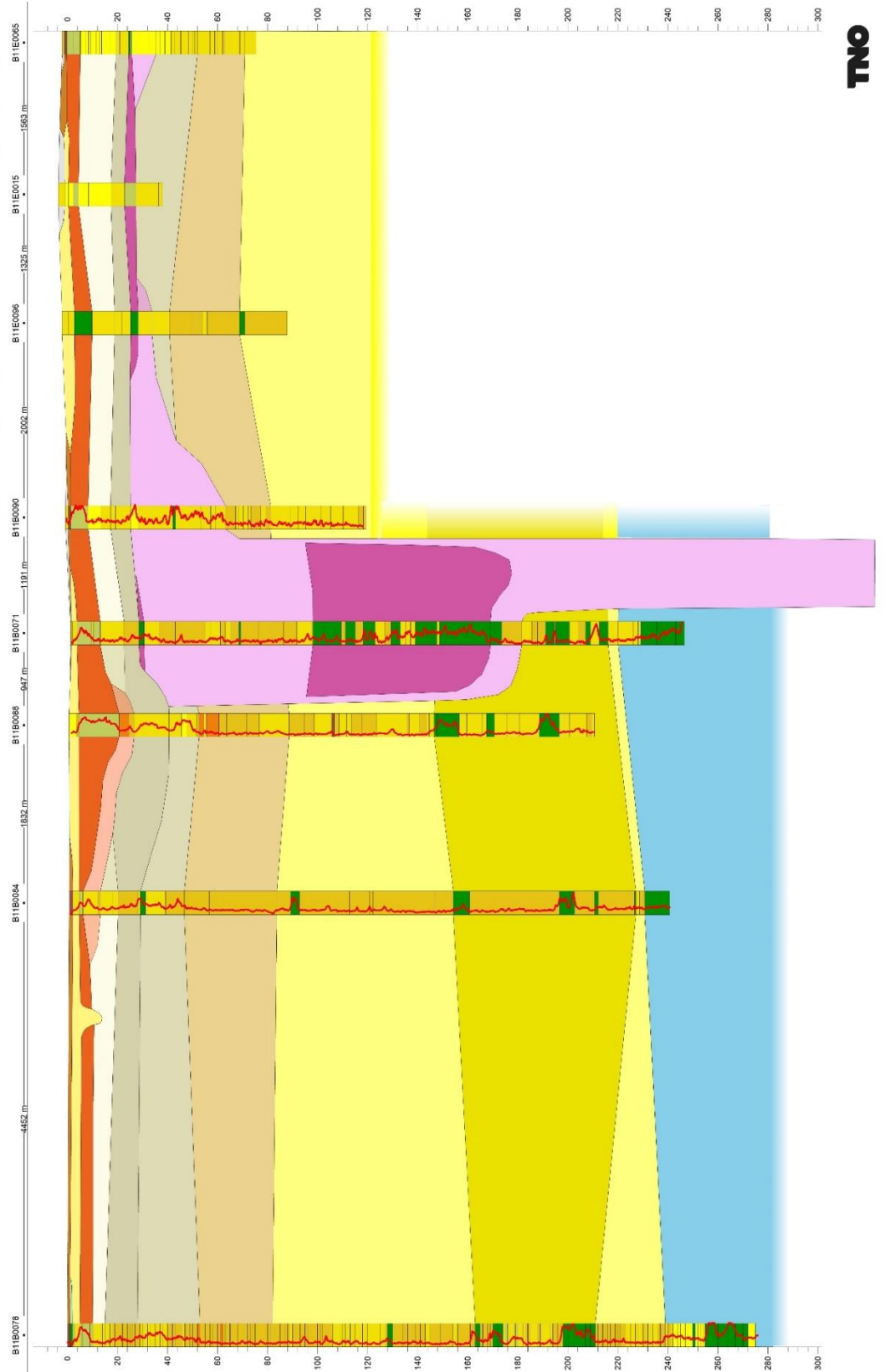
C Geologische profielen

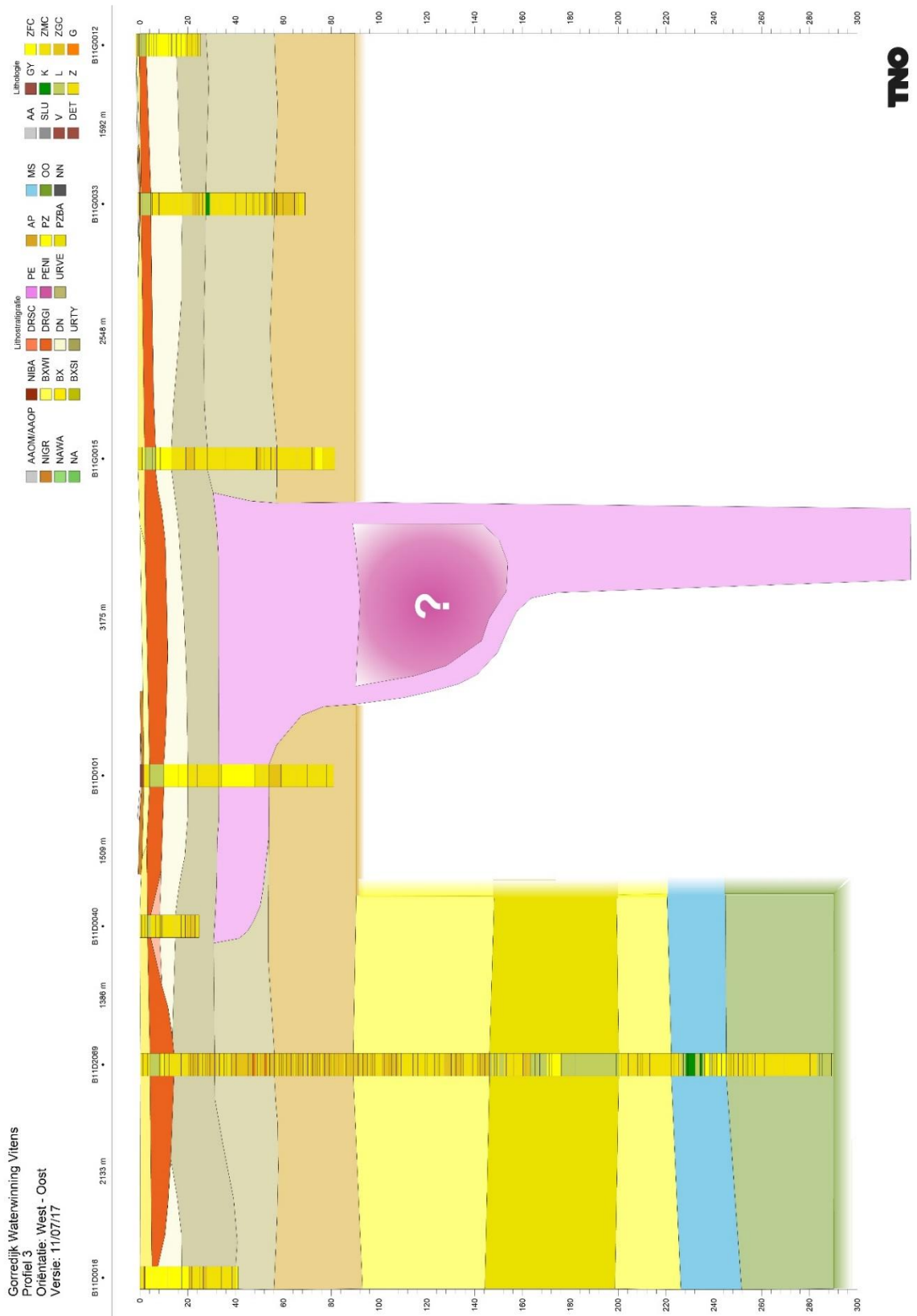


NijBeets Waterwinning Vitens
 Profiel 1
 Oriëntatie: Zuidwest - Noordoost
 Versie: 12/07/17



NijBeets Waterwinning Vitiens
 Profiel 2
 Oriëntatie: West - Oost
 Versie: 12/07/17





D Kaart potklei

