

Vooronderzoek geschiktheid ondergrond Tielerwaard voor toekomstige drinkwaterwinning

Auteurs	J.T. Buma A. Kruisselbrink A. Menkovic T. van der Ven M. van Vliet
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public
Rapporttekst	TNO Public TNO Public
Aantal pagina's	63 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Vitens N.V.
Projectnaam	Bureaustudie ondergrond Tielerwaard
Projectnummer	060.62361

Alle rechten voorbehouden

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

Inhoudsopgave

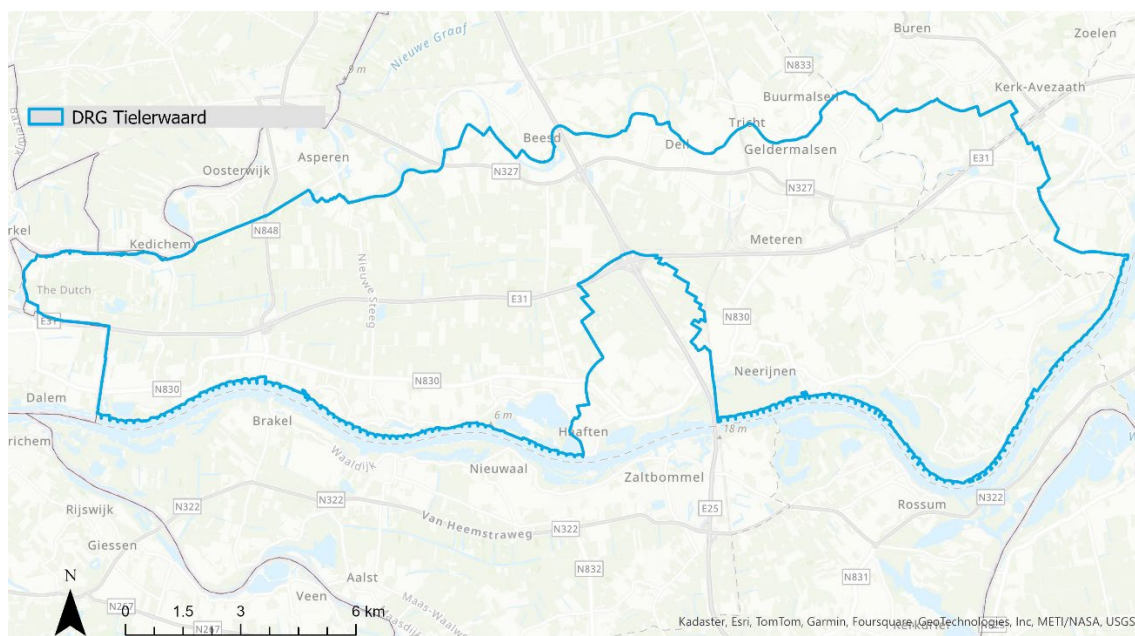
Inhoud

1	Inleiding	6
2	Werkwijze	8
2.1	Aanpak op hoofdlijnen	8
2.1.1	Geschiktheid voor drinkwaterwinning	8
2.1.2	Gegevensbronnen	9
2.2	Inventarisatie gegevens.....	10
2.2.1	Matig diepe boringen	10
2.2.2	Seismische gegevens	10
2.2.3	Pompproefgegevens	13
2.2.4	Stijghoogten.....	13
2.2.5	Zoet, brak en zout grondwater	13
2.2.6	Grondwaterkwaliteit	14
3	Resultaten	16
3.1	Activiteit van breuken.....	16
3.1.1	Analyse seismische gegevens	16
3.1.2	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	18
3.2	Verbreiding en dikte scheidende lagen	18
3.2.1	Hydrogeologische profielen.....	18
3.2.2	Boringen buiten de profielen.....	19
3.2.3	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	21
3.2.4	Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. bescherming van een drinkwaterwinning	22
3.2.5	Mogelijkheden voor nader onderzoek.....	22
3.3	Hydraulische weerstand (c-waarde).....	24
3.3.1	Analyse van de gegevens	24
3.3.2	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	28
3.3.3	Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. bescherming van een drinkwaterwinning	28
3.3.4	Mogelijkheden voor nader onderzoek.....	28
3.4	kD-waarde van watervoerende pakketten	29
3.4.1	Analyse van de gegevens	29
3.4.2	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	31
3.4.3	Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. waterleverend vermogen.....	31
3.4.4	Mogelijkheden voor nader onderzoek.....	31
3.5	Zoet, brak en zout grondwater	32
3.5.1	Chloridemetingen	32
3.5.2	Zoet-brak grensvlakken.....	35
3.5.3	Brak-zout grensvlakken.....	36
3.5.4	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	40
3.5.5	Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. de beschikbaarheid van zoet grondwater	40
3.5.6	Mogelijkheden voor nader onderzoek.....	40
3.6	Grondwaterkwaliteit	41
3.6.1	Oxidatievermogen.....	41
3.6.2	pH.....	41
3.6.3	Methaan en ammonium	42

3.6.4	Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning.....	42
3.6.5	Onzekerheid en mogelijkheden voor nader onderzoek	43
4	Synthese: geschiktheid.....	44
5	Voorstel voor vervolgonderzoek.....	46
5.1	Advies vervolgonderzoek	46
5.1.1	Hoofdlijn.....	46
5.1.2	Herinterpretatie bestaande gegevens	46
5.1.3	Boorcampagne.....	47
5.1.4	Opties boorcampagne	48
5.2	Evaluatie	49
5.3	Globale kostenraming	49
6	Conclusie	51
7	Referenties	52
8	Ondertekening.....	54
Bijlagen		
Bijlage A:	Hydrogeologische profielen	54
Bijlage B:	Hydraulische parameters REGIS II v2.2.2.	59
Bijlage C:	Beoogde boorlocaties en locaties puntverontreiniging	62

1 Inleiding

In 2022 heeft de provincie Gelderland elf reserveringsgebieden aangewezen voor drinkwaterwinning in de toekomst (hierna: drinkwaterreserveringsgebieden, DRG's). In deze gebieden gelden regels om het grondwater te beschermen, die zijn opgenomen in de Provinciale Omgevingsverordening. DRG Tielerwaard is één van deze gebieden waar in potentie één of meer drinkwaterwinningen van in totaal 8 miljoen m³/jaar ontwikkeld zouden kunnen worden (zie [Figuur 1.1](#)). De reservering betreft de matig diepe (circa 60 – 250 m–mv) watervoerende pakketten van de formaties van Peize-Waalre (hierna: PZWA) en Maassluis (hierna: MS)¹. Het beschermingsregime in dit gebied betreft hoofdzakelijk een beperking op doorboringen van kleilagen in PZWA.



Figuur 1.1: Ligging van het projectgebied DRG Tielerwaard.

Uit onderzoek door de provincie Gelderland is gebleken dat er te weinig informatie beschikbaar is om in dit stadium betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de (on)geschiktheid van de ondergrond voor drinkwaterwinning in delen van DRG Tielerwaard. Vitens N.V. (hierna: Vitens) heeft daarom aan TNO Geologische Dienst Nederland (hierna: TNO GDN) gevraagd om ten eerste de geschiktheid van de ondergrond voor drinkwaterproductie in DRG Tielerwaard te beoordelen op basis van bestaande gegevens en expertkennis. Ten tweede om daarbij aan te geven waar onzekerheden een rol spelen die beperkend kunnen zijn voor toekomstige keuzes voor drinkwaterwinning in deelgebieden van het DRG. Ten derde is het doel om te komen met voorstellen voor passend onderzoek om de onzekerheden rondom geschiktheid te verkleinen.

¹ De formele afkortingen van de geologische eenheden zijn recentelijk uitgebreid met het voorvoegsel NU, zie [Stratigrafische Nomenclator | BROloket](#). Omwille van leesbaarheid is dit voorvoegsel in deze rapportage weggelaten.

Deze rapportage beschrijft de door TNO GDN in opdracht van Vitens uitgevoerde werkzaamheden. In hoofdstuk 2 wordt de gevolgde werkwijze uiteengezet. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van de geïnventariseerde gegevens, de geschiktheidsbeoordeling en de onzekerheden daaromtrent. In hoofdstuk 4 volgt het voorstel voor vervolgonderzoek. Het rapport besluit met een concluderend hoofdstuk 5.

2 Werkwijze

2.1 Aanpak op hoofdlijnen

2.1.1 Geschiktheid voor drinkwaterwinning

De beoordeling op geschiktheid van een watervoerend pakket als beoogd winpakket voor drinkwaterwinning is uitgevoerd op basis van de onderstaande aspecten, en bijbehorende typen gegevens:

- De mate van bescherming tegen invloeden van bovenaf (meestal antropogene verontreiniging), en omgekeerd tegen doorwerking van effecten van een winning naar maaiveld. Van belang hiervoor is het gegevenstype verbreiding en hydraulische weerstand (c-waarde) van kleilagen (hierna: scheidende lagen) boven het beoogde winpakket. De hydraulische weerstand wordt bepaald door de dikte en de verticale doorlatendheid van de scheidende laag. Hierbij kan ook de activiteit van breuken in de ondergrond van belang zijn. Wanneer scheidende lagen langs een breukvlak verschuiven kan dit leiden tot belemmering van grondwaterstroming (door versmering van klei) of juist het ontstaan van kortsluitingen (wanneer de verschuiving van een scheidende laag zo groot is dat er contact ontstaat tussen boven- en onderliggende watervoerende pakketten aan weerszijden van de breuk). Breuken met een dergelijk ‘verzet’ (verschuiving van lagen langs het breukvlak) tot in of boven het beoogde winpakket kunnen daardoor invloed hebben op het intrek- en invloedsgebied van een toekomstige winning;
- De mate van bescherming tegen invloeden van onderaf (meestal verzilting). Hiervoor zijn van primair belang de gegevenstypen verbreiding en hydraulische weerstand van scheidende lagen onder het beoogde winpakket, en activiteit van breuken;
- Het water leverend vermogen van het beoogde winpakket. Van belang hiervoor is het gegevenstype doorlaatvermogen (kD-waarde). De kD-waarde is het product van de doorlatendheid van het sediment in het pakket en de dikte van het pakket. Hoe hoger de kD-waarde, hoe makkelijker er grondwater kan worden onttrokken aan het winpakket, en dus hoe groter de geschiktheid voor drinkwaterwinning;
- De beschikbaarheid van zoet grondwater in het beoogde winpakket. Bij voorkeur wordt zoet grondwater gebruikt voor de productie van drinkwater. Van belang hiervoor is het gegevenstype chloridegehalte in het grondwater. De norm voor drinkwater in Nederland is dat het chloridegehalte niet hoger mag zijn dan 150 mg per liter. Als de winning van zoet grondwater niet goed mogelijk is, kan de winning van brak grondwater worden overwogen. Een in Nederland gangbare gehanteerde grens tussen brak en zout grondwater is een chloridegehalte van 1000 mg/l;
- De kwaliteit van het grondwater, los van het zoet-zout aspect. Belangrijke parameters hierbij zijn oxidatievermogen, zuurgraad (pH), methaan en ammonium.

2.1.2 Gegevensbronnen

De aanpak van het onderzoek berustte op een analyse van bestaande ondergrondgegevens, om een zo goed mogelijk ruimtelijk beeld te verkrijgen van de hierboven genoemde geschiktheidsaspecten. De voor de analyse gebruikte gegevens zijn, waar mogelijk, steeds vergeleken met gebiedsdekkende informatie uit landelijke modellen om de betrouwbaarheid van die modellen in DRG Tielerwaard in te schatten.

- Voor inzicht in de verbreiding en dikte van scheidende lagen (en daarmee ook de tussenliggende watervoerende pakketten) is informatie uit matig diepe boringen geïnterpreteerd. De informatie over de boringen is getrokken uit de DINO-database (toegankelijk via [Ondergrondgegevens | DINOloket](#) en het Nederlands Olie- en Gasportaal (www.nlog.nl). Deze is gecombineerd met interpretaties van seismische gegevens, waarmee de ligging en het dieptebereik van (het verzet van) breuken zichtbaar kunnen worden gemaakt. Het resultaat bestaat uit vier hydrogeologische profielen (2x WZW-ONO en 2x NNW-ZZO). De profielen zijn geprojecteerd tegen de achtergrond van het landelijk gebiedsdekkende hydrogeologische model BRO REGIS II v2.2.2 (Hummelman & Stafleu, 2023). Versie 2.2.2. was de actuele versie van REGIS II tijdens de uitvoering van het onderzoek. Begin 2025 is een nieuwe versie van REGIS II uitgegeven, versie 2.2.3. Belangrijkste verandering ten opzichte van versie 2.2.2. is de naamgeving van de eenheden. Zo hebben alle eenheden behorende tot de Boven Noordzee Groep het voorvoegsel NU gekregen. In deze rapportage is nog uitgegaan van REGIS II versie 2.2.2. met de naamgeving zonder dit voorvoegsel. Hierna zal in de hoofdttekst korthedshalve steeds worden gesproken van REGIS II zonder versienummering. In figuurbijzchriften en in de conclusie zal de volledige aanduiding BRO REGIS v2.2.2. worden gebruikt ;
- Voor inzicht in de kD- en c-waarden van watervoerende en scheidende lagen is informatie uit beschikbare pompproefrapporten (nader beschreven in paragraaf 2.2.3) vergeleken met de landelijke hydraulische parametrisatie behorende bij REGIS II. Ook is met behulp van de applicatie [Grondwaterstanden-in-beeld](#) op Grondwatertools² gezocht naar informatie over verticale en laterale stijghoogteverschillen voor aanvullende kwalitatieve inzichten in weerstanden van respectievelijk scheidende lagen en breuken;
- Informatie over de verdeling van zoet, brak en zout grondwater is ten eerste betrokken uit de voor het project Nationale Grondwater Reserves (NGR) geconstrueerde diepten van de grensvlakken tussen zoet en brak, en brak en -zout grondwater. Ter plaatse van deze grensvlakken is het chloridegehalte respectievelijk 150 mg en 1000 mg chloride per liter. De grensvlakken zijn gebaseerd op een 3D geïnterpoleerd chloridebestand van het NHI (Delsman e.a., 2020). Daarnaast is informatie gehaald uit de applicatie [Grondwaterkwaliteit-in-Beeld](#) en uit beschikbare VES-metingen in het projectgebied;
- Voor overige grondwaterkwaliteitsaspecten is geput uit Grondwaterkwaliteit-in-Beeld, meer specifiek de parameters chloride, oxiderend vermogen, pH, methaan en ammonium. Daarnaast zijn de resultaten uit een recent onderzoek naar de leeftijdsverdeling van het ruwwater van winlocaties van Vitens in het Rivierengebied meegenomen (Broers & Kivits, 2022). Tot slot wordt kort aandacht besteed aan puntverontreinigingen. Omdat deze vooral lokaal invloed kunnen hebben op de geschiktheid komen ze voor het eerst aan bod bij de beschrijving van het voorgestelde vervolgonderzoek, in hoofdstuk 5. Informatie over de ligging van puntverontreinigingen (verontreinigings-, sanerings- en zorgmaatregelcontouren en dempingen) is betrokken van het Geoportaal van de provincie Gelderland ([Bodemverontreiniging Gelderland \(Situatie 5-12-2024\)](#)).

² Grondwatertools is het online portaal van TNO GDN voor kennis en informatie over grondwater.

2.2 Inventarisatie gegevens

2.2.1 Matig diepe boringen

Uit de DINO-database zijn alle beschikbare boringen met een einddiepte groter dan 60 m – mv in het projectgebied geraadpleegd. Dit is de diepte waarbij de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Waalre (hierna: WAK1) is doorboord in een groot deel van het projectgebied. Buiten het projectgebied zijn boringen uit de REGIS II selectieset gebruikt als begin- en eindpunten van de hydrogeologische profielen. Voorts is door Vitens een aantal boorbeschrijvingen vanuit de bestaande winningen Culemborg, Kerk Avezaath, Mr. Kolff, Velddriel en Zoelen aangeleverd. Na beoordeling van de gegevens is besloten om deze niet in de analyse te gebruiken, omdat ze te weinig toegevoegde waarde hebben ten opzichte van de DINO-gegevens rond deze winningen. Het betreft voornamelijk boringen met een einddiepte tot circa 60 m –mv. De resulterende, voor de analyse gebruikte verzameling aan boorgegevens en de profielen die op basis daarvan zijn geconstrueerd, zijn afgebeeld in [Figuur 2.2](#). De eerder genoemde einddiepte van 60 meter is echter pas de top van het beoogde dieptebereik van het DRG (60 tot 250 m – mv). Om een significant deel van dat dieptebereik te doorboren zijn einddiepten van minstens 100 m – mv nodig. Uit [Figuur 2.2](#) blijkt dat er weinig boringen zijn die daar aan voldoen. Verder bleek boring VARIK-01, beschikbaar via het Nederlandse Olie- en Gasportaal (www.nlog.nl), enige bruikbare aanvullende informatie te bevatten. Ook is onderzocht of er sondeergegevens tot dieper dan 60 m – mv beschikbaar zijn. Dit laatste bleek niet het geval.

2.2.2 Seismische gegevens

De seismische lijnen die beschikbaar zijn voor deze studie zijn weergegeven in [Figuur 2.1](#). Het betreft seismische lijnen die zijn geschoten ten behoeve van het in kaart brengen van de diepe ondergrond (>250 m – mv). De gegevens zijn afkomstig uit het archief van TNO GDN, dat is ontsloten via www.nlog.nl, aangevuld met inmiddels beschikbare en relevante gegevens uit het SCAN aardwarmte-project.





12/63

2.2.3 Pompproefgegevens

Ter vergelijking met de landelijk uitgevoerde hydraulische parametrisatie van REGIS II zijn de pompproefrapporten van de winlocaties Culemborg (Mulder, 1986) en Zoelen (Houtman & Mulder, 1986) uit het rapportenarchief van DINO geraadpleegd. Het pompproefrapport Velddriel bleek geen bruikbare informatie over PZWA en MS te bevatten. Door Vitens zijn bovendien rapporten van geohydrologische onderzoeken bij de winlocaties Mr. Kolff en Kerk Avezaath ter beschikking gesteld (Grakist, 1995; Boschloo, 1988). De rapporten bevatten informatie over de weerstand van de Waalre- en Maassluis-kleien, ontleend aan voornoemde pompproefrapporten. Door Grakist (1995) wordt bovendien verwezen naar aanvullende onderzoeken in Gellicum en Opijnen. Het betreffende rapport (Hemker, 1988) is niet rechtstreeks geraadpleegd, maar de door Grakist (1995) geciteerde informatie is wel meegenomen in onze analyse.

2.2.4 Stijghoogten

Voor aanvullende kwalitatieve inzichten in weerstanden van scheidende lagen en breuken is gezocht naar informatie over stijghoogteverschillen in de applicatie [Grondwaterstanden-in-beeld](#) van Grondwatertools. Deze applicatie geeft voor een door de gebruiker te kiezen periode de mediane stijghoogtewaarde in elk filter. De verticale verschillen zijn hieruit afgeleid, steeds voor de maximale periode waarvoor metingen beschikbaar zijn.

Voor verticale stijghoogteverschillen is gezocht naar stijghoogtegegevens in peilfilters boven en onder de diverse kleine REGIS II eenheden in de formaties van Stramproy (hierna: SY), PZWA en MS. Deze gegevens bleken beschikbaar op zeven locaties, die rood omcirkeld zijn weergegeven in [Figuur 2.2](#). De meest noordoostelijke locatie, gelabeld als B39D0577, is niet ter plaatse van deze boring maar een nabijgelegen meetlocatie B39D0222.

Voor stijghoogteverschillen over breuken heen is gezocht naar stijghoogtegegevens in peilfilters in de formaties van PZWA, MS en Oosterhout (hierna: OO) op korte afstand (< 1 km) aan weerszijden van breuken zoals die geïnterpreteerd zijn op basis van seismiek. De peilfilters moeten bovendien in een lijn liggen evenwijdig aan de stromingsrichting van het grondwater om verschillen te kunnen zien. Er bleken geen locaties beschikbaar die aan deze voorwaarden voldoen.

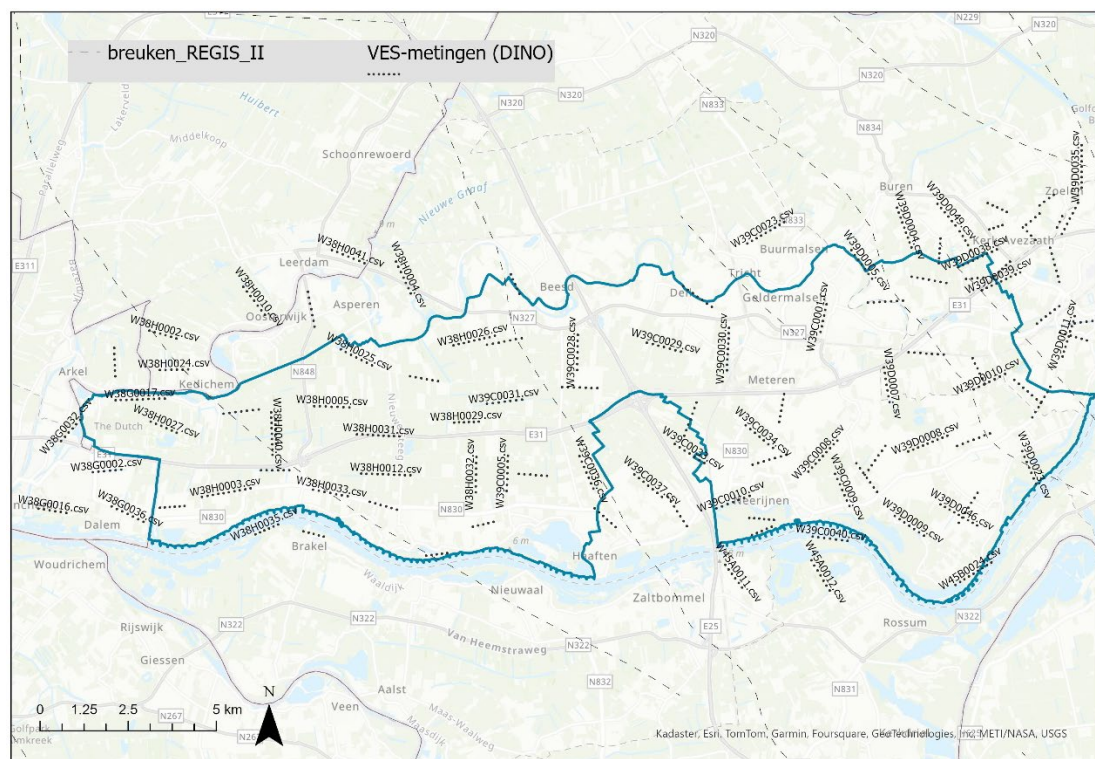
2.2.5 Zoet, brak en zout grondwater

De begrippen zoet, brak en zout grondwater worden gedefinieerd aan de hand van het chloridegehalte. De overgang van zoet naar brak grondwater ligt op 150 mg/l Cl⁻, van brak naar zout grondwater op 1000 mg/l Cl⁻. De voor NGR geconstrueerde zoet-brak en brak-zout grensvlakken zijn gebaseerd op een 3D geïnterpoleerd chloridebestand van het NHI (Delsman e.a., 2020). Dit bestand bevat voor zoet-brak en brak-zout elk drie grensvlakken (p25, p50 en p75)³ waarmee onzekerheden in de onderliggende gegevens zijn gekwantificeerd.

³ Respectievelijk 25-, 50-, en 75-percentiel. Het X-percentiel is de waarde waar X% van de overgangsdiepten (in mNAP) onder vallen.

In het NGR-project zijn deze grensvlakken vervolgens gebruikt als startvoorwaarde voor een 20-jarige modelsimulatie met LHM zoet-zout, om artefacten als gevolg van de interpolatie zoveel mogelijk te elimineren (Buma e.a., 2023). De aldus berekende grensvlakken, hierna benoemd als NGR-grensvlakken, zijn gebruikt in deze studie.

Naast de NGR grensvlakken is een 1000 mg/l chloride grensvlakbestand beschikbaar via de viewer [Grondwaterkwaliteit-in-Beeld](#), gebaseerd op Stuurman e.a. (2006), en een via [Grondwatertools.nl](#) beschikbare kaart met geclassificeerde zoet-brak overgangsdiepten. Om verschillen tussen NGR en Stuurman e.a. (2006) verder te onderzoeken zijn steekproefsgewijs enkele oude interpretaties van VES-metingen geraadpleegd. Een VES-meting (verticale elektrische sondering) is een geofysische methode om elektrische weerstands-diepteprofielen in de ondergrond te bepalen. De informatie uit de VES-metingen is overigens ook gebruikt bij de constructie van de genoemde grensvlakken.



Figuur 2.3: In DINO beschikbare VES-metingen in en rond het projectgebied.

2.2.6 Grondwaterkwaliteit

De web-applicatie [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) is onderdeel van het online portaal Grondwatertools van TNO Geologische Dienst Nederland. In de applicatie zijn grondwaterkwaliteitsgegevens opgenomen waarmee met een viewer interactief en op verschillende manieren de grondwaterkwaliteit kan worden geanalyseerd. In deze viewer is ook data van Vitens opgenomen van waarnemingsputten van alle winningen in het rivierengebied tot en met het jaar 2012. Daarnaast is data opgenomen uit de interne TNO-GDN database DINO-QUA.

In de viewer kunnen meetwaarden binnen een periode (verleden-1980, 1980-2000, 2000-heden of alle perioden gecombineerd) per filter worden geaggregeerd tot een tijdsgemiddelde waarde.

In een recent onderzoek uitgevoerd door TNO GDN is voor de winlocaties van Vitens in het Rivierengebied de leeftijdsverdeling van het ruwwater bepaald, waarmee een inschatting van de kwetsbaarheid van de winningen voor verontreinigingen vanaf het maaiveld is gegeven (Broers en Kivits, 2022). In dit onderzoek zijn onder andere de nabij het zoekgebied gelegen winningen Kolff, en Velddriel onderzocht. De resultaten van deze dateringen en de inschatting van de kwetsbaarheid van de bestaande winningen zijn relevant voor de beoogde nieuwe winlocatie, en zullen dan ook worden meegenomen in de analyse. Met behulp van de functionaliteiten die beschikbaar zijn in [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#), is voor de beoogde winpakketten een analyse gemaakt. Deze functionaliteit omvat het weergeven van grondwaterkwaliteitsgegevens in geohydrologische dwarsdoorsneden en in diepteprofielen en boxplots. Bij de ruimtelijke analyse is met name gebruik gemaakt van de parameters chloride en oxidatievermogen om respectievelijk de verzilting en de mogelijke antropogene invloed op het grondwater en in beeld te brengen.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt per gegevenstype eerst het resultaat van de inventarisatie en interpretatie beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de betekenis van het resultaat voor de geschiktheid voor drinkwaterwinning, de bronnen van onzekerheid en hoe die de geschiktheidsbeoordeling beïnvloeden. Tenslotte wordt beschreven op welke manieren de onzekerheid kan worden verkleind. De daarbij genoemde onderzoeksmethoden worden in hoofdstuk 5 samengebracht tot een advies voor vervolgonderzoek.

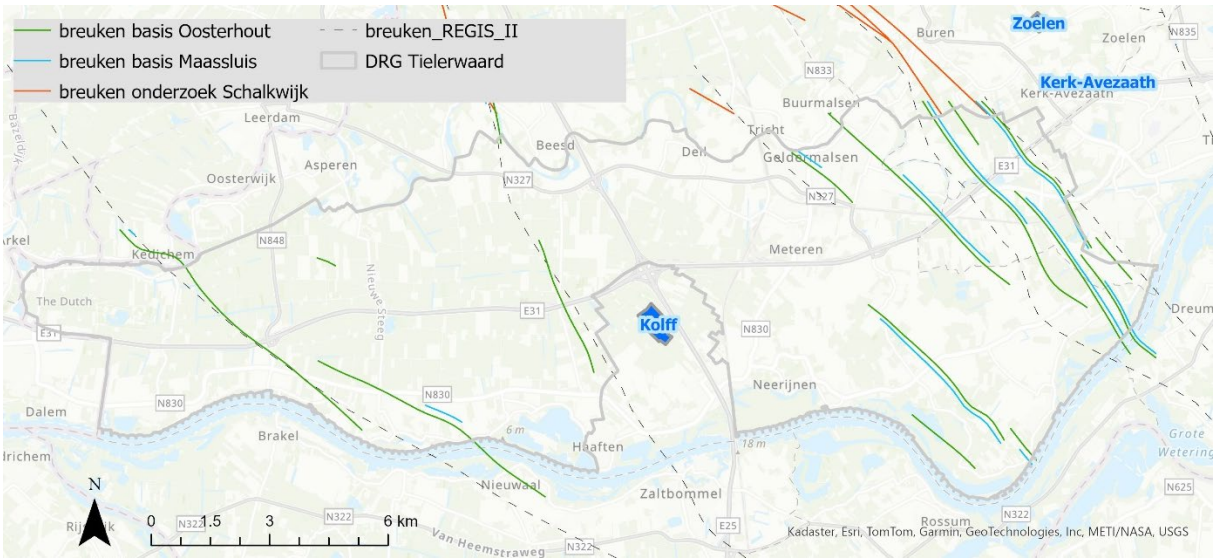
3.1 Activiteit van breuken

3.1.1 Analyse seismische gegevens

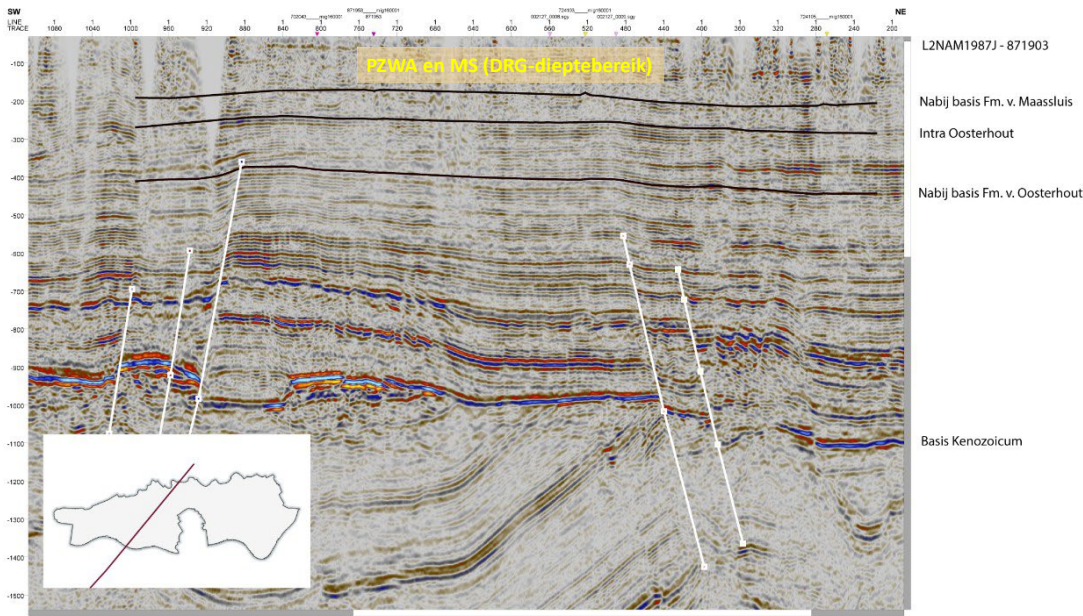
De ligging van breuken volgens REGIS II is in [Figuur 3.1](#) met stippellijnen aangegeven. Deze breuken hebben volgens REGIS II een verzet dat doorwerkt tot in PZWA of hoger.

Het voor REGIS gebruikte breukenmodel is oorspronkelijk gebaseerd op seismisch onderzoek, en is vervolgens meermalen herzien op basis van diepteverschillen van geïnterpreteerde kleilagen in boringen aan weerszijden van de breuk. Veel van de seismische lijnen in DRG Tielerwaard waren nog niet beschikbaar ten tijde van de totstandkoming van het oorspronkelijke breukenmodel. De nu uitgevoerde interpretatie, inclusief de recentere seismische lijnen, suggereert een aantal verschillen in ligging en werking van breuken in vergelijking met REGIS II:

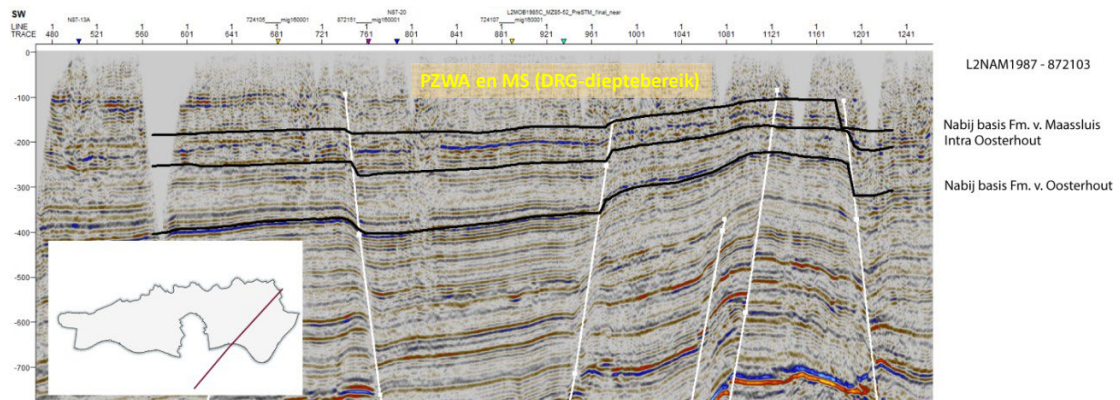
- De breuk die in REGIS II in het westen van de Tielerwaard is gekarteerd met verzet tot in PZWA, is in de seismiek niet boven de basis OO te vervolgen (zie [Figuur 3.2](#)). Ook qua ligging zijn er verschillen;
- De breuk die in REGIS II ten westen van de A2 is gekarteerd met verzet tot in de Formatie van Sterksel (hierna: ST), is in de seismiek niet boven de basis OO te vervolgen (zie [Figuur 3.2](#));
- In het oosten van de Tielerwaard zijn juist meer breuken geïnterpreteerd dan in REGIS II, en bovendien met een afwijkende ligging. De breuken zijn grotendeels te vervolgen tot nabij de basis MS, langs een deel van de breuktrajecten tot nabij de basis OO (zie [Figuur 3.3](#)). Aanwijzingen voor breukverzet tot in PZWA, zoals voor de REGIS II breuken gekarteerd, zijn ook hier niet gevonden.



Figuur 3.1: Ligging breuken op verschillende niveaus volgens de interpretatie van de seismische lijnen en (stippellijnen) volgens REGIS II.



Figuur 3.2: Seismisch profiel L2NAM1987J-871903 met interpretatie. De breuken zijn als witte lijnen weergegeven.



Figuur 3.3: Seismisch profiel L2NAM1987J-872103 met interpretatie. De breuken zijn als witte lijnen weergegeven.

In het onderzoek Eiland van Schalkwijk (Buma e.a., 2024) is geconcludeerd dat de breuk bij Vianen en de nieuw geïnterpreteerde breuk over het Eiland van Schalkwijk de basis PZWA niet lijken te bereiken. De hierboven beschreven analyse is in lijn met deze conclusie. De breuk bij Vianen sluit namelijk aan op de hierboven genoemde breuk ten westen van de A2. De breuk over het Eiland van Schalkwijk sluit aan op het breuksysteem in het oosten van de Tielerwaard. Beide Schalkwijk-breuken zijn met oranje lijnen weergegeven in [Figuur 3.1](#).

3.1.2 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

De betekenis van de resultaten voor geschiktheid, de bijbehorende onzekerheden en mogelijk nader onderzoek worden besproken in paragraaf 3.2.3 t/m 3.2.5.

3.2 Verbreiding en dikte scheidende lagen

3.2.1 Hydrogeologische profielen

Het inzicht in de hydrogeologische opbouw van de Tielerwaard wordt primair ontleend aan de vier profielen die op basis van de nieuwe interpretaties van de geselecteerde boringen zijn opgesteld. Het betreft twee oost-west profielen en twee noord-zuid profielen ([Figuur 3.5](#)) waarin het overgrote deel van de geschikte boringen zijn opgenomen. De profielen zijn opgenomen in **Error! Reference source not found.** en worden separaat als *.png bestanden meegeleverd met deze rapportage. Als voorbeeld zal profiel W-O_2 worden besproken, zie [Figuur 3.4](#). In de profielen zijn de nieuwe (= in het kader van deze studie uitgevoerde) interpretaties met dikke zwarte lijnen weergegeven, of stippellijnen als de interpretatie onzeker is. De achtergrond wordt gevormd door de huidige REGIS II schematisatie.

Behalve op de geselecteerde boringen zijn de nieuwe interpretaties ook gebaseerd op de seismische analyse, die suggereert dat breuken minder ver omhoog doorwerken dan gemodelleerd in REGIS II. In de nieuwe interpretaties zijn veel scheidende lagen daarom doorgetrokken, waar ze in REGIS II verspringen omdat ze beïnvloed worden door het gemodelleerde breukverzet.

De nieuwe interpretaties hebben daarbij enigszins een komvorm. Dit suggereert een zakkend bekken waarbij breukwerking op grotere diepte wel een rol speelt - zoals ook uit de seismiek blijkt meestal tot basis OO - maar dat de breuken zelf niet doorlopen.

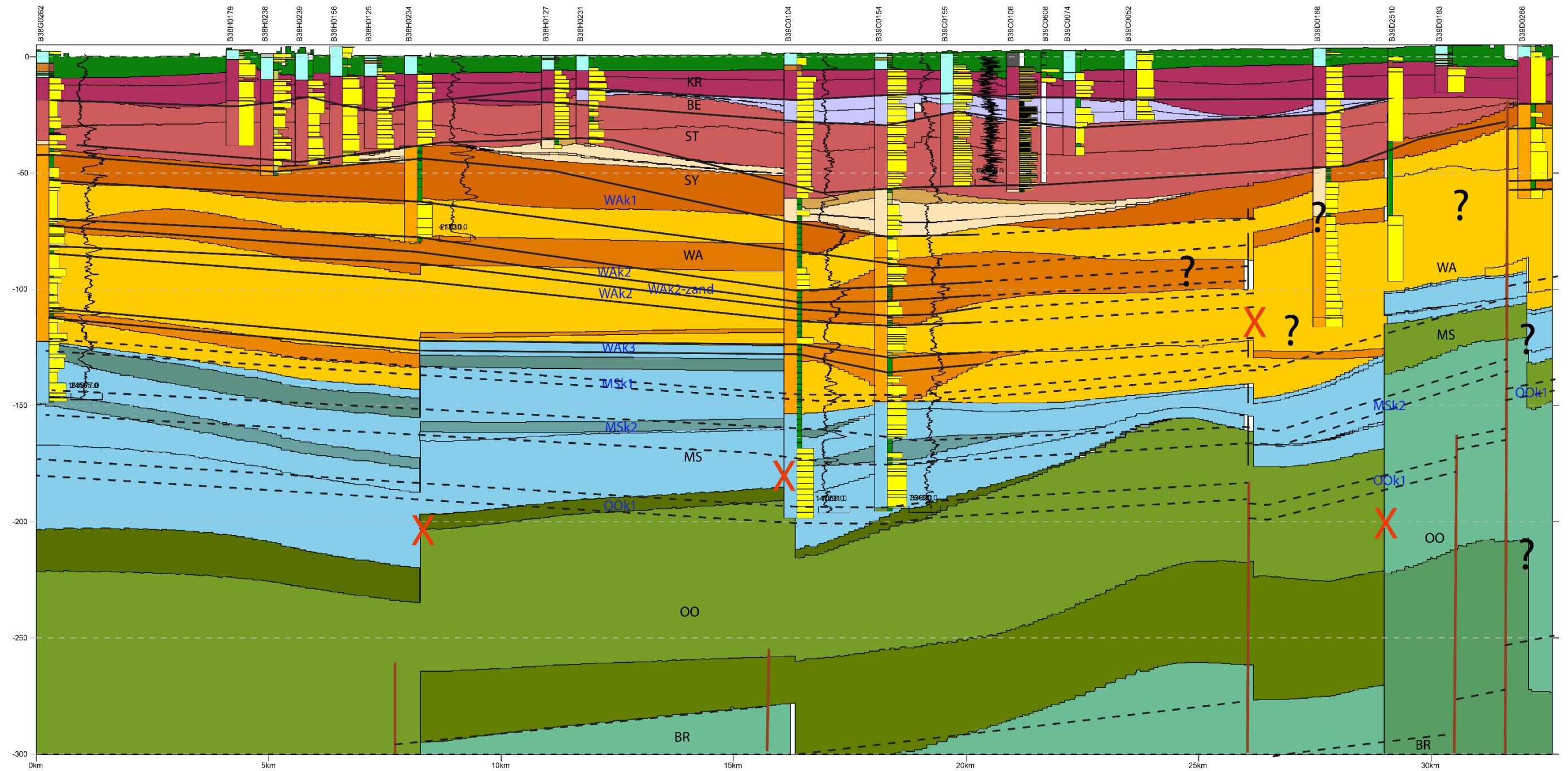
In het midden van de Tielerwaard, halverwege het voorbeeldprofiel bij boring B39C0154, is in REGIS II een gat in WAK1 aanwezig. Dit gat lijkt niet terecht, omdat in het verwachte dieptebereik van WAK1 een opeenvolging van klei, zeer fijn zand en sterk siltig / kleilig zand aanwezig is tussen 79 en 92 m – mv. Ondanks de bescheiden dikte aan klei is daarom in de nieuwe interpretatie in deze boring toch een WAK1 interval aanwezig. De boorgatmeting is hier ten dele mee in lijn, met een gamma-uitslag tussen 88 en 92 m - mv.

In het uiterste oosten van de Tielerwaard, rechts in het voorbeeldprofiel bij boring B39D2510, is tussen twee REGIS II breuken een breukblok aanwezig waar WAK2 ontbreekt. Of, preciezer, REGIS II suggereert dat door opheffing van dit breukblok erosie van de oorspronkelijke WAK1 heeft plaatsgevonden, en dat daardoor de oorspronkelijke WAK2 nu de ondiepste kleilige eenheid binnen PZWA is geworden. In de nieuwe interpretatie, met andere breukliggingen en minder doorwerking naar boven, is het denkbaar dat ook hier de scheidende lagen (WAK1, WAK2, mogelijk ook MSK1, MSK2 en OOK1) doorlopen. In beide west-oost profielen kan dit echter niet betrouwbaar worden aangetoond met de beschikbare informatie uit boringen.

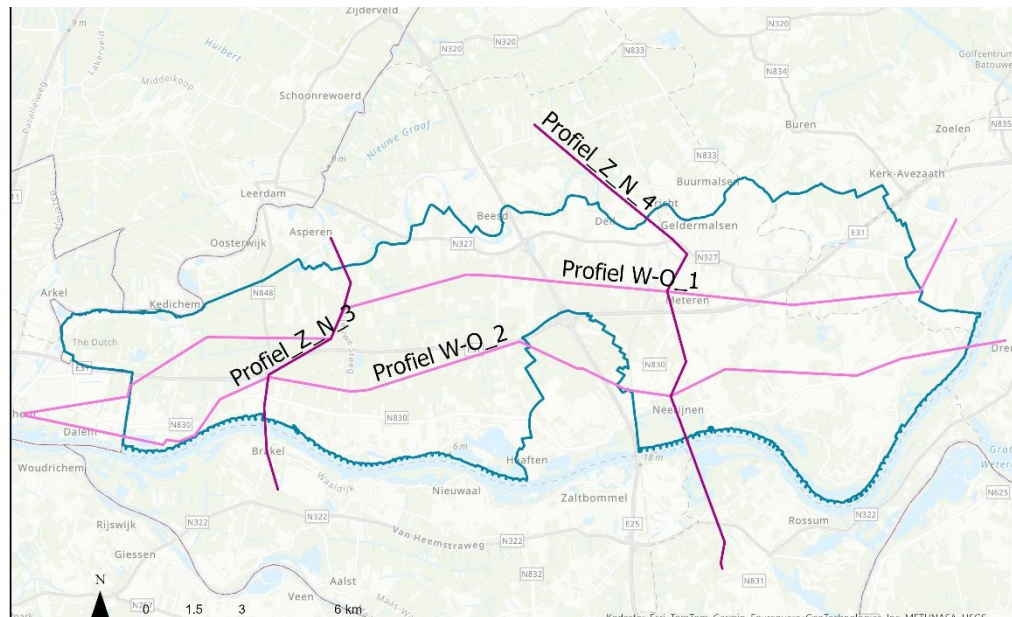
3.2.2 Boringen buiten de profielen

De hydrogeologische profielen zijn langs zoveel mogelijk matig diepe boringen gekozen. Vanwege de beperkte datadichtheid zijn er maar zes boringen >100 m overgebleven buiten de profielen. Hiervan zijn er twee op voorhand niet geschikt voor interpretaties, vanwege de onbekendheid van de boormethode, het ontbreken van een boorgatmeting en de lengte van de beschreven intervallen (tot meer dan 30 m). Het betreft B39C2766 en B39C2767. De andere vier boringen worden hieronder kort besproken:

- B38C0119, een puls boring uit 1924 tot 104 m – mv in Spijk (Gld.). WAK1 en WAK2 zijn geïnterpreteerd op diepten vergelijkbaar met profiel W-O_1, maar met grotere dikten. Er is geen boorgatmeting beschikbaar;
- B39C0015, een puls boring uit 1907 tot 102 m – mv in Geldermalsen. De geïnterpreteerde niveaus van WAK1 en WAK2 zijn ondieper dan in het nabijgelegen profiel Z_N_4. In REGIS II is tussen het profiel en de boring een flexuur aanwezig in deze eenheden. Er is geen boorgatmeting beschikbaar;
- B39D0240, een luchtlift boring tot 156 m – mv met boorgatmeting, ten zuiden van Erichem. De boring is wel geïnterpreteerd in geologische, maar niet in hydrogeologische eenheden. In het dieptebereik van de Formatie van Peize-Waalre zijn kleilige intervallen beschreven op diepten vergelijkbaar met het meest oostelijke deel van profiel W-O_1;
- VARIK-01, een olie-/gas boring tot 1860 m -mv waarvan scans van de gamma-log in het boorgat beschikbaar zijn via het NLOG-portaal. De boorlocatie is circa 1400 m ten zuidwesten van boring B39D0168 langs profiel W-O_2. De gamma-log verschaft in het ondiepe bereik weinig informatie, met uitzondering van een kleilig interval tussen 80 en 95 m diepte dat vermoedelijk overeenkomt met WAK2. In B39D0168 is in dit interval siltig zand beschreven.



Figuur 3.4: Profiel W-O_2 met boorprofielen cf. DINO-legenda en gamma-profielen van boorgatmetingen. Achtergrond: BRO REGIS II v2.2.2. Legenda: doorlopende dikke zwarte lijn = interpretatie, stippellijn = onzekere interpretatie. ? = onvoldoende (kwaliteit) data voor interpretatie. X = geen breukverzet aanwezig volgens nieuwe seismische interpretatie. Donkerrode verticale lijn: breukverzet zoals die te vervolgen is volgens de seismische analyse. Blauwe tekst: nieuw geïnterpreteerde eenheden.

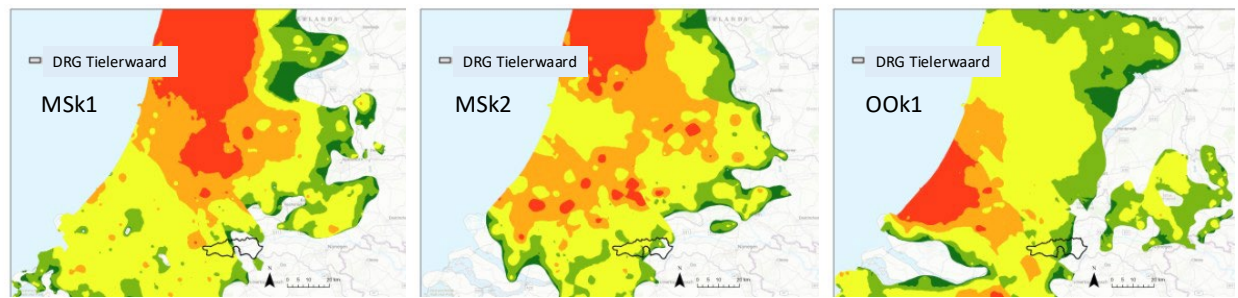


Figuur 3.5: Ligging hydrogeologische profielen.

3.2.3 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

Een belangrijke bevinding op basis van de seismiek en de profielen is dat de scheidende lagen, en daarmee ook de tussenliggende watervoerende pakketten, mogelijk een meer continue ruimtelijk verloop hebben dan in REGIS II. Verder geldt dat het gat in WAK1 in REGIS II bij PS Mr. Kolff niet geheel terecht wordt bevonden. Deze scheidende laag lijkt daarmee overal in DRG Tielerwaard aanwezig, zij het niet overal met dezelfde diepteligging en dikte. De huidige kennis over WAK1 geeft daarom geen aanleiding om delen van DRG Tielerwaard bij voorbaat als geschikter of minder geschikt aan te merken vanuit het aspect *bescherming tegen invloeden van bovenaf / doorwerking van effecten naar maaiveld*. Voor de iets dieper liggende WAK2 kan grotendeels hetzelfde worden gezegd, al is de genoemde strook in het uiterste oosten wel een aandachtspunt.

Voor de scheidende lagen die bescherming moeten bieden tegen invloeden van onderaf (met name MSK1, MSK2, eventueel OOK1) is de uitwerking van de bevinding iets anders. Deze eenheden zijn in REGIS II (vrijwel) niet aanwezig in het zuidoosten en uiterste oosten van DRG Tielerwaard. Het DRG ligt dichtbij de oostelijke verbreedingsgrenzen van deze eenheden (zie [Figuur 3.6](#)). Het is daarom denkbaar dat deze eenheden alsnog in oostelijke richting uitwijken in het DRG. Met de huidige kennis lijkt het er daarom op dat de kans op *bescherming tegen invloeden van onderaf* in het uiterste oosten en zuidoosten van DRG Tielerwaard kleiner is dan elders in het gebied. Het bedoelde gebied is ruwweg het gebied waar in [Figuur 3.10](#) (verderop in het rapport, paragraaf 3.3) geen weerstand volgens REGIS II aanwezig is.



Figuur 3.6: Ligging van DRG Tielerwaard (zwarte lijn) ten opzichte van de verbreidingen van de kleiige REGIS II eenheden MSk1, MSk2 en OOk1. De kleuren in de kaart geven de hydraulische weerstand weer, zie ook paragraaf 3.3, maar dienen nu om de verbreiding aan te geven.

3.2.4 Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. bescherming van een drinkwaterwinning

De huidige kennis van de verbreidingen en dikten van scheidende lagen in DRG Tielerwaard geeft een eerste indruk van mogelijk geschiktere en minder geschikte deelgebieden vanuit het aspect bescherming, maar is niet toereikend voor een definitieve geschiktheidsbeoordeling. Dit is ten eerste te wijten aan een onvoldoende resolutie van de seismische informatie in het matig diepe bereik om het ruimtelijk verloop van scheidende lagen te kunnen vaststellen. Ten tweede zijn er weinig bruikbare matig diepe boringen in het DRG. Langs profiel W-O_2 is bijvoorbeeld de afstand tussen opeenvolgende boringen meer dan 15 km. Dit maakt het vaststellen van verbreidingen en dikten van scheidende lagen door interpolatie vanuit die boringen onzeker, en daarmee ook de beoordeling op geschiktheid op basis van verbreidingen en dikten. De onzekerheid geldt voor het gehele matig diepe bereik (zowel PZWA als MS) maar is het grootst voor de diepere scheidende lagen (MSk1, MSk2, OOk1).

3.2.5 Mogelijkheden voor nader onderzoek

De onzekerheid over verbreidingen en dikten van scheidende lagen kan worden verkleind met nieuwe boringen in combinatie met een herinterpretatie van bestaande gegevens.

Het uitvoeren van zuig/luchtliftboringen in combinatie met boorgatmetingen op locaties tussen de al beschikbare boringen verkleint de gemiddelde afstand tussen datapunten, en daarmee de onzekerheid. De boorgaten kunnen worden afgewerkt met peilbuizen met filters in opeenvolgende watervoerende pakketten, voor inzichten in stijghoogteverschillen, temperatuur en chloridegehalten. Zie daarvoor de volgende paragrafen. Optioneel kunnen kernen worden gestoken in geselecteerde intervallen. Steekkernen zijn van hogere kwaliteit dan de gangbaar opgeboorde geroerde monsters, en geven informatie over de samenstelling van het sediment, en over het afzettingsmilieu. Daarnaast kunnen ze bemonsterd worden voor doorlatendheidsanalyses in het laboratorium.

Een nadeel is dat in deze fase min of meer ‘blind’ gestoken moet worden; het steken levert een beter resultaat op wanneer op basis van naburige boorgaten informatie beschikbaar is over de verwachte diepte van de intervallen waar de interesse naar uit gaat. Dat maakt deze activiteit effectiever in de context van een waterwinplaatsonderzoek.

De locaties voor de nieuwe boringen kunnen worden geoptimaliseerd door voorafgaand herinterpretaties uit te voeren van VES-metingen en eventueel seismische gegevens. Herinterpretaties van VES-metingen zijn primair bedoeld voor het verkleinen van de onzekerheid over zoet, brak en zout grondwater (zie paragraaf 3.5), maar leveren belangrijke bijvangst. Een belangrijke stap bij de herinterpretatie is de vergelijking van het VES-weerstandspatiefiel met de hydrogeologische opbouw. Die vergelijking dient om variaties in het profiel als gevolg van zand-klei verschillen te scheiden van variaties als gevolg van zoet-zout verschillen. Door de VES-weerstandspatiefielen te vergelijken met de hydrogeologische opbouw ter plekke volgens REGIS II, kan de betrouwbaarheid van REGIS II worden getoetst. Het betrouwbaarheidsniveau van REGIS II kan vervolgens worden gebruikt als criterium bij de keuze voor nieuwe boorlocaties.

Daar waar de betrouwbaarheid van REGIS II laag is, kan aanvullend een herbewerking en herinterpretatie van bestaande seismische gegevens worden uitgevoerd. De nu gebruikte seismische gegevens zijn bewerkingen op ruwe data langs de seismische lijnen. Deze bewerkingen zijn toegespitst op een dieptebereik (> 1 km) dat ver onder het matig diepe bereik van DRG Tielerwaard ligt. De data zijn als het ware scherp gesteld op de diepe ondergrond, en daarbij is het matig diepe en ondiepe bereik onscherp(er) gebleven. Door de beschikbare ruwe data te herbewerken en vervolgens opnieuw te interpreteren kan een scherper seismisch beeld van het matig diepe bereik worden verkregen. De te behalen winst is vooraf niet goed te voorspellen, maar soms blijkt bijvoorbeeld dat na herbewerking en herinterpretatie breuken toch ondieper doorlopen. Ook is het soms mogelijk om het ruimtelijk verloop van belangrijke horizonten zoals de basis van stratigrafische eenheden beter in kaart te brengen. Op basis van dergelijke inzichten is een verdere optimalisatie van de geplande boorlocaties denkbaar. De potentie van de seismische lijnen voor herbewerking en herinterpretatie in het bereik 0 – 250 m – mv is weergegeven in [Figuur 3.7](#). De donkergroene lijnen zijn na herbewerking mogelijk geschikt voor herinterpretatie vanaf circa 50 m diepte (ruwweg het niveau van WAK1). Voor de gele lijnen geldt dit ruwweg vanaf WAK2 (100 m en dieper) en voor de oranje lijn vanaf circa halverwege de Formatie van Maassluis (150 m en dieper). In het algemeen geldt: hoe ondieper, hoe onscherper het uiteindelijke beeld. Bij het inschatten van de potentie is onderscheid gemaakt in zgn. ‘pre-stack reprocessing’ en ‘post-stack data conditioning’. De snelste winst is te behalen met post-stack data conditioning. Zelfs als er prestack data is, zal dit een aanzienlijke investering in tijd en geld kosten, in de orde van maanden. Het wordt betwijfeld of die investering voldoende meerwaarde biedt. Daarom richtte de inschatting zich op het post-stack gedeelte. De insteek is daarbij dat gebruik wordt gemaakt van een reeds bestaand snelheidsmodel voor de conversie van seismische naar hydrogeologische informatie (tijd-diepte conversie).



Figuur 3.7: Inschatting van de potentie van seismische lijnen voor herbewerking in de vorm van zgn. post-stack data conditioning.

De inzet van hoge resolutie seismiek (HRS) wordt in deze fase van het DRG (nog) niet aanbevolen. HRS wordt vaak langs lijnen van enkele km lengte geschoten voor het gedetailleerd in kaart brengen van relatief kleine gebieden, waar variaties op korte afstand te verwachten zijn, bijvoorbeeld rond breuken. Voor de interpretatie is enige vorm van informatie uit bestaande boringen in de omgeving noodzakelijk. In de huidige fase is de vraag waar HRS in te zetten niet goed te beantwoorden.

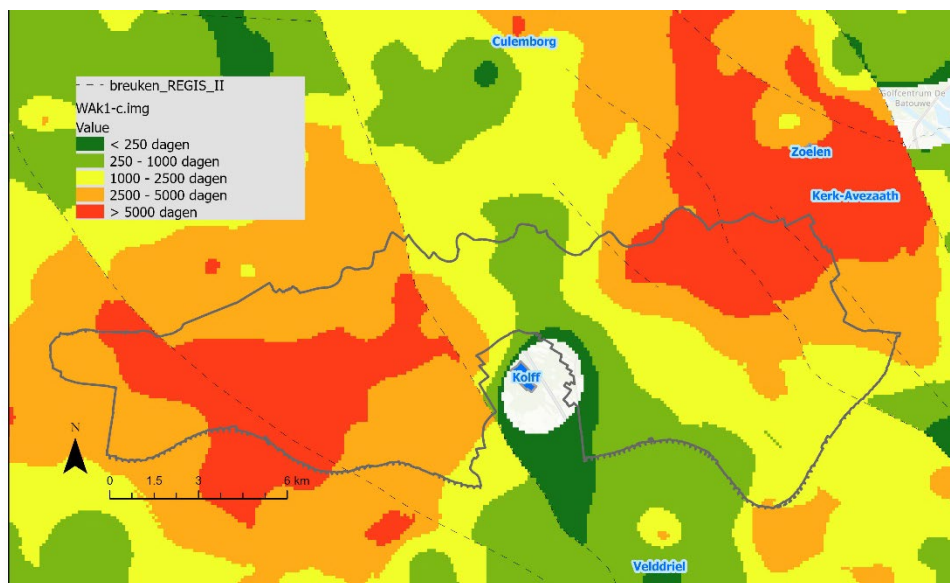
3.3 Hydraulische weerstand (c-waarde)

3.3.1 Analyse van de gegevens

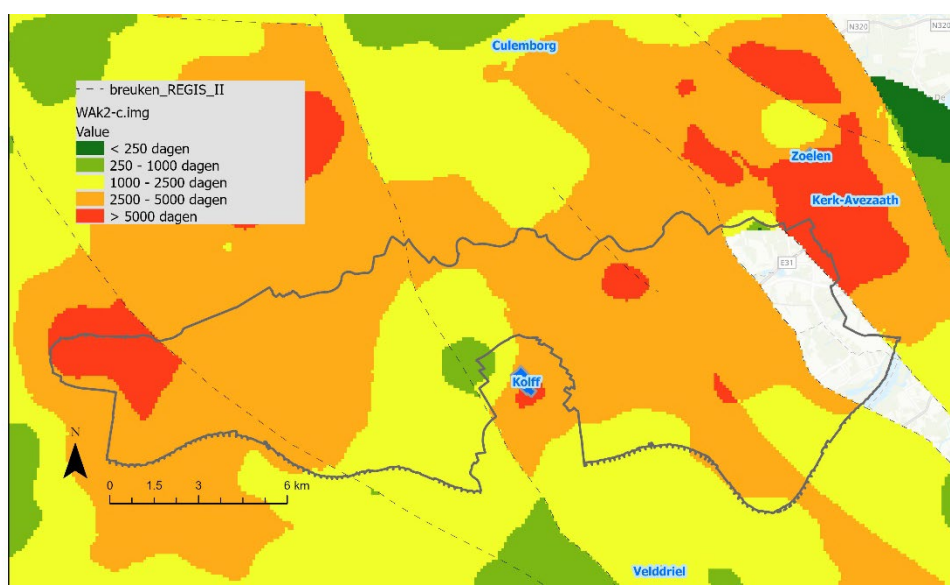
De hydraulische weerstand in REGIS II is – kort gezegd- berekend door landelijk uniforme kentallen voor de verticale doorlatendheid (K_v) te combineren met informatie op boorpuntniveau over de samenstelling van de kleiige eenheid (aandelen klei, kleiig zand en eventueel zandige tussenlagen). Met de resulterende opgeschaalde K_v -waarde wordt vervolgens een interpolatie uitgevoerd vanuit de boorpunten. Tenslotte wordt de geïnterpoleerde dikte van de eenheid gedeeld door de geïnterpoleerde K_v -waarde. Zie Hummelman e.a. (2017) voor een meer gedetailleerde beschrijving van de procedure.

Figuur 3.8 t/m **Figuur 3.10** geven als voorbeeld de weerstanden van REGIS II eenheden WAK1, WAK2 en MSK2. In **Error! Reference source not found.** zijn deze kaarten opgenomen van alle relevante REGIS II eenheden. In **Figuur 3.9** en **Figuur 3.10** is te zien hoe de eerder besproken verbreidingen doorwerken in de hydraulische weerstand: in het breukblok in het uiterste oosten, waar WAK2 en MSK2 niet aanwezig zijn in REGIS II, is ook geen hydraulische weerstand voor deze eenheden berekend.

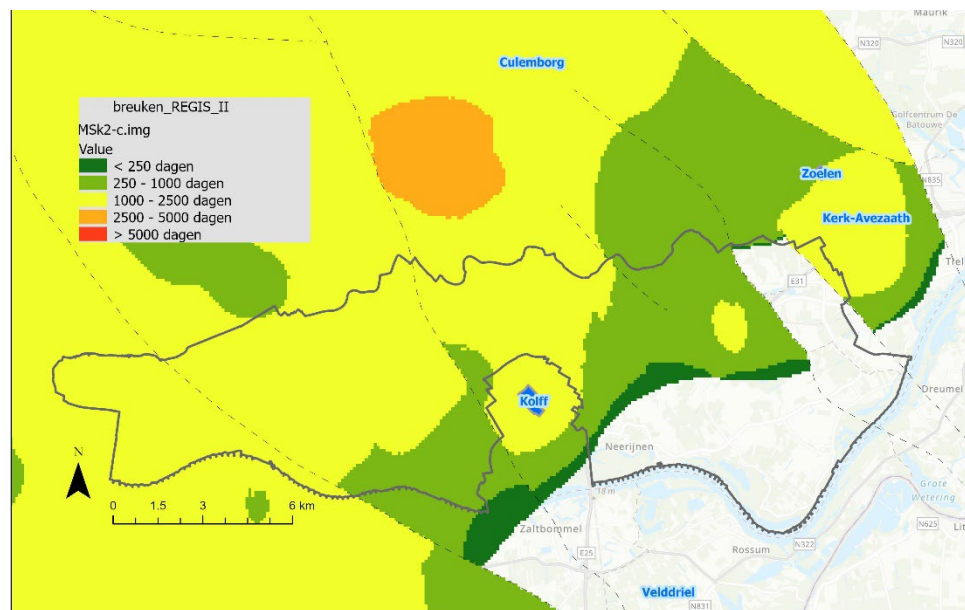
Voor DRG Tielerwaard zijn de in REGIS II gemodelleerde weerstanden van de kleiige eenheden (scheidende lagen) SYk1, WAK1, WAK2, WAK3, MSK1, MSK2 en OOK1 vergeleken met de beschikbare gegevens uit pompproefrapporten en stijghoogten. In [Tabel 3.1](#) zijn de bevindingen samengevat. Over het algemeen liggen de regionale REGIS II waarden in dezelfde orde van grootte als de lokale pompproefwaarden. De stijghoogteverschillen zijn in lijn met de pompproefbevindingen, en geven alleen bij PS Kolff een aanvullend inzicht, namelijk dat WAK2 hier de belangrijkste Waalre-kleilaag lijkt. Een uitschieter is het verschil voor WAK1 in Opijnen, dat meer dan een factor 9 bedraagt. Er zijn ook vrij grote verschillen voor WAK2 en MSK2 in Culemborg, maar hier zijn de waarden uit de rapporten ontleend aan boorbeschrijvingen en niet aan de pompproef zelf. Voor de diepere scheidende lagen (MSK1, MSK2, OOK1) zijn (vrijwel) geen vergelijkingsgegevens voorhanden.



Figuur 3.8: Hydraulische weerstand van WAK1 in REGIS II v2.2.2.



Figuur 3.9: Hydraulische weerstand van WAK2 in REGIS II v2.2.2.



Figuur 3.10: Hydraulische weerstand van MSK2 in REGIS II v2.2.2.

Tabel 3.1: Bevindingen met betrekking tot de hydraulische weerstand van kleiige REGIS II eenheden in DRG Tielerwaard.

Eenheid	Info pompproeven (REGIS II waarde ter plaatse)	Info stijghoogteverschillen	Algemene indruk
SYk1		Klein verschil bij PS Mr. Kolff (0,2 m in B39C0154)	Van ondergeschikt belang (in grote delen afwezig in REGIS II)
Wak1	Culemborg >4900 d (<i>max 5500 d</i>) Gellicum 5500 d (<i>4000-5000 d</i>) Opijnen >9000 d (<i>1000 d</i>) Kerk Avezaath 10.500 d (<i>10.000 d</i>) Zoelen >20.000 d (<i>max 12000 d</i>)	Klein verschil bij PS Mr. Kolff (<0,1 m in B39C0154) Grote verschillen bij PS Kerk Avezaath (tot 4 m in B39D0222) Verschil van 0,1 m bij Herwijnen, geen PS in de buurt (B38H0234)	Deze eenheden zijn volgens REGIS II de belangrijkste weerstandbiedende lagen in grote delen van de Tielerwaard. Plaatselijk grote afwijkingen tussen lokaal onderzoek en REGIS II (factor 2 tot >9).
Wak2	Culemborg 5000 d ⁴ (<i>2000 d</i>) Kerk Avezaath 7500 d (<i>9500 d</i>)	Vrij groot verschil bij PS Mr. Kolff (1,2 m in B39C0154) Vrij groot verschil bij PS Kerk Avezaath (1,5 m in B39D0222)	
Wak3	Kerk Avezaath 825 d (<i>1000 d</i>) Zoelen >1500 d (<i>max. 7000 d</i>)	Vrijwel geen verschil bij PS Mr. Kolff Vrij groot verschil bij PS Kerk Avezaath (1,8 m in B39D0222), vermoedelijk ook aandeel MSk1 hierin	Lijkt van ondergeschikt belang in de Tielerwaard volgens REGIS II. Vrijwel geen vergelijkingsgegevens.
MSk1		PS Kerk Avezaath: zie Wak3	Toenemende trend van de weerstand naar het westen in REGIS II. Geen vergelijkingsgegevens.
MSk2	Culemborg 500 d ⁴ (<i>1700 d</i>)	PS Kerk Avezaath: verschil tot 0,3 m, vermoedelijk ook aandeel Ook1 of OOc hierin. Neerwaartse gradiënt, oorzaak niet bekend.	Toenemende trend van de weerstand naar het westen in REGIS II. Vrijwel geen vergelijkingsgegevens.
Ook1		PS Kerk Avezaath: zie MSk2	Toenemende trend van de weerstand naar het westen in REGIS II. Geen vergelijkingsgegevens.
alle			

⁴ pompproefwaarde is afgeleid uit de boorgatmeting en/of boorbeschrijving

3.3.2 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

Afgaande op de REGIS II informatie over WAK1 en/of WAK2 is er geen aanleiding om delen van DRG Tielerwaard bij voorbaat als minder geschikt aan te merken vanuit het aspect *bescherming tegen invloeden van bovenaf / doorwerking van effecten naar maaiveld*. Er lijkt overal minimaal 1000 dagen weerstand aanwezig per scheidende laag, of 2500 dagen gezamenlijk in beide genoemde scheidende lagen. Beide getallen worden in de praktijk gehanteerd om aan te duiden of een laag voldoende bescherming biedt of voldoende scheidend is (zie bv. Verhagen e.a., 2018; Engel e.a., zonder datum). WAK3 lijkt vanwege de lagere weerstand van minder betekenis. Deze laag ligt middenin het beoogde winbereik en is ook daarom minder zinvol als beschermende laag.

Afgaande op de REGIS II informatie over MSK1, MSK2 en OOK1 lijkt het oosten van het DRG, ruwweg ten oosten van de lijn Geldermalsen – Zaltbommel, minder geschikt vanuit het aspect *bescherming tegen invloeden van onderaf*.

3.3.3 Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. bescherming van een drinkwaterwinning

Net als bij de verbreidingen geeft de huidige kennis van de hydraulische weerstand van scheidende lagen een eerste indruk van mogelijk geschiktere en minder geschikte deelgebieden binnen DRG Tielerwaard, maar is deze niet toereikend voor een definitieve geschiktheidsbeoordeling.

Omdat de hydraulische weerstand van scheidende lagen deels wordt bepaald door hun dikte, werkt de in paragraaf 3.2.4 geschetste onzekerheid over verbreiding (en dikte) van deze eenheden door in de onzekerheid over de hydraulische weerstand. Daarbij komt onzekerheid als gevolg van het gebruik van landelijk uniforme kentallen voor doorlatendheden. De vergelijking met lokale gegevens uit pompproefrapporten suggereert dat de regionale informatie uit REGIS II daarmee redelijk in lijn is, maar de pompproeven liggen vrijwel allemaal buiten het DRG.

3.3.4 Mogelijkheden voor nader onderzoek

De onzekerheid van de hydraulische weerstand kan worden verminderd door de onzekerheid rond verbreidingen en dikten te verminderen met nieuwe boorinformatie, zoals beschreven in paragraaf 3.2.5. Aanvullende informatie kan worden verkregen door steekkernen te nemen en deze te bemonsteren, zie ook paragraaf 3.2.5. Aanvullende, kwalitatieve informatie over de hydraulische weerstand kan worden verkregen door het meten van stijghoogte- en temperatuurverschillen over de scheidende lagen. Als er geen stijghoogteverschillen aanwezig zijn, kan als alternatief een putproef in de filters worden overwogen. Dit geeft ook inzicht in het water leverend vermogen.

3.4 kD-waarde van watervoerende pakketten

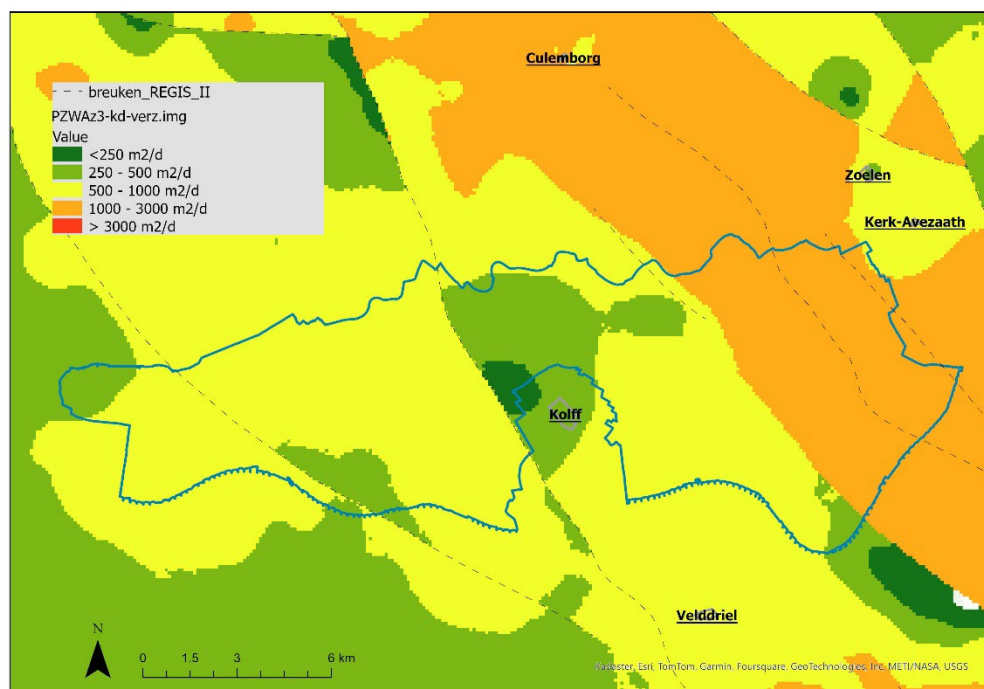
3.4.1 Analyse van de gegevens

De kD-waarde in REGIS II is berekend op een manier vergelijkbaar met de hydraulische weerstand (zie paragraaf 3.3.1), behalve dat het een horizontale doorlatendheid (Kh-waarde) betreft en geen Kv. Ook wordt de geïnterpoleerde dikte van de eenheid niet gedeeld door de geïnterpoleerde Kh-waarde, maar juist vermenigvuldigd (kD verwijst naar K maal D, doorlatendheid maal dikte). Zie Hummelman e.a. (2017) voor een meer gedetailleerde beschrijving van de procedure. [Figuur 3.11](#) en [Figuur 3.12](#) geven als voorbeeld de kD-waarden van REGIS II eenheden PZWAz3 en PZWAz4. In **Error! Reference source not found.** zijn deze kaarten opgenomen van alle relevante REGIS II eenheden. Voor DRG Tielerswaard zijn de in REGIS II gemodelleerde kD-waarden van de zandige eenheden in PZWA en MS vergeleken met de beschikbare gegevens uit pompproefrapporten en stijghoogten. In [Tabel 3.2](#) zijn de bevindingen samengevat. Over het algemeen liggen de regionale REGIS II waarden in dezelfde orde van grootte als de lokale pompproefwaarden. Opvallend zijn de relatief grote afwijkingen in PZWA3 en PZWA4 bij Kerk Avezaath.

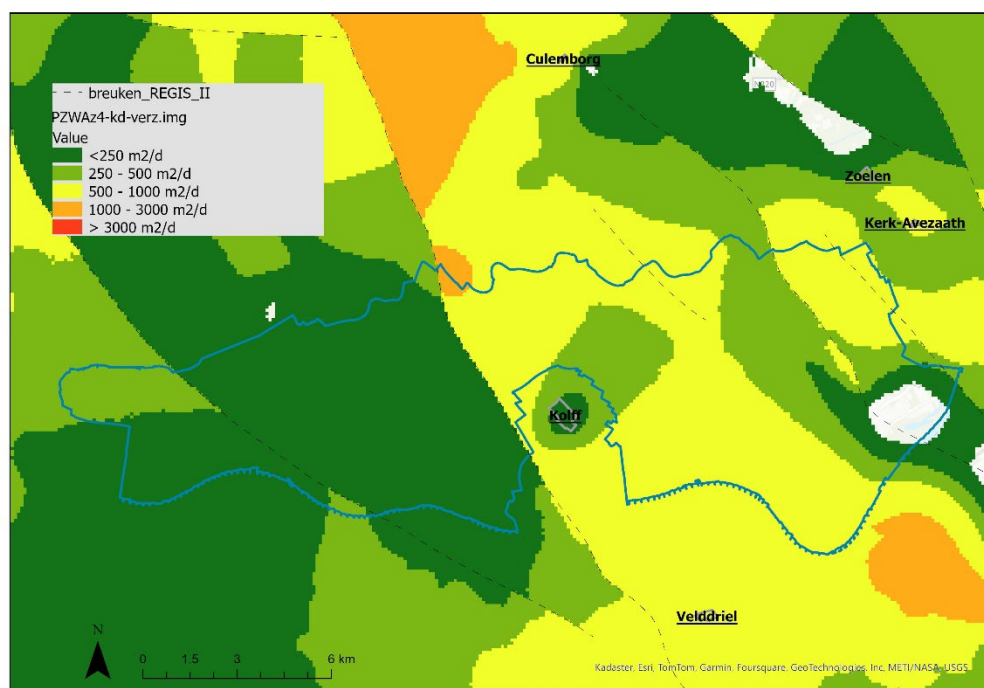
Tabel 3.2: Bevindingen met betrekking tot het doorlaatvermogen van zandige REGIS II eenheden.

Eenheid	Info pompproeven (<i>REGIS II waarde ter plaatse</i>)	Algemene indruk
PZWAz2	Culemborg 1150 m ² /d (<i>1200 m²/d</i>) Kerk Avezaath 620 m ² /d (<i>500 m²/d</i>) Zoelen 2400 m ² /d (+ PZWAz3) (<i>1000 m²/d</i>)	Geen regionale trends. PZWAz3 vertoont in REGIS II de hoogste waarden, in het oosten > 1000 m ² /d. Alle andere eenheden vertonen waarden <1000 m ² /d, ook de eenheden die samen een watervoerend pakket vormen (PZWAz4+MSz1, MSz3+4).
PZWAz3	Culemborg 1030 m ² /d (+ PZWAz4-MSz1) (<i>1750 m²/d</i>) Kerk Avezaath 1910 m ² /d (<i>660 m²/d</i>)	
PZWAz4 – MSz1	Kerk Avezaath 1990 m ² /d (<i>630 m²/d</i>)	
MSz2	Culemborg 100 m ² /d ⁵ (<i>200 m²/d</i>)	
MSz3+4	Culemborg 800 m ² /d ⁵ (<i>350 m²/d</i>)	

⁵ pompproefwaarde is afgeleid uit de boorgatmeting en/of boorbeschrijving



Figuur 3.11: kD-waarde van PZWaz3 in BRO REGIS II v2.2.2.



Figuur 3.12: kD-waarde van PZWaz4 in BRO REGIS II v2.2.2.

3.4.2 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

In de praktijk hanteert Vitens voor het doorlaatvermogen een minimaal vereiste waarde van 500 m²/dag, omdat bij lagere kD-waarden niet voldoende filterlengte geplaatst kan worden (Vitens, pers. comm.). Afgaande op de REGIS II informatie lijkt dan vooral de eenheid PZWaz3 geschikt voor drinkwaterwinning in grote delen van DRG Tielerwaard, en in delen van de oostelijke helft ook PZWaz4. PZWaz2 en de zandige MS-eenheden hebben lagere kD-waarden, ook bij combinatie van MSz3 en MSz4 die in het DRG niet van elkaar worden gescheiden door een scheidende laag. In het midden en westen van het DRG wordt plaatselijk de vereiste kD-waarde voor geen enkele individuele zandige eenheid gehaald. Het betreft gebieden die in zowel Figuur 3.11 als Figuur 3.12 groen gekleurd zijn. Het lijkt evenwel voorbarig om dit deel van het DRG nu al als ongeschikt te beoordelen, omdat de vereiste waarde wel gehaald wordt bij een combinatie van kD-waarden van PZWaz3 en PZWaz4, terwijl de tussenliggende scheidende laag WAk3 mogelijk niet sterk ontwikkeld is (weerstand < 300 dagen).

De (schaarse) boorbeschrijvingen die MS bereiken in het DRG laten een gevarieerd beeld zien voor die zandige eenheden: in B39C0154 veel grof zand, maar in B39C0104 en B39D0195 grote intervallen kleiig en/of matig fijn zand. Dit duidt op afwisselingen tussen kleigere en zandigere lagen, en op kleine korrelgroottes, hetgeen de geschiktheid voor drinkwaterwinning vermindert.

3.4.3 Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. waterleverend vermogen

Voor de onzekerheid over kD-waarden geldt in grote lijnen hetzelfde als voor de hydraulische weerstand. De grootste afwijkingen tussen REGIS II en pompproefwaarden van de kD zijn ongeveer een factor 3 (bij Kerk Avezaath), en zijn daarmee kleiner dan de grootste afwijking voor de hydraulische weerstand (een factor 9 bij Opijnen, zie paragraaf 3.3.3). De onzekerheid over de kD-waarde wordt op grond hiervan (iets) lager verondersteld dan over de hydraulische weerstand, maar kan alsnog het verschil maken tussen een waarde onder of boven de vereiste 500 m²/d. Daarom geldt ook voor de huidige kennis over de kD-waarde dat deze een eerste indruk van mogelijk geschiktere en minder geschikte deelgebieden binnen DRG Tielerwaard geeft, maar niet toereikend is voor een definitieve geschiktheidsbeoordeling.

3.4.4 Mogelijkheden voor nader onderzoek

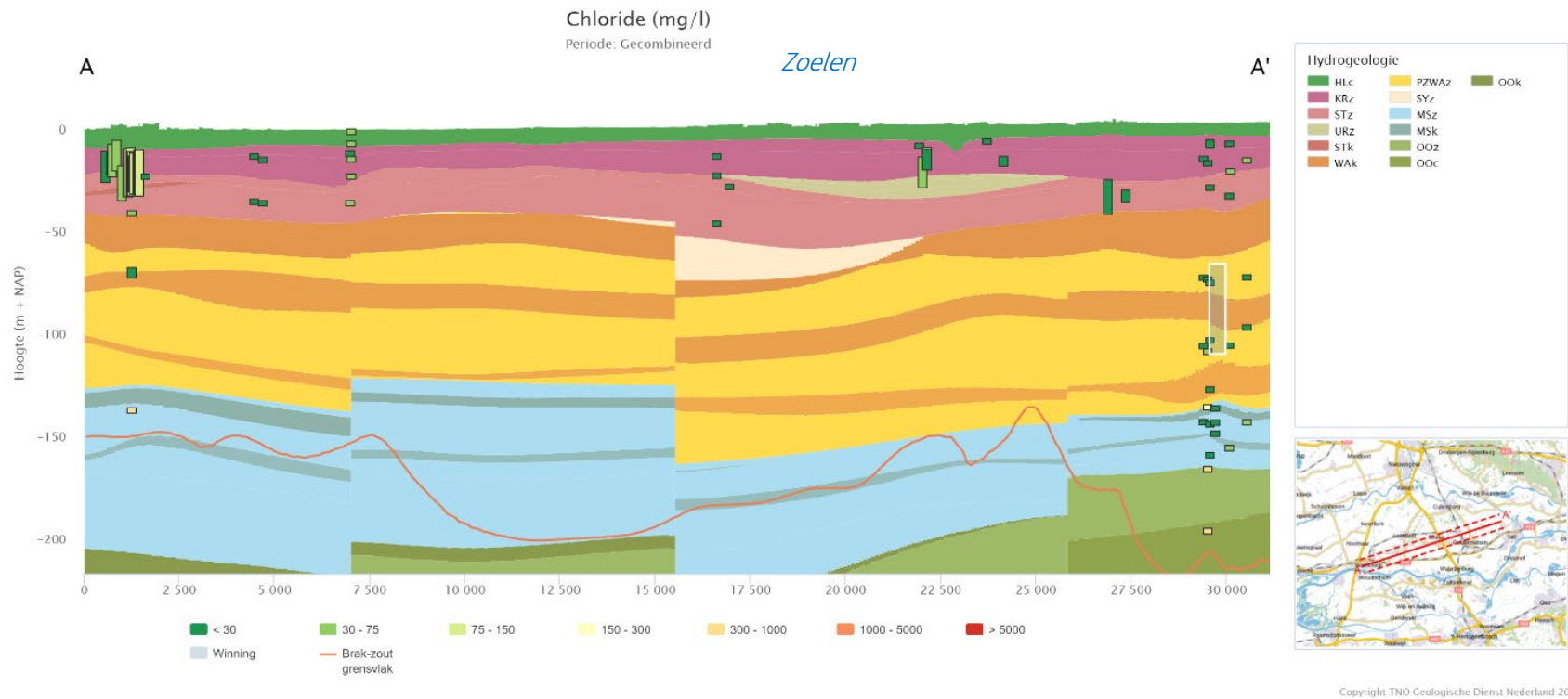
De onzekerheden kunnen op dezelfde manier worden verminderd als bij de hydraulische weerstand, waarbij met name putproeven informatie geven over het waterleverend vermogen. Voor de bepaling van geschiktheid van een specifieke beoogde winplaats is altijd een pompproef ter plekke nodig.

3.5 Zoet, brak en zout grondwater

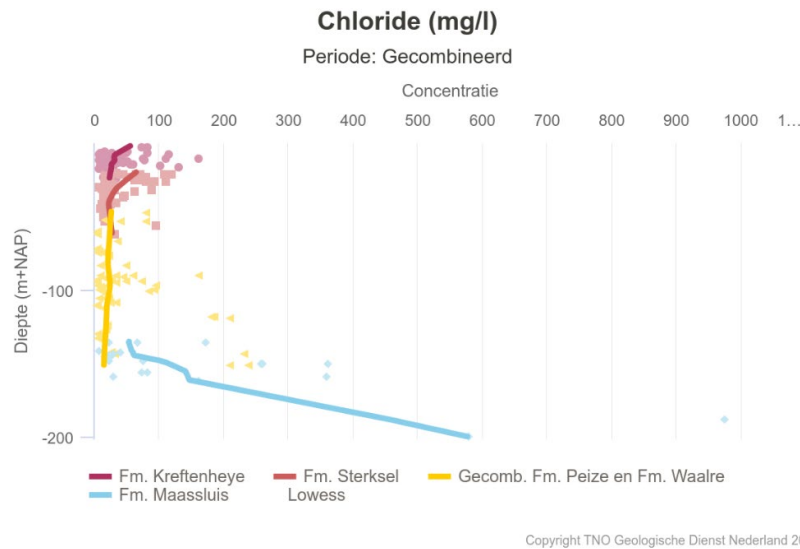
3.5.1 Chloridemetingen

Figuur 3.13 toont gemiddelde chlorideconcentraties in een profiel van west naar oost over het onderzoeksgebied tot aan winning Zoelen. Uit dit profiel wordt duidelijk dat in MS (blauwe lagen) en OO (groene lagen onder in het profiel) het grondwater brak tot zout is. Het verschil in chlorideconcentraties per formatie is nog duidelijker zichtbaar in de diepteplot (**Figuur 3.14**). Hierin zijn alle gemiddelde chloride concentraties voor de vier geselecteerde formaties weergegeven als punten en ook als de LOWESS-kromme (een lijn per formatie). De LOWESS-kromme is de lokale mediaan door alle meetpunten die helpt om de relatie tussen de data en de diepte te zien. In de ondiepste formaties van Kreftenheye (hierna: KR) en ST neemt de chlorideconcentratie met de diepte af, in PZWA blijven de concentraties redelijk constant al zijn er wel uitschieters boven de drinkwaternorm (150 mg/l jaargemiddeld). In MS nemen de concentraties met de diepte weer toe. **Figuur 3.15** geeft de chlorideconcentraties in een profiel weer over de winningen Kolff en Velddriel, doorgetrokken tot aan winning Nuland. Ook hierin is zichtbaar dat de chlorideconcentraties in de diepere mariene MS en OO toenemen van brak tot zout grondwater. Deze hogere chloridegehalten worden veroorzaakt door fossiel zeewater.

Het ligt niet voor de hand dat de hogere chlorideconcentraties in KR en ST bij een deel van de pompfilters van Kolff afkomstig zijn vanuit de dieper gelegen MS. De winningen Kolff en Velddriel liggen ondiep en onttrekken water uit KR en ST, Broers en Kivits (2022). In dit onderzoek is ook naar langjarige tijdreeksen gekeken en bij de winning Kolf is sprake van sterk oplopende chloride- en sulfaatconcentraties in de tijd, waarbij de stijging steeds sneller lijkt te gaan. Tegelijkertijd is de hardheid tot ca 2.5 mmol/l toegenomen en de pH gedaald. De veranderingen in kwaliteit worden door Broers en Kivits (2022) toegeschreven aan de fractie jong Rijnwater (0-70 jaar en 70-250 jaar) in deze winning. Aan de hand van de dateringsresultaten is in Broers en Kivits (2022) geconcludeerd dat de bijdrage vanuit PZWA bij deze winningen klein is, maar vooral zijwaarts vanuit ST en bovenliggende formaties afkomstig is.

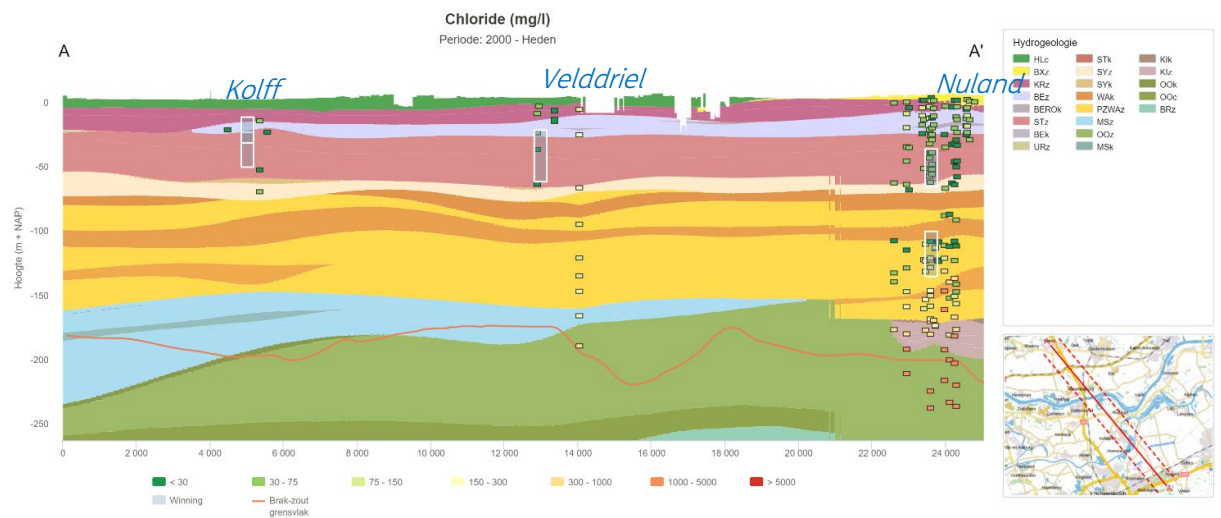


Figuur 3.13: Profiel over DRG Tielervaart van west naar oost (tot aan winning Zoelen) met daarin de chlorideconcentraties weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).



Copyright TNO Geologische Dienst Nederland 2025

Figuur 3.14: Diepteplot van de chlorideconcentratie in DRG Tielerwaard in KR, ST, PZWA en MS. De lijn is de LOWESS-kromme ofwel de lokale mediaan door alle meetpunten, die per formatie is bepaald en weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).



Copyright TNO Geologische Dienst Nederland 2025

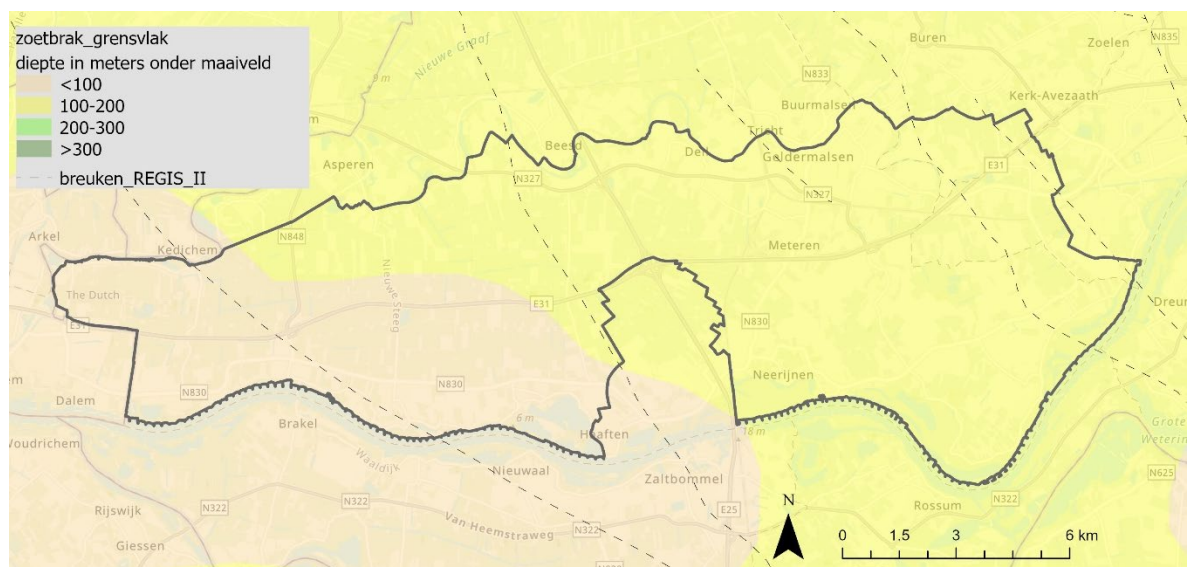
Figuur 3.15: Profiel over DRG Tielerwaard over de winningen Kolff, Velddriel tot aan Nuland met daarin gemiddelde chlorideconcentraties weergegeven over de periode 2000-heden (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)). NB: Van de getoonde diepe peilbuis bij Velddriel (B45B0106) zijn de analysesresultaten onbetrouwbaar (Vitens, pers. comm.).

3.5.2 Zoet-brak grensvlakken

Het verloop van het zoet-brak grensvlak van west naar oost is weergegeven in een representatief dwarsprofiel, zie Figuur 3.17. De diepte van de zoet-brak overgang volgens NGR is in het oosten en westen vergelijkbaar en ligt in beide gevallen in de REGIS II eenheid MSz2. In het midden ligt de overgang volgens NGR enkele tientallen meters dieper, in eenheid MSz3+4. Daarbij is het verloop van p50 en p75 vergelijkbaar, met in het midden de grootste onderlinge verschillen (tot 50 m). Het p25 vlak zakt soms diep weg en lijkt daarbij alleen nog begrensd te worden door de top van de eenheid BRz1 in REGIS II. Deze uitzakkingen zijn niet vanuit het grondwatersysteem te verklaren en ook niet in lijn met de informatie uit Grondwaterkwaliteit-in-Beeld, en daarom wordt p25 verder niet beschouwd bij het inschatten van onzekerheden.

Het zoet-brak grensvlak op Grondwatertools.nl laat in het zuidwesten van DRG Tielerwaard ondanks de vrij grove klassenindeling een verschil zien met NGR: het moet ondieper worden gezocht, waarschijnlijk in PZWA. De grens tussen de diepteklassen 50-100 m en 100-200 m is weergegeven in Figuur 3.16. De chloridemetingen geven geen uitsluitsel over welk grensvlak correct is, omdat in het verschilbereik (ca. -75 tot -150 mNAP) geen gegevens beschikbaar zijn. In het oosten van het DRG is er meer overeenstemming tussen chloridemetingen en de beide grensvlakbestanden, al suggereert de vrij grove klassenindeling van het Grondwatertools.nl grensvlak dat de zoet-brak overgang ook hier mogelijk (lokaal) in de PZWA-zanden ligt.

Samenvattend ligt de zoet-brak overgang in een groot deel van DRG Tielerwaard waarschijnlijk in MS, en is in het zuidwesten de kans groter dat de overgang ondieper ligt, in PZWA.

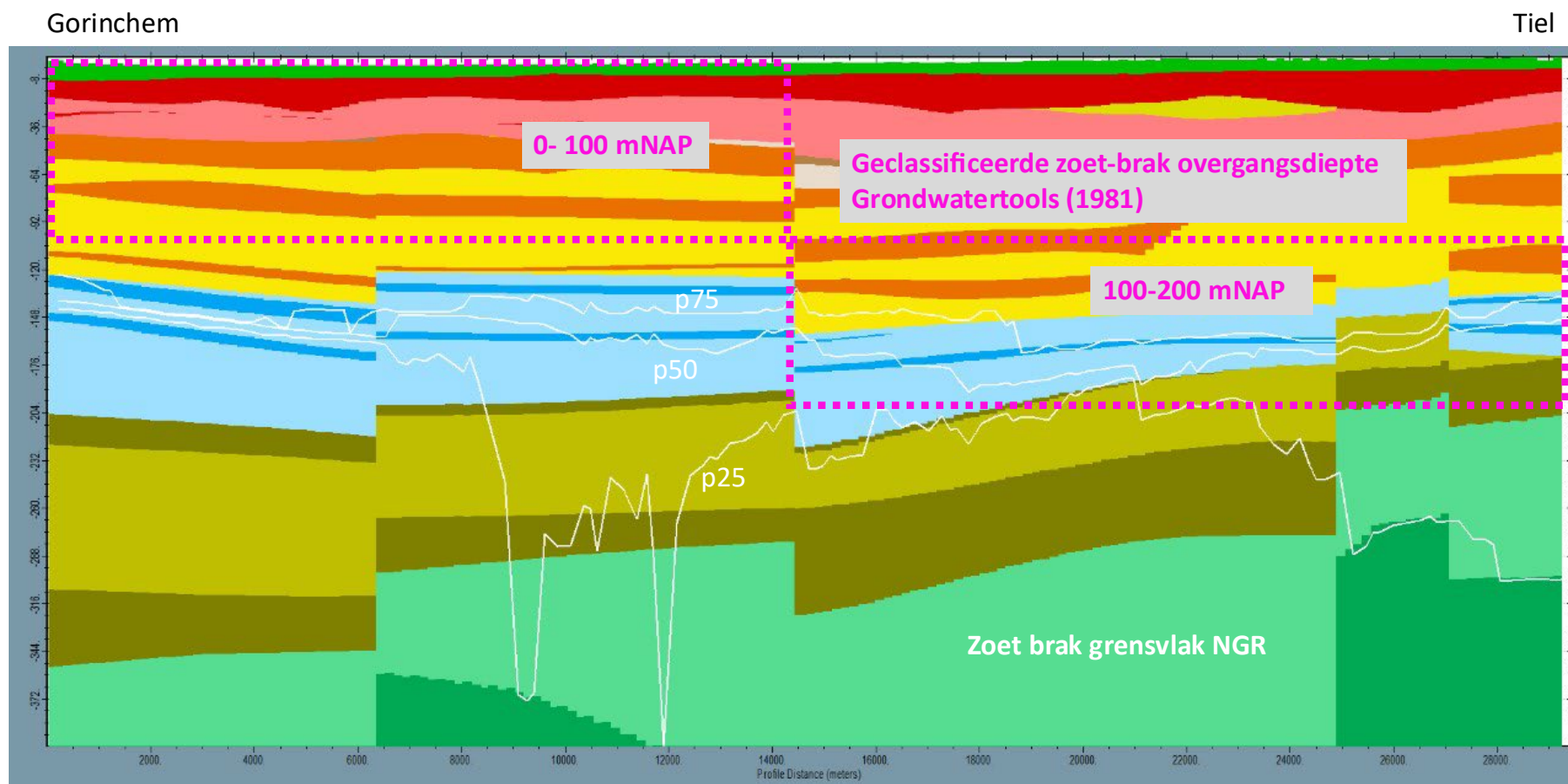


Figuur 3.16: Diepte van het zoet-brak grensvlak (Grondwatertools.nl).

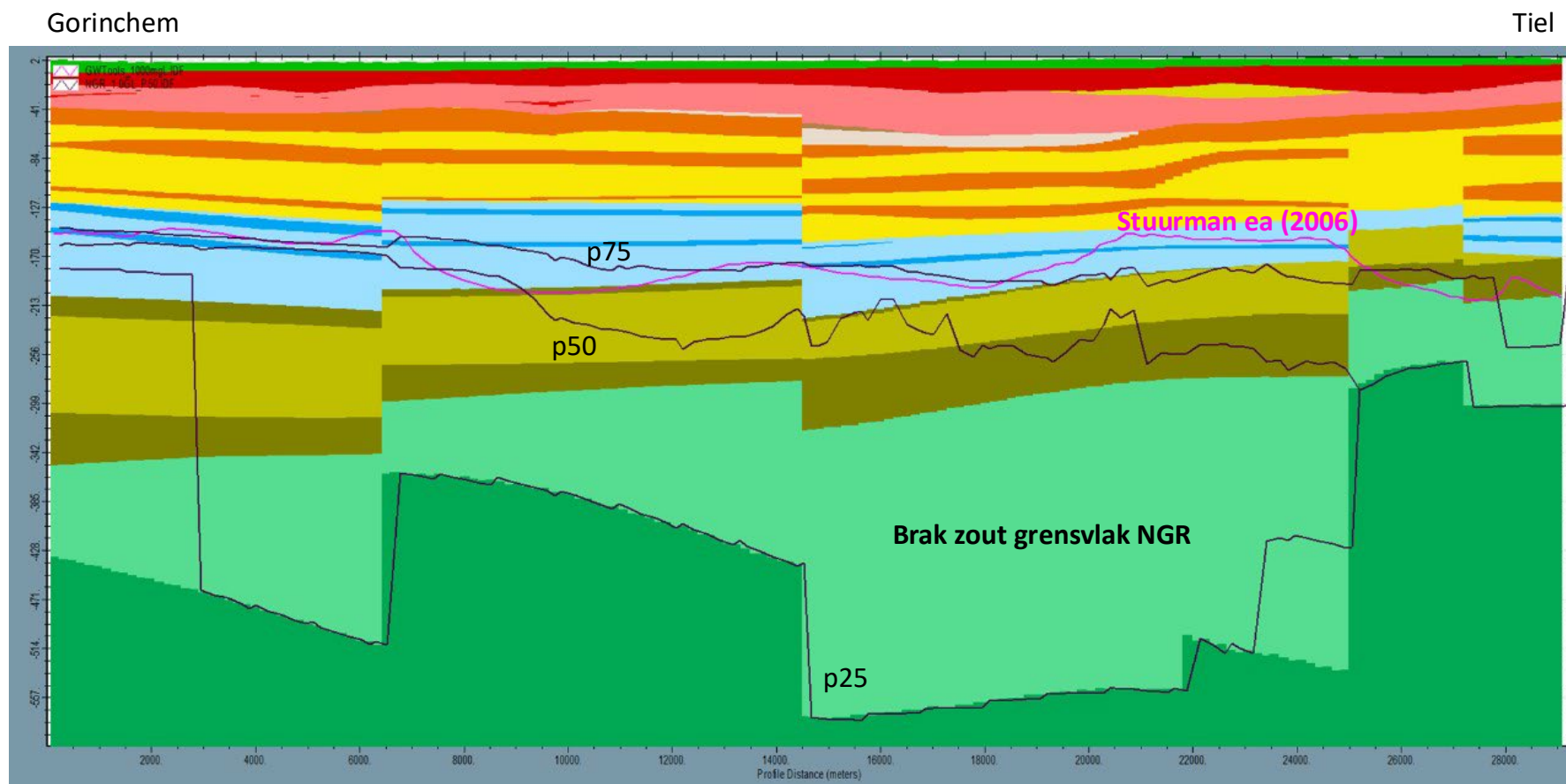
3.5.3 Brak-zout grensvlakken

Het verloop van het brak zout grensvlak van west naar oost is weergegeven in een representatief dwarsprofiel, zie [Figuur 3.18](#). Waar de zoet-brak grensvlakken in het westen van elkaar verschillen en in het oosten meer overeenstemmen, is het omgekeerde het geval bij de brak-zout grensvlakken. Beide grensvlakken liggen het ondiepst in het westen van DRG Tielerwaard, maar waar NGRp50 oostwaarts steeds dieper wordt, ligt het Stuurman e.a. (2006) grensvlak het diepst in het midden en uiterste oosten van DRG Tielerwaard. In het oostelijk deel van DRG Tielerwaard liggen plaatselijk vrijwel de gehele MS en OO in het verschilbereik tussen beide grensvlakken. Rond de lijn Geldermalsen - Varik lopen de verschillen op tot 180 m, zie ook [Figuur 3.19](#). Er zijn geen chloridemetingen op voldoende diepte langs dit profiel om de verschillen te duiden. Wel zijn er interpretaties van VES-metingen beschikbaar. In het midden en oosten van DRG Tielerwaard lijken deze meer in overeenstemming met het grensvlak volgens Stuurman e.a. (2006) dan met NGR p50.

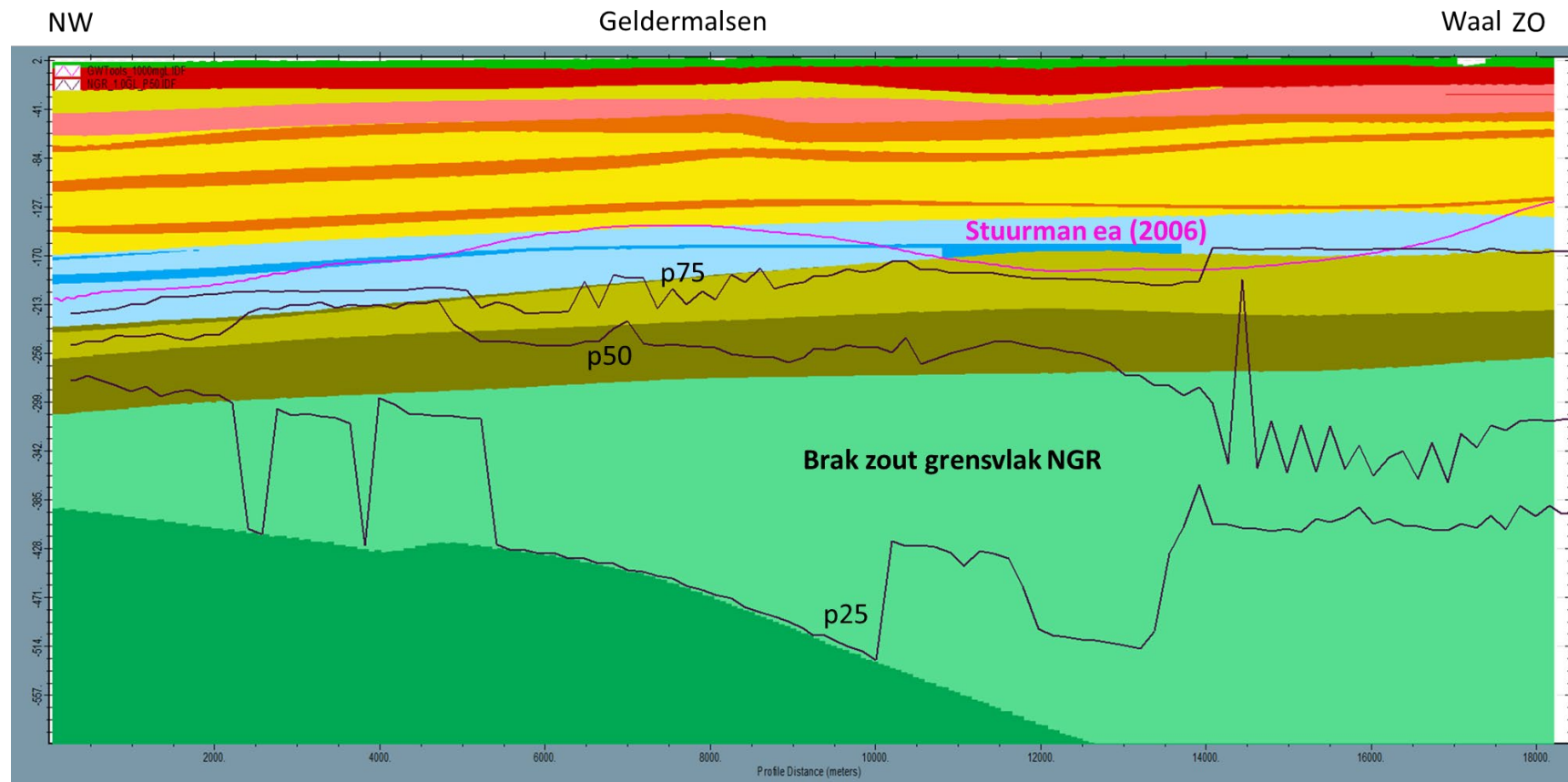
Bij Geldermalsen duikt het Stuurman e.a. (2006) grensvlak op tot een niveau van -135 mNAP, tot in PZWA. Deze opduiking is waarschijnlijk gebaseerd op één VES-meting B39C0001 (uitgevoerd in 1970), waar vanaf 120 m diepte de geïnterpreteerde weerstand onder 50 Ω m komt (zoet naar brak) en vanaf 160 m onder 10 Ω m (brak naar zout).



Figuur 3.17: Zoet brak grensvlakken NGR en Grondwatertools in een dwarsprofiel door DRG Tielerwaard.



Figuur 3.18: Brak zout grensvlakken NGR en Stuurman e.a. (2006) in een dwarsprofiel door het DRG Tielerwaard.



Figuur 3.19: Brak zout grensvlakken NGR en Stuurman (2006) in een NW-ZO dwarsprofiel van Culemborg via Geldermalsen naar Varik.

3.5.4 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

Op basis van de huidige inzichten in chloridegehaltes in het beoogde winpakket lijkt een groot deel van DRG Tielerwaard geschikt voor zoetwaterwinning uit de PZWA-zanden. Mogelijk is dit ook het geval voor relatief kleine hoeveelheden in het zuidwesten, maar hier bestaat ook een kans dat de PZWA-zanden (deels) brak zijn. In dat geval zou het zuidwesten van het DRG geschikter zijn voor brakwaterwinning.

Bij het bovenstaande is geen rekening gehouden met het mogelijk aantrekken van brak of zout grondwater van grotere diepte dan het beoogde winpakket. De geschiktheid vanuit dat aspect is aan de orde gekomen in paragraaf 3.2.3.

3.5.5 Onzekerheid over de geschiktheid m.b.t. de beschikbaarheid van zoet grondwater

Ook de huidige kennis over zoet, brak en zout grondwater geeft een eerste indruk van mogelijk geschiktere en minder geschikte deelgebieden binnen DRG Tielerwaard, maar is niet toereikend voor een definitieve geschiktheidsbeoordeling. De onzekerheid wordt veroorzaakt door het niet onderling overeenstemmen van de verschillende zoet-brak, respectievelijk brak-zout grensvlakbestanden in delen van het DRG, en de onbeschikbaarheid van chloridegegevens op voldoende diepte om de betrouwbaarheid van de grensvlakken te toetsen.

De beschikbare interpretaties van VES-metingen zijn potentieel wel bruikbaar voor zo'n toetsing. De meeste VES-metingen zijn echter oud (jaren '60 en '70) en geïnterpreteerd met minder hydrogeologische kennis dan nu beschikbaar is. Veel VES-metingen in het westen van DRG Tielerwaard laten weerstandsprofielen zien die fluctueren rond 50 Ω m, de waarde die wordt gehanteerd als grens tussen zoet en brak. Dit kan duiden op inversies maar meer voor de hand liggend is de invloed van kleiige lagen bij de interpretatie.

3.5.6 Mogelijkheden voor nader onderzoek

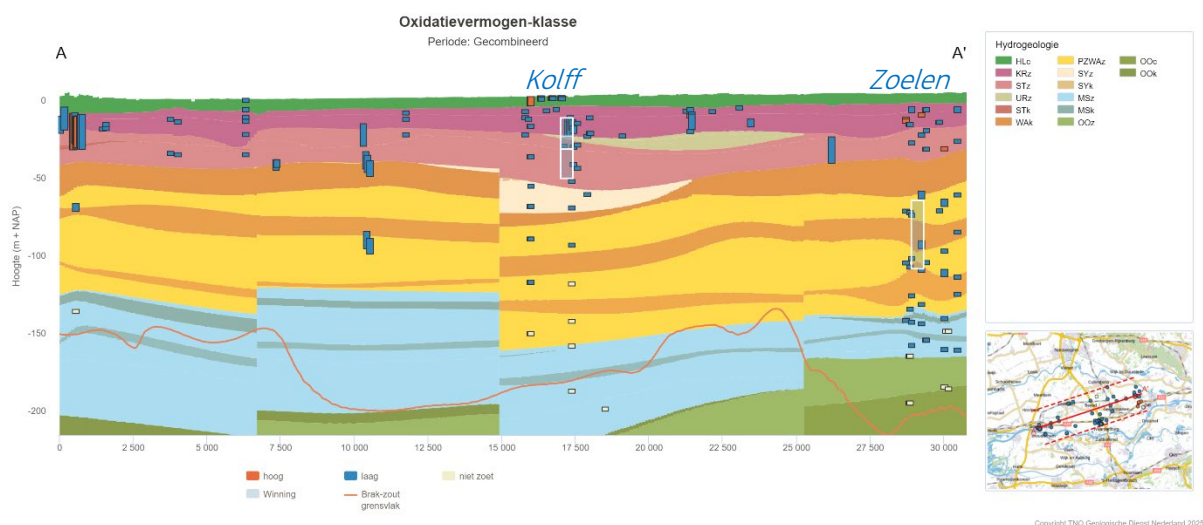
De onzekerheid over zoet, brak en zout grondwater kan worden verminderd door op de nieuwe boorlocaties de boorgaten af te werken met filters in de watervoerende pakketten en daarin chloridegehaltes te meten. Daarnaast kunnen herinterpretaties van bestaande VES-metingen een actueler beeld geven mits REGIS II daar betrouwbaar is, zoals besproken in paragraaf 3.2.5.

Het uitvoeren van EM-metingen vanuit de lucht (Airborne EM) wordt als minder effectief beschouwd. De voorbereiding van de vlucht (aanbesteding en vergunningen) vergt veel inspanning en is efficiënter voor grotere gebieden dan DRG Tielerwaard. Daarnaast is alsnog informatie uit (nieuwe) boringen nodig om de resultaten te vertalen naar zoet-brak-zout en hydrogeologische opbouw.

3.6 Grondwaterkwaliteit

3.6.1 Oxidatievermogen

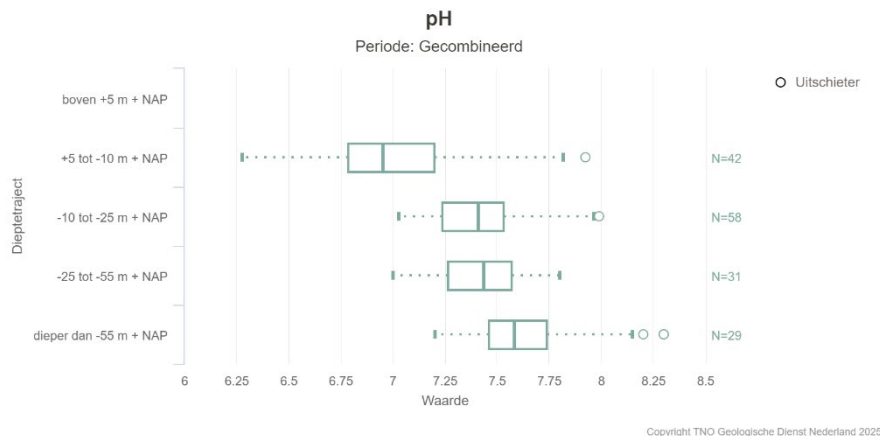
Oxidatievermogen is de som van nitraat en sulfaat en wordt gebruikt als indicator voor antropogene invloed op het grondwater door vermisting en verstedelijking. Een hoge oxidatievermogen-klasse betekent meestal antropogene beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit. Deze parameter is in een dwarsdoorsnede over het onderzoeksgebied weergegeven (Figuur 3.20). Over het algemeen is het oxidatievermogen in de ondergrond laag. Dit is verklaarbaar vanuit de waterhuishouding in het gebied (overwegend uitslag vanuit de polders naar de rivieren) en in grote delen van het gebied de aanwezigheid van een deklaag met veelal klei en veen. Het hoge oxidatievermogen bij winning Kolff wordt waarschijnlijk veroorzaakt door laterale aanstroming van sulfaathoudend geïnfilterd water uit de Waal (Broers & Kivits, 2022). Zichtbaar is dat bij Zoelen het grondwater met hoog oxidatievermogen dieper komt dan bij Kolff. Momenteel wordt niet meer netto onttrokken op PS Zoelen. Vermoedelijk is de grotere oxidatiediepte veroorzaakt door neerwaartse stroming van ondiep grondwater in de periode dat er nog wel netto onttrekking op grotere diepte plaatsvond.



Figuur 3.20: Profiel over DRG Tielerswaard van west naar oost over winning Kolff tot aan winning Zoelen met daarin oxidatievermogen-klasse weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).

3.6.2 pH

In [Figuur 3.21](#) is de pH van het grondwater per dieptetraject in boxplots weergegeven. De pH-waarden liggen tussen ca 6,5-8 en zijn in het ondiepste traject het laagst. De waarden zijn dusdanig hoog dat geen kwaliteitsproblemen als gevolg van de oplossing van metalen worden verwacht.



Figuur 3.21: Boxplots van de pH per dieptetraject in DRG Tielerswaard (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).

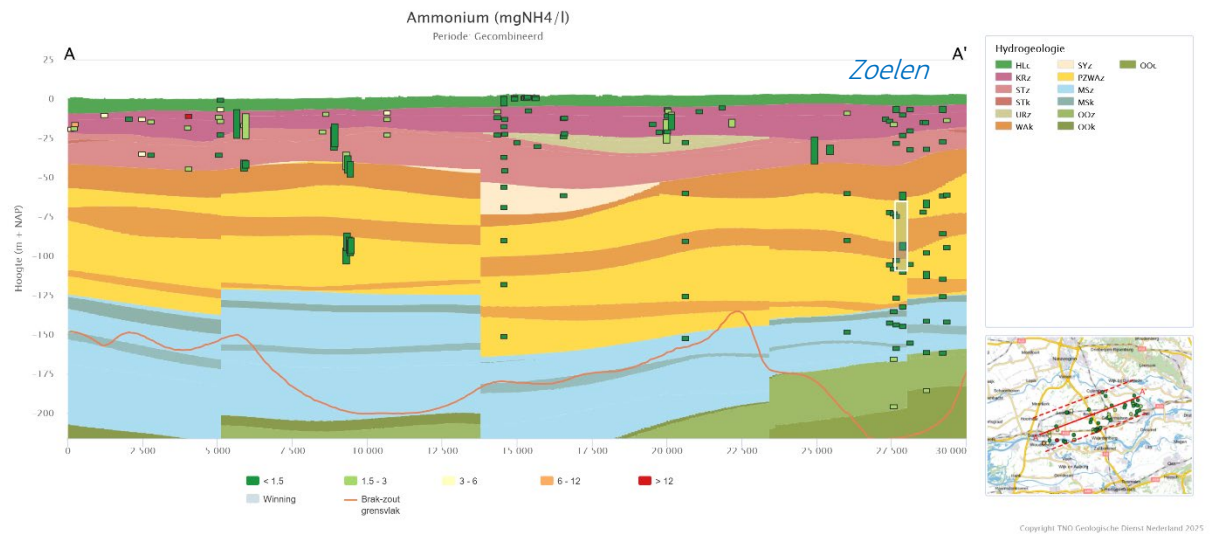
3.6.3 Methaan en ammonium

De hoogten van de ammonium en methaan concentraties zijn van belang voor de zuivering. In de zuiveringsstappen wordt allereerst methaan verwijderd, omdat methaan de werking van zandfilters kan verstoren. Vitens heeft een streefwaarde van <0.2 mg/l na zuivering (Meerkerk en Siegers, 2022). Voor ammonium is een bedrijfstechnische waarde van 0,2 mg/l in het Drinkwaterbesluit opgenomen.

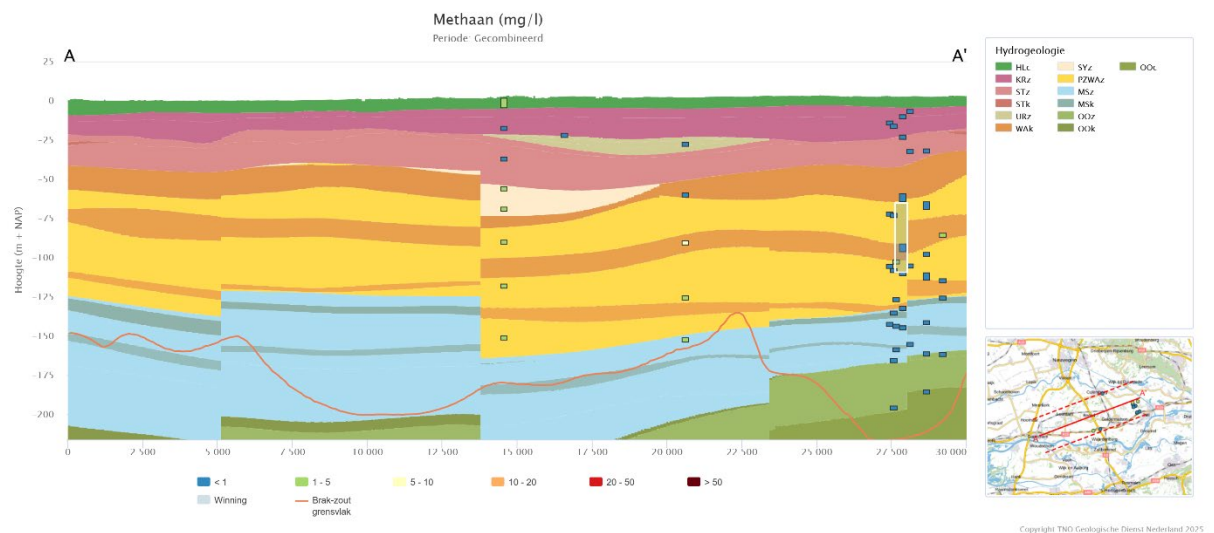
De gemiddelde ammoniumconcentratie is in PZWA en MS lager dan 1,5 mg NH₄/l (zie [Figuur 3.22](#)). In de bovenliggende formaties en de onderliggende OO liggen de concentraties wel iets hoger (tussen 1,5-3 mg/l). De methaanconcentraties zijn laag en variëren van <1 mg/l tot 1-5 mg/l ([Figuur 3.23](#)). Bij Winning Zoelen is over het gehele beschikbare dieptetraject van maaiveld tot in OO de concentratie < 1mg/l. Ten westen van winning Zoelen zijn de meetwaarden van methaan in de bovenste lagen < 1mg/l en in PZWA iets hoger namelijk 1-5 mg/l. Hier is de databeschikbaarheid wel kleiner.

3.6.4 Betekenis voor geschiktheid voor drinkwaterwinning

Op basis van de besproken grondwaterkwaliteitsgegevens kan geconcludeerd worden dat pH en oxidatievermogen vooralsnog niet beperkend zijn voor de geschiktheid voor drinkwaterwinning. Verder is de indruk dat in het gemeten concentratiebereik zandfilters voldoende zijn voor ammonium- en methaanverwijdering.



Figuur 3.22: Profiel over DRG Tielerswaard van west naar oost tot aan winning Zoelen met daarin ammoniumconcentratie weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).



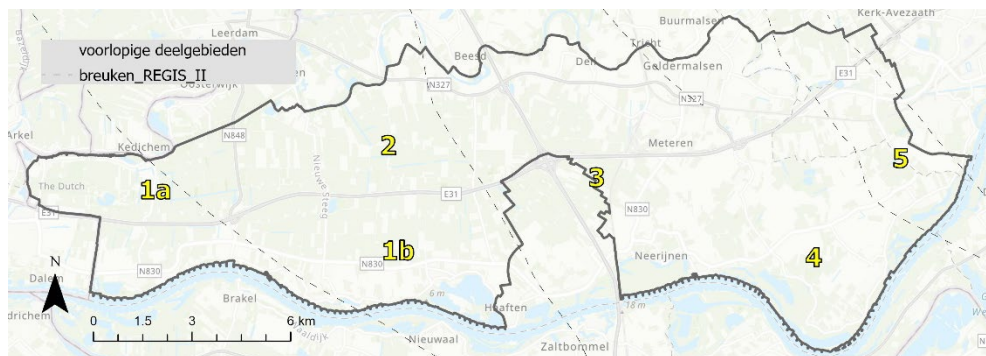
Figuur 3.23: Profiel over DRG Tielerswaard van west naar oost tot aan winning Zoelen met daarin methaanconcentratie weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).

3.6.5 Onzekerheid en mogelijkheden voor nader onderzoek

Er zijn geen onzekerheden ten aanzien van de grondwaterkwaliteit die een beoordeling op geschiktheid vanuit dit aspect belemmeren. Dat neemt niet weg dat aanvullende informatie altijd gewenst is. Deze kan op dezelfde wijze worden verkregen als chloridegegevens: nieuwe boorgaten afwerken met filters en monitoren op de genoemde parameters. Voor dit doel-einde dient de buisdiameter van de filters minimaal 2 inch te zijn. Met 2 inch is een geavanceerde bemonstering op gasen met een onderwaterpomp mogelijk, waarmee eventueel dateringsonderzoek kan worden uitgevoerd.

4 Synthese: geschiktheid

In het vorige hoofdstuk is een indruk gegeven van geschiktheden voor drinkwaterwinning vanuit verschillende aspecten. Daarbij is steeds aangegeven dat het huidige kennisniveau een definitieve beoordeling niet toelaat. Ondanks de beschreven onzekerheden is toch geprobeerd om de contouren aan te geven van vijf mogelijke deelgebieden als het gaat om geschiktheid voor drinkwaterwinning, zie [Figuur 4.1](#).



Figuur 4.1: Voorlopige deelgebieden DRG Tielervwaard voor wat betreft geschiktheid voor drinkwaterwinning.

In de figuur zijn lijnvormige begrenzingen van de deelgebieden bewust achterwege gelaten omdat deze teveel nauwkeurigheid zouden suggereren. De voorlopige indeling is als volgt:

- Deelgebied 1a/b: scheidende lagen boven (Wak1 en Wak2) en onder (MSk1 en MSk2) het beoogde winpakket, kans op ondiep brak grondwater, voldoende waterleverend vermogen (PZWaz3). Dit deelgebied 1 is in tweeën gesplitst vanwege het grote areaal.
- Deelgebied 2: scheidende lagen boven (Wak1 en Wak2) en onder (MSk1 en MSk2) het beoogde winpakket, zoet grondwater, voldoende waterleverend vermogen (PZWaz3).
- Deelgebied 3: scheidende lagen boven (Wak2) en onder (MSk2) het beoogde winpakket, zoet grondwater, overwegend voldoende waterleverend vermogen maar lokaal mogelijk wel uitzonderingen daarop (PZWaz3 en/of PZWaz4).
- Deelgebied 4: scheidende lagen boven (Wak1 en Wak2), maar niet onder het beoogde winpakket, zoet grondwater maar verziltingsrisico bij waterwinning, voldoende water leverend vermogen (PZWA3 en PZWaz4), breuken tot basis MS.
- Deelgebied 5: scheidende laag boven (Wak1), maar niet onder het beoogde winpakket, zoet grondwater maar verziltingsrisico bij waterwinning, voldoende waterleverend vermogen (PZWA3), breuken tot basis MS, aanwezigheid Wak2 niet aangetoond.

Zoals gezegd is dit geen definitieve indeling, maar dient het als starthypothese en uitgangspunt voor vervolgonderzoek. De resultaten van dat vervolgonderzoek zullen naar verwachting aanleiding geven om de nu geschetste contouren scherper te krijgen en/of aan te passen. Deelgebied 1 komt mogelijk (deels) in aanmerking voor brakwaterwinning, de overige deelgebieden primair voor zoetwaterwinning.

De geschetste onzekerheden en de manieren waarop die kunnen worden verminderd, zijn samen te vatten tot de volgende uitgangspunten voor vervolgonderzoek:

- Onzekerheden over de geschiktheid m.b.t. voldoende bescherming door scheidende lagen en m.b.t. voldoende water leverend vermogen zijn te verminderen door middel van het uitvoeren van nieuwe boringen, deze af te werken met peilfilters en daarin stijghoogteverschillen te meten en/of putproeven uit te voeren. De locaties voor de nieuwe boringen kunnen worden geoptimaliseerd door voorafgaand herinterpretaties uit te voeren van VES-metingen en eventueel seismische gegevens.
- De onzekerheid over zoet, brak en zout grondwater kan worden verminderd door op de nieuwe boorlocaties in de peilfilters chloridegehalten te meten en met herinterpretaties van VES-metingen mits REGIS II daar betrouwbaar is
- Het inzicht in breukwerking kan mogelijk worden vergroot met herinterpretaties van seismische gegevens.

5 Voorstel voor vervolgonderzoek

5.1 Advies vervolgonderzoek

5.1.1 Hoofdlijn

De in het vorige hoofdstuk besproken indeling in voorlopige deelgebieden dient als uitgangspunt voor het vervolgonderzoek. De hoofdlijn van dit onderzoek bestaat uit twee sporen:

1. een herinterpretatie van bestaande gegevens, primair van VES-metingen en van seismische gegevens na herbewerking;
2. een boorcampagne bestaande uit maximaal 6 boringen, te verdelen over de onderscheiden voorlopige deelgebieden.

De resultaten van spoor 1 zijn sturend voor spoor 2: de uiteindelijke locatiebepaling en einddiepte. Ook zou kunnen blijken dat een bepaald deelgebied kan afvallen. Afhankelijk van de voorkeur om de (relatieve) ongeschiktheid van dat deelgebied bevestigd te krijgen, of zich te beperken tot de overgebleven deelgebieden, kan dit dan leiden tot het handhaven dan wel laten vervallen van de betreffende boring.

Voorgesteld wordt om met de voorbereidingen voor de boorcampagne te starten gelijktijdig met de uitvoering van de herinterpretaties van bestaande gegevens.

In de vervolgonderzoeksfase moet rekening worden gehouden met een iteratief proces. Nieuwe informatie levert soms onverwachte inzichten, en is niet altijd goed in lijn te brengen met de al eerder beschikbare informatie. De met het vervolgonderzoek beoogde doelstelling (een definitieve geschiktheidsbeoordeling) is mogelijk alleen te behalen door van grof naar fijn te werken in meerdere onderzoeksronden.

5.1.2 Herinterpretatie bestaande gegevens

Zoals beschreven in paragraaf 3.2.5 kan het herinterpreteren van de circa 70 in en rond het DRG aanwezige VES-metingen aanvullend inzicht geven in de betrouwbaarheid van de bestaande informatie (in dit geval REGIS II). Door deze activiteit parallel aan de voorbereidingen op de boorcampagne uit te voeren kan een optimalisatie van de nieuwe boorlocaties worden behaald binnen de overige randvoorwaarden (deelgebied, nabijheid bestaande boringen, etc.), namelijk daar waar de bestaande betrouwbaarheid het laagst is en de informatiewinst het hoogst.

Daar waar REGIS II niet betrouwbaar genoeg is voor een volledige VES-herinterpretatie in zoet, brak en zout grondwater, en er bovendien seismische lijnen met potentie voor herwerking aanwezig zijn (Figuur 3.7), is verdere optimalisatie van de geplande boorlocaties denkbaar. Hierbij wordt gedacht aan het aanpassen van locaties of einddiepten van boringen. Daarom wordt aanbevolen om in twee stappen een seismische herinterpretatie uit te voeren. De eerste stap behelst het herbewerken en herinterpreteren van één seismische lijn per seismische campagne uit het verleden, om vast te stellen hoeveel meerwaarde daarmee te behalen is in de vorm van een beter inzicht in breukwerking en eventueel ruimtelijk verloop van specifieke horizonten. De meerwaarde van één lijn zegt naar verwachting veel over andere lijnen uit dezelfde seismische campagne. Bij voldoende meerwaarde kan worden besloten tot analyse van de overige lijnen. Overigens kan deze tweede, optionele stap ook in een later stadium worden uitgevoerd, na het beschikbaar komen van de informatie uit de nieuwe boringen.

Daar waar REGIS II wel betrouwbaar genoeg is voor een volledige VES-herinterpretatie in zoet, brak en zout grondwater, is mogelijk ook optimalisatie van de boorcampagne denkbaar. Een verbeterd inzicht in voorlopig deelgebied 1 kan bijvoorbeeld leiden tot minder onzekerheid over de geschiktheid voor zoet- dan wel brakwaterwinning. Afhankelijk van de voorkeur om wel of niet in te zetten op brakwaterwinning kan dit dan leiden tot het verplaatsen of laten vervallen van één of beide boorlocaties 1a of 1b.

Voorafgaand aan de VES-herinterpretaties wordt een kwaliteitsbeoordeling van de VES-metingen uitgevoerd. VES-metingen van onvoldoende kwaliteit of met een te korte meetafstand ($L/2$) komen niet in aanmerking. De verwachting is dat daardoor een aantal metingen zullen afvallen. Ook moet rekening worden gehouden met een onzekerheid van circa 10% van de zoet-brak en brak-zout overgangsdiepten na herinterpretatie. Dit betekent dat bij bijvoorbeeld een overgangsdiepte van 200 m – mv de onzekerheid circa 20 m is.

Voor beide vormen van herinterpretatie (VES en seismiek) ligt de verwachte doorlooptijd in de orde van weken, mits het hieruitvolgende advies in beknopte vorm wordt opgeleverd (briefrapport of memo). Dit valt naar verwachting binnen de voorbereidingstijd voor de boorcampagne.

5.1.3 Boorcampagne

De boorcampagne bestaat uit maximaal zes zuig/luchtliftboringen in combinatie met boorgatmetingen, verdeeld over de voorlopige deelgebieden 1a/b t/m 5. De aan te houden einddiepte is 250 m – mv. Alleen voor de boring in deelgebied 1a is dit 200 m – mv omdat de verwachte overgang van brak naar zout grondwater hier relatief ondiep ligt, rond -160 mNAP volgens zowel het NGRp50 grensvlak als het vlak volgens Stuurman e.a. (2006).

Aanbevolen wordt om de boormonsters te beschrijven conform NEN5104. Een geotechnische beschrijving conform NEN-EN-ISO 14688 is te beperkt om stratigrafische interpretaties van het boorprofiel te kunnen uitvoeren.

Aanbevolen wordt om de putten zodanig af te werken dat er putproeven in kunnen worden uitgevoerd en ze vervolgens kunnen worden gebruikt als waarnemingsbuis. Ook wordt aanbevolen om de boorgaten af te werken met filters van minimaal 2 inch doorsnede in de watervoerende pakketten boven en onder de in elke boring aangetroffen scheidende lagen, gerekend vanaf WAK1 omlaag. Uitgaande van maximaal 6 filters per boorgat wordt

verwacht dat dan in (vrijwel) het hele DRG de belangrijkste scheidende lagen en watervoerende pakketten kunnen worden bemeaten voor wat betreft stijghoogteverschillen en chloridegehalten.

Vooralsnog kunnen de locaties van de in [Figuur 4.1](#) ingetekende labels 1a/b t/m 5 worden aangehouden als beoogde boorlocaties. Deze locaties zijn nu gebaseerd op de indeling in voorlopige deelgebieden, een zo groot mogelijke afstand tot bestaande matig diepe boringen (> 100 m – mv), nabijheid van één of meer bestaande seismische lijnen en nabijheid van een (verharde) weg. Ook is zoveel mogelijk rekening gehouden met de ligging van bodem- of grondwater-verontreinigingen of -saneringen. Een kaart met contouren daarvan is betrokken van het Geoportaal van de provincie Gelderland ([Bodemverontreiniging Gelderland \(Situatie 5-12-2024\)](#)). In bijlage C is een kaart opgenomen met de beoogde boorlocaties in combinatie met de contouren van bodem- of grondwater-verontreinigingen of -saneringen.

In voorlopig deelgebied 3 is de speelruimte beperkt vanwege de aanwezigheid van een verontreinigingspluim en het niet overal kunnen voldoen aan de vereiste kD-waarde. Op de bijbehorende beoogde boorlocatie wordt daardoor niet voldaan aan de randvoorwaarde van een nabije seismische lijn. Een mogelijk alternatief ligt ten zuiden van Enspijk (niet ingetekend in [Figuur 4.1](#)), maar zou resulteren in een minder gelijkmatige verdeling van de boringen over het DRG.

De beoogde boorlocaties kunnen nog veranderen naar aanleiding van de resultaten in het tweede spoor.

5.1.4 Opties boorcampagne

Voor de boorcampagne kunnen een aantal opties worden overwogen. Deze worden niet als strikt noodzakelijk beschouwd voor het doel van de boringen, maar leveren aanvullende informatie tegen relatief weinig meerkosten:

- Het laten uitvoeren van een boorbeschrijving conform de StandaardBoorBeschrijving versie 5.3 of vergelijkbaar. Dit levert aanvullende informatie over eigenschappen van o.a. organisch materiaal, schelpen, plantenresten, bontheid en afronding van zand en grind, glimmer- en glauconietpercentages en concreties;
- Het nemen, beschrijven en bemonsteren van 20 steekkernen in geselecteerde intervallen van een meter, in twee van de zes boringen (10 per boring). NB: deze activiteit wordt als effectiever beschouwd in de context van een waterwinplaatsonderzoek (zie paragraaf 3.2.5), dus in een latere fase van de planvorming in DRG Tielerwaard. Het hier voorgestelde vervolgonderzoek is geen waterwinplaatsonderzoek, maar heeft tot doel om te komen tot een definitieve geschiktheidsbeoordeling van deelgebieden binnen het DRG;
- Het uitvoeren van een meting van de seismische snelheid (sonic meting, P-golven) in één van de boorgaten, om in de toekomst de interpretatie van seismische gegevens te kunnen verbeteren, ook buiten de context van DRG Tielerwaard. De diameter van het boorgat mag hiervoor maximaal 400 mm zijn. De meting dient te worden uitgevoerd tijdens de overige boorgatmetingen en voorafgaand aan de afwerking met peilfilters;

- Het meten van temperatuurverschillen na afwerking van de boorgaten met filters. Door temperatuurverschillen te combineren met stijghoogteverschillen kan een indicatie worden verkregen van de hydraulische weerstand. Deze activiteit wordt aanbevolen als blijkt dat er stijghoogteverschillen aanwezig zijn over één of meer scheidende lagen.

5.2 Evaluatie

Na uitvoering van de boorcampagne worden de resultaten geëvalueerd. Feitelijk komt dat neer op stratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de boorbeschrijvingen, en een actualisatie van dit rapport en de gepresenteerde hydrogeologische profielen. Idealiter leidt dit tot een definitieve geschiktheidsbeoordeling per deelgebied, eventueel na een aanpassing in de indeling daarin. Zoals gezegd is wellicht (in delen van het DRG) aanvullend onderzoek nodig. Voor de evaluatie ligt de verwachte doorlooptijd in de orde van weken.

5.3 Globale kostenraming

De onderstaande globale kostenraming is opgesteld op basis van eigen ervaringen, prijspeil 2024 en exclusief BTW. Aan de kostenraming kunnen geen rechten worden ontleend. Het meten en monitoren van stijghoogten (incl. putproeven), chloride- en andere kwaliteitsparameters en temperatuurverschillen wordt los gezien van de boorcampagne en is daarom niet begroot. Ook vallen de kosten voor coördinatie en aanbesteding en begeleiding van de verschillende werkzaamheden buiten de kostenraming. Tenslotte is uitgegaan van het maximale aantal van zes boringen; met het eventueel vervallen van boringen naar aanleiding van de herinterpretaties is geen rekening gehouden in de globale kostenraming.

Tabel 5.1: Globale kostenraming voor het aanbevolen en optionele vervolgonderzoek DRG Tielerwaard. Op basis van eigen ervaringen, prijspeil 2024 en exclusief BTW. Aan de kostenraming kunnen geen rechten worden ontleend.

Activiteit	Globale raming
Boorcampagne	
6 boringen tot max. 250 m -mv + boorgatmeting + afwerking met filters	480000
boormonsterbeschrijvingen (NEN5104)	50000
Herinterpretaties bestaande gegevens	
VES-metingen (ca. 70)	25000
Seismiek, stap 1 (haalbaarheid), 5 lijnen incl. herbewerken en advies stap 2	5000
Advies optimalisatie boorcampagne (briefrapport of memo)	5000
Evaluatie	
Interpretaties boringen, actualisatie profielen en rapport	25000
TOTAAL zonder opties	590000

Opties	
Boorbeschrijving geroerde monsters cf. Sbb v5.3, per boring	28000
20 steekkernen in 2 boringen, beschrijven, analyses doorlatendheid (16 klei, 16 zand)	25000
sonic meting in 1 boorgat (uitvoering tegelijk met boorgatmeting)	7000
seismiek, stap 2, per 10 lijnen	6500
monitoring stijghoogte, chloride, temperatuur	PM

6 Conclusie

In deze bureaustudie is de geschiktheid van de matig diepe (60-250 m) ondergrond van het Drinkwater Reserveringsgebied (DRG) Tielerwaard beoordeeld op basis van een analyse van de aspecten bescherming (tegen invloeden van boven- en onderaf, en omgekeerd de doorwerking van effecten naar maaiveld), waterleverend vermogen, de beschikbaarheid van zoet grondwater en de kwaliteit van het grondwater. Voor de analyse zijn (uitsluitend) bestaande ondergrondgegevens geraadpleegd.

Uit de analyse blijkt dat breuken mogelijk minder ver naar boven doorwerken dan het ondergrondmodel BRO REGIS II v2.2.2. weergeeft, en dat mede als gevolg daarvan beschermende kleilagen (scheidende lagen) mogelijk een continuer ruimtelijk verloop hebben. In het oosten van het DRG blijft wel onzekerheid bestaan over de verbreiding van de diepere scheidende lagen. Het waterleverend vermogen lijkt vooral aanwezig te zijn in de derde en in mindere mate de vierde zandige eenheid van de Formatie van Peize-Waalre (PZWaz3 en PZWaz4). Op basis van de huidige inzichten in chloridegehalten lijkt een groot deel van het DRG geschikt voor zoetwaterwinning uit deze zanden. In het zuidwesten bestaat een kans dat deze zanden (deels) brak zijn en geschikter voor brakwaterwinning. Los van zoet-zout aspecten is de grondwaterkwaliteit in het beoogde dieptebereik niet beperkend.

Ondanks de in de analyse geïdentificeerde, soms aanzienlijke onzekerheden is een poging gedaan om de contouren aan te geven van vijf mogelijke deelgebieden als het gaat om geschiktheid voor drinkwaterwinning. Op basis van deze indeling in voorlopige deelgebieden is een advies voor vervolgonderzoek opgesteld. Aanbevolen wordt om (1) herinterpretaties uit te voeren van bestaande VES-metingen (verticale elektrische sonderingen) en de meerwaarde van een herinterpretatie van bestaande seismische gegevens te onderzoeken, en (2) een boorcampagne uit te voeren van maximaal zes boringen tot 200 - 250 m diepte. Het doel van de herinterpretaties is om beter te kunnen vaststellen waar de beschikbare informatie over de ondergrond meer en minder betrouwbaar is, en zodoende een optimalisatie te kunnen doorvoeren voor wat betreft aantal, locaties en einddiepten van de boringen.

Na uitvoering van de boorcampagne volgt een evaluatie die idealiter leidt tot een definitieve geschiktheidsbeoordeling per deelgebied van het DRG. Er moet echter wel rekening worden gehouden met een iteratief proces. Nieuwe informatie levert soms onverwachte inzichten, en is niet altijd goed in lijn te brengen met de al eerder beschikbare informatie. De met het vervolgonderzoek beoogde doelstelling (een definitieve geschiktheidsbeoordeling) is mogelijk alleen te behalen door van grof naar fijn te werken in meerdere onderzoeksronde.

7 Referenties

Boschloo, T.J., 1988. Pompproef Kerk-Avezaath 1988. Rapport N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland.

Broers, H.P. & T.E. Kivits, 2022. Datering van het ruwwater op 17 winlocaties van Vitens in het rivierengebied van Gelderland en Utrecht. TNO-rapport TNO 2022 R11188.

Buma, J., Delsman, J., Davids, T. & Janssen, G. (2023). 3D-kartering van zoet en brak grondwater van natuurlijke kwaliteit. Deelrapportage 1 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves. TNO / Deltares rapport 11207846-002-BGS-0004.

Buma, J.T., Kivits, T., Kruisselbrink, A., Menkovic, A., Schokker, J., Vliet, M. van, 2024. Geohydrologisch onderzoek Eiland van Schalkwijk. TNO-rapport TNO 2023 R10203.

Delsman, J., Oude Essink, G., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., Romero Verastegui, B. & Janssen, G., 2020. Actualisatie zout in het NHI - Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model. Deltares rapport 11205261-003-BGS-0001, Utrecht. https://nhi.nu/documents/61/11205261-003-BGS-0001_v2.0-Actualisatie_zout_in_het_NHI.pdf

Engel, W., Jensen, I., Phernambucq, I. & Wee, L. van, zonder datum. Gebiedsdossier Waterwinning Eempolder. RoyalHaskoningDHV / Witteveen + Bos, uitgave Provincie Utrecht.

Grakist, F.A, 1995. Pompstation Kolff, geohydrologische modelstudie. Rapport N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland.

Hemker, C.J., Milieu-effectrapportage grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, deelrapporten 3 en 4, 1988

Houtman, H. & P.J.M. Mulder, 1986. Pompproef Zoelen. Rapport OS 86-37, N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland.

Hummelman, J. & J. Stafleu, 2023. Totstandkomingsrapport Kleine Release REGIS II v2.2.2 – modelaanpassingen n.a.v. twee terugmeldingen. TNO-rapport TNO 2023 R11565.

Meekes, J.A.C. & S.F.A. Carpentier, 2024. Incorporating subsurface models in inversion of VES data for estimating the depth of the fresh/brackish/saline water interface . TNO-rapport in prep.

Meerkerk, M.A. & W.G. Siegers, 2022. Verwijdering van methaan uit water ten behoeve van de bereiding van drinkwater. KWR rapport KWR PCD 18.

Mulder, P.J.M., 1986. Pompproef Culemborg. Rapport OS 86-03, N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland.

Stuurman R. en G. Oude Essink, 2006. Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding van de Kaderrichtlijn Water. Verzilting door zoutwaterintrusie en chloridevervuiling. TNO-rapport 2006-U-R0080/A.

TNO – GDN, 2025. BRO REGIS II v2.2.3. TNO - Geologische Dienst Nederland, <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>.

Verhagen, F., B. van der Wal, B. Bolhuis & W. Engel, 2018. Zoekgebieden grondwaterwinningen. Verkenning strategische grondwatervoorraad in het grensgebied van provincies Gelderland, Utrecht en Zuid-Holland. RoyalHaskoningDHV rapport WATBF8017R001F01WM.

8 Ondertekening

Auteur

Tweede lezer

Drs. J.T. Buma

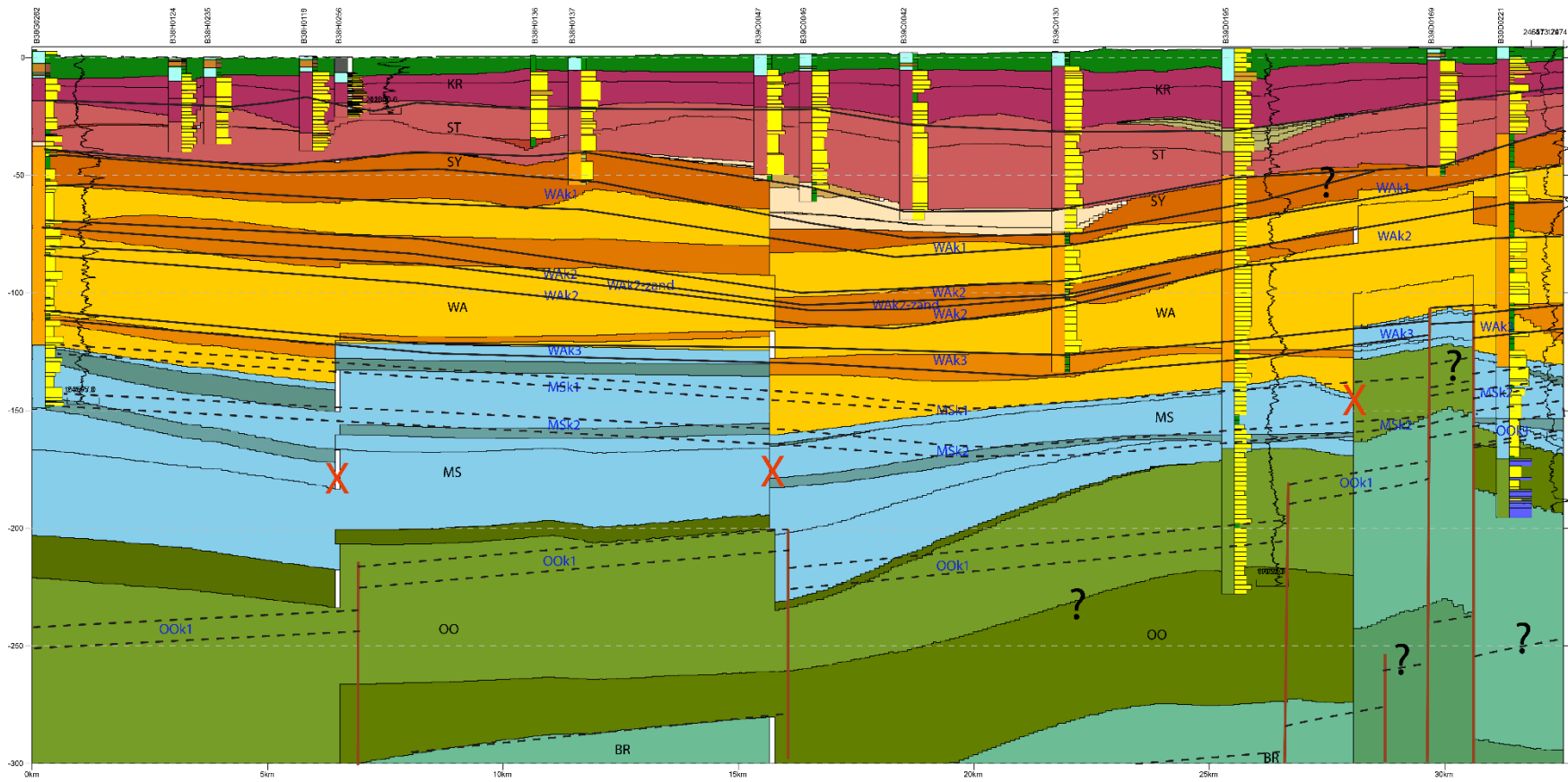
Drs. J.L. Gunnink

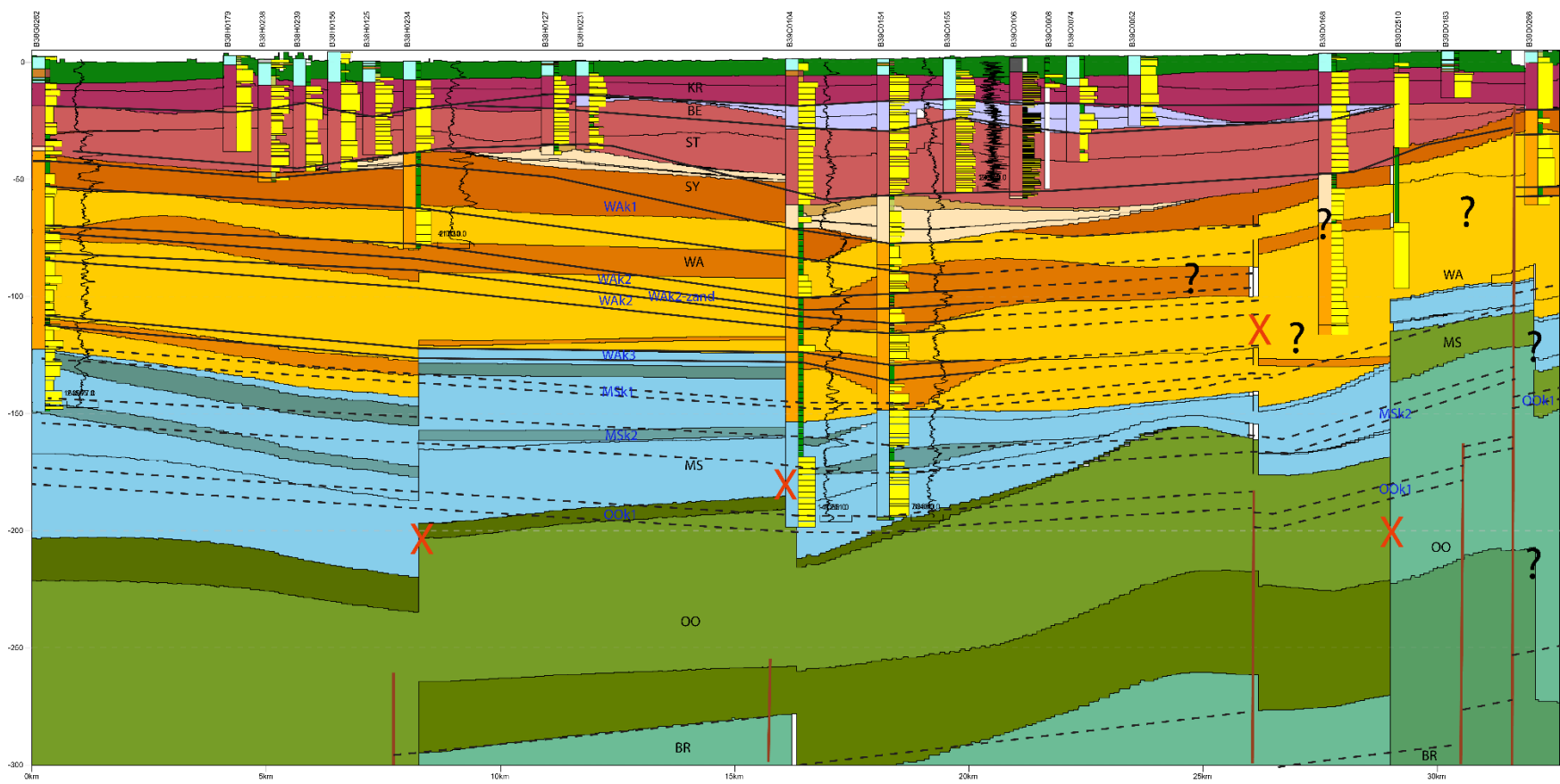
Autorisatie vrijgave

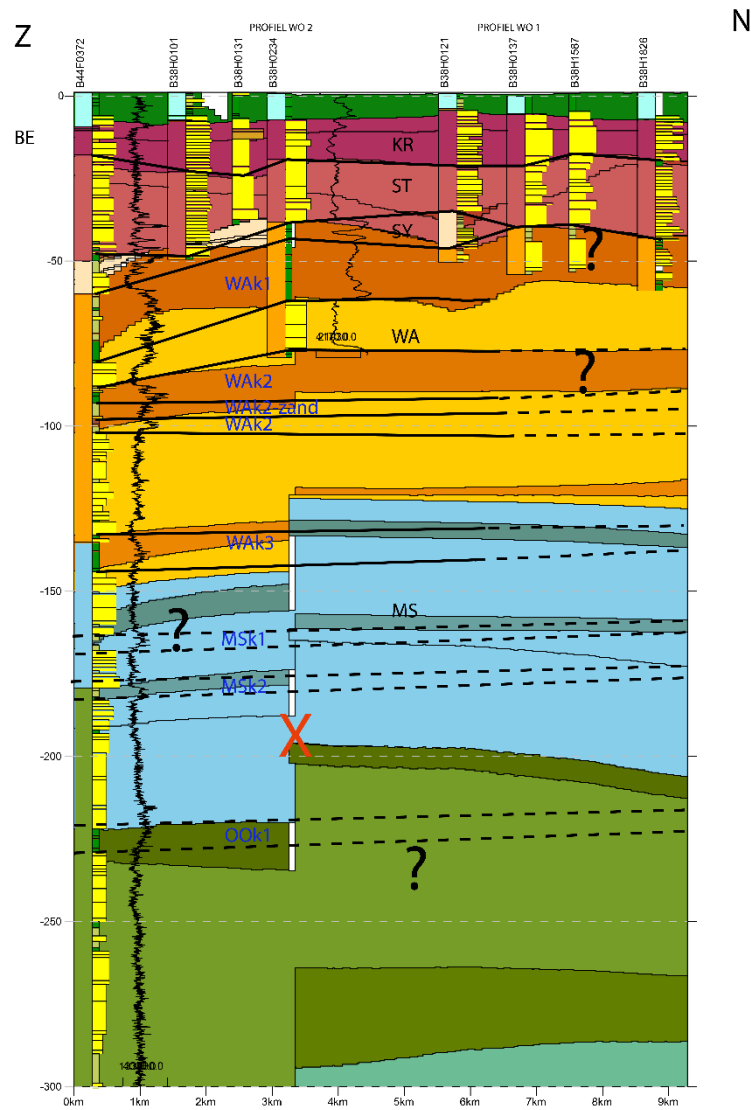
Y.A. Schavemaker MSc
Research manager

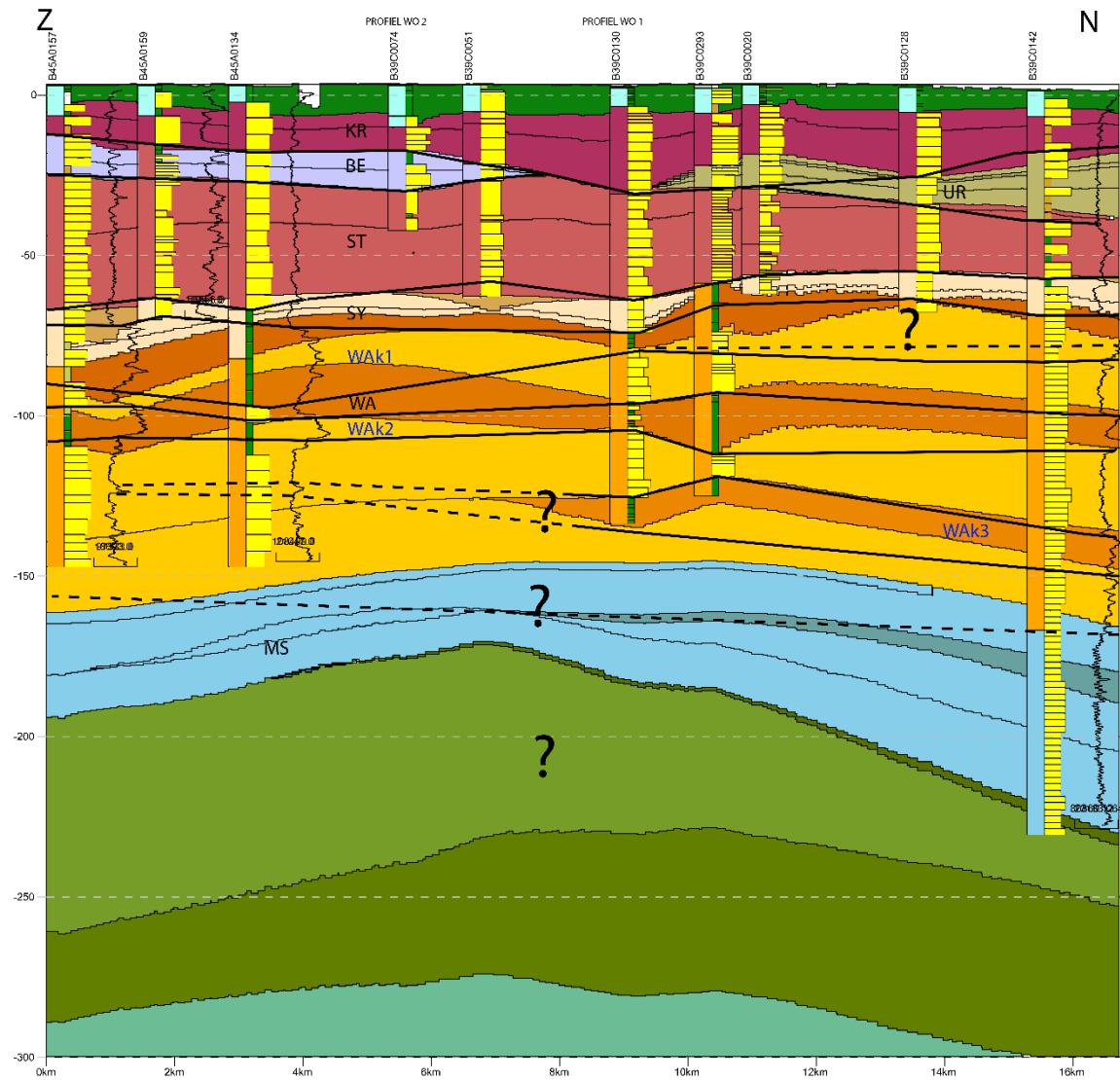
Bijlage A

Hydrogeologische profielen



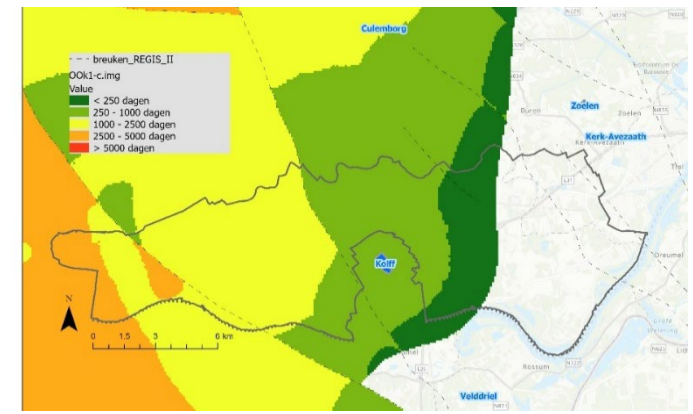
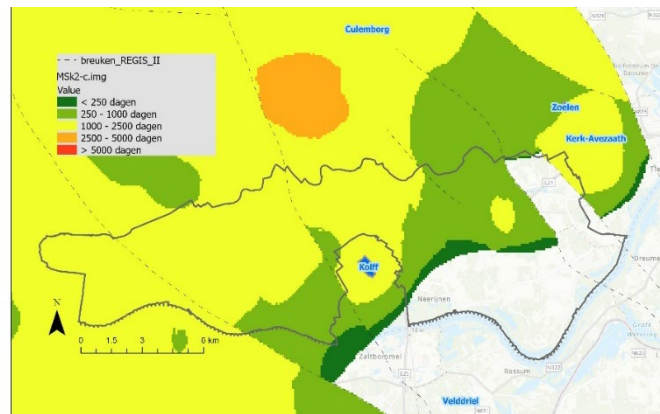
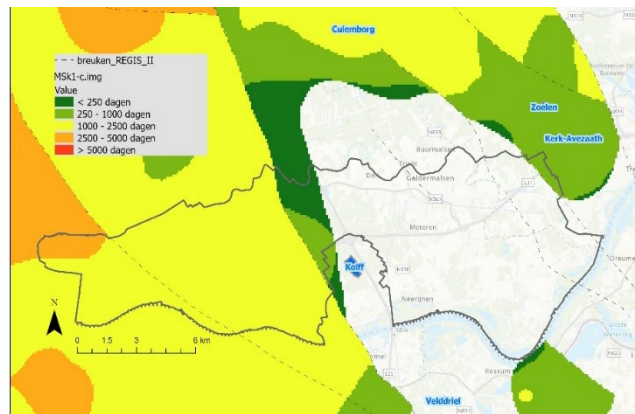
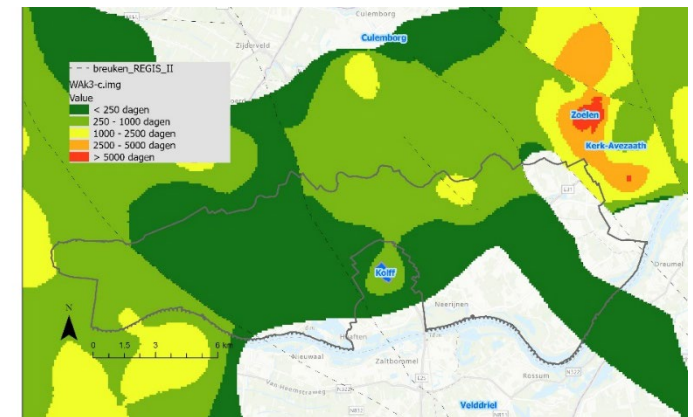
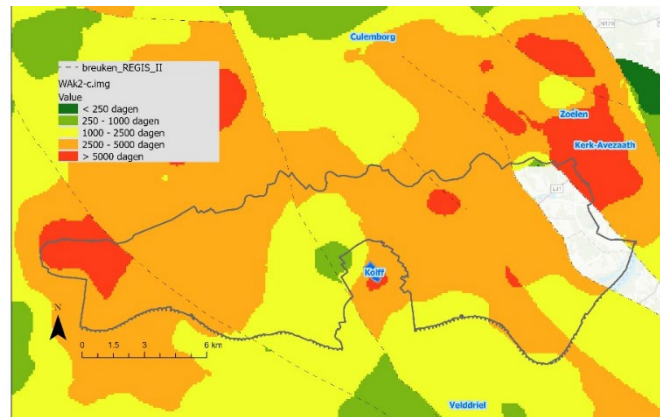
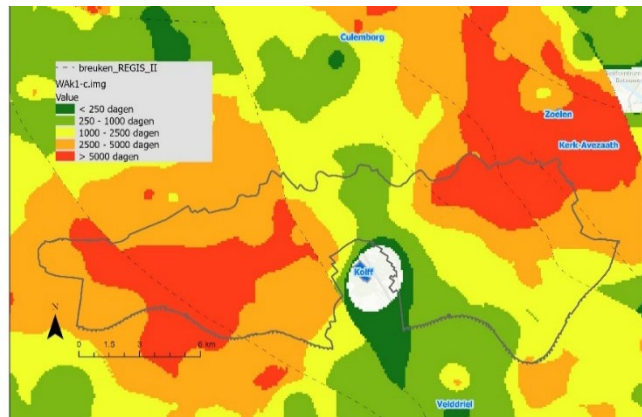




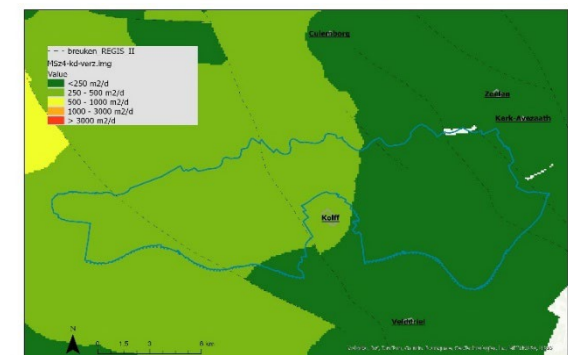
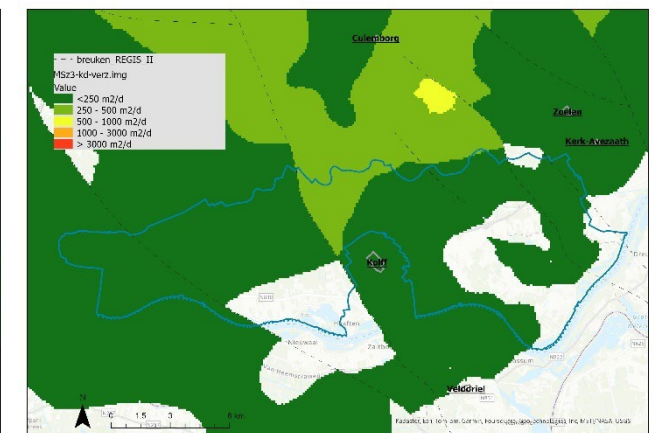
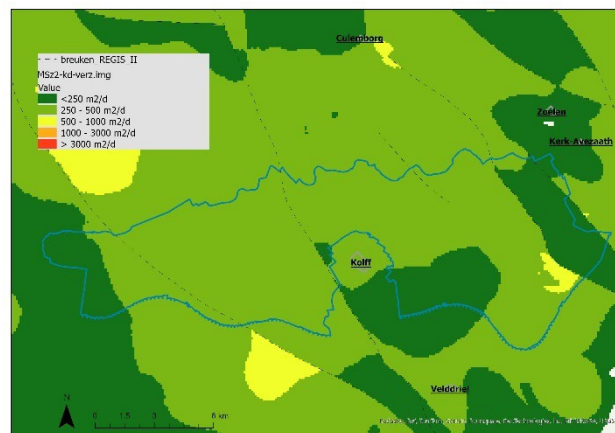
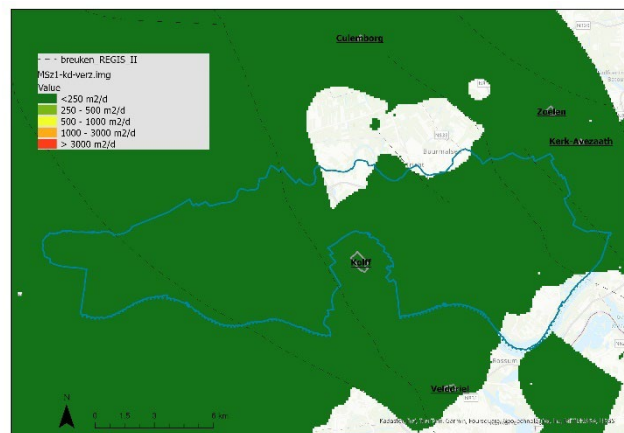
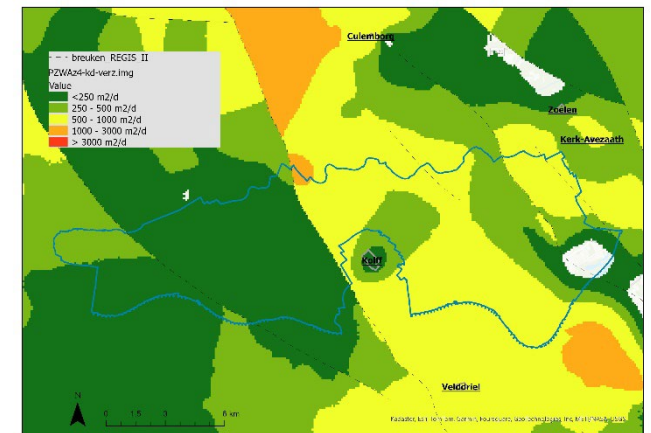
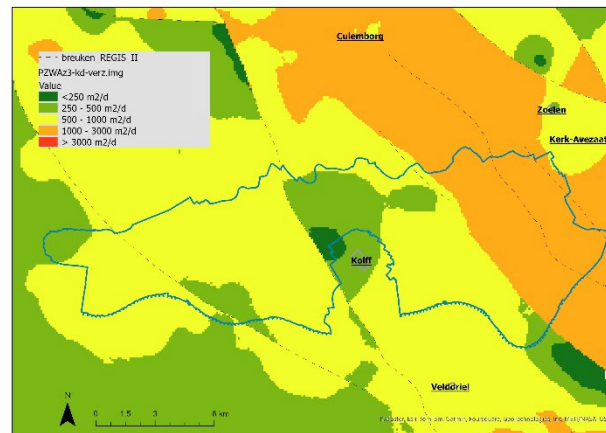
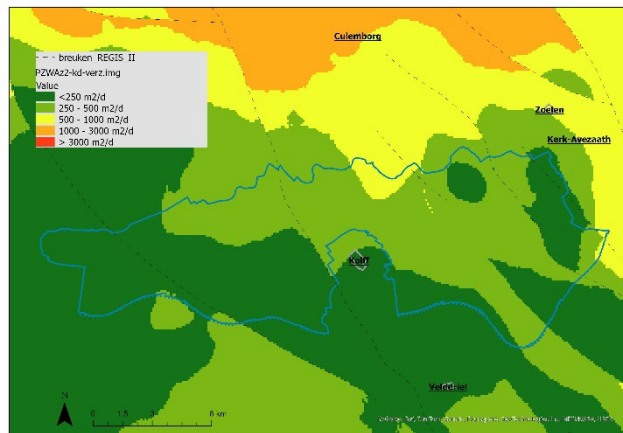


Bijlage B

Hydraulische parameters REGIS II v2.2.2.



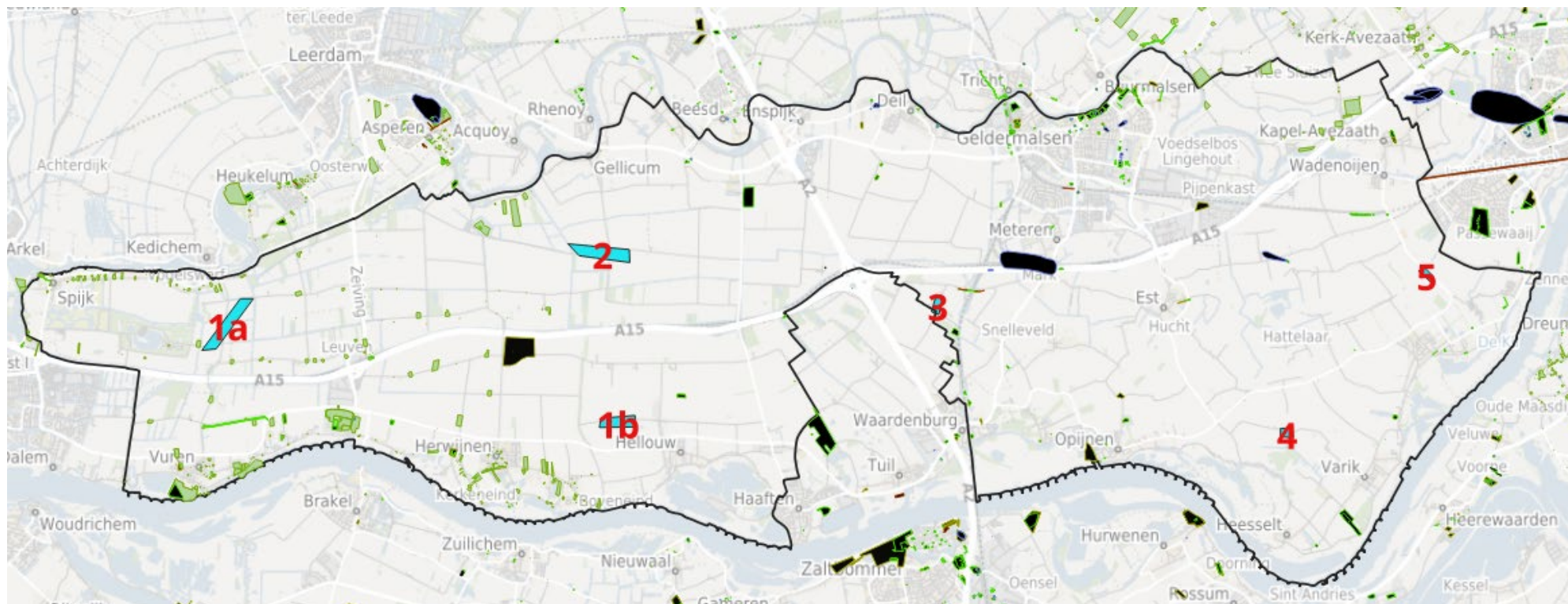
Boven v.l.n.r.: WAK1, WAK2, WAK3
Onder v.l.n.r.: MSK1, MSK2, OOK1



Boven v.l.n.r. : PZWaz2, PZWaz3, PZWaz4
Onder v.l.n.r.: MSz1, MSz2, MSz3, MSz4

Bijlage C

Beoogde boorlocaties en locaties puntverontreiniging



Blauwe vlakken met rode labels: Zoekgebieden beoogde boorlocaties. Zwarte vlakken: gebieden met een zorgmaatregel, verontreiniging, sanering of demping (bron: Geoportaal provincie Gelderland ([Bodemverontreiniging Gelderland \(Situatie 5-12-2024\)](#)))

Energy & Materials Transition

Interne informatie

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl