

Geohydrologisch onderzoek Eiland van Schalkwijk

TNO 2023 R10203 – 9 februari 2024

Geohydrologisch onderzoek Eiland van Schalkwijk

Auteurs	Buma, J.T., Kivits, T., Kruisselbrink, A.F., Menkovic, A., Schokker, J., Vliet, M. van
Rubricering rapport	TNO Intern
Titel	TNO Intern
Rapporttekst	TNO Intern
Bijlagen	TNO Intern
Aantal pagina's	82 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Vitens N.V.
Projectnummer	060.57313

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.

© 2024 TNO

Samenvatting

Drinkwaterbedrijf Vitens N.V. onderzoekt de mogelijkheden om een nieuwe winlocatie te realiseren op het Eiland van Schalkwijk. In opdracht van Vitens heeft TNO Geologische Dienst Nederland een bureaustudie uitgevoerd naar de geohydrologie van het Eiland van Schalkwijk en omgeving. De focus lag daarbij op de eerste kleiige eenheid binnen de Formatie van Waalre (WAK1), de in het gebied aanwezige breuken, en de Holocene deklaag. Ook is aandacht besteed aan de grondwaterkwaliteit in het gebied.

Het onderzoek naar verbreiding, dikte en weerstand van WAK1 bestond uit een integrale analyse van informatie uit boorbeschrijvingen en boorgatmetingen, seismiek en stijghoogtegegevens. Het onderzoek naar de Holocene deklaag richtte zich op nieuwe (hydro)geologische inzichten die sinds de constructie van GeoTOP Rivierengebied (2011, onderdeel van GeoTOP v1.6) zijn opgedaan. Het betreft de ligging van Holocene riviergeulen en de verbreiding en dikte van het Hollandveen Laagpakket en de Basisveen Laag. Daarnaast is de mate van insnijding in de deklaag door kanalen, wielen en overslaggronden geïnventariseerd. De analyse van de grondwaterkwaliteit is uitgevoerd met behulp van de webviewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) en had betrekking op macro-parameters en metalen.

Over het geheel genomen komen zowel de dikte van de eenheid WAK1 als het percentage zandig interval binnen die eenheid goed overeen met het ondergrondmodel REGIS II v2.2. Een belangrijke uitzondering is het gebied ten westen van de Kromme Rijnbreuk (de noord-oostelijke randbreuk van de Roerdalslenk) bij Werkhoven. De REGIS II v2.2 weerstand van WAK1 moet hier mogelijk naar beneden worden bijgesteld. Op basis van de seismische analyse moet de ligging van deze breuk bovendien worden aangepast ten opzichte van het huidige breukenmodel in DGM v2.2.

Nieuwe inzichten in de ligging van Holocene riviergeulen ten opzichte van GeoTOP v1.6 geven geen aanleiding tot significante aanpassingen van de weerstand van de Holocene deklaag. Lokaal zijn wel aanpassingen te verwachten in een beperkt interval van de deklaag (15-30%) of een lokaal effect rond één of twee boringen. Nieuwe inzichten met betrekking tot de dikte van het Basisveen zijn aanleiding voor een lagere weerstand van de Holocene deklaag aan de westrand van het onderzoeksgebied. Nieuwe inzichten in de verbreiding van het Hollandveen tot bij Schalkwijk moeten eerst worden getoetst en verder onderzocht voor wat betreft eventuele gevolgen voor de weerstand van het veen. Het Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal doorsnijden de Holocene deklaag op veel plaatsen. Ter plaatse van wielen en overslaggronden kunnen stijghoogteverlagingen van onderaf sterker doorwerken dan in de omgeving, maar deze invloed blijft naar verwachting lokaal.

Rond Cothen en Bunnik reikt de zone met grondwater met een verhoogd oxidatievermogen dieper dan bij Culemborg en Tull en 't Waal. Dit hangt waarschijnlijk samen met een dunner WAK1. Ten aanzien van de grondwaterkwaliteit nabij de beoogde nieuwe winlocatie worden geen grote problemen verwacht.

Aanbevolen wordt om aanvullende informatie in het veld te verzamelen over de dikte en weerstand van WAK1 nabij de Kromme Rijnbreuk, op het Eiland van Schalkwijk en in enkele omliggende gebieden. Aanbevolen wordt een totaal van circa 18 tot 20 sonderingen of boringen met boorgatmeting tot onder WAK1, en enkele pulsboringen met steekmeters. Daarnaast worden vijf ondiepe steekboringen in de Holocene deklaag aanbevolen ter bepaling van de eigenschappen van (met name) het aanwezige veen.

Inhoudsopgave

Contents

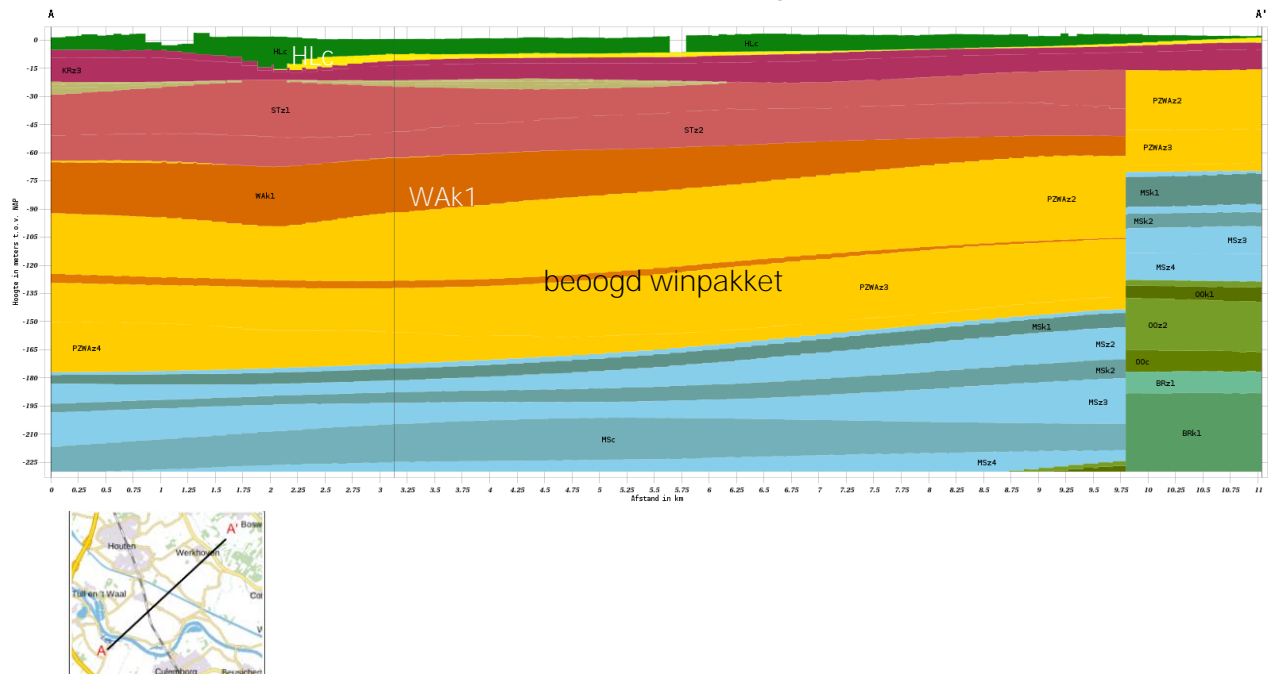
Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding en context.....	4
1.2 Onderzoeksgebied.....	5
1.3 Leeswijzer	6
2 Onderzoek WAK1	7
2.1 Werkwijze	7
2.2 Gebruikte gegevens.....	8
2.2.1 Seismische gegevens.....	8
2.2.2 Boorgegevens	9
2.2.3 Stijghoogtegegevens	10
2.3 Resultaten	11
2.3.1 Breuken	11
2.3.2 Profielen	14
2.3.3 Stratigrafische interpretaties (WAK1).....	22
2.3.4 De hydraulische weerstand langs de Kromme Rijnbreuk.....	29
3 Onderzoek Holocene deklaag	32
3.1 Werkwijze en gebruikte gegevens	32
3.2 Resultaten	33
3.2.1 Holocene riviergeulen	33
3.2.2 Basisveen.....	35
3.2.3 Hollandveen	38
3.2.4 Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal.....	39
3.2.5 Wielen en overslaggronden	41
3.2.6 Overige insnijdingen.....	43
4 Grondwaterkwaliteit	44
4.1 Werkwijze en gebruikte gegevensbronnen	44
4.1.1 Grondwaterkwaliteitsgegevens.....	44
4.1.2 Toetsing op trends sinds 2012.....	45
4.1.3 Ruimtelijke analyse	45
4.2 Resultaten	46
4.2.1 Grondwaterkwaliteitsgegevens.....	46
4.2.2 Ruimtelijke analyse	49
5 Conclusies en aanbevelingen	52
5.1 Welke nieuwe inzichten heeft deze studie opgeleverd?.....	52
5.1.1 WAK1 en breuken	52
5.1.2 Holocene deklaag	53
5.1.3 Grondwaterkwaliteit	53
5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	54
6 Referenties	56
7 Ondertekening.....	58
Bijlage A: Voorselectie ondergrondgegevens.....	59

Bijlage B: Resultaten stratigrafische interpretaties.....	60
Bijlage C: GeoTOP-profielen detailgebieden 1 t/m 14	61
Bijlage D: Figuren toetsing op trends grondwaterkwaliteit.....	62
Bijlage E Diepteplots grondwaterkwaliteit per winning.....	71

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

Drinkwaterbedrijf Vitens N.V. (hierna: Vitens) onderzoekt de mogelijkheden om een nieuwe winlocatie te realiseren op het Eiland van Schalkwijk (provincie Utrecht). De aandacht gaat hierbij uit naar het watervoerende pakket onder de eerste kleiige eenheid binnen de Formatie van Waalre (hierna: WAK1), zoals gedefinieerd in het hydrogeologische model van Nederland REGIS II v2.2 (Hummelman e.a., 2019b), zie figuur 1.1.



Figuur 1.1. REGIS II v2.2 hydrogeologisch profiel van Everdingen (A) via Schalkwijk (verticale lijn) naar de Langbroekerwetering (A'). De voor dit onderzoek in het bijzonder relevante eenheden HLC en WAK1 zijn geaccentueerd.

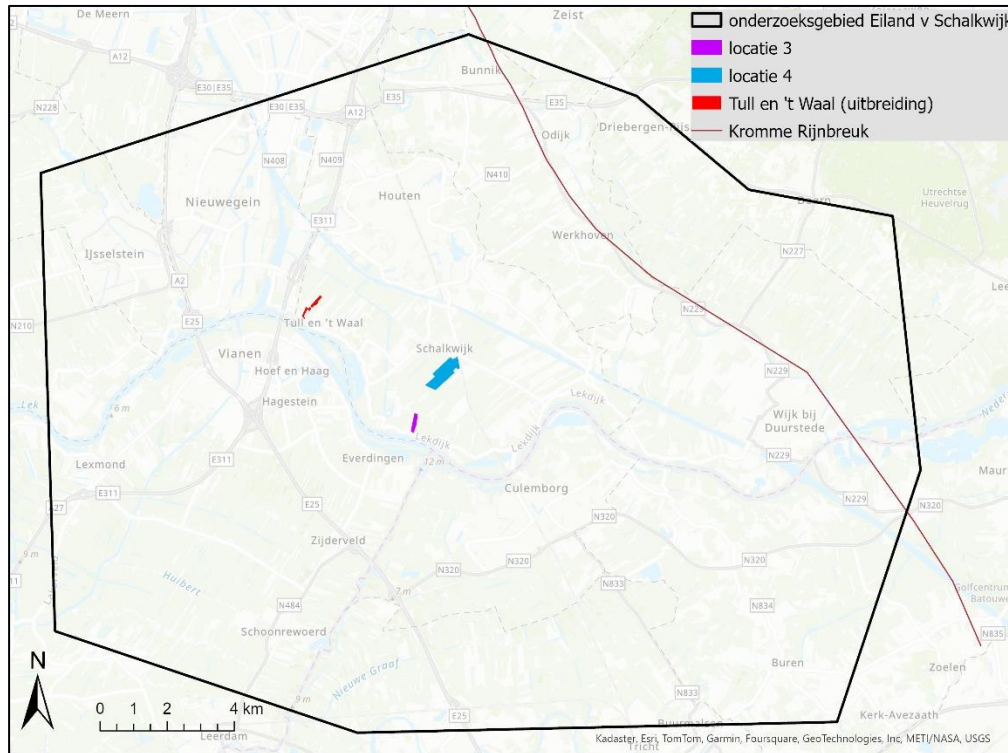
Om (meer) inzicht te krijgen in de locatie en omvang van grondwaterstandseffecten als gevolg van de beoogde nieuwe winning, heeft Vitens aan TNO Geologische Dienst Nederland (hierna: TNO-GDN) opdracht verleend voor een bureaustudie naar alle relevante en beschikbare geohydrologische data in het gebied. Daarbij gaat de aandacht ten eerste uit naar de verticale hydraulische weerstand (hierna: weerstand) van WAK1 in combinatie met de mogelijke invloed van de in het gebied aanwezige breuken op het grondwatersysteem. Ten tweede is gekeken naar de weerstand van de Holocene deklaag (REGIS II eenheid HLC in figuur 1.1).

Voor beide aspecten is nagegaan of de in deze bureaustudie opgedane (nieuwe) inzichten tot andere keuzes zouden leiden in ondergrondschematisaties voor grondwatermodelstudies, in vergelijking met het gebruik van de informatie uit de Basisregistratie Ondergrond (hierna: BRO), specifiek BRO REGIS II v2.2 en BRO GeoTOP v1.6 (Stafleu e.a., 2019).

De bureaustudie omvatte ook een analyse van geochemische en grondwaterkwaliteitsaspecten die vooral van invloed kunnen zijn op de winbaarheid en benodigde zuivering van drinkwater.

1.2 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied Eiland van Schalkwijk (hierna: onderzoeksgebied) is bepaald door de ligging van de voorkeurslocaties die het startpunt vormen voor onder meer de effectberekeningen (Van der Zalm & Soepboer, 2022). Bij de begrenzing van het onderzoeksgebied is rekening gehouden met de voor deze locaties berekende verlagingscontouren in het bepompte pakket met behulp van het grondwatermodel MORIA (Van Terwisga, 2022), en de ligging van bestaande winlocaties van Vitens (Tull en 't Waal, Cothen, Bunnik, Culemborg) en Oasen (Lexmond). Het onderzoeksgebied is weergegeven in figuur 1.2, met daarin de drie voorkeurslocaties van Vitens, waarvoor effectberekeningen uitgevoerd zullen worden. Deze zijn gebaseerd op de voorkeursvarianten locatie 3 (zelfstandig), locatie 4 (zelfstandig) en een uitbreiding van de bestaande winlocatie Tull en 't Waal in combinatie met een kleinere onttrekking voor locatie 3 of 4.



Figuur 1.2: Onderzoeksgebied, met voorkeurslocaties Schalkwijk 3, Schalkwijk 4 en de bestaande winlocatie Tull en 't Waal. De weergegeven breuk is de voor het Eiland van Schalkwijk relevante noordoostelijke randbreuk van de Roerdalslenk die ter hoogte van de Kromme Rijn loopt (hierna: Kromme Rijnbreuk).

1.3 Leeswijzer

De hoofdstukindeling van dit rapport volgt de onderverdeling van het onderzoek: de weerstand van WAK1 in combinatie met breuken (Hoofdstuk 2), de weerstand van de Holocene deklaag (Hoofdstuk 3) en grondwaterkwaliteitsaspecten (Hoofdstuk 4). De bevindingen van het onderzoek worden samengevat in Hoofdstuk 5, evenals de aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2 Onderzoek WAK1

2.1 Werkwijze

Het onderzoek naar verbreiding, dikte en weerstand van WAK1 bestond uit een integrale analyse van informatie uit boorbeschrijvingen en boorgatmetingen (hierna: boorgegevens¹), seismiek en stijghoogtegegevens.

Als eerste is een geologisch raamwerk geconstrueerd op basis van vijf hydrogeologische profielen en een seismische analyse om de ligging van en het verzet (verticale verschuiving) langs breuken vast te stellen. De profielen bestaan uit een BRO REGIS II v2.2 achtergrond met daarin getekend de boorgegevens (lithologie uit boorbeschrijvingen en boorgatmetingen) en de bij aanvang van dit onderzoek bestaande stratigrafische interpretaties conform het Digitaal Geologisch Model van Nederland BRO DGM v2.2, Hummelman e.a., 2019a)². Op deze manier zijn eventuele afwijkingen tussen boorgegevens en BRO REGIS II v2.2 zichtbaar gemaakt.

Aan de hand van het geconstrueerde geologische raamwerk zijn vervolgens de boorgegevens stratigrafisch geïnterpreteerd voor wat betreft WAK1. Daarbij is ook onderscheid gemaakt in kleiige en zandige intervallen binnen WAK1. De ligging van breuken is hierbij van belang omdat de interpretatie mede wordt bepaald door de posities van boringen ten opzichte van een breuk. Aanvullend zijn verticale stijghoogteverschillen geanalyseerd in enkele putten met filters zowel boven als onder WAK1, waar dit meerwaarde biedt ten opzichte van de boorgegevens. Bevindingen t.a.v. de stijghoogte worden in de context van de andere analyses besproken.

De voor het Eiland van Schalkwijk meest relevante breuk is de noordoostelijke randbreuk van de Roerdalslenk die ter hoogte van de Kromme Rijn loopt (daarom hierna: Kromme Rijnbreuk, zie figuur 1.2). Verkennende modelberekeningen gemaakt in opdracht van Vitens suggereren relatief grote effecten van de beoogde nieuwe winning op de grondwaterstand aan de noordoostkant van die breuk. Om de directe invloed van die breuk op het grondwatersysteem en de doorwerking van effecten tot aan maaiveld te analyseren, is een zgn. juxtapositie-analyse uitgevoerd. Het doel van de juxtapositie-analyse is om een indicatie te geven van de afsluitende werking of kans op hydraulisch contact, in termen van zand-zand, klei-zand of klei-klei aan weerszijden van de breuk. Daartoe worden de REGIS II v2.2 grids van de bases van de relevante hydrogeologische eenheden (MSz4, PZWAz4, PZWAz2 en STz1) aangepast in een hermodellering rond de breuk, aan de hand van de nieuwe seismisch geïnterpreteerde breukligging. De analyse is in 3D uitgevoerd in het softwarepakket Petrel[©], waarin een klein model van de breukzone wordt gemaakt. De

¹ In het hele onderzoeksgebied is één sondering gevonden die de top van WAK1 bereikt (CPT000000035925), maar daarvan kan niet met zekerheid worden vastgesteld of ook de basis is bereikt. Daarom zijn sonderingen buiten beschouwing gelaten.

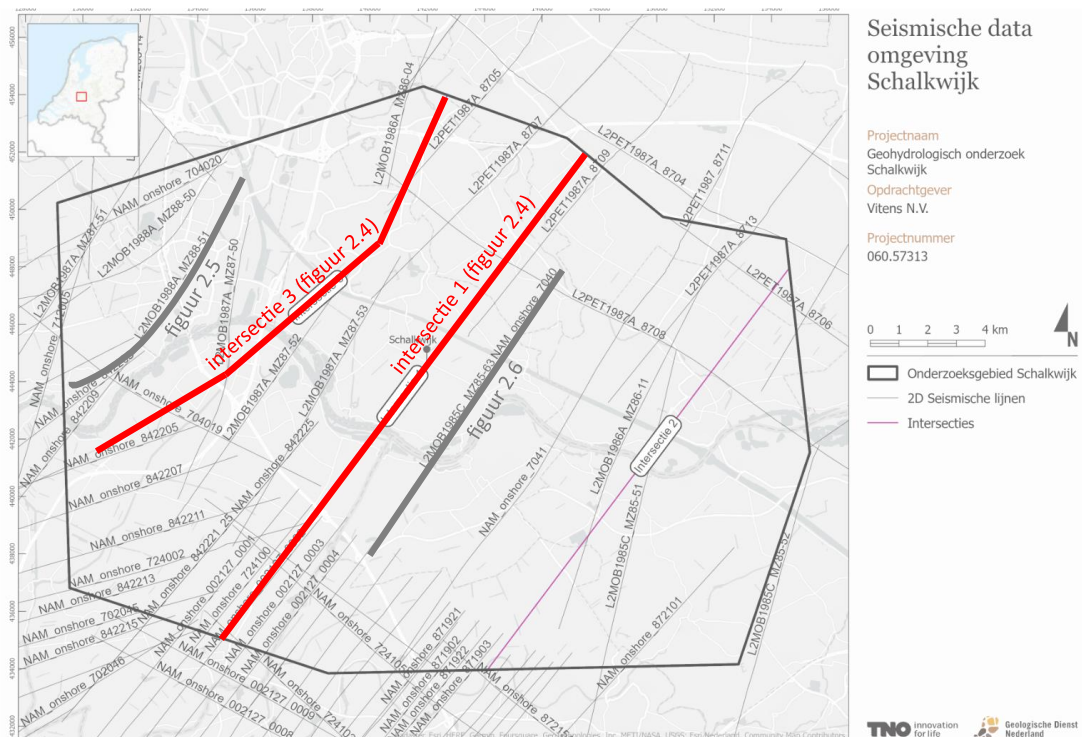
² DGM v2.2 is evenals REGIS II v2.2 opgenomen in de BRO. BRO REGIS II v2.2 is een hydrogeologische detaillering van BRO DGM v2.2, waarin bijvoorbeeld de DGM-eenheid PZWA (Formatie van Peize en Formatie van Waalre) is gedetailleerd in zandige en kleiige eenheden. WAK1 is de bovenste (eerste) kleiige eenheid van de Formatie van Waalre. In BRO REGIS II v2.2 is het breukenmodel van BRO DGM v2.2 één op één overgenomen. Zie voor meer informatie [Ondergrondmodellen | BROloket](#).

analyse is uitgevoerd voor het gehele onderzoeksgebied, maar de resultaten worden alleen voor de Kromme Rijnbreuk besproken. Omdat de andere breuken niet zijn gehermodelleerd, is REGIS II v2.2 daar maatgevend voor de uitkomsten, en levert de analyse er geen meerwaarde. Omdat de juxtapositie-analyse geen informatie geeft over invloeden op de hydraulische weerstand door de breukwerking zelf (bv. versmering, inspoeling, heroriëntatie van sediment), is geprobeerd om dit op basis van stijghoogteverschillen over de breuk heen vast te stellen, maar er blijken geen stijghoogtemeetpunten aanwezig op korte afstand van de breuk zoals die voor dit onderzoek is gekarteerd.

2.2 Gebruikte gegevens

2.2.1 Seismische gegevens

De voor de breuken-analyse gebruikte gegevens bestonden uit de seismische lijnen weergegeven in figuur 2.1. Uit de figuur blijkt dat de gegevensdichtheid vrij laag is, behalve in het zuidwesten van het onderzoeksgebied.



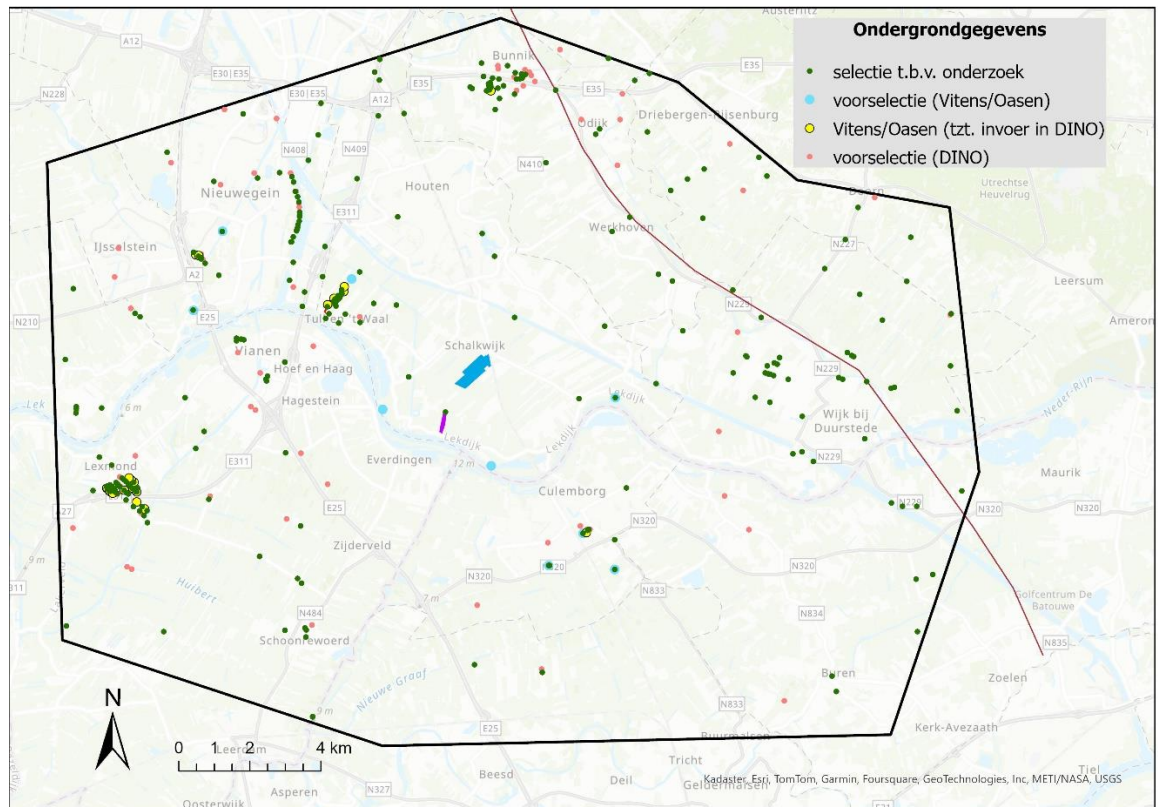
Figuur 2.1: Seismische lijnen waarvan de gegevens zijn gebruikt bij de analyse van breuken. Geaccentueerd zijn de in hiernavolgende figuren opgenomen seismische lijnen (grijs). De ligging van de intersecties voor de juxtapositie-analyse is in rood weergegeven.

2.2.2 Boorgegevens

Uit de DINO-database zijn de gegevens van 362 locaties opgevraagd waar op grond van de einddiepte mogelijk WAK1 wordt doorboord. In de Roerdalslenk is dit mogelijk vanaf ongeveer NAP -45 m, ten noordoosten van de Kromme Rijnbreuk vanaf NAP – 20 m. Bij Vitens is navraag gedaan naar boorgegevens die niet in DINO aanwezig waren bij aanvang van de werkzaamheden. Ook is bij drinkwaterbedrijf Oasen navraag gedaan naar locaties met metagegevens en/of boorgatmeetdata maar zonder boorbeschrijvingen rond de winlocatie Lexmond. Ook hier ging het om boringen die mogelijk diep genoeg zijn om WAK1 mogelijk te doorboren. De uit de genoemde bronnen geïnventariseerde locaties vormden de voorselectie voor het onderzoek en zijn weergegeven in figuur 2.2. Eén locatie (B32C1816, volgens DINOLoket in Houten) bleek verkeerde coördinaten in DINO te hebben en is niet in de voorselectie opgenomen.

Niet alle in figuur 2.2 weergegeven boringen zijn uiteindelijk geselecteerd voor het onderzoek naar WAK1. Redenen om boringen niet te gebruiken waren (1) de boorbeschrijving bleek niet aanwezig, (2) de boorbeschrijving is te onbetrouwbaar, (3) de boring bereikt de top van WAK1 niet, en (4) de boring staat in een cluster van boorlocaties zoals die o.a. rond bestaande pompstations voor drinkwaterwinning aanwezig zijn. Uit deze clusters zijn niet alle boringen geselecteerd. Een tabel met de gegevens van alle voorgeselecteerde boorlocaties, inclusief de reden voor het eventueel niet selecteren voor het onderzoek, is meegeleverd als Bijlage A.

Ook uit de door Vitens en Oasen aangeleverde gegevens is een selectie gemaakt voor invoer per direct in DINO, om meegenomen te kunnen worden in het onderzoek naar WAK1. Geselecteerd zijn die boorbeschrijvingen die qua einddiepte en/of (XY-)locatie een lacune in de beschikbare gegevens opvullen en daardoor veel toegevoegde waarde hebben voor het onderzoek. De overige aangeleverde locaties zullen op een later moment worden ingevoerd en zijn niet meegenomen in het onderzoek. Enkele van de ingevoerde boorbeschrijvingen zijn overigens alsnog niet geselecteerd omdat WAK1 toch niet bereikt bleek te worden.



Figuur 2.2. Resultaat inventarisatie boorgegevens voor het onderzoek naar WAK1 uit DINO en aangeleverd door Vitens en Oasen.

2.2.3 Stijghoogtegegevens

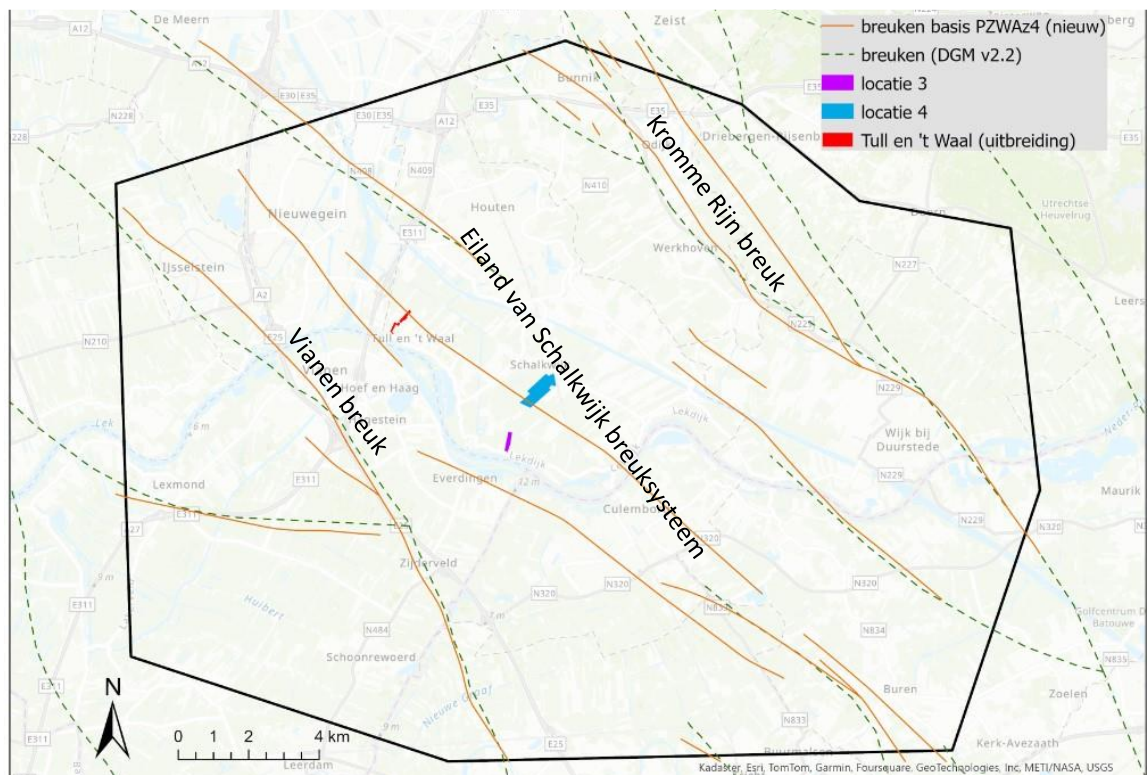
Voor de analyse van stijghoogteverschillen is gebruik gemaakt van informatie uit de webapplicatie Grondwaterstanden in Beeld, onderdeel van het online portaal Grondwatertools van TNO-GDN. De hierin opgenomen viewer is gebaseerd op stijghoogtegegevens uit de DINO-database en heeft o.a. een kwel-wegzijing functionaliteit. Verder is nagegaan of stijghoogtegegevens opgenomen in het Lizard-portaal van Vitens een toegevoegde waarde hebben. De analyse richtte zich op relatief data-arme gebieden, buiten de bestaande winlocaties. Uiteindelijk bleek één putlocatie van toegevoegde waarde (B39A0216, tussen Werkhoven en Cothen).

2.3 Resultaten

2.3.1 Breuken

Algemeen beeld

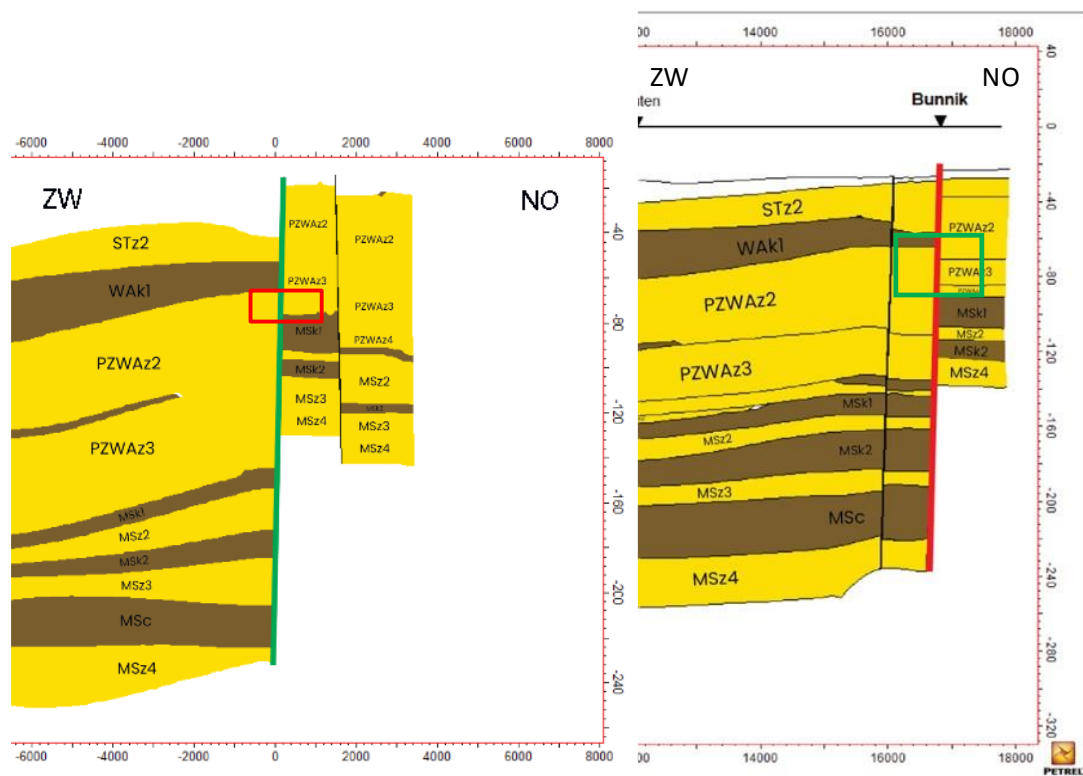
De uit de seismische lijnen geïnterpreteerde ligging van de in het onderzoeksgebied aanwezige breuktrajecten is weergegeven in figuur 2.3. Vergeleken met het breukenmodel in DGM v2.2 zijn er verschillen in ligging van alle in het onderzoeksgebied voorkomende breuken. Ook is op het Eiland van Schalkwijk een breuk(systeem) geïnterpreteerd dat niet in DGM v2.2 is gekarteerd. Afgebeeld zijn de breukliggingen op het diepteniveau van de basis van de REGIS II v2.2 eenheid PZWAz4. Als een breuk dieper dan de PZWAz4-basis uitdooft, wordt de projectie van die breuk op het PZWAz4-niveau weergegeven, rekening houdend met de helling van de breuk. Losse breuksegmenten kunnen het gevolg zijn van lokale bewegingen in de ondergrond nabij een hoofdbreuk of omdat een breuk niet vervolgd kon worden in opeenvolgende seismische lijnen.



Figuur 2.3: Ligging van breuken op het diepteniveau van de basis van REGIS II v2.2 eenheid PZWAz4, geïnterpreteerd op basis van de beschikbare seismische lijnen. De breuken volgens het actuele breukenmodel (DGM v2.2) zijn weergegeven als groene stippellijnen.

Kromme Rijnbreuk

De resultaten van de juxtapositie-analyse zijn nabij Werkhoven (intersectie 1 in figuur 2.1) en Bunnik weergegeven in figuur 2.4. De profielen, waarin zowel de ligging van de breuk als de geometrie van de hydrogeologische eenheden aan weerszijden zijn aangepast in een hermodellering op basis van de seismische gegevens, bevestigen het bestaan van een zand-zand contact (resp. rode en groene vensters in figuur 2.4) tussen het watervoerend pakket onder WAK1 in het lage blok (PZWAZ2) en het freatische watervoerende pakket op het hoge blok (PZWAZ2-z3). Versmering van het breukvlak in de vensters is niet waarschijnlijk, omdat in het lage blok geen klei van betekenis aanwezig lijkt te zijn tussen WAK1 en MSk1. Versmering wordt doorgaans veroorzaakt door kleilagen in het lage, dalende blok, voorzover deze niet uitsluitend binnen dit blok worden gesedimenteerd, en niet vanuit het stabiele, hoge blok. De kans is daarmee groot dat deze vensters ook daadwerkelijk een hydraulisch in contact (kortsluiting) zijn, al valt niet uit te sluiten dat er toch een zekere weerstand aanwezig is als gevolg van andere processen zoals heroriëntatie van zandkorrels. Of WAK1 zelf versmering heeft veroorzaakt tussen STz2 en PZWAZ2-3 is onzeker; mogelijk is WAK1 subtectonisch afgezet in het dalende blok. Een eventuele weerstand zou moeten blijken uit laterale stijghoogteverschillen boven WAK1, maar met de beschikbare filters is die analyse niet mogelijk. Het is onwaarschijnlijk dat versmering langs de breuk met geofysische meetmethoden kan worden opgespoord, daarvoor is de versmering te dun.



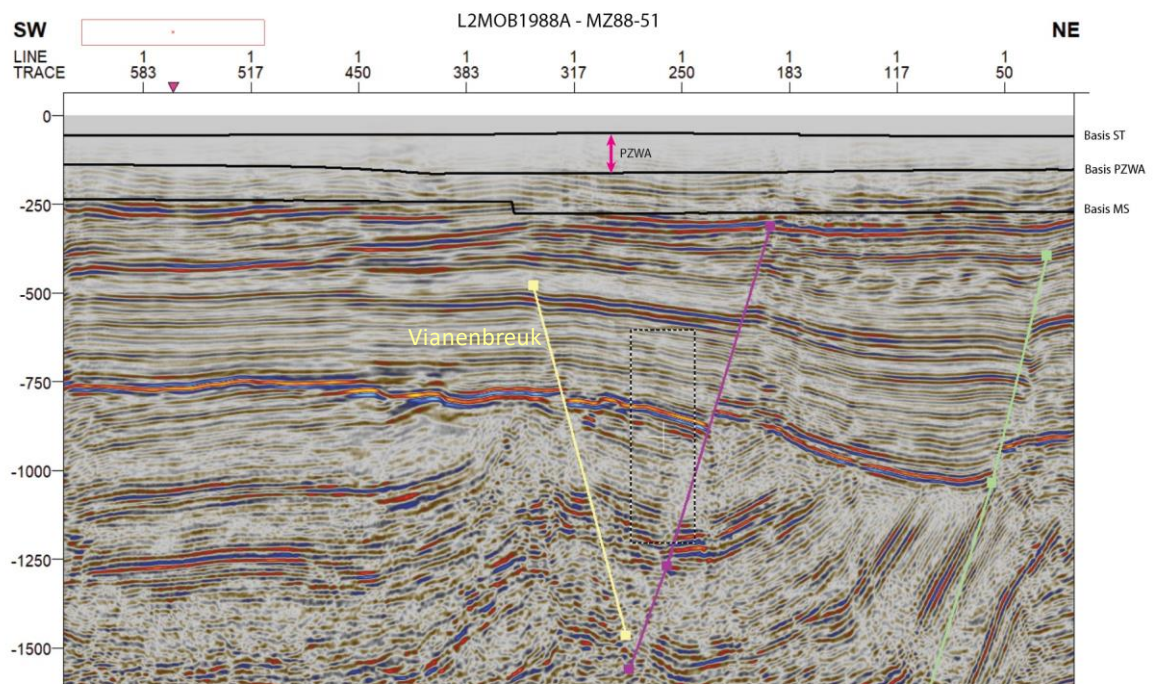
Figuur 2.4: Resultaat juxtapositie-analyse, links het noordoostelijke deel van intersectie 1 (Schoonrewoerd – Eiland van Schalkwijk – Werkhoven). De groene lijn is de Kromme Rijnbreuk. Rechts het noordoostelijke deel van intersectie 3 nabij Bunnik, daar is de rode lijn de Kromme Rijnbreuk.

Bij Wijk bij Duurstede wordt de nieuwe, seismisch geïnterpreteerde breukligging niet vertrouwd omdat de afstand tussen opeenvolgende seismische lijnen hier relatief groot is.

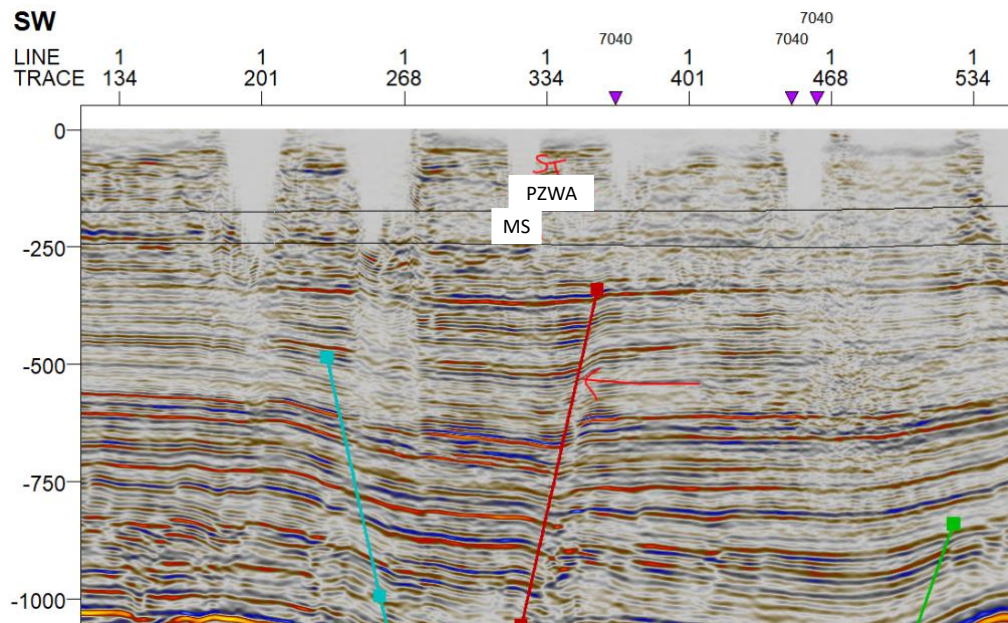
Op basis van de aanwezige boorgegevens wordt daarom bij Wijk bij Duurstede het oorspronkelijke breuktraject volgens DGM v2.2 aangehouden in plaats van de seismische interpretatie.

Overige breuken

In figuur 2.5 is seismisch profiel MZ88-51 van survey L2MOB1988A weergegeven, van Lopikerkapel naar Nieuwegein-Jutphaas. De lijn kruist de Vianenbreuk en (het verlengde van) het nieuw geïnterpreteerde breuksysteem over het Eiland van Schalkwijk. In de figuur kunnen deze breuken niet worden vervolgd boven het niveau van circa NAP -250 m. Dit geldt ook voor laatstgenoemd breuksysteem in seismisch profiel MZ85-63 NAM onshore 7040 van survey L2MOB1985C ter hoogte van de beoogde nieuwe winlocatie, zie figuur 2.6. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat deze breuken relevant zijn voor de geohydrologie op het diepteniveau van WAK1. Op de breukwerking rond Vianen wordt nog teruggekomen bij de beschrijving van profiel A in paragraaf 2.3.2.



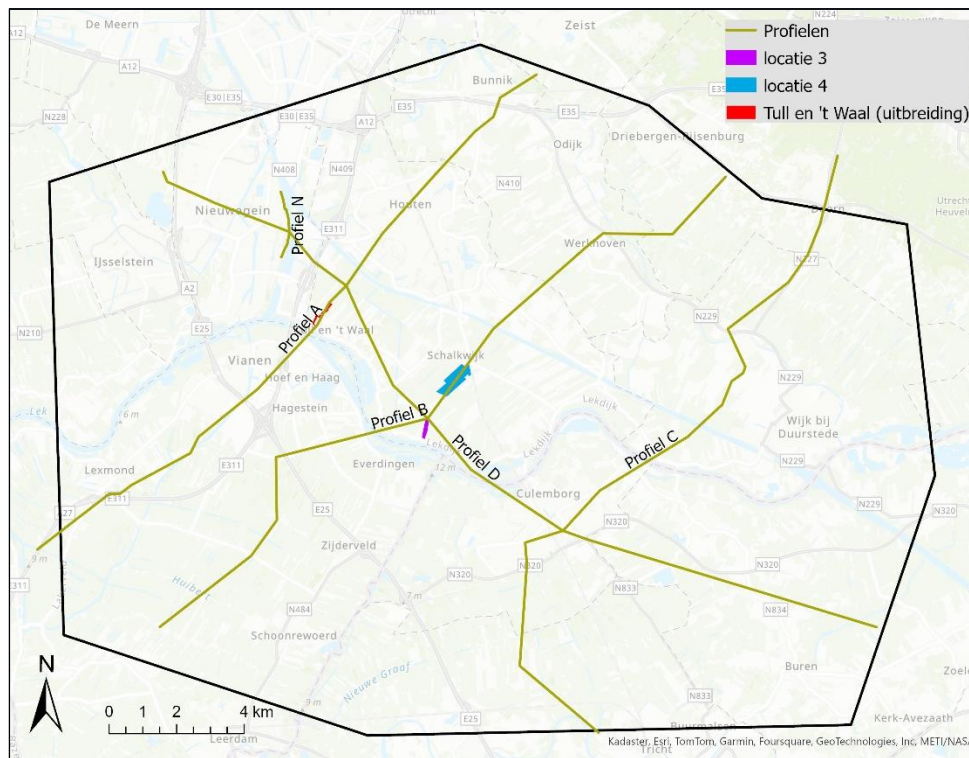
Figuur 2.5: Seismisch profiel MZ88-51 van survey L2MOB1988A in het noordwestelijk deel van het onderzoeksgebied met geïnterpreteerde breuktrajecten en bases van DGM v2.2 geologische eenheden MS, PZWA en ST. Voor ligging van de seismische lijn zie figuur 2.1. De omrekeningsfactor van tijd-diepte (in milliseconden) naar werkelijke diepte (in meters) is in de bovenste 1000 meter ongeconsolideerd materiaal grofweg 1 op 1.



Figuur 2.6: Seismisch profiel MZ85-63 NAM onshore 7040 van survey L2MOB1985C over het Eiland van Schalkwijk met geïnterpreteerde breuktrajecten en bases van DGM v2.2 geologische eenheden MS en PZWA. Voor ligging van de seismische lijn zie figuur 2.1.

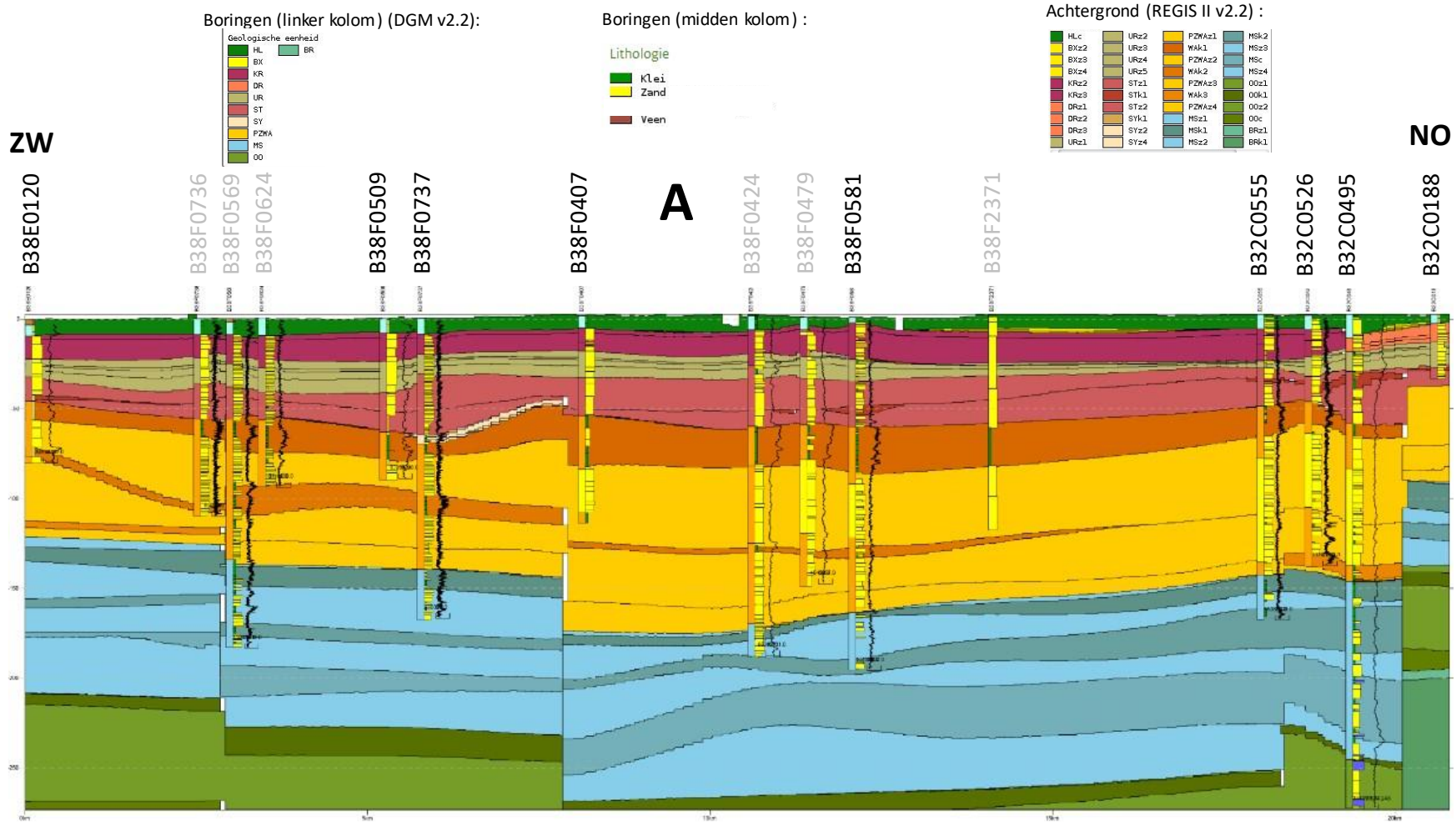
2.3.2 Profielen

De ligging van de vijf profielen is weergegeven in figuur 2.7. Profielen A, B en C zijn in ZW-NO richting geconstrueerd, loodrecht op de oriëntatie van de breuksystemen die het gebied doorsnijden. Profiel D loopt evenwijdig aan deze breuksystemen, in het breukblok waarin ook de beoogde winlocaties liggen. Profielen B en D lopen via de beoogde winlocaties. De ligging van de profielen is verder bepaald door de beschikbaarheid van ondergrondgegevens en bestaande winlocaties van Vitens en Oasen. Profiel N is geconstrueerd over 15 boringen langs het Lekkanaal in Nieuwegein. Het doel van dit profiel is om inzicht te krijgen in variaties in dikte en samenstelling van WAK1 op korte afstand.

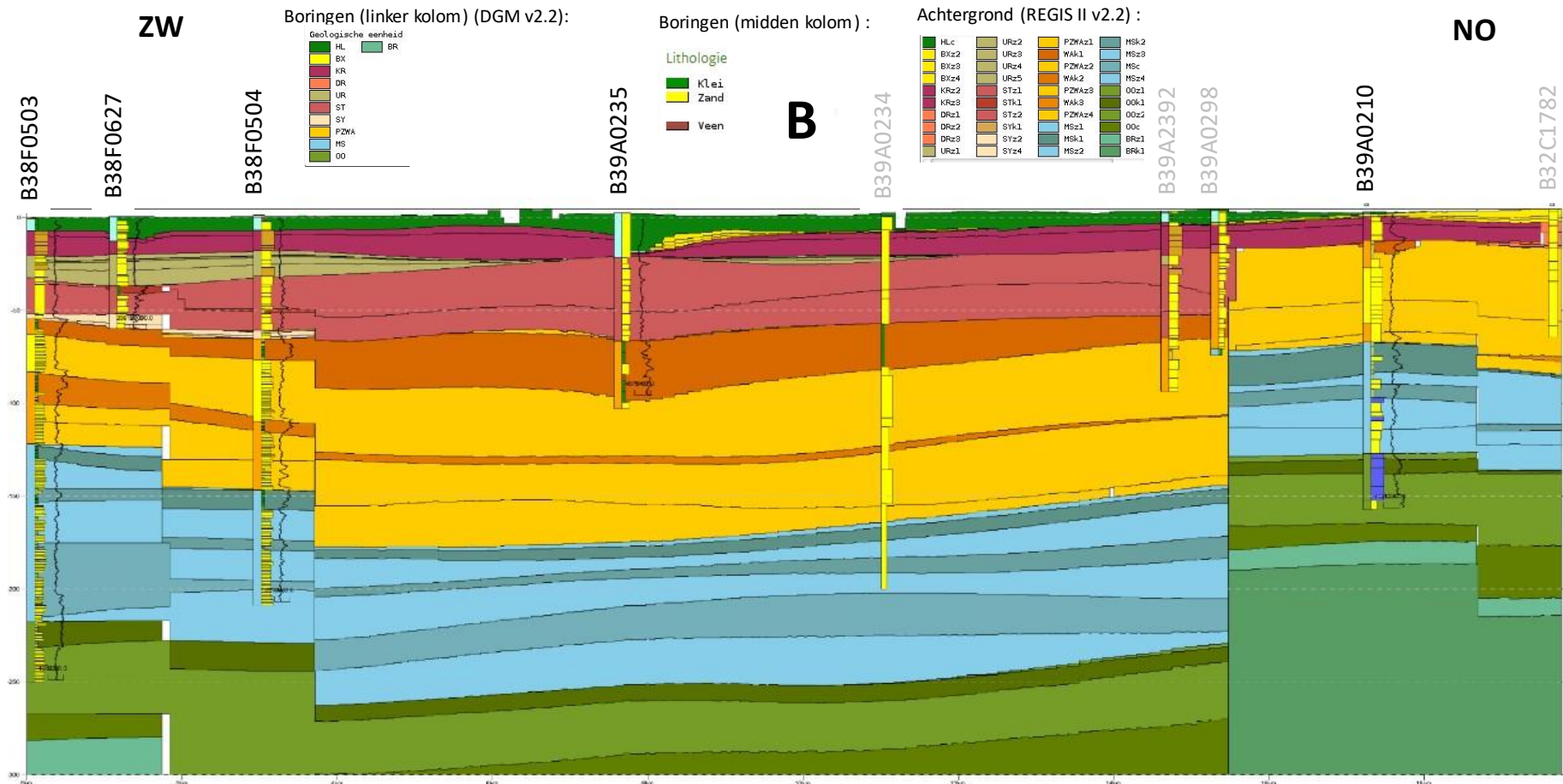


Figuur 2.7: Ligging hydrogeologische profielen ten behoeve van het onderzoek naar WAK1.

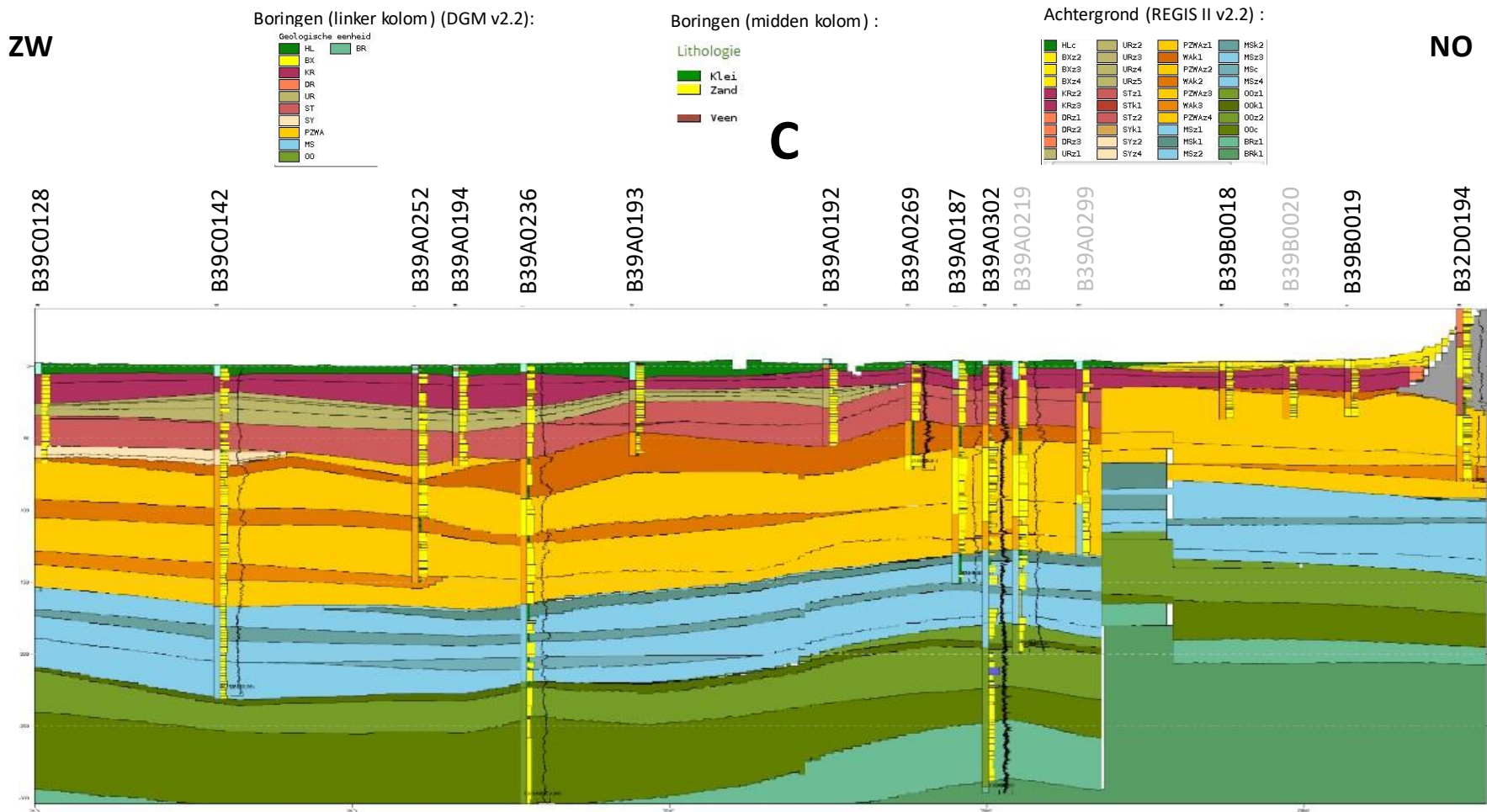
De profielen zelf zijn weergegeven in figuur 2.8 t/m figuur 2.12. Over het algemeen stemt de REGIS II v2.2 stratigrafie goed overeen met de boorgegevens. Met name rond de Kromme Rijnbreuk zijn er wel op diverse plaatsen afwijkingen (profielen B en C), en in een aantal boringen bevat WAK1 zandige intervallen in het middengedeelte. Per profiel volgt nu een korte beschrijving van de bevindingen.



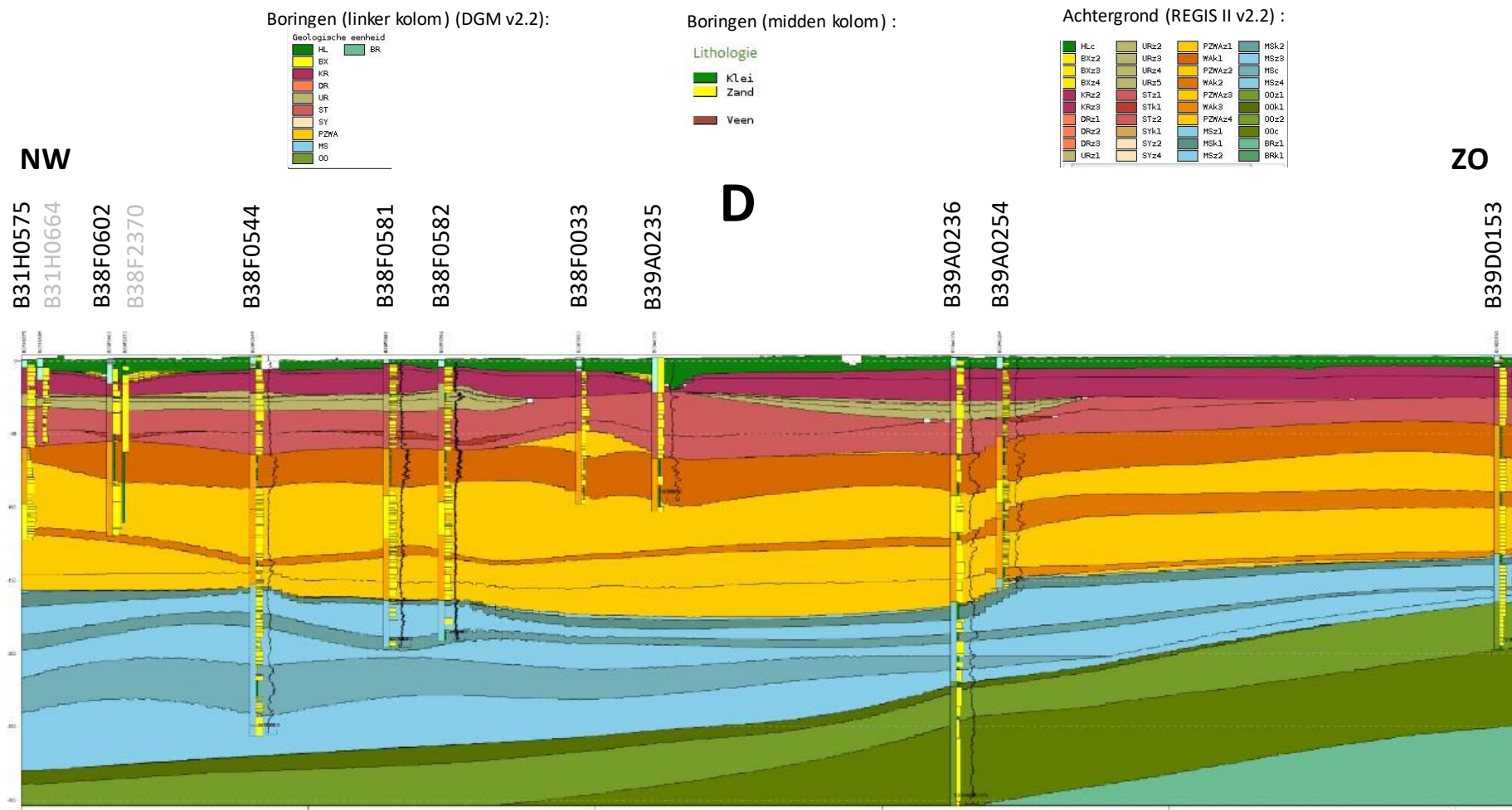
Figuur 2.8: Hydrogeologisch profiel A. Bij elke boring is v.l.n.r. aangegeven: (1) de stratigrafische interpretatie volgens DGM v2.2, (2) de lithologie in de boorbeschrijving, en (3) indien beschikbaar de gamma-waarde in de boorgatmeting als zwarte curve. Hoe sterker de uitslag in de gamma-curve, hoe kleiner het interval. In REGIS II v2.2 gebruikte boringen hebben een zwart boornummer, niet-REGIS boringen een grijs boornummer.



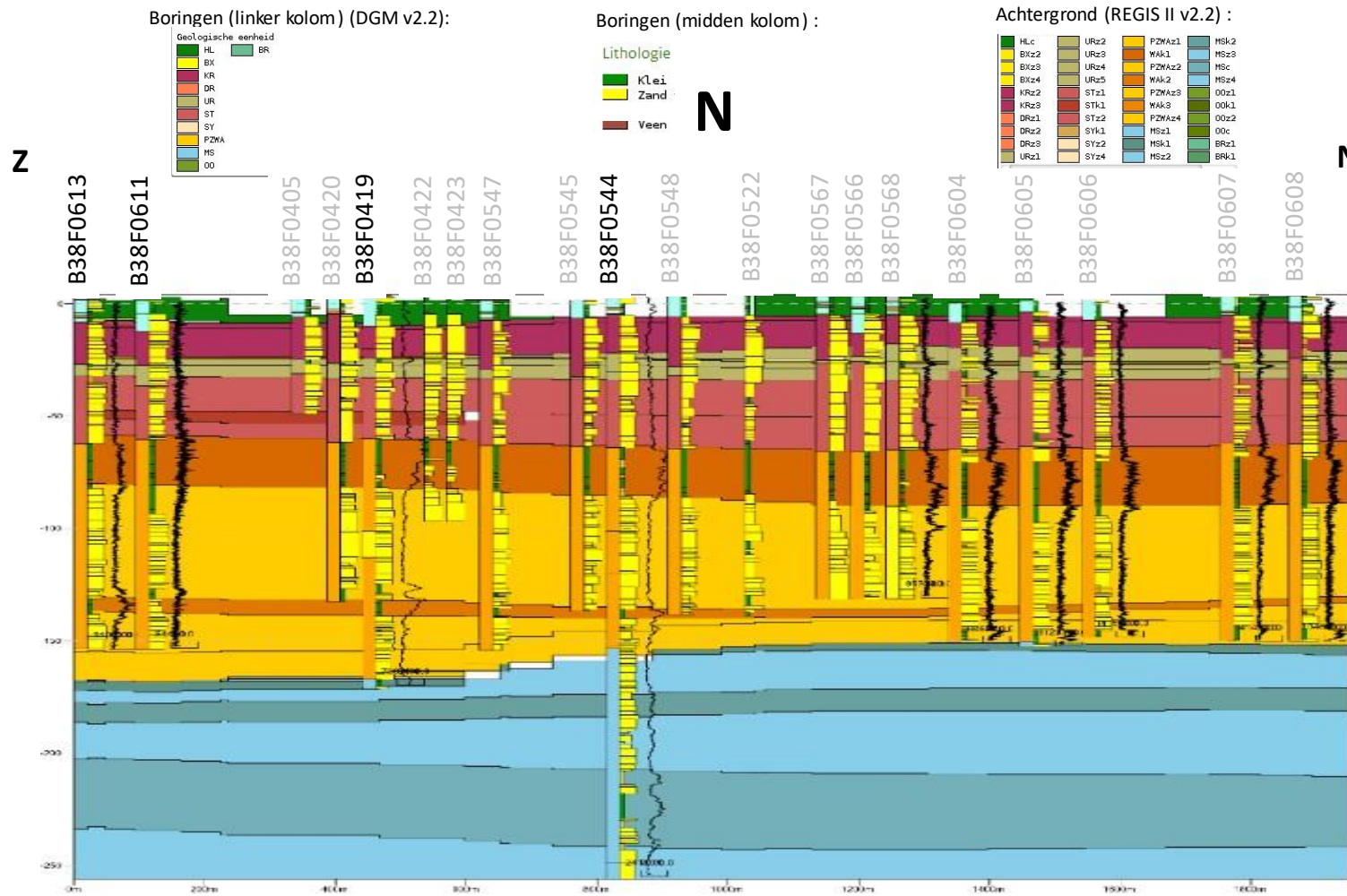
Figuur 2.9: Hydrogeologisch profiel B. Bij elke boring is v.l.n.r. aangegeven: (1) de stratigrafische interpretatie volgens DGM v2.2, (2) de lithologie in de boorbeschrijving, en (3) indien beschikbaar de gamma-waarde in de boorgatmeting als zwarte curve. Hoe sterker de uitslag in de gamma-curve, hoe kleiner het interval. In REGIS II v2.2 gebruikte boringen hebben een zwart boornummer, niet-REGIS boringen een grijs boornummer.



Figuur 2.10: Hydrogeologisch profiel C. Bij elke boring is v.l.n.r. aangegeven: (1) de stratigrafische interpretatie volgens DGM v2.2, (2) de lithologie in de boorbeschrijving, en (3) indien beschikbaar de gamma-waarde in de boorgatmeting als zwarte curve. Hoe sterker de uitslag in de gamma-curve, hoe kleiner het interval. In REGIS II v2.2 gebruikte boringen hebben een zwart boornummer, niet-REGIS boringen een grijs boornummer.



Figuur 2.11: Hydrogeologisch profiel D. Bij elke boring is v.l.n.r. aangegeven: (1) de stratigrafische interpretatie volgens DGM v2.2, (2) de lithologie in de boorbeschrijving, en (3) indien beschikbaar de gamma-waarde in de boorgatmeting als zwarte curve. Hoe sterker de uitslag in de gamma-curve, hoe kleiner het interval. In REGIS II v2.2 gebruikte boringen hebben een zwart boornummer, niet-REGIS boringen een grijs boornummer.



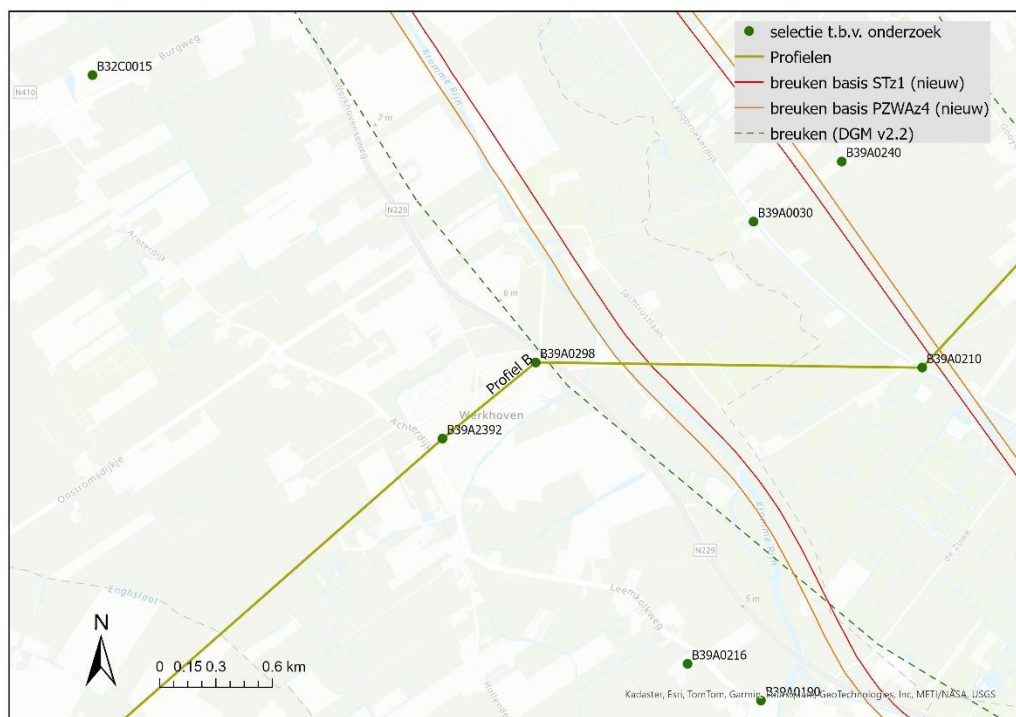
Figuur 2.12: Hydrogeologisch profiel N. Bij elke boring is v.l.n.r. aangegeven: (1) de stratigrafische interpretatie volgens DGM v2.2, (2) de lithologie in de boorbeschrijving, en (3) indien beschikbaar de gamma-waarde in de boorgatmeting als zwarte curve. Hoe sterker de uitslag in de gamma-curve, hoe kleiner het interval. In REGIS II v2.2 gebruikte boringen hebben een zwart boornummer, niet-REGIS boringen een grijs boornummer.

Profiel A (Lexmond – Houten – Bunnik):

- In boring B38F0407 zit in het middengedeelte van WAK1 een zandig interval van ca. 10 meter dikte. Ondanks dat het een zuigboring is, wordt de boorbeschrijving op hoofdlijnen wel vertrouwd omdat de aangrenzende kleiige intervallen wel zijn onderscheiden.
- De aanwezigheid van een verzet in de Vianenbreuk op het niveau van WAK1 wordt betwijfeld. Het hoogteverschil tussen de beschreven WAK1-intervallen in de beschikbare boringen aan weerskanten van de breuk kan ook het gevolg zijn van afhelling naar het oosten. Dit kan ook gesteld worden voor WAK2, gelet op de geïnterpreteerde top van die eenheid in boringen B38F0569 en B38F0407. Dit zou in lijn zijn met het in paragraaf 2.3.1 besproken seismisch profiel, iets noordelijker bij Nieuwegein. Voor de afsluitende werking van WAK1 in het geohydrologisch systeem maakt het overigens geen verschil. Als de breuk wel zou doorwerken tot het WAK1-niveau, dan is het verzet te klein om een zand-zand contact c.q. een hydraulische kortsluiting door WAK1 te veroorzaken.

Profiel B (Middelkoop – Schalkwijk – Werkhoven):

- Nabij de Kromme Rijnbreuk bij Werkhoven is in boringen B39A2392 en -0298 geen goed ontwikkelde kleilaag beschreven op het verwachte niveau van WAK1, maar de kwaliteit van de boringen is twijfelachtig (resp. spoelboring en onbekende boormethode, beide zonder boorgatmeting). Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 2.3.3. Wel zeker is dat in B39A0298 de niveaus van de eenheden WA en MS te hoog zijn geïnterpreteerd ; wat als MSK1 is benoemd moet worden geïnterpreteerd als WAK1. Dit lijkt te zijn gebeurd in de veronderstelling dat de boring op het hoge blok ligt, maar op basis van de seismische interpretatie is de breuk naar het noordoosten verlegd. Daarmee ontstaat meer zekerheid over de ligging van o.a. boring B39A0298 op het lage blok, zie figuur 2.13 .
- Het beschreven zandige interval in het middengedeelte van WAK1 in boring B39A0235 kan ook zijn veroorzaakt door de boormethode (zuigboring), want het komt niet duidelijk terug in de boorgatmeting.



Figuur 2.13: Ligging boringen ten opzichte van de Kromme Rijnbreuk bij Werkhoven.

Profiel C (Tricht – Culemborg – Cothen):

- In boring B39A0236 bij Culemborg zit in het middengedeelte van WAK1 een zandig interval van 15 meter dikte, dit komt ook terug in de boorgatmeting. Ook in boring B39A0193 aan de oostkant van Culemborg zit in WAK1 een zandig interval van 12 meter dikte. Deze boring doorboort WAK1 niet volledig.
- In boring B39A0219 bij Cothen is in het WAK1-interval ca. 18 meter klei beschreven, terwijl WAK1 in REGIS II v2.2 een dikte van ca. 11 meter heeft.
- Boring B39A0299, ook bij Cothen, ligt in volgens DGM v2.2 op het lage blok, maar uit de seismische analyse wordt geconcludeerd dat de boring op het hoge blok ligt. Dit is ook beter in overeenstemming met de stratigrafie.

Profiel D (Nieuwegein – Schalkwijk – Culemborg e.v.):

- In boring B38F0033 is een aanpassing gemaakt boven WAK1: Waz1 wordt STz1.
- In boring B39A0254 zitten in WAK1 twee zandige intervallen van samen 9,5 meter dikte, dit komt ook terug in de boorgatmeting. Het onderste zandige interval (6,5 meter) komt minder duidelijk terug in de boorgatmeting.

Profiel N (langs Lekkanaal Nieuwegein)

WAK1 is overal kleilig ontwikkeld en vertoont ook qua dikte weinig variatie. Wel is in het noordelijke deel (vanaf boring B38F0604) aan de boorgatmeetprofielen te zien dat de top van WAK1 lager moet liggen dan nu in REGIS II v2.2 is gekarteerd. Verder is in B38F0422 en O423 het middengedeelte van WAK1 zandiger. Mogelijk is dit veroorzaakt door de boormethode (straight flush zonder boorgatmeting).

2.3.3 Stratigrafische interpretaties (WAK1)

Algemeen

In totaal zijn 259 locaties geselecteerd voor interpretatie: 113 x boorbeschrijving + boorgatmeting, 145 x alleen boorbeschrijving, 1 x alleen boorgatmeting. Zie figuur 2.14.

Op 95 van de 259 locaties waren de boorbeschrijvingen al geïnterpreteerd in het kader van de REGIS II v2.2 kartering. Deze al bestaande interpretaties zijn gecontroleerd met behulp van de geconstrueerde profielen, beschikbare boorgatmeetprofielen en de nieuwe interpretaties van naburige niet-REGIS II boringen. Op vier locaties was de controle aanleiding om de basis van WAK1 hoger te leggen (B31H0602, B38F0505, B39A0208 en B39B0312). Op één locatie (B39B0021) leidde de controle tot de bevinding dat WAK1 afwezig is, ook al is deze wel gekarteerd in REGIS II v2.2. deze locatie ligt ten oosten van de Kromme Rijnbreuk, op het hoge blok op grote afstand van het Eiland van Schalkwijk.

Op 27 locaties (REGIS II en niet-REGIS II) is WAK1 niet volledig doorboord.

In figuur 2.15 is per locatie de toegepaste boormethode weergegeven. Op 74 boorlocaties is sprake van verschillende varianten van een losstaande boorgatmeting, steek- of puls-boringen of een combinatie daarvan. Deze methoden leiden doorgaans tot betrouwbare boorbeschrijvingen, maar de kwaliteit daarvan is ook afhankelijk van de kwaliteit van de boormeester. Op 64 locaties is sprake van luchtliftboringen, die doorgaans een redelijke boorbeschrijving opleveren, met dezelfde kanttekening. Op 51 locaties werd geboord met een doorgaans weinig betrouwbare spoel-, spuit-, zuig- of zuig/luchtliftmethode, maar kan

dankzij een begeleidende boorgatmeting toch betrouwbaar worden geïnterpreteerd. Op 32 locaties ontbreekt deze en zijn de beschrijvingen van twijfelachtige kwaliteit. Op 38 locaties is de boormethode onbekend. Op 32 daarvan ontbreekt een boorgatmeting en is de kwaliteit van de gegevens daarom twijfelachtig.

Van alle resultaten per geselecteerde boorlocatie is een GIS-shapefile samengesteld. De bijbehorende tabel is opgenomen in Bijlage B.

Dikte van de eenheid WAK1

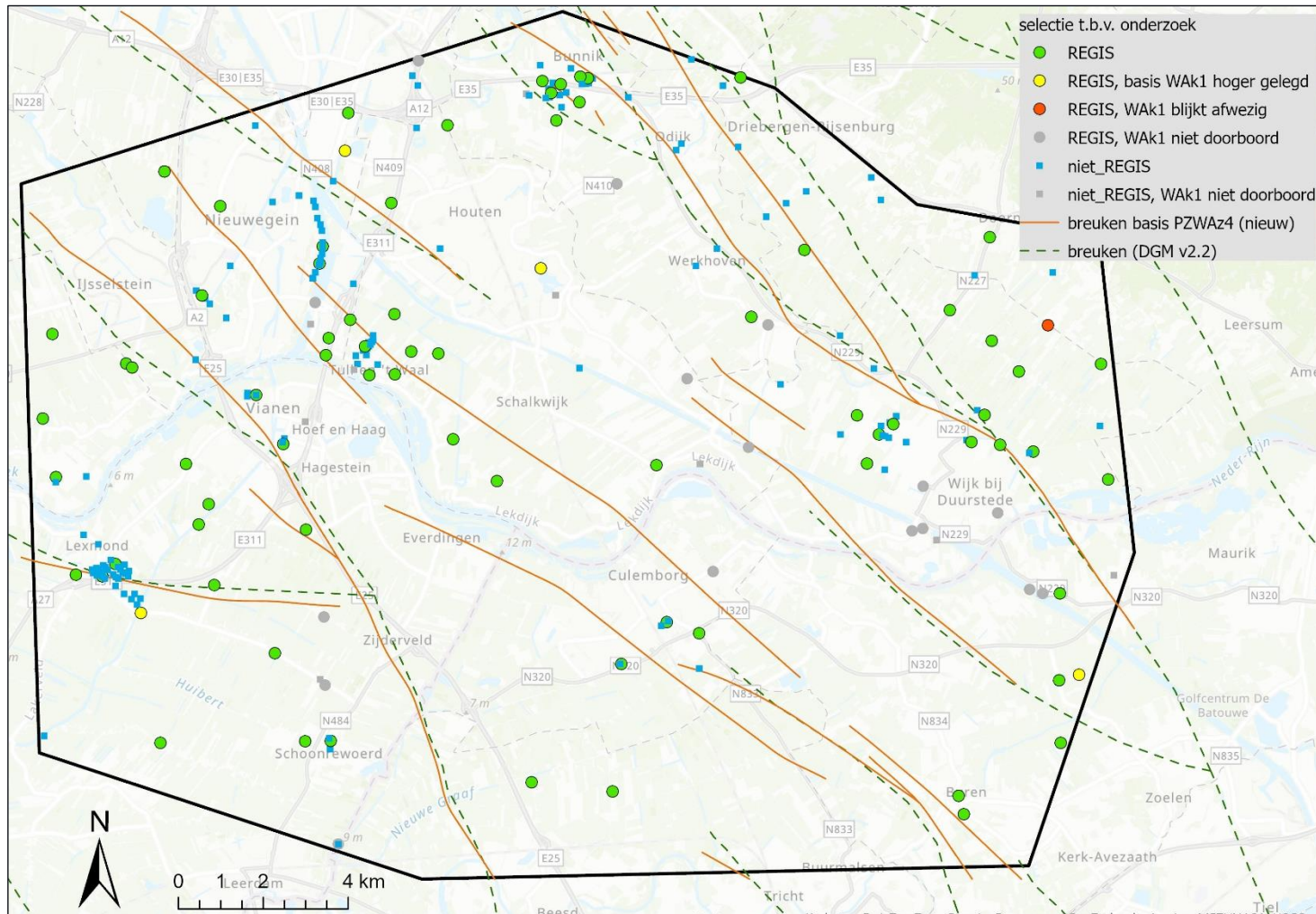
De uit de boorgegevens geïnterpreteerde WAK1-dikte (WAK1-nieuw) is tegen de WAK1-dikte volgens REGIS II v2.2 (WAK1-REGIS) weergegeven in figuur 2.16. Het betreft hier de 'bruto'-dikte: top WAK1 min basis WAK1, ongeacht eventuele zandige inschakelingen. De legenda van beide is identiek. Op veel plaatsen zijn beide legendakleuren hetzelfde, m.a.w. de nieuw geïnterpreteerde dikte valt binnen dezelfde klasse als de REGIS II v2.2 dikte.

Met name een aantal niet eerder voor REGIS geïnterpreteerde locaties bij Lexmond en Nieuwegein vertonen duidelijk een dunnere WAK1-nieuw (oranje of gele stip tegen groene achtergrond). Hieronder vallen ook de noordelijke boringen in profiel N (Nieuwegein), waarvan op basis van de boorgatmeetprofielen is geconstateerd dat de top van WAK1 lager moet liggen dan in REGIS II v2.2 is gekarteerd. Ook ter plaatse van boring B39A0208 in Houten (wit omcirkeld in figuur 2.16) is de nieuw geïnterpreteerde WAK1-dikte geringer (22,5 m) dan de in het kader van de REGIS II geïnterpreteerde dikte (30 m). Dit is één van de vier boringen waar naar aanleiding van de controle van de REGIS II – interpretaties de basis van WAK1 hoger is gelegd (zie ook figuur 2.14) en waar de WAK1-dikte dus moet worden herzien.

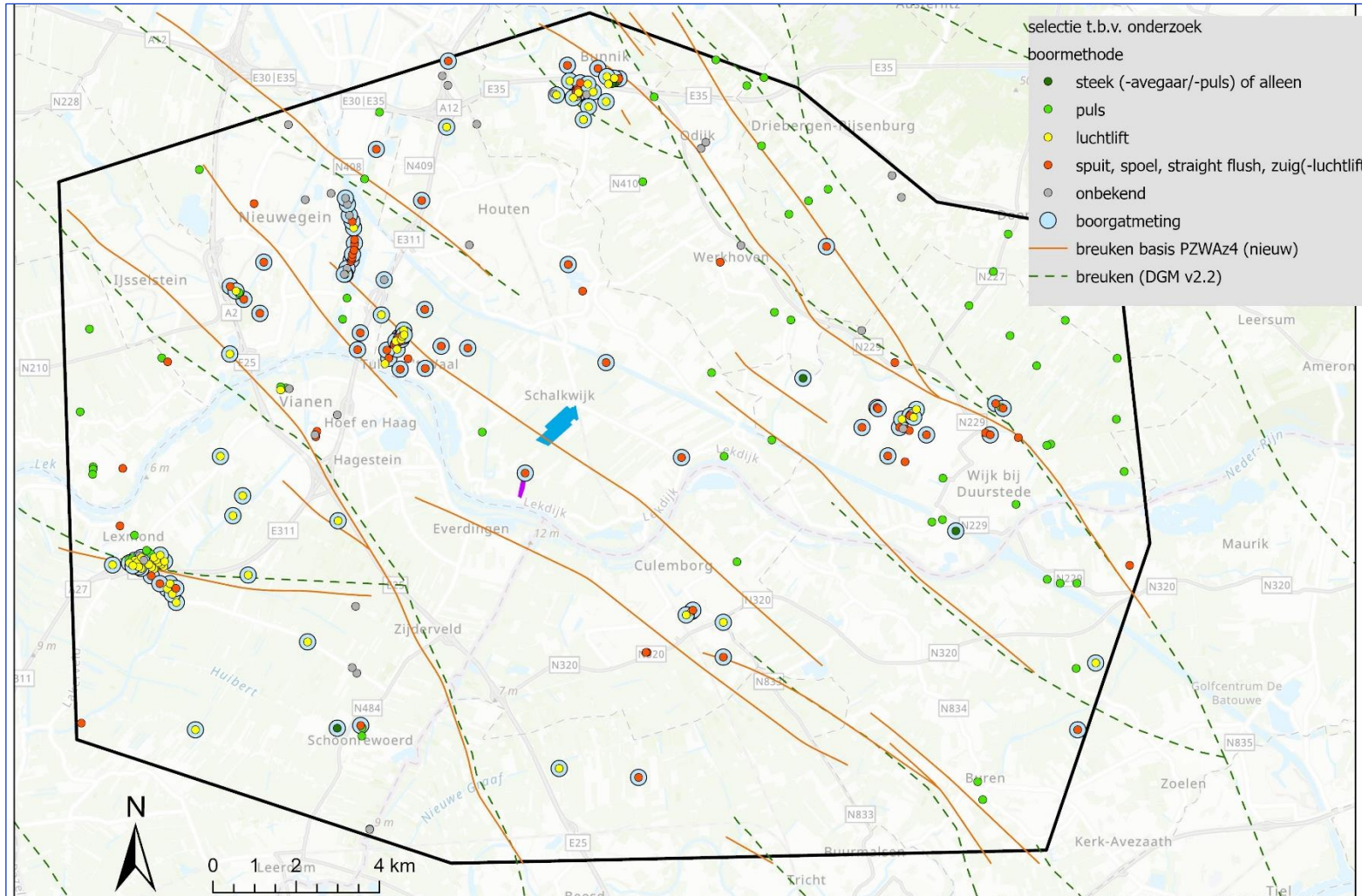
Verder bestaat rond een aantal boringen aan de lage kant van de Kromme Rijnbreuk onzekerheid:

- In B39A0298 (boormethode onbekend, geen boorgatmeting) en B32C0015 (een puls boring) is op het niveau van WAK1 overwegend zand (deels met leembrokken) beschreven. Het is onzeker of het hier een tijdens het boren gefragmenteerde kleilaag betreft of toch een zandige hoofdlithologie. Los hiervan doorboort boring B32C0015 WAK1 niet en is het dus onzeker of onder de einddiepte (ook) WAK1-klei zit.
- Eenzelfde soort onzekerheid bestaat in boring B39A0216. Bovendien is er geen verticaal stijghoogteverschil tussen de filters boven en onder WAK1 in put B39A0216, zie ook paragraaf 2.3.4.

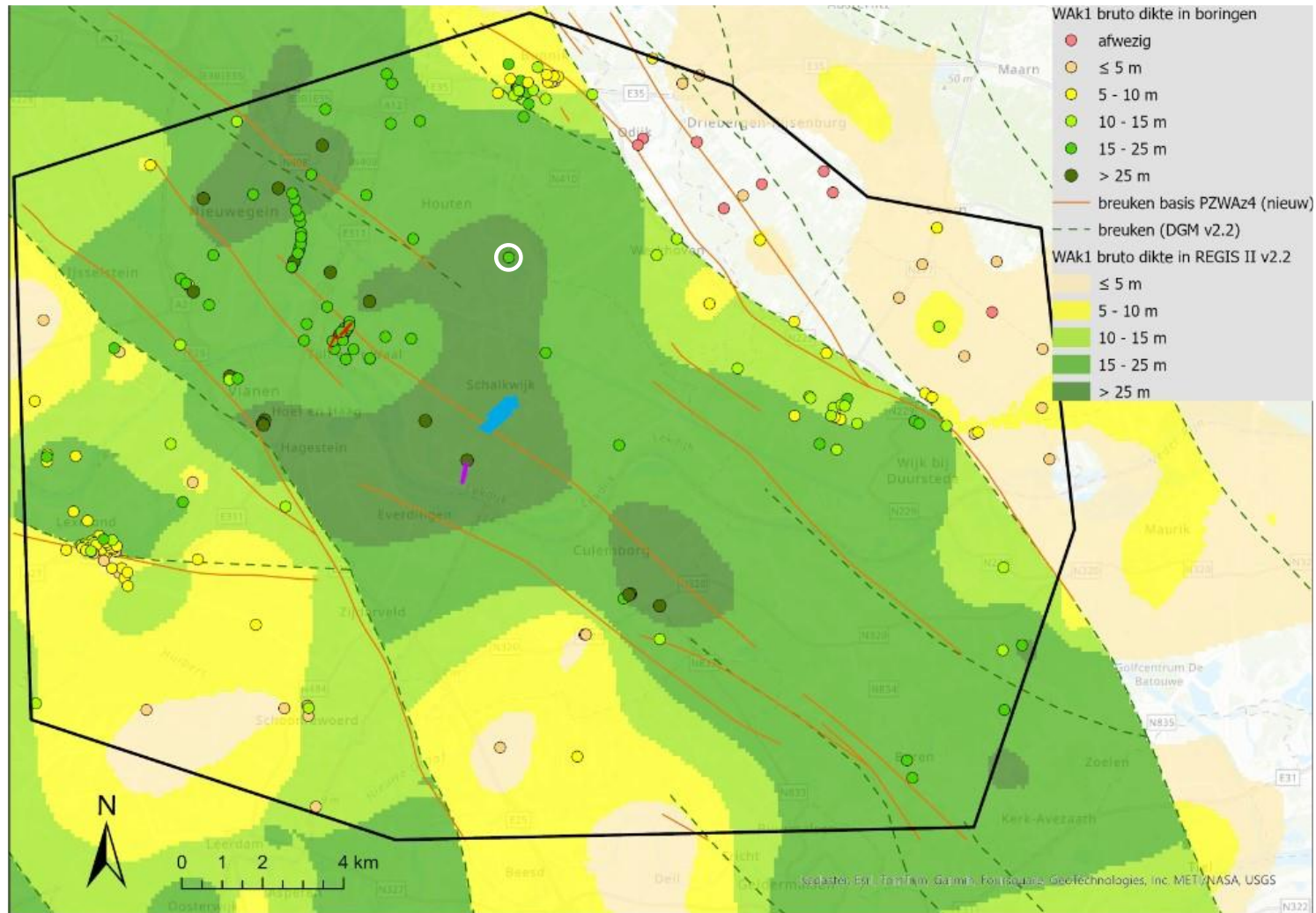
Tot slot valt op dat in de omgeving van Houten en op het Eiland van Schalkwijk, met de beoogde winlocatie alternatief 4, de gegevensdichtheid laag is. Dit geldt ook voor het vrij dicht bij de beoogde nieuwe winlocatie liggende gebied tussen Everdingen en Culemborg en voor het gebied ten zuidoosten van Culemborg.



Figuur 2.14: Resultaten stratigrafische interpretatie WAK1, metagegevens (1): wel / niet eerder geïnterpreteerd in het kader van REGIS II v2.2 en indien REGIS : wel / niet aangepast.



Figuur 2.15: Resultaten stratigrafische interpretatie WAK1, metagegevens (2): boormethode.



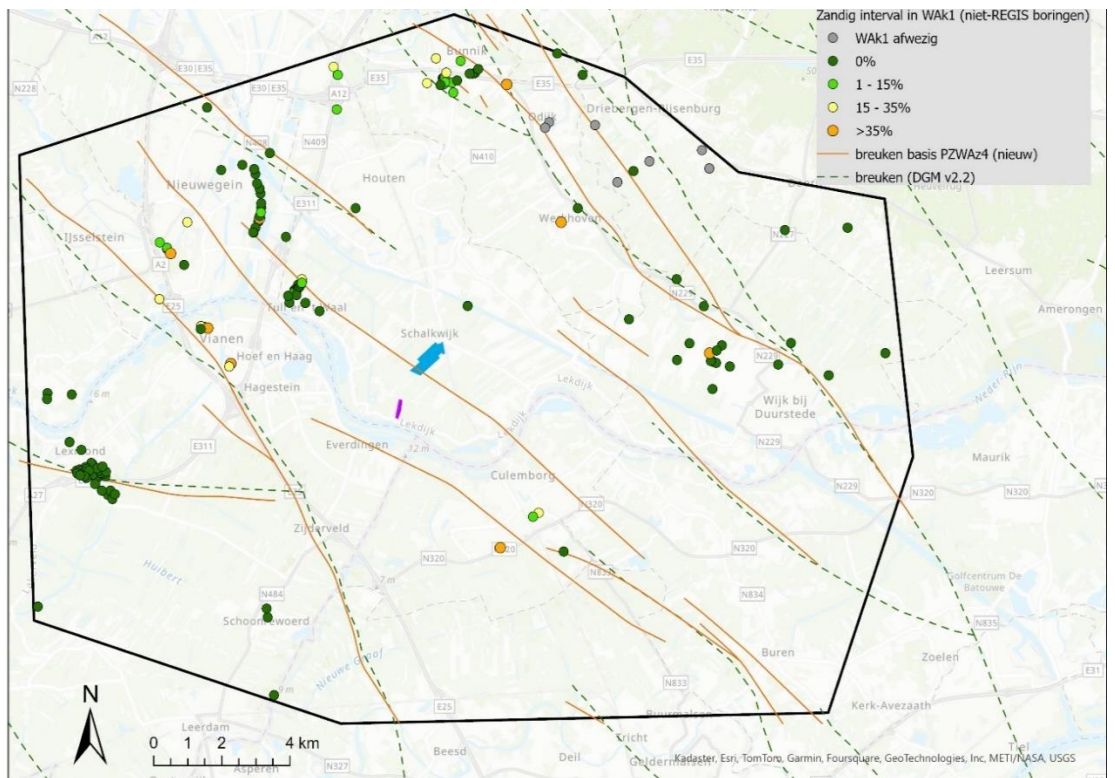
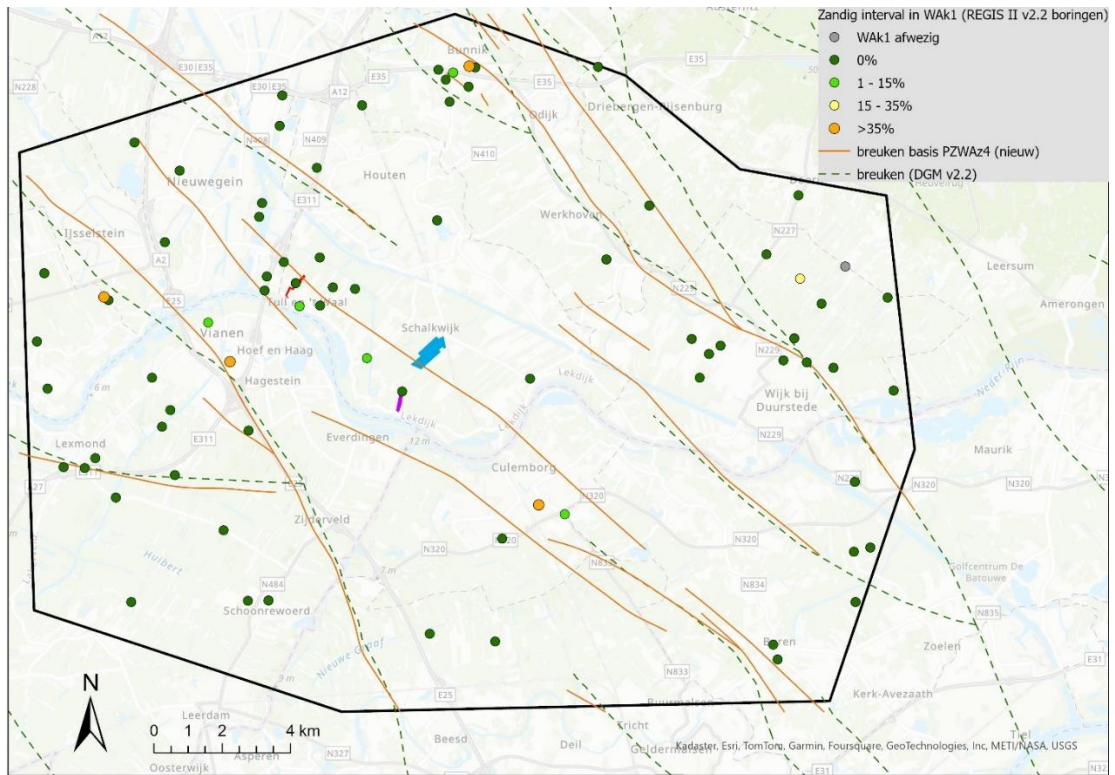
Figuur 2.16: Bruto dikte WAK1 (top – basis) volgens REGIS II v2.2 (achtergrond) en interpretaties per locatie (stippen), volgens dezelfde legenda. Wit omcirkeld is de in de tekst genoemde boring B39A0208.

Samenstelling van WAK1

Om een indruk te geven van de samenstelling van WAK1 is per boring het percentage zandig interval binnen de eenheid weergegeven in figuur 2.17. Opvallend is het grote aantal boorlocaties zonder zandig interval binnen WAK1 (donkergroene stippen in de figuur). De in de profielen A en C geconstateerde zandige intervallen komen terug als oranje, gele en lichtgroene stippen bij Vianen en Culemborg, daarnaast ook langs de A2 bij Nieuwegein. Niet in profiel A, maar wel in figuur 2.17 opvallend is een aantal boringen met zandige intervallen bij PS Bunnik. Op al deze boorlocaties zijn boorgatmetingen uitgevoerd, de geïnterpreteerde zandige intervallen lijken daarom niet veroorzaakt door de boormethode. Rond PS Bunnik, dicht langs de Kromme Rijnbreuk, is duidelijk veel variatie in samenstelling van WAK1 op korte afstand. Tot slot zijn zandige intervallen geïnterpreteerd in drie boringen langs de A27 bij Amelisweerd, net als bij de andere boringen ook hier in het middengedeelte. Dit is lijn met de bevindingen uit het geologisch onderzoek in het kader van de voorgenomen verbreding van de A27 (Schokker e.a., 2019).

figuur 2.17 is gesplitst in deelkaarten voor REGIS- en niet-REGIS boringen om na te gaan of de REGIS-selectieset representatief is voor wat betreft de samenstelling van WAK1 (het aandeel zand). Dit blijkt het geval te zijn: de ruimtelijke patronen in beide figuren zijn vrijwel identiek. Er is op grond van deze vergelijking daarom geen aanleiding om te veronderstellen dat de in REGIS II v2.2 geparametriseerde weerstand aangepast zou moeten worden. Bij deze parametrisatie wordt namelijk rekening gehouden met de lithologie van de boringen uit de REGIS II selectieset; de weerstand wordt zodoende mede bepaald door de aanwezige zandige intervallen.

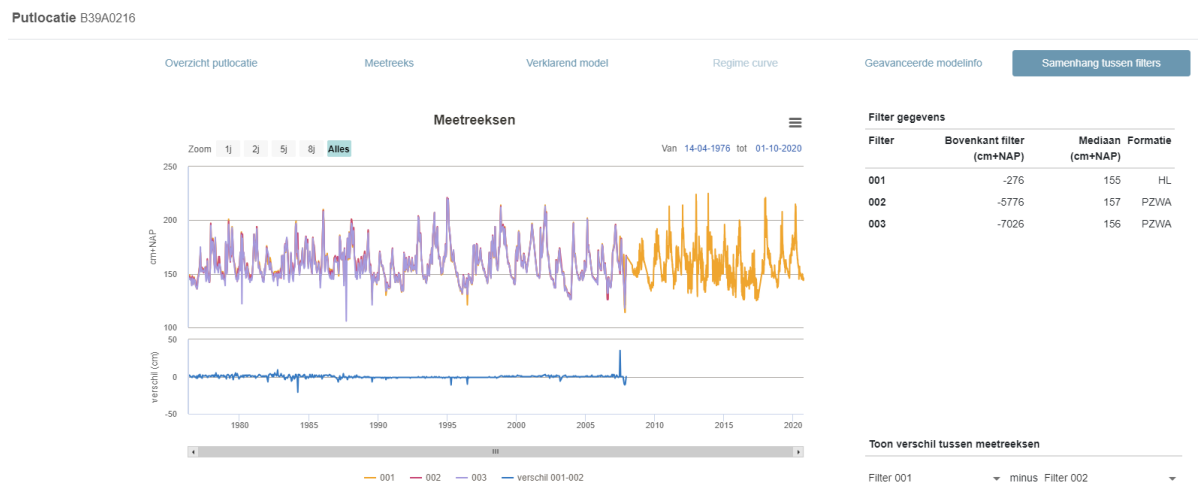
Desondanks is er lokaal wel reden om de hydraulische weerstand nader onder de loep te nemen. Bijvoorbeeld rond boring B39A0208 waar de nieuw geïnterpreteerde dikte lager is dan de dikte in REGIS II v2.2 (wit omcirkeld in figuur 2.16) en aan de lage (zuidwest)kant van de Kromme Rijnbreuk rond Werkhoven.



Figuur 2.17: Percentage zandig interval per boring. Boven: boringen in REGIS II v2.2 selectieset. Onder: overige boringen (niet-REGIS)

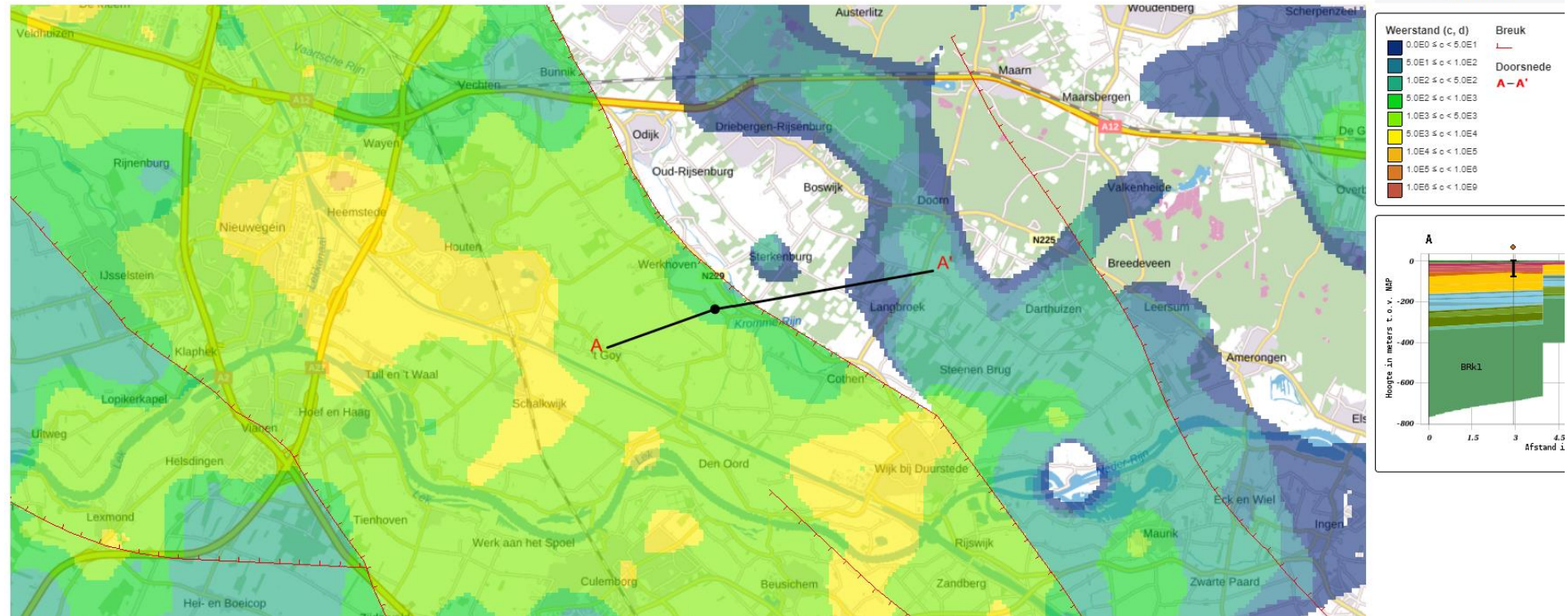
2.3.4 De hydraulische weerstand langs de Kromme Rijnbreuk

In paragraaf 2.3.3 zijn onzekerheden geschetst rond de dikte en samenstelling van WAK1 in boringen dicht langs de Kromme Rijnbreuk. Bovendien is er geen verticaal stijghoogteverschil tussen de filters boven en onder WAK1 in put B39A0216, zie figuur 2.18. Dit wijst op een (zeer) lage WAK1-weerstand, al is ook een (ver)slechte(rde) afdichting tussen de peilfilters een mogelijke oorzaak. In REGIS II v2.2 is richting de Kromme Rijnbreuk wel een afnemende hydraulische weerstand te zien, maar deze is nog altijd 500 – 1000 dagen, zie figuur 2.19. Gezien de hiervoor gemaakte overwegingen en het belang voor mogelijke effecten van de beoogde nieuwe winlocatie is nader (veld)onderzoek naar de dikte, samenstelling en hydraulische weerstand van WAK1 in dit gebied op zijn plaats. Als op basis daarvan de weerstand aan de lage kant van de breuk naar beneden moet worden aangepast, stelt dit de werking van de breuk zelf in een ander perspectief. Niet de uit de juxtapositie-analyse afgeleide mogelijke hydraulische vensters, maar een lage WAK1-weerstand aan de westkant van de breuk is dan mogelijk meer sturend voor een doorwerking van eventuele effecten van de beoogde nieuwe winning; zie ter illustratie figuur 2.20.

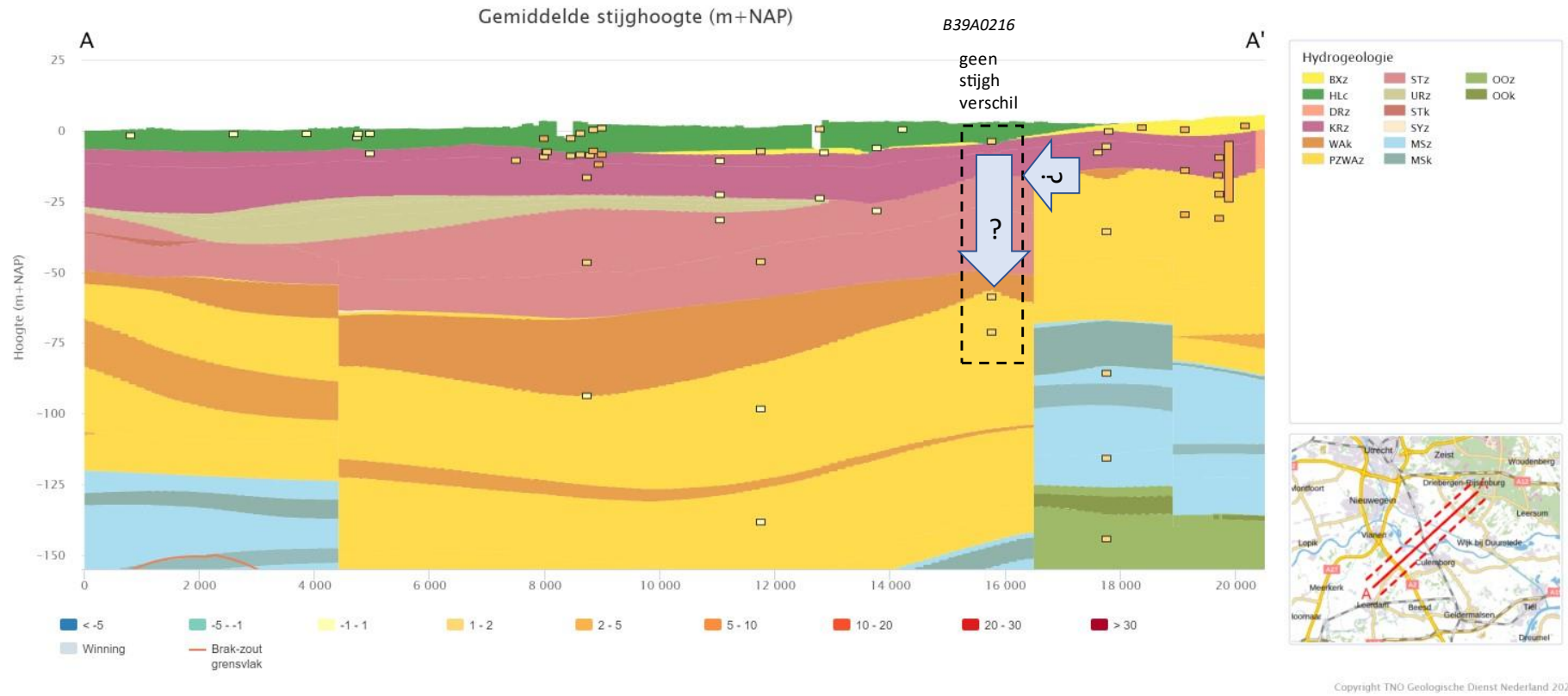


Figuur 2.18: Meetreeksen van de stijghoogte, putlocatie B39A0216 bij Werkhoven. De mediane stijghoogte verschilt nauwelijks tussen het freatische filter 001 en filters 002 en 003 onder WAK1.

Formatie van Waalre, eerste kleiige eenheid (BRO REGIS II v2.2.1)



Figuur 2.19: Hydraulische weerstand Wk1 in REGIS II v2.2 Het in de tekst bedoelde gebied met weerstand 500 – 1000 dagen ligt rond de met zwarte stip aangegeven boring langs profiel A – A'.



Figuur 2.20: Hypothese mogelijke doorwerking van eventuele stijghoogteverlagingen als gevolg van de beoogde nieuwe winning, in het geval dat de hydraulische weerstand van WAK1 langs de Kromme Rijnbreuk lager is dan nu wordt aangenomen.-

3 Onderzoek Holocene deklaag

3.1 Werkwijze en gebruikte gegevens

Het onderzoek naar de Holocene deklaag richtte zich op nieuwe (hydro)geologische inzichten die sinds de constructie van GeoTOP Rivierengebied in 2011, opgenomen in BRO GeoTOP v1.6, zijn opgedaan. Het betreft de ligging van Holocene riviergeulen (stroomruggen en crevasses behorende tot de Formatie van Echteld, hierna EC) en de verbreiding en dikte van het Hollandveen Laagpakket en de Basisveen Laag.

Door de Universiteit Utrecht is in 2001 de Paleogeografische Kaart van de Rijn-Maasdelta uitgebracht (Berendsen e.a., 2001). Deze versie is verwerkt in GeoTOP Rivierengebied. In 2012 volgde een actualisatie van de kaart (Cohen & Stouthamer, 2012). Deze kaart bevat onder meer de ligging van 14 generaties stroomruggen en crevasses. Door TNO-GDN zijn de stroomruggen uit de 2001-kaart ten behoeve van GeoTOP Rivierengebied samengevoegd tot vijf generaties A t/m E. De ouderdom van de holocene geulen verloopt daarbij van 0-500 BP (generatie A), via 500-1000 BP (generatie B), 1000-2500 BP (generatie C) en 2500-6000 BP (generatie D) tot ouder dan 6000 BP (generatie E). In 2020 is een vernieuwde versie van deze kaart in concept gereedgekomen, maar niet officieel uitgebracht. Door de Universiteit Utrecht is toestemming verleend aan TNO-GDN om de kaart uit 2020 (hierna: Paleogeografische Kaart 2020 of 2020-kartering) te gebruiken voor de landelijke modellering van de ondergrond, en voor specifieke projecten waaronder ook dit onderzoek op het Eiland van Schalkwijk. De ligging van de Holocene riviergeulen volgens de Paleogeografische Kaart 2020 is vergeleken met de verbreiding van de geulen volgens BRO GeoTOP. In gebieden met verschillen tussen beide gegevensbronnen, is aan de hand van boorbeschrijvingen nagegaan welke gevolgen die verschillen kunnen hebben voor het grondwatersysteem.

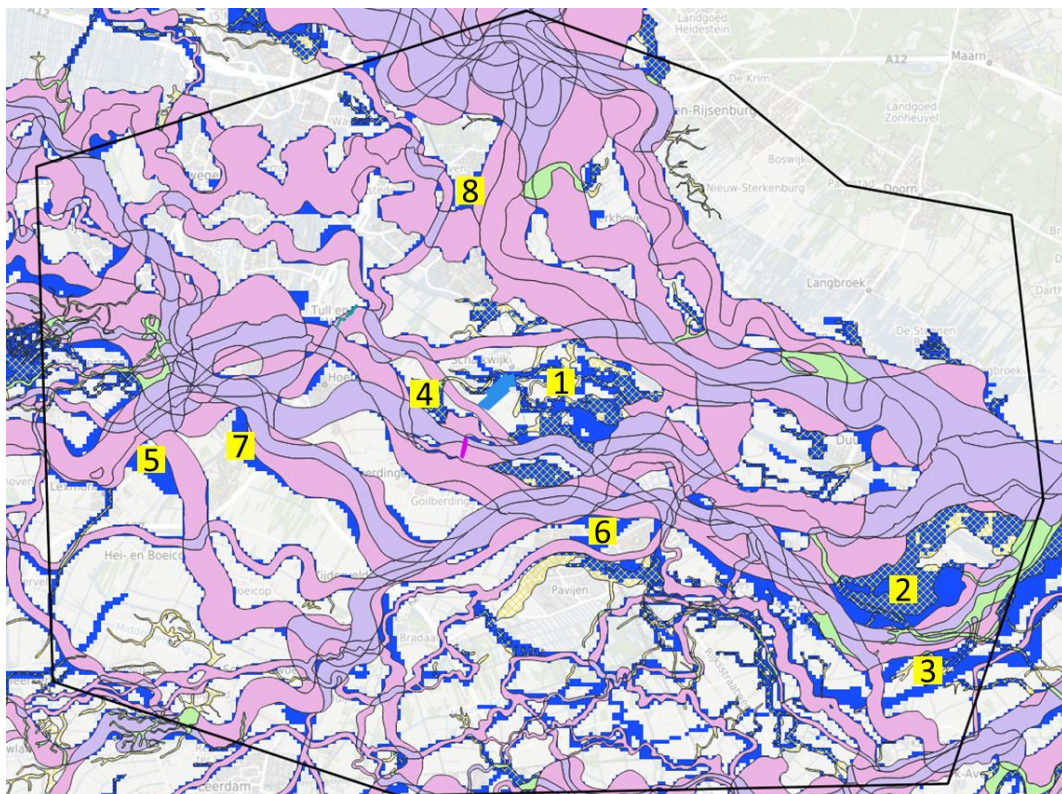
In het kader van het project RegioDeal Bodemdaling Groene Hart (hierna: RegioDeal) zijn de verbreidingen en dikten van het Basisveen en Hollandveen opnieuw gemodelleerd. Daartoe zijn nieuwe en aanvullende ondergrondgegevens (opnieuw) stratigrafisch geïnterpreteerd, waaronder een groot aantal sonderingen en recente boringen. Ook de al genoemde Paleogeografische Kaart 2020 is verwerkt in de modellering. Het RegioDeal-projectgebied overlapt gedeeltelijk met het onderzoeksgebied; de oostgrens van eerstgenoemd gebied ligt ter hoogte van Houten. De oplevering van de eindresultaten van het RegioDeal project wordt eind juni 2024 verwacht. Vooruitlopend hierop worden de belangrijkste bevindingen uit het RegioDeal project ten aanzien van het Basisveen en Hollandveen in dit rapport kort benoemd en geïdentificeerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat buiten het RegioDeal-projectgebied de modelresultaten geen kwaliteitscontrole hebben ondergaan en met het nodige voorbehoud moeten worden gezien.

In de Holocene deklaag zijn op een aantal plaatsen in- en doorsnijdingen aanwezig. De belangrijkste daarvan zijn het Lekkanaal, Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en diverse wielen (uitkolkingsgaten veroorzaakt door dijkdoorbraken). De mate van insnijding in de deklaag van deze elementen is geïnventariseerd. Voor de beide kanalen zijn lengteprofielen geconstrueerd waarin het kanaalbodenniveau en een aantal boorprofielen nabij het kanaal zijn weergegeven. De ligging van de wielen is afgeleid uit de Geomorfogenetische Kaart van Zuid-Utrecht (Berendsen, 1982, alleen ten noorden van de Lek) en de Geomorfologische Kaart van Nederland (1:50.000).

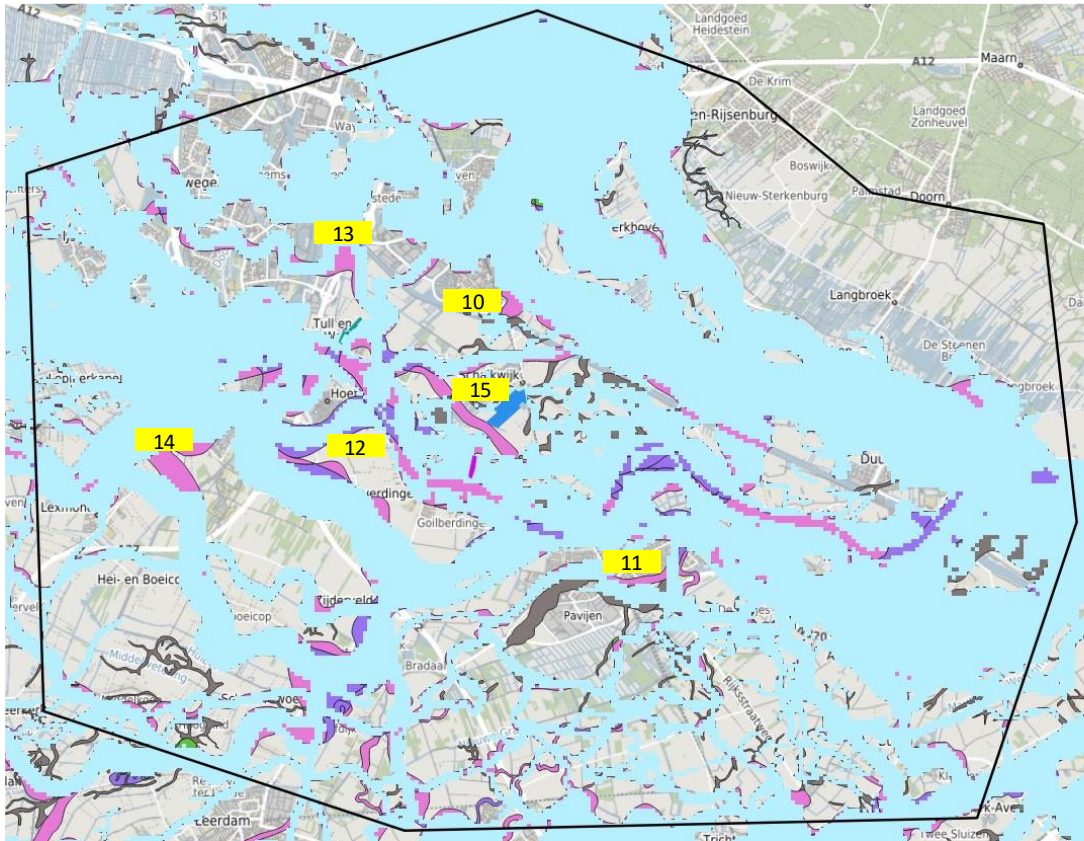
3.2 Resultaten

3.2.1 Holocene riviergeulen

De vergelijking tussen de ligging van de Holocene riviergeulen volgens de Paleogeografische Kaart 2020 en de verbreiding van geulen volgens BRO GeoTOP (behorend tot de Formatie van Echteld) is weergegeven in figuur 3.1 en figuur 3.2. In de donkerblauwe gebieden in figuur 3.1 is volgens BRO GeoTOP een Holocene riviergeul aanwezig maar volgens de Paleogeografische Kaart 2020 niet ('verdwijnde geulen'). Omgekeerd zijn in figuur 3.2 in paarsstinten de gebieden zichtbaar waar volgens BRO GeoTOP geen Holocene riviergeul aanwezig is maar volgens de Paleogeografische Kaart 2020 wel ('verschijnende geulen').



Figuur 3.1: Vergelijking Holocene riviergeulen (Formatie van Echteld, EC): Paleogeografische Kaart van de Rijn-Maasdelta (Cohen & Stouthamer, 2020) over de in BRO GeoTOP gemodelleerde ligging van geulen (in donkerblauw weergegeven indien de gesommeerde geuldikte van EC-generaties A t/m E > 0,1 m).



Figuur 3.2: Vergelijking Holocene riviergeulen (Formatie van Echteld, EC): de in BRO GeoTOP gemodelleerde ligging van geulen (in lichtblauw weergegeven indien de gesommeerde geuldikte van EC-generaties A t/m E > 0,1 m) over de Paleogeografische Kaart van de Rijn-Maasdelta (Cohen & Stouthamer, 2020).

De verdwijnende en verschijnende geulen (wel in BRO GeoTOP, niet in Paleogeografische Kaart 2020, figuur 3.1) zijn vrijwel allemaal van de oudere generaties D en E. Jongere geulen liggen vaak dicht aan maaiveld en kunnen behalve uit boringen ook aan de hand van het AHN (betrouwbaarder) gekarteerd worden. In figuur 3.2 is ook de huidige loop van de Lek zichtbaar, omdat de bedding tot in het Pleistocene zand reikt. Anders gezegd: de Lek doorsnijdt de Holocene deklaag. Er is daarom geen Holocene geuldikte in BRO GeoTOP aanwezig maar wel een gekarteerde geul (generatie A) in de Paleogeografische Kaart 2020.

Voor 15 gebieden waar verschillen te zien zijn in één van beide kaartbeelden is de lokale situatie in meer detail nagegaan aan de hand van boorbeschrijvingen (DINO) en BRO GeoTOP (zie ook Bijlage C). Deze gebieden zijn genummerd weergegeven in figuur 3.1 en figuur 3.2. Voor deze gebieden is beredeneerd wat de nieuwe inzichten zouden betekenen bij een eventuele actualisatie van een ondergrondschematisatie en/of grondwatermodellering.

In gebieden 1, 2, 5, 13, 14 en 15 wordt de lithologie uit de aanwezige boringen goed weerspiegeld in het actuele voxelmodel van BRO GeoTOP. Naar verwachting zal een verandering in stratigrafische eenheid als gevolg van de nieuwe inzichten geen of beperkt invloed hebben op een nieuw te modelleren lithologie. Het gaat om een verandering binnen het Holoceen, van EC-geul naar EC-ongedifferentieerd (niet-geul) of vice versa. In die gevallen is er geen aanleiding om de hydraulische parametrisatie aan te passen als de procedure conform REGIS II wordt aangehouden (Hummelman e.a., 2019b). Voor beide

eenheden worden namelijk dezelfde kentallen voor horizontale en verticale doorlatendheid gehanteerd.

In gebieden 4, 9, 10, 11 en 12 wordt de lithologie uit de aanwezige boringen niet overal goed weerspiegeld in het actuele voxelmodel van BRO GeoTOPv1.6. Een verandering in stratigrafische eenheid als gevolg van de nieuwe inzichten kan dan invloed hebben op een nieuw te modelleren lithologie. In gebied 4 gaat het om een verandering van EC-geul naar EC zonder geul (verdwijnde geul) en wordt naar verwachting de kans op klei groter. In de andere genoemde gebieden is het omgekeerde het geval (verschijnende geul). In gebieden 4, 10 en 11 gaat het om een beperkt interval van de Holocene deklaag (15-30%), in gebieden 9 en 12 zal dat percentage naar verwachting hoger zijn maar betreft het een klein gebied, rondom één of twee boringen. De inschatting is daarom dat de invloed op de weerstand van de Holocene deklaag als geheel beperkt blijft.

In gebieden 3, 6, 7 en 8 gaat het om een overgang van EC-geulzand naar Pleistoceen zand (KR, BXDE, BXWI) of vice versa, een verandering in hoofdlithologie is daarom niet te verwachten. Wel zou de hydraulische parametrisatie in het bovenste deel van het Pleistocene watervoerend pakket iets kunnen veranderen, vanwege verschillen tussen de kentallen voor horizontale doorlatendheid van de zandige lithoklassen in de genoemde eenheden. Voor grondwatermodellen zoals MORIA zal dit naar verwachting weinig gevolgen hebben, omdat het doorlaatvermogen (KD-waarde) van dit watervoerend pakket vooral wordt bepaald door de dikte en doorlatendheid van de formaties van Kreftenheye en Sterksel.

Samengevat is de inschatting dat de geconstateerde verschillen tussen de Paleogeografische Kaart 2020 en de Holocene riviergeulen in BRO GeoTOP v1.6 geen aanleiding geven tot grootschalige aanpassingen van de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag of het doorlaatvermogen van het onderliggende Pleistocene watervoerende pakket. Daar waar wel aanpassingen te verwachten zijn in het geval van een nieuwe lithologische modellering, gaat het om een beperkt interval van de Holocene deklaag (15-30%) of een lokaal effect rond één of twee boringen.

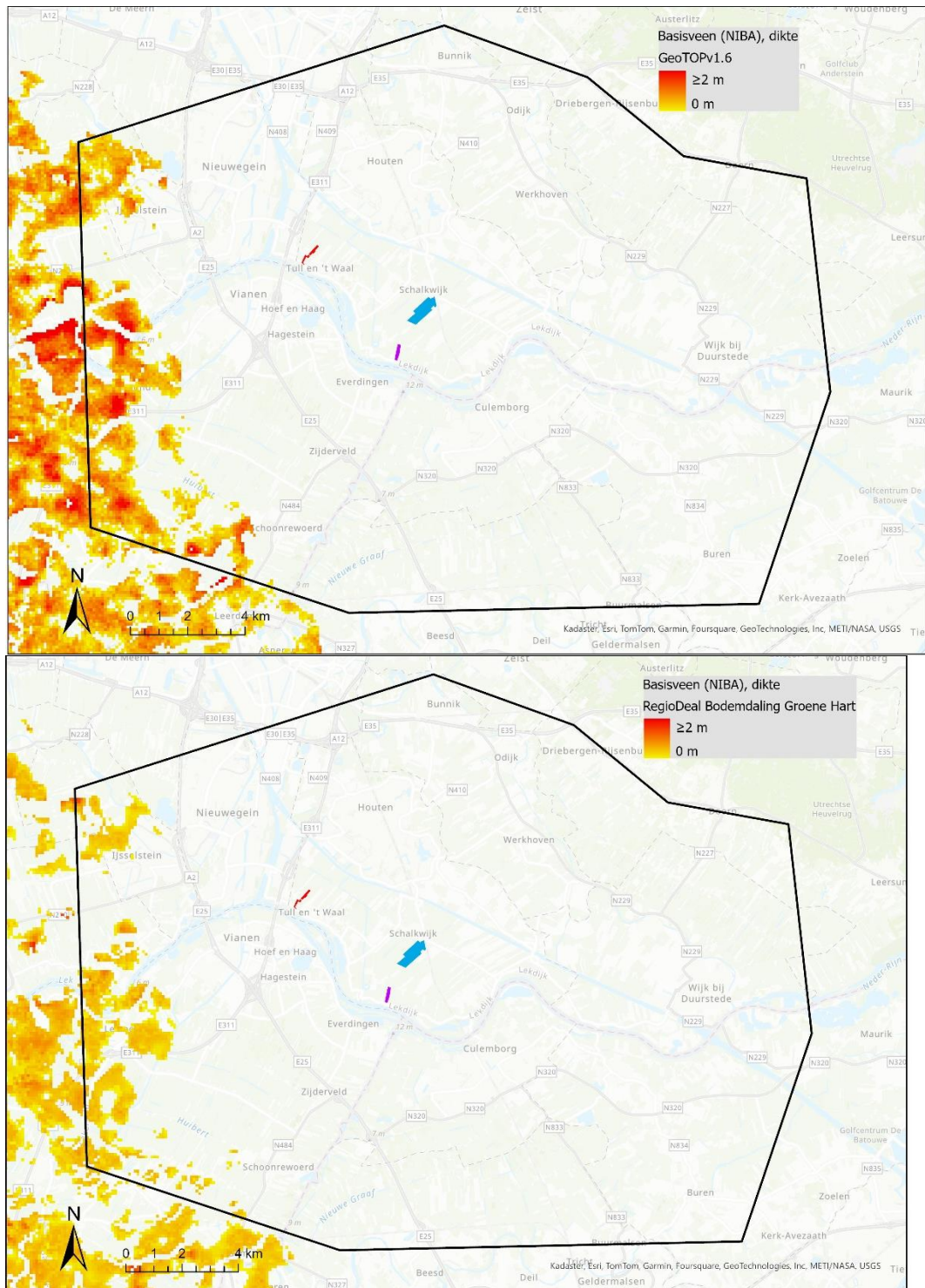
Overigens bleek de Paleogeografische Kaart 2020 niet af te wijken van de - wel gepubliceerde - Paleogeografische Kaart 2012 voor wat betreft de verschillen met BRO GeoTOP v1.6 in de 15 onderzochte gebieden. Daarom is een GIS-bestand met deze verschillen samengesteld op basis van de Paleogeografische Kaart 2012 en BRO GeoTOP v1.6. Daartoe is eerst de Paleogeografische Kaart 2012 van shape omgezet naar een gridbestand, en zijn vervolgens de gridcelwaarden in beide bestanden vergeleken. Het resultaat is opgenomen in Bijlage C.

3.2.2 Basisveen

In figuur 3.3 zijn de gemodelleerde verbreiding en dikten van het Basisveen in BRO GeoTOP en uit het project RegioDeal Bodemdaling Groene Hart weergegeven, met identieke legenda. In het onderzoeksgebied is het nieuwe Basisveen aanzienlijk minder dik en ook minder verbreid ten opzichte van BRO GeoTOP. De afname van de dikte is een algemene tendens in het RegioDeal-projectgebied, maar elders (bv. Alblasserwaard) zijn wel gebieden waar gaten in de Basisveenverbreiding aanmerkelijk kleiner zijn geworden. De veranderingen in dikte en verbreiding van het Basisveen zijn te verklaren doordat in RegioDeal zowel de basis als de top van deze laag zijn gemodelleerd, In GeoTOP Rivierenland daarentegen werd de top niet

direct gemodelleerd, maar afgeleid uit de bases van bovenliggende eenheden. Zie voor meer details Reindersma e.a. (2024).

Basisveen heeft een hoge hydraulische weerstand. De afname in dikte volgens de nieuwe inzichten uit RegioDeal is daarom aanleiding voor een aanzienlijk lagere weerstand van de Holocene deklaag in de westelijke delen van het onderzoeksgebied.



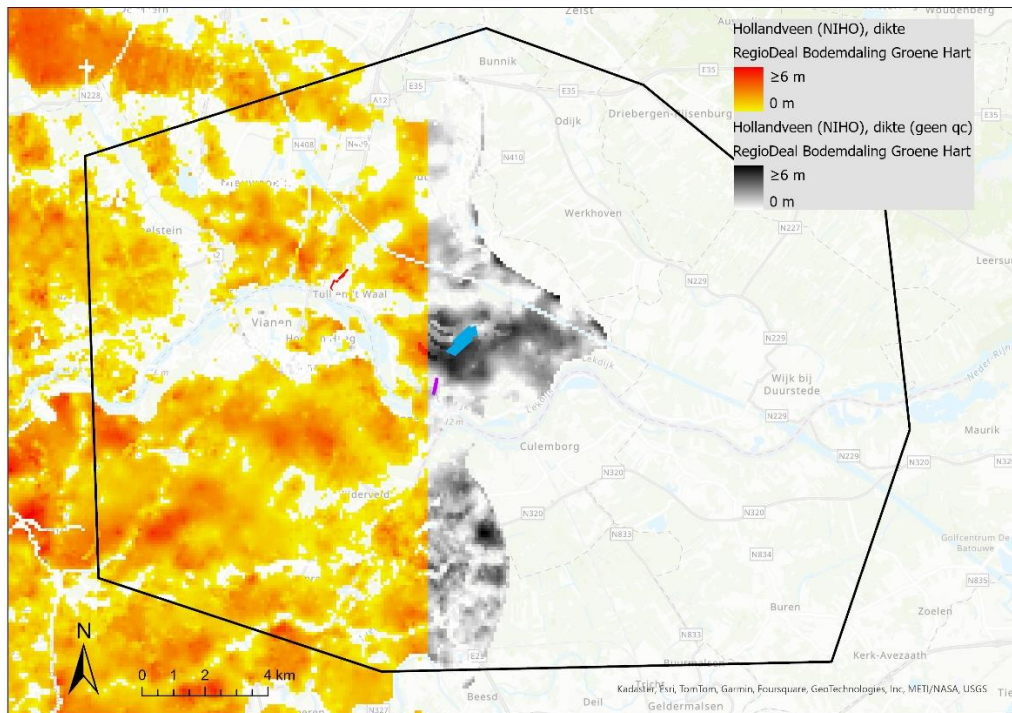
Figuur 3.3: Gemodelleerd Basisveen in BRO GeoTOPv1.6 (boven) en RegioDeal Bodemdaling Groene Hart (CONCEPT, onder).

3.2.3 Hollandveen

In figuur 3.4 zijn de gemodelleerde verbreiding en dikten van het Hollandveen uit het project RegioDeal Bodemdaling Groene Hart weergegeven. De verbreiding van Hollandveen in BRO GeoTOP valt volledig buiten het onderzoeksgebied en is daarom niet afgebeeld. Uit figuur 3.4 wordt duidelijk dat de verbreiding van het Hollandveen aanzienlijk naar het oosten is opgeschoven. In (ruim) de westelijke helft van het onderzoeksgebied zou het veen daarom niet meer tot de Formatie van Echteld worden gerekend, zoals in BRO GeoTOP v1.6, maar tot het Hollandveen. Hollandveen is naar verwachting overwegend mineraalarm, terwijl Echteldvenen meer kleiige bijmenging kunnen bevatten of zelfs deels kunnen bestaan uit humeuze klei.

De oostelijke begrenzing van het Hollandveen is iteratief bepaald op basis van de resultaten van het RegioDeal-lagen- en -voxelmodel. Zolang het veen een aaneengesloten pakket vormt, is het opgenomen bij de NIHO. De beoogde nieuwe winlocaties 3 en 4 van Vitens vallen juist buiten het RegioDeal-gebied maar binnen de nieuwe Hollandveenverbreiding. Omdat het RegioDeal-ondergrondmodel in dit gebied geen kwaliteitscontrole heeft ondergaan, is het voorbarig om de (vaak enkele meters dikke) veenlagen nabij de beoogde nieuwe winlocaties te rekenen tot Hollandveen. In de beschikbare DINO-boringen wordt zowel (sterk) siltig of kleiig veen als 'veen' (zonder toevoeging) beschreven. Een goed beschreven steekboring bij Tull en 't Waal (B38F2354) bevat enkele decimeters kleiige gyttja en humeuze klei.

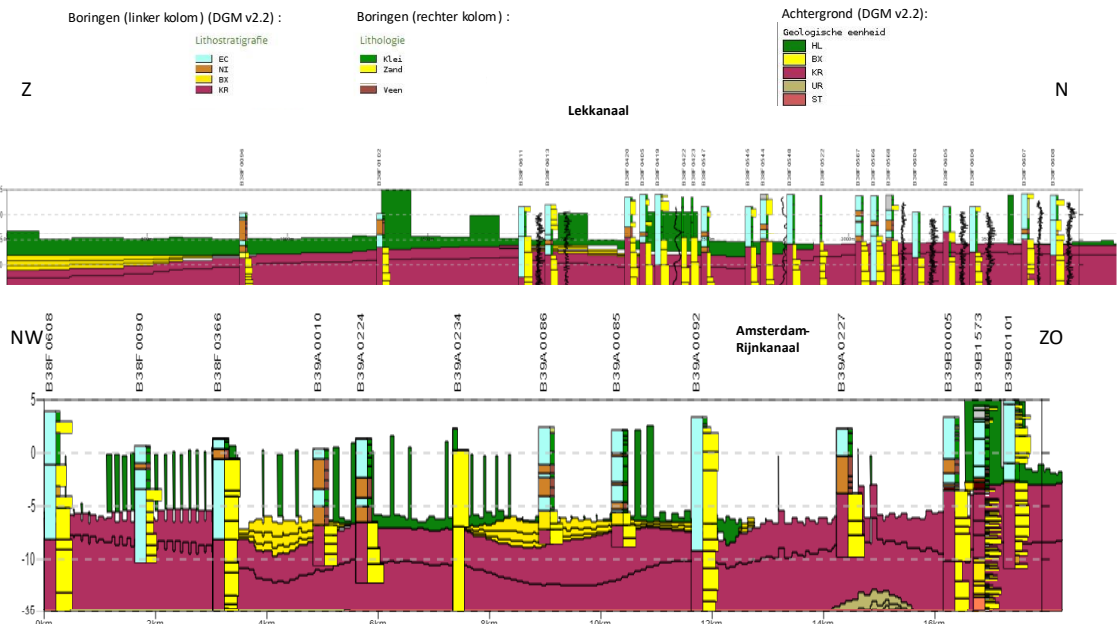
Echteldveen heeft gemiddeld genomen over heel Nederland een hoger percentage lutum en (waarschijnlijk mede daardoor) een lagere doorlatendheid dan Hollandveen. Dit blijkt uit gegevens van lithologische en doorlatendheidsmetingen aan monsters van beide eenheden, uitgevoerd in het kader van het langjarige landelijke boor- en meetprogramma van TNO-GDN, TopIntegraal. Het verschil in doorlatendheid is een factor 3 tot 5, en is verwerkt in de REGIS II catalogus van doorlatendheden per combinatie van lithoklasse en stratigrafische eenheid. Bij hantering van deze catalogus bij het parametriseren van een grondwatermodel zou een overgang van Echteldveen naar Hollandveen dus een afname van de hydraulische weerstand met een factor 5 inhouden. Ook de zettingsgevoeligheid is mogelijk hoger als gevolg van een lager lutumgehalte. Echter, gezien de eerder genoemde voorbehouden (geen RegioDeal-qc en deels kleiig / siltig veen in de boringen) wordt het verlagen van de hydraulische weerstand van het veen rond Schalkwijk in een nieuwe ondergrondschematisatie voorbarig geacht.



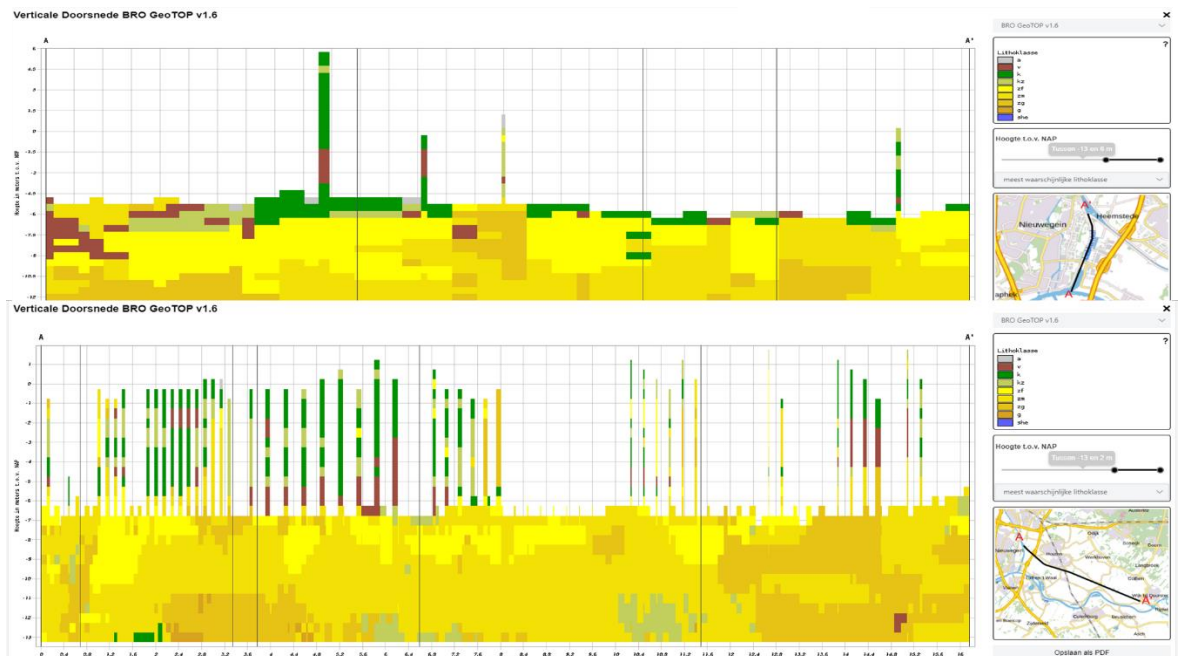
Figuur 3.4: Gemodelleerd Hollandveen in RegioDeal Bodemdaling Groene Hart (CONCEPT). Het gebied in grijsstinten valt buiten het RegioDeal-projectgebied en heeft daarom geen kwaliteitscontrole ondergaan.

3.2.4 Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal

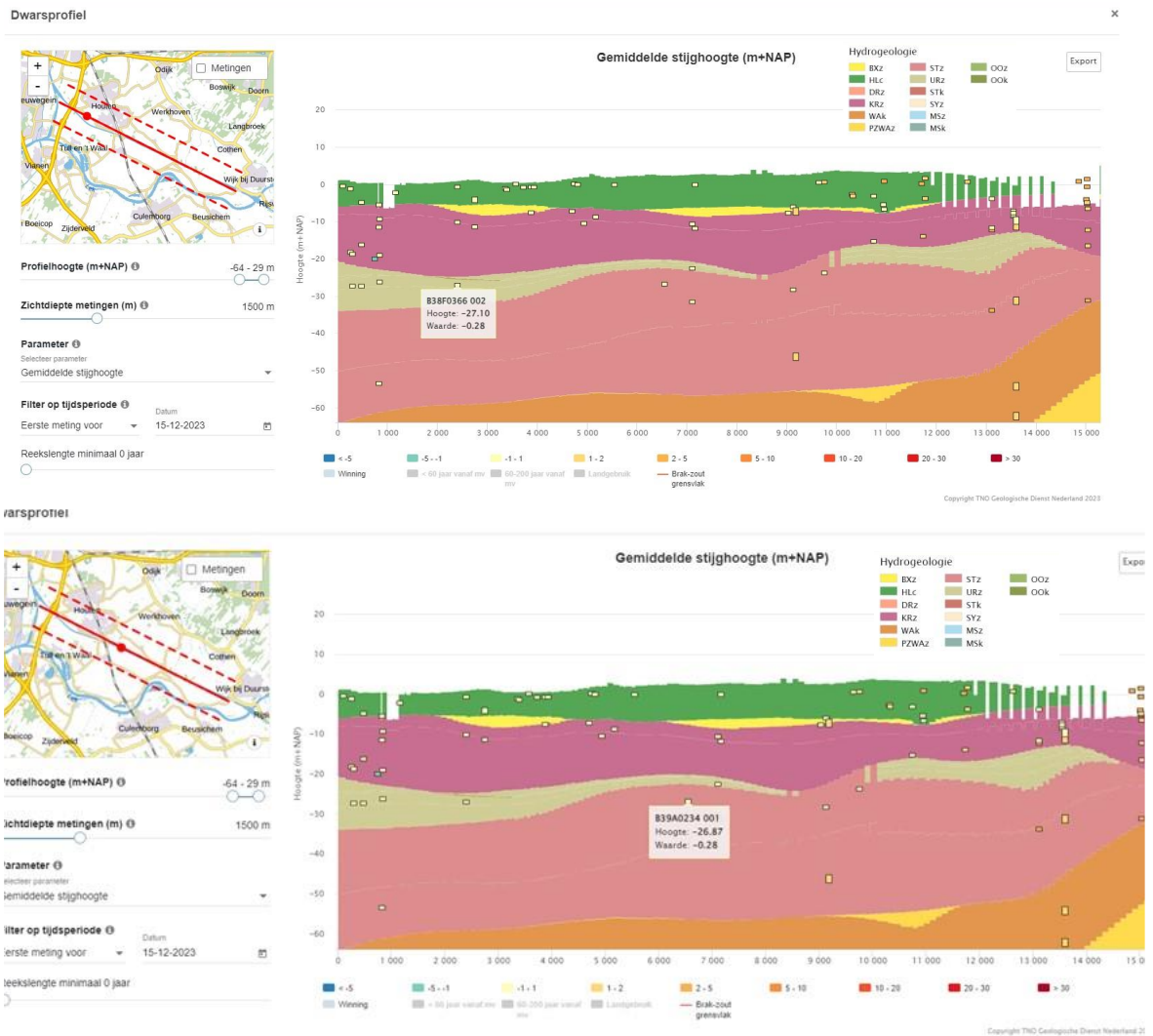
In figuur 3.5 zijn lengteprofielen langs het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) tussen Nieuwegein en Wijk bij Duurstede, en langs het Lekkanaal weergegeven met een aantal boorkolommen. Uit de profielen blijkt dat het ARK de Holocene deklaag vrijwel overal doorsnijdt, behalve ter hoogte van Houten nabij boringen B39A0010 en B39A0224. Ook in het noordelijk deel van het Lekkanaal zijn op veel plaatsen doorsnijdingen. In het zuidelijk deel van het Lekkanaal komt klei en veen voor onder de kanaalbodem. Deze beelden komen overeen met vergelijkbare profielen in BRO GeoTOP, zie figuur 3.6. Vooral onder het ARK betekent dit dat de (aan- of afwezigheid van een) kanaalbodemweerstand naar verwachting doorslaggevend is voor de interactie tussen kanaal en grondwatersysteem dan de van nature aanwezige weerstand in de ondergrond. Overigens lijkt de stijghoogte plaatselijk tot in de formaties van Urk en Sterksel te worden beïnvloed door het kanaalpeil, zie figuur 3.7



Figuur 3.5: Lengteprofiel Lekkanal zuid-noord (boven) en Amsterdam-Rijnkanaal tussen Nieuwegein en Wijk bij Duurstede west-oost (onder) met selectie boorkolommen uit DINO. Het maaiveld en de stratigrafische achtergrond komen uit REGIS II v2.2. De pieken in het maaiveld (met de groene kleur van REGIS II eenheid HLc) zijn het gevolg van het aansnijden van de hoger liggende kanaaloever en kunnen genegeerd worden. Zandige intervallen in de boorbeschrijvingen zijn als gele blokken weergegeven.



Figuur 3.6: Lengteprofiel Lekkanal zuid-noord (boven) en Amsterdam-Rijnkanaal tussen Nieuwegein en Wijk bij Duurstede west-oost (onder). Het maaiveld en de stratigrafische achtergrond komen uit GeoTOP v1.4. De pieken in het maaiveld zijn het gevolg van het aansnijden van de hoger liggende kanaaloever en kunnen genegeerd worden.



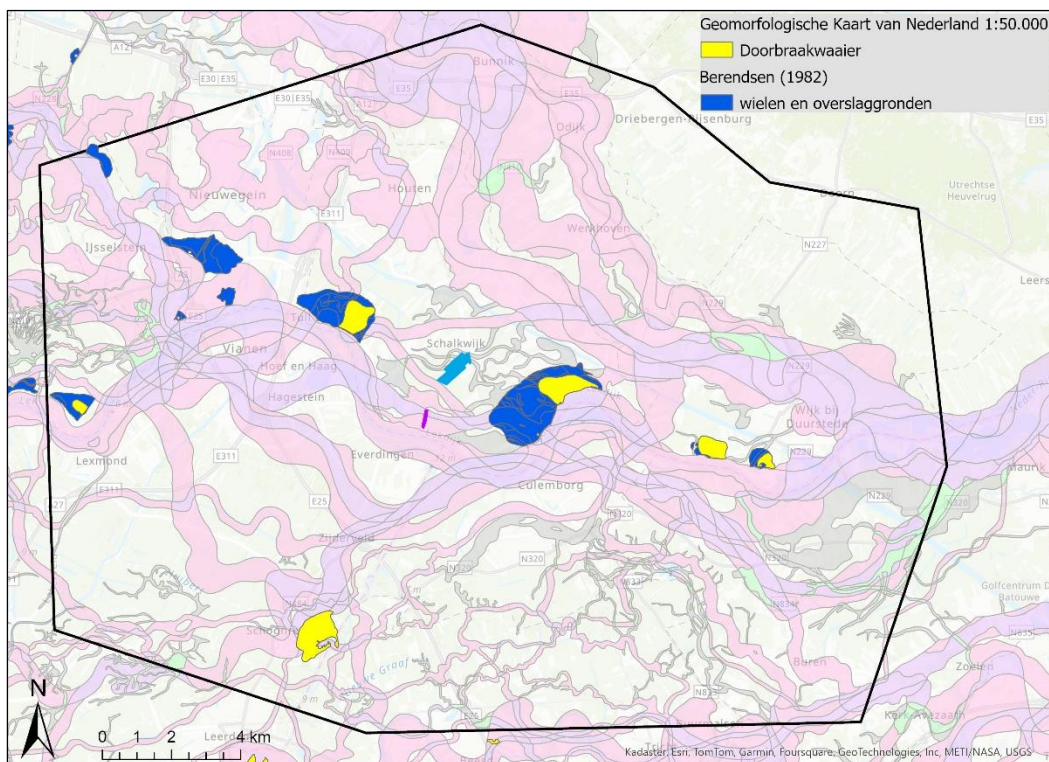
Figuur 3.7: Profiel langs het Amsterdam-Rijnkanaal tussen Nieuwegein en Wijk bij Duurstede, met twee voorbeelden van lage stijghoogten die tot diepten rond NAP -30 m door het kanaalpeil (NAP -0,4 m) lijkt te zijn beïnvloed. Bron: [Grondwaterstanden in Beeld \(grondwatertools.nl\)](https://grondwaterstanden.in.beeld.grondwatertools.nl). De blokjes geven de diepten van de filters weer, de kleur van de elk blokje geeft de stijghoogteklasse weer (zie legenda onder elk profiel). De weergegeven stijghoogten zijn de gemiddelden over de meetperiode (verschilt per filter).

3.2.5 Wielen en overslaggronden

Tijdens een dijkdoorbraak kan het instromende water vlak achter de dijk tot vrij grote diepte sediment eroderen. Ter plaatse van de doorbraak ontstaat dan een uitkolkingsgat of wiel. Verder binnendijks wordt het sediment min of meer in een waaiervorm afgezet, het dikst direct rondom het wiel en dunner wordend met toenemende afstand. De zandigheid neemt daarbij snel af als functie van de afstand tot het wiel. Deze afzettingen worden overslaggronden genoemd. Ter plaatse van de wielen ontstonden hydraulische kortsluitingen vanaf het maaiveld tot aan het Pleistocene zand. De overslaggronden bevatten meestal ook uitgekolkte Pleistoceen zand, en zijn mede daardoor doorlatender dan de niet-beïnvloede Holocene deklaag. Als gevolg hiervan zijn wielen en overslaggronden locaties waar stijghoogteverlagingen van onderaf sterker kunnen doorwerken dan in de omgeving. Dit ondanks het feit dat veel wielen vanaf het moment van ontstaan zijn verland

en/of gedempt. Deze effecten zijn naar verwachting wel lokaal van aard. De overslaggronden beslaan weliswaar een vrij groot areaal, maar de daadwerkelijke kortsluiting met het Pleistocene zand is lokaal begrensd door het beperkte areaal van het uitkolkingsgat. De invloed van wielen en overslaggronden op de bovenlokale weerstand van de Holocene deklaag is naar onze mening daarom klein, in vergelijking met de invloed van stroomruggen en de doorsnijding van het Amsterdam-Rijnkanaal. Uit figuur 3.8 blijkt ook wel dat de ligging van wielen en overslaggronden deels overlapt met de stroomruggen uit de Paleogeografische Kaart 2020.

Van de in figuur 3.8 weergegeven wielen zijn alleen het wiel bij Schoonrewoerd (Wiel van Bassa) en twee wielen bij het Oudslijkerveer in Tull en 't Waal nog als open water in het landschap herkenbaar. Deze wielen hebben voor zover bekend geen verbinding met het poldersysteem. Uit figuur 3.8 blijkt ook dat de geomorfologische kaart minder volledige informatie bevat dan de kaart van Berendsen (1982). Het is dan ook waarschijnlijk dat ten zuiden van de Lek meer dijkdoorbraken zijn geweest dan alleen het wiel bij Schoonrewoerd. Een voorbeeld is een mogelijke doorbraak van de Zuider-Lekdijk bij Culemborg in 1469 (Gottschalk, 1971). Van deze of eventuele andere dijkdoorbraken zijn geen locaties bij ons bekend.



Figuur 3.8: Ligging van wielen en overslaggronden in het onderzoeksgebied, tegen de achtergrond van de Paleogeografische Kaart (2012). Wielen en overslaggronden in blauw volgens de Geomorfogenetische kaart van Zuid-Utrecht (Berendsen 1982) en in geel de Geomorfologische Kaart van Nederland 1:50.000, deels overlappend.

3.2.6 Overige insnijdingen

In de Vijfheerenlanden zijn enkele andere in- of doorsnijdingen van de Holocene deklaag bekend en met een lage hydraulische weerstand (10 dagen) geïmplementeerd in grondwatermodel MORIA, versie 4.8 (Waterschap Rivierenland, 2023). Dit zijn recreatieplas Everstein (25 m diep, RPS 2020), een zandwinplas in Nieuwland en een visvijver in Vianen. Omdat deze oppervlaktewateren hydrologisch zijn geïsoleerd van het polderwatersysteem en afhankelijk van regen- en kwelwater, kan een eventuele stijghoogteverlaging onder de deklaag doorwerken in de waterstand.

4 Grondwaterkwaliteit

4.1 Werkwijze en gebruikte gegevensbronnen

In dit onderdeel is een inventarisatie gemaakt van de beschikbare grondwaterkwaliteitsgegevens in het onderzoeksgebied. Op basis daarvan is een verkennende analyse van de kwaliteit van het te onttrekken grondwater uitgevoerd. De verkennende analyse heeft betrekking op macro-parameters en metalen.

4.1.1 Grondwaterkwaliteitsgegevens

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de webviewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) en door Vitens aangeleverde grondwaterkwaliteitsgegevens van de naburige winlocaties Tull en 't Waal, Cothen en de voor wat betreft grondwaterkwaliteit en -ouderdom op Tull en 't Waal lijkende locatie Culemborg.

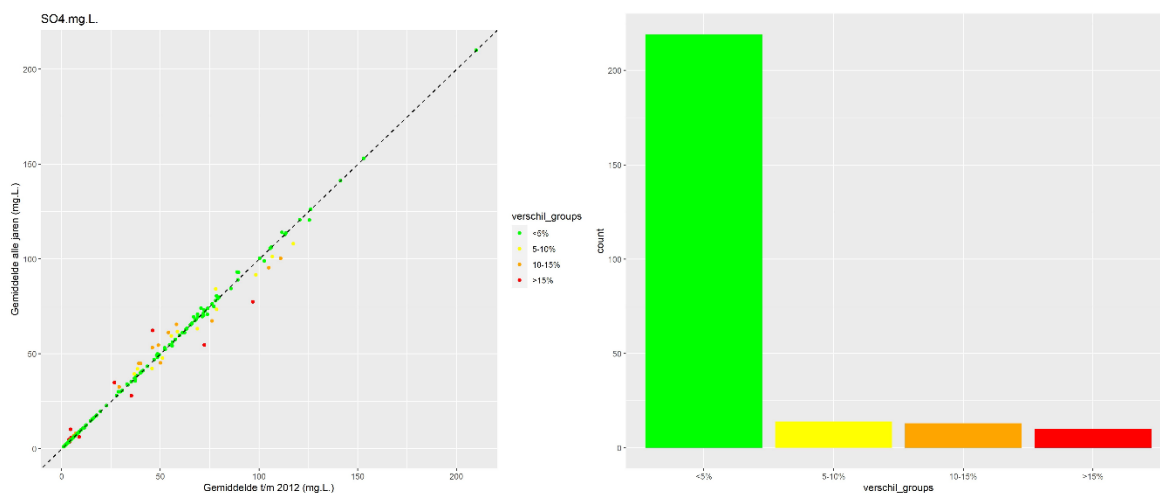
De web-applicatie [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) is onderdeel van het online portaal Grondwatertools van TNO Geologische Dienst Nederland. In de applicatie zijn grondwaterkwaliteitsgegevens opgenomen waarmee met een viewer interactief en op verschillende manieren de grondwaterkwaliteit kan worden geanalyseerd. De eerste versie van [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) was het resultaat van een pilot waarin een methodiek is ontwikkeld om informatie over de grondwaterkwaliteit te ontsluiten. Deze pilot is uitgevoerd voor het Nederlandse rivierengebied, waarvoor Vitens mede gegevens heeft aangeleverd. In de huidige applicatie is data van Vitens opgenomen van waarnemingsputten van alle winningen in het rivierengebied tot en met het jaar 2012. Ook 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.

Vitens heeft voor deze opdracht grondwaterkwaliteitsgegevens aangeleverd van de winlocaties Tull en 't Waal, Cothen en Culemborg. In deze dataset is data beschikbaar van start van meten tot en met 2021.

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 Tull en 't Waal, Cothen en Culemborg 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.

4.1.2 Toetsing op trends sinds 2012

Zoals in de vorige paragraaf is benoemd zijn de grondwaterkwaliteitsgegevens van Vitens tot en met het jaar 2012 opgenomen in Grondwaterkwaliteit in Beeld. Om te toetsen of deze gegevens voldoende inzicht geven in de huidige status van de grondwaterkwaliteit is een vergelijking gemaakt tussen de beschikbare grondwaterkwaliteitsgegevens tot en met 2012 en de gehele dataset tot en met 2021. Hiervoor zijn voor alle parameters de gemiddelde waarden per filter berekend voor 1) alle beschikbare jaren en 2) de data tot en met 2012 en met elkaar vergeleken. De resultaten van de toetsingen zijn opgenomen in Bijlage D. Een voorbeeld voor sulfaat is weergegeven in figuur 4.1. Op de figuur is te zien dat er weinig verschillen zijn tussen de twee perioden: veruit de meeste filters hebben een verschil kleiner dan 5%. Er zijn enkele filters waarbij de afwijking groter is, maar die liggen zowel boven als onder de 1:1 lijn. Dit geeft aan dat er geen sprake is van een algemeen stijgende of dalende trend. Dit geldt voor vrijwel alle parameters: alhoewel er enkele filters zijn waar sommige stoffen gemiddeld hogere of lagere concentraties hebben in recente jaren is er voor geen enkele parameter sprake van een algemene stijgende of dalende trend. Bij sommige parameters, met name enkele metalen zoals kobalt en zink, lijkt er een algemeen dalende trend aanwezig te zijn, maar dit verschil is te verklaren door dalende detectielimieten en een relatief laag aantal metingen in de meeste filters.



Figuur 4.1: Linkerfiguur: vergelijking voor de gemiddelde waarden van sulfaat voor alle gemeten jaren (y-as) en de data tot en met 2012 (x-as), waarbij in kleur is aangegeven hoe groot de afwijking is tussen deze twee perioden (groen: < 5%, geel: 5-10%, oranje: 10-15%, rood: >15%). In de rechterfiguur is aangegeven hoeveel filters in elk van deze groepen valt.

4.1.3 Ruimtelijke analyse

Met behulp van de functionaliteit die beschikbaar is in [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) is voor de beoogde winpakketten een analyse gemaakt. Deze functionaliteit omvat het weergeven van grondwaterkwaliteitsgegevens in diepteprofielen, op geohydrologische dwarsdoorsneden en in diverse grafieken over de verschillende geologische formaties. Bij de ruimtelijke analyse is met name gebruik gemaakt van de parameter oxidatievermogen en pH om respectievelijk de mogelijke antropogene invloed op het grondwater en de mobiliteit van metalen in beeld te brengen.

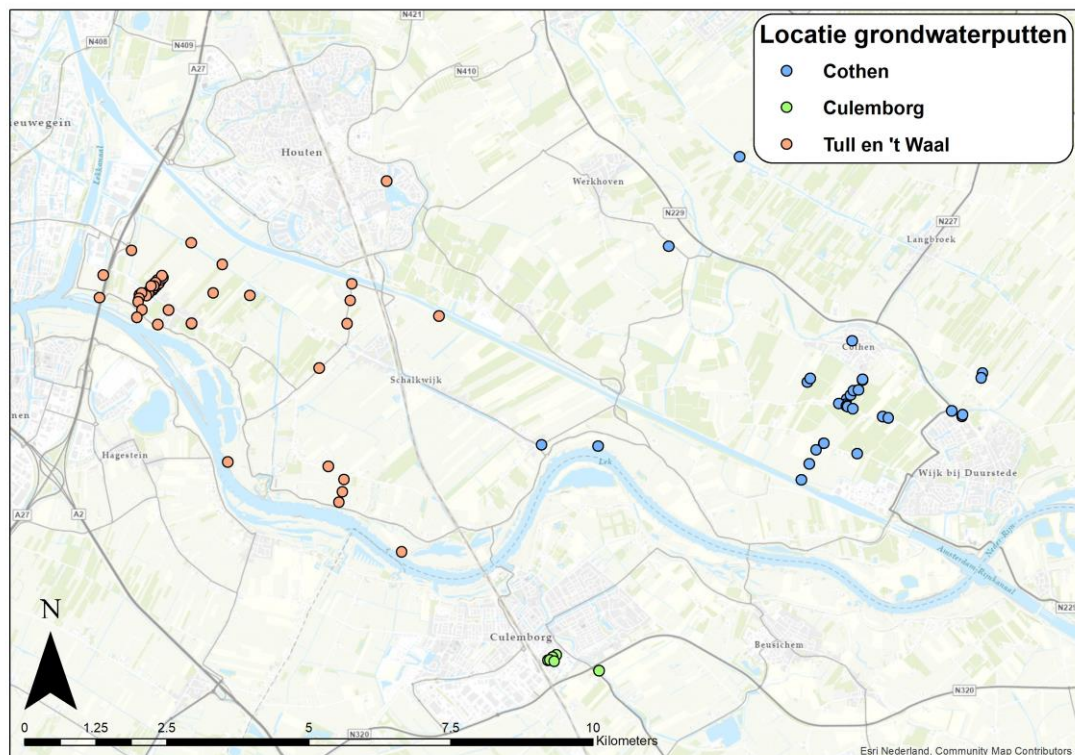
4.2 Resultaten

4.2.1 Grondwaterkwaliteitsgegevens

Broers en Kivits (2022) hebben de leeftijdsverdeling bepaald van het gezamenlijk ruwwater van 17 Vitens winningen, waaronder Cothen, Tull en 't Waal en Culemborg. De leeftijdsverdeling is vervolgens geïnterpreteerd voor wat betreft de kwetsbaarheid van de winningen voor verontreinigingen die vanaf maaiveld komen.

De gemiddelde leeftijd van de Tull en 't Waal is ca. 3500 jaar. De winning Culemborg onttrekt gemiddeld nog iets ouder water, met een duidelijke piek in de leeftijdsklasse 1.000-10.000 jaar (Broers en Kivits, 2022). De reistijdverdeling van de winning Cothen is jonger: de grootste bijdrage komt uit de leeftijdsklasse 250-1000 jaar en een kleinere bijdrage van Holocene water uit de periode van 1.000-10.000 BP.

In genoemd onderzoek is ook gekeken naar de langjarige samenstelling van het ruwwater. De waterkwaliteit in Cothen is stabiel; chloride- en sulfaatconcentraties zijn stabiel laag en zelfs nog iets dalend, de pH, hardheid en CO₂-spanning zijn stabiel. Ook bij Tull en 't Waal is de waterkwaliteit stabiel in overeenstemming met de afgeleide leeftijdsverdeling waarin geen indicaties zijn voor het opdringen van jong water uit de laatste 250 jaar. Na het verdiepen van de winning Culemborg zijn de concentraties gestabiliseerd. Er wordt methanogeen water opgepompt, met lage sulfaat- en chlorideconcentraties en een hardheid rond de 2.0 mmol/l.

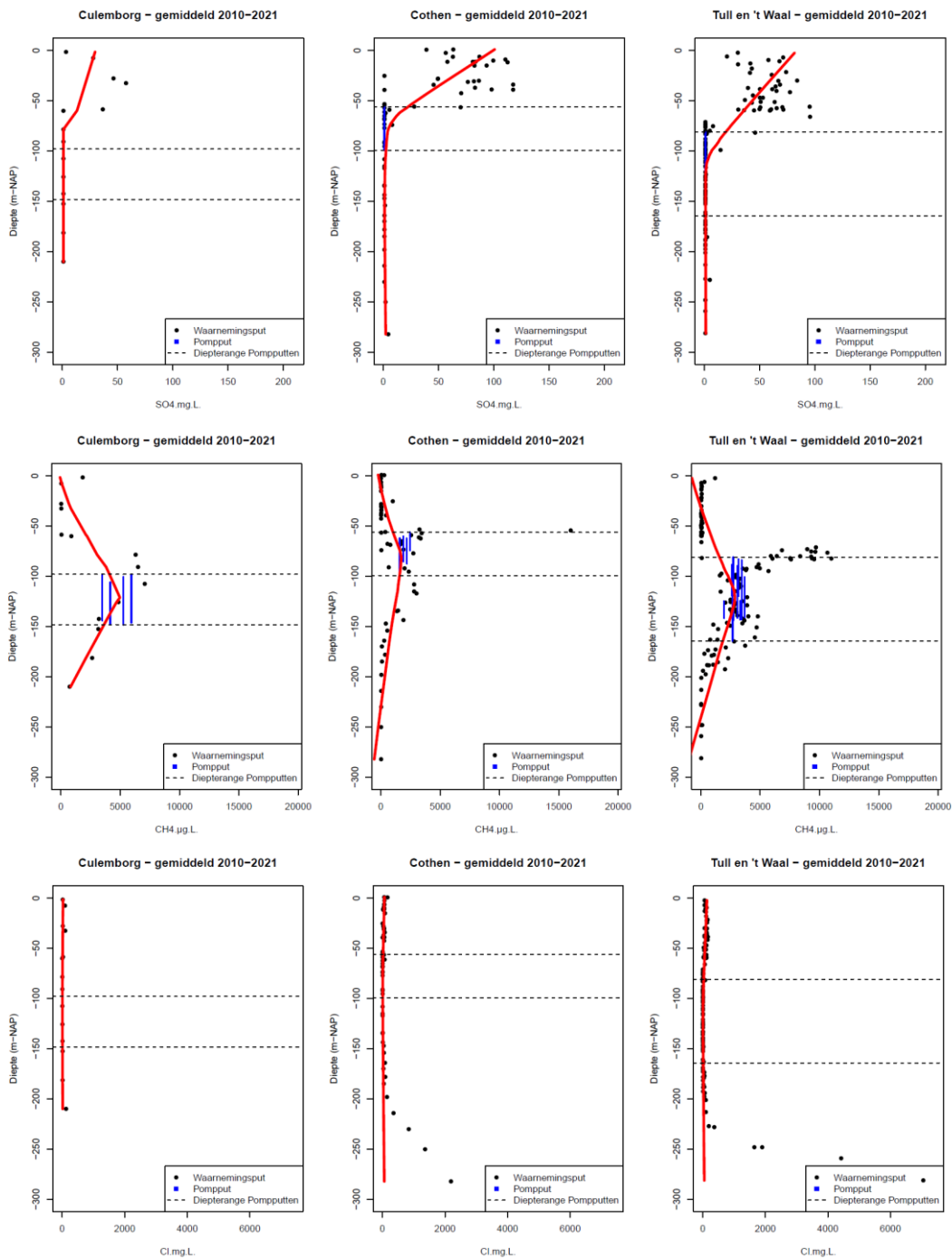


Figuur 4.2: Locaties van de grondwaterputten uit de database van Vitens waarvan grondwaterkwaliteitsdata beschikbaar is. Met de kleur is aangegeven bij welke winning de grondwaterput is meegenomen in figuur 4.3.

figuur 4.2 toont de ligging van alle pomp- en waarnemingsputten uit de Vitens database, waarvan grondwaterkwaliteitsdata beschikbaar is. De (waarnemings)putten die gelegen zijn tussen de winningen Tull en 't Waal en Cothen zijn toegekend aan één van deze twee winningen. De kleur op de kaart geeft aan bij welke winning de betreffende put is meegenomen in de onderstaande analyse van de grondwaterkwaliteitsverloop met diepte. In het diepte-profiel (zie figuur 4.3) wordt de gemiddelde concentratie over periode 2010-2021 per pomp- en waarnemingsput bij Culemborg, Cothen en Tull en 't Waal getoond. De diepteligging van de filters wordt weergegeven in m-NAP en de lengte van het symbool geeft voor de pomp-putten de lengte van het filter weer. De rode lijn is de LOWESS-kromme, wat de lokale mediaan door alle putten vertegenwoordigd welke helpt bij het interpreteren van het concentratieverloop in de diepte.

Uit onderstaande diepteplots en de overige diepteplots in Bijlage E blijkt het volgende:

- Sulfaat: In het ondiepe bereik komt sulfaat bij alle drie de winningen in verhoogde concentraties voor, maar de concentraties komen nergens boven de drinkwaternorm van 150 mg/l. Op de diepte van de pompputten van de drie winningen is sulfaat geheel gereduceerd en is het water methanogeen, met name bij Tull en 't Waal zijn enkele waarnemingsputten met hoge methaanconcentraties (100 mg/l) aanwezig.
- Nitraat: De nitraatconcentraties zijn overal laag met uitzondering van enkele filters in waarnemingsputten, maar ook daar komen de concentraties niet in de buurt van de drinkwaternorm van 50 mg/l.
- Chloride: De chlorideconcentraties zijn over het algemeen laag, zowel in de ondiepe ondergrond als op de diepte van de pompputten. Bij de winningen Cothen en Tull en 't Waal zijn diepe waarnemingsfilters aanwezig waar te zien is dat chlorideconcentraties sterk toenemen in de Formatie van Breda, tot concentraties van 7000 mg/l.
- Metalen: Over het algemeen zijn concentraties van de (zware) metalen laag, zeker op de diepte van de pompputten. Arseen is in dieper grondwater onder de huidige windiepte in enkele waarnemingsfilters boven de drinkwaternorm (>10 µg/l) aanwezig. Ook in ondieper grondwater bij Tull en 't Waal is arseen in iets verhoogde concentraties aanwezig. Boor lijkt bij enkele waarnemingsfilters bij Culemborg in verhoogde concentraties aanwezig te zijn, alhoewel voor deze waarnemingsfilters maar één meting beschikbaar is. Tevens blijven de concentraties ruim onder de drinkwaternorm van 1,5 mg/l.



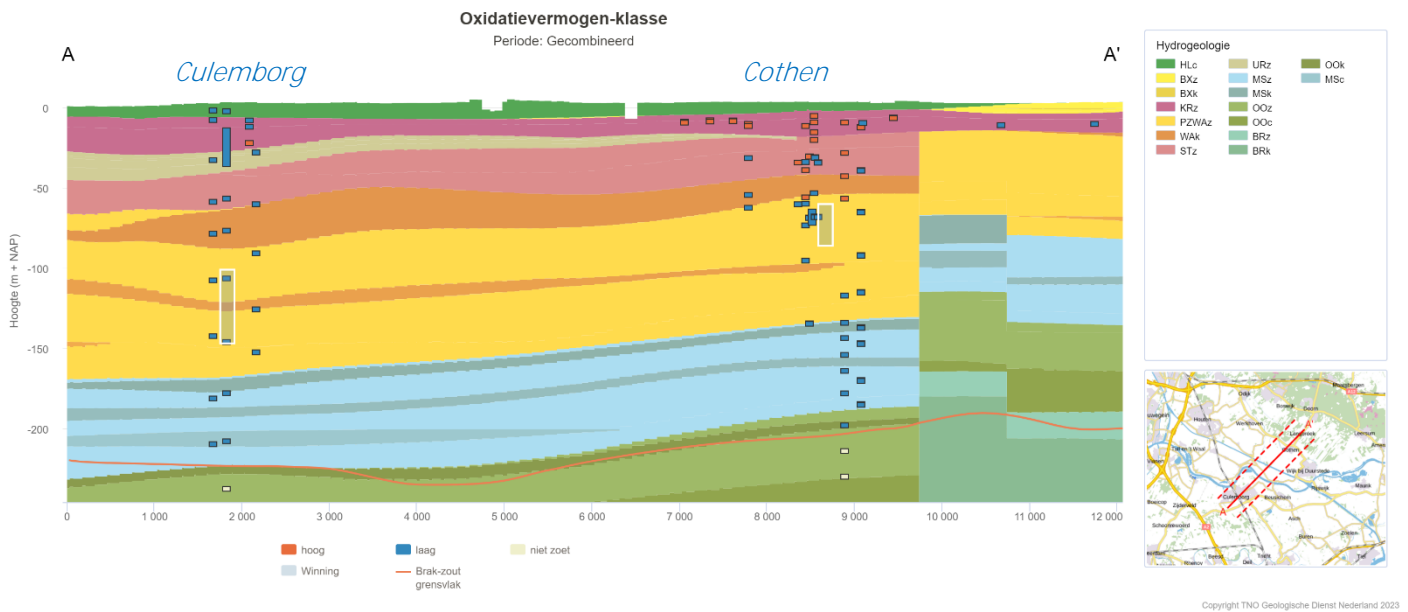
Figuur 4.3: Diepteprofiel van de gemiddelde sulfaat- (boven), methaan- (midden) en chloride- (onder) concentraties over de periode 2010-2021 per pompput en waarnemingsput bij Culemborg, Cothen en Tull en 't Waal. Diepteligging van de filters wordt weergegeven in m-NAP en de lengte van het symbool geeft tevens de lengte van het filter weer. De stippelijijn geeft de diepterange van de pompputten weer. De rode lijn is de LOWESS-kromme (lokale mediaan door alle putten).

4.2.2 Ruimtelijke analyse

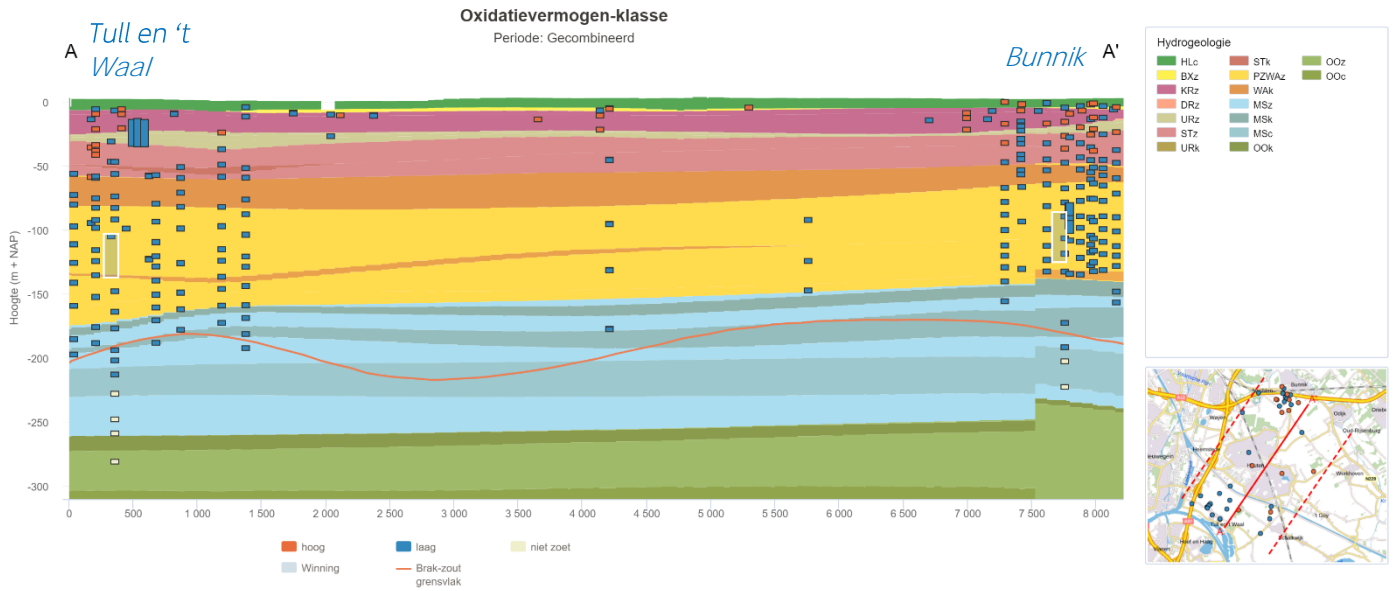
Oxidatievermogen is de som van nitraat en sulfaat en wordt gebruikt als indicator voor antropogene invloed op het grondwater door vermisting en verstedelijking. Zowel over de winningen Culemborg en Cothen (figuur 4.4) en over Tull en 't Waal en het onderzoeksgebied (figuur 4.5 en figuur 4.6) is de hoogte van deze parameter in een dwarsdoorsnede, gemaakt met [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#), weergegeven. Een hoge oxidatievermogen-klasse betekent antropogene beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit. Bij Cothen zit grondwater met hoog oxidatievermogen dieper dan bij Culemborg. Dit geldt ook voor de diepte van een verhoogd oxidatievermogen bij Bunnik ten opzichte van Tull en 't Waal.

Broers en Kivits (2022) schrijven “Uit de dwarsdoorsnede blijkt dat water met een verhoogd oxidatievermogen bij Cothen dieper zit dan bij Culemborg. Ook de Waalre klei lijkt in deze randzone van de Peelrandbreuk dunner ontwikkeld. Op basis van de hydrogeologische opbouw lijkt Cothen daarom minder goed beschermd tegen verontreinigingen van bovenaf”. De veronderstelling van een dunnere WAK1 wordt bevestigd in deze studie, zie figuur 2.16. Voortbouwend op de bevindingen in Hoofdstuk 2 speelt hier mogelijk ook een hydraulisch venster in de Kromme Rijnbreuk (zand-zand contact) een rol.

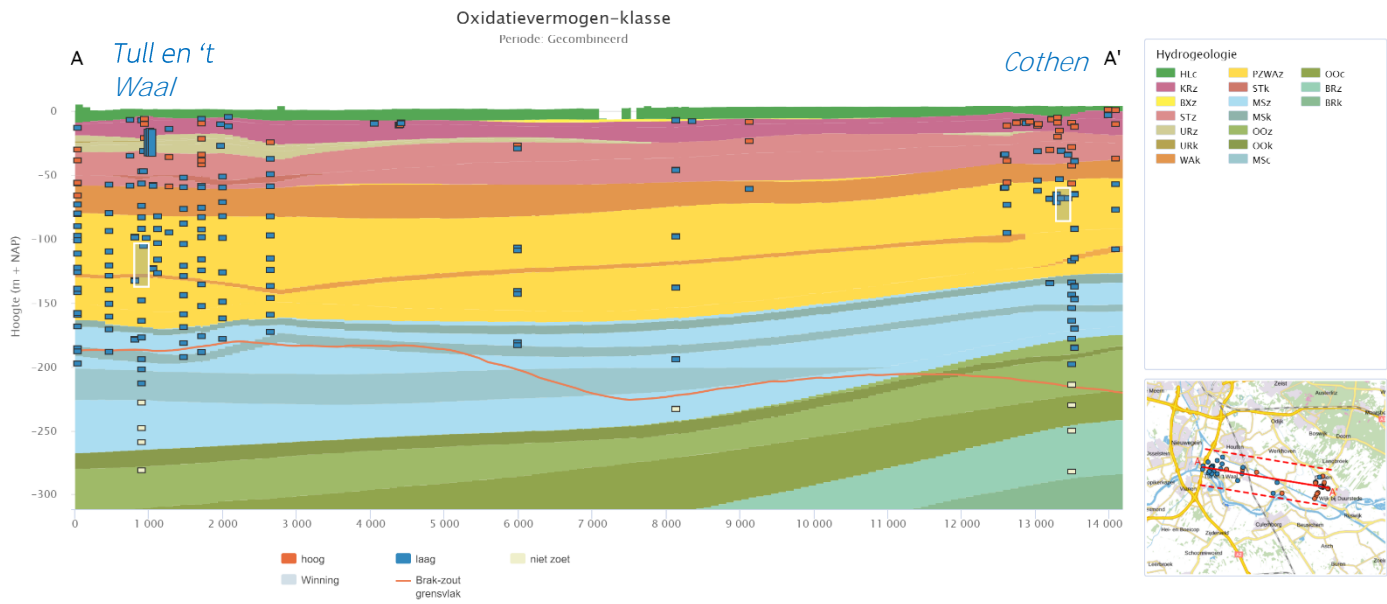
Ook uit de grondwaterkwaliteitsanalyse (zie par 4.2.1) blijkt dat nitraat overal onder 5 mg/l is en sulfaat alleen bovenin hoger is. Daardoor is het oxidatievermogen hoog, zoals in de profielen is te zien. Er lijken geen problemen met metalen, daarvoor is ook gekeken naar de pH van het grondwater. De boxplots in figuur 4.7 geven in het onderzoeksgebied per formatie de pH-metingen voor de Formatie van Kreftenheye, Formatie van Sterksel, Formatie van Waalre en Formatie van Maassluis weer. Hieruit blijkt dat met de diepteligging van de formaties de pH toeneemt. Ook in de bovenste formaties is pH boven 6.5, zodat geen problemen met metalen worden verwacht.



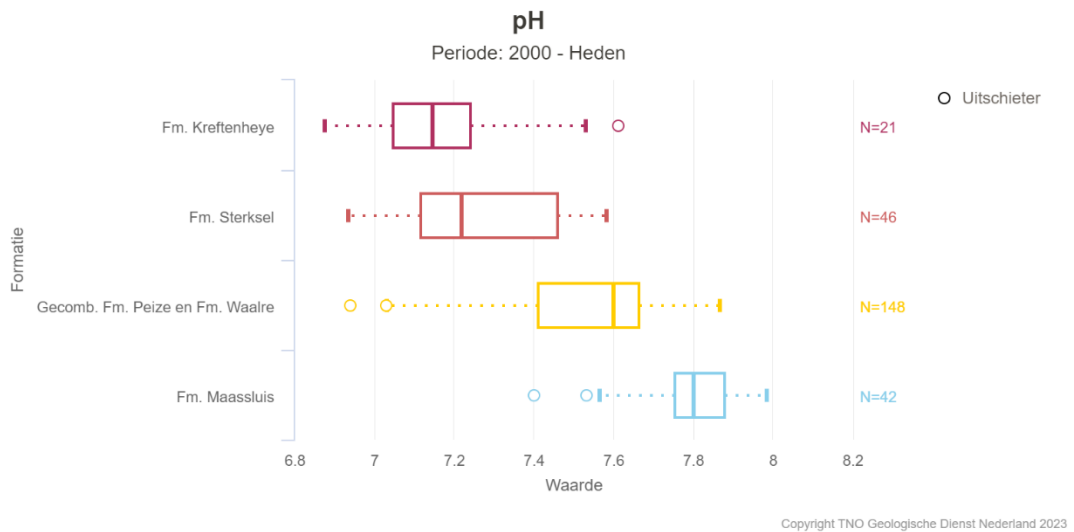
Figuur 4.4: Profiel over de winningen Culemborg en Cothen met daarin de oxidatievermogen-classes weergegeven (bron: [Grondwaterkwiteit in Beeld \(grondwatertools.nl\)](https://grondwaterkwiteit.nl))



Figuur 4.5: Profiel van de winning Tull en 't Waal, over onderzoeksgebied Schalkwijk tot aan winning Bunnik met daarin de oxidatievermogen-classes weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwiteit in Beeld](https://grondwaterkwiteit.nl)).



Figuur 4.6: Profiel van de winning Tull en 't Waal, over onderzoeksgebied Schalkwijk tot aan winning Cothen met daarin de oxidatievermogen-klasse weergegeven (bron: viewer [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#)).



Figuur 4.7: Boxplot per formatie van de pH-metingen in het onderzoeksgebied voor de Formatie van Kreftenheye, Formatie van Sterksel, Formatie van Waalre en Formatie van Maassluis (bron: [Grondwaterkwaliteit in Beeld \(grondwatertools.nl\)](#))

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Welke nieuwe inzichten heeft deze studie opgeleverd?

5.1.1 WAK1 en breuken

Op basis van de uitgevoerde seismische analyse moet de ligging van de noordoostelijke randbreuk van de Roerdalslenk ter hoogte van de Kromme Rijn (Kromme Rijnbreuk) worden aangepast.

Op basis van de seismiek lijken de breuk bij Vianen en de nieuw geïnterpreteerde breuk over het Eiland van Schalkwijk de basis PZWA niet te bereiken. Deze breuken zijn daarmee niet relevant voor de beoogde nieuwe winning.

Over het geheel genomen komt de dikte van de eenheid WAK1 zoals geïnterpreteerd in dit onderzoek goed overeen met de dikte in REGIS II v2.2. Een belangrijke uitzondering is het gebied aan de lage (west-)kant van de Kromme Rijnbreuk rond Werkhoven, hier bestaat onzekerheid over de dikte en samenstelling van WAK1 in de beschikbare boringen.

Uit zowel de profielen als de stratigrafische interpretaties blijkt dat op meerdere plaatsen WAK1 zandig ontwikkeld is, vooral in het middengedeelte van het interval. Dit zien we ongeveer even vaak in boringen uit de REGIS II selectieset als in de nieuw geïnterpreteerde boringen. In de REGIS II v2.2 parametrisatie zijn deze zandige intervallen meegewogen bij de bepaling van de hydraulische weerstand.

De onzekerheid over enkele boorbeschrijvingen is aanleiding om te veronderstellen dat de in REGIS II v2.2 geparametriseerde hydraulische weerstand van WAK1 in het gebied langs de lage (west-)kant van de Kromme Rijnbreuk rond Werkhoven mogelijk naar beneden bijgesteld moet worden. Voor de doorwerking van eventuele effecten van de beoogde nieuwe winning is dit mogelijk van groter belang dan de hydraulische eigenschappen van de breuk zelf. Om hier meer zekerheid over te krijgen moet dit een focusgebied worden voor nader veldonderzoek.

Het midden van het Eiland van Schalkwijk, met de beoogde winlocatie alternatief 4, ligt in een gegevensvacuüm. Dit geldt ook voor het vrij dicht bij de beoogde nieuwe winlocatie liggende gebied tussen Everdingen en Culemborg, en het gebied ten (zuid)oosten van Culemborg.

5.1.2 Holocene deklaag

De geconstateerde verschillen tussen de Paleogeografische Kaart van de Rijn-Maas Delta en de Holocene riviergeulen in BRO GeoTOP geven geen aanleiding tot significante aanpassingen van de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag of het doorlaatvermogen van het onderliggende Pleistocene watervoerende pakket. Lokaal zijn op een aantal plaatsen wel aanpassingen te verwachten in het geval van een nieuwe lithologische modellering, in de vorm van grotere kansen op klei of zand. Het gaat dan om een beperkt interval van de Holocene deklaag (15-30%) of een lokaal effect rond één of twee boringen.

De afname in dikte van het Basisveen volgens de nieuwe inzichten uit RegioDeal is aanleiding voor een aanzienlijk lagere weerstand van de Holocene deklaag aan de westrand van het onderzoeksgebied.

De in RegioDeal gemodelleerde oostwaartse verschuiving van de verbreiding van het Hollandveen tot bij Schalkwijk suggereert een verlaging van de weerstand van de Holocene deklaag. Hollandveen heeft namelijk een lager lutumgehalte en mede daardoor een hogere verticale doorlatendheid dan Echteldveen, waartoe het veen rond Schalkwijk nu in BRO GeoTOP behoort. Gezien de eerder genoemde voorbehouden (geen RegioDeal-qc en kleilig / siltig veen in de boringen bij Schalkwijk) wordt het verlagen van de hydraulische weerstand van het veen rond Schalkwijk in een nieuwe ondergrondschematisatie voorbarig geacht.

Het Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal doorsnijden de Holocene deklaag op veel plaatsen. Alleen ter hoogte van Houten (ARK) en in het zuidelijk deel van het Lekkanaal ligt klei en veen over een wat groter areaal onder de kanaalbodembodem. Deze inzichten zijn niet nieuw ten opzichte van de informatie in BRO GeoTOP.

Ter plaatse van wielen en overslaggronden kunnen stijghoogteverlagingen van onderaf sterker doorwerken dan in de omgeving, maar deze invloed is naar verwachting lokaal in vergelijking met de invloed van stroomruggen en de doorsnijding van het Amsterdam-Rijnkanaal.

5.1.3 Grondwaterkwaliteit

Rond Cothen en Bunnik reikt de zone met grondwater met een verhoogd oxidatievermogen dieper dan bij Culemborg en Tull en 't Waal. Dit hangt waarschijnlijk samen met een dunnere WAK1 en/of een hydraulisch venster in de Kromme Rijnbreuk (zand-zand contact).

Ten aanzien van de grondwaterkwaliteit nabij de beoogde nieuwe winlocatie worden geen grote problemen verwacht. De gehalten nitraat, sulfaat en metalen zijn over het geheel genomen laag en er zijn geen stijgende trends geconstateerd.

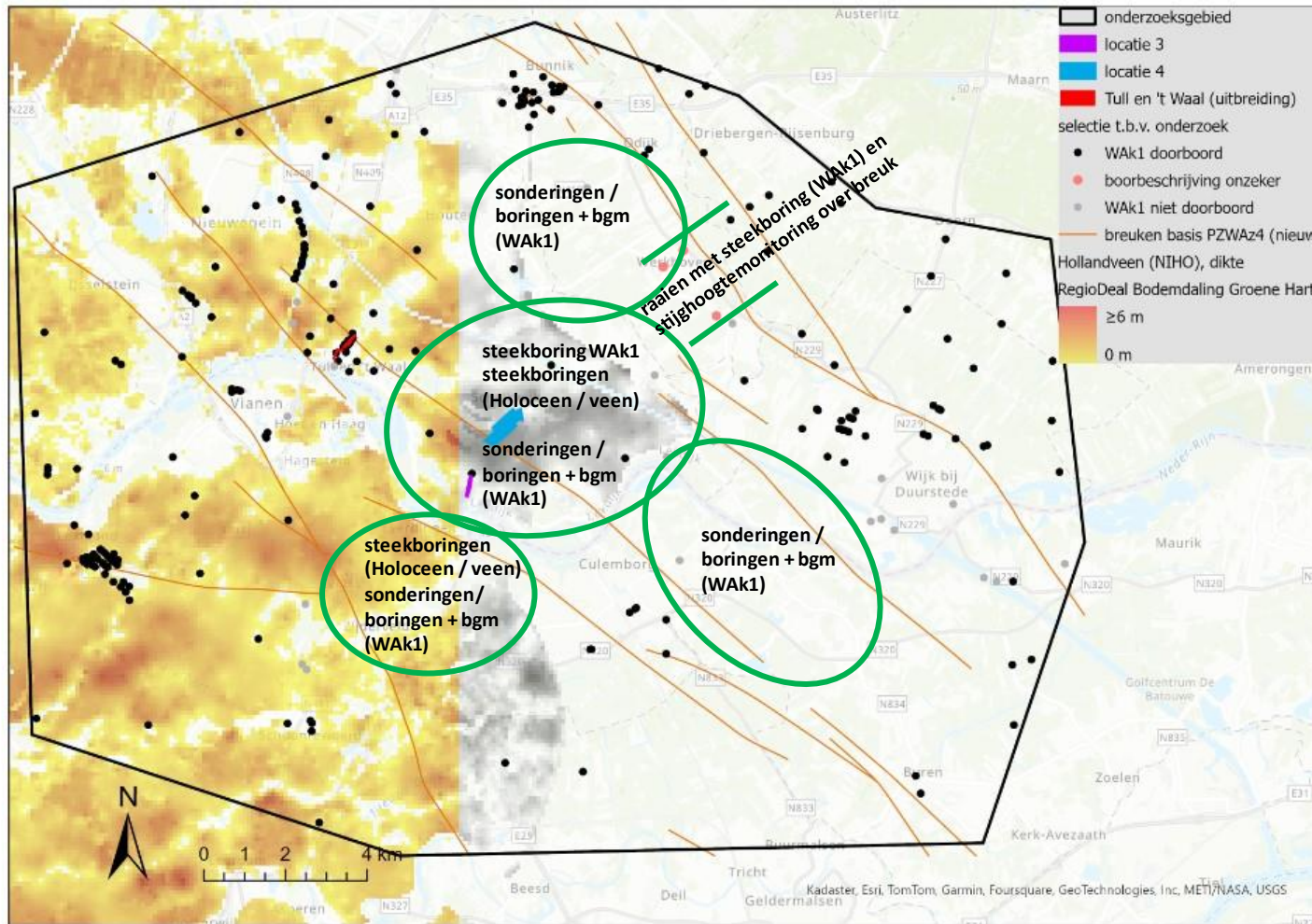
5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Uit de hiervoor beschreven bevindingen volgen een aantal aanbevelingen voor nader (veld)onderzoek (figuur 5.1):

- Twee raaien van vier of vijf sonderingen of boringen met boorgatmeting³ loodrecht op de Kromme Rijnbreuk, voor meer inzicht in de dikte van WAK1 en ruimtelijke variatie daarin.
- In elk van deze raaien een puls boring met steektrajecten in de WAK1, om de samenstelling, sedimentaire kenmerken, korrelgrootteverdelingen en doorlatendheden in detail te kunnen bepalen. De locatie van beide boringen wordt vastgesteld op basis van de sonderingen, bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de breuk.
- In elk van deze raaien monitoring van de stijghoogte zo dicht mogelijk aan weerszijden van de Kromme Rijnbreuk, aan de lage kant zowel boven als onder WAK1, om inzicht te krijgen in de hydraulische werking van de Kromme Rijnbreuk. Omdat het gaat om het vaststellen van ruimtelijke verschillen in de stijghoogte kan de monitoringsperiode voor dit doel waarschijnlijk beperkt blijven tot één of enkele jaren;
- Een puls boring met steekmeters in de Holocene deklaag en WAK1 op het Eiland van Schalkwijk, om de samenstelling, sedimentaire kenmerken, korrelgrootteverdelingen en doorlatendheden van (met name) het aanwezige veen en WAK1 in detail te kunnen bepalen;
- Een vijftal ondiepe steekboringen in de Holocene deklaag op het Eiland van Schalkwijk en het gebied tussen Everdingen en Culemborg, om de samenstelling, sedimentaire kenmerken, korrelgrootteverdelingen en doorlatendheden van (met name) het aanwezige veen in detail te kunnen bepalen;
- Een tiental sonderingen of boringen met boorgatmeting tot onder WAK1, te verdelen over het Eiland van Schalkwijk en de relatief data-arme gebieden ten noordoosten hiervan en rond Culemborg, waar ook ASV-gebieden liggen.

Aanbevolen wordt om bij de uitwerking van het vervolgonderzoek de in de verkennende studie (Van der Zalm & Soepboer, 2023) berekende verlagingen van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket (tussen WAK1 en Holocene deklaag) mee te nemen. De verkennende berekeningen zijn te beschouwen als een vorm van gevoeligheidsanalyse: juist in gebieden waar verlagingen zijn berekend, is het grondwatersysteem blijkbaar gevoelig voor de voorgenomen onttrekkingen. Daar zal een nieuw inzicht in de weerstand van WAK1 of Holocene deklaag kunnen leiden tot andere effecten. Daarbij wordt aangeraden om niet alleen verlagingen > 5 cm te beschouwen, maar ook kleinere verlagingen (bv. vanaf 0,5 cm) en eventueel ook de berekende verandering van fluxen door de deklaag. Zodoende kunnen ook potentieel verlagingengevoelige gebieden in aanmerking komen voor vervolgonderzoek.

³ Nader te bepalen, de gewenste sondeerdiepte ligt op de grens van het haalbare bereik



Figuur 5.1: Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

6 Referenties

Berendsen, H.J.A., 1982. De genese van het landschap in het Zuiden van de provincie Utrecht: een fysisch-geografische studie | The genesis of the Southern part of the province of Utrecht, the Netherlands, a study of physical geography. Proefschrift Universiteit Utrecht, 256pp.

Berendsen, H.J.A., K.M. Cohen & E. Stouthamer, 2001. Maps and Cross-sections, Chapter and addendums in Berendsen & Stouthamer, 2001: Palaeogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands, Assen: Koninklijke Van Gorcum, 268 p.

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.

Cohen, K.M. & E. Stouthamer, 2012. Digitaal Basisbestand Paleogeografie van de Rijn-Maas Delta. DANS <https://doi.org/10.17026/dans-x7g-sjtw>

Gottschalk, M.K.E., 1971. Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland. Deel I: de periode vóór 1400, Assen, Van Gorcum, 1971, xx + 584 S. (Sociaal geografische studies, nr. 10) ISBN 90-232-0717-3; Deel II: de periode 1400–1600, Assen, Van Gorcum, 1975, xvi + 896 S. (Sociaal geografische studies, nr. 13) ISBN 90-232-1193-6; Deel III: de periode 1600–1700, Assen/Amsterdam, Van Gorcum, 1977, xvi + 474 S. (Sociaal geografische studies, nr. 14) ISBN 90-232-1491-9.

Hummelman, J., D. Maljers, A. Menkovic, R. Reindersma, J. Stafleu en R. Vernes, 2019a. Totstandkomingsdocument Digitaal Geologisch Model (DGM). TNO-rapport R11653.

Hummelman, J., D. Maljers, A. Menkovic, R. Reindersma, R. Vernes en J. Stafleu, 2019b. Totstandkomingsdocument Hydrogeologisch Model (REGIS II). TNO-rapport R11654.

Reindersma, R., C. Heerema, A. Kaliar, R. Kars, K. Koster, B. Meijninger, J. Stafleu & T. Witteman, 2024. Totstandkomingsrapport GeoTOP – Regiodeal Groene Hart. TNO-rapport in voorbereiding TNO 2024 R00000.

Schokker, J., W. van Kesteren, W. Dabekaussen & K. Koster, 2019. Geologische karakterisatie en kartering van de Waalreklei en het eerste watervoerend pakket t.b.v. de verbreding van de A27 bij Utrecht: Update 2019. TNO-rapport TNO 2019 R11693 versie 2.

Stafleu, J., D. Maljers, F. Busschers, J. Gunnink, J. Schokker en J. Hummelman, 2019. Totstandkomingsdocument GeoTOP. TNO-rapport R11655.

Terwisga, S.B. van, 2022. NRD Drinkwaterwinning Eiland van Schalkwijk, Wandelend pompstation. Rapport Witteveen + Bos 125553/22-011.582 .

Van der Zalm, G.W.E. & W. Soepboer, 2023. Drinkwaterwinning eiland van Schalkwijk, Notitie reikwijdte en detailniveau milieueffectrapportage. Rapport Witteveen + Bos 125553/23-013.789 (Concept 01).

RPS, 2020. Zwemwaterprofiel Recreatie Everstein. Waterschap Rivierenland, document 303790-Everstein.pdf.

7 Ondertekening

Dr.ir. W.J. Zaadnoordijk
Tweede lezer

Drs. J.T. Buma
Auteur

Drs. D. Maljers
Afdelingshoofd Geomodelling

Bijlage A: Voorselectie ondergrondgegevens

Digitale bestanden meegeleverd:

- boringen_WA_Schalkwijk_voorselectie.xlsx/shp
- Vitens_Oasen.xlsx/shp

Bijlage B: Resultaten stratigrafische interpretaties

Digitaal bestand meegeleverd:

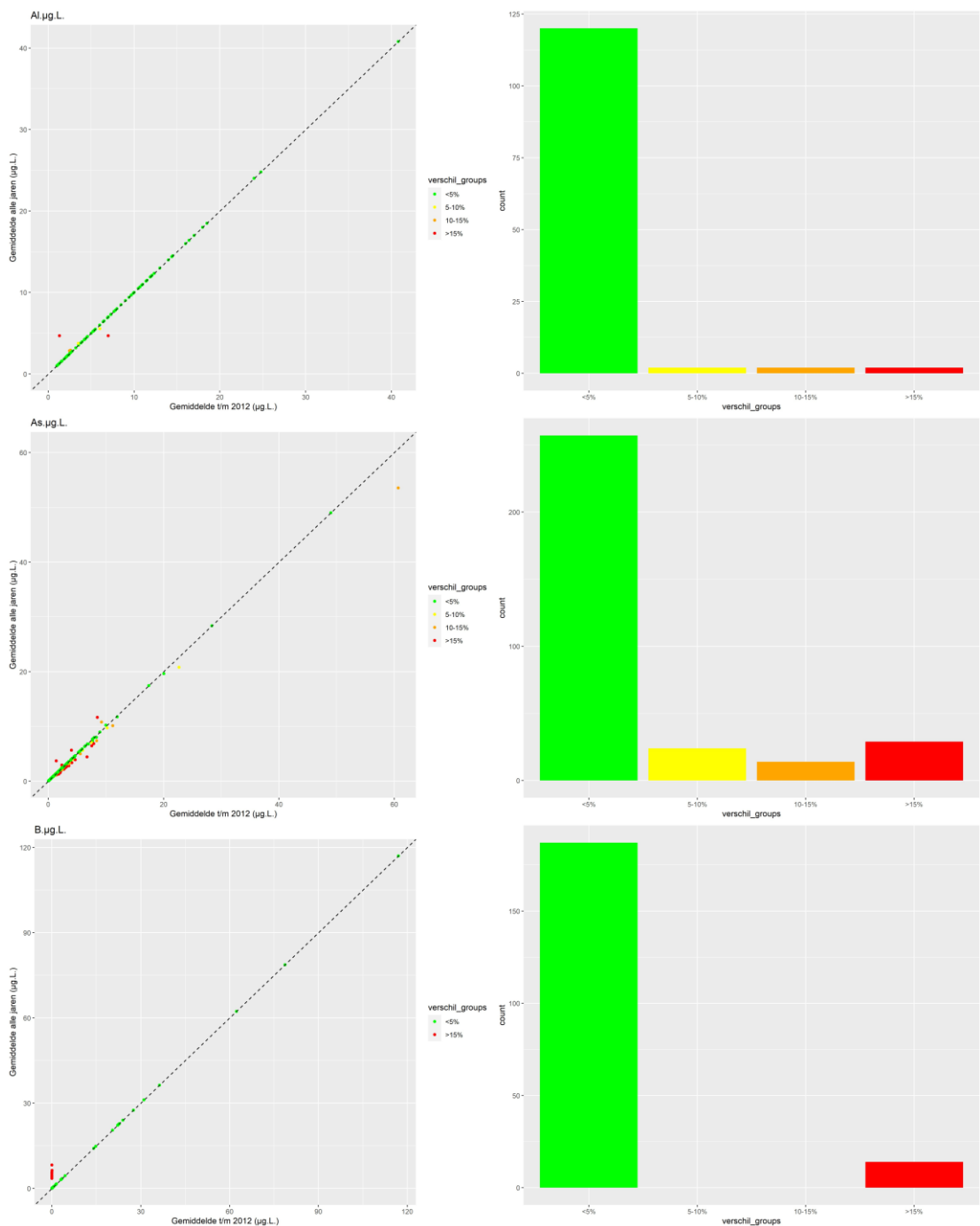
- WAk1_Schalkwijk_def.xlsx

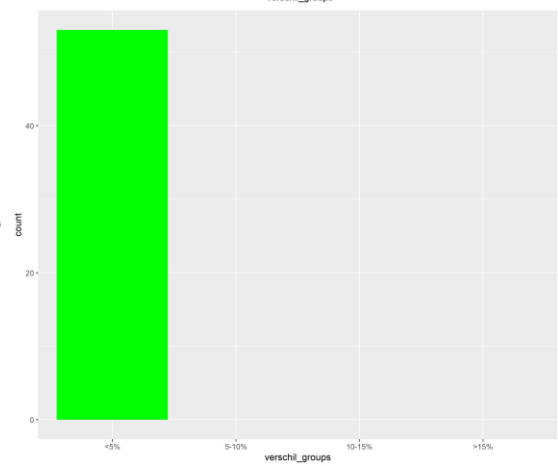
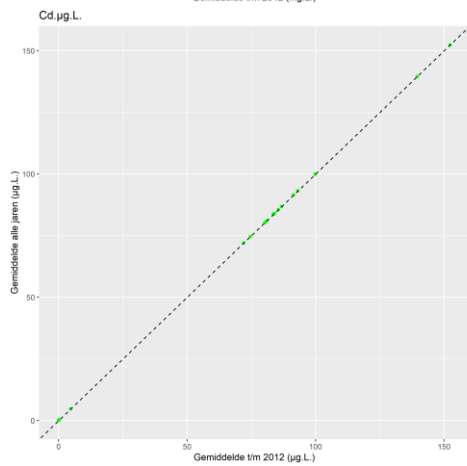
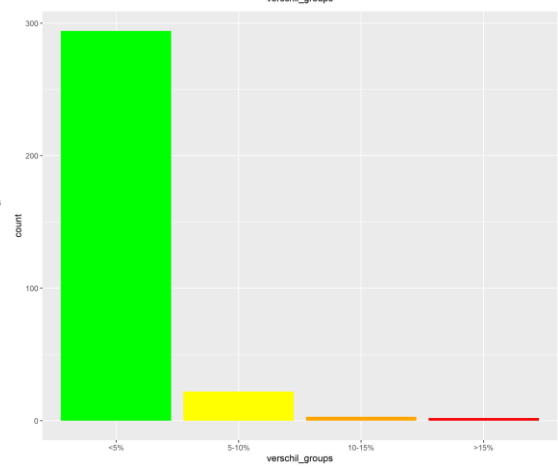
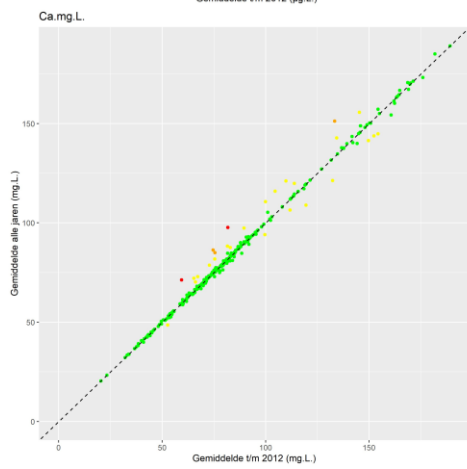
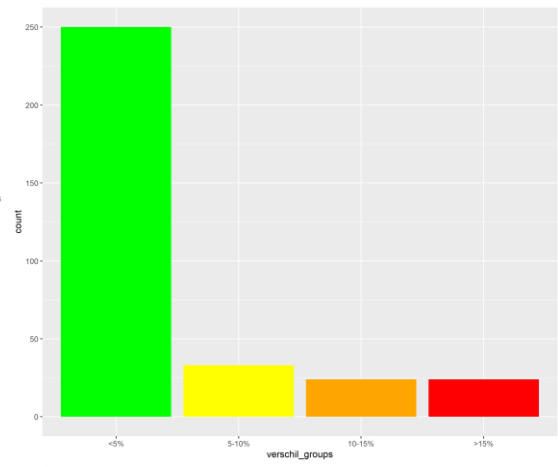
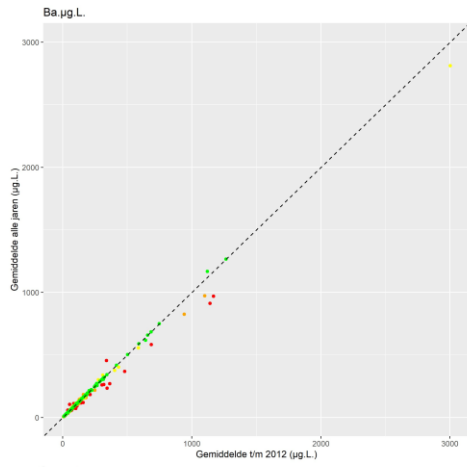
Bijlage C: GeoTOP- profielen detailgebieden 1 t/m 14

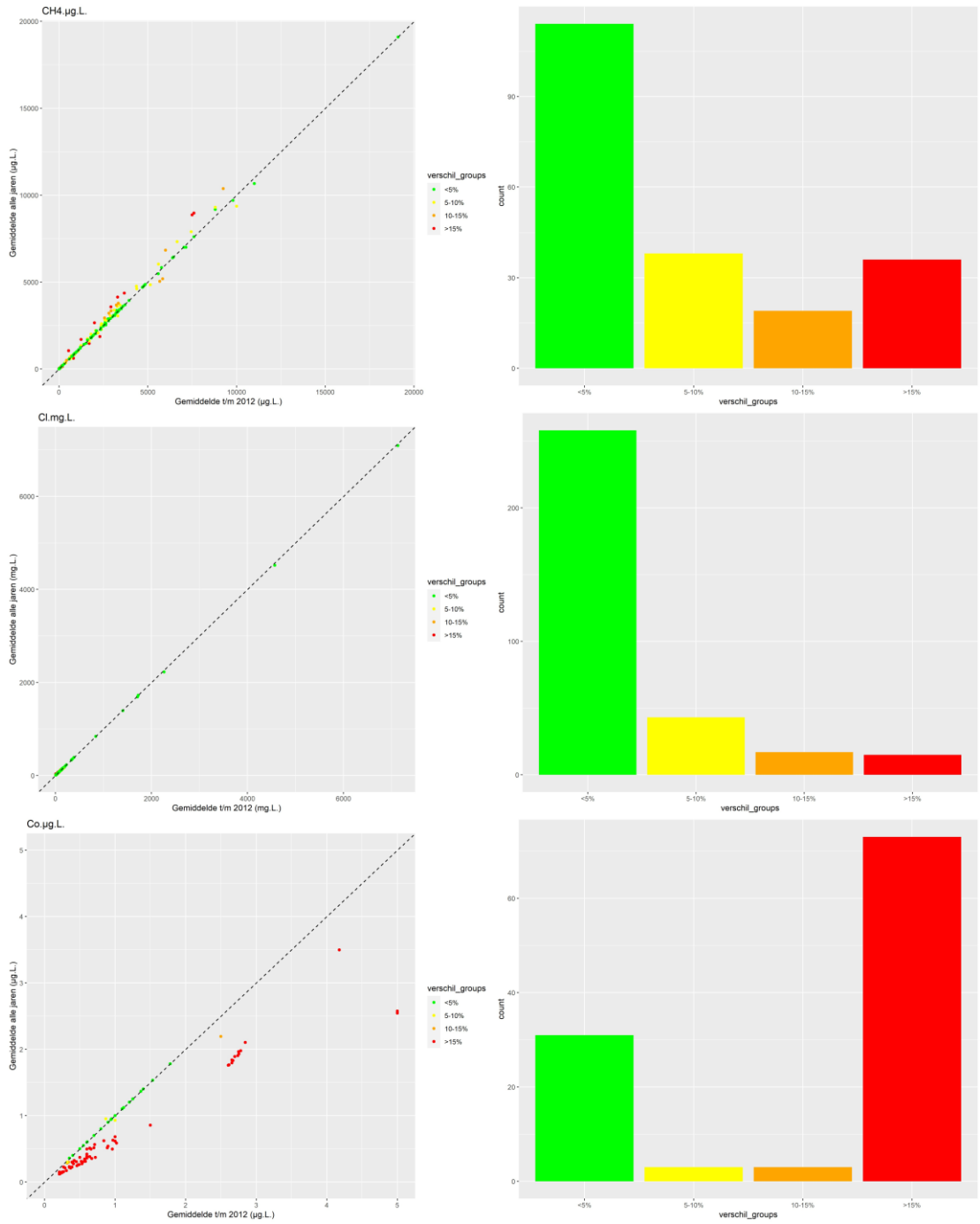
Digitaal bestand meegeleverd:

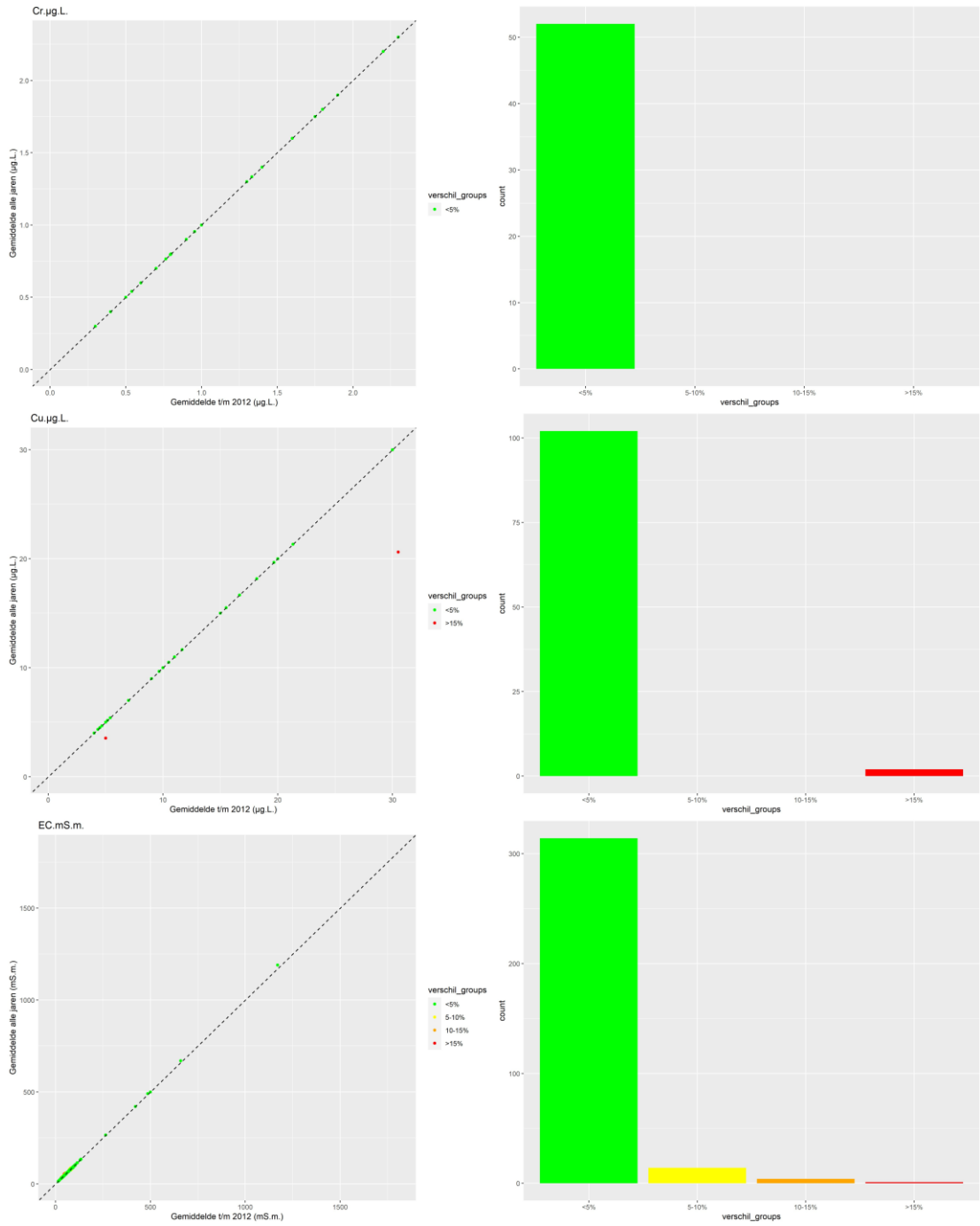
- Paleogeogr_Kaart_2012_vs_GeoTOPv1_6 (grid-ascii bestand)
 - Gridwaarde 1: 'verschijnende geul' (wel in Paleogeografische Kaart 2012, niet in GeoTOPv1.6)
 - Gridwaarde 2: 'verdwijnende geul' (niet in Paleogeografische Kaart 2012, wel in GeoTOPv1.6)
 - Gridwaarde 3: geul in Paleogeografische Kaart 2012 en in GeoTOPv1.6
- Bijlage C.pptx

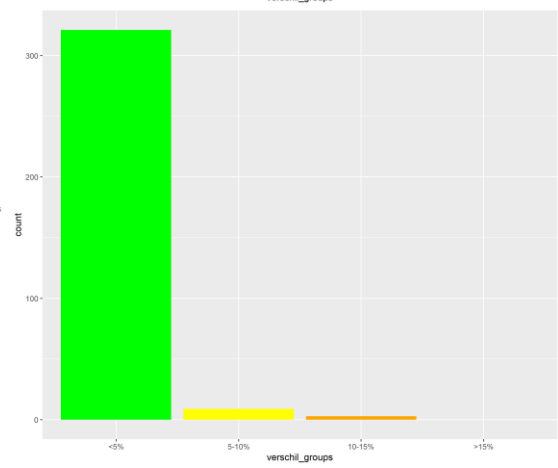
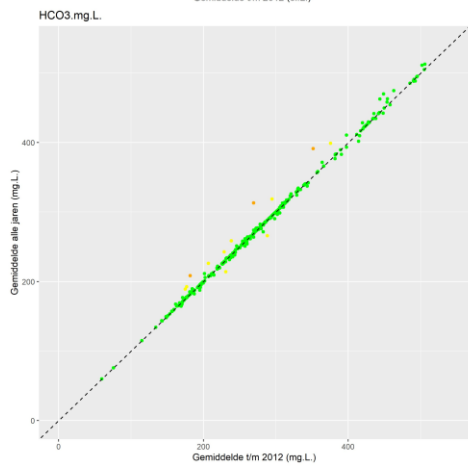
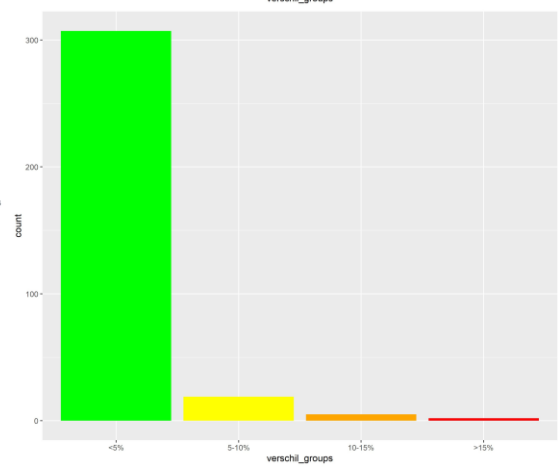
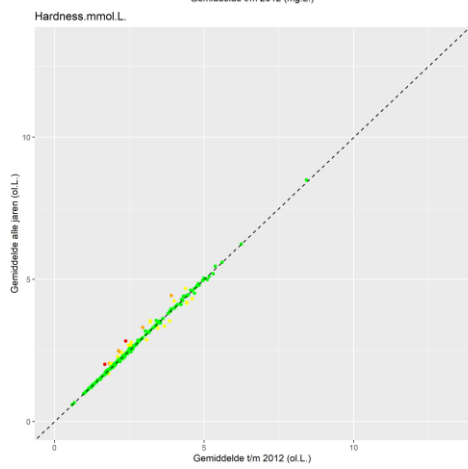
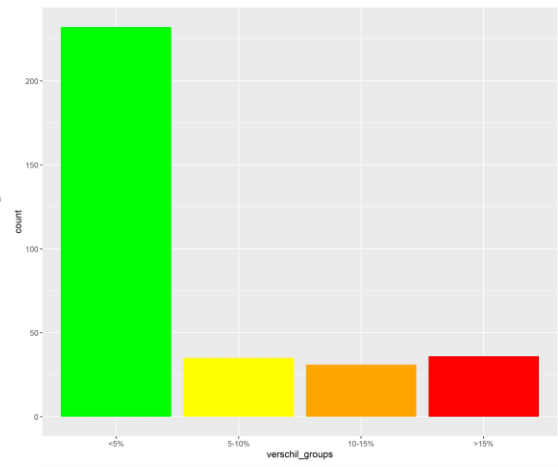
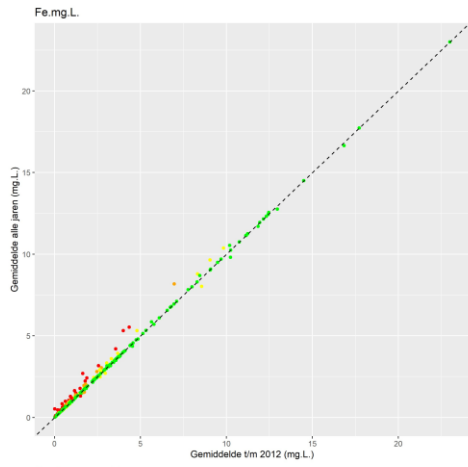
Bijlage D: Figuren toetsing op trends grondwaterkwaliteit

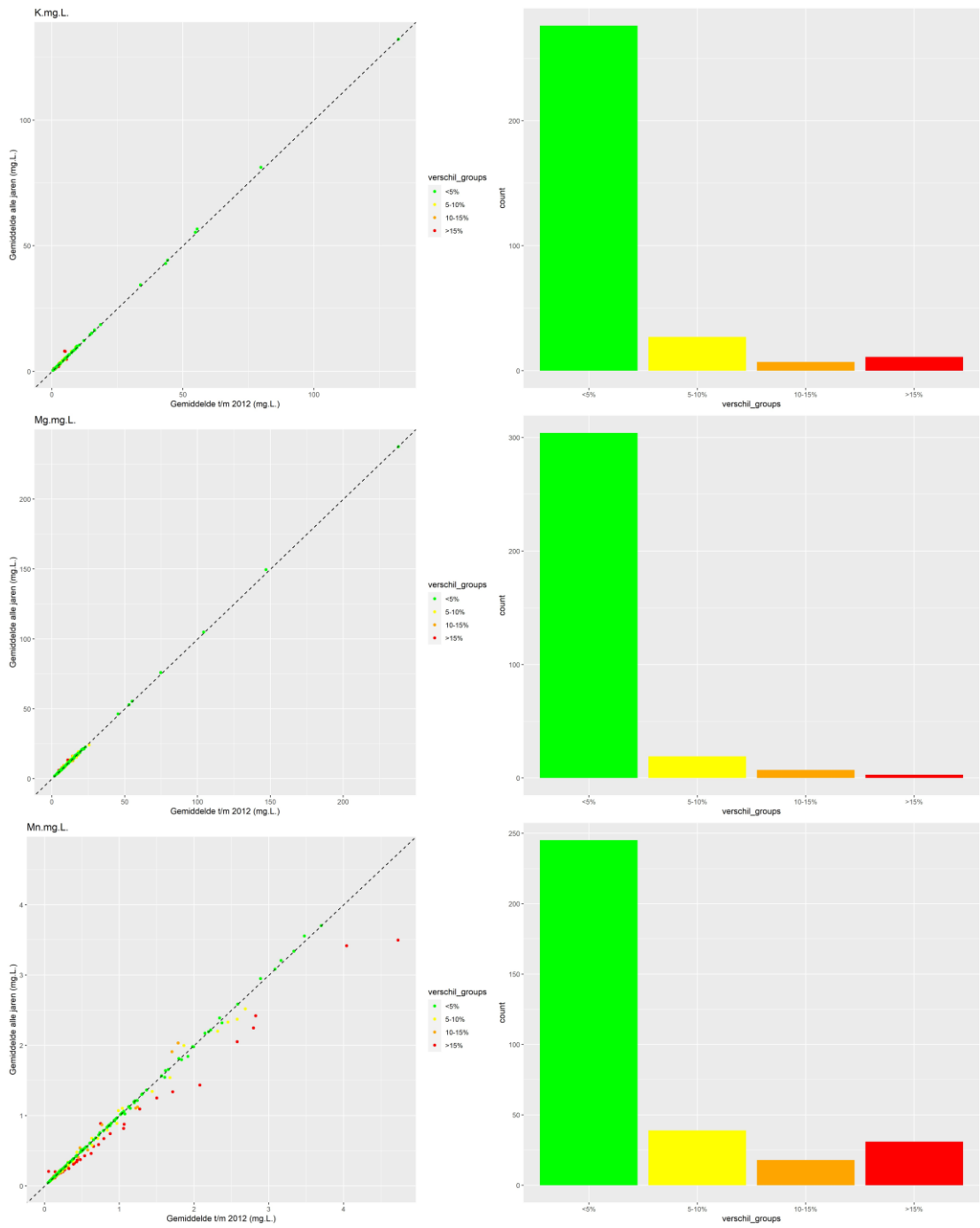


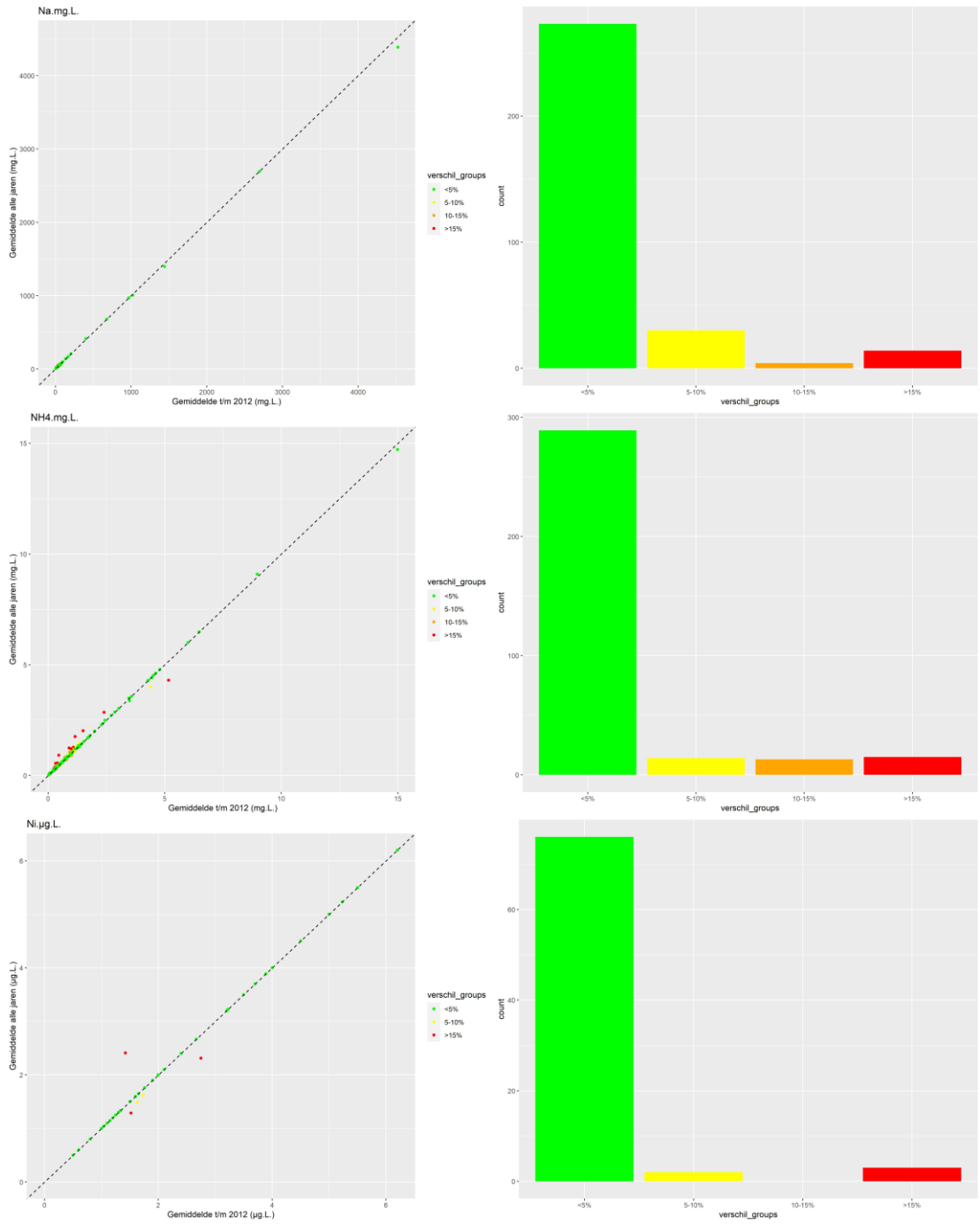


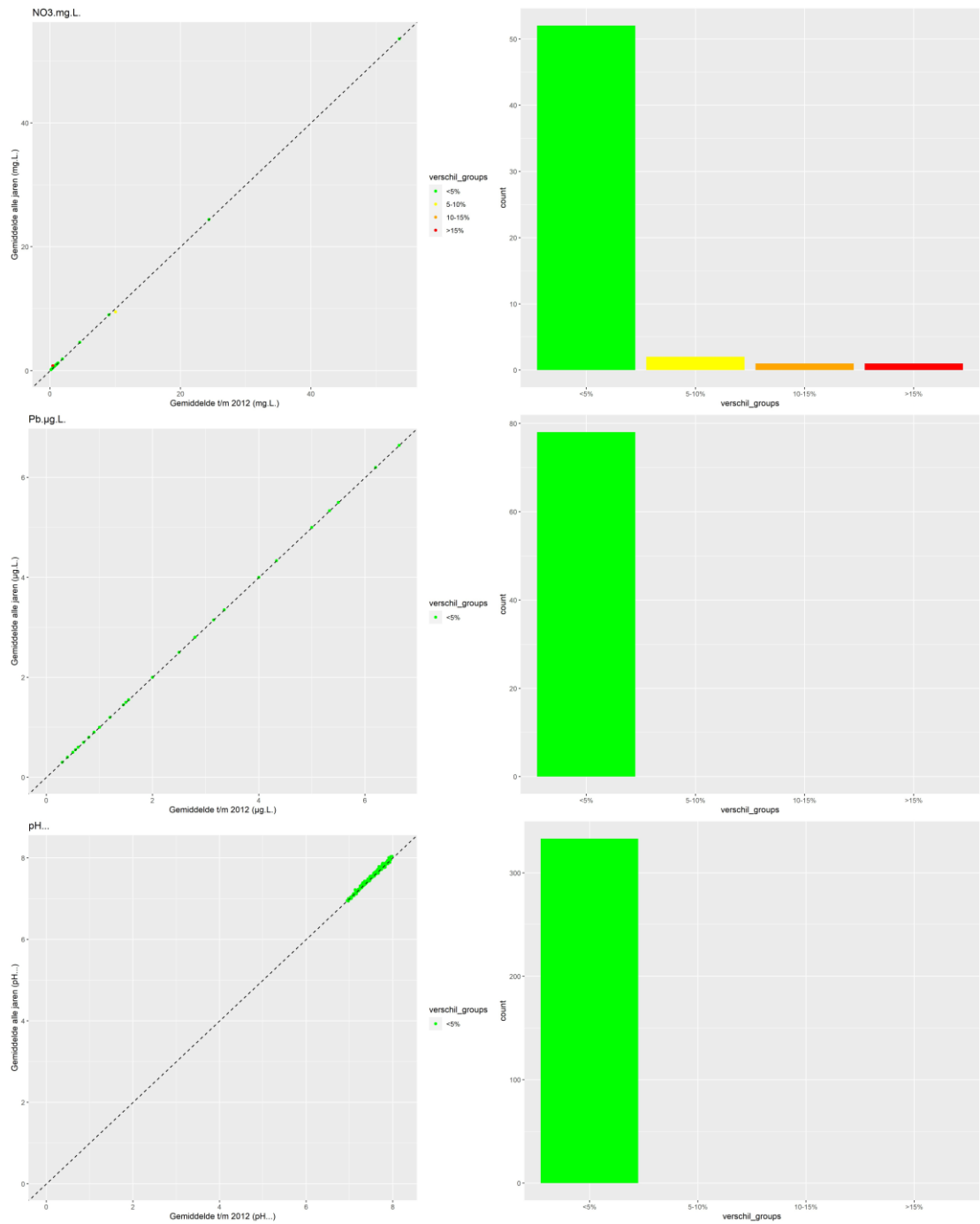


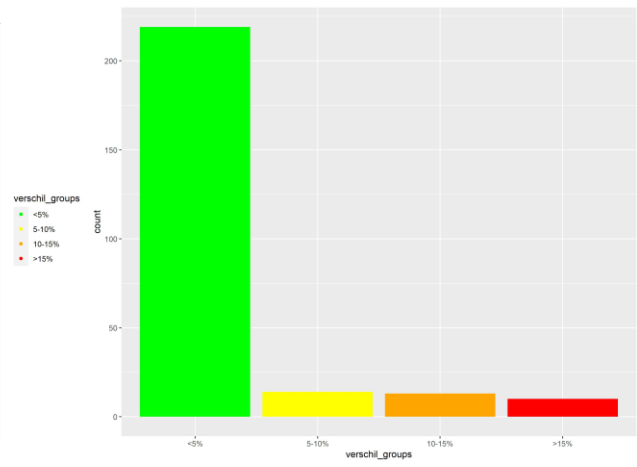
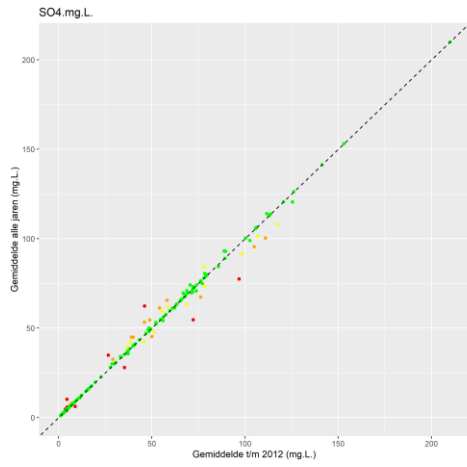




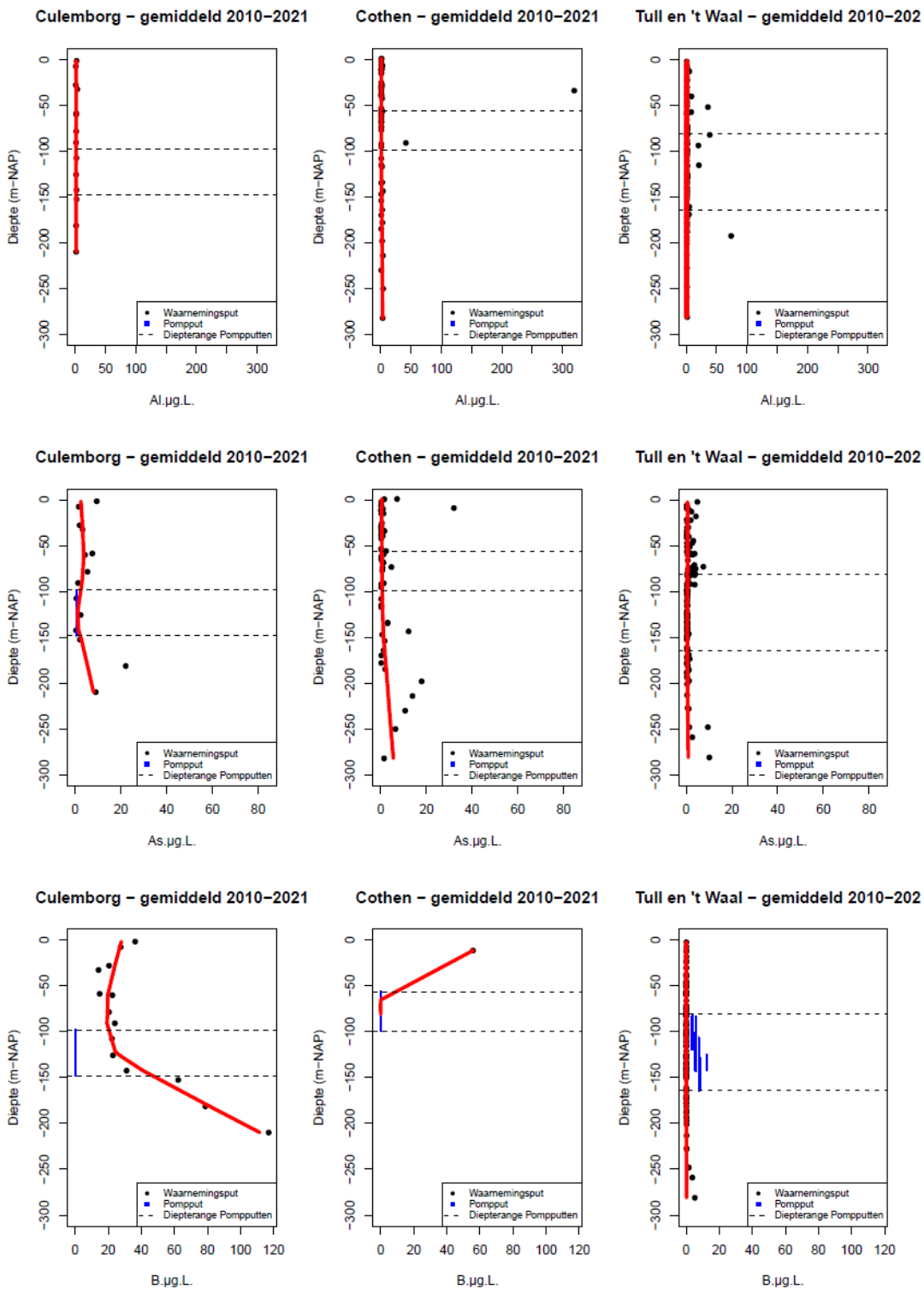


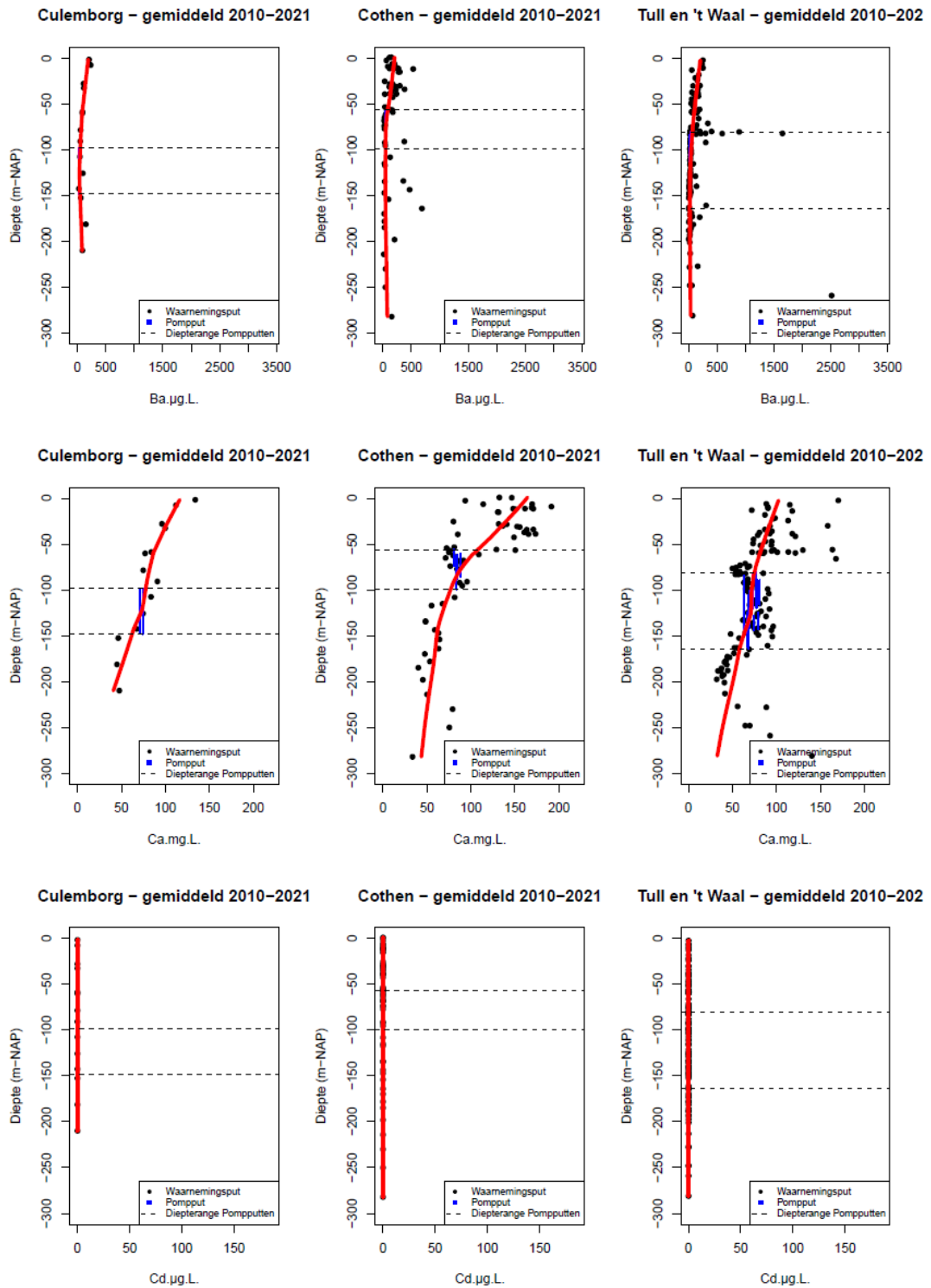


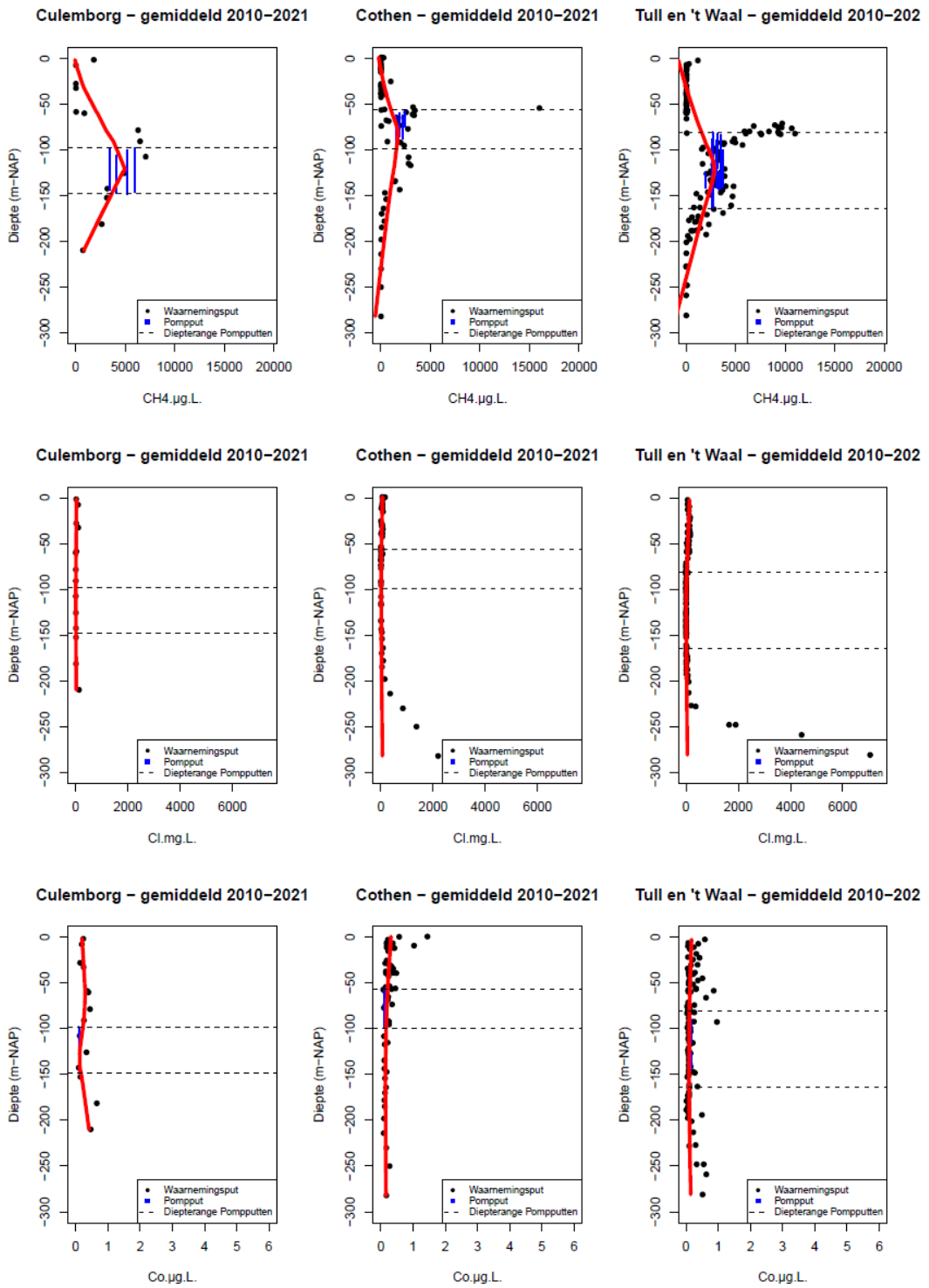


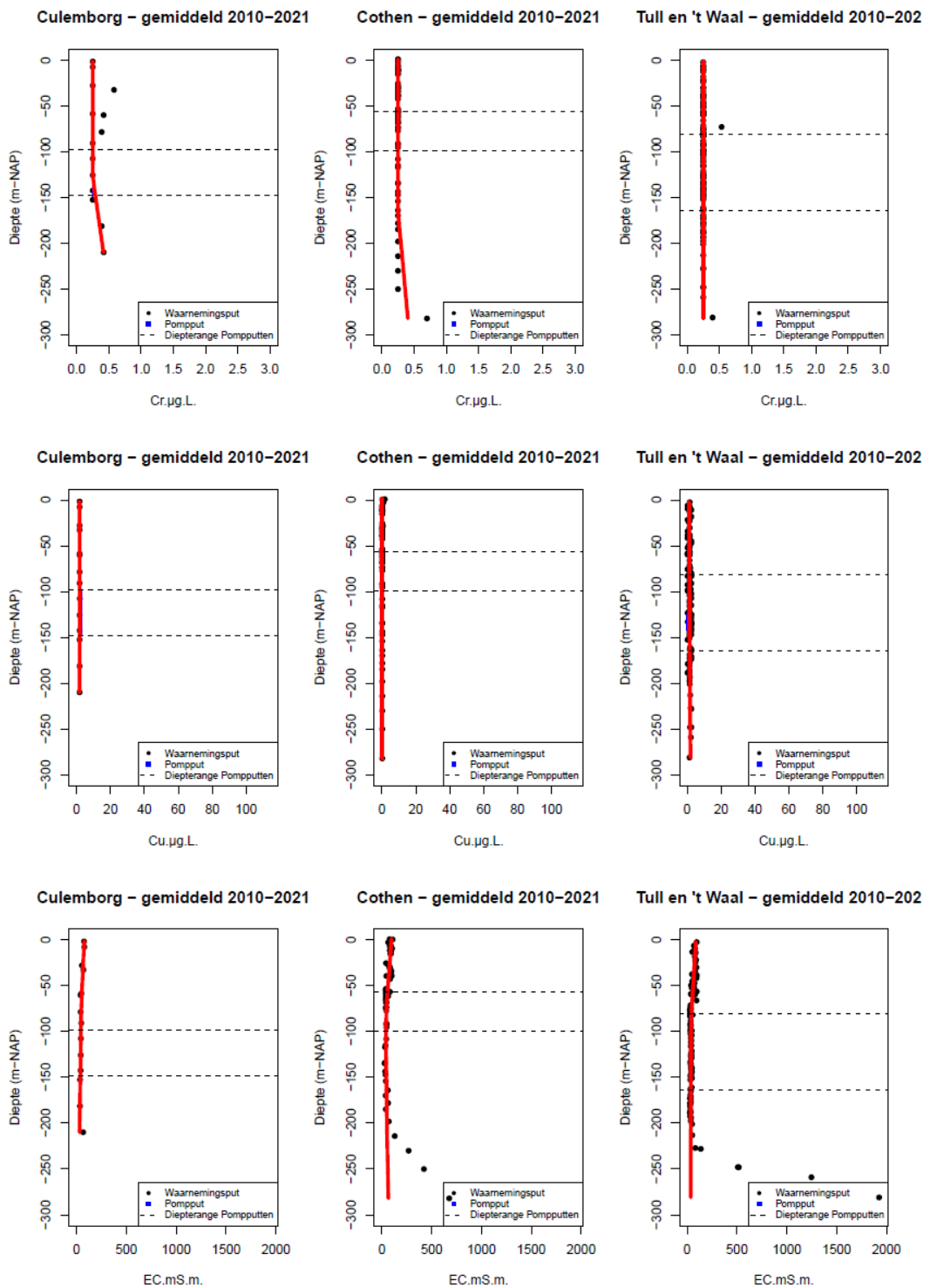


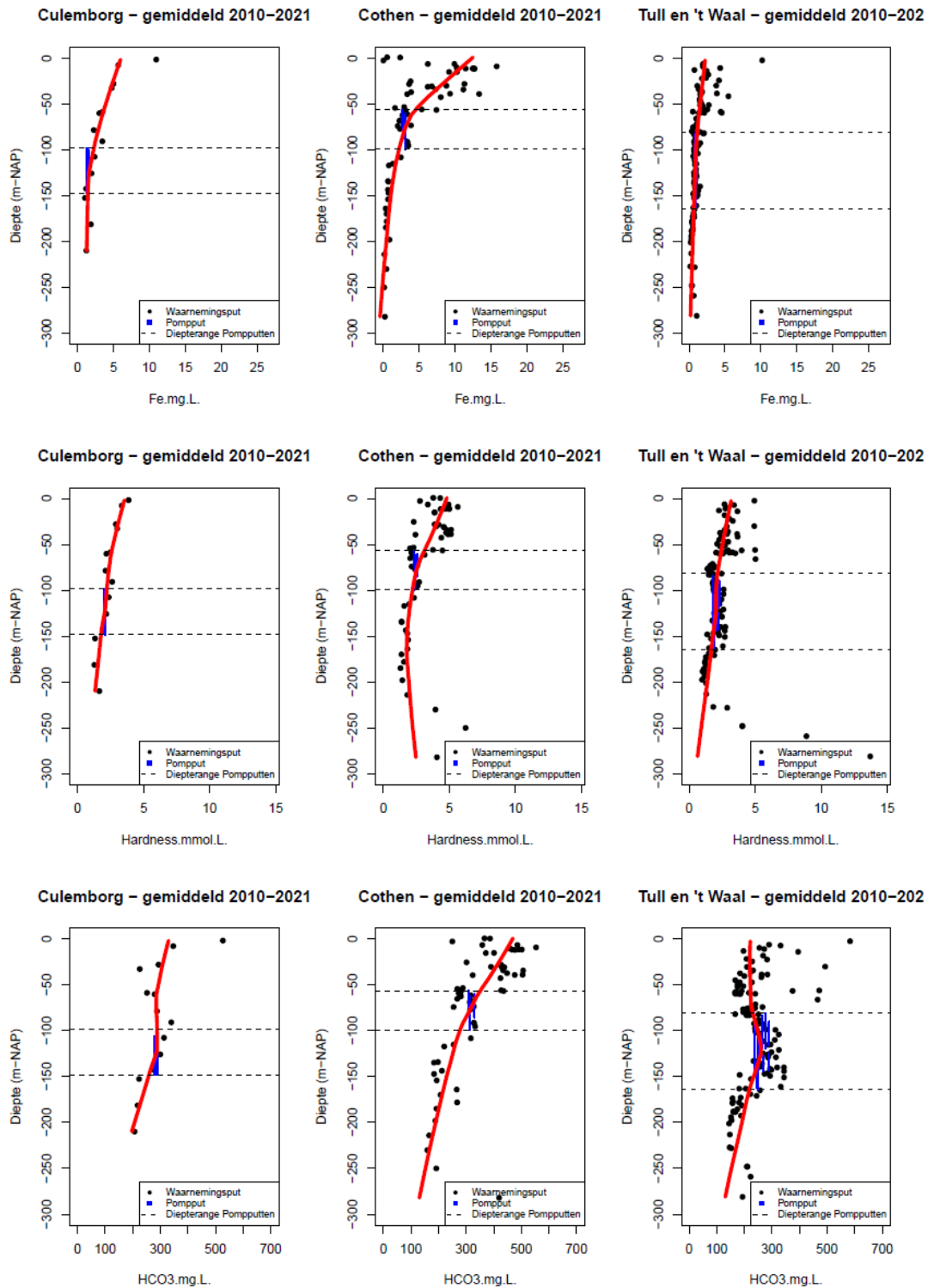
Bijlage E Diepteplots grondwaterkwaliteit per winning

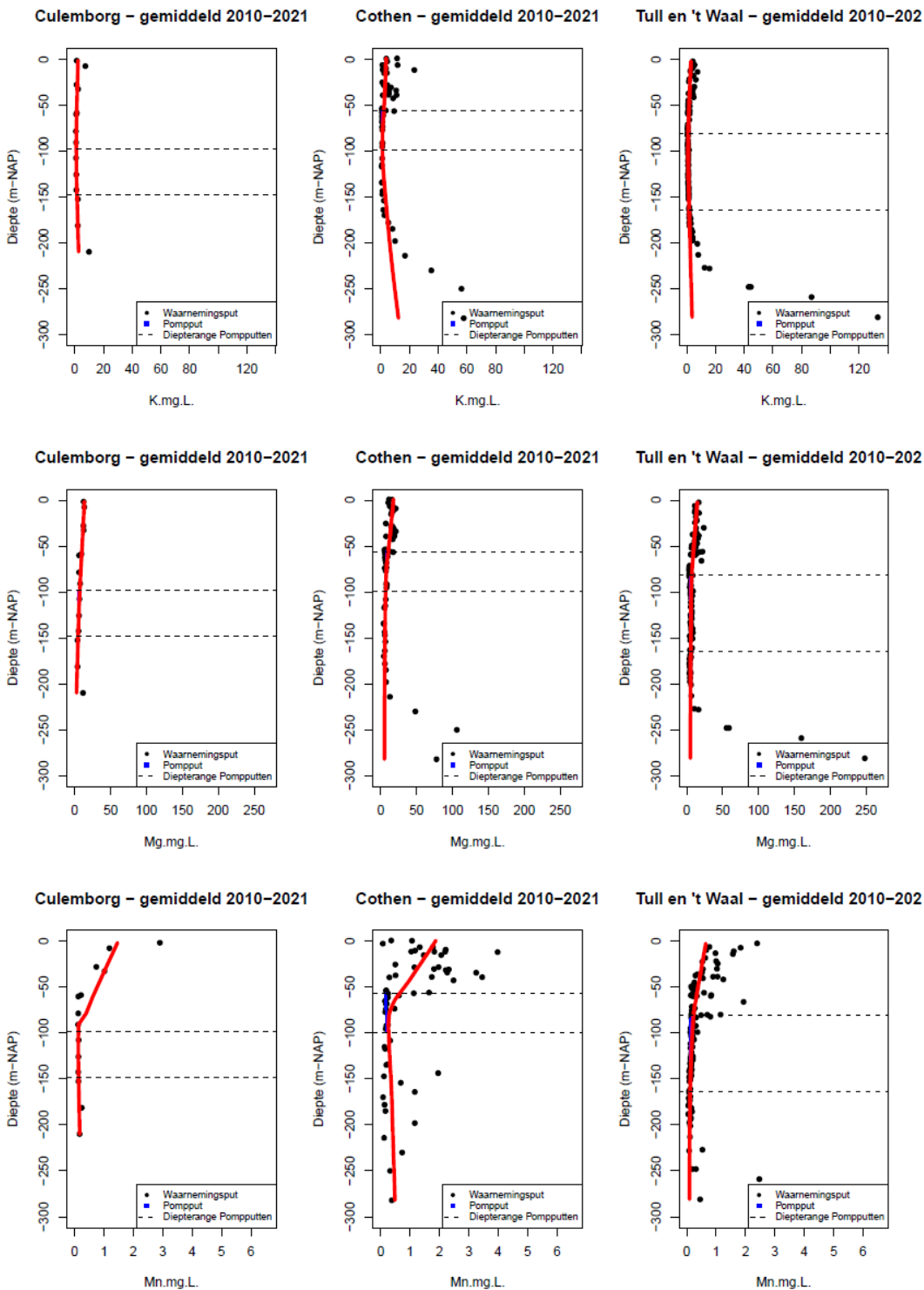


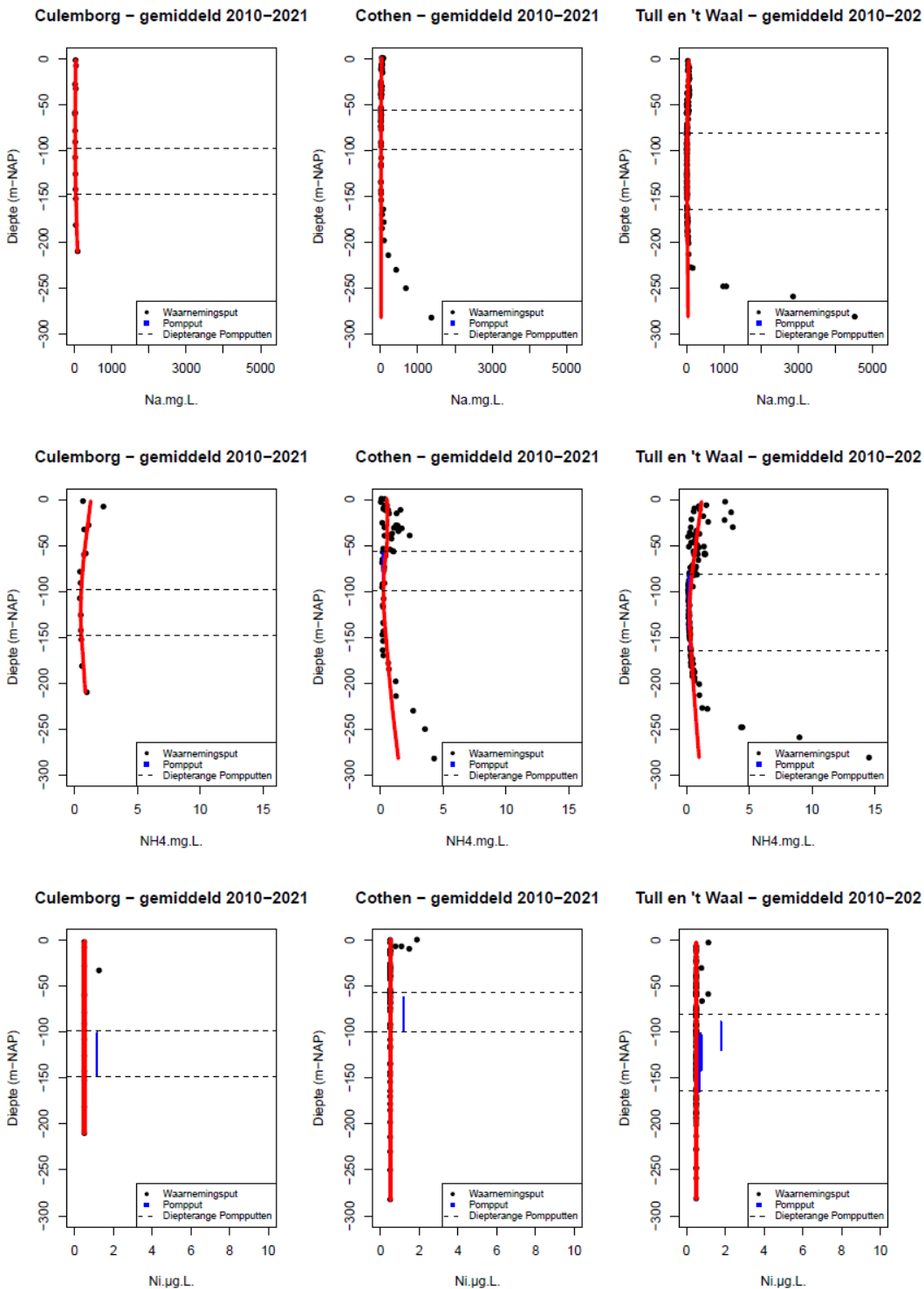


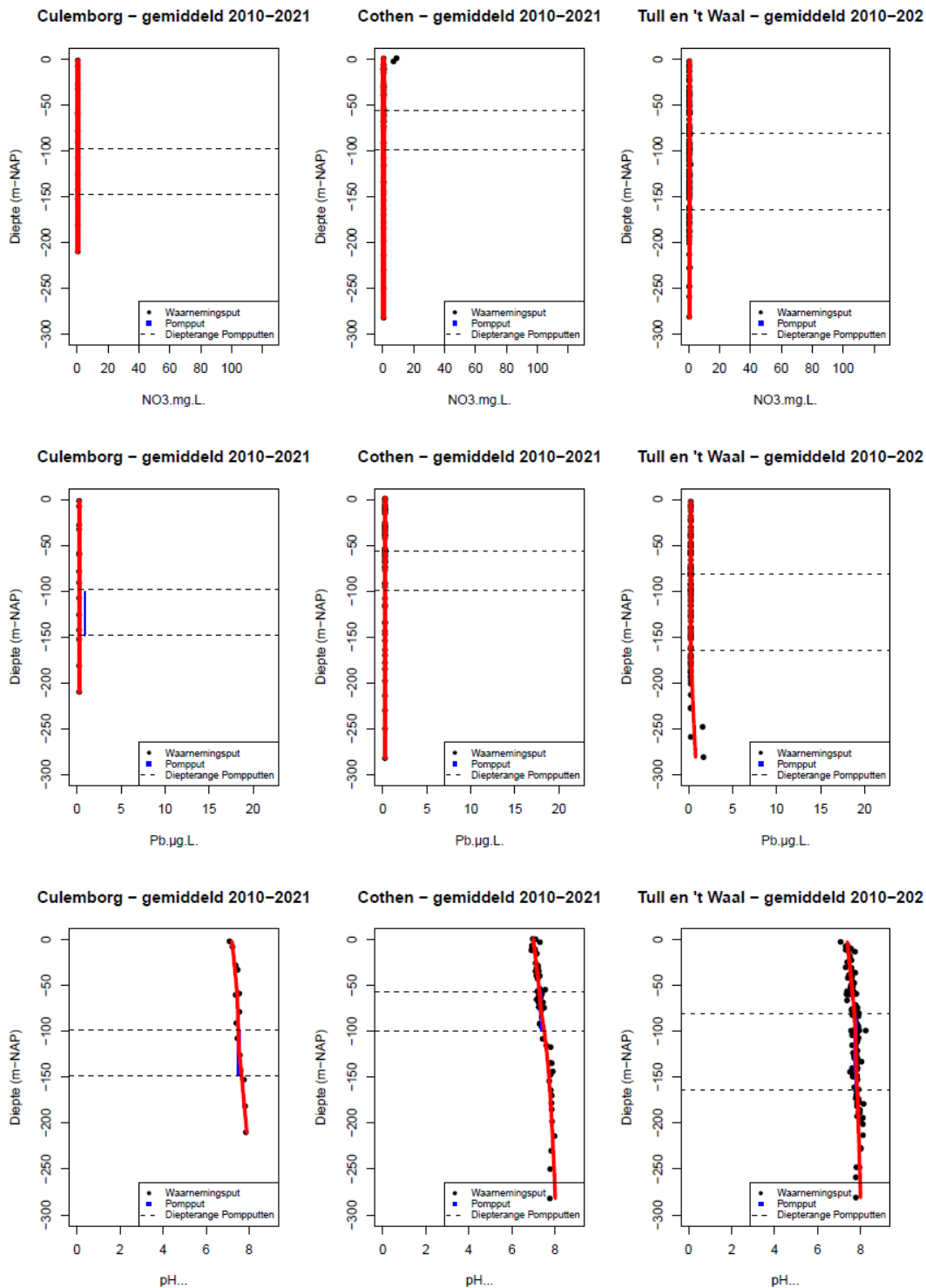


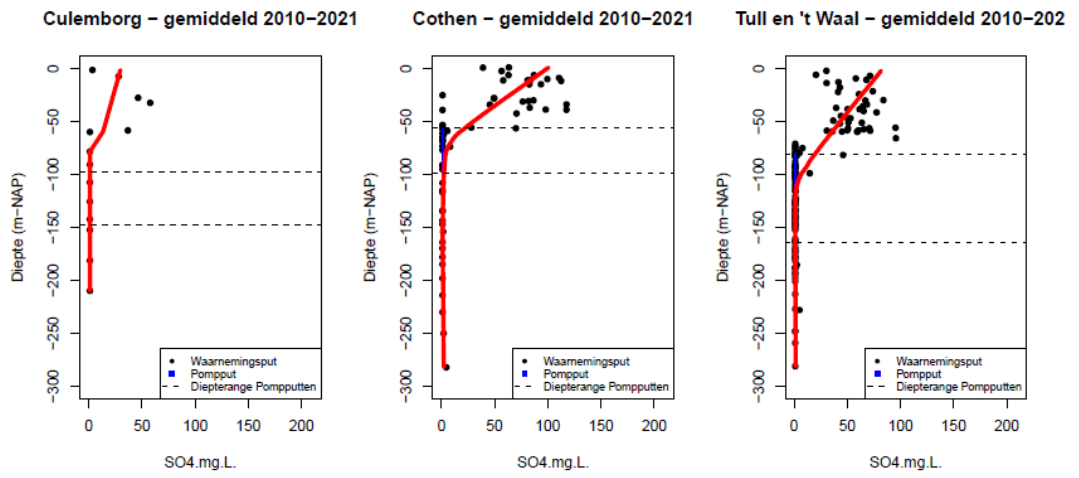












Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life