

Informatievoorziening strategische grondwatervoorraad

Een pilotstudie binnen het TNO-GDN programma
voor decentrale overheden

TNO 2025 R11679 – 14 april 2025

Informatievoorziening strategische grondwatervoorraad

Een pilotstudie binnen het TNO-GDN
programma voor decentrale overheden

Auteurs	J.T. Buma, J.F.M. Erkelens, N. Versteijlen, E. van Wingerden
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public
Rapporttekst	TNO Public
Aantal pagina's	38 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	De directeur Geologische Dienst Nederland
Projectnaam	GIP Decentrale Overheden 2024
Projectnummer	060.59175

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.

© 2025 TNO

Samenvatting

In 2022 heeft de provincie Utrecht aangegeven geïnteresseerd te zijn in een pilotstudie met betrekking tot strategische grondwatervoorraad in samenwerking met Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO (TNO-GDN). De pilot is onderdeel van het programma Decentrale Overheden (DO), dat uitgevoerd wordt in het kader van de nationale taakstelling van TNO-GDN gefinancierd door de Rijksoverheid. De doelstelling van het programma DO is om decentrale overheden meer en beter te voorzien van informatie en kennis over het (duurzaam) gebruik van de ondergrond. Bij duurzaam gebruik van de ondergrond moet, naast informatie en kennis over de ondergrond, ook de ruimtelijke ordening van de ondergrond worden betrokken, in relatie tot de bovengrond en omgevingsmanagement.

De doelstelling die TNO-GDN in de onderhavige pilotstudie met betrekking tot de informatievoorziening rond strategische grondwatervoorraden voor ogen heeft, is:

- Meer inzicht krijgen in de door decentrale overheden benodigde en relevante gegevens over de ondergrond en het grondwater: welke datatypen, schaalniveau, betrouwbaarheid, etc.;
- Het daadwerkelijk aanleveren van die gegevens, als bouwstenen voor een 3D-beeld van de ondergrond.

Het achterliggende doel voor de provincie Utrecht is om beter afwegingen te kunnen maken ten behoeve van beleid en regelgeving over het grondwater in de strategische grondwatervoorraad en in relatie tot het energievraagstuk. De ondergrond- en grondwaterexperts werkzaam bij het team Water en bodem van de provincie Utrecht vormen de doelgroep van de pilot.

Deze pilotstudie heeft dankzij de samenwerking met de provincie Utrecht een aantal concrete resultaten opgeleverd die het mogelijk maken om vergelijkbare studies in relatie tot de beleidsvorming rond grondwatervoorraden efficiënter te kunnen uitvoeren:

- Werkproces om in samenspraak met de provincie de voorliggende resultaten te bereiken;
- Procedure voor de selectie van relevante ondergrondgegevens en informatie, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn;
- Procedure voor de vertaling van informatie uit de BRO ondergrondmodellen REGIS II naar regionale behoefte, m.n. door middel van een schematisatie in watervoerende pakketten en scheidende lagen, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn;
- Pythonscript waarmee een vooraf gedefinieerde schematisatie van REGIS II eenheden in watervoerende pakketten en scheidende lagen reproduceerbaar en efficiënt kan worden geïmplementeerd in een GIS-omgeving;
- Ter vergroting van het inzicht in overgangsdiepten van zoet naar brak en van brak naar zout grondwater en bijbehorende onzekerheden is een workflow voor de herinterpretatie van VES-metingen geoptimaliseerd en vastgelegd ten behoeve van reproduceerbaarheid en een toekomstige bredere toepassing;
- Een eerste verkenning van mogelijkheden voor beheer, analyse en visualisatie van de informatie, in de context van gebruik door decentrale overheden;
- Handreikingen voor het gebruik van de resultaten door decentrale overheden;
- (specifiek voor de provincie Utrecht) Een GIS-dataset bestaande uit twee ArcGIS-packages, waarin een selectie van feitelijke informatie van de ondergrond en het grondwater in de provincie Utrecht is bijeengebracht.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	4
1.1 Aanleiding.....	4
1.2 Doelstelling.....	4
1.3 Eindproduct.....	5
2 Werkproces.....	6
2.1 Gezamenlijk proces.....	6
2.2 Data-inventarisatie en selectie.....	6
2.3 Vertaling naar regionale behoefte.....	7
2.4 Verkenning mogelijkheden voor visualisatie en gebruik.....	9
2.5 Samenstelling van de GIS-dataset.....	9
3 Resultaten.....	10
3.1 Inleiding.....	10
3.2 Data-inventarisatie en selectie.....	10
3.3 Schematisatie in WVP en SDL.....	17
3.4 Overige resultaten.....	23
4 Samenvatting resultaten en handreikingen voor het gebruik.....	27
4.1 Decentrale overheden (algemeen).....	27
4.2 Provincie Utrecht.....	28
5 Ondertekening.....	30
Bijlage A Data-inventarisatie.....	31
Bijlage B Deelgebieden provincie Utrecht in dwarsprofiel REGIS II v2.2.2.....	32
Bijlage C Schematisaties in watervoerende pakketten en scheidende lagen.....	33
Bijlage D Impressies mogelijkheden voor databeheer, -analyse en visualisatie.....	36
Bijlage E Beschikbare (praktijk)richtwaarden geschiktheidscriteria.....	37

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2022 heeft de provincie Utrecht aangegeven geïnteresseerd te zijn in een pilotstudie met betrekking tot strategische grondwatervoorraad in samenwerking met Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO (TNO-GDN). De pilot is onderdeel van het programma Decentrale Overheden, dat uitgevoerd wordt in het kader van de nationale taakstelling van TNO-GDN gefinancierd door de Rijksoverheid. De doelstelling van het programma DO is om decentrale overheden meer en beter te voorzien van informatie en kennis over het (duurzaam) gebruik van de ondergrond. Kamerbrieven en maatschappelijke ontwikkelingen hebben geleid tot een heroverweging van het aanbod van informatieproducten, bestemd voor decentrale overheden: van losse producten voor de diepe en ondiepe ondergrond naar een geïntegreerd product voor beide domeinen. Dit betekent dat TNO naast (informatie en kennis over) het duurzaam gebruik van de ondergrond nadrukkelijk ook de ruimtelijke ordening van de ondergrond betreft, in relatie tot de bovengrond en omgevingsmanagement. Het gaat daarbij om behoefte-gestuurde informatie: van 'buiten naar binnen' denken.

1.2 Doelstelling

In samenspraak met de provincie is gekozen voor een pilot met betrekking tot de informatievoorziening rond strategische grondwatervoorraad in de provincie Utrecht. De doelstelling die TNO-GDN in de onderhavige pilotstudie voor ogen heeft, is:

- Meer inzicht krijgen in de voor beleidstoepassingen in de ondiepe ondergrond door decentrale overheden benodigde en relevante bouwstenen, i.e. gegevens over de ondergrond en het grondwater: welke datatypen, schaalniveau, betrouwbaarheid, etc.;
- Het daadwerkelijk aanleveren van die bouwstenen voor een 3D-beeld van de ondergrond, om daarmee de diepteligging en eigenschappen van de strategische grondwatervoorraad en het aangrenzende grondwater beter te kunnen definiëren.

Het achterliggende doel voor de provincie Utrecht is om beter afwegingen te kunnen maken over het grondwater in de strategische grondwatervoorraad ten behoeve van beleid en regelgeving. Het streven daarbij is om het grondwater dat geschikt is voor toekomstige drinkwatervoorziening te beschermen, en tegelijkertijd ruimte te bieden aan andere gebruikers van de ondergrond, zoals bodemenergie en geothermie. De ondergrond- en grondwaterexperts werkzaam bij het team Water en bodem van de provincie Utrecht vormen de doelgroep van de pilot. Voor de doelgroep is het van belang dat zij een instrument hebben om beleidskeuzes en plannen m.b.t. ondergrond-/grondwatergebruik voor te bereiden en die aan bewoners, bestuurders en collega's kunnen uitleggen.

1.3 Eindproduct

Het eindproduct is primair de voorliggende rapportage, met

- een beschrijving van het werkproces om in samenspraak met de provincie de voorliggende resultaten te bereiken (Hoofdstuk 2);
- een procedure voor de selectie van relevante ondergrondgegevens en informatie, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn;
- een procedure voor de vertaling van informatie uit het door TNO-GDN geproduceerde hydrogeologische ondergrondmodel [BRO REGIS II](#) naar regionale behoefte, m.n. door middel van een schematisatie in watervoerende pakketten en scheidende lagen, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn;
- een eerste verkenning van mogelijkheden voor beheer, analyse en visualisatie van de informatie, in de context van gebruik door decentrale overheden;
- handreikingen voor het gebruik van de resultaten door decentrale overheden.

Daarnaast is een Pythonscript ontwikkeld waarmee een vooraf gedefinieerde schematisatie van REGIS II eenheden in watervoerende pakketten en scheidende lagen reproduceerbaar en efficiënt kan worden geïmplementeerd in een GIS-omgeving.

Tot slot heeft dit proces geresulteerd in een GIS-dataset bestaande uit twee ArcGIS-packages, waarin een selectie van feitelijke informatie van de ondergrond en het grondwater in de provincie Utrecht is bijeengebracht.

2 Werkproces

2.1 Gezamenlijk proces

Omdat het een pilot betreft, was een gezamenlijke verkenning van de mogelijkheden en vaststelling van de te volgen werkwijze essentieel. Daartoe zijn in 2023 en 2024 negen overleggen en werksessies geweest tussen TNO-GDN en de provincie Utrecht. Tijdens deze overleggen werden de onderstaande stappen afgestemd:

1. Data-inventarisatie en selectie;
2. Vertaling van de informatie naar de regionale behoefte;
3. Samenstelling van de GIS-dataset;
4. Evaluatie en aanscherping;
5. Aanbeveling m.b.t. visualisatie en gebruik

Dit gezamenlijke proces had een iteratief karakter. Stappen 1 t/m 4 zijn gedurende de pilot meerdere keren doorlopen.

Rode draad bij alle stappen was de discussie welke criteria gehanteerd moeten worden om de geschiktheid van grondwatervoorraden voor drinkwaterproductie en bodemenergie / geothermie te beoordelen (hierna: geschiktheidscriteria), en welke datatypen die informatie kunnen verschaffen.

2.2 Data-inventarisatie en selectie

Ten behoeve van de data-inventarisatie werd eerst een groslijst opgesteld van direct toegankelijke gegevens (laaghangend fruit). Op basis van de groslijst werd vervolgens een eerste versie van de GIS-dataset samengesteld. De kern van de dataset bestaat uit de door TNO-GDN geproduceerde gegevens van de BRO ondergrondmodellen. Daarnaast vormt informatie over zoet, brak en zout grondwater een belangrijk onderdeel. Door derden beheerde gegevens, zoals AHN maaiveld, LGN landgebruik en Natura2000-gebieden zijn op externe servers (i.e. niet beheerd door TNO of de provincie Utrecht) beschikbaar. TNO-GDN heeft daarom niet de data zelf maar de adressen van deze webservices opgenomen in de GIS-dataset. Tot slot is een klein aantal gegevensbestanden gedefinieerd die bij het opstellen van dit rapport (nog) niet beschikbaar waren, en te zijner tijd door de provincie Utrecht kunnen worden toegevoegd.

De gegevens van de BRO ondergrondmodellen REGIS II en GeoTOP zijn gebaseerd op de in 2024 actuele versies, respectievelijk REGIS II versie 2.2.2. en GeoTOP v1.6. Begin 2025 zijn nieuwe versies gepubliceerd, respectievelijk versies 2.2.3 en 1.6.1.. Het betreft releases waarin de naamgeving van de eenheden is gewijzigd door toevoeging van een voorvoegsel NU, een referentie naar de Boven-Noordzee Groep, aan alle codes. In deze rapportage wordt nog verwezen naar de benamingen zonder het voorvoegsel NU.

Uit de eerste versie van de GIS-dataset bleek dat niet alle gegevens aansloten op de behoeften van de provincie, vanwege redundantie of omdat ze te weinig onderscheidend zijn voor de geschiktheid van grondwatervoorraden (anders gezegd: ze bevatten te weinig informatie over de benodigde geschiktheidscriteria). Anderzijds bleek bepaalde wél gewenste informatie, bijvoorbeeld over grondwaterkwantiteit en -kwaliteit, (nog) niet direct toegankelijk. Dit vergde daarom nadere inventarisatie. Er was dus aanleiding om de dataset iteratief aan te scherpen.

2.3 Vertaling naar regionale behoefte

De vertaling van informatie naar de regionale behoefte had betrekking op twee aspecten:

- Inhoudelijk/hydrogeologisch: Schematisatie van informatie uit REGIS II v2.2.2, van het niveau van hydrogeologische eenheden naar watervoerende pakketten en scheidende lagen;
- Datatechnisch: op maat maken (clippen) van alle bestanden.

2.3.1 Schematisatie in WVP en SDL

In grondwaterbeheersvraagstukken wordt doorgaans gewerkt met een onderscheid in watervoerende pakketten (WVPs) en scheidende lagen (SDLs). WVPs bestaan overwegend uit goed doorlatend sediment zoals zand en grind, hebben daardoor een goed waterleverend vermogen en zijn doorgaans geschikt voor de winning van grondwater. SDLs bestaan overwegend uit matig tot slecht doorlatend sediment zoals klei en veen, en fungeren vaak als hydraulische barrière (scheiding) tussen de WVPs.

Het hydrogeologische ondergrondmodel BRO REGIS II is opgebouwd uit zandige, kleiige en complexe (heterogene) eenheden. Deze eenheden worden onderscheiden op basis van lithologische samenstelling, ontstaanswijze en stratigrafische ligging.

De WVPs bestaan vaak uit meerdere zandige REGIS II eenheden, zodat een aggregatieslag nodig is. Bij de publicatie van REGIS II v2.1 is voor elke provincie in Nederland een schematisatie in WVP en SDL gepresenteerd¹. Deze hebben echter nooit brede toepassing gekregen. In de praktijk wordt in de provincie Utrecht ook een schematisatie in WVP en SDL gehanteerd, maar tot nu toe is deze niet geformaliseerd en kunnen er per toepassing (kleine) verschillen optreden. Belangrijk verschil met de eerdere schematisatie is dat in de provincie Utrecht hydrogeologisch sterk verschillende deelgebieden kunnen worden onderscheiden, met elk een eigen schematisatie. Intussen is ook REGIS II v2.1 vervangen door v2.2. Er zijn dus meerdere redenen om een formele schematisatie in WVP en SDL op te stellen.

De schematisatie in WVPs en SDLs op basis van de bestanden van de REGIS II eenheden vond in samenspraak met de provincie Utrecht plaats via de onderstaande stappen. Stappen 3 en 4 zijn vastgelegd in een Pythonscript ten behoeve van reproduceerbaarheid en een efficiënt werkproces, in geval van een mogelijk bredere toepassing bij andere decentrale

¹ Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn (2005) Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO rapport NITG 05-038-B. TNO, Utrecht, 69 pagina's + bijlagen.

overheden. Vooral nog staat het script bij TNO-GDN op de interne GitLab. Desgewenst kan het extern gedeeld worden.

1. Het projectgebied is onderverdeeld in vier hydrogeologisch verschillende deelgebieden. Het resultaat is vastgelegd in een polygoon-shapebestand. De onderverdeling is bovendien toegelicht aan de hand van een beknopte verhaallijn van de ondergrond in de provincie Utrecht;
2. Per deelgebied is een schematisatie in WVP en SDL opgesteld op twee niveaus, een hoofdlijnniveau en een detailniveau. Leidend hierbij was de ruimtelijke verbreiding en dikte van kleiige en complexe eenheden in REGIS II v2.2.2. Kleiige eenheden die in een groot deel van een deelgebied voorkomen, vormen een SDL op hoofdniveau. De zandige REGIS II eenheden die tussen de aldus benoemde SDLs liggen, vormen samen een WVP. De schematisaties zijn als (letterlijk) schematische doorsneden vastgelegd in een Excelbestand;
3. Per WVP en SDL zijn de onderstaande grootheden berekend:
 - Het niveau van de top (eenheid mNAP), gedefinieerd door de top van de bovenste inliggende REGIS II eenheid;
 - Het niveau van de basis (eenheid mNAP), gedefinieerd door de basis van de onderste inliggende REGIS II eenheid;
 - De dikte (eenheid m), het verschil tussen de niveaus van top en basis;
 - Het doorlaatvermogen (KD-waarde, eenheid m^2 per dag, m^2/d), alleen voor WVPs berekend als de som van de KD-waarden van de zandige eenheden die deel uitmaken van het WVP;
 - De gemiddelde doorlatendheid (eenheid meter per dag, m/d), alleen voor WVPs berekend als de KD-waarde gedeeld door de dikte;
 - De verticale hydraulische weerstand (c, eenheid dagen, d), alleen voor SDLs berekend als de som van de c-waarden van de kleiige en complexe eenheden die deel uitmaken van de SDL.
4. Daar waar SDLs afwezig zijn, staan opeenvolgende WVPs met elkaar in verbinding. Voor een optimale inschatting van het grondwatersysteem en de hydraulische eigenschappen ter plaatse is het dan zinvol om de WVPs samen te voegen. Dit kunnen meer dan twee WVPs zijn, daar waar opeenvolgende SDLs ontbreken. Aanvullend op de datasets per WVP zijn daarom ook datasets van aldus samengevoegde WVPs gegenereerd. Per WVP-na-samenvoeging zijn dezelfde grootheden berekend als voor de afzonderlijke WVPs, zie stap 3.

Bij de schematisatie is geprobeerd om zoveel mogelijk in lijn te blijven met de door de provincie al gehanteerde informele schematisatie(s).

2.3.2 Op maat maken

Om onnodig groot beslag op serverruimte en laad- en rekestijden te vermijden, zijn alle bestanden met oorspronkelijk een landelijke dekking op maat gesneden van het pilotgebied, i.e. de provincie Utrecht met rondom een buffer van 10 km. Ook zijn alle bestanden van asciigrid-formaat geconverteerd naar tiff- en xml-formaat. Dit reduceert de bestandsgrootte met ongeveer een factor 1000. De opslag- en rekenlast is verder verminderd door alle bestanden met informatie over REGIS II eenheden die niet in het pilotgebied zijn gekarteerd, in hun geheel te verwijderen.

2.4 Verkenning mogelijkheden voor visualisatie en gebruik

Vanuit de eigen praktijk heeft TNO-GDN de nodige ervaring met het gebruik van diverse typen viewers afkomstig van verschillende (externe) leveranciers. Om decentrale overheden een indruk te geven van de mogelijkheden voor visualisatie is daarom een korte Powerpoint met impressies van een viertal uiteenlopende, bij TNO-GDN bekende applicaties met databeheer-, analyse- en/of visualisatie-functionaliteit samengesteld. Deze werden voorzien van enkele steekwoorden die de belangrijkste kenmerken beschrijven, zoals analyse- en opmaakmogelijkheden en door decentrale overheden benodigde eigen expertise. Dit is vervolgens toegelicht tijdens één van de overlegmomenten met de provincie Utrecht, en geplaatst in de context van de behoeften van de provincie.

2.5 Samenstelling van de GIS-dataset

In overleg met de vanuit de provincie Utrecht betrokken GIS-medewerker zijn de opeenvolgende versies van de GIS-dataset samengesteld door TNO-GDN en vervolgens als ArcGIS Pro package (*.ppkx formaat) aan de provincie uitgeleverd.

3 Resultaten

3.1 Inleiding

De in dit hoofdstuk beschreven resultaten zijn per onderdeel (paragraaf) onderverdeeld in resultaten die voor decentrale overheden in het algemeen (her)bruikbaar zijn, en resultaten die specifiek voor de provincie Utrecht zijn gerealiseerd.

3.2 Data-inventarisatie en selectie

3.2.1 Resultaat voor decentrale overheden: afwegingen bij de inventarisatie en selectie van data

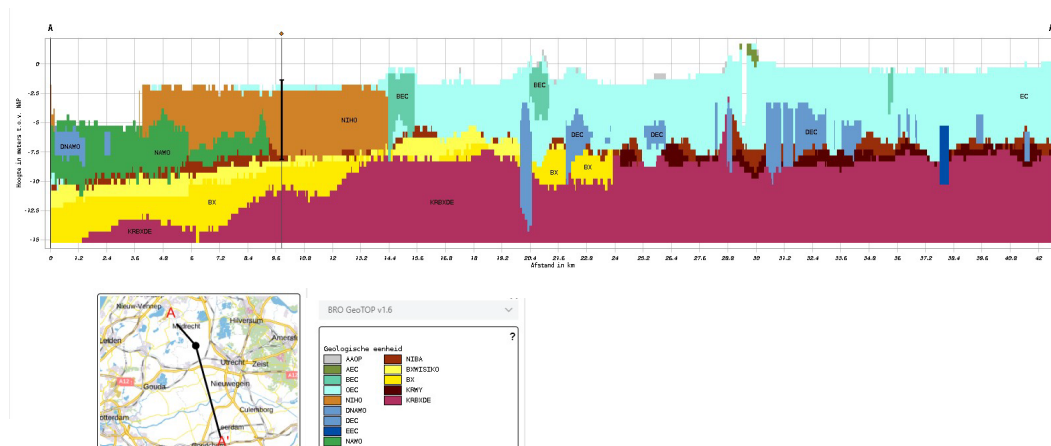
3.2.1.1 Ondergrondmodellen

De eerste versie van de GIS-dataset bestond hoofdzakelijk uit de door TNO-GDN gepubliceerde bestanden van de ondergrondmodellen BRO DGM v2.2, BRO REGIS II v2.2.2 en BRO GeoTOP v1.6. Vanwege het grote aantal eenheden in de verschillende modellen en het aantal bestanden per eenheid (niveaus top en basis, dikte, hydraulische eigenschappen REGIS II) leverde dit 'een prachtige veelheid aan data' (citaat provincie) op, die echter de vraag oproep in hoeverre al deze data daadwerkelijk meerwaarde zou bieden voor toepassingen rond de strategische grondwatervoorraad. Daarop is kritisch gekeken naar de mogelijke meerwaarde. Met als gevolg een aanzienlijke opschoning van de selectie.

De verwijdering uit de selectie betrof ten eerste alle BRO DGM v2.2 bestanden. Deze bevatten exact dezelfde informatie over de geometrie van de geologische eenheden als BRO REGIS II v2.2.2, maar missen de voor grondwatervraagstukken essentiële informatie over zandige, kleiige en complexe hydrogeologische eenheden (dikte, doorlatendheden, KD- en c-waarden).

Ten tweede zijn vrijwel alle BRO GeoTOP v1.6 lagenmodelbestanden uit de selectie verwijderd. In de provincie Utrecht dateert de GeoTOP-modellering uit 2007. Tot voor kort hadden de REGIS- en GeoTOP-werkprocessen elk hun eigen lagenmodel. Daardoor zijn er verschillen tussen de geometrieën van eenzelfde eenheid in beide modellen. Opname van beide, onderling verschillende informatiebestanden in de GIS-dataset zou leiden tot vragen bij de gebruiker. Gekozen is om de GeoTOP-lagenmodelbestanden te verwijderen omdat deze tot geringere diepte gaan dan REGIS II v2.2.2 en (net als DGM) niet de informatie over de hydrogeologische eenheden bevatten. Voor de Holocene geulafzettingen is een uitzondering gemaakt, omdat deze gedetailleerder in het GeoTOP-lagenmodel zitten. Waar in REGIS II v2.2.2 het Holoceen als één complexe eenheid wordt gemodelleerd (HLC), is in GeoTOP onderscheid gemaakt in verschillende formaties, en is bovendien onderscheid

gemaakt in diverse generaties geulafzettingen. Het hogere detailniveau aan informatie over Holocene geulafzettingen in vergelijking met REGIS II v2.2.2. kan meerwaarde bieden bij beleidsafwegingen waarbij de doorwerking van effecten naar maaiveld een belangrijke rol speelt.



Figuur 3.1: Geologisch dwarsprofiel in GeoTOP v1.6 door het westen van de provincie Utrecht. De Holocene geulafzettingen zijn de eenheden DNAWO, AEC, BEC, DEC en EEC.

Ten derde is een groot aantal bestanden met betrekking tot breuken in DGM en REGIS II uit de selectie verwijderd. Voor wat betreft breuken wordt volstaan met het overzichtsbestand van breuken in REGIS II v2.2.2. In dit bestand zijn breuken onderverdeeld in breuksecties of -segmenten. Per sectie is de ligging vastgelegd, alsmede de REGIS II eenheid waarboven de breuk is uitgedoofd. Voor zowel DGM als REGIS II zijn ook bestanden beschikbaar waarin per modeleenheid de breuksegmenten zijn opgenomen die in die eenheid werkzaam zijn (i.e., een verzet veroorzaken). Vanwege redundantie in de informatie zijn al deze breukenbestanden verwijderd uit de selectie. Ook het overzichtsbestand van breuken in DGM is verwijderd, omdat het overzichtsbestand van breuken in REGIS II meer detail over het niveau van uitdoving bevat. De ligging van de breuken is in beide overzichtsbestanden identiek.

3.2.1.2 Zoet, brak en zout grondwater

De geschiktheid van grondwatervoorraden voor drinkwaterproductie wordt mede bepaald door het chloridegehalte. Tot nu toe wordt alleen zoet water gewonnen voor drinkwater. Recentelijk zijn in Nederland ook initiatieven gestart om licht brak grondwater te winnen. Verder kan in ondiepere watervoerende pakketten het chloridegehalte van invloed zijn op het ontwerp en de toelaatbaarheid van open bodemenergiesystemen.

De primaire informatiebron voor de overgangsdiepten van zoet naar brak en van brak naar zout grondwater wordt gevormd door respectievelijk de grensvlakbestanden van 150 mg/l en 1000 mg/l chloride die voor het NHI (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, www.nhi.nu) zijn geïnterpoleerd², en vervolgens na een nabewerking met het grondwatermodel LHM³ zoet zout in het project Nationale Grondwater Reserves (NGR) zijn

² 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.

³ LHM = Landelijk Hydrologisch Model

gebruikt⁴. Per overgang zijn drie grensvlakken (p75, p50 en p25) afgeleid ter kwantificering van de onzekerheid in de interpolatie. Verder is een 1000 mg/l chloride grensvlakbestand beschikbaar via de viewer Grondwaterkwaliteit-in-Beeld⁵, gebaseerd op Stuurman e.a. (2006)⁶. De verschillen tussen de genoemde informatiebronnen voor de brak- zout overgang kunnen aanzienlijk zijn, orde tientallen meters. Daarbij ligt het NGR p50 brak- zout grensvlak meestal dieper dan het Stuurman e.a. (2006) grensvlak. Voor de zoet-brak overgang zijn de verschillen tussen de NGR p25, p50 en p75 grensvlakken van dezelfde orde van grootte.

Om de beschreven verschillen beter te duiden is een aantal historische (1950s-1970s) VES-metingen in het noordwesten van de provincie opnieuw geïnterpreteerd. Bij VES-metingen (Vertical Electric Sounding) wordt de elektrische weerstand van de ondergrond op verschillende diepten bepaald met behulp van elektroden die langs een rechte lijn op verschillende afstanden in de grond worden gestoken. De meetresultaten worden vervolgens geïnterpreteerd om de invloed op de weerstand van de lithologie (klei vs. zand) te scheiden van de invloed van zoet en zout grondwater. Omdat de VES-metingen dateren van vóór de bouw van REGIS, kan met de huidige kennis van de ondergrond in REGIS II v2.2.2 een betere interpretatie van het gemeten weerstandsprofiel verkregen worden (Meekes, 2024⁷). Bovendien is de huidige interpretatiemethode zelf verbeterd ten opzichte van de destijds gebruikte methoden. Ten behoeve van reproduceerbaarheid en een toekomstige bredere toepassing van de methodiek is deze in het kader van de pilot geoptimaliseerd en is de workflow vastgelegd. De hier gevolgde methode bouwt voort op een onderzoek naar brakwatervoorkomens in Friesland, Flevoland en Noordwest-Overijssel (Broers e.a., 2018⁸). In dat onderzoek zijn VES-metingen niet geherinterpreteerd, maar de “oude” VES-modellen zijn grafisch geprojecteerd op de destijds actuele REGIS II lagen, wat leidde tot een verbeterd inzicht in de verbreiding van brak water.

De resultaten van de herinterpretaties in Noordwest-Utrecht zijn beschreven in paragraaf 3.2.2.2.

3.2.1.3 Grondwaterkwantiteit

Nieuwe grondwateronttrekkingen voor drinkwaterproductie (hierna: drinkwaterwinningen) kunnen leiden tot grondwaterstandsverlagingen en vermindering van kwel. In het kader van NGR zijn met LHM zoet-zout versie 4.1.2 zgn. ‘wandelend pompstation’ berekeningen gemaakt voor structurele winningen van 2 en 4 miljoen m³/jaar, met als doel om deze effecten in beeld te brengen⁹. Op basis van de resultaten zijn gebiedsdekkende GIS-bestanden beschikbaar waarin per windebiet, per 2 x 2 km² en per watervoerend pakket een stijghoogteverlaging is berekend, alsmede een effect op de kwelflux door de deklaag. De verlaging- en kweleffectkaarten zijn bruikbaar voor de evaluatie van de geschiktheid van grondwatervoorraden voor drinkwaterwinning. Dit geldt vooral voor een windebiet van 4

⁴ 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.

⁵ <https://www.grondwatertools.nl/gwatlas/>

⁶ 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.

⁷ 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.

⁸ Broers, H.P., T. Kivits en M. van Vliet (2019). Verkenning brakwater domein Vitens. TNO-rapport TNO 2018 R11627.

⁹ Delsman, J. & Van Dam, R. (2024). Analyse winbaarheid. Deelrapportage 5a van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves. Deltares rapport 11207846-002-BGS-0009.

miljoen m³/jaar, dat in dezelfde orde van grootte ligt als bestaande drinkwaterwinningen. Beide kaarten bij een windebiet van 4 miljoen m³/jaar zijn daarom toegevoegd aan de GIS-dataset.

Een te hoge stroomsnelheid van het grondwater kan de geschiktheid van de ondergrond voor open bodemenergiesystemen beïnvloeden. Het is in principe mogelijk om deze gebiedsdekkend te berekenen op basis van bestanden van de stijghoogte, doorlatendheid en een aanname voor porositeit. Omdat tijdens de pilot niet eenduidig is besloten of en hoe dit criterium in de praktijk gebruikt zal kunnen worden, is afgezien van het afleiden en opnemen van een bestand met informatie over grondwaterstroomsnelheden in de GIS-dataset. Desgewenst kan dit te zijner tijd door de provincie Utrecht zelf worden uitgevoerd op basis van berekende stijghoogten uit het grondwatermodel AZURE.

3.2.1.4 Grondwaterkwaliteit

Vanuit het Knooppunt Bodem Informatie van de Regionale Omgevingsdienst Utrecht is gebiedsdekkende informatie over verontreinigingspluimen in het grondwater beschikbaar. Deze informatie was bij het opstellen van dit rapport nog niet beschikbaar, en kan door de provincie Utrecht zelf worden toegevoegd aan de GIS-dataset.

De experts van de provincie Utrecht hebben aangegeven dat de redoxgrens en PFAS-belasting van het grondwater andere grondwaterkwaliteitsparameters zijn die van belang kunnen zijn voor de besluitvorming rond grondwatervoorraden, en daarom in principe meerwaarde hebben voor de GIS-dataset. Bij het opstellen van dit rapport bleek gebiedsdekkende informatie over deze parameters (nog) niet beschikbaar.

Voor het overige is gezamenlijk vastgesteld dat grondwaterkwaliteit, anders dan chloridegehalte, als niet (bij voorbaat) beperkend wordt beschouwd voor de geschiktheid van grondwatervoorraden voor drinkwaterproductie of andere gebruiksvormen.

3.2.1.5 Aardwarmte

ThermoGIS is een openbaar GIS systeem dat ontwikkeld is door TNO-GDN. ThermoGIS geeft de regionale potentie van geothermie in Nederland weer aan de hand van een aantal kaarten van de ondergrond. De potentie voor aardwarmte is relevant voor het beleid om mee te nemen in afwegingen voor gebruik van de ondergrond. Aardwarmteprojecten kunnen namelijk conflicteren met grondwatervoorraden, in verband met doorboring van beschermende kleilagen en lokale thermische effecten. Voor de afweging is de vraag van belang of er wel of geen potentie is, ongeacht in welke aquifer. Dit wordt in ThermoGIS weergegeven in de overzichtskaart van de economische potentie in Nederland. In deze kaart wordt de informatie over de economische potentie van alle separate aquifers geaggregeerd door per XY-locatie de waarde over te nemen van de gunstigste aquifer. De economische potentie is echter een momentopname, afhankelijk van actuele prijzen van conventionele energiebronnen en van de stand der technologie. De economische potentie kan sterk fluctueren en daarmee het geschikte areaal vergroten van vrijwel nergens tot vrijwel het gehele aandachtsgebied. De technische potentie wordt in de huidige ThermoGIS-workflow alleen bepaald in die gebieden waar economische potentie bestaat. Omdat in een groot deel van de provincie Utrecht de economische potentie volgens de actuele versie van ThermoGIS

(v2.3) onbekend is, is ook de technische potentie onbekend. Voor toepassing in de onderhavige pilot, (ook) gericht op evaluatie van grondwaterbeleid voor de langere termijn, is daarom afgezien van het gebruik van de ThermoGIS-informatie. De beschikbare feitelijke informatie over de huidige vergunningen (stand zomer 2024) voor aardwarmte is wel opgenomen in de GIS-dataset. Om ook in de toekomst te beschikken over actuele informatie over vergunningen wordt aanbevolen om een koppeling te maken met [nlog-mapviewer](#).

3.2.2 Resultaten voor de provincie Utrecht

3.2.2.1 Overzicht definitieve selectie data

Het resultaat van de definitieve selectie van data voor gebruik in de GIS-dataset, op basis van de inventarisatie, is opgenomen in Bijlage A.

In het overzicht is aangegeven of het informatie betreft die naar verwachting een rol gaat spelen in de dagelijkse praktijk bij de provincie, of alleen zal worden geraadpleegd als naslagwerk. De informatie voor dagelijks gebruik is onderverdeeld naar

- (1) gebruik t.b.v. visualisatie in dwarsprofielen;
- (2) gebruik als criterium voor geschiktheid grondwatervoorraad, en
- (3) ondersteunend / niet nader gespecificeerd.

In paragraaf 3.4.1.1 worden handreikingen gegeven voor het gebruik van de informatie in relatie tot de geschiktheidscriteria.

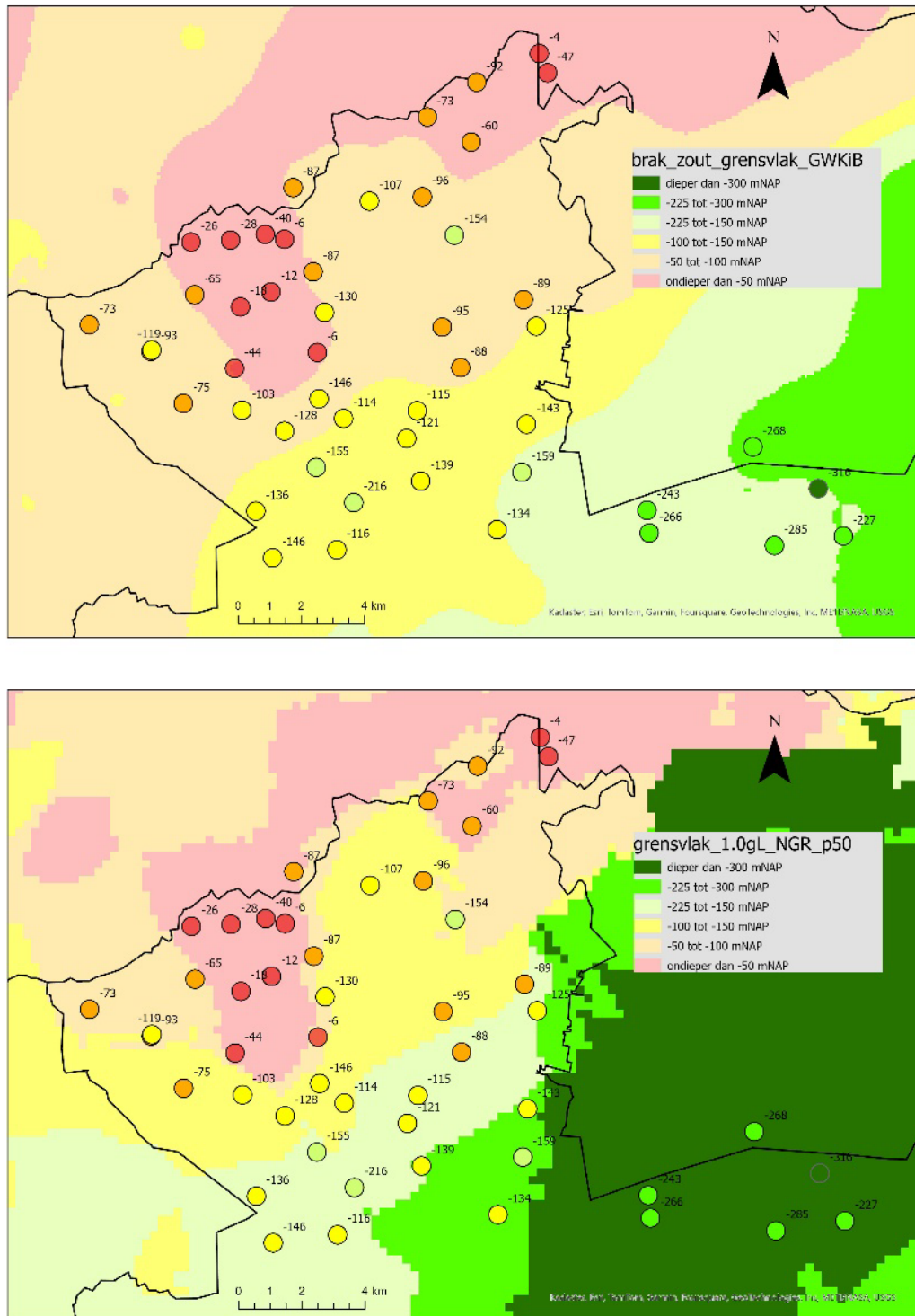
Zoals beschreven in paragraaf 3.2.1 is het overzicht het resultaat van een iteratief proces waarbij de aanvankelijke selectie op een aantal punten is aangepast. De keuzes die gedurende het proces zijn gemaakt om bepaalde data uit de selectie te verwijderen of op te nemen zijn in de sub-paragrafen onder paragraaf 3.2.1 toegelicht.

3.2.2.2 Herinterpretaties VES-metingen Noordwest-Utrecht

De brak-zout overgangen volgens de herinterpretaties liggen over het algemeen iets dieper dan volgens de oude interpretaties, en tussen de grensvlakbestanden NHI/NGR en Stuurman (2006) in, zie Figuur 3.2. De zoet-brak overgangen volgens de herinterpretaties zijn over het algemeen goed in lijn met NHI/NGR, p50, zie Figuur 3.3.

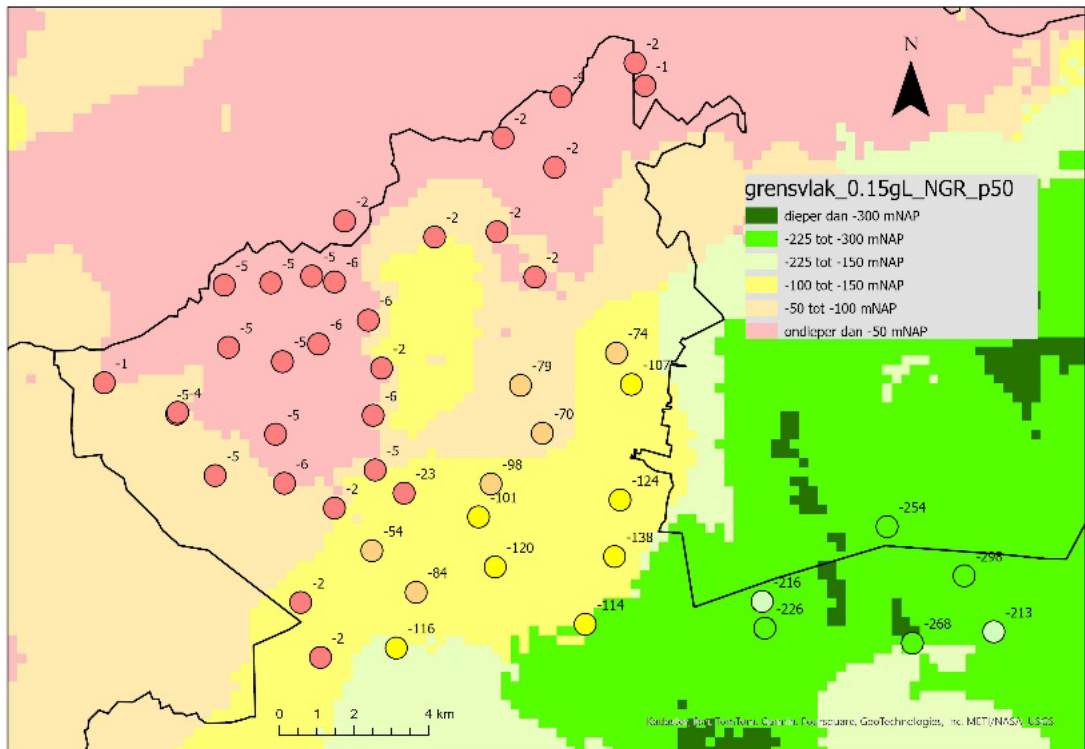
De onzekerheid rond de interpretaties is 10-20% van de diepte, daar waar de REGIS II informatie in lijn is met het VES-weerstandprofiel. In de VES-metingen in het zuidoosten van het testgebied is dit niet het geval en is de onzekerheid groter. Dit kan er op duiden dat REGIS II v2.2.2. hier voor verbetering vatbaar is, of dat gestuwde afzettingen met een hellingshoek parallel aan de lijn van de VES-meting een storende factor zijn in de interpretatie. De precieze oorzaken van de discrepantie tussen REGIS II en de gemeten weerstandsprofielen in dit gebied zijn niet nader onderzocht, waardoor de onzekerheid van de overgangsdiepten hier niet gekwantificeerd kan worden. Vanwege de verbeterde methodiek zijn ook deze herinterpretaties alsnog van betere kwaliteit dan de oude

interpretaties. Bovendien zijn alle herinterpretaties onderling goed vergelijkbaar doordat overal dezelfde methodiek wordt toegepast.



Figuur 3.2: Diepte van de overgang van brak naar zout grondwater volgens de herinterpretaties van VES-metingen (stippen), het brak zout grensvlak volgens Stuurman e.a. (2006) (boven) en volgens NHI/ NGR, p50 (onder). De legenda's zijn identiek

Samengevat hebben de herinterpretaties geleid tot het inzicht dat er voor de diepte van de brak-zout overgang geen eenduidige voorkeur bestaat voor één van de gebiedsdekkende grensvlakbestanden (NHI/NGRp25,p50,075 of Stuurman 2006), en dat rekening moet worden gehouden met onzekerheden in de orde grootte van enkele tientallen meters. Daarom zijn alle genoemde 1000 mg/l Cl⁻ grensvlakbestanden opgenomen in de GIS-dataset.



Figuur 3.3: Overgang van zoet naar brak grondwater volgens de herinterpretaties van VES-metingen (stippen) en NHI/NGR, p50 (midden). De legenda's zijn identiek.

Voor de diepte van zoet brak overgang is het 150 mg/l Cl⁻ NHI/NGR p50 grensvlakbestand de beste schatting, maar zijn ook de p25 en p75 van belang voor een indruk van de onzekerheid en daarom zijn deze ook in de GIS-dataset opgenomen. Volledigheidshalve zijn ook de NHI/NGR-bestanden met gebieden waar inversies voorkomen (brak-boven-zoet-boven-brak of zout-boven-brak-boven-zout) opgenomen.

3.3 Schematisatie in WVP en SDL

3.3.1 Resultaat voor decentrale overheden: afwegingen bij de schematisatie

3.3.1.1 Gestuwde afzettingen

In de ondergrond van de noordoostelijke helft van Nederland (waaronder ook de provincie Utrecht), komen gestuwde afzettingen voor (REGIS II eenheid DTc). De hydraulische eigenschappen van gestuwde afzettingen zijn minder goed bekend dan van de overige hydrogeologische eenheden, en zijn daarom niet geparametriseerd in REGIS II v2.2.2. Om geen informatie te verliezen over andere REGIS II eenheden die samen met DTc deel uitmaken van een WVP, is aan de KD van DTc een dummy-waarde van $1 \text{ m}^2/\text{d}$ toegekend. De werkelijke KD-waarde van gestuwde afzettingen is naar verwachting hoger. Dit betekent dat de KD-waarden van watervoerende pakketten met gestuwde afzettingen als een ondergrens moeten worden beschouwd. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde K-waarde van deze watervoerende pakketten, en voor watervoerende pakketten die hiermee zijn samengevoegd in stap 4 van paragraaf 2.3.1. Omdat de dikte van DTc wel is opgenomen in de GIS-dataset, kan desgewenst de KD-waarde van de betreffende watervoerende pakketten worden herberekend met een aanname voor de K-waarde.

3.3.1.2 Samenvoegen watervoerende pakketten

Bij het samenvoegen van watervoerende pakketten (stap 4 van paragraaf 2.3.1) bleken in sommige gebieden twee, drie of vier opeenvolgende scheidende lagen te ontbreken. Dit leidt tot een groot aantal combinaties van watervoerende pakketten-na-samenvoeging. Om het overzicht te bewaren zijn daarom aanvullend op de GIS-bestanden van de in paragraaf 2.3.1 stap 3 genoemde grootheden per watervoerend pakket-na-samenvoeging ook shapefiles met de verbreidingen gegenereerd. Het Pythonscript is zo geprogrammeerd om maximaal 5 opeenvolgende watervoerende pakketten te herkennen en samen te voegen.

3.3.1.3 Samenvoegen scheidende lagen

De meeste kleiige eenheden worden boven en onder begrensd door watervoerende pakketten, en vormen dus zelfstandig een SDL. Daar waar twee kleiige eenheden in elkaar overgaan of op elkaar liggen, kunnen ze worden samengevoegd. Het Pythonscript is zo geprogrammeerd om maximaal twee opeenvolgende kleiige eenheden te herkennen en samen te voegen tot een SDL.

3.3.2 Resultaat voor de provincie Utrecht

3.3.2.1 Indeling in deelgebieden

Om de gehanteerde onderverdeling in hydrogeologische deelgebieden toe te lichten, is een beknopte verhaallijn opgesteld van de ontstaanswijze van de Utrechtse ondergrond en wat dit betekent voor het grondwater. Ter illustratie daarbij is in Bijlage B een representatieve dwarsdoorsnede uit REGIS II v2.2.2 toegevoegd.

In grote lijnen kan de ondergrond van de provincie Utrecht tot enkele honderden meters diepte worden beschouwd als een grote zandbak waar op verschillende diepten een aantal kleiige lagen in voorkomen. De onderkant hiervan wordt de geohydrologische basis (GHB) genoemd. De top van de GHB wordt gevormd door de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Breda (BRk1). Boven de GHB kan de ondergrond globaal worden onderverdeeld in de matig diepe ondergrond, onder de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Maassluis (MSk1, diepte 80-160 m), en de ondiepe ondergrond tussen MSk1 en maaiveld. In de matig diepe ondergrond zijn er binnen de provincie Utrecht minder verschillen in hydrogeologische opbouw dan in de ondiepe ondergrond.

De matig diepe ondergrond bestaat overwegend uit door de zee gesedimenteerde fijne tot matig grove zanden met een aantal ingeschakelde kleiige lagen, behorende tot de formaties van Breda, Oosterhout en Maassluis¹⁰. In de ondiepe ondergrond zijn wel belangrijke regionale verschillen, ten gevolge van twee geologische processen in het verleden, namelijk breukwerking en de activiteit van landijs. Door breukwerking is in Nederland een tektonisch dalingsgebied ontstaan, de Roerdalslenk. De Roerdalslenk wordt aan de noordoostkant begrensd door de Peelrandbreuk (de meer landelijk bekende benaming) of Kromme Rijnbreuk (een regionaal meer relevante benaming). Deze breuk loopt dwars door de provincie Utrecht, van Wijk bij Duurstede naar Mijdrecht. Ten zuidwesten daarvan zijn de kleiige lagen over het algemeen dikker dan ten noordoosten van de breuk, doordat de Roerdalslenk een dalingsgebied is en er door de relatief lage ligging langduriger sedimentatie en minder erosie heeft plaatsgevonden. Nog verder naar het noordoosten is de opbouw van de ondiepe ondergrond bepaald door de vorming van de Eemvallei als glaciaal bekken door het landijs gedurende de voorlaatste ijstijd, het Saalien (circa 150.000 jaar geleden). Vervolgens is het bekken opgevuld met sediment, waardoor ook in de Eemvallei relatief dikke kleiige lagen voorkomen. In het gebied tussen Roerdalslenk en Eemvallei zijn de kleiige lagen dunner. Voor de geschiktheid voor het winnen van grondwater is dit onderscheid belangrijk: dikkere kleiige lagen betekenen een grotere mate van bescherming tegen (negatieve) invloeden van bovenaf, en minder doorwerking van effecten van een winning richting het maaiveld.

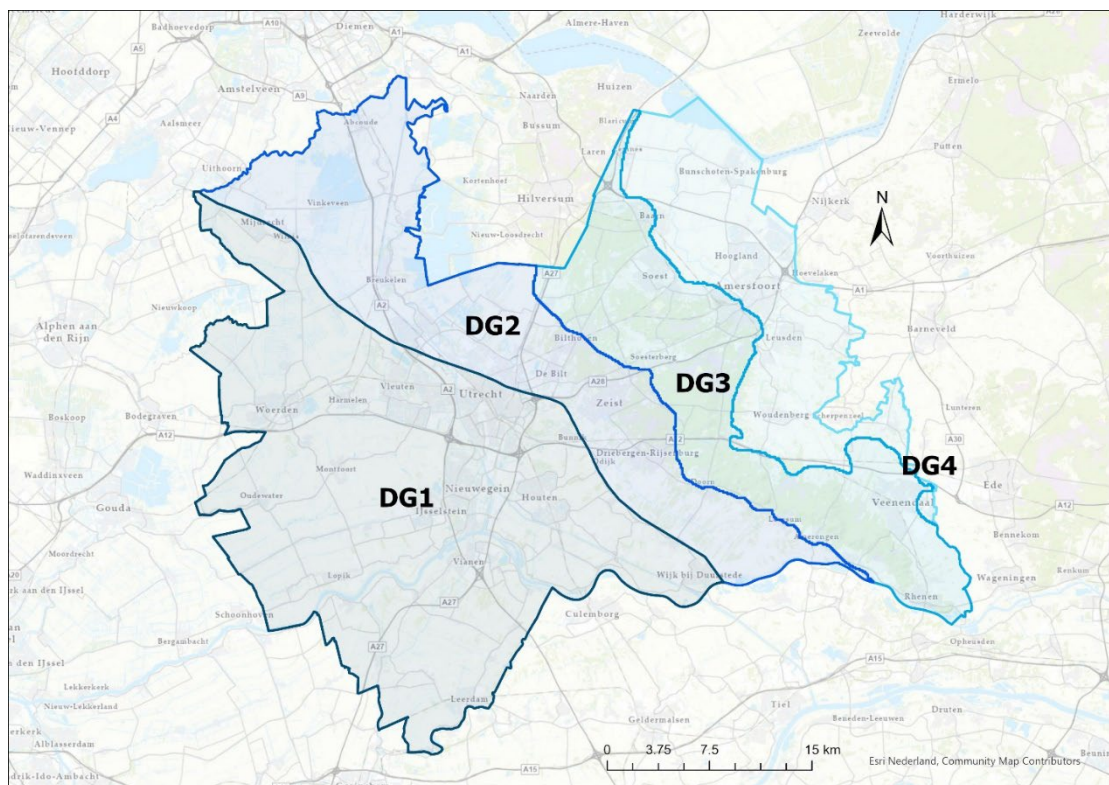
Op basis van deze verhaallijn is de provincie Utrecht onder te verdelen in de onderstaande deelgebieden, van west naar oost gaande, zie Figuur 3.4:

- Deelgebied 1, Zuidwest, de Roerdalslenk. Landschappelijk gezien beslaat dit het zuidelijke deel van het Groene Hart en het Kromme Rijngebied;
- Deelgebied 2, Midden, tussen de Roerdalslenk en de Heuvelrug. Landschappelijk gezien beslaat dit het noordelijke deel van het Groene Hart en het gebied rond de Langbroekerwetering;

¹⁰ Voor meer uitleg over de Formatie van Breda, Oosterhout en Maassluis, zie de formaties van de [Boven-Noordzee Groep | DINOLOket](#).

- Deelgebied 3, Heuvelrug, de gestuwde afzettingen van de Utrechtse Heuvelrug (DTc);
- Deelgebied 4, Eemland en Gelderse Vallei, ten oosten van de gestuwde afzettingen van de Utrechtse Heuvelrug (DTc) waar Eemklei (EEk1) voorkomt.

Elk van de deelgebieden is op hoofdniveau geschematiseerd in acht watervoerende pakketten en maximaal zeven scheidende lagen, afhankelijk van of deze aanwezig zijn. WVP1 is het ondiepst, WVP8 het diepst. De meeste winning van grondwater voor de bereiding van drinkwater vindt momenteel plaats uit WVP2 en WVP3. Deze worden aan de bovenkant begrensd door de eerste en tweede scheidende laag, SDL1 en SDL2. Met name de grotere dikte en continuïteit van deze SDL1 maakt de aanwezige grondwatervoorraad in deelgebieden 1 en 4 over het algemeen minder kwetsbaar voor invloeden van bovenaf dan in deelgebieden 2 en 3. WVP1 en WVP2 worden veel gebruikt voor open bodemenergiesystemen. WVP3 en dieper zijn mogelijk in beeld voor zowel drinkwaterproductie als bodemenergie en op grotere diepte is wellicht geothermie mogelijk. Daarbij neemt de kans op geschiktheid voor de winning van zoet grondwater af met de diepte, dus met oplopend WVP-nummer. De diepte waarop het grondwater brak wordt en vervolgens zout, varieert overigens sterk in de provincie en verloopt ruwweg van diep in het zuiden tot ondiep in het noorden, onder invloed van de afstand tot (de vroegere) zee en de aanwezigheid van diepe polders die het zoute grondwater aantrekken.



Figuur 3.4: Onderverdeling van de provincie Utrecht in vier hydrogeologische deelgebieden.

3.3.2.2 Resultaten schematisatie

De schematisaties zijn opgesteld voor een dieptebereik tot in de Formatie van Breda, en reiken daarmee tot grotere diepte (ca. 300 m) dan de tot nu toe door de provincie Utrecht gehanteerde informele schematisatie(s).

De resulterende schematisaties op hoofdlijnniveau en detailniveau zijn weergegeven in Bijlage C. De schematisatie op hoofdlijnniveau is ook weergegeven in Figuur 3.5. Vanwege de relatief kleine verschillen in hydrogeologische opbouw is de schematisatie van de matig diepe ondergrond hetzelfde gehouden in alle deelgebieden. Dit betekent dat vanaf SDL3 en dieper de nummering van WVPs en SDLs hetzelfde is in de hele provincie.

De matig diepe ondergrond wordt weergegeven met de blauw en groen gekleurde lagen in Figuur 3.5. Over de verbreiding en samenstelling van de eerste zandige eenheid van de Formatie van Breda (BRz1) is in Midden-Nederland weinig bekend. Deze REGIS II eenheid vormt zelfstandig het onderste watervoerende pakket, WVP8, maar vanwege de genoemde onbekendheid is de naamgeving van een vraagteken voorzien (WVP8?). Om technische redenen kon het vraagteken niet in de betreffende bestandsnamen worden doorgevoerd.

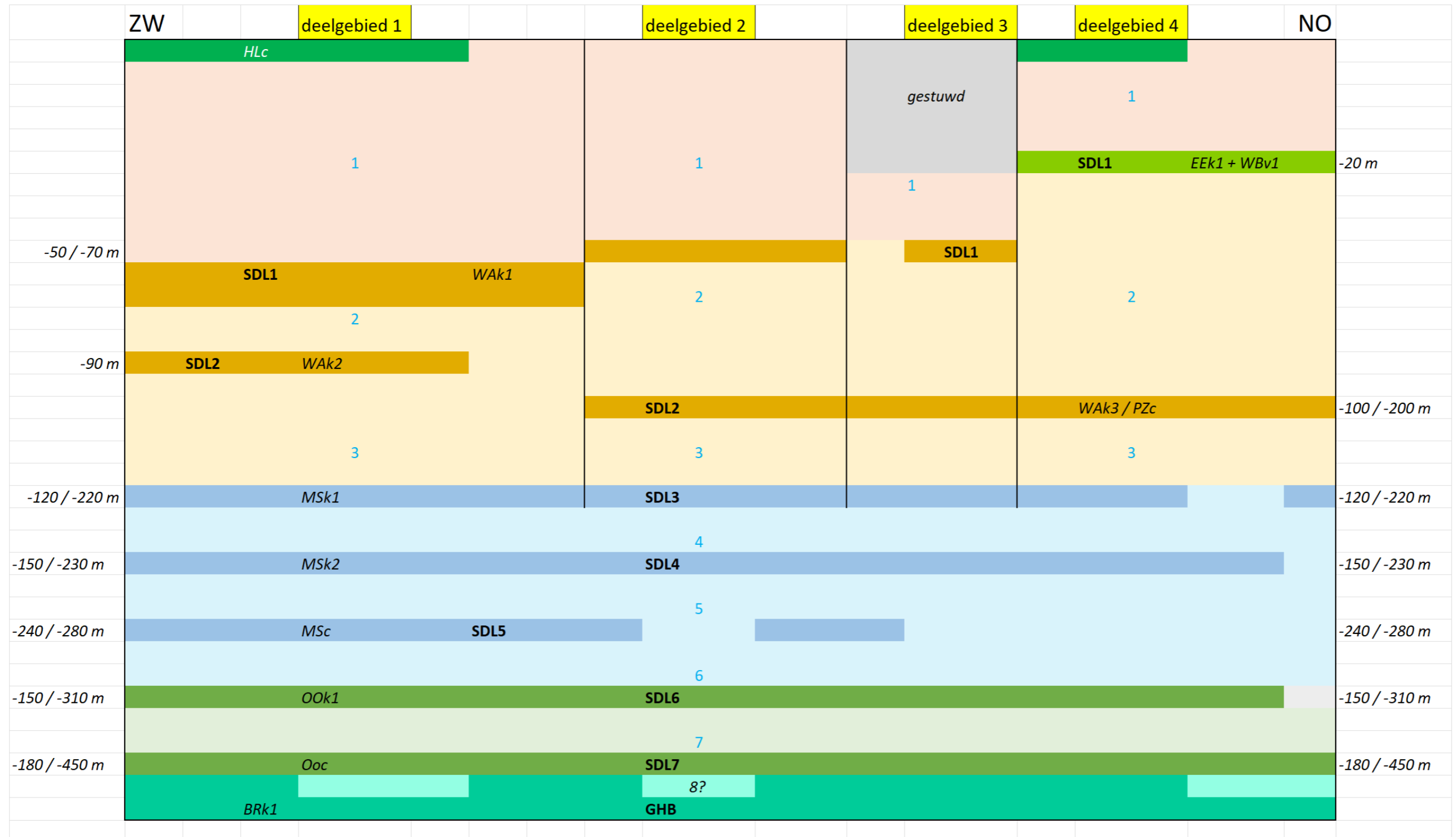
In de ondiepe ondergrond bestaan WVP 2 en 3 uit matig grove tot grove rivierzanden van de Rijn (Formatie van Waalre) en oostelijke rivieren (Formatie van Peize). In deelgebied 4 bestaat het bovenste deel van WVP2 bovendien uit smeltwaterzanden (Formatie van

Drente) en door zee afgezet zand (Eem Formatie). De afzettingen behorende tot WVP2 en WVP3 zijn geel gekleurd in Figuur 3.5.

In deelgebied 4 bestaat SDL2 uit de complexe eenheid binnen de Formatie van Peize (PZc) en de derde kleiige eenheid van de Formatie van Waalre (WAK3). Deze eenheden gaan van noord naar zuid in elkaar over en komen in de overgangszone boven elkaar voor. Deze twee eenheden zijn daarom samengevoegd tot één SDL. De in WVP2 liggende kleiige eenheden van de Formatie van Drente (Laagpakket van Uitdam, DRUIk1, en Laagpakket van Gieten, DRGIk1) komen niet overal voor in deelgebied 4 en zijn daarom alleen in de schematisatie op detailniveau als SDL opgenomen.

WVP1 bestaat in deelgebieden 1 en 2 hoofdzakelijk uit grofzandige rivierafzettingen (formaties van Sterksel, Urk en Kreftenheye), in deelgebied 3 uit door het landijs gestuwde afzettingen en in deelgebied 4 uit door de wind afgezet, overwegend fijn zand (Formatie van Boxtel). De gestuwde afzettingen zijn grijs gekleurd, de overige in WVP1 opgenomen afzettingen zijn roze gekleurd in Figuur 3.5. In deelgebied 1 en delen van deelgebieden 2 en 4 tenslotte wordt het geheel bedekt door kleiige en venige Holocene afzettingen, lokaal doorsneden door zandige geulen.

In een vrij groot deel van deelgebied 4 ligt de eerste venige eenheid van de Formatie van Woudenberg (WBv1) direct op EEk1, of wordt daarvan gescheiden door een dunne zandlaag, de eerste zandige eenheid van de Formatie van Drente (EEz1). Omdat WBv1 een aanzienlijke weerstand kan hebben, is gezamenlijk besloten om deze eenheid samen te voegen met EEk1 als SDL1. Het gevolg daarvan is, dat ook de tussenliggende EEz1 onderdeel wordt van SDL1 (zie Figuur 3.6). Daar waar WBv1 niet voorkomt, en de Formatie van Boxtel direct op EEz1 ligt, draagt EEz1 daardoor niet meer bij aan de KD van WVP1. De afweging was derhalve: ofwel een onder-schatting van de weerstand van SDL1 accepteren, ofwel een onderschatting van de KD van WVP1. De keuze is op het laatste gevallen.



Figuur 3.5: Schematisatie in watervoerende pakketten en scheidende lagen op hoofdlijnniveau, provincie Utrecht.

WVP1	BXz1	BXz1
	WBv1	
SDL1	EEz1	EEz1
	EEk1	EEk1
WVP2	EEz2	EEz2

Figuur 3.6: Afweging ten aanzien van de Formatie van Woudenberg (WBv1) in deelgebied 4: ofwel WBv1 bij SDL1 betrekken om onderschatting van de weerstand van SDL1 te vermijden (links), ofwel WBv1 negeren zodat EEz1 bij WVP1 gerekend kan worden om onderschatting van de KD van WVP1 te vermijden (rechts). De keuze is gevallen op de linker variant.

3.4 Overige resultaten

3.4.1 Resultaten voor decentrale overheden

3.4.1.1 Geschiktheidscriteria

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 was het identificeren van geschiktheidscriteria voor de grondwatervoorraden, en de datatypen die daar informatie over kunnen verschaffen, een belangrijk thema in het werkproces. Het resultaat daarvan is opgenomen in bijlage A.

Voor de daadwerkelijke beleidsafweging dient elk criterium te worden voorzien van één of meer richtwaarden die aangeven of een grondwatervoorraad in meer of mindere mate geschikt is voor drinkwaterwinning of bodemenergie dan wel (op grotere diepte) geothermie. Deze activiteit is geen onderdeel van de pilotstudie; er kan geen generieke methode voor alle decentrale overheden worden ontwikkeld en het past daardoor niet binnen het programma DO. Het bepalen van criteriumrichtwaarden is een zorgvuldig proces waarbij interactie met belanghebbende partijen veelal wenselijk is. Om decentrale overheden wel een startpunt voor zo'n proces aan te reiken is een overzicht gemaakt van beschikbare c.q. reeds in de praktijk gebruikte richtwaarden. Dit overzicht is opgenomen in Bijlage E. Bij het overzicht gelden de volgende opmerkingen:

- De richtwaarden hebben betrekking op drinkwaterwinning en ondiepe bodemenergie. Voor middeldiepe en diepe geothermie kunnen andere richtwaarden van toepassing zijn, bijvoorbeeld lagere toelaatbare doorlatendheden. Hiervoor zijn geen concrete richtwaarden gevonden;

- De gangbare waarden voor de overgangen van zoet naar brak en van brak naar zout grondwater zijn respectievelijk 150 mg/l en 1000 mg/l chloride. Er is echter nog weinig ervaring met de winning van brak grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening in Nederland. Daardoor is het nog niet duidelijk in hoeverre dit een voor geschiktheid relevante richtwaarde is. In het [COASTAR](#)-project is bijvoorbeeld een richtwaarde van 5000 mg/l Cl⁻ aangehouden voor goed bruikbaar brak water, omdat tot die waarde het concentraat nog geloosd kan worden op zee bij een herwinningsrendement van 50%;
- De genoemde richtwaarden voor stijghoogteverlaging en effecten op kwel zijn laag vergeleken met de grootte van de onzekerheden van berekeningen met numerieke grondwatermodellen. Als alternatief hiervoor kan een relatieve beoordeling worden toegepast, m.a.w. een vergelijking tussen verschillende grondwatervorraden c.q. reserveringsgebieden.

3.4.1.2 Verkenning m.b.t. visualisatie en gebruik

De vier applicaties die zijn opgenomen in de PowerPoint met impressies van verschillende viewers zijn:

- [iMOD](#)¹¹
- NGR-viewer (niet publiek toegankelijk)
- [Grondwaterkwaliteit-in-Beeld](#)
- [SubsurfaceViewer](#)

De PowerPoint zelf is meegeleverd als Bijlage D bij deze rapportage.

iMOD

iMOD is ontstaan als een gebruikersschil rond de grondwatermodelcode MODFLOW, maar kent inmiddels een veelheid aan functionaliteiten voor databeheer, -analyse en visualisatie. De software is gratis beschikbaar en relatief eenvoudig aan te leren door gebruikers. Daarmee maakt het de gebruiker flexibel en onafhankelijk van externe partijen als het gaat om visualisatie en gebruik van GIS-data. Dit is een belangrijk verschil met de drie andere genoemde applicaties. Daartegenover staat dat er binnen de eigen organisatie capaciteit en expertise aanwezig moet zijn om het pakket optimaal te gebruiken en te beheren.

NGR-viewer

De NGR-viewer is ontwikkeld in het kader van het project Nationale Grondwater Reserves, om alle betrokkenen snel en laagdrempelig inzicht te kunnen geven in de resultaten. Er kunnen dwarsprofielen en kaarten worden weergegeven van willekeurige delen van Nederland, maar er zijn geen mogelijkheden om zelf de opmaak aan te passen, zelf gegevens toe te voegen of bewerkingen op de gegevens te doen. Bovendien is niet duidelijk in hoeverre deze viewer beschikbaar blijft na afloop van het NGR-project.

Grondwaterkwaliteit in beeld

TNO-GDN stelt sinds 2020 via [Grondwaterkwaliteit in Beeld](#) gegevens over de samenstelling van het grondwater beschikbaar. In de viewer kunnen gegevens over een groot aantal hydrochemische parameters op kaart, in dwarsprofiel en in grafieken (bijv. boxplots en diepteplots) worden geraadpleegd, in combinatie met ondersteunende gegevens zoals de REGIS II-eenheden, landgebruiksklassen en de locatie en diepte van grondwateronttrekkingen voor de drinkwatervoorziening. De applicatie is intern door TNO-GDN ontwikkeld. In de huidige

¹¹ iMOD v5.6.1 Release notes, [iMOD groundwater modelling | Deltares](#)

versie kan de gebruiker niet zelf rekenkundige bewerkingen op de gegevens uitvoeren. Via grafieken kunnen wel statistische kentallen van parameters worden opgeroepen, per selectie van meetpunten, eventueel uitgesplitst per landgebruik, per dieptetraject, per formatie etc. De viewer is interactief, er zijn veel mogelijkheden om lagen aan- en uit te zetten en in en uit te zoomen. De uiteindelijke opmaak staat echter wel vast. Zelf gegevens toevoegen is momenteel niet mogelijk, en wordt ook niet voorzien in de toekomst.

SubsurfaceViewer

De BRO-ondergrondmodellen van TNO-GDN zijn te visualiseren in de 3D software SubsurfaceViewer. Met deze applicatie kunnen interactief kaartbeelden, (synthetische) boringen, horizontale en verticale doorsneden en volledige 3D weergaven van de modellen gemaakt worden. De applicatie toont vier verschillende vensters (boorkolom, kaartbeeld, dwarsdoorsnede en 3D venster) waarin de gebruiker tal van visualisatietechnieken kan toepassen zoals het aan- en uitzetten van lagen, het toevoegen van boringen aan het 3D venster, het projecteren van een topografische kaart over het 3D model etc. Het is ook mogelijk om aanvullende gegevens, zoals rasterkaarten en shapefiles, aan de visualisaties toe te voegen. Tot slot beschikt de SubsurfaceViewer over een aantal analysetools, waaronder volumeberekeningen en het maken van een profieltypekaart. TNO-GDN heeft de SubsurfaceViewer door een externe partij laten ontwikkelen, specifiek om de BRO-ondergrondmodellen in 3D weer te geven. De software kan gratis van DINOloket en BROloket worden gedownload, samen met de data van de modellen.

Er zijn nog geen ervaringen met het gebruik van de in het kader van deze pilot ontwikkelde GIS-dataset. Zowel vorm als inhoud kunnen daarom naar verwachting nog aanzienlijk veranderen. We bevelen daarom aan om voorlopig iMOD te gebruiken, omdat de software gratis beschikbaar is, relatief eenvoudig aan te leren is en veel functionaliteiten bevat. Op langere termijn kan eventueel worden overgegaan op een applicatie met optimale mogelijkheden voor 3D weergave.

3.4.2 Resultaten voor de provincie Utrecht

3.4.2.1 Samenstelling van de GIS-dataset

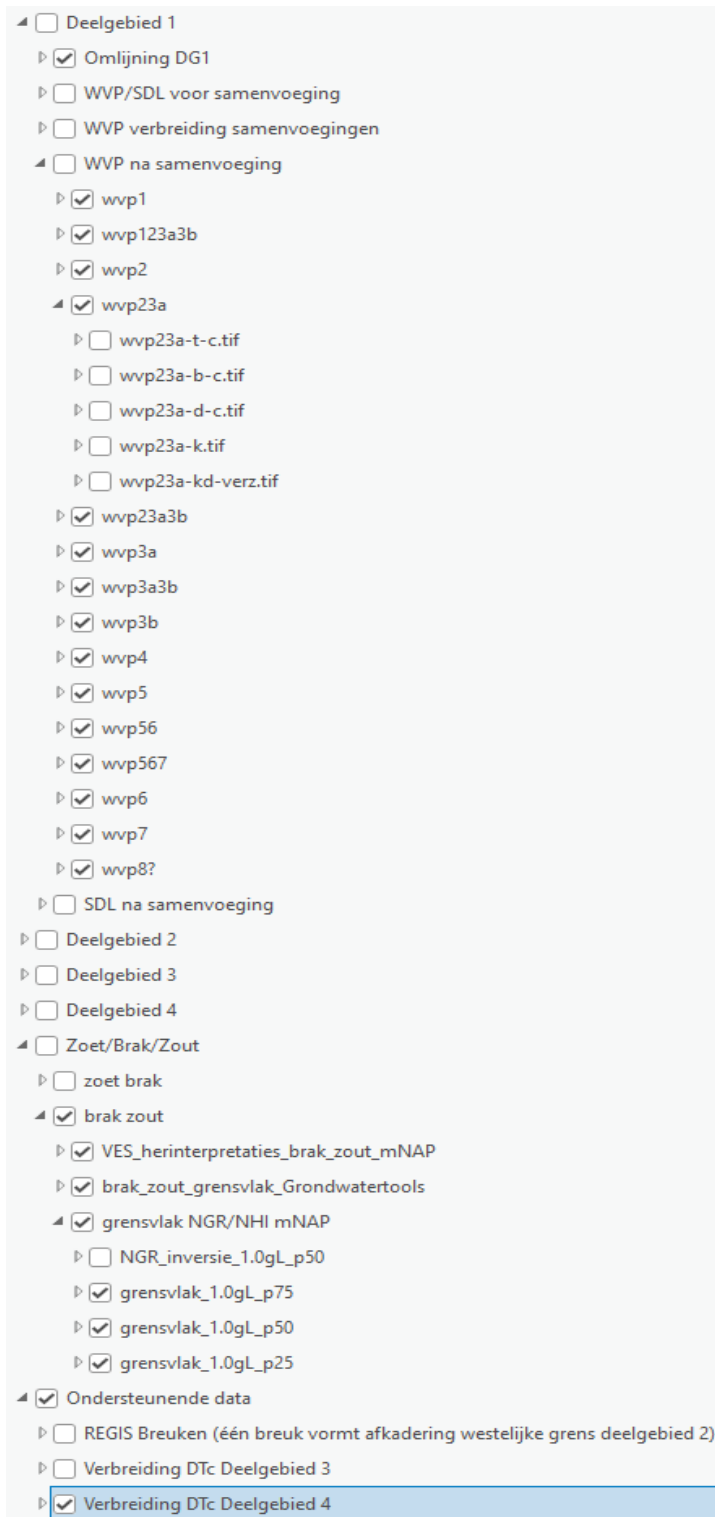
Ondanks de inspanningen om de data op maat te maken bleek het aantal bestanden en daardoor de totale opslaglast alsnog groot. Gaandeweg de pilot is de GIS-dataset daarom gesplitst in:

- een pakket dat naar verwachting veel gebruikt zal worden in de dagelijkse praktijk (TNO_Provincie_Utrecht_Hydrologische_Schematisatie_PPKX_20241211.ppkx)
- een pakket met bestanden van de oorspronkelijke REGIS II v2.2.2. eenheden dat naar verwachting hoofdzakelijk zal worden geraadpleegd als naslagwerk (TNO_Provincie_Utrecht_REGIS_PPKX_20241211.ppkx).

Bij de pakketten is een readme.txt geleverd met daarin uitleg over de bestandsnamen, gebruikte eenheden, en een overzicht per deelgebied hoe de REGIS II eenheden zijn gegroepeerd tot watervoerende pakketten.

De veelgebruikte bestanden komen primair in aanmerking voor opmaak bij de provincie in een eigen GIS-omgeving, om eenvoudig direct te gebruiken, en voor latere toepassing in een viewer. De structuur van het ArcGIS Pro pakket dat deze bestanden bevat, is middels een schermweergave weergegeven in Figuur 3.7. Het bovenste indelingsniveau wordt gevormd

door (1) de WWP- en SDL-bestanden per deelgebied, (2) de zoet-brak-zout bestanden, en (3) ondersteunende bestanden.



Figuur 3.7: Schermweergave van de projectstructuur van de GIS-dataset die als ArcGIS Pro pakket aan de provincie Utrecht is geleverd.

4 Samenvatting resultaten en handreikingen voor het gebruik

4.1 Decentrale overheden (algemeen)

4.1.1 Overzicht resultaten

Deze pilotstudie heeft dankzij de samenwerking met de provincie Utrecht een aantal concrete resultaten opgeleverd die het mogelijk maken om vergelijkbare studies in relatie tot de beleidsvorming rond grondwatervoorraden efficiënter te kunnen uitvoeren:

- Werkproces om in samenspraak met de provincie de voorliggende resultaten te bereiken, paragraaf 2.1;
- Procedure voor de selectie van relevante ondergrondgegevens en informatie, paragraaf 2.2, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn, paragraaf 3.1.
- Procedure voor de vertaling van informatie uit het BRO ondergrondmodel REGIS II naar regionale behoefte, m.n. door middel van een schematisatie in watervoerende pakketten (WVPs) en scheidende lagen (SDLs), paragraaf 2.3, en een beschrijving van afwegingen die daarbij gemaakt zijn, paragraaf 3.3;
- Ter vergroting van het inzicht in overgangsdiepten van zoet naar brak en van brak naar zout grondwater en bijbehorende onzekerheden is een workflow voor de herinterpretatie van VES-metingen geoptimaliseerd en vastgelegd ten behoeve van reproduceerbaarheid en een toekomstige bredere toepassing;
- Pythonscript waarmee een vooraf gedefinieerde schematisatie van REGIS II eenheden in watervoerende pakketten en scheidende lagen reproduceerbaar en efficiënt kan worden geïmplementeerd in een GIS-omgeving. Daarbij worden de geometrie en hydraulische eigenschappen van de inliggende REGIS II eenheden op consistente wijze verwerkt in de WVPs en SDLs. In gebieden waar de gedefinieerde scheidende lagen ontbreken voorziet het script in de mogelijkheid om maximaal vijf watervoerende pakketten samen te voegen en de bijbehorende geometrie en hydraulische eigenschappen op consistente wijze te combineren;
- Een eerste verkenning van mogelijkheden voor databeheer, -analyse en visualisatie in de context van gebruik door decentrale overheden;

4.1.2 Aandachtspunten en onzekerheden

Bij het gebruik van de GIS-data van schematisaties in WVPs en SDLs moet steeds in acht worden genomen dat deze gebaseerd zijn op het regionale model REGIS II v2.2.2. De

toepassingschaal en kwaliteit van REGIS II v2.2.2. gelden daarom ook voor de opgeleverde GIS-dataset. Deze is geschikt voor gebruik voor regionale vraagstukken zoals de evaluatie van het beleid ten aanzien van strategische grondwatervoorraden. Deze geschiktheid geldt primair voor vergelijkende studies, m.a.w. een relatieve schaal (bv. gebied X is geschikter als drinkwaterreservering dan gebied Y), of voor het identificeren van onzekerheden die zo'n vergelijking bemoeilijken. Voor de aanwijzing van (zoekgebieden voor) specifieke winlocaties is altijd aanvullend (veld)onderzoek nodig. Meer details over de kwaliteit van REGIS II v2.2.2. zijn te vinden in de [Kwaliteitstoetsingsdocumenten Hydrogeologisch Model \(REGIS II\)](#).

Een aandachtspunt voor zowel TNO-GDN als decentrale overheden is het versiebeheer van REGIS II en de daarop gebaseerde schematisatie in WVP en SDL. Bij elke uitgave van een nieuwe REGIS II versie moet worden nagegaan of er aanpassingen zijn die gevolgen hebben voor de GIS-dataset. Zoals eerder beschreven is inmiddels (begin 2025) een nieuwe versie van REGIS II gepubliceerd, de naamgevingsrelease v2.2.3.

In het algemeen geldt dat de onzekerheid toeneemt met de diepte, omdat het aantal beschikbare datapunten steeds lager wordt.

Lokaal voorkomende kleiige REGIS II eenheden zijn niet meegenomen in de schematisatie, omdat hun laterale verbreiding in het betreffende deelgebied te beperkt is. Lokaal kunnen deze echter wel van invloed zijn op het grondwatersysteem.

In het verbreidingsgebied van gestuwde afzettingen (REGIS II eenheid DTc) moeten KD-waarden en gemiddelde K-waarden van (samengevoegde) WVPs waar deze eenheid onderdeel van is, worden beschouwd als ondergrens c.q. onderschatting. Reden hiervoor is dat voor de KD-waarde van DTc een standaardwaarde van 1 m²/d is gebruikt.

De onzekerheden rond de overgangen van zoet naar brak naar zout grondwater zijn besproken in paragraaf 3.2.1.2.

4.2 Provincie Utrecht

4.2.1 Handreikingen voor het gebruik

Door de indeling in deelgebieden, het aantal SDLs en WVPs vóór en na samenvoeging en het aantal van 6 datagrids per WVP / SDL, komt het totale aantal bestanden m.b.t. de schematisatie op meer dan 600 uit. Om te allen tijde het overzicht te houden over de ontwikkelde schematisatie wordt geadviseerd om eerst kennis te nemen van de gesimplificeerde schematisatie zoals vastgelegd in de meegeleverde Excel-bestanden, vervolgens de datagrids van de watervoerende pakketten-voor-samenvoeging in de GIS-dataset, en pas daarna de watervoerende pakketten-na-samenvoeging.

De meerwaarde van de GIS-dataset voor de provincie Utrecht staat of valt met een tijdige keuze voor en ingebruikname van een geschikte applicatie voor data-beheer, -analyse en visualisatie. Het in paragraaf 3.4 gegeven overzicht en advies heeft tot doel om bij te dragen aan een afgewogen keuze door de provincie.

4.2.2 Aandachtspunten en onzekerheden

Het is onzeker in hoeverre de REGIS II eenheid BRz1 daadwerkelijk een watervoerend pakket vormt. Daarom is de naamgeving in de schematisatie van een vraagteken voorzien (WVP8?).

Lokaal in de provincie Utrecht voorkomende kleiige REGIS II eenheden, die niet zijn meegenomen in de schematisatie, omdat hun laterale verbreiding in het betreffende deelgebied te beperkt is, zijn met grijstinten weergegeven in de schematisatie op detailniveau in Bijlage C. Een voorbeeld is de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Urk (URk1), die in de provincie Utrecht alleen bij Nieuwegein en Houten voorkomt.

In het verbreidingsgebied van gestuwde afzettingen (REGIS II eenheid DTc) in deelgebied 3 moeten de KD-waarde en gemiddelde K-waarde van WVP1, en samenvoegingen daarmee, worden beschouwd als ondergrens c.q. onderschatting. In deelgebied 4 geldt dit voor WVP2c. Omdat de dikte van DTc wel is opgenomen in de GIS-dataset, kan desgewenst de KD-waarde van WVP1 in deelgebied 3 worden herberekend met een aanname voor de K-waarde. Ter geheugensteun zijn shapebestanden opgenomen van de verbreidingen van DTc in deelgebieden 3 en 4. Binnen deze verbreidingen geldt de onderschatting van KD- en K-waarden, in deelgebied 3 zoals gezegd voor (combinaties met) WVP1 en in deelgebied 4 voor WVP2c. In deelgebied 4 betreft het kleine verbreidingen direct langs de grens met deelgebied 3.

In deelgebied 4 ontbreekt op lokale schaal een opeenvolging van een scheidende laag (SDL 21), een watervoerend pakket (WVP 2b) en nog een scheidende laag (SDL 22). Het inbouwen van deze uitzonderlijke situatie zou leiden tot een buitenproportioneel grotere complexiteit van het Python script. Daarom is besloten om dit fenomeen met behulp van een gedeelte van het Python script in combinatie met Arc GIS Pro tools door te voeren.

5 Ondertekening

Naam en ondertekening 2e lezer

Drs. M.E. van Vliet

Ondertekening

Autorisatie vrijgave

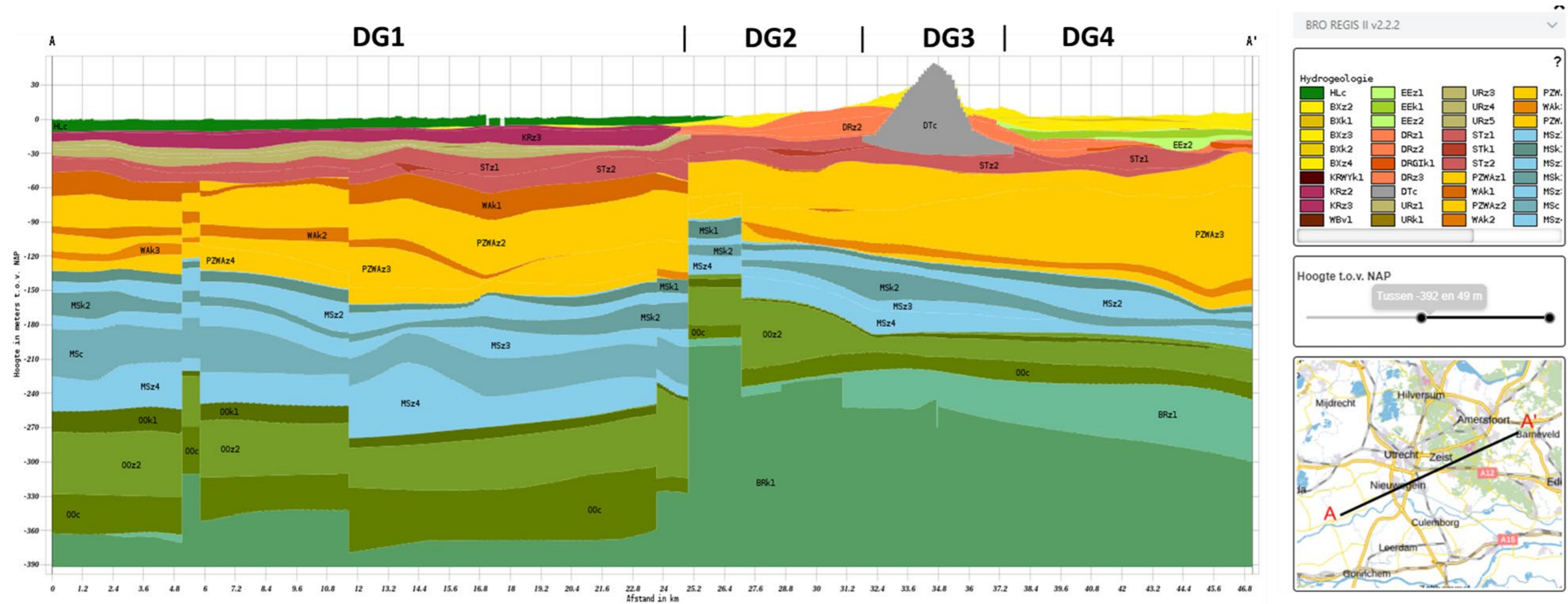
MSc. N. Versteijlen
Auteur

Drs. D. Maljers
Research Manager

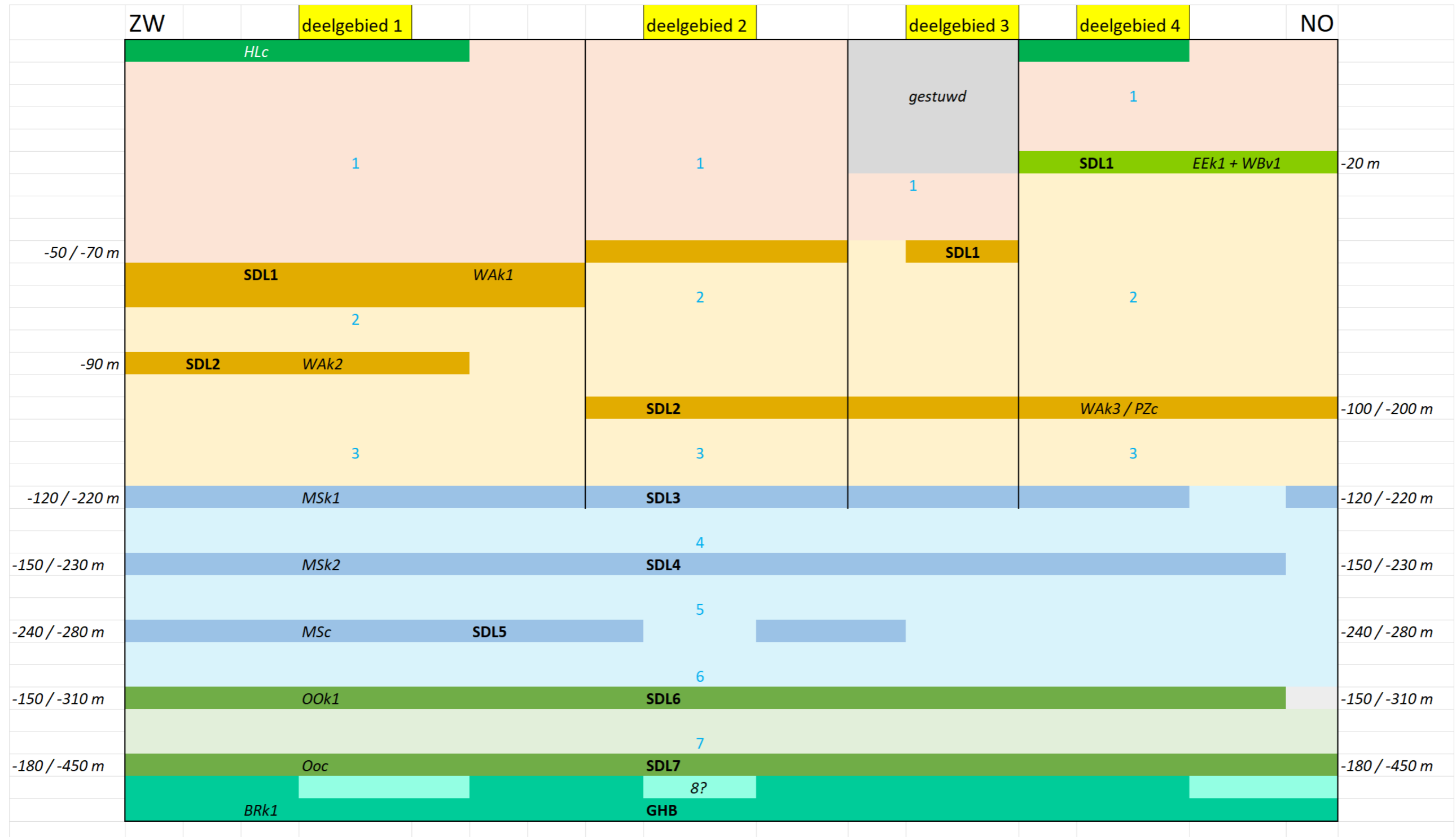
Bijlage A Data-inventarisatie

Hoofddatatype	Datatype	Eenheid	Bron / Leverancier	Gebruik door provincie
Ondergrondmodellen				
<i>BRO REGIS II v2.2.2</i>	niveau top eenheid	mNAP	TNO-GDN	naslag
	niveau basis eenheid	mNAP	TNO-GDN	naslag
	dikte	m	TNO-GDN	naslag
	KD-waarde	m2 / d	TNO-GDN	naslag
	C-waarde	dagen	TNO-GDN	naslag
<i>BRO GeoTOP v1.6</i>	niveau top eenheid	mNAP	TNO-GDN	t.b.v. visualisatie in dwarsprofielen
	<i>Holocene geulen</i> niveau basis eenheid	mNAP	TNO-GDN	t.b.v. visualisatie in dwarsprofielen
	dikte	m	TNO-GDN	geschiktheids criterium (effecten)
<i>Schematisatie (wvp's en sd's)</i>	niveau top	mNAP	TNO-GDN	t.b.v. visualisatie in dwarsprofielen
	niveau basis	mNAP	TNO-GDN	t.b.v. visualisatie in dwarsprofielen
	dikte	m	TNO-GDN	geschiktheids criterium (winbaarheid) (wvps)
	KD-waarde	m2 / d	TNO-GDN	geschiktheids criterium (winbaarheid drinkwater) (wvps)
	gemiddelde K-waarde	m/d	TNO-GDN	geschiktheids criterium (winbaarheid) (wvps)
	C-waarde	dagen	TNO-GDN	geschiktheids criterium (bescherming) (sd's)
<i>breuken (BRO REGIS II)</i>				
	ligging en dieptebereik	dieptebereik: REGIS II eenheid	TNO-GDN	geschiktheids criterium (kwalitatief, mate van onzekerheid winbaarheid en bescherming)
Grondwater				
<i>zoet-brak-zout</i>	diepte grensvlak 150 mg/l chloride (zoet-brak overgang)	mNAP	Nationale Grondwater Reserves (op basis van NHI zoet zout)	geschiktheids criterium (winbaarheid)
	diepte grensvlak 1000 mg/l chloride (brak-zout overgang)	mNAP	Nationale Grondwater Reserves (op basis van NHI zoet zout)	ondersteunend / systeemkennis
	diepte grensvlak 1000 mg/l chloride (brak-zout overgang)	mNAP	TNO-GDN (Grondwaterkwaliteit-in-Beeld)	ondersteunend / systeemkennis
	inversies brak boven zoet	binair bestand (wel / niet voorkomend)	Nationale Grondwater Reserves (op basis van NHI zoet zout)	geschiktheids criterium (winbaarheid)
	inversies zout boven brak	binair bestand (wel / niet voorkomend)	Nationale Grondwater Reserves (op basis van NHI zoet zout)	ondersteunend / systeemkennis
<i>grondwaterkwantiteit</i>	stijghoogteverlaging bij windebiet 4 Mm3/j	m	Nationale Grondwater Reserves (op basis van LHM zoet zout v4.1.2)	geschiktheids criterium (effecten)
	effect op kwelflux door deklaag bij windebiet 4 Mm3/j	mm/d	Nationale Grondwater Reserves (op basis van LHM zoet zout v4.1.2)	geschiktheids criterium (effecten)
	grondwaterstromingsnelheid	m/j	toepassing nog niet duidelijk, niet opgenomen in GIS-dataset	geschiktheids criterium (winbaarheid)
<i>grondwaterkwaliteit</i>	redoxgrens diepte	mNAP	nog niet beschikbaar, niet opgenomen in GIS-dataset	geschiktheids criterium (winbaarheid)
	PFAS-belasting	ng/l	nog niet beschikbaar, niet opgenomen in GIS-dataset	geschiktheids criterium (winbaarheid)
Overig				
	Natura2000 gebieden	binair bestand (wel / niet voorkomend)	PDOK	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	Landgebruik	landgebruiksklassen	PDOK	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	Waterschappen	---	PDOK	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	Gemeenten	---	PDOK	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	Maaiveld	mNAP	AHN	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	afgegeven vergunningen aardwarmte	binair bestand (wel / niet voorkomend)	TNO-GDN ThermoGIS v2.2	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	bestaande grondwateronttrekkingen	---	provincie Utrecht	ondersteunend / niet nader gespecificeerd
	aanvullende strategische grondwatervoorraden	---	provincie Utrecht	ondersteunend / niet nader gespecificeerd

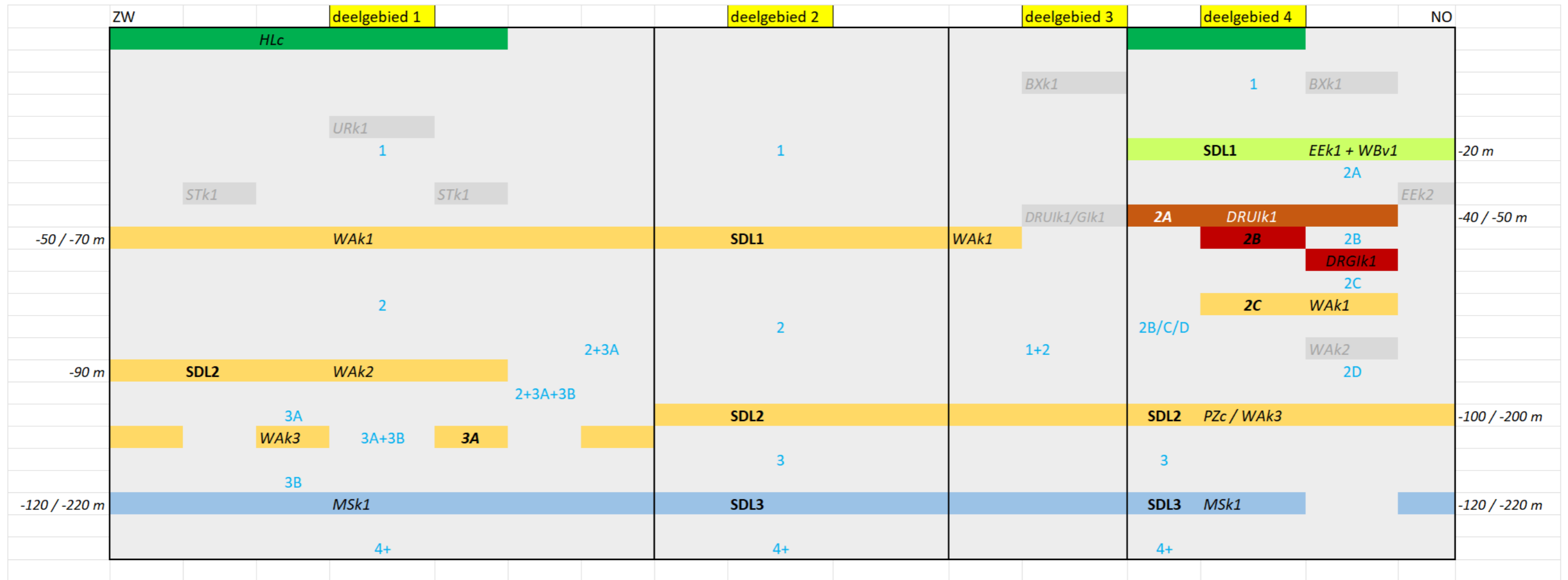
Bijlage B Deelgebieden provincie Utrecht in dwarsprofiel REGIS II v2.2.2.



Bijlage C Schematisaties in watervoerende pakketten en scheidende lagen



Hoofdniveau.



Ondiepe ondergrond, detailniveau.

Bijlage D Impressies mogelijkheden voor databeheer, -analyse en visualisatie

Zie de meegeleverde Powerpoint-presentatie.

Bijlage E Beschikbare (praktijk)richtwaarden geschiktheidscriteria

Hoofddatatype	Datatype	Type criterium	Richtwaarde in de praktijk	Eenheid	Toelichting	Bron
WVP	Dikte	winbaarheid bodemenergie	minimaal 10	m	Het betreft de minimaal vereiste filterlengte	Bouwstenen voor afweging en beleid bodemenergie
WVP	KD-waarde	winbaarheid grondwater voor drinkwater	minimaal 500-1000	m ² / d	In de drinkwaterpraktijk is 1000 m ² /d gangbaar. 500 m ² /d is een alternatief in gebieden waar alleen dunne WVPs voorkomen	NGR, Delsman & Van Dam (2024)
WVP	KD-waarde	winbaarheid bodemenergie	minimaal 500	m ² / d		Bouwstenen voor afweging en beleid bodemenergie
WVP	gemiddelde K-waarde	winbaarheid bodemenergie en drinkwater	minimaal 20	m/d	gebaseerd op praktijkonderzoek ¹²	Provincie Utrecht, pers. comm.
zoet-brak-zout	diepte grensvlak 150 mg/l chloride	winbaarheid zoet drinkwater	gedefinieerd door diepteligging grensvlak	m-NAP	chloridenorm voor drinkwater in Nederland	Helpdesk Water, Handleiding Chloridenormering Drinkwaterbronnen
zoet-brak-zout	inversies brak boven zoet	winbaarheid zoet drinkwater	Geen	binair bestand	nader onderzoek nodig bij vermoeden van een inversie	NGR, Delsman & Van Dam (2024)
SDL	C-waarde	bescherming drinkwater	minimaal 500	dagen	som van de weerstanden van alle scheidende lagen boven het winpakket	NGR, Delsman & Van Dam (2024)
Holocene geulen	dikte	effecten	geen	m	aanwezigheid van een Holocene geul vergroot de kans op effecten aan maaiveld	n.v.t.
grondwaterkwantiteit	stijghoogteverlaging	effecten	maximaal 0,02	m	bij goede toestand Natura 2000 gebied, anders is het toelaatbare effect maximaal 0,00 m	NGR, Delsman & Van Dam (2024)
grondwaterkwantiteit	afname kwelflux door deklaag	effecten	maximaal 0,1	mm/d	bij goede toestand Natura 2000 gebied, anders is het toelaatbare effect maximaal 0,0 mm/d	NGR, Delsman & Van Dam (2024)
breuken	ligging en dieptebereik	onzekerheid	geen		hoe dichter bij de breuk, hoe meer onzekerheid	n.v.t.

¹² Ook genoemd als richtwaarde op Bodemenergie.NL : een zandmediaan van minimaal 180µ. Dit kan echter niet eenduidig worden gekoppeld aan een K-waarde, dit is onder meer afhankelijk van de bijmenging met lutum, silt of organisch materiaal.

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life