



Tauw

Herijking en motivering boringsvrije zone Salland Diep

18 juni 2018



Verantwoording

| | |
|------------------------|--|
| Titel | Herijking en motivering boringsvrije zone Salland Diep |
| Opdrachtgever | Provincie Overijssel |
| Projectleider | Mariska Overbeek - te Vaarwerk |
| Auteur(s) | Mariska Overbeek - te Vaarwerk, André Blonk en Ed Beije |
| Projectnummer | 1251001 |
| Aantal pagina's | 77 |
| Datum | 18 juni 2018 |
| Handtekening | Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven. |

Colofon

Tauw bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 911
E info.deventer@tauw.com



Inhoud

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Inleiding | 5 |
| 1.1 | Aanleiding | 5 |
| 1.2 | Doelstelling..... | 6 |
| 1.3 | Leeswijzer | 6 |
| 2 | Systeembeschrijving..... | 7 |
| 2.1 | Geohydrologische kenmerken | 7 |
| 2.2 | Chloridegehaltenes en brak-zout grensvlak..... | 12 |
| 2.3 | Grondwaterstroming in pakket Salland Diep..... | 15 |
| 3 | Ervaringen Vitens | 17 |
| 3.1 | Diepteligging winputten | 17 |
| 3.2 | Verziltingsproblematiek..... | 18 |
| 3.3 | Omgaan met verziltingsproblematiek..... | 20 |
| 4 | Methode..... | 24 |
| 4.1 | Grondwatermodel..... | 24 |
| 4.2 | Verziltingsmodel..... | 24 |
| 4.3 | Waterbalansen | 25 |
| 5 | Berekeningen puntlocaties | 28 |
| 5.1 | Methode | 28 |
| 5.2 | Resultaten | 30 |
| 5.2.1 | Locatie Boerhaar..... | 31 |
| 5.2.2 | Locatie Olst | 32 |
| 5.2.3 | Locatie Dalfsen | 36 |
| 6 | Winbare hoeveelheid..... | 42 |
| 6.1 | Methode | 42 |
| 6.2 | Resultaten | 43 |
| 7 | Gevoeligheidsrun..... | 49 |
| 7.1 | Methode | 49 |
| 7.2 | Resultaten | 50 |
| 8 | Conclusies..... | 52 |
| 8.1 | Gevoeligheidsrun | 52 |

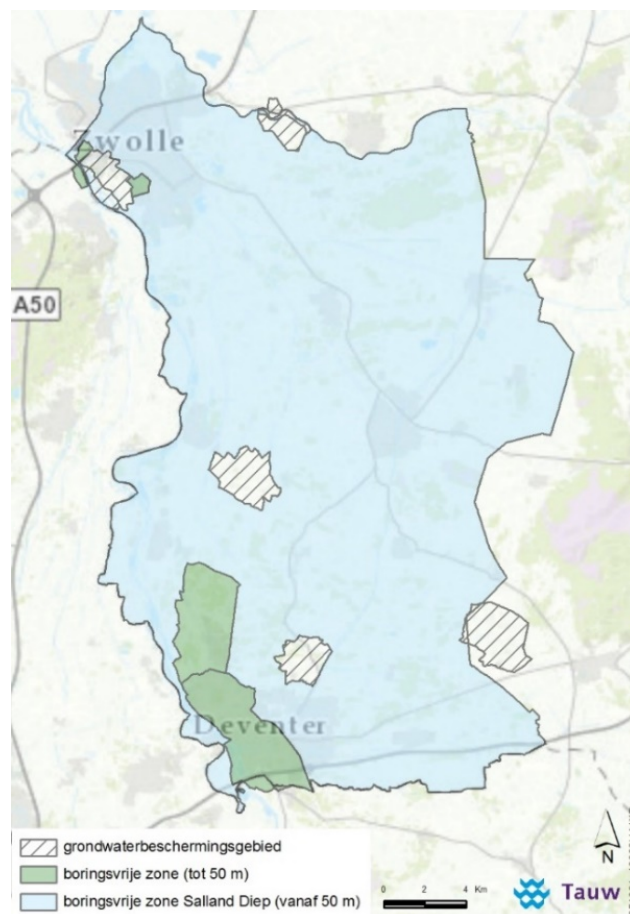


| | | |
|-----------|---|----|
| 8.2 | Winbare hoeveelheid drinkwater | 52 |
| 8.3 | Boringsvrije zone Salland-Diep | 52 |
| Bijlage 1 | Zoet-brak en brak-zout grensvlakken volgens Baalen (1995) | 53 |
| Bijlage 2 | Bevindingen BROKS studie..... | 54 |
| Bijlage 3 | Modelaanpassingen MIPWA 3.0 | 56 |
| Bijlage 4 | Methode stroombaanberekeningen en responscurves | 66 |
| Bijlage 5 | Berekeningsresultaten individuele locaties..... | 67 |
| Bijlage 6 | Lijnonttrekkingen: vaststelling locaties en berekeningsresultaten | 76 |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Salland is de grondwatervoorraad in het tweede watervoerend pakket sinds 1991 gereserveerd voor hoogwaardig gebruik en aangewezen als boringvrije zone. Deze grondwatervoorraad is in principe geschikt voor de onttrekking van drinkwater, onder andere gezien de aanwezigheid van een afsluitende kleilaag boven het tweede watervoerend pakket. De afsluitende kleilaag belemmert de aantrekking van ondiepe grondwaterverontreinigingen naar het drinkwater. Daarnaast verhindert het dat er freatische grondwatereffecten ontstaan als gevolg van de grondwateronttrekking. Het tweede watervoerend pakket wordt aangeduid als Salland Diep. In 2006 is de begrenzing van Salland Diep vastgesteld en opgenomen in de grondwaterverordening. De begrenzing is weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 – Ligging boringvrije zone Salland Diep

De vastgestelde begrenzing van de boringvrije zone is voor een deel gelegd langs bestuurlijke en herkenbare topografische grenzen: aan de zuidzijde en de westzijde wordt de boringvrije zone begrensd door de provinciegrens, aan de noordzijde is de begrenzing langs het Zwolle IJssel



kanaal en de Vecht gelegd. Aan de oostzijde volgt de begrenzing van de boringsvrije zone Salland Diep globaal de ligging van de afsluitende kleilaag.

De aanmerking van Salland Diep als boringsvrije zone belemmert mogelijk ander grondwatergebruik. De begrenzing van Salland Diep dient daarom gemotiveerd te worden vanuit het beschermende belang. Het grondwater in Salland Diep is niet zonder meer geschikt voor de winning van drinkwater. Het zoet-zout grensvlak bevindt zich (gedeeltelijk) in het pakket Salland Diep, waardoor verzilting van drinkwater optreedt. Voor de motivering dient daarom ook de ligging en hoeveelheid van winbare zoete grondwatervoorraden in kaart gebracht te worden.

In de bredere context hangt dit onderzoek samen met de strategische grondwatervoorraad voor Overijssel, waarbij in deze studie gekeken wordt naar de reservering van Salland Diep. Deze studie betreft een (geo)hydrologische inhoudelijke studie om feitelijke informatie te verkrijgen. Dit onderzoek kan daardoor gezien worden als een actualisatie van een eerder uitgevoerde studie door BROKS Adviezen¹.

1.2 Doelstelling

Doel van dit onderzoek is het verkrijgen van feitelijke informatie waarmee de begrenzing van de boringsvrije zone Salland Diep kan worden gemotiveerd. De winbare grondwatervoorraden ten behoeve van drinkwater worden daarvoor in kaart gebracht. Tevens wordt een indicatie gegeven van de hoeveelheid zoet grondwater die gewonnen kan worden uit de grondwatervoorraad in het pakket Salland Diep. Op basis van meetgegevens en modelberekeningen worden voorkeurslocaties bepaald voor winning van zoet grondwater.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de geologische en geohydrologische systeembeschrijving van Salland opgenomen. In hoofdstuk 3 zijn de ervaringen van Vitens met bestaande drinkwaterwinningen in het pakket Salland Diep beschreven. Hoofdstuk 4 bevat een omschrijving van de toegepaste methode en het daarbij gebruikte model. Met de modellen zijn initiële berekeningen uitgevoerd om een indicatie te krijgen van de geschikte drinkwaterwinningslocaties en -hoeveelheden. Dit is besproken in hoofdstuk 5. Op basis van deze resultaten zijn in hoofdstuk 6 verdere berekeningen uitgevoerd om de winbare hoeveelheid vast te stellen. Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met de toegepaste zoutconcentraties in de modellen. Dit is opgenomen in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 zijn de conclusies beschreven van de gevoeligheidsrun en de eerste conclusies opgenomen over de winbare hoeveelheid van drinkwater in Salland Diep.

¹ BROKS Adviezen (1992). Geohydrologisch Onderzoek Winbare Hoeveelheid "Salland-Diep"; bijlagen. BROKS Adviezen, 's-Hertogenbosch.



2 Systeembeschrijving

2.1 Geohydrologische kenmerken

Ontstaan

Het geologische ontstaan van het onderzoeksgebied is beschreven met behulp van Spaans (1987)², BROKS Adviezen (1992)³ en Baalen (1995)⁴.

Tertiair

Het ontstaan van de geologische bodemopbouw ter plaatse van het onderzoeksgebied is begonnen in het Tertiaire tijdperk. Het onderzoeksgebied maakt deel uit van het Noordzeebekken, dat vanaf het begin van het Tertiair tot aan het begin van het Kwartair daalde. In het Mioceen (onderdeel van het laat-Tertiair) lag het gehele onderzoeksgebied onder de zeespiegel. Gedurende deze periode zijn mariene sedimenten afgezet. Deze mariene sedimenten bestaan uit kleiige tot zeer fijnzandige afzettingen, die tegenwoordig als de Formatie van Breda worden aangeduid.

Door de afzetting van mariene sedimenten schoof de kustlijn op in noordwestelijke richting. In het Plioceen (onderdeel van het laat-Tertiair) lag de kustlijn ongeveer over het onderzoeksgebied. Hierdoor ontstonden naast mariene invloeden ook kustnabije en fluviaire invloeden. Deze invloeden resulteerden in afzettingen van complexe sedimenten met wisselende samenstelling: fijne en grove zanden, kleiige zanden met veenafzettingen en klei. Deze afzettingen worden tegenwoordig als de Formatie van Oosterhout aangeduid. De mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout die tijdens deze periode ook nog plaatsvonden, bestaan uit fijne zanden en kleiige zanden. In de mariene afzettingen van de Formatie van Breda en de Formatie van Oosterhout is zout zeewater ingesloten, waardoor tegenwoordig verzilting in drinkwaterputten in Salland Diep optreedt.

Door regionale tektonische bewegingen zijn er in het onderzoeksgebied breuken zichtbaar. Deze breuken zijn weergegeven in figuren 2.1 en 2.2. In het Tertiair daalde het Noordzeebekken. Deze daling was in het noordwesten sterker dan in het zuidoosten. Daardoor hellen de afzettingen uit deze periode naar het noordwesten toe. Deze helling is ook zichtbaar in figuren 2.1 en 2.2.

Kwartair

Ondanks de daling van het Noordzeebekken zette de regressie van de zee zich voort door afzetting van sedimenten. Daardoor bevond de kustlijn zich rondstreeks het begin tot midden van het Kwartair (het Onder-Pleistoceen en Midden-Pleistoceen) buiten het onderzoeksgebied. Door klimaatschommelingen verliep het opschuiven van de kustlijn echter schokkerig. Dit resulteert

² Spaans, J.H. (1987). Geohydrologisch Modelonderzoek IJsselvallei. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

³ BROKS Adviezen (1992). Geohydrologisch Onderzoek Winbare Hoeveelheid "Salland-Diep"; bijlagen. BROKS Adviezen, 's-Hertogenbosch.

⁴ Baalen, S. van (1995). Hydrogeochemische Systemanalyse IJsselvallei; Bijlagen 1 t/m 3. WMO, afdeling Onderzoek, sectie Geohydrologie.



tijdens het Kwartair in zowel kustnabije en mariene (Formatie van Maassluis) als fluviatiele afzettingen. De fluviatiele afzettingen werden door rivieren van oostelijke herkomst afgezet (Formatie van Peize) en door de Rijn en de Maas (Formaties van Waalre en Urk). De Formaties van Peize en Urk bestaan overwegend uit grove zanden met grind. De Formatie van Waalre bestaat uit grove en fijne schelphoudende zanden, met vaak zandige kleilagen of kleilenzen. In het oostelijk deel van het onderzoeksgebied zijn geen afzettingen uit deze periode teruggevonden. Dit is mogelijk het gevolg van de daling van het Noordzeebekken (waardoor geen fluviatiele afzettingen hebben opgetreden) en/of erosie.

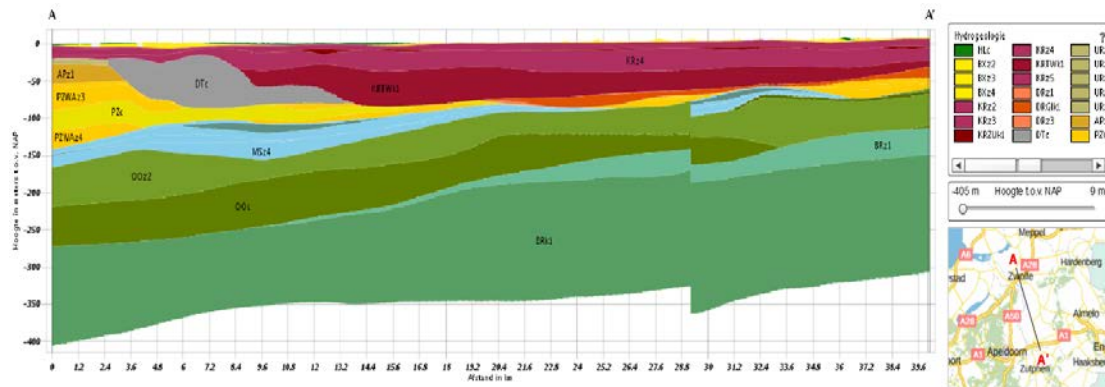
Door de afzetting van sedimenten steeg het maaiveld. Ten gevolge daarvan traden rond het Vroeg-Kwartair en Midden-Kwartair geen kustnabije en mariene afzettingen meer op. Vervolgens treden tijdens het Saalien (Midden-Kwartair) landijsmassa's Nederland binnen. Hierdoor zijn de stuwwallen ontstaan: de Veluwe en Sallandse Heuvelrug. Toen deze landijsmassa's afsmelten ontstond in het IJsseldal een meer. In dit meer zijn fluvioglaciale kleiige en zandige afzettingen afgezet (Formatie van Drenthe). In het Laat-Kwartair (Eemien en Weichselien) zijn door de Maas en Rijn grove zanden afgezet. Op plekken van meren en plassen zijn plaatselijk veen- en kleilagen afgezet. Deze grof zandige, venige en kleiige afzettingen worden tegenwoordig aangeduid als de Formaties van Kreftenheye. Door zeespiegelstijging rukte de kustlijn meer naar het oosten op. Tijdens het laatste glaciaal (het Weichselien) zijn fijne eolische dekzanden afgezet (Formatie van Boxtel). Gedurende het Holoceen werd lokaal (stuif)zand, veen en klei afgezet.

Bodemopbouw

De geologische bodemopbouw is door TNO vertaald naar het geohydrologisch model REGIS. Momenteel is REGIS II v2.2 de nieuwste versie van dit model. In dit model worden de watervoerende en scheidende lagen in kaart gebracht. Het eerste watervoerend pakket bevindt zich in REGIS II v2.2 ter plaatse van het onderzoeksgebied boven de eerste kleiige eenheid van het Laagpakket van Twello en bestaat uit zandige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye en Boxtel.

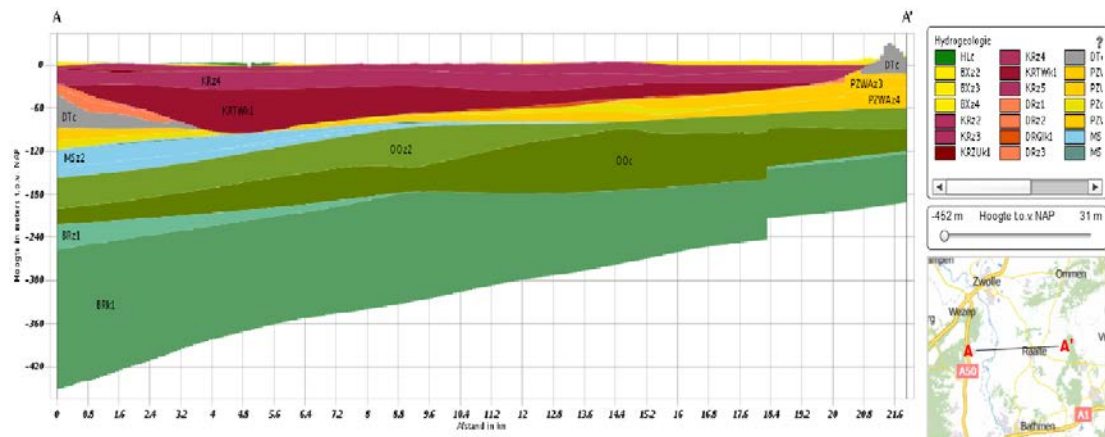
Het tweede watervoerend pakket bevindt zich onder de eerste kleiige eenheid van het Laagpakket van Twello (Formatie van Kreftenheye) en in de omgeving van Zwolle onder een gestuwde afzetting met een complexe eenheid. De onderzijde van het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Breda. In het watervoerende pakket bevinden zich nog drie relatief dunne scheidende lagen: de eerste kleiige eenheid van het Laagpakket van Gieten (Formatie van Drente), de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Maassluis en de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Oosterhout.

In figuur 2.1 is een REGIS II v2.2 noord-zuid bodemdoorsnede weergegeven van Salland Diep, lopend van Zwolle tot Harfsen. Het Laagpakket van Twello is weergegeven met een donker rode kleur met afkorting KRTWk1, de gestuwde afzetting complexe eenheid heeft een grijze kleur met afkorting DTc. De kleiige eenheid van de Formatie van Breda is als onderste groene laag weergegeven met afkorting BRk1.



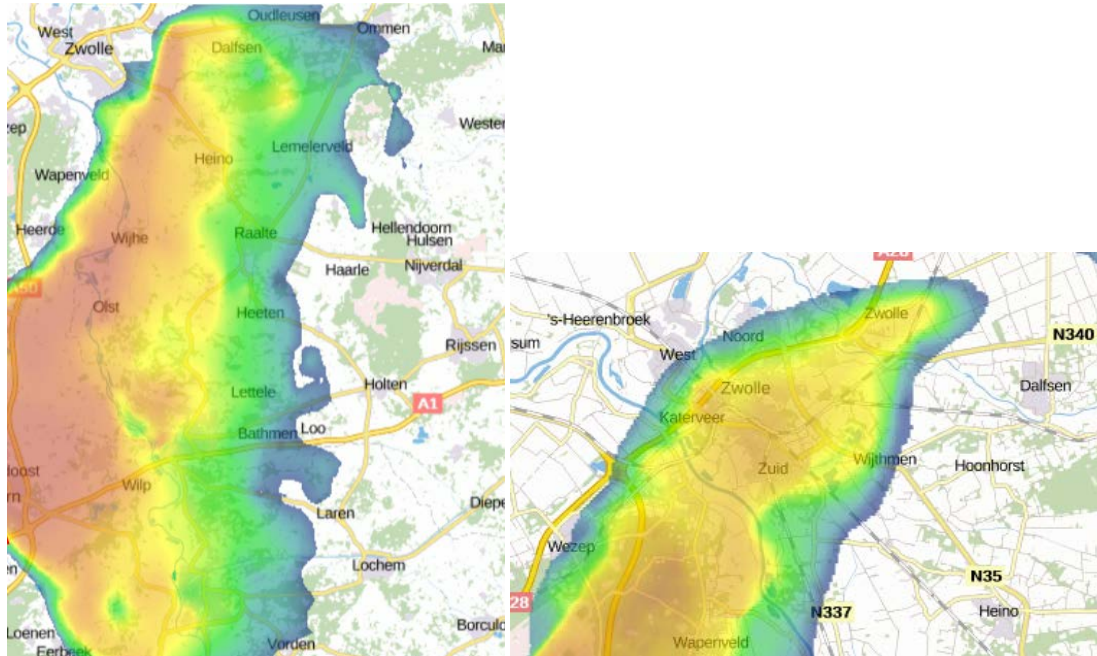
Figuur 2.1 – Noord-zuid doorsnede REGIS II v2.2 (Zwolle – Harfsen)

De bovenkant van het tweede watervoerend pakket Salland Diep is gelegen op circa NAP -50 m tot circa NAP -85 m, en neemt ten noorden van Zwolle af tot circa NAP -25 m. De onderkant van Salland Diep is gelegen op circa NAP -155 m bij Harfsen tot circa NAP -260 m bij Zwolle. De dikte van dit watervoerende pakket in noord-zuidelijke richting is maximaal circa 110 m in de zuidelijke helft en neemt toe tot circa 230 m bij Zwolle. In figuur 2.2 is een REGIS II v2.2 west-oost bodendoorsnede weergegeven van Salland Diep, lopend van Heerde tot Luttenberg. De pakketten en formaties zijn weergegeven in dezelfde kleuren als die in figuur 2.1.



Figuur 2.2 – West-oost doorsnede REGIS II v2.2 (Heerde – Luttenberg)

De bovenkant van het tweede watervoerend pakket is gelegen op circa NAP -110 m tot circa NAP -25 m nabij Luttenberg. De onderkant van het tweede watervoerend pakket is gelegen op circa NAP -230 m tot circa NAP -130 m. De dikte van dit pakket in west-oostelijke richting is circa 100 m. De boringsvrije zone geldt voor een deel van de complexe eenheid en voor het Laagpakket van Twello. De horizontale verbreiding van het Laagpakket van Twello en de horizontale verbreiding van de complexe eenheid zijn weergegeven in figuur 2.3.



Figuur 2.3 – dikte kleilaag van Formatie van Kreftenheye (laagpakket van Twello (links) en dikte gestuwde afzetting met complexe eenheid (rechts)

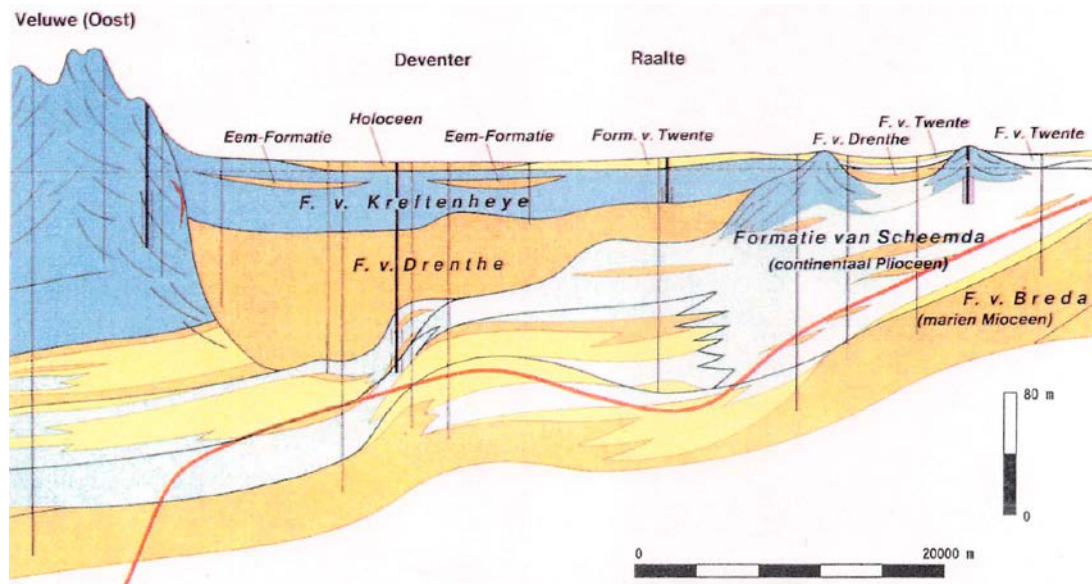
Grondwaterstroming

De grondwaterstroming in het onderzoeksgebied is beschreven met behulp van Spaans (1987) ⁵.

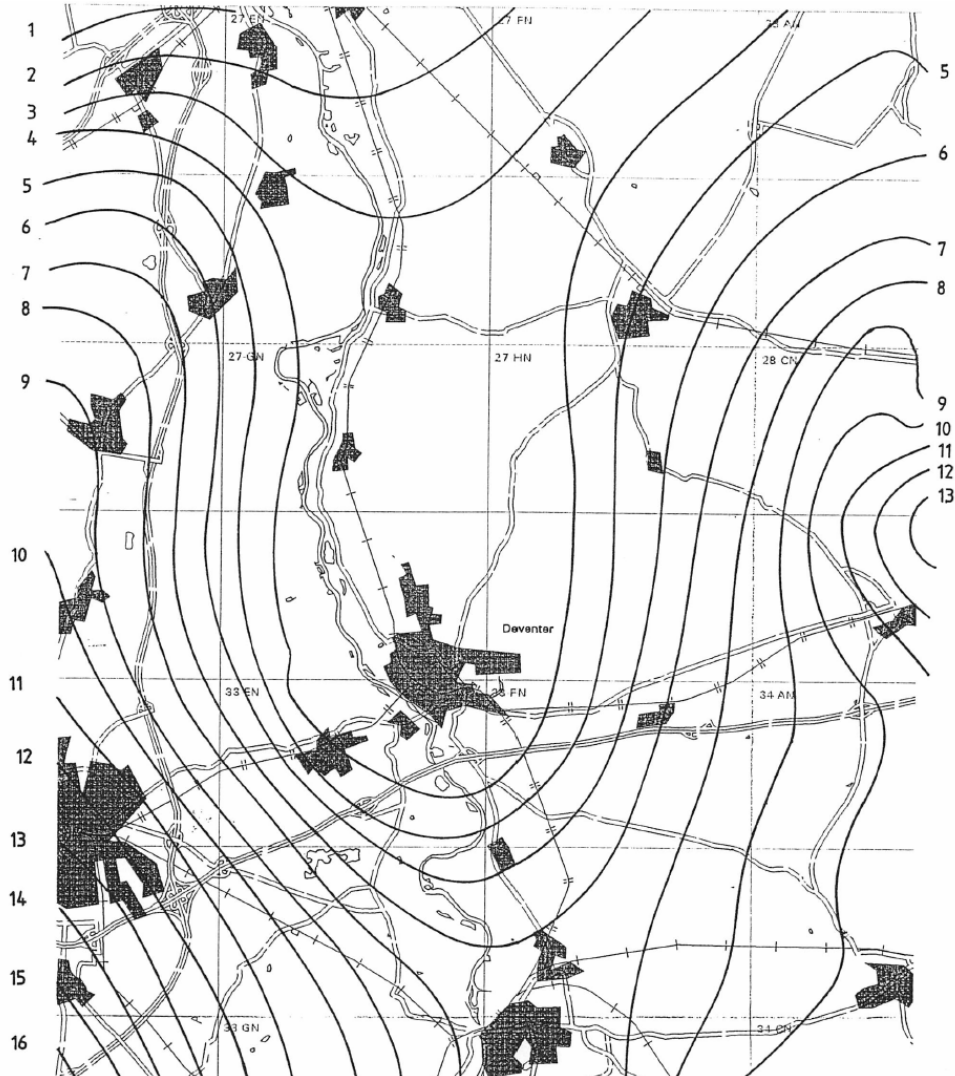
In figuur 2.4 is een geschematiseerde west-oost doorsnede weergegeven van het onderzoeksgebied. De grondwaterstroming in het eerste watervoerend pakket is globaal in westelijke tot noordwestelijke richting. Het grondwater heeft een lokale oorsprong. Door Spaans (1987) is berekend dat het merendeel (60%) van het infiltrerende water in het onderzoeksgebied door het eerste watervoerend pakket stroomt. Het grootste deel van het grondwater vanuit de Sallandse Heuvelrug stroomt af door het ondiepe watervoerende pakket boven de eerste scheidende laag (zijnde het Laagpakket van Twello, weergegeven als de Formatie van Drenthe in figuur 2.4). De toestroming van grondwater naar het pakket Salland Diep is vrij beperkt door de relatief lage potentiaalgradiënt tussen de Sallandse Heuvelrug en het tweede watervoerend pakket. Daarnaast verhindert de relatief hoge weerstand van de eerste scheidende laag een grondwaterstroming vanuit het eerste watervoerend pakket naar het tweede watervoerend pakket (Salland Diep). De IJssel heeft een drainerende werking. De waterlopen stromen voornamelijk in westelijke tot noordwestelijke richting, naar de IJssel toe. Deze waterlopen hebben een grote invloed op de lokale stroming van grondwater in het eerste watervoerend pakket. EC-profielen duiden erop dat op veel plaatsen antropogene invloeden tot op het niveau van de eerste scheidende laag zijn doorgedrongen (Hoogendoorn, 1990).

⁵ Spaans, J.H. (1987). Geohydrologisch Modelonderzoek IJsselvallei. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

De Veluwe zorgt grotendeels voor grondwateraanvulling in het tweede watervoerend pakket. Door de grote potentiaalgradiënt stroomt een groot deel van het grondwater vanuit de Veluwe naar het tweede watervoerend pakket. Daarnaast vindt er in dit pakket grondwateraanvulling plaats vanuit de Achterhoek en de Sallandse Heuvelrug. De stromingsrichting in het tweede watervoerend pakket is in noordwestelijke richting (richting Zwolle). In figuur 2.5 is het isohypsenpatroon in 1988 weergegeven. Het stijghoogteverschil tussen een natte (voorjaar) en droge (najaar) situatie bedraagt 0,5 tot 1 m. De opwaartse stroming naar de IJssel vanuit het tweede watervoerend pakket is verwaarloosbaar, door de hoge weerstand van de eerste scheidende laag. Het verschil in verblijftijd van grondwater tussen het eerste en tweede watervoerend pakket loopt op tot een factor 10 (enkele decennia vs. enkele eeuwen) (Hoogendoorn, 1990).



Figuur 2.4 – Schematische west-oost doorsnede onderzoeksgebied (bron: Atlas van Nederland, 1976)



Figuur 2.5 – Isohypsenpatroon stijghoogte in tweede watervoerend pakket in 1988 (bron: Baalen, 1995)

2.2 Chloridegehaltenes en brak-zout grensvlak

Het chloridegehalte van zoet grondwater is maximaal 150 mg/l. Grondwater met chloridegehaltenes tussen de 150 en 1000 mg/l wordt aangeduid als brak grondwater. Wanneer grondwater een chloridegehalte groter dan 1000 mg/l bevat, dan kan dit worden gekarakteriseerd als zout grondwater.

Het zoet-brak en het brak-zout grensvlak bevindt zich in het tweede watervoerend pakket Salland Diep. De meest recente informatie van TNO over het zoet-brak grensvlak bestaat uit een vlakdekkende kaart, daterend uit 1981 ⁶. Uit deze kaart kan worden afgelezen dat het grensvlak ter hoogte van Salland-Diep is gelegen op een diepte tussen de -100 en -200 m NAP.

⁶ TNO, <https://www.grondwatertools.nl/zoet-en-zout-grondwater>

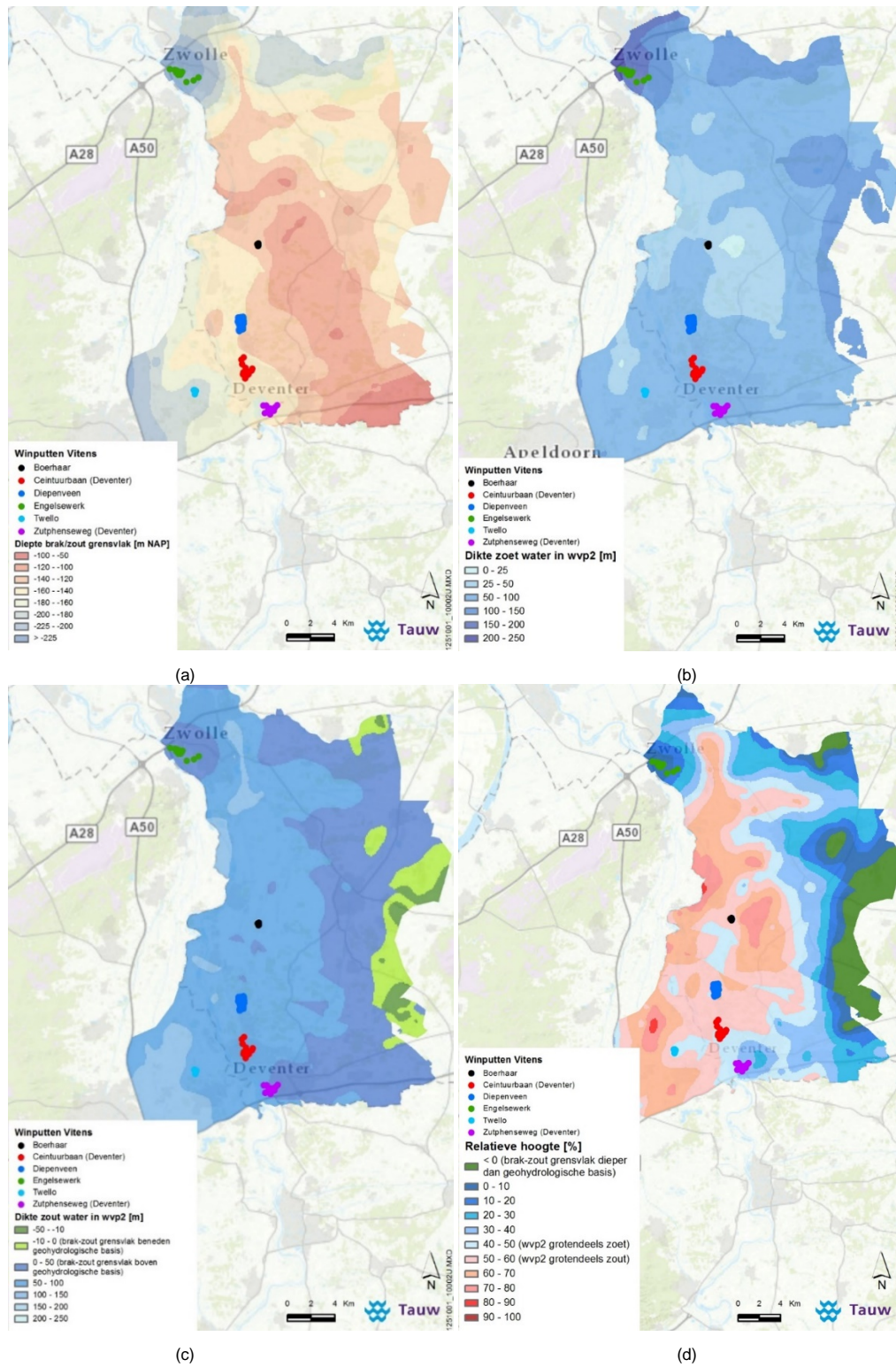


Gezien dit weinig gedetailleerde beeld is deze kaart niet goed bruikbaar voor dit onderzoek. Daarom is gebruik gemaakt van het brak-zout grensvlak van TNO⁶. Deze vlakdekkende kaart is gegenereerd aan de hand van NHI-berekeningen. De diepteligging van dit brak-zout grensvlak is door Vitens geverifieerd aan de hand van gemeten chlorideprofielen. Hieruit blijkt dat het chloridegehalte op de diepte van het brak-zout grensvlak van TNO in werkelijkheid circa 150 mg/l bedraagt. Het brak-zout grensvlak (1000 mg/l) van TNO lijkt daardoor in werkelijkheid een zoet-brak grensvlak (150 mg/l) te zijn. Dit is in overeenstemming met een eerder uitgevoerde studie van Van Baalen (1995). Uit de chlorideprofielen blijkt daarnaast dat het chloridegehalte toeneemt met circa 30 mg/l per meter. Dit resulteert in een gemiddeld chloridegehalte in het zoute gedeelte van het tweede watervoerend pakket van circa 1000 mg/l. Het hanteren van een constant chloridegehalte van 1000 mg/l vanaf het brak-zout grensvlak, conform TNO, is daardoor bruikbaar voor deze studie. De robuustheid van deze keuze is gecontroleerd met een gevoeligheidsberekening. Deze gevoeligheidsberekening is beschreven in hoofdstuk 7. De diepteligging van de brak-zout grens wordt (mogelijk) bepaald door de instroming van zoet grondwater vanuit de Veluwe en de Sallandse Heuvelrug enerzijds en de drinkwateronttrekking in het tweede watervoerend pakket anderzijds. Doordat de instroming van grondwater in dit pakket vanuit de Veluwe significant groter is dan vanuit de Sallandse Heuvelrug, is de opwelling verder naar het oosten (richting de Sallandse Heuvelrug) gelegen en is het brak-zout grensvlak naar het oosten ondieper. Daarnaast is het mogelijk dat de watermassa in de stuwwallen het brak/zoute water heeft weggedrukt, waardoor er een opbolling van brak/zout grondwater in het onderzoeksgebied ontstaat⁷. Ook kan dispersie vanuit de mariene sedimenten een rol hebben gespeeld⁸.

De ligging van dit brak-zout grensvlak in het watervoerend pakket is gevisualiseerd aan de hand van een aantal kaartbeelden. In figuur 2.6a is de diepte van het brak-zout grensvlak weergegeven. In figuur 2.6b is de dikte van het zoete en brakke grondwater in het tweede watervoerende pakket opgenomen. De dikte van het zoute grondwater in het tweede watervoerende pakket is weergegeven in figuur 2.6c. Bij weergegeven diktes in figuur 2.6c die kleiner zijn dan 0 m ligt het zoet-brak grensvlak onder de geohydrologische basis. Een combinatie van figuren 2.6b en 2.6c is opgenomen in figuur 2.6d. Met dit kaartbeeld is de relatieve hoogte van het brak-zout grensvlak in het tweede watervoerende pakket inzichtelijk gemaakt.

⁷ Spaans, J.H. (1987). Geohydrologisch Modelonderzoek IJsselvallei. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

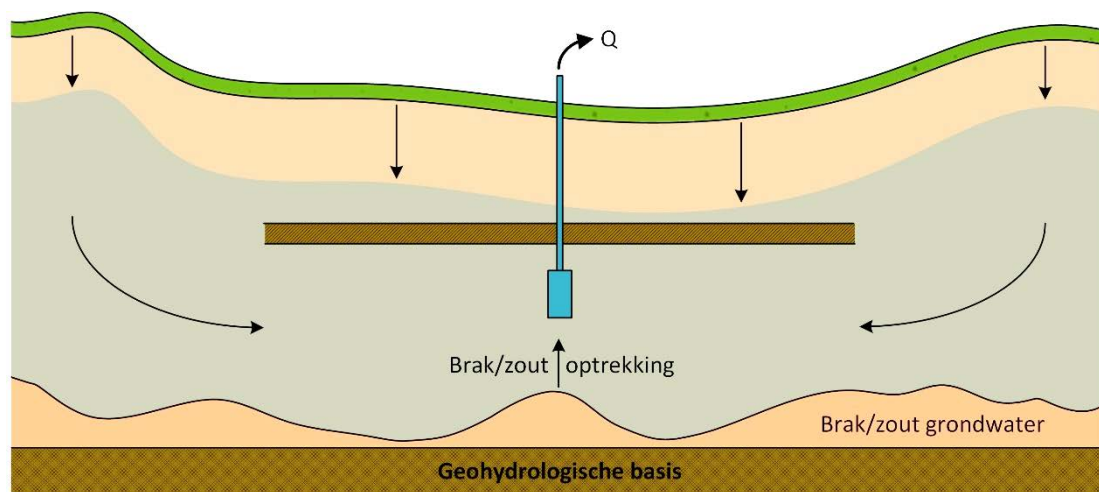
⁸ Meinardi, C.R. (1975). Brackish groundwater bodies as a result of geological history and hydrological conditions. RID mededeling 75-1. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Leidschendam.



Figuur 2.6 – (a) Brak-zout grensvlak, (b) dikte zoet grondwater in wvp2, (c) dikte zout grondwater in wvp2 en (d) relatieve hoogte brak-zout grensvlak in wvp2

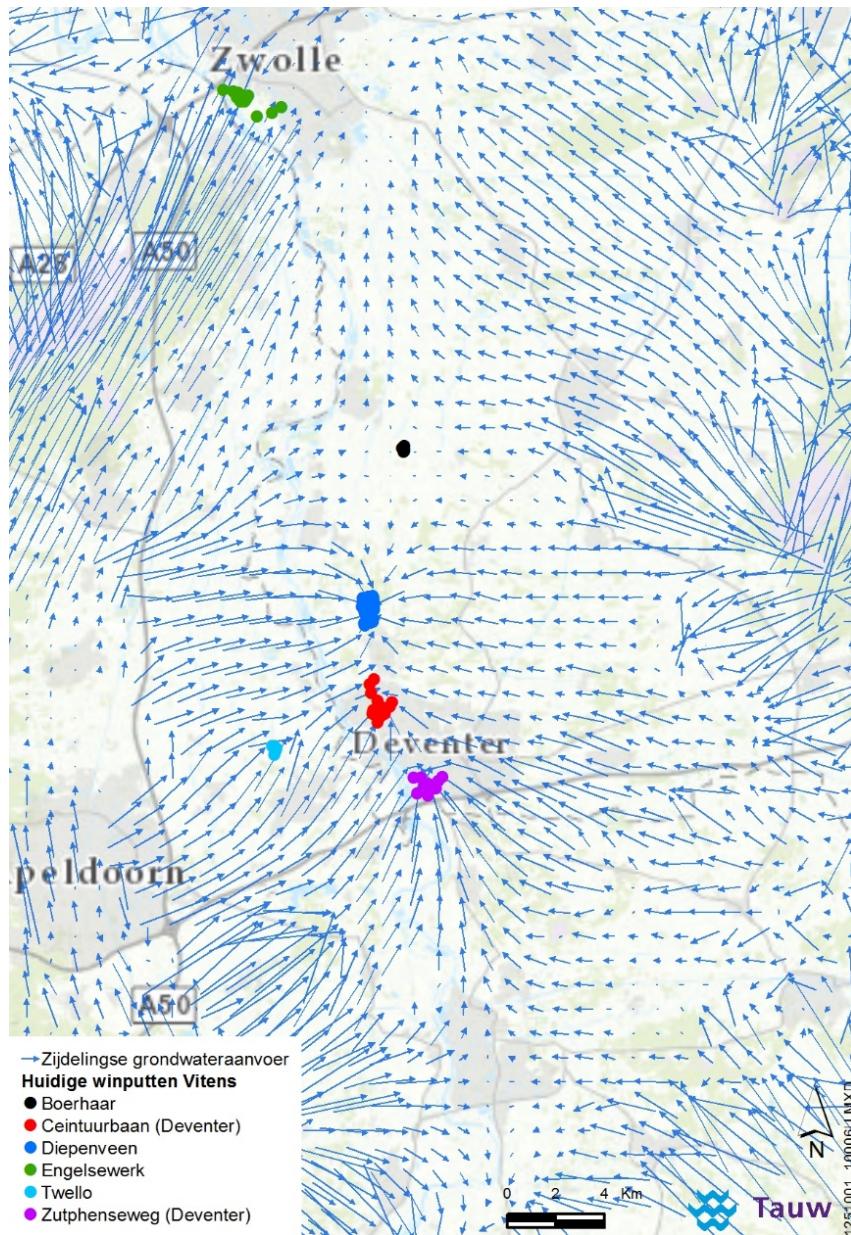
2.3 Grondwaterstroming in pakket Salland Diep

Het watervoerend pakket Salland Diep ontvangt water vanuit de Veluwe en de Sallandse Heuvelrug. Dit zoete water stroomt horizontaal toe als gevolg van de grondwateronttrekkingen in het pakket Salland Diep. In het watervoerend pakket Salland Diep is daarnaast sprake van brak/zout grondwater. Dit brakke grondwater kan als gevolg van de grondwateronttrekkingen van de winningen verticaal optrekken. In figuur 2.7 zijn deze twee grondwaterstromingen schematisch weergegeven.



Figuur 2.7 – Schematische weergave werking grondwaterstroming in watervoerend pakket Salland Diep

De horizontale toestroming, de optrekking van brak/zout water en de hoeveelheid grondwateronttrekking door drinkwaterwinningen hangen sterk met elkaar samen. Voor het langdurig onttrekken van zoet water is het noodzakelijk om de horizontale toestroom van grondwater te vergroten, zonder dat dit voor te veel optrekking van brak/zout water leidt. Nieuwe winlocaties dienen daarom bij voorkeur gelegen te zijn in gebieden met een diep brak-zout grensvlak waar de horizontale toestroom relatief groot is. In figuur 2.8 is deze horizontale toestrooming, ofwel de zijwind genoemd, weergegeven.

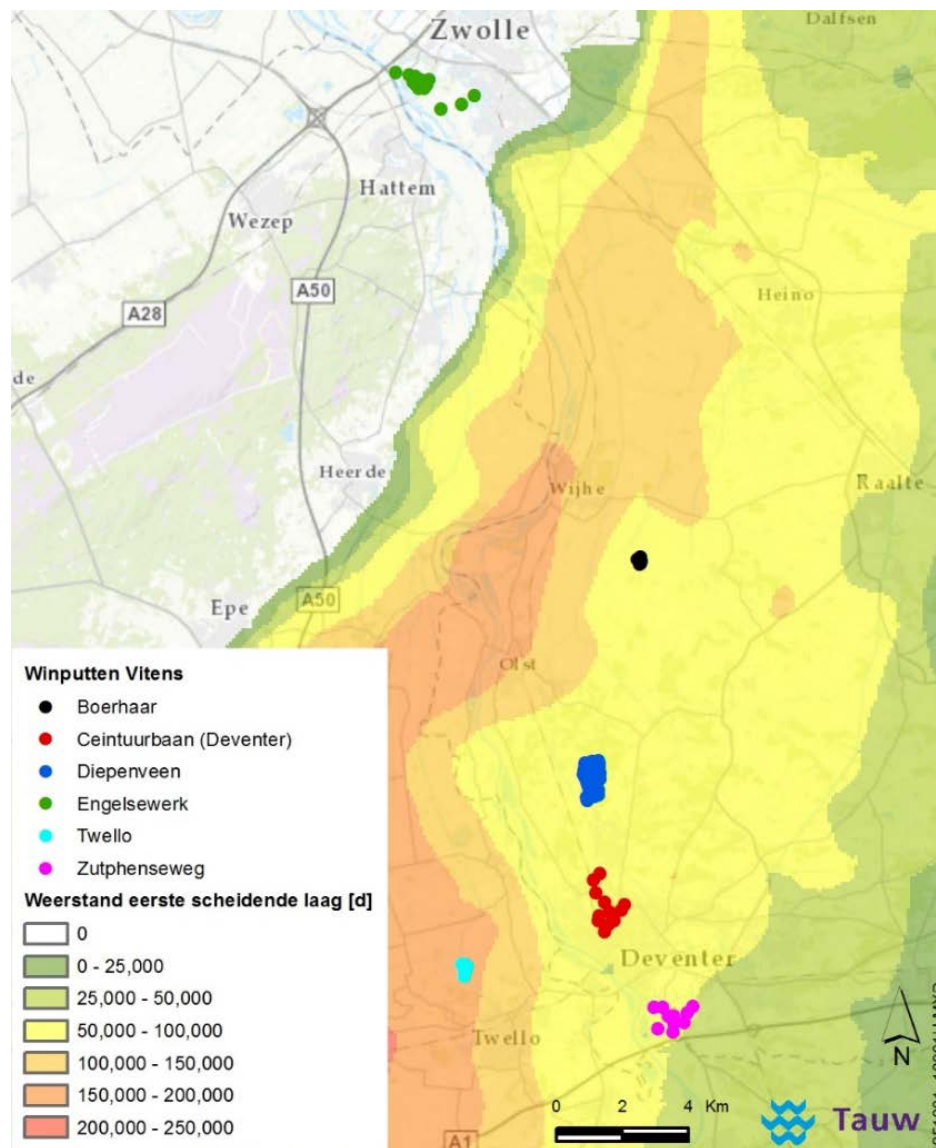


Figuur 2.8 – Horizontale toestroming van grondwater in watervoerend pakket Salland Diep

3 Ervaringen Vitens

3.1 Diepteligging winputten

Vitens onttrekt momenteel grondwater op vijf locaties in het pakket Salland-Diep: Deventer Ceintuurbaan, Deventer Zutphenseweg, Diepenveen, Engelse Werk en Twello. In figuur 3.1 is de ligging van de winputten op deze locaties weergegeven, inclusief de weerstand van de eerste scheidende laag. Voor de weerstand van deze scheidende laag is de weerstand van de kleilagen van de Formaties van Kreftenheye (Laagpakket van Twello) en Drente (Laagpakket van Gieten) gesommeerd. Bij de winning Boerhaar wordt geen grondwater meer onttrokken uit het tweede watervoerend pakket.



Figuur 3.1 – Ligging winputten Vitens en weerstand eerste scheidende laag (laagpakket van Twello)



In tabel 3.1 is zijn diepteliggingen en onttrekkingsdebieten van de putten per winningslocatie weergegeven.

Tabel 3.1 Diepteligging putten drinkwaterwinningen Vitens in Salland Diep

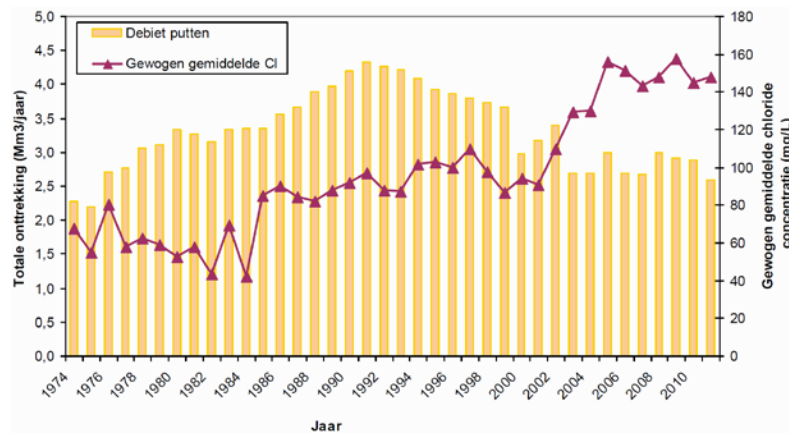
| Winning | Diepteligging putten [m –mv] | Debiet in 2016 [Mm ³ /j] |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Ceintuurbaan (Deventer)</i> | 76 – 142 | 1,5 |
| <i>Zutphenseweg (Deventer)</i> | 68 – 133 | 1,4 |
| <i>Diepenveen</i> | 71 - 130 | 2,9 |
| <i>Twello</i> | 126 - 183 | 1,0 |
| <i>Engelse werk (ondiep)</i> | 50 - 91 | 9,8 |
| <i>Engelse werk (diep)</i> | 104 - 155 | 1,4 |
| <i>Boerhaar</i> | 17 - 38 | 1,8 |

3.2 Verziltingsproblematiek

In het tweede watervoerend pakket waaruit drinkwater wordt gewonnen bevindt zich de overgang van zoet grondwater naar brak/zout grondwater. Het brakke/zoute grondwater wordt door de winningen aangetrokken. De winning Boerhaar Diep (dus in het tweede watervoerend pakket) is in de jaren 90 al dermate verzilt geraakt, dat deze winning in 2001 is gesloten. Deze putten zijn gedempt en niet meer bruikbaar. Bij de overige winningen is het onttrekkingsdebiet gereduceerd om verzilting te voorkomen en/of uit te stellen.

In 1993 is de verziltingssituatie voor de winning Diepenveen onderzocht ⁹. Het chloridegehalte nam in veel putten vrijwel lineair toe met 10 tot 40 mg/l per jaar. Daarom werd aangeraden om de putten in het midden van het puttenveld niet te gebruiken. Vooral de winningen Diepenveen, Deventer Ceintuurbaan en Deventer Zutphenseweg hebben met verzilting te kampen. In 2016 bereikte het reinwater van Deventer Ceintuurbaan een chloridegehalte van 150 mg/l. In figuur 3.2 is het gewogen gemiddelde chloridegehalte per jaar van winning Diepenveen weergegeven.

⁹ Luers, F., Peters, J.H., Stuyfzand, P.J. (1993). Verzilting Diepenveen: diagnose en aanzet voor therapie. KIWA, afdeling Winning en Bodem.



Figuur 3.2 – Gewogen gemiddeld chloridegehalte en debiet per jaar van winningen Diepenveen (bron: Zaadnoordijk et al., 2013)

Uit figuur 3.2 blijkt dat bij winning Diepenveen het chloridegehalte van 150 mg/l wordt overschreden. In sommige putten is het chloridegehalte zelfs hoger dan dat, aangezien het in figuur 3.2 om een gewogen gemiddelde gaat. In het zuidelijke deel van de winning zijn tussen 1975 en 1996 negen putten gesloten. In deze putten liep het chloridegehalte op tot 700-800 mg/l. Deze putten hadden een filterstelling van 130 – 140 m –mv. In 2000 zijn nog eens acht putten gesloten met een filterstelling van 95 – 105 m –mv. Het chloridegehalte bereikte in deze putten waarden van 300 tot 600 mg/l. Het totale onttrekkingsdebiet is gezien de verzilting verlaagd. Ondanks deze maatregelen blijft het chloridegehalte bij Diepenveen toenemen.

Wat betreft winning Diepenveen is geconcludeerd dat de chlorideconcentratie een relatie vertoont met de diepte. De diepste en eerst gesloten putten hadden een hoger chloridegehalte dan ondiepere en later gesloten putten. De putten in het midden van de winning hadden hierbij het meest last van verzilting. Deze putten hadden minder zijdelingse grondwateraanvoer dan de omliggende putten. Na sluiting van de middelste putten trad echter upconing op, resulterend in een significante toename in chloridegehalte in de omliggende putten. Bij de noordoostelijke putten heerst een evenwicht tussen aantrekking van zoet en brak water. Het debiet van deze putten en de westelijke putten is hetzelfde als dat van de verziltende putten, maar vertonen een lager chloridegehalte. Dit wordt veroorzaakt door de grotere invloed van zoetwateraanvulling vanuit de Veluwe in westelijke richting en de toenemende diepteligging van het gepompt pakket in westelijke richting. Het chloridegehalte in de put aan de oostgrens van het pompstation en de meest zuidelijke putten van winning Diepenveen zijn gedaald. Dit komt door de sluiting van omliggende putten, waardoor meer grondwater in laterale richting kan worden aangetrokken. Door Zaadnoordijk et al. ¹⁰ is in 2013 geconcludeerd dat het huidige onttrekkingsdebiet van Diepenveen, Deventer Ceintuurbaan en Deventer Zutphenseweg verminderd moet worden om verzilting van de totale winning te voorkomen.

¹⁰ Zaadnoordijk, W.J., Raat, K.J., Sjerps R.M.A. (2013). Alternatieve winopties voor verziltende winningen in de IJsselvallei. KWR, Nieuwegein. Rapportnr. BTO 2013.021.



Door uitgevoerd onderzoek is door Vitens inzicht vergaard in het verziltingsmechanisme, dat als volgt werkt: wanneer brak/zout grondwater zich in hetzelfde pakket bevindt als waaruit water wordt onttrokken, wordt het brak/zoute grondwater altijd aangetrokken door de winning. Het aandeel brak/zout grondwater neemt hierdoor toe in het pakket. Op een gegeven moment zorgt het hele verticale zoutprofiel voor verzilting van de winputten, waardoor de verzilting stabiliseert. Doordat bodemlagen (vrijwel) altijd heterogeen en anisotroop zijn, is het zoutgehalte in de winput niet gelijk aan het gemiddelde zoutgehalte in het gepompt pakket. Andere factoren die invloed hebben op het zoutgehalte in het opgepompte water is het verticale zoutprofiel, grondwatervoeding van het watervoerend pakket, filterlengte ten opzichte van de dikte van het watervoerend pakket en de filterdiepte ten opzichte van het zoet-brak grensvlak.

Verzilting van het opgepompte grondwater is onvermijdelijk wanneer de overgang naar zout grondwater is gelegen in het watervoerend pakket waaruit ook uit onttrokken wordt. Uit alle analyses die de afgelopen decennia in het kader van verziltingsproblematiek zijn gedaan, komt naar voren dat, wanneer uit dergelijke watervoerende pakketten grondwater wordt onttrokken, verzilting vrijwel altijd plaats zal vinden.

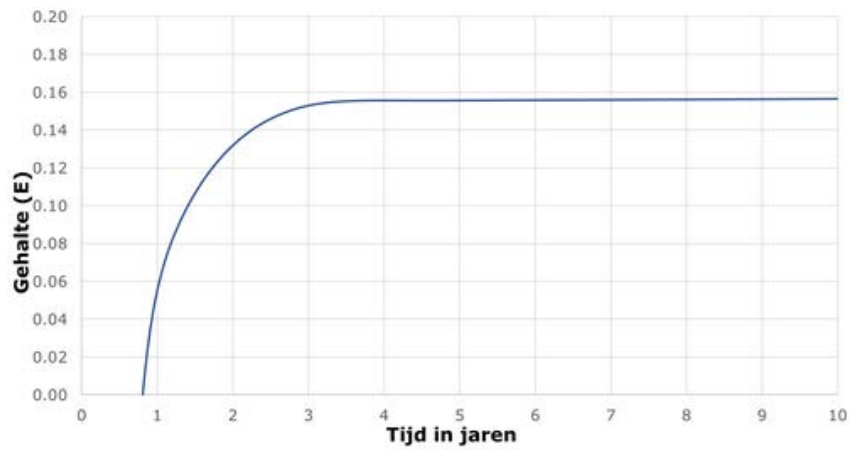
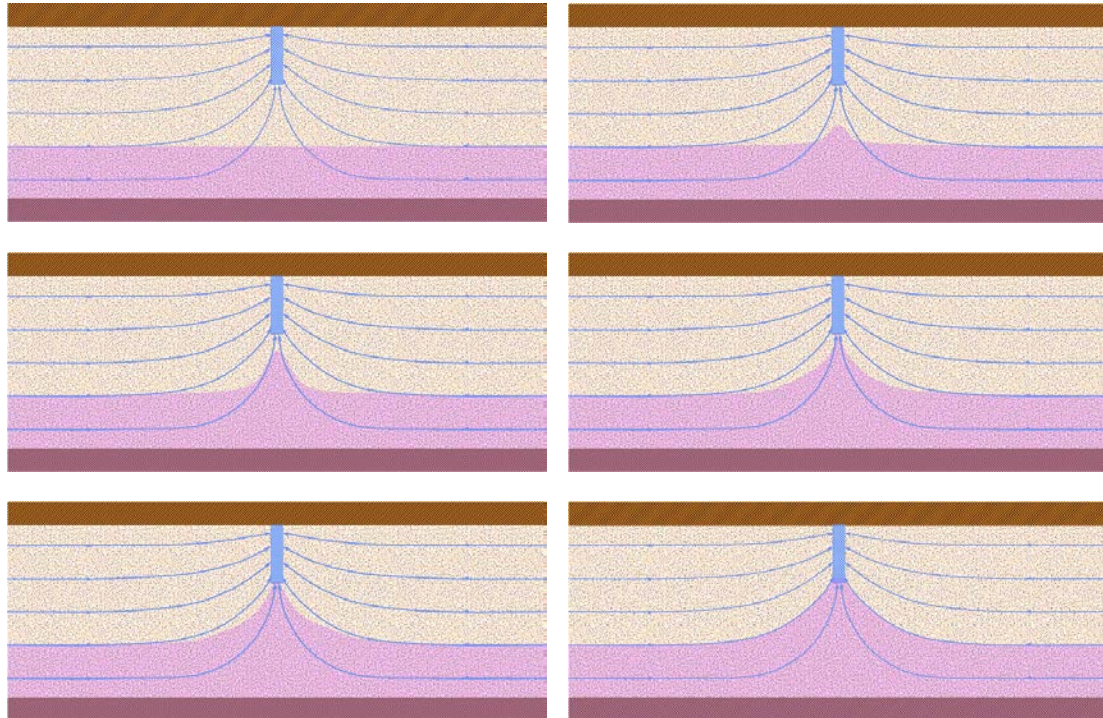
3.3 Omgaan met verziltingsproblematiek

Specifiek voor de IJsselvallei (waar Salland-Diep binnen valt) is recent een intern onderzoek¹¹ over verziltingsproblematiek afgerond. In de rapportage is beschreven hoe kan worden omgegaan met deze problematiek. In onderstaande tekst zijn de belangrijkste bevindingen vanuit dat onderzoek opgenomen.

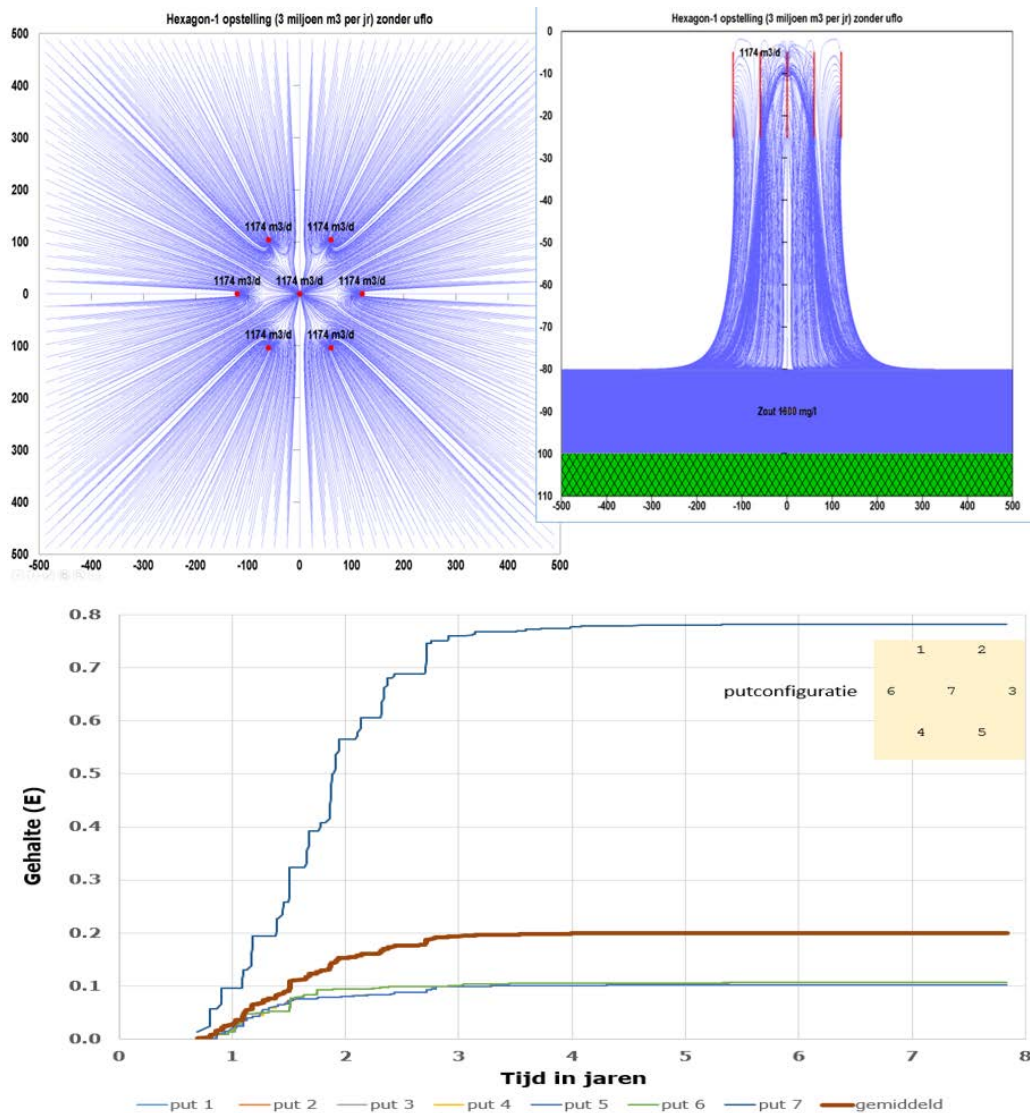
Vitens heeft op diverse winlocaties in Salland-Diep ervaring met de verziltingsproblematiek. Het verziltingsregime dat daarbij optreedt, komt aardig overeen met het theoretische model zoals in figuur 3.3 is weergegeven. Bij het starten van een nieuwe winning wordt gedurende een bepaalde periode geheel zoet water gewonnen. Na enige tijd arriveert het zoute water, eerst bij één put en vervolgens volgen er meer. Het zoutgehalte van de individuele putten, en dus ook van het gemengde ruwwater, neemt geleidelijk toe. Na enige tijd stabiliseert het zoutgehalte, waarbij de eindconcentratie lager is dan het zoute water onderin het watervoerend pakket. Die eindconcentratie is globaal gelijk aan het gemiddelde chloridegehalte over de verticaal, gewogen naar de doorlatendheid van het watervoerend pakket over de verticaal. Factoren die de doorslagtijd bepalen zijn onder meer de afstand tussen de onderkant van het pompfilter ten opzichte van het zoetzout-grensvlak en de anisotropie van het watervoerend pakket.

De meeste puttenvelden zijn geclusterd, dat wil zeggen dat de putten min of meer als een 'puntenwolk' zijn gepositioneerd (zoals Deventer Ceintuurbaan en Deventer Zutphenseweg) of bestaan uit een aantal min of meer evenwijdig aan elkaar in lijn opgestelde putten (zoals Diepenveen). Bij dergelijke configuraties lopen de chloridegehalten van de putten ongeveer uiteen zoals in het theoretische model in figuur 3.4 is weergegeven.

¹¹ Hoogendoorn, J. (2017). Verziltingsproblematiek IJsselvallei, van onderzoek naar omgang met brakwater.



Figuur 3.3 – Theoretisch verziltingsmodel van grondwateronttrekking in watervoerend pakket, waarbij zich onderin het pakket zout grondwater bevindt (Hoogendoorn & Blonk, 2017)



Figuur 3.4 – Theoretisch model chloride ontwikkeling in putten met een geclusterd puttenveld (Hoogendoorn & Blonk, 2017)

De centraal gelegen putten bereiken de hoogste chloridegehalten, terwijl het chloridegehalte in de aan de rand van het puttenveld gelegen putten relatief laag blijft. De ervaring heeft uitgewezen dat het uitzetten van de putten met het hoge chloridegehalte slechts voor korte tijd een oplossing biedt. Het uitzetten van dergelijk putten resulteert erin dat de verzilting uit de centrale putten naar de omringende putten migreert en het chloridegehalte van deze putten alsnog naar hogere waarden stijgt.

In Deventer en Diepenveen heeft Vitens het chloridegehalte jarenlang weten te drukken door het toepassen van het zogenaamde cyclops concept. Hierbij worden de putten zodanig geschakeld dat ze allemaal in eenzelfde mate bijdragen aan de onttrekking. Dit resulteert in een beter 'uitmelken' van het zoete water in het puttenveld, maar voorkomt de verzilting uiteindelijk niet.



Uit allerlei onderzoeken en ervaringen is inmiddels wel duidelijk geworden dat verzilting tot chloridegehalten van meer dan 150 mg/l (de drinkwaternorm) uiteindelijk niet te voorkomen is. Wel kan men de verzilting met allerlei kunst en vliegwerk (verlagen onttrekkingsdebiet, afdichten diepere delen pompfilters, cyclops schakelen, bijplaatsen nieuwe putten) vertragen en de overschrijding van de 150 mg/l norm van het gemengde ruwwater uitstellen. De periode dat nog onder de chloridenorm kan worden gewonnen, kan hierbij overigens flink, tot wel vijftig jaar, oplopen, zij het dat dit veelal wel ten koste van het onttrekkingsdebiet is gegaan.

Op een gegeven moment wordt een punt bereikt waarbij men een afweging moet maken tussen het bijplaatsen van weer nieuwe putten, de winning sluiten, of overgaan tot ontzilten. Injectie van het concentraat, zoals bij de winning Noordbergum gebeurt, is in Deventer niet mogelijk. Een daarvoor geschikt watervoerend pakket op grotere diepte ontbreekt. Het concentraat zal in plaats daarvan geloosd worden op de IJssel (overleg met Rijkswaterstaat inzake de vergunning heeft inmiddels, met positief resultaat, plaatsgevonden). Hiermee kan de winning Ceintuurbaan veiliggesteld worden.



4 Methode

4.1 Grondwatermodel

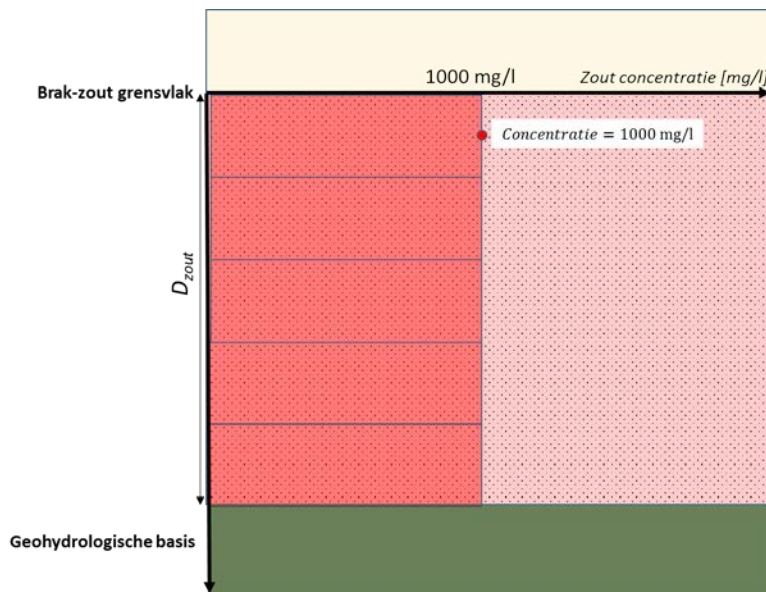
Om de winbare hoeveelheid grondwater in Salland Diep vast te stellen is gebruikt gemaakt van numerieke modelberekeningen met behulp van het recent opgeleverde MIPWA 3.0 model. Dit model is omgezet naar een stationaire vorm. De laagschematisatie van het MIPWA 3.0 model is echter gebaseerd op REGIS II v.2.1, terwijl inmiddels een nieuwe versie van REGIS (versie II v.2.2) is uitgebracht. De laagschematisatie van het MIPWA 3.0 model is daarom vergeleken met REGIS II v2.2. Hieruit zijn de volgende verschillen geconstateerd:

- De verbreiding van het Laagpakket van Twello en Gieten naar de diepte komt in het MIPWA model niet goed overeen met beide versies van REGIS. De mapping naar het model lijkt niet goed te zijn.
- De modellagen direct onder het Laagpakket van Twello zijn in het MIPWA model als zeer dunne lagen geschematiseerd. Dit heeft als nadeel dat het niet mogelijk is om hier winputten in te schematiseren. Winputten moeten dan in diepere modellagen worden geschematiseerd, waardoor de afstand tussen de onderzijde van de winput en de diepte van het zoet-zout grensvlak niet correct wordt geschematiseerd.
- De geohydrologische basis van MIPWA is gedeeltelijk gebaseerd op de onderzijde van het Maassluis complex en op de bovenzijde van de Breda-klei in REGIS II v2.1. De bovenzijde van de Breda-klei ligt volgens de nieuwste versie van REGIS significant dieper.

In bijlage 3 is beschreven hoe het model is aangepast, waarbij de aanpassingen voor een groter gebied zijn uitgevoerd.

4.2 Verziltingsmodel

Op basis van het brak-zout grensvlak van TNO is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte van het tweede watervoerend pakket dat gelegen is boven dit grensvlak en onder dit grensvlak. Aan het gedeelte dat gelegen is onder het grensvlak tot aan de geohydrologische basis (Formatie van Breda, eerste kleiige eenheid), is een chlorideconcentratie van 1000 mg/l meegegeven. In figuur 4.1 is deze methode schematisch weergegeven. Het grondwatermodel is vervolgens doorgerekend met verschillende drinkwaterputten (zowel apart als in combinatie). De geografische ligging en onttrekkingsdebieten van deze drinkwaterputten wordt in meer detail besproken in hoofdstuk 5 en 6. Op basis van de doorgerekende fluxen met het grondwatermodel kunnen stroombaanberekeningen uitgevoerd worden. Wanneer een stroombaan gelegen is in het 'zoute' (chlorideconcentratie = 1000 mg/l) deel van het watervoerend pakket en na een bepaalde simulatietijd een drinkwaterput bereikt, wordt dit geregistreerd. Uiteindelijk kan per doorgerekend model een responscurve gemaakt worden van de chlorideconcentraties in de drinkwaterputten over de tijd.



Figuur 4.1 – Schematische weergave verdeling zoutgehalte in verziltingsmodel

In deze methode is geen rekening gehouden met dichtheidsverschillen. In eerste instantie was het de bedoeling om het brak-zout grensvlak in het grondwatermodel in te brengen als laagscheiding, zodat het mogelijk zou zijn om waterbalansen te presenteren. De diepteligging van het grensvlak blijkt echter zodanig te variëren over meerdere modellagen dat het schematiseren van het grensvlak in een laagscheiding niet uitvoerbaar bleek. In bijlage 4 is de methode van het verziltingsmodel nader toegelicht.

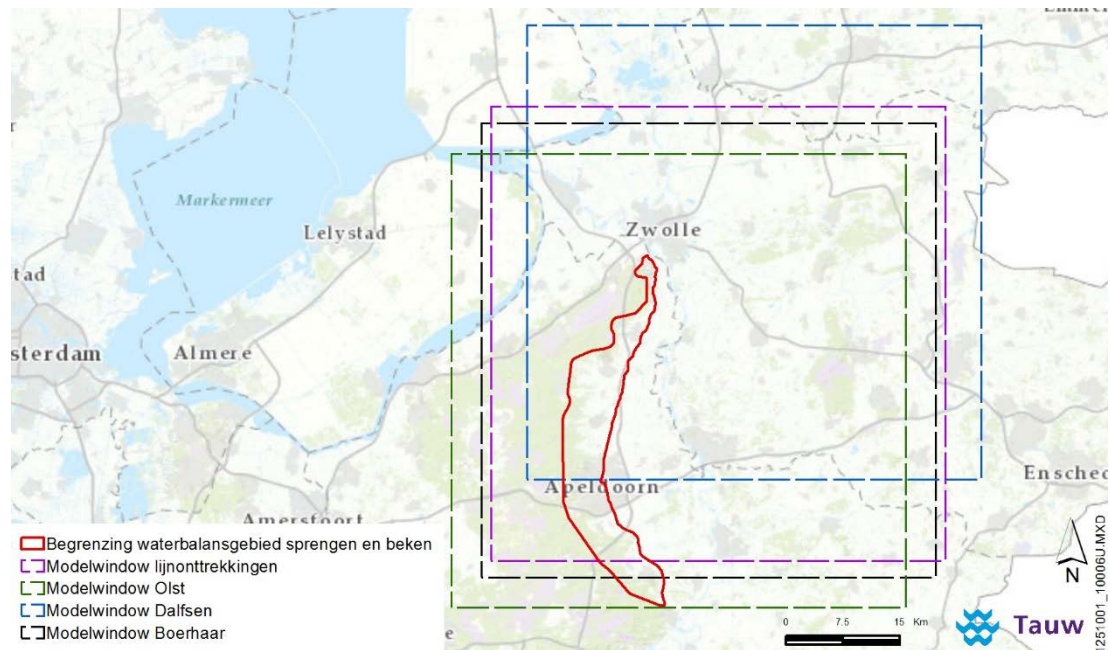
4.3 Waterbalansen

Om inzicht te krijgen in de veranderingen van de fluxen zijn waterbalansen opgesteld. Voor de waterbalansen zijn een aantal waterbalansgebieden gedefinieerd:

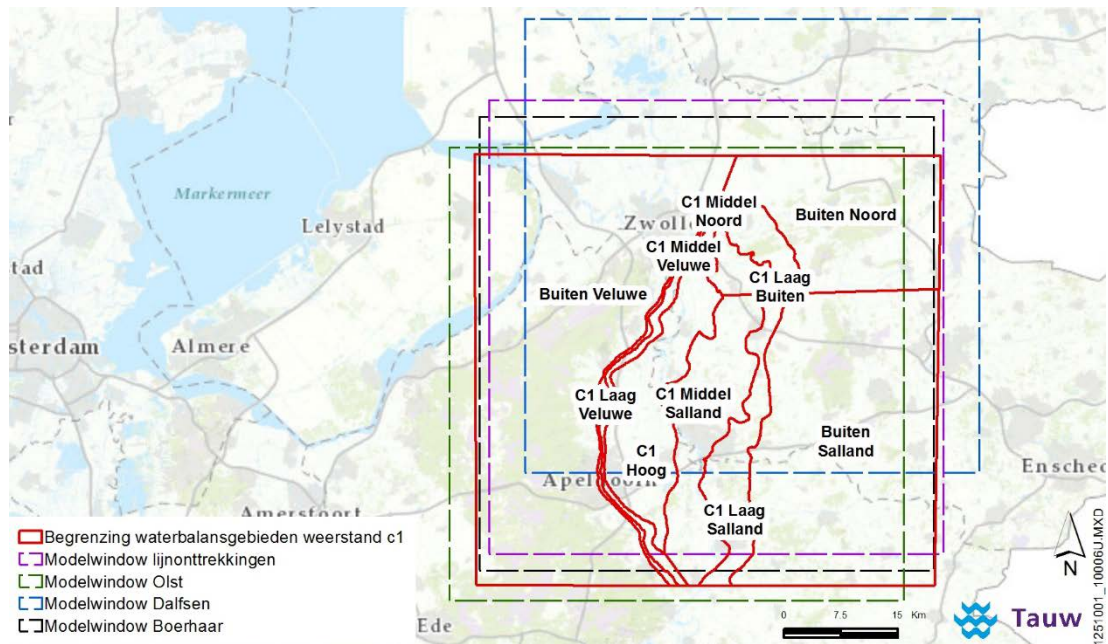
- *Gebied met sprengen en beken op de Veluwe.* De begrenzing van dit gebied is vastgesteld op basis van de digitale Bekenatlas Veluwe. Het gebied omvat alle sprengen en beken gelegen aan de oostelijke Veluwerand en ten westen van het Apeldoorns Kanaal, lopend van Dieren tot aan Hattem. In figuur 4.2 is de begrenzing van dit gebied weergegeven.
- *Gebied gelegen boven het Laagpakket van Twello.* Dit gebied is opgesplitst in meerdere deelgebieden. De begrenzing van de deelgebieden is bepaald aan de hand van de weerstandswaarde van de eerste scheidende laag en de geografische ligging (Veluwegebied, Sallandgebied of buitengebied). In figuur 4.3 is de begrenzing van de deelgebieden weergegeven.

Het gebied met sprengen en beken op de Veluwe is gedefinieerd zodat met de waterbalansen inzichtelijk wordt wat het effect is van een nieuwe winning op de afvoer- en infiltratieflexen van de sprengen en beken. Fluxveranderingen van deze oppervlaktewateren zijn ongewenst, gezien hun belangrijke ecologische en cultuurhistorische waarde. Het gebied gelegen boven het Laagpakket

van Twello geeft inzicht in de invloed van de winning op de flux die door de eerste scheidende laag gaat en het effect van de winning op het daarboven gelegen oppervlaktewatersysteem. Door de hoge weerstand van de eerste scheidende laag, zou verwacht kunnen worden dat er geen verandering optreedt in de flux door de eerste scheidende laag. Uit de modelberekeningen blijkt echter dat dit wel het geval is en dat effecten optreden aan het oppervlaktewatersysteem. Met behulp van de waterbalansen is gekeken welk effect optreedt en hoe groot dit effect is.



Figuur 4.2 – Begrenzing waterbalansgebied sprengen en beken incl. modelwindows



Figuur 4.3 – Begrenzing waterbalansgebieden weerstand c1 incl. modelwindows

In figuren 4.2 en 4.3 zijn tevens de modelwindows voor de verschillende modelberekeningen opgenomen. Uit de figuren blijkt dat de meeste modelwindows de waterbalansgebieden doorkruisen. Daardoor zal de totale flux van een waterbalansgebied veelal verschillen tussen verschillende modelberekeningen (bijv. Olst en Dalfsen). Immers, een deel van een waterbalansgebied valt niet binnen een modelwindow. Bij de vergelijking van waterbalansen tussen verschillende waterbalansgebieden dient daarom rekening te worden gehouden met dat de gepresenteerde fluxen mede afhankelijk zijn van de gekozen modelwindows (en dus niet alleen van de ligging en debiet van een drinkwaterwinning). Een rechtstreekse vergelijking van de verschillende locaties is daardoor lastiger te maken. Doordat echter de referentiesituaties in beeld zijn gebracht, is het mogelijk om inzicht te krijgen in het totaaleffect van een nieuwe drinkwaterwinning op de waterbalans.

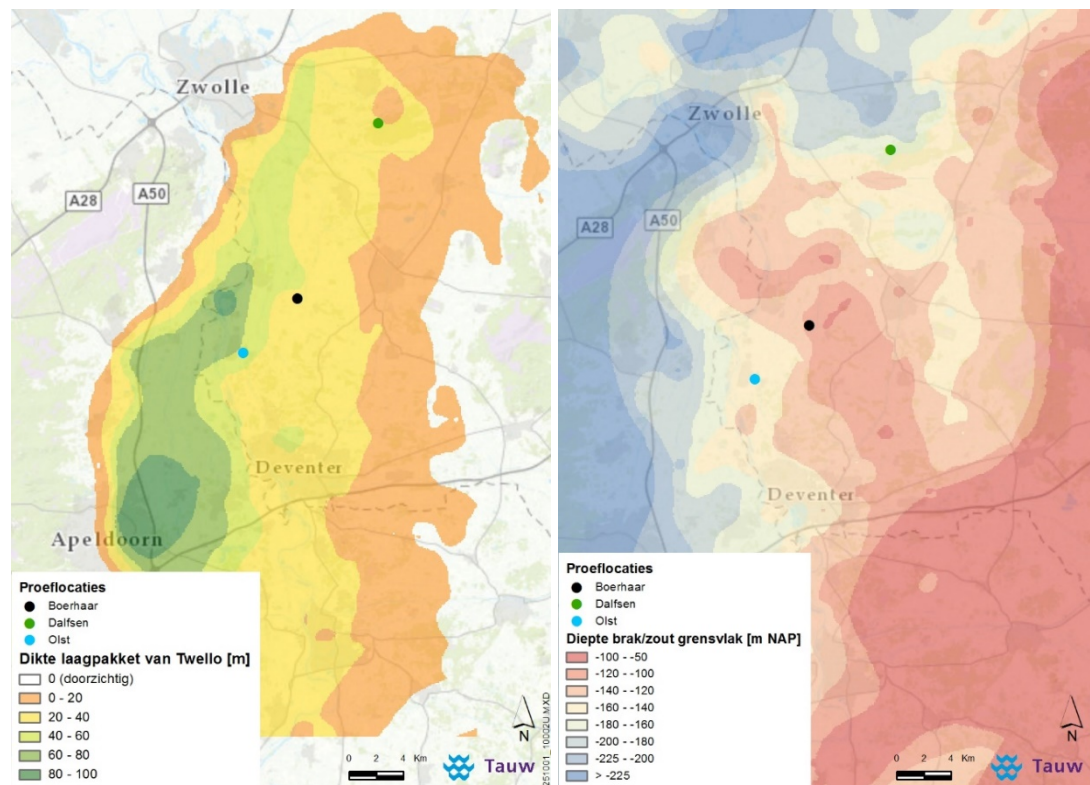
5 Berekeningen puntlocaties

5.1 Methode

Voor de initiële berekeningen is gekozen om het grondwatermodel en verziltingsmodel door te rekenen met drinkwaterputten op 3 locaties: Boerhaar, Dalfsen en Olst. Deze locaties zijn individueel doorgerekend:

- *Boerhaar*: deze proeflocatie kan worden gezien als een ‘worst-case’ locatie. Op basis van de systeembeschrijving in hoofdstuk 2 is de locatie Boerhaar het minst geschikt. Het brak-zout grensvlak is hier relatief ondiep gelegen. Daarnaast bevindt de locatie zich midden onder het Laagpakket van Twello. Daardoor vindt hier de minst zijdelingse toestroming (ook wel aangeduid als zijwind) plaats.
- *Olst*: het brak-zout grensvlak is hier relatief diep gelegen. Olst bevindt ten opzichte van Boerhaar dichterbij de Veluwe waardoor de zijdelingse toestroming hier hoger zal zijn.
- *Dalfsen*: Deze locatie wordt het meest kansrijk geacht. Het brak-zout grensvlak ligt relatief diep, er is relatief veel zijdelingse toestroming en het Laagpakket van Twello biedt naar verwachting voldoende bescherming voor antropogene invloed (weerstand > 10.000 d).

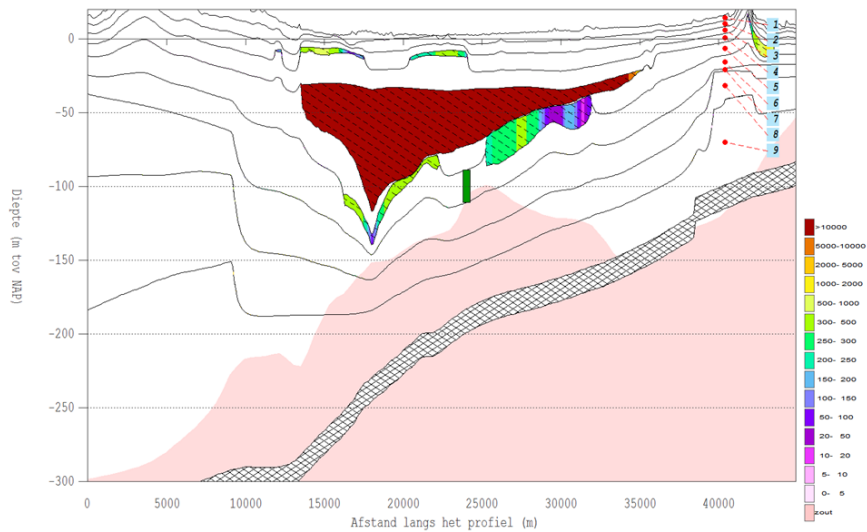
In figuur 5.1 zijn deze proeflocaties ruimtelijk weergegeven, waarbij ook de verbreiding van het Laagpakket van Twello (links) en de diepte van het brak-zout grensvlak zijn weergegeven (rechts).



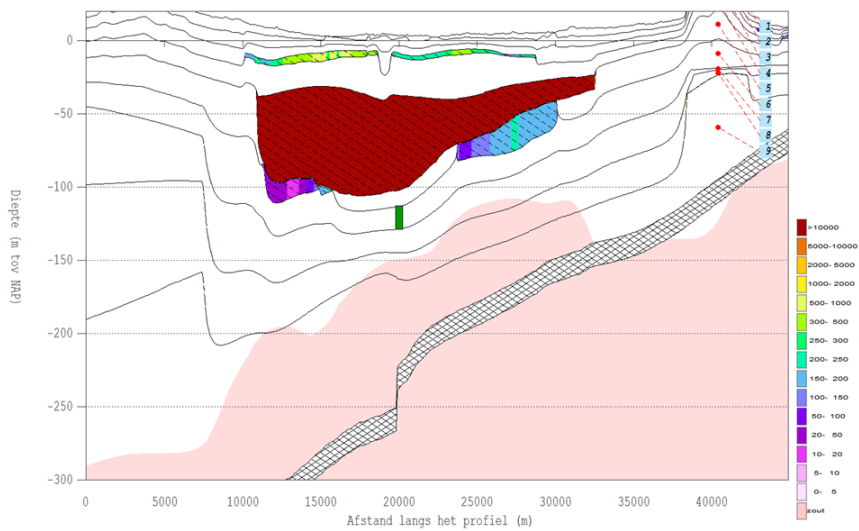
Figuur 5.1 – Proeflocaties in combinatie met verbreiding van het Laagpakket van Twello (links) en diepte brak-zout grensvlak (rechts)



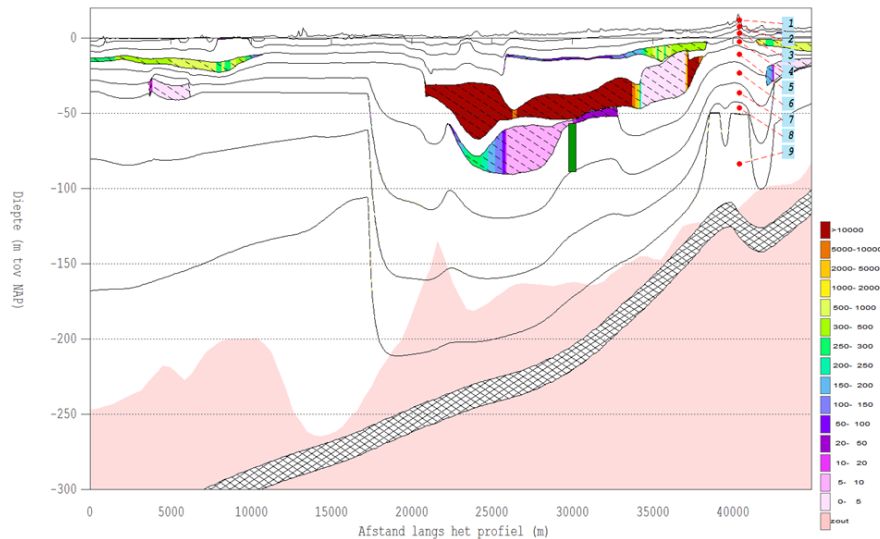
In figuren 5.2 t/m 5.4 is van elke locatie een west-oost dwarsdoorsnede opgenomen. De filterstelling van de put is hierbij opgenomen in de dwarsdoorsnede. Daarnaast zijn de scheidende lagen weergegeven met een kleur. De kleur geeft de weerstand uitgedrukt in dagen weer. Ook is het brak-zout grensvlak in roze/zalmkleur in de dwarsdoorsnede weergegeven.



Figuur 5.2 – Dwarsdoorsnede bij proeflocatie Boerhaar



Figuur 5.3 – Dwarsdoorsnede bij proeflocatie Olst



Figuur 5.4 – Dwarsdoorsnede bij proeflocatie Dalfsen

Door adviesbureau BROKS is in het verleden een vergelijkbaar geohydrologisch onderzoek uitgevoerd naar de winbare hoeveelheid drinkwater in Salland Diep¹². Uit dit onderzoek bleek dat de potentieel meest geschikte locaties voor drinkwaterwinning Boerhaar, Dalfsen en Olst zijn (waarvan Boerhaar relatief gezien het minst geschikt). Een korte samenvatting van dit onderzoek is opgenomen in bijlage 2.

Per locatie zijn in een hexagoonvorm drinkwaterputten geplaatst in het tweede watervoerend pakket van het grondwatermodel. Elke locatie is 3x doorgerekend met een onttrekkingsdebiet van respectievelijk 1,3 en 4 Mm³/j.

5.2 Resultaten

Zoals in de vorige paragraaf is besproken zijn voor drie winningslocaties modelberekeningen uitgevoerd. Per winningslocatie zijn de responscurven in kaart gebracht, die de verzilting van de winputten laten zien. Uit sommige modelberekeningen blijkt dat grondwater langdurig kan worden onttrokken, waarbij geen aanzienlijke verzilting optreedt binnen een termijn van 100 jaar. Voor deze kansrijke winhoeveelheden zijn de freatische grondwaterstandsverlagingen en stijghoogteverlagingen in het gepompt pakket in kaart gebracht en de reistijden van waterdeeltjes. Ook zijn voor het grootste kansrijke debiet van de betreffende drinkwaterwinning de fluxveranderingen van oppervlaktewateren in kaart gebracht, zowel ruimtelijk met figuren als in tabelvorm met waterbalanstermen. Hiermee is de afname in afvoer en/of toename in infiltratie van oppervlaktewateren inzichtelijk gemaakt als gevolg van een nieuwe winning. Doordat het gebruikt grondwatermodel stationair is, is het niet mogelijk om de invloed van een onttrekking op de afname van afvoer in natte perioden en een toename van infiltratie in droge perioden afzonderlijk te bepalen (instationair).

¹² Broks adviezen (1992). Geohydrologisch onderzoek winbare hoeveelheid "Salland-Diep". Tekst, tabellen en overlays. Provincie Overijssel en Waterleidingsmaatschappij Overijssel.

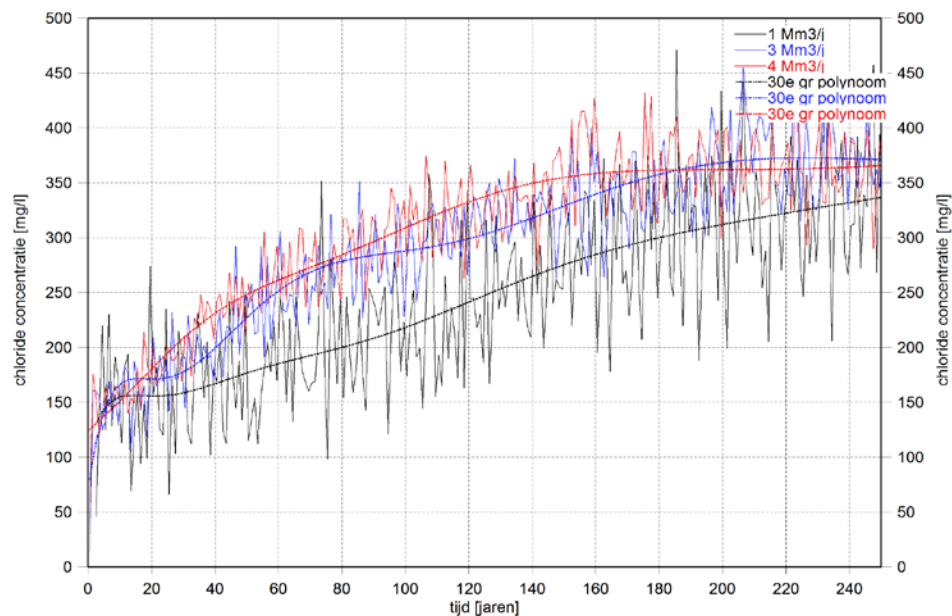


In bijlage 5 zijn de grondwaterstandveranderingen, veranderingen van de stijghoogte in het gepompt pakket en de reistijden opgenomen van alle onttrekkingshoeveelheden.

5.2.1 Locatie Boerhaar

Verziltzing drinkwaterputten

In figuur 5.5 zijn de berekende responscurven weergegeven bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j en de daarvan gemiddelde chlorideconcentraties (polynoom benadering). Uit de figuur blijkt dat bij alle onttrekkingshoeveelheden het chloridegehalte binnen enkele jaren (max. circa 10 jaar) de grens van 150 mg/l overschrijdt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op deze locatie geen langdurige zoete drinkwaterwinning mogelijk is.



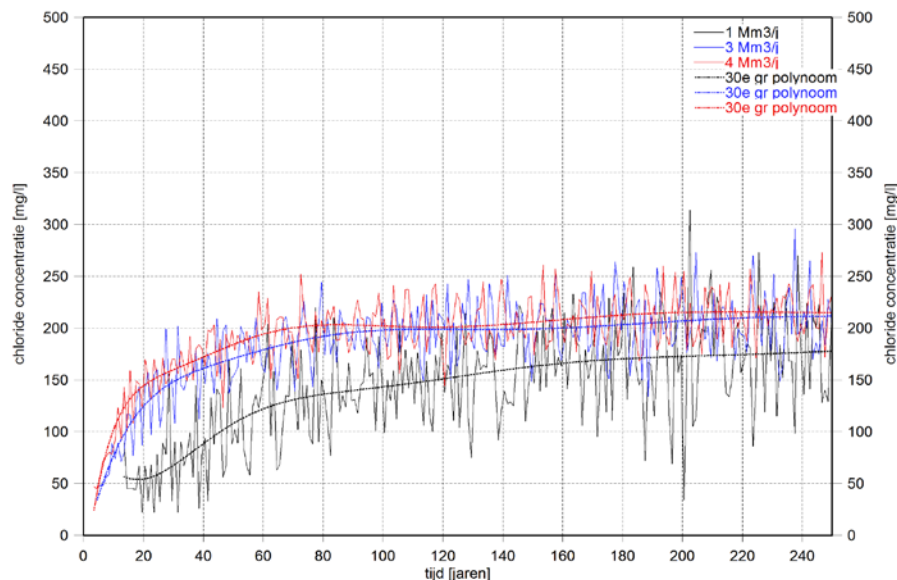
Figuur 5.5 – Berekende chlorideconcentraties en polynoom benadering bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j bij locatie Boerhaar



5.2.2 Locatie Olst

Verziltiging drinkwaterputten

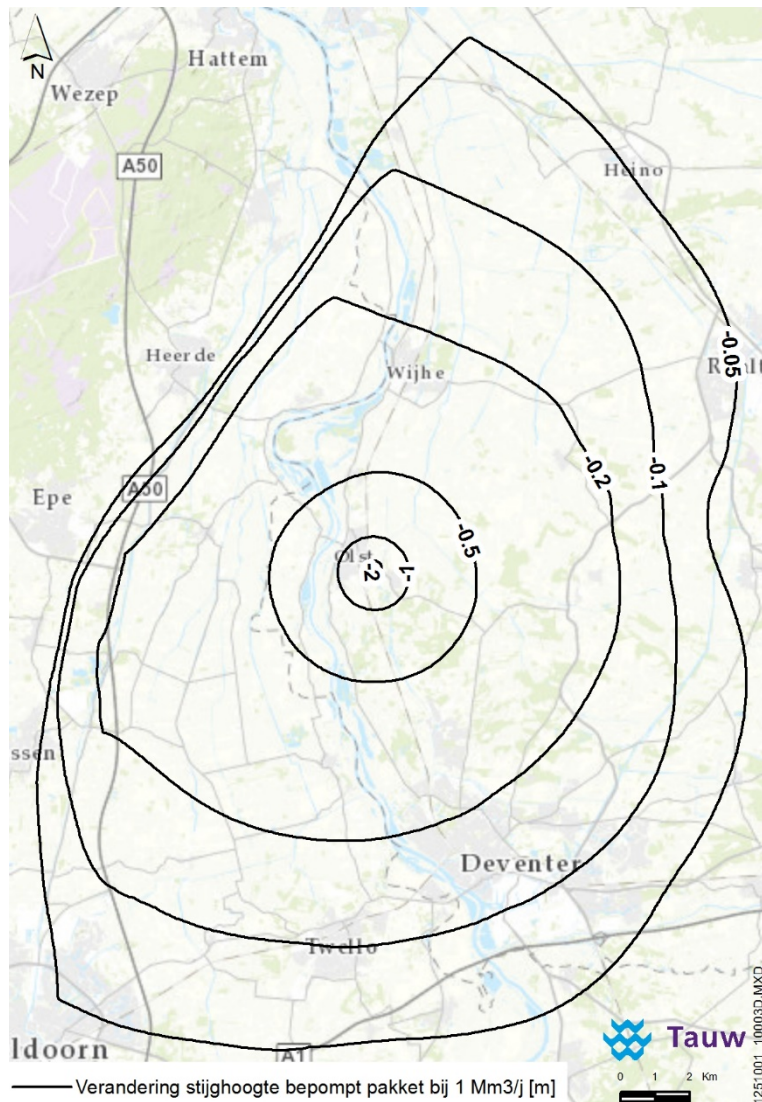
In figuur 5.8 zijn de berekende responscurven weergegeven bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j en de daarvan gemiddelde chlorideconcentraties (polynoom benadering). Uit de figuur blijkt dat bij een onttrekkingsdebiet van 1 Mm³/j het chloridegehalte gedurende circa 100 jaar onder de grens van 150 mg/l blijft. Bij een onttrekkingshoeveelheid van 3 en 4 Mm³/j is het chloridegehalte significant hoger, dat na respectievelijk circa 20 en 30 jaar 150 mg/l bedraagt. Geconcludeerd kan worden dat op deze locatie een langdurige zoete grondwaterwinning mogelijk is van minimaal 1 Mm³/j.



Figuur 5.6 – Berekende chlorideconcentraties en polynoom benadering bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j bij locatie Olst

Grondwaterstandsverlagingen bij 1 Mm³/jaar

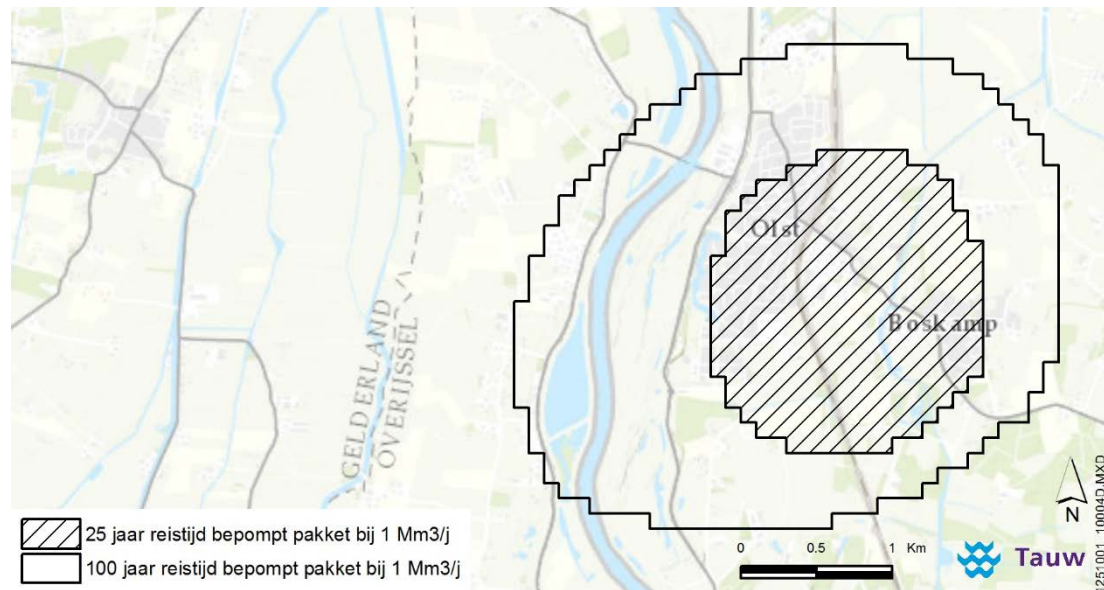
Wat betreft de freatische grondwaterstandsverlagingen zijn er bij een onttrekkingshoeveelheid van 1 Mm³/j geen verlagingen groter dan 0,05 m. In figuur 5.9 zijn de berekende stijghoogteveranderingen in het gepompt pakket weergegeven.



Figuur 5.7 – Stijghoogteveranderingen in pompt pakket bij een grondwateronttrekking van 1 Mm³/j bij locatie Olst

Reistijden bij 1 Mm³/jaar

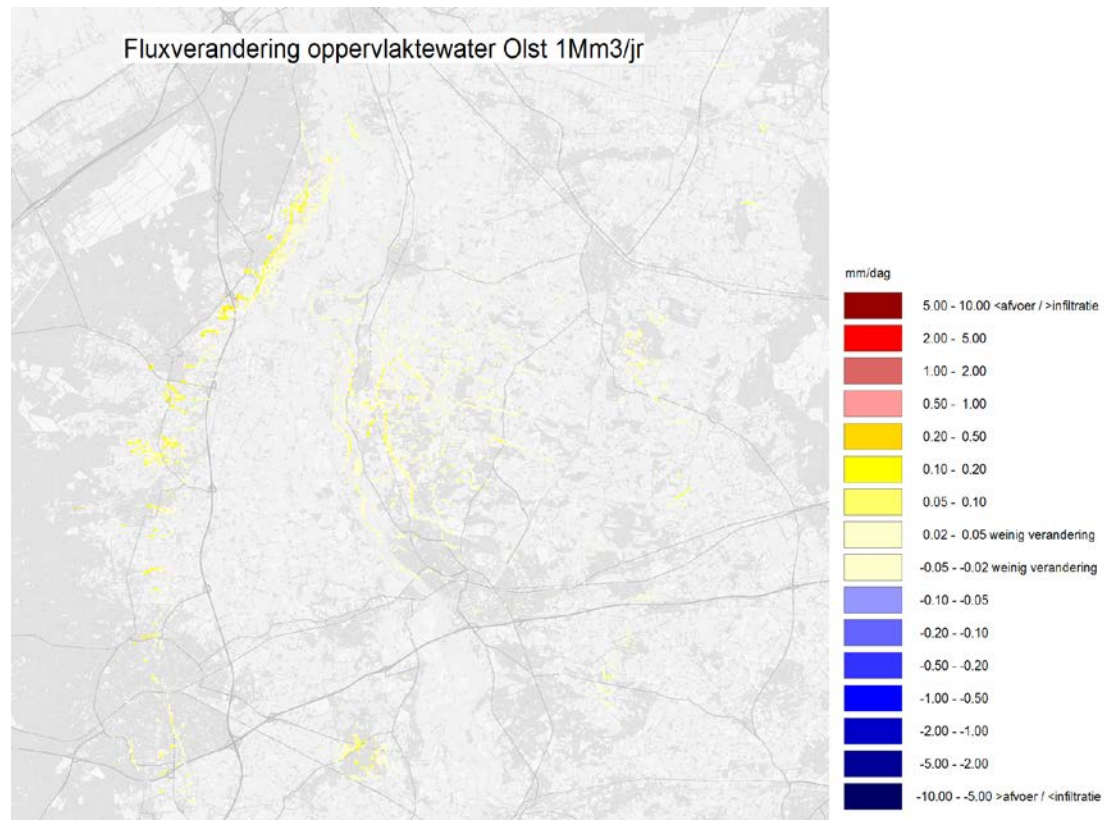
Uit de modelberekeningen blijkt dat er geen waterdeeltjes binnen 100 jaar vanuit het freatisch pakket de drinkwaterwinning in stromen. In figuur 5.10 zijn de 25 jaar en 100 jaar reistijden van waterdeeltjes in het pompt pakket weergegeven.



Figuur 5.8 – 25 jaar en 100 jaar reistijd in bepompt pakket bij grondwateronttrekking van 1 Mm³/j bij locatie Olst

Fluxveranderingen oppervlaktewateren bij 1 Mm³/jaar

In figuur 5.11 is de fluxverandering van oppervlaktewateren weergegeven. Uit de figuur blijkt dat van de Veluwe sprengen en beken vooral fluxveranderingen optreden langs het noordelijk deel van de Veluwerand.



Figuur 5.9 – Fluxverandering oppervlaktewateren locatie Olst, 1 Mm³/j

In tabel 5.1 zijn de absolute fluxen en het netto totaal verschil in flux van de Veluwe sprengen en beken weergegeven. De tabel laat zien dat de winning bij Olst met een onttrekkingsdebit van 1 Mm³/j resulteert in een verminderde afvoer van de sprengen en beken van 0,3%.

Tabel 5.1 – Absolute fluxen en verschil flux van sprengen en beken Veluwerand

| Sprengen en beken | Totale flux [m ³ /d] |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Afvoer winning uit | 121.841 |
| Infiltratie winning uit | 4.786 |
| Afvoer winning aan | 121.447 |
| Infiltratie winning aan | 4.792 |
| Netto totaal verschil | 399 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Overwegend minder afvoer |

In tabel 5.2 zijn de absolute fluxen en het netto (totaal) verschil in flux van oppervlaktewateren en de flux door de eerste scheidende laag opgenomen, binnen het gebied dat in figuur 4.3 als C1 Hoog is aangemerkt. Binnen dit gebied is de weerstand van de eerste scheidende laag 100.000 dagen of hoger. Door de winning wordt watervoerend pakket 1 minder gevoed door watervoerend pakket 2. Het netto verschil in flux door de eerste scheidende laag is 8%. Dit fluxverschil leidt tot een afname in afvoer van oppervlaktewateren van 0,1%.



Tabel 5.2 – Absolute fluxen en verschil flux van oppervlaktewater en flux door 1^e scheidende laag binnen c1 >= 100.000 dagen

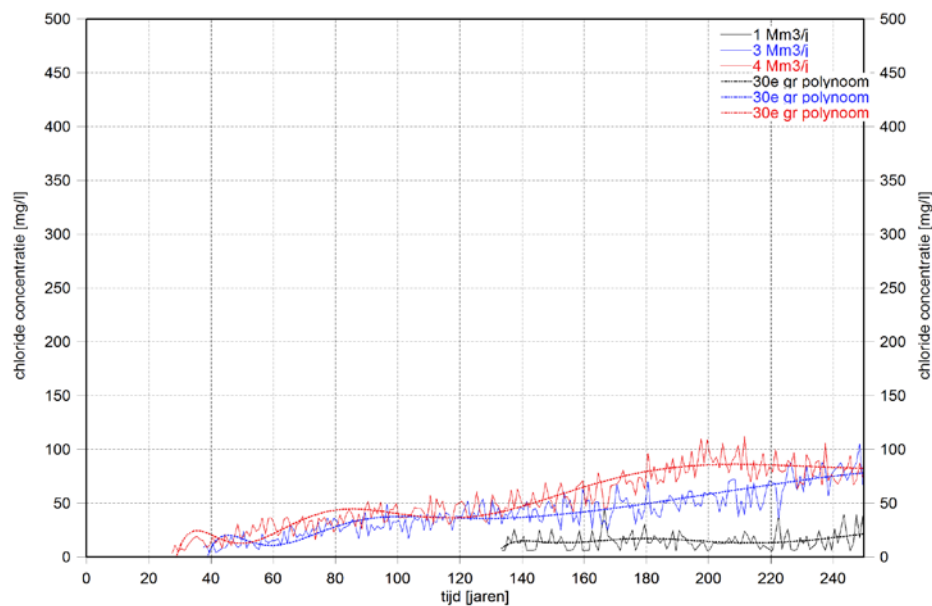
| Totale flux [m ³ /d] | |
|--|---|
| Oppervlaktewater | |
| Afvoer winning uit | 433.175 |
| Infiltratie winning uit | 81.777 |
| Afvoer winning aan | 432.653 |
| Infiltratie winning aan | 81.839 |
| Netto totaal verschil | 584 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Overwegend minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag | |
| Winning uit | 6725 (van wvp2 naar wvp1) |
| Winning aan | 6193 (van wvp2 naar wvp1) |
| Netto verschil | -532 (=minder voeding van wvp2 naar wvp1) |

In bijlage 5 zijn de fluxen van de overige deelgebieden die zijn weergegeven in figuur 4.3 (gebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello) opgenomen.

5.2.3 Locatie Dalfsen

Verzilting drinkwaterputten

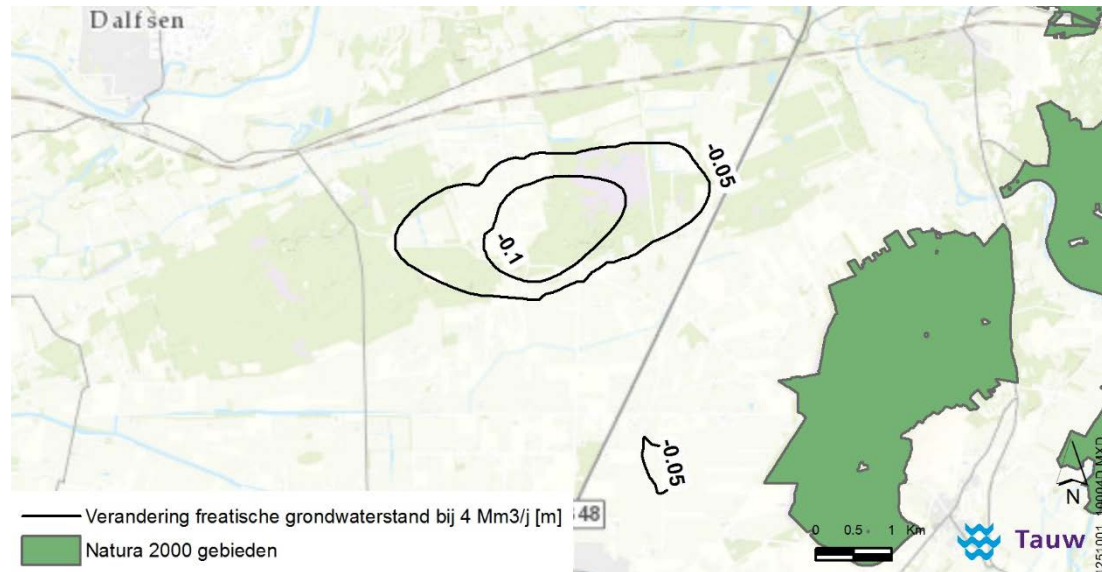
In figuur 5.12 zijn de berekende responscurven weergegeven bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j en de daarvan gemiddelde chlorideconcentraties (polynoom benadering). Uit de figuur blijkt dat bij alle onttrekkingsdebieten het chloridegehalte beneden 150 mg/l blijft gedurende in ieder geval 250 jaar. Geconcludeerd kan worden dat op deze locatie een langdurige zoete grondwaterwinning mogelijk is van minimaal 4 Mm³/j.



Figuur 5.10 - Berekende chlorideconcentraties en polynoom benadering bij een grondwateronttrekking van 1, 3 en 4 Mm³/j bij locatie Dalfsen

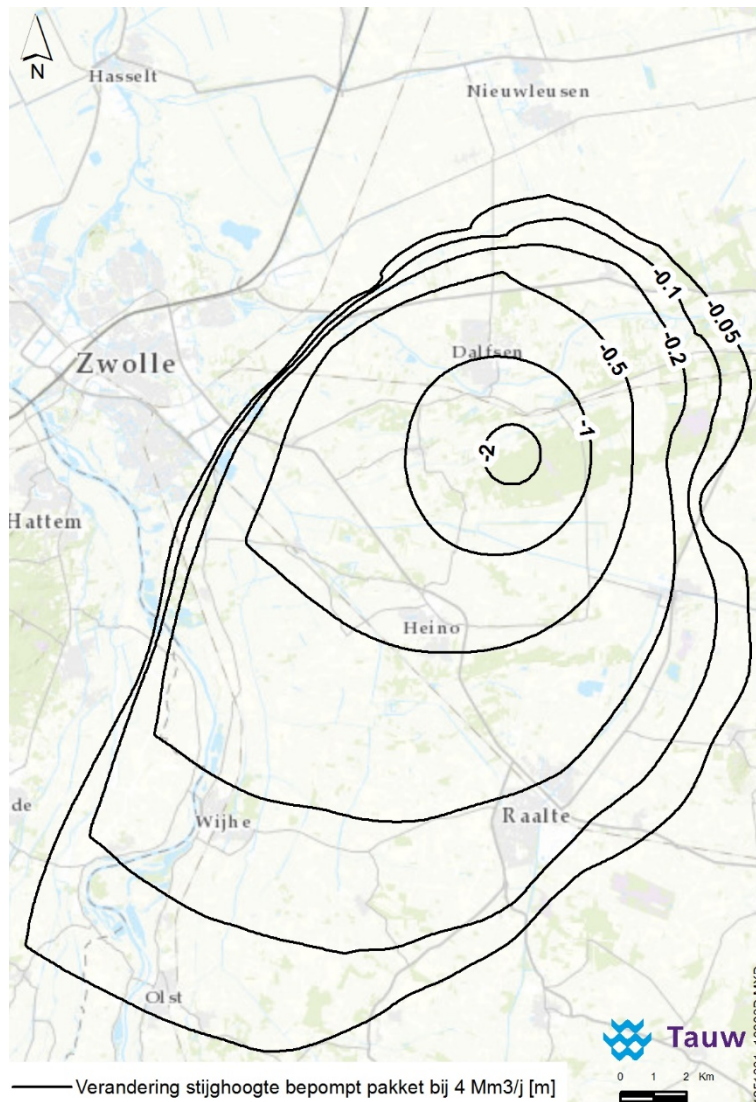
Grondwaterstandsverlagingen bij 4 Mm³/j

Uit de modelresultaten blijkt dat freatische grondwaterstandsverlagingen optreden die groter zijn dan 0,05 m. In figuur 5.11 zijn de verlagingcontouren behorend bij deze onttrekkingshoeveelheden weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de freatische grondwaterstandsverlagingen niet binnen Natura 2000-gebieden plaatsvinden.



Figuur 5.11 – Freatische grondwaterstandsveranderingen bij een grondwateronttrekking van 4 Mm³/j bij locatie Dalfsen

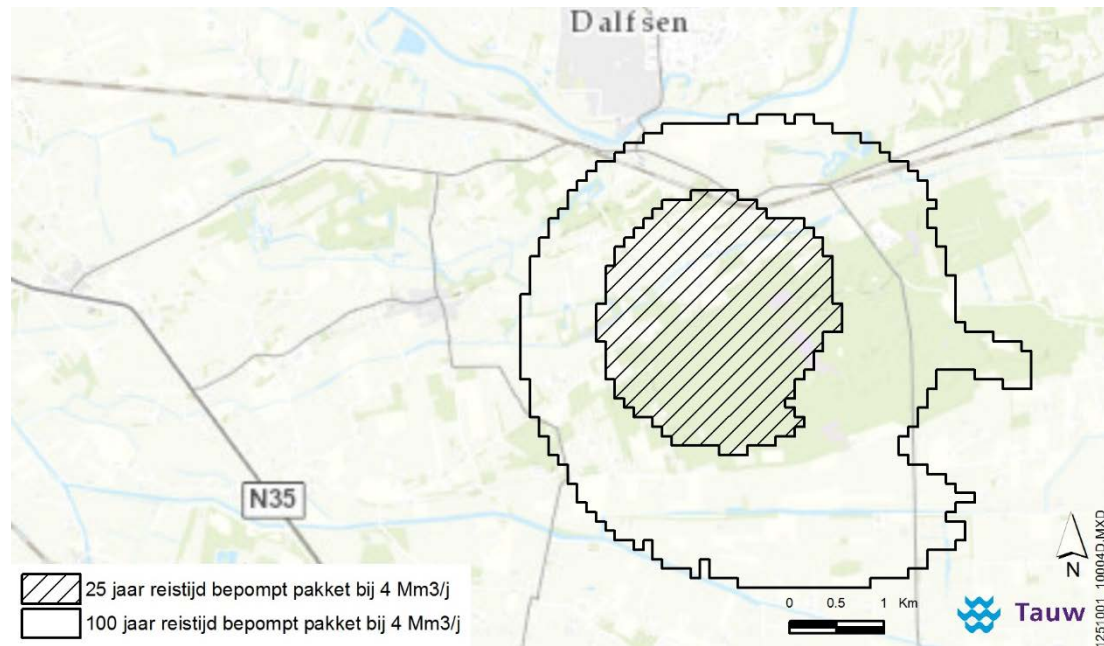
In figuur 5.12 zijn de berekende stijghoogteveranderingen in het bepompt pakket weergegeven.



Figuur 5.12 – Stijghoogteveranderingen in bemopt pakket bij grondwateronttrekking van 4 Mm³/j bij locatie Dalfsen

Reistijden in freatisch pakket en bemopt pakket bij 4 Mm³/j

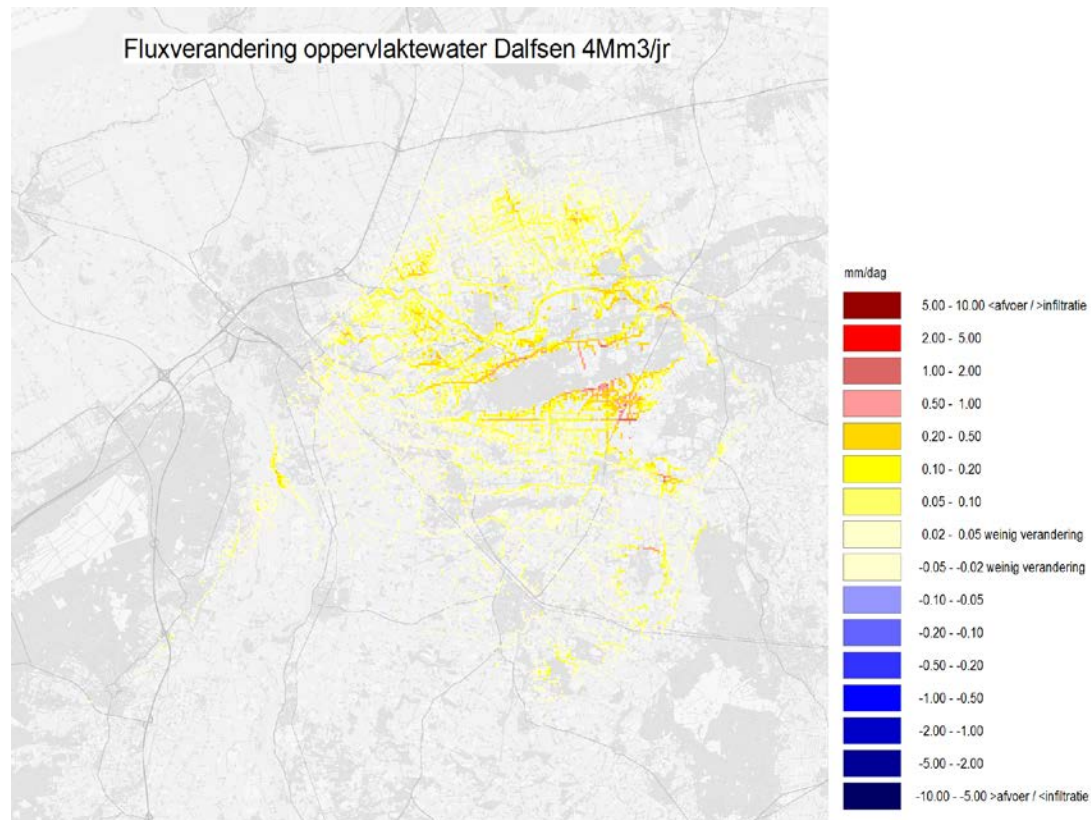
Uit de modelberekeningen blijkt dat voor proeflocatie Dalfsen er geen waterdeeltjes binnen 100 jaar vanuit het freatisch pakket de drinkwaterwinning in stromen. In figuur 5.13 zijn de 25 jaar en 100 jaar reistijden van waterdeeltjes in het bemopt pakket weergegeven.



Figuur 5.13 – 25 jaar en 100 jaar reistijd in bepompt pakket locatie Dalfsen

Fluxverandering oppervlaktewateren bij 4 Mm³/j

In figuur 5.14 de fluxverandering van oppervlaktewateren weergegeven. Uit de figuur blijkt dat relatief weinig fluxveranderingen optreden bij de Veluwerand.



Figuur 5.14 – Fluxverandering oppervlaktewater locatie Dalfsen, 4 Mm³/j

In tabel 5.3 zijn de absolute fluxen en het netto totaal verschil in flux van de Veluwse sprengen en beken weergegeven. De tabel laat zien dat de winning bij Dalfsen met een onttrekkingsdebiet van 4 Mm³/j resulteert in een verminderde afvoer van de sprengen en beken van 0,05%.

Tabel 5.3 - Absolute fluxen en verschil flux van sprengen en beken Veluwerand

| Sprengen en beken | Totale flux [m ³ /d] |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Winning uit afvoer | 93.066 |
| Winning uit infiltratie | 3.292 |
| Winning aan afvoer | 93.020 |
| Winning aan infiltratie | 3.293 |
| Netto totaal verschil | 46.2 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Overwegend minder afvoer |

In tabel 5.4 zijn de absolute fluxen en het netto (totaal) verschil in flux van oppervlaktewateren en de flux door de eerste scheidende laag opgenomen, binnen het gebied dat in figuur 4.3 als C1 Hoog is aangemerkt. Binnen dit gebied is de weerstand van de eerste scheidende laag 100.000 dagen of hoger. Door de winning wordt watervoerend pakket 1 minder gevoed door watervoerend pakket 2. Het netto verschil in flux door de eerste scheidende laag is 9%. Dit fluxverschil leidt tot een afname in afvoer van oppervlaktewateren van 0,1%.



Tabel 5.4 – Absolute fluxen en verschil flux van oppervlaktewater en flux door 1^e scheidende laag binnen c1 >= 100.000 dagen

| Totale flux [m ³ /d] | |
|--|---------------------------|
| Oppervlaktewater | |
| Afvoer winning uit | 407.481 |
| Infiltratie winning uit | 81.633 |
| Afvoer winning aan | 407.012 |
| Infiltratie winning aan | 81.670 |
| Netto totaal verschil | 506 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Overwegend minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag | |
| Winning uit | 5287 (van wvp2 naar wvp1) |
| Winning aan | 4813 (van wvp2 naar wvp1) |
| Netto verschil | -474 (van wvp1 naar wvp2) |

In bijlage 5 zijn de fluxen van de overige deelgebieden die zijn weergegeven in figuur 4.3 (gebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello) opgenomen.

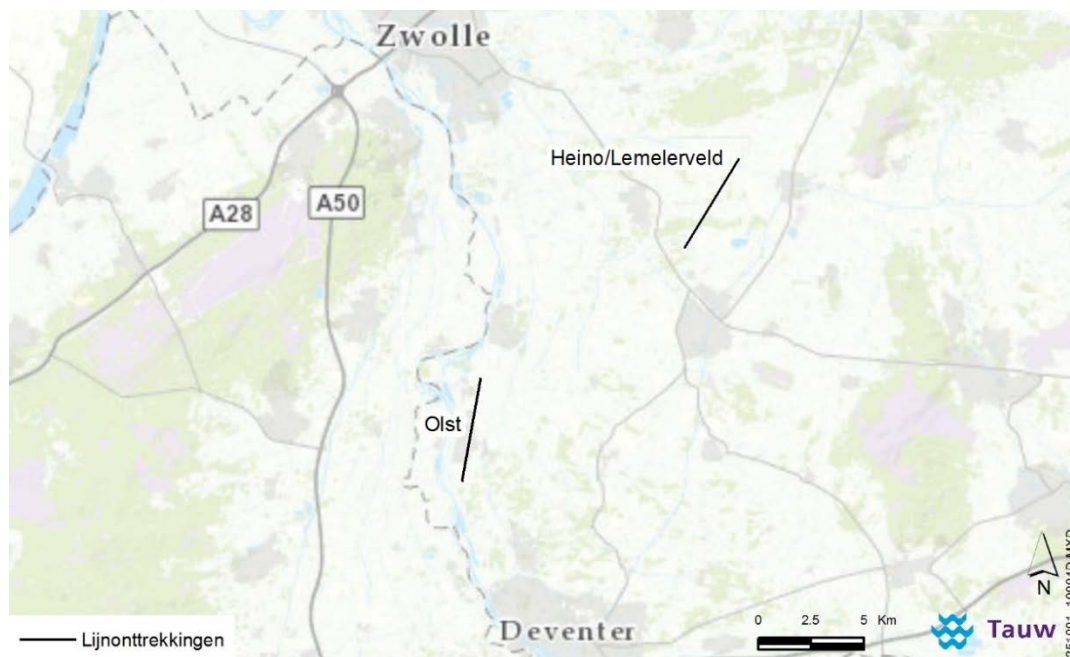
6 Winbare hoeveelheid

6.1 Methode

Op basis van de initiële berekeningen is een eerste stap gemaakt naar het in kaart brengen van de winbare hoeveelheid drinkwater in Salland Diep. Uit de initiële berekeningen is gebleken dat de omgeving van Olst en Dalfsen relatief goed geschikt zijn voor drinkwaterwinning. De meest geschikte locaties zijn met in achtving nemend van de initiële berekeningsresultaten nogmaals bekeken, in combinatie met de volgende gegevens:

- Diepteligging brak-zout grensvlak: de ligging van dit grensvlak dient zo diep mogelijk te zijn (om verzilting te minimaliseren), en in elk geval dieper dan bij locatie Olst van de initiële berekeningen (circa 150 m –mv)
- Weerstand eerste scheidende laag: de weerstand van deze laag dient zo groot mogelijk te zijn, om freatische effecten en aantrekking van antropogene invloeden te minimaliseren
- Zijdelingse grondwateraanvoer: deze dient zo groot mogelijk te zijn, zodat verzilting geminimaliseerd wordt

Op basis van deze gegevens bleek de omgeving bij Olst en bij Heino en Lemelerveld het meest geschikt. Bij deze locaties zijn in het grondwatermodel winputten in rijen geplaatst. De verwachting is dat de opstelling van deze zogenoemde lijnonttrekkingen tot minder verzilting leidt (ten opzichte van puntonttrekkingen), doordat over een grotere afstand grondwater wordt opgetrokken en de putten elkaar minder versterken in aantrekking van zout grondwater. De ligging van de gekozen lijnonttrekkingen is weergegeven in figuur 4.5. De ligging van de lijnonttrekkingen in combinatie met de hierboven genoemde gebruikte gegevens zijn weergegeven in bijlage 6 (kaarten 1,2 en 3).



Figuur 6.1 – Locaties van lijnonttrekkingen



De zuidelijk gelegen lijnonttrekking bevindt zich in de omgeving van Olst en heeft een lengte van 5 km. De noordelijk gelegen lijnonttrekking bevindt zich tussen Heino en Lemelerveld en heeft een lengte van 4 km. Aangenomen is dat op de lijnonttrekkingen een verlaging optreedt van 3 m in het pompde pakket. Dit is de verlaging die in de praktijk ook vaak optreedt bij bestaande winningen van Vitens. De lijnonttrekkingen zijn zowel gescheiden als gecombineerd doorgerekend, met een vastgelegde stijghoogteverlaging van 3 m bij de winputten. Hiermee wordt onder andere inzichtelijk of de lijnonttrekkingen invloed hebben op elkaar. Het grondwatermodel berekent welke onttrekkingsdebieten bij deze vastgelegde verlaging horen.

6.2 Resultaten

Onttrekkingsdebiet

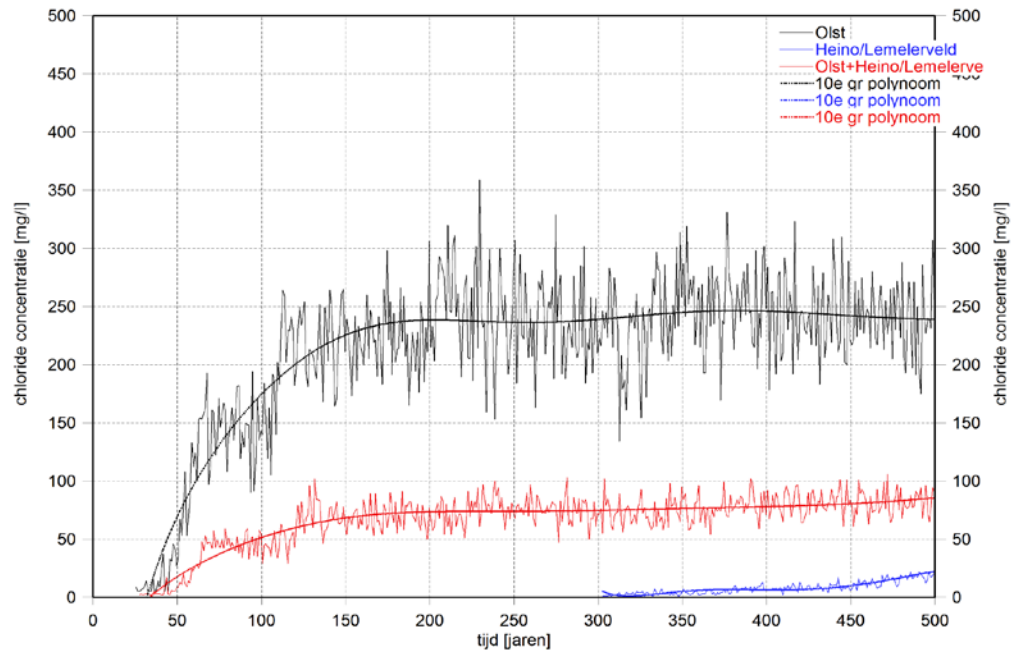
Uit de modelberekeningen blijkt dat een vastgelegde stijghoogteverlaging van 3 m in het pompde pakket bij lijnonttrekking Olst overeenkomt met een onttrekkingsdebiet van 2,58 Mm³/j. Een vastgelegde stijghoogteverlaging van 3 m in het pompde pakket bij lijnonttrekking Heino/Lemelerveld komt overeen met een onttrekkingsdebiet van 5,29 Mm³/j. Wanneer deze lijnonttrekkingen gecombineerd worden doorgerekend met een vaste stijghoogteverlaging van 3 m komt dit overeen met een onttrekkingsdebiet van 7,68 Mm³/j. Deze hoeveelheden zijn ook weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1 – Onttrekkingsdebiet bij lijnonttrekkingen apart en gecombineerd, wanneer een vaste stijghoogteverlaging van 3 m in pompde pakket wordt opgegeven

| | Olst | Heino/Lemelerveld | Olst + Heino/Lemelerveld |
|---|------|-------------------|--------------------------|
| Onttrekkingsdebiet [Mm ³ /j] | 2,58 | 5,29 | 7,68 |

Verzilting drinkwaterputten

De responscurven van de apart en gecombineerd doorgerekende winningslocaties zijn opgenomen in figuur 6.2.

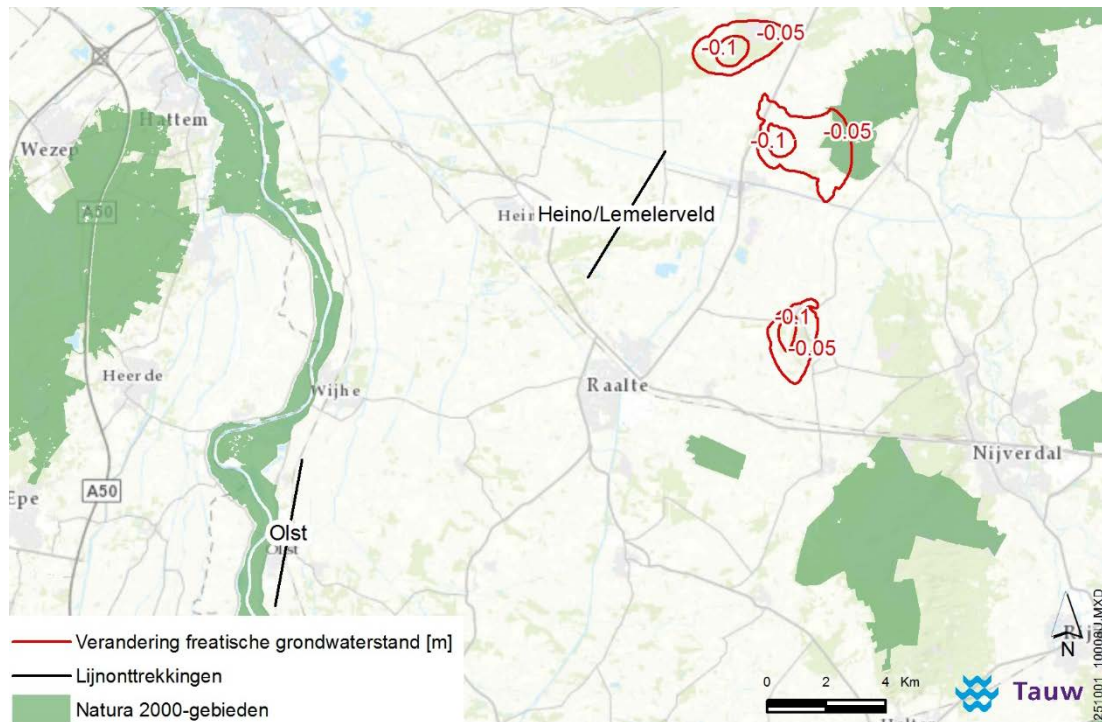


Figuur 6.2 - Chlorideconcentratie en polynoom benadering in drinkwaterputten van lijnonttrekkingen Olst en Heino/Lemelerveld (zowel apart als gecombineerd)

Uit figuur 6.2 blijkt dat wanneer lijnonttrekking Olst gescheiden doorgerekend wordt, het chloridegehalte na circa 75 jaar 150 mg/l bedraagt. Bij lijnonttrekking Heino/Lemelerveld is het bij gescheiden doorrekening mogelijk om drinkwater te winnen gedurende minimaal 500 jaar. Wanneer deze onttrekkingen gecombineerd doorgerekend worden, blijkt uit de modelresultaten dat het gecombineerde chloridegehalte gedurende minimaal 500 jaar onder de 150 mg/l blijft. Gezien de afstand tussen beide lijnonttrekkingen ligt het niet voor de hand om het ruwwater van beide gebieden te mengen.

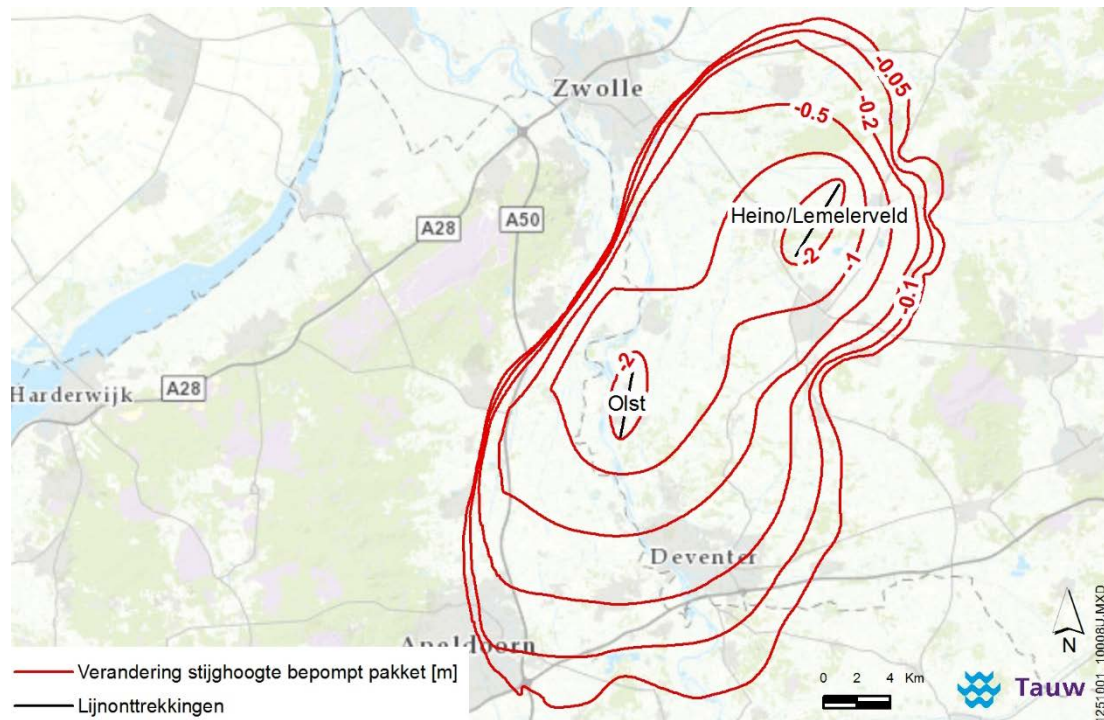
Grondwaterstandsverlagingen

In figuur 6.3 zijn de freatische grondwaterstandsverlagingen weergegeven wanneer de lijnonttrekkingen gecombineerd worden doorgerekend. De grondwaterstandsverlagingen treden gedeeltelijk op binnen Natura 2000-gebied Vecht- en Beneden-Reggegebied. De weergegeven freatische grondwaterstandsverlagingen worden veroorzaakt door lijnonttrekking Heino/Lemelerveld. Deze verlagingen zijn nagenoeg gelijk aan de freatische grondwaterstandsverlagingen bij gescheiden doorrekening van deze onttrekking.



Figuur 6.3 – Freatische grondwaterstandsverlagen bij gecombineerde doorrekening lijnonttrekkingen Olst en Heino/Lemelerveld

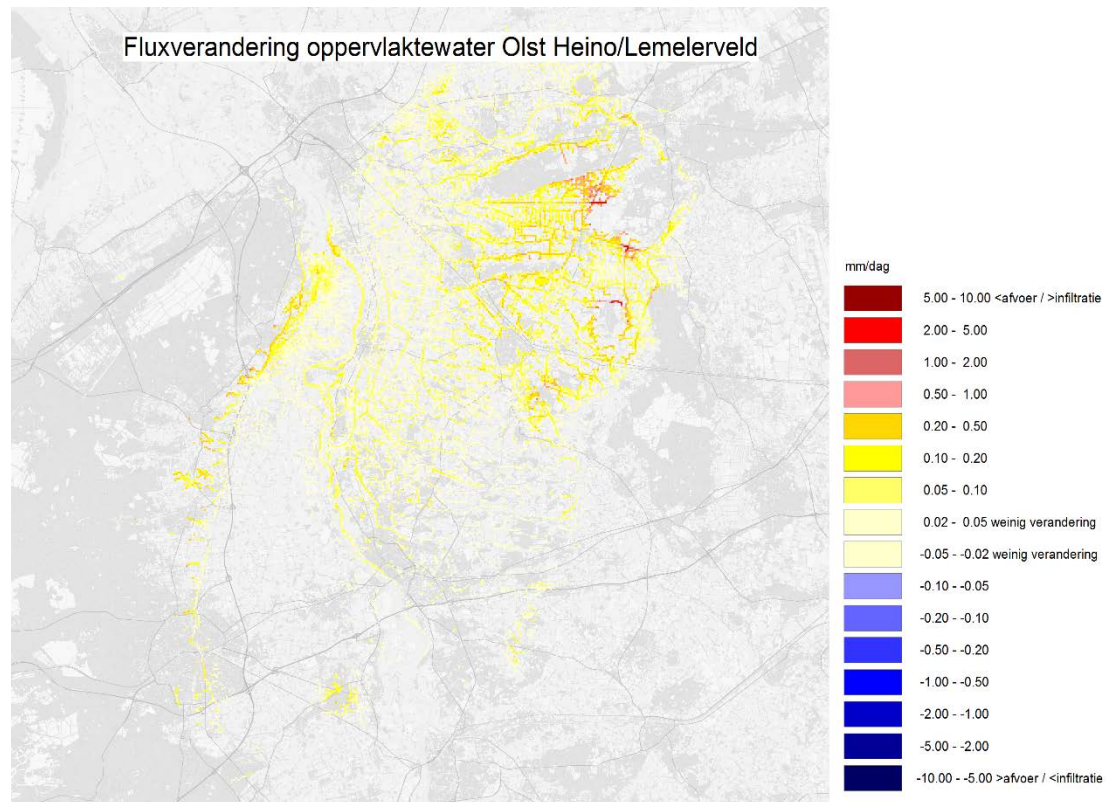
In figuur 6.4 zijn de stijghoogteveranderingen in het tweede watervoerend pakket weergegeven bij gecombineerde doorrekening van de lijnonttrekkingen. In bijlage 6 zijn de stijghoogteveranderingen in het gepompt pakket van zowel de gescheiden als gecombineerde doorrekening opgenomen.



Figuur 6.4 – Verandering stijghoogte bepompt pakket bij lijnonttrekkingen Olst en Heino/Lemelerveld

Fluxverandering oppervlaktewateren

Figuur 6.5 bevat de fluxverandering van oppervlaktewateren als gevolg van de gecombineerde lijnonttrekkingen. Bij de Veluwerand treden vooral in de omgeving van Heerde en Wapenveld fluxveranderingen op.



Figuur 6.5 – Fluxveranderingen oppervlaktewateren bij gecombineerde doorrekening van lijnonttrekkingen Olst en Heino/Lemelerveld

In tabel 5.1 zijn de absolute fluxen en het netto totaal verschil in flux van de Veluwe sprengen en beken weergegeven. De tabel laat zien dat de gecombineerde lijnonttrekkingen met een totaal onttrekkingsdebit van 7,68 Mm³/j resulteert in een verminderde afvoer van de sprengen en beken van 0,9%.

Tabel 6.2 - Absolute fluxen en verschil flux van sprengen en beken Veluwerand

| Sprengen en beken | Totale flux [m ³ /d] |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Winning uit afvoer | 115.917 |
| Winning uit infiltratie | 3.691 |
| Winning aan afvoer | 114.885 |
| Winning aan infiltratie | 3.706 |
| Netto totaal verschil | 1.047 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Overwegend minder afvoer |

In tabel 6.3 zijn de absolute fluxen en het netto (totaal) verschil in flux van oppervlaktewateren en de flux door de eerste scheidende laag opgenomen, binnen het gebied dat in figuur 4.3 als C1 Hoog is aangemerkt. Binnen dit gebied is de weerstand van de eerste scheidende laag 100.000 dagen of hoger. Door de winning wordt watervoerend pakket 1 minder gevoed door watervoerend pakket 2. Het netto verschil in flux door de eerste scheidende laag is 32%. Dit fluxverschil leidt tot een afname in afvoer van oppervlaktewateren van 0,5%.



Tabel 6.3 – Absolute fluxen en verschil flux van oppervlaktewater en flux door 1^e scheidende laag binnen c1 >= 100.000 dagen

| | Totale flux [m ³ /d] |
|--|---------------------------------|
| Oppervlaktewater | |
| <i>Afvoer winning uit</i> | 434.749 |
| <i>Infiltratie winning uit</i> | 84.041 |
| <i>Afvoer winning aan</i> | 432.780 |
| <i>Infiltratie winning aan</i> | 84.296 |
| <i>Netto totaal verschil</i> | 2.224 |
| <i>Minder afvoer / meer infiltratie</i> | Overwegend minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag | |
| <i>Winning uit</i> | 6427 (van wvp2 naar wvp1) |
| <i>Winning aan</i> | 4371 (van wvp2 naar wvp1) |
| <i>Netto verschil</i> | -2056 (van wvp1 naar wvp2) |

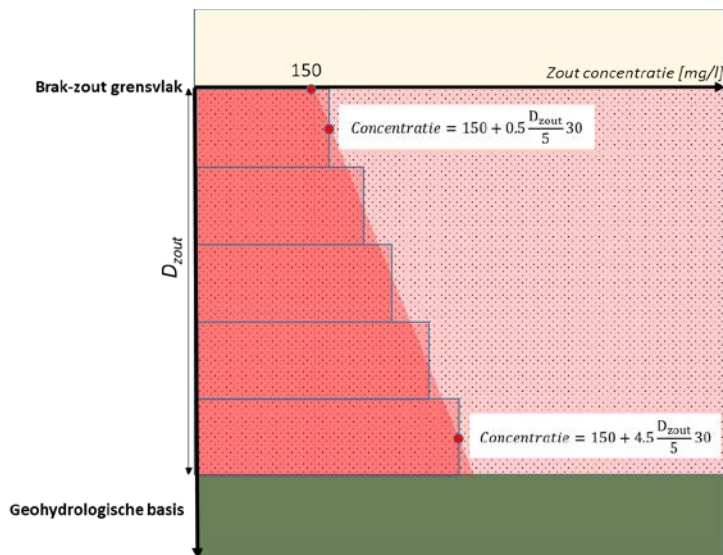
In bijlage 6 zijn de fluxen van de overige deelgebieden die zijn weergegeven in figuur 4.3 (gebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello) opgenomen.



7 Gevoeligheidsrun

7.1 Methode

In het verziltingsmodel is in het tweede watervoerend pakket vanaf het brak-zout grensvlak (met een variabele diepte) tot aan de geohydrologische basis (Formatie van Breda, eerste kleiige eenheid) een uniform chloridegehalte van 1000 mg/l gehanteerd. In de praktijk zal het chloridegehalte echter toenemen met toenemende diepte. Om de gevoeligheid van het gehanteerde uniforme chloridegehalte op de modeluitkomsten te onderzoeken, is een gevoeligheidsrun met het verziltingsmodel uitgevoerd. Hierbij is een variabel chlorideverloop gehanteerd vanaf het brak-zout grensvlak tot aan de geohydrologische basis. Uit chloridemetingen van Vitens blijkt dat ter hoogte van het brak-zout grensvlak van TNO het chloridegehalte bij hun drinkwaterputten in werkelijkheid circa 150 mg/l bedraagt. Daarom is in de gevoeligheidsrun ter plaatse van het brak-zout grensvlak een chlorideconcentratie van 150 mg/l gehanteerd. Uit de chloridemetingen van Vitens blijkt bovendien dat het chloridegehalte met circa 30 mg/l per meter toeneemt in de diepte. In de gevoeligheidsrun is dit chlorideverloop overgenomen. Hierbij is het gedeelte van het tweede watervoerend pakket dat gelegen is tussen het brak-zout grensvlak en de geohydrologische basis onderverdeeld in 5 lagen, elk met een ander chloridegehalte. Binnen een laag is het chloridegehalte constant. In figuur 7.1 is deze methode schematisch weergegeven.



Figuur 7.1 – Schematische weergave verdeling zoutgehalte in gevoeligheidsrun

Bij deze methode hangt het maximale chloridegehalte op een locatie af van de dikte van het zoute deel van het tweede watervoerend pakket. Het maximale chloridegehalte neemt toe met de dikte van het zoute deel. Uit de toegepaste methode in de gevoeligheidsrun blijkt dat het maximale chloridegehalte circa 3500 mg/l bedraagt. Dichtheidsverschillen van het grondwater, veroorzaakt door zoutconcentraties, kunnen tot een chloridegehalte van 5000 mg/l worden genegeerd. Aangezien in het verziltingsmodel, bij zowel de gevoeligheidsrun als de normale methode, het

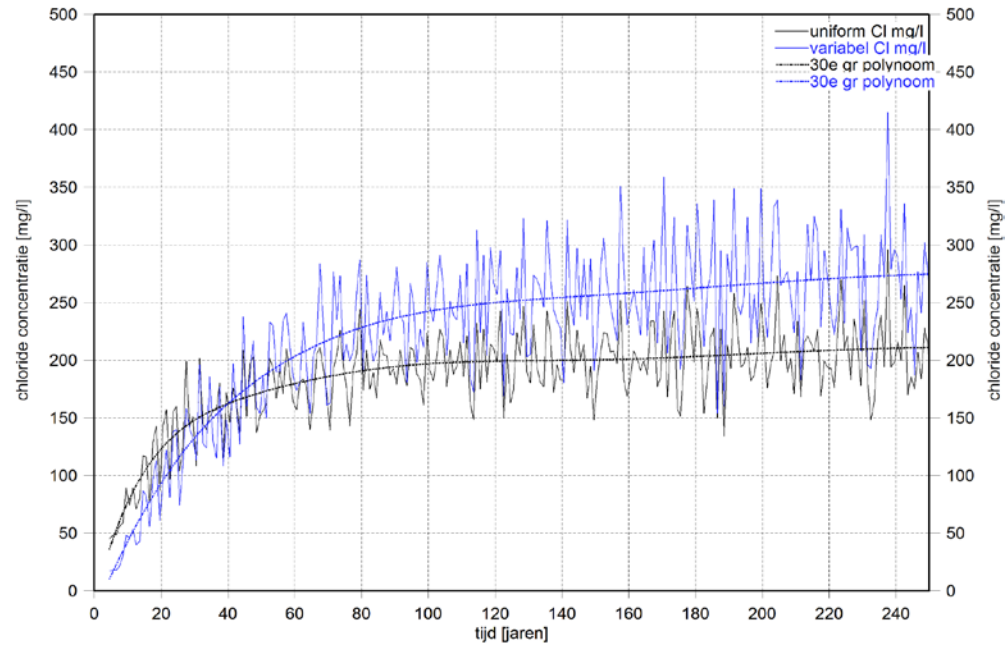


chloridegehalte significant lager is dan 5000 mg/l, is het gebruikte grondwatermodel met dichtheidsonafhankelijke stroming fysisch correct.

De gevoeligheidsrun van het verziltingsmodel is doorgerekend met puntonttrekking Olst bij een onttrekkingsdebiet van 3 Mm³/j. Deze puntonttrekking is voor de gevoeligheidsrun met name interessant, doordat de responscurve laat zien dat puntonttrekking Olst op de grens ligt van wel of niet kansrijk voor drinkwaterwinning (wel of niet langdurig grondwateronttrekking mogelijk zonder significante verzilting). De hoeveelheid van 3 Mm³/j is daarbij het debiet waarbij gedurende de eerste decennia, de winning van zoet grondwater mogelijk wel haalbaar is bij de gevoeligheidsrun (in tegenstelling tot de initiële berekening waaruit bleek dat dit niet mogelijk was). Dit wordt verwacht, doordat in de gevoeligheidsrun het ondiepe zoute grondwater een lager chloridegehalte bevat. Bij puntonttrekking Olst worden daarom bij een onttrekkingsdebiet van 3 Mm³/j de grootste verschillen in verzilting verwacht.

7.2 Resultaten

In figuur 5.11 is de responscurve bij proeflocatie Olst met zowel een uniform als variabel chlorideverloop weergegeven. Gedurende de eerste circa 40 jaar is het chloridegehalte met een variabel chlorideverloop lager dan met een uniform chlorideverloop. Dit komt doordat bij een variabel chlorideverloop de bovenste 'chloridecellen' een lager zoutgehalte bevatten ten opzichte van een uniform chlorideverloop. Deze bovenste cellen worden als eerste opgepompt door de winning. In de loop van de simulatietijd worden ook chloridecellen met een hoger zoutgehalte dan bij het uniforme chlorideverloop opgepompt. Daardoor wordt na circa 40 jaar simulatietijd een hoger chloridegehalte berekend dan bij de uniforme situatie. De tijdsduur waarbij een chloridegehalte van 150 mg/l wordt bereikt is nagenoeg gelijk. De maximale toename in chloridegehalte bij een variabel chlorideverloop is circa 50 mg/l.



Figuur 7.2 – Chlorideconcentratie en polynoom benadering vs. tijd in drinkwaterputten proeflocatie Olst bij grondwateronttrekking van $3 \text{ Mm}^3/\text{j}$ met uniform en variabel chlorideverloop



8 Conclusies

8.1 Gevoeligheidsrun

Uit de gevoeligheidsrun blijkt dat het hanteren van 2 verschillende benaderingen voor het chloridegehalte naar de diepte (een constant chloridegehalte en een variabel verloop van het chloridegehalte) niet tot verschillende inzichten leidt. Een variabel verloop van het chloridegehalte sluit het meest aan op de werkelijke situatie en geeft daarom naar verwachting het meest nauwkeurige inzicht in het maximale te verwachten chloridegehalte.

8.2 Winbare hoeveelheid drinkwater

Uit de berekende chlorideconcentraties van de puntlocaties (dezelfde locaties als in de studie van BROKS Adviezen) blijkt dat bij puntlocatie Boerhaar grondwater niet langdurig (100 jaar of meer) kan worden onttrokken zonder dat dit resulteert in verzilting (chlorideconcentratie > 150 mg/l) van het opgepompte grondwater. Binnen enkele jaren van grondwateronttrekking bij puntlocatie Boerhaar is de chlorideconcentratie van 150 mg/l bereikt. Bij puntlocatie Olst kan gedurende circa 100 jaar 1 Mm³/j grondwater worden onttrokken voordat verzilting optreedt. Bij puntlocatie Dalfsen kan langdurig ten minste 4 Mm³/j grondwater worden onttrokken, zonder dat dit resulteert in verzilting van het opgepompte grondwater. In totaal kan er dus met de lijnonttrekkingen ten minste 5 Mm³/j drinkwater worden geproduceerd in Salland-Diep.

Uit de modelresultaten van de lijnonttrekkingen blijkt dat bij lijnonttrekking Olst bij een vastgelegde verlaging van 3 m in het bepompt pakket, na circa 75 jaar verzilting (chloridegehalte > 150 mg/l) van het opgepompte grondwater optreedt. De modelresultaten van lijnonttrekking Heino/Lemelerveld laten gunstigere chloridegehalten zien. Bij deze onttrekking is bij een vastgelegde verlaging van 3 m in het bepompt pakket, een onttrekkingsdebiet van ruim 5 Mm³/j mogelijk gedurende minimaal 500 jaar zonder dat dit tot significante verzilting leidt.

8.3 Boringsvrije zone Salland-Diep

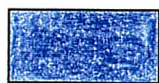
In het watervoerend pakket Salland-Diep is op basis van de uitgevoerde berekeningen in dit onderzoek ruimte voor een extra grondwateronttrekking, waar langdurig zoet grondwater kan worden onttrokken. In het gebied Dalfsen – Heino – Lemelerveld is ruimte voor een onttrekkingshoeveelheid van ten minste 4 Mm³/jaar.



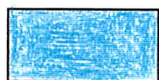
Bijlage 1

Zoet-brak en brak-zout grensvlakken volgens Baalen (1995)

LEGENDA bij BIJLAGE 11



Type 1 (OI, oud infiltraat)



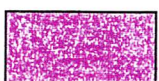
Type 2 (JI, jong infiltraat)



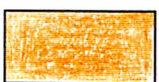
Type 3 (AA, Archemerberg antropogeen)



Type 4 (LA, licht antropogeen)



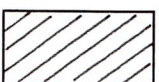
Type 5 (SA, sterk antropogeen)



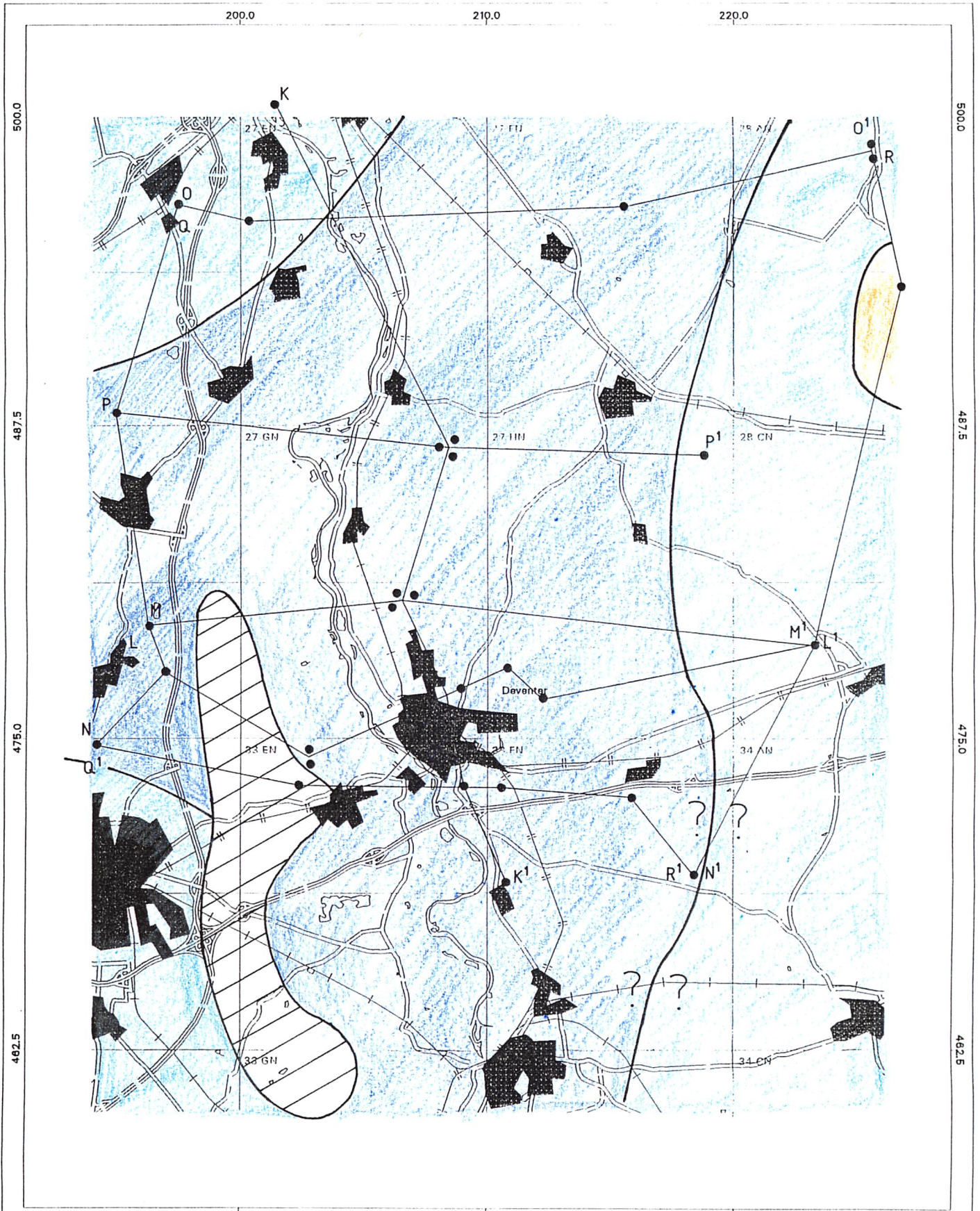
Type 6 (RB, relict brak)



Type 7 (RZ, relict zout)



Formatie van Drente



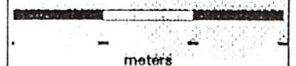
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 110 m. -N.A.P.**

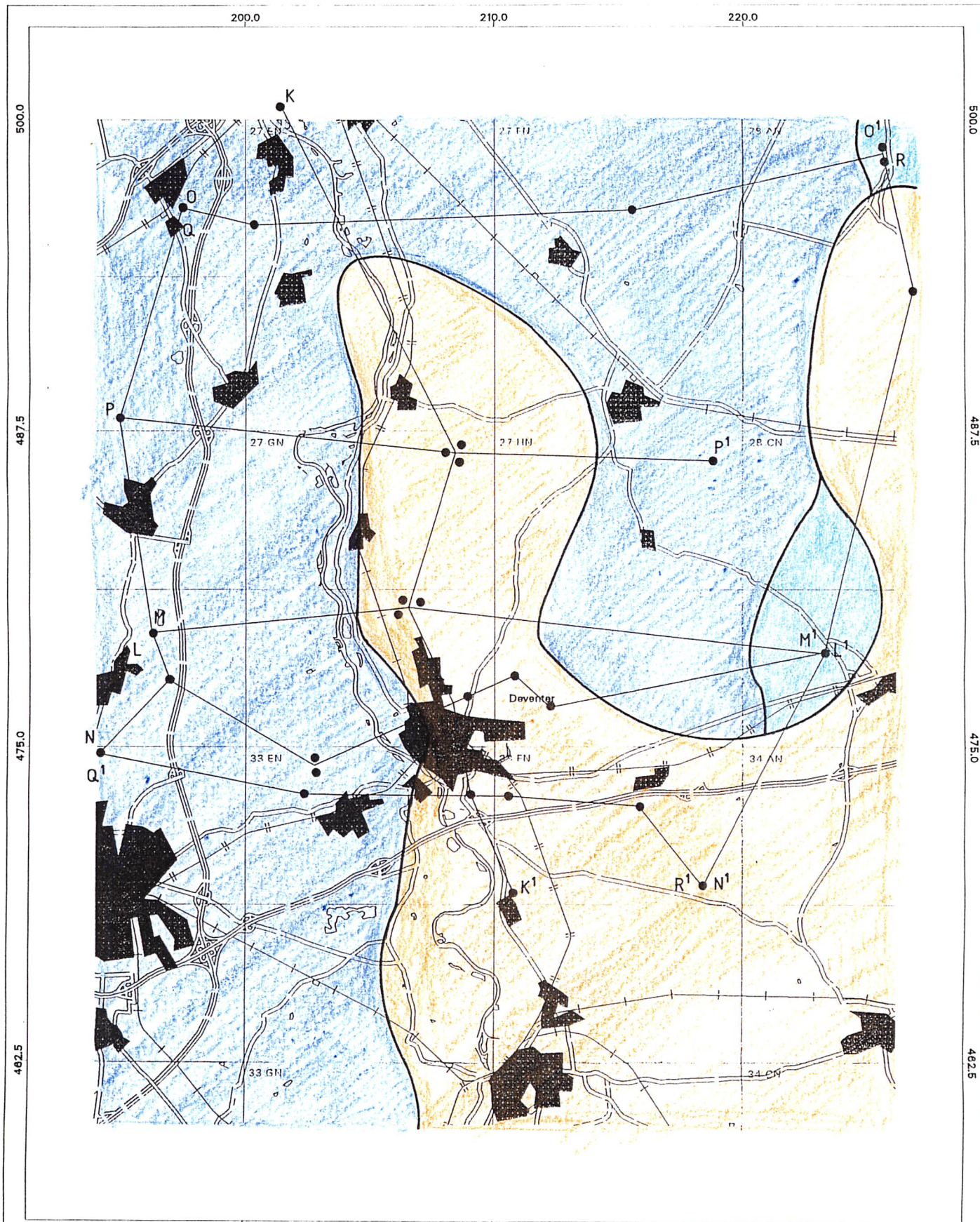
(legenda is bijgevoegd)

Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

1:150000





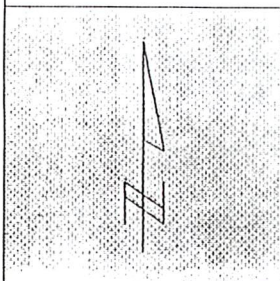
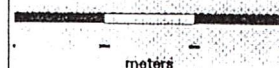
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 130 m. -N.A.P.**

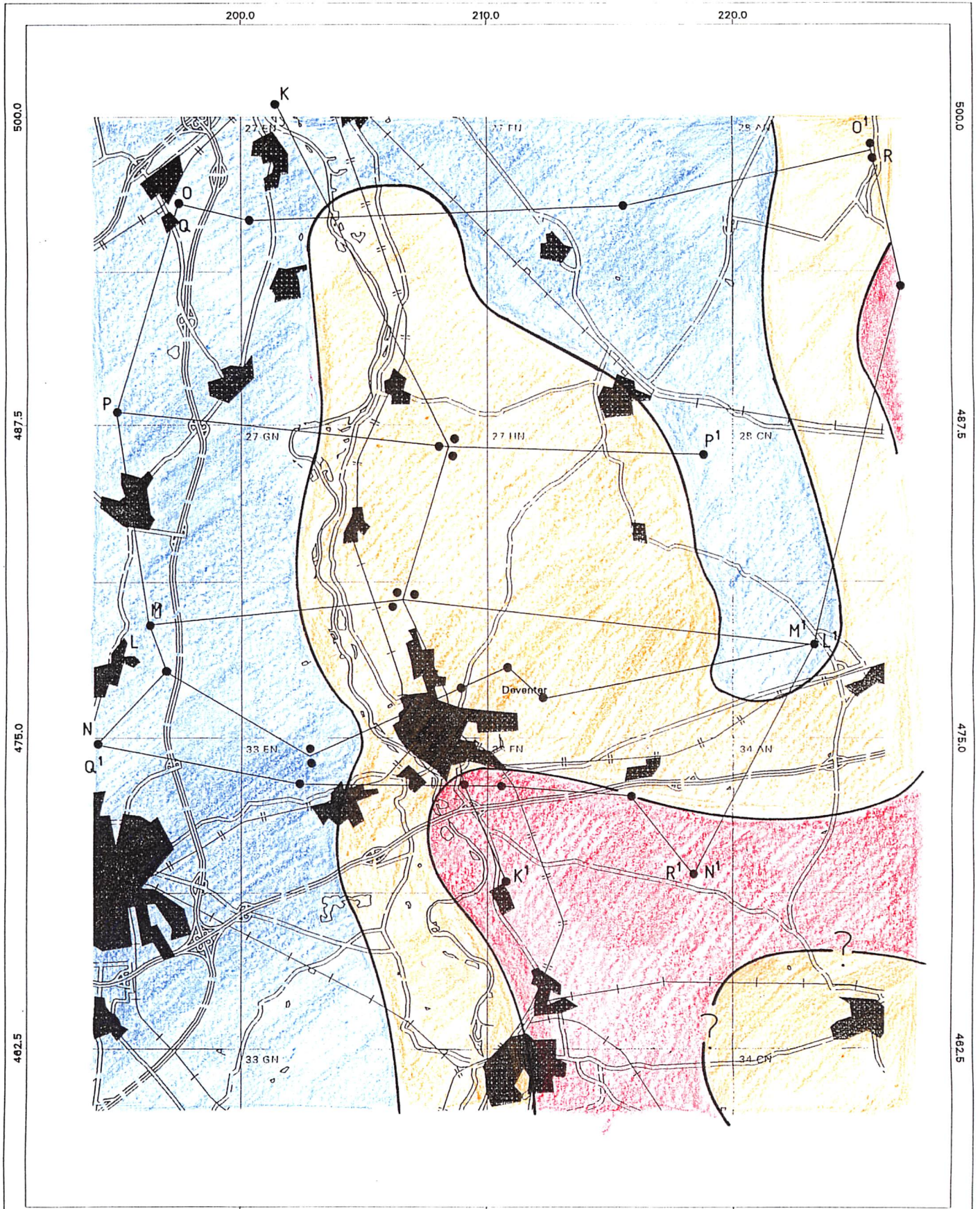
(legenda is bijgevoegd)

Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

1:150000





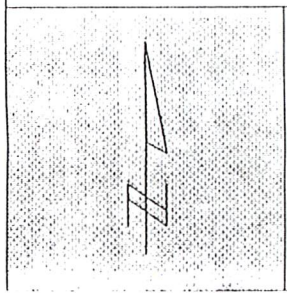
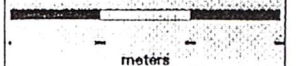
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 150 m. -N.A.P.**

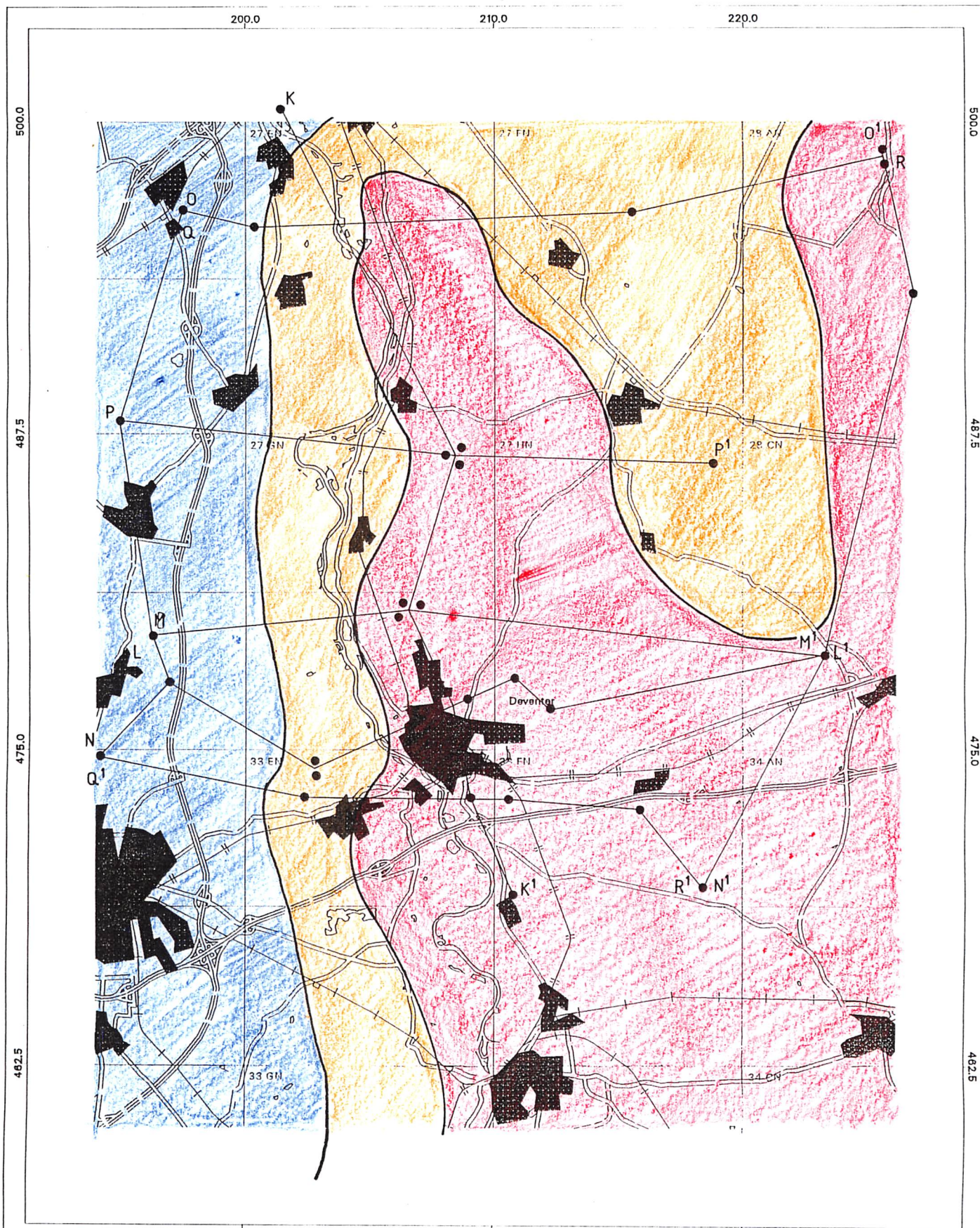
(legenda is bijgevoegd)

Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

1:150000





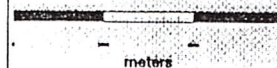
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 180 m. -N.A.P.**

(legenda is bijgevoegd)

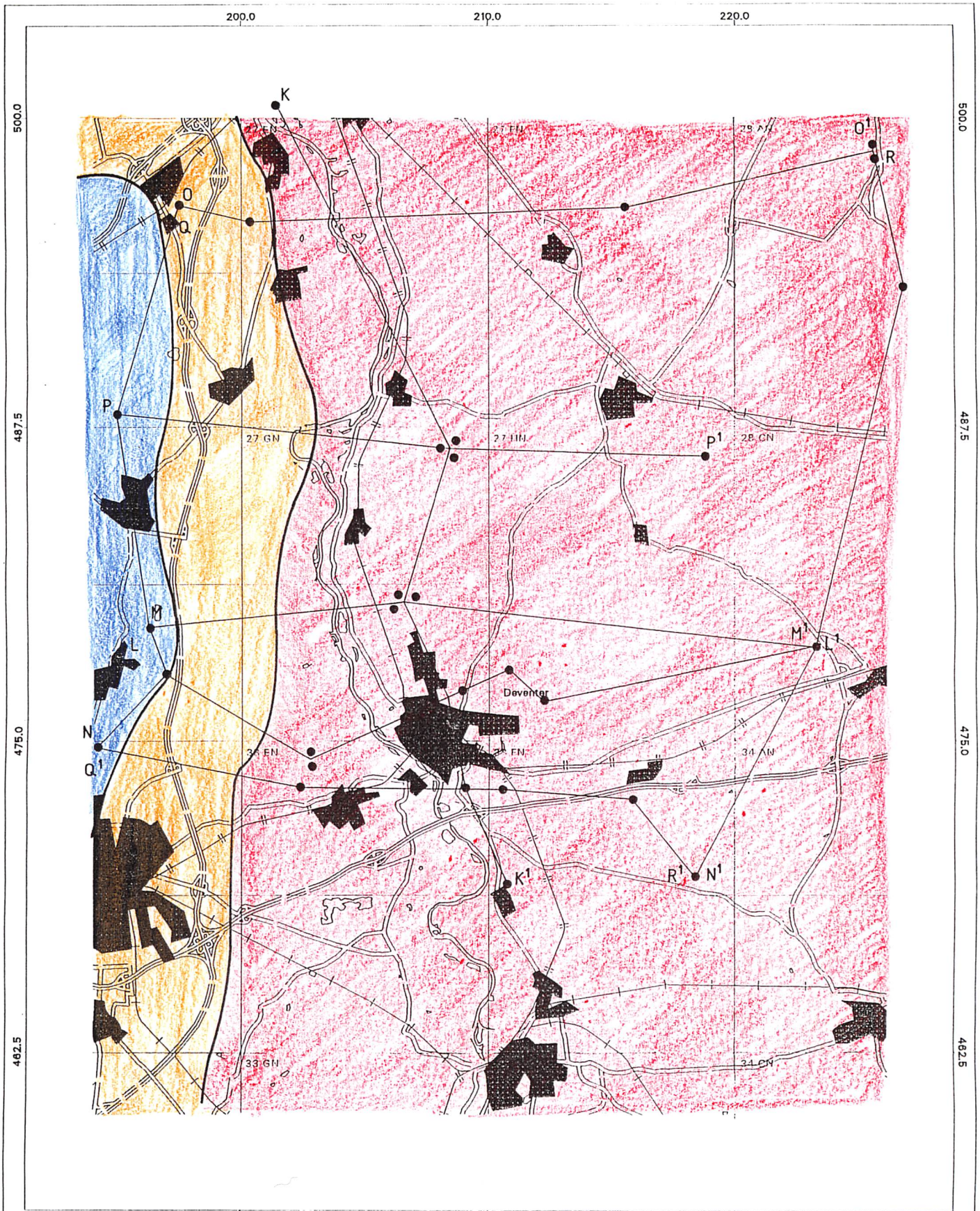
Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

1:150000



meters



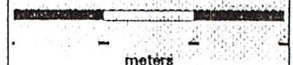
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 220 m. -N.A.P.**

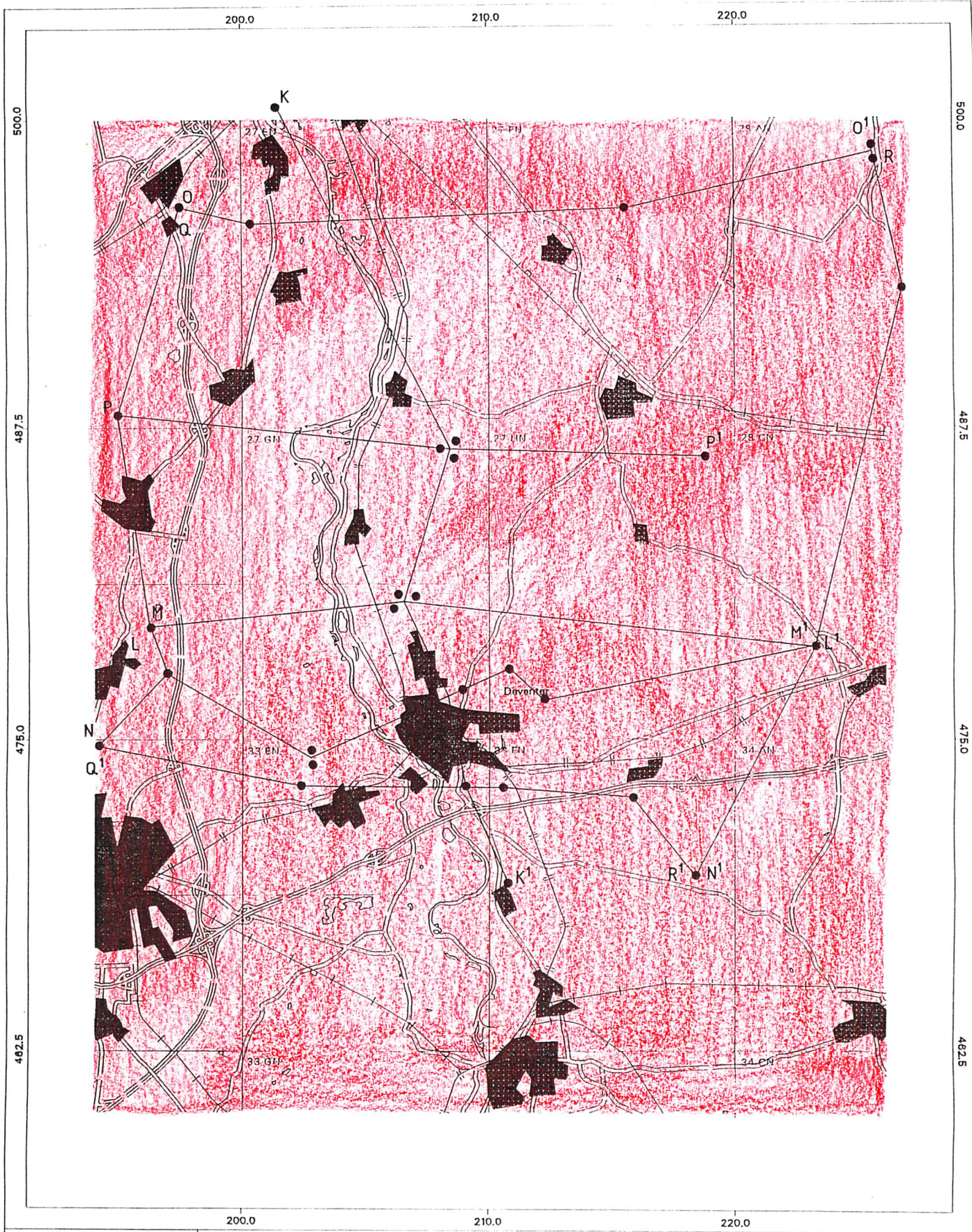
(legenda is bijgevoegd)

Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

1:150000





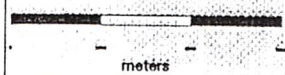
**Bijlage 11 Horizontale doorsnede
op 300 m. -N.A.P.**

(legenda is bijgevoegd)

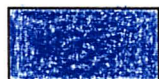
Topografische
ondergrond

03/10/95 14:27:26

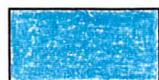
1:150000



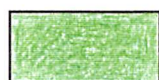
LEGENDA bij BIJLAGE 10



Type 1 (OI, oud infiltraat)



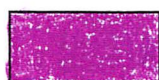
Type 2 (JI, jong infiltraat)



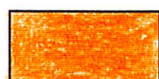
Type 3 (AA, Archemerberg antropogeen)



Type 4 (LA, licht antropogeen)



Type 5 (SA, sterk antropogeen)



Type 6 (RB, relict brak)



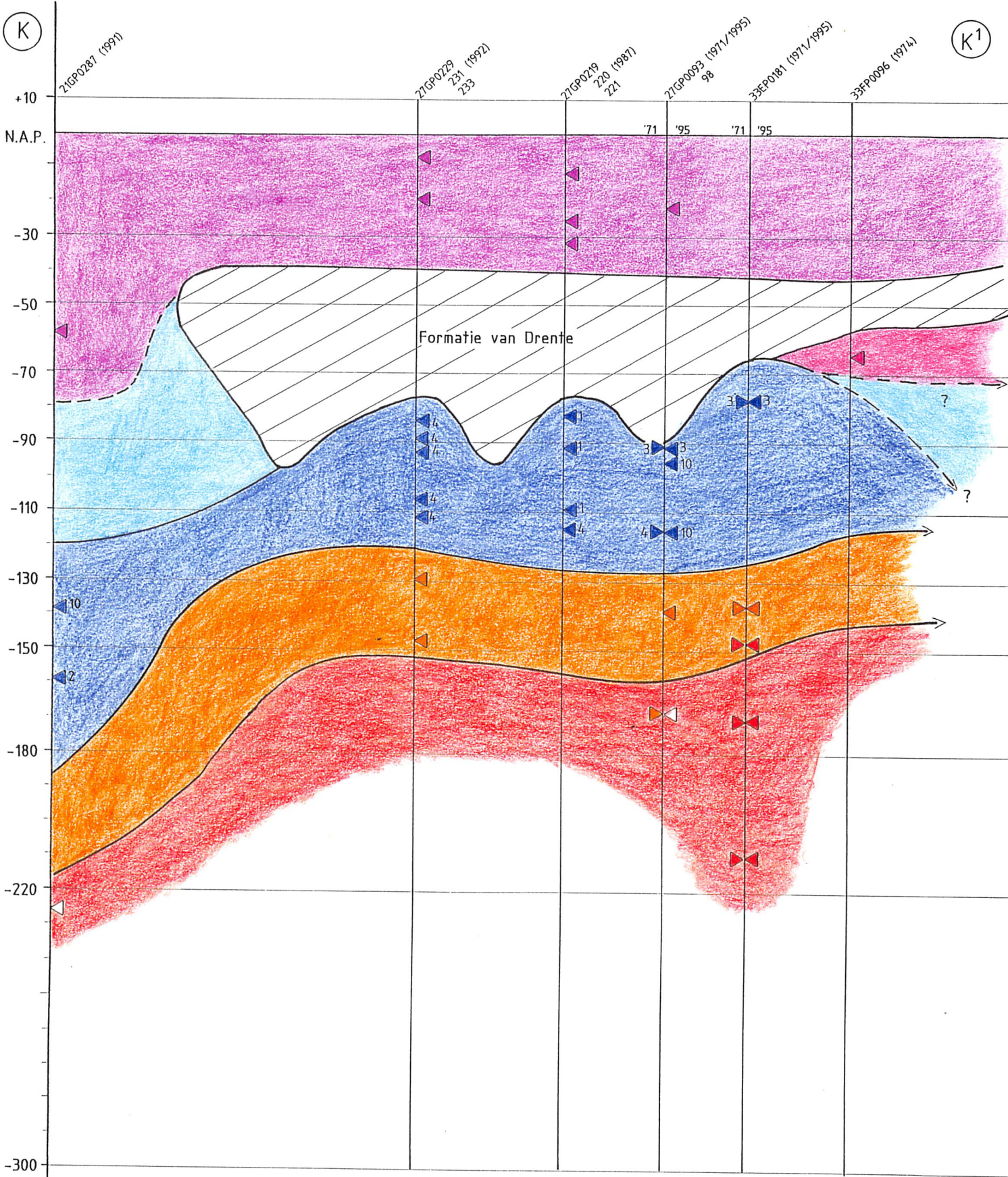
Type 7 (RZ, relict zout)



Formatie van Drente

(K)

(K¹)

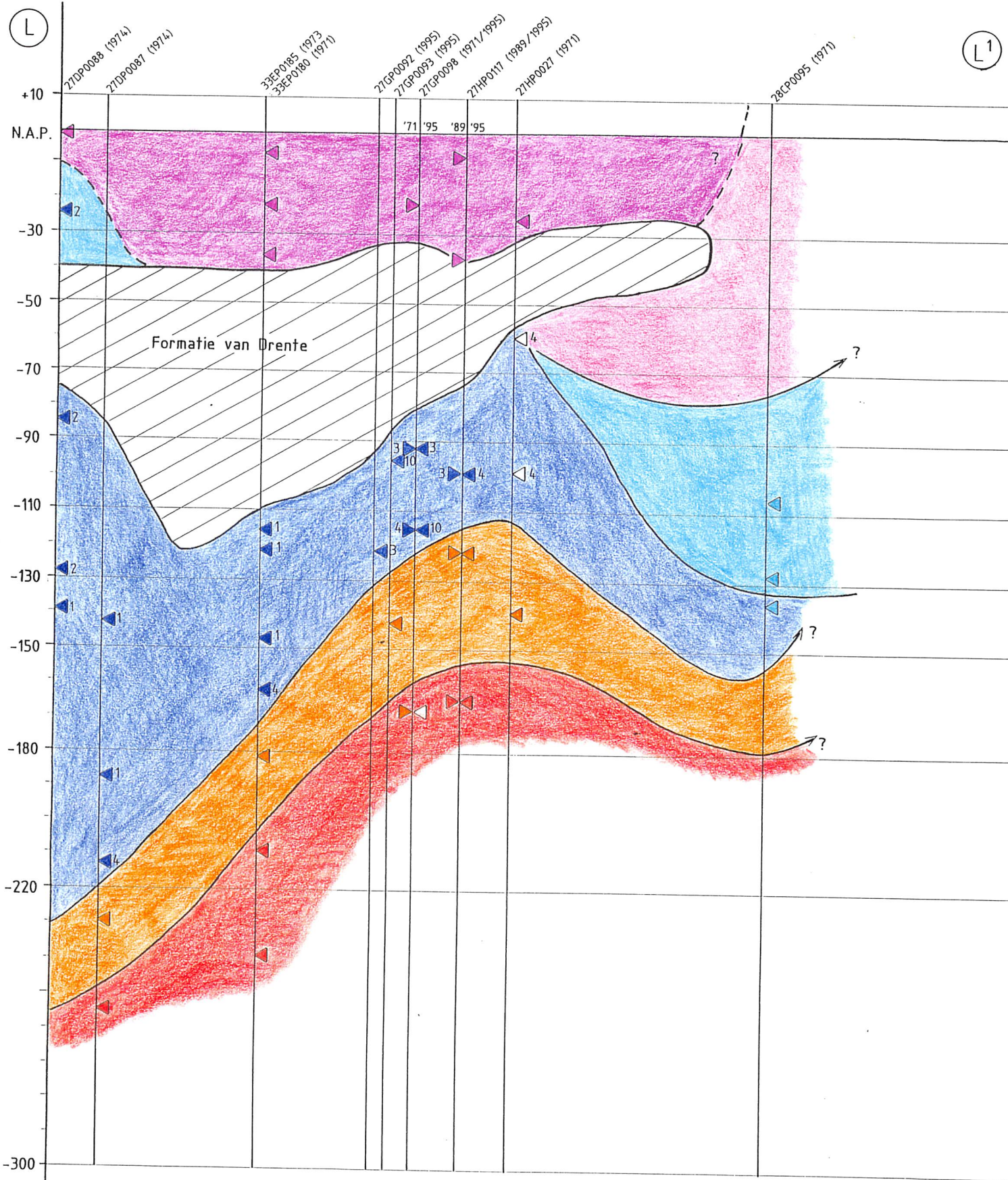


PROFIELLIJN K - K¹

1 : 150.000
 1 : 1000

(L)

(L¹)

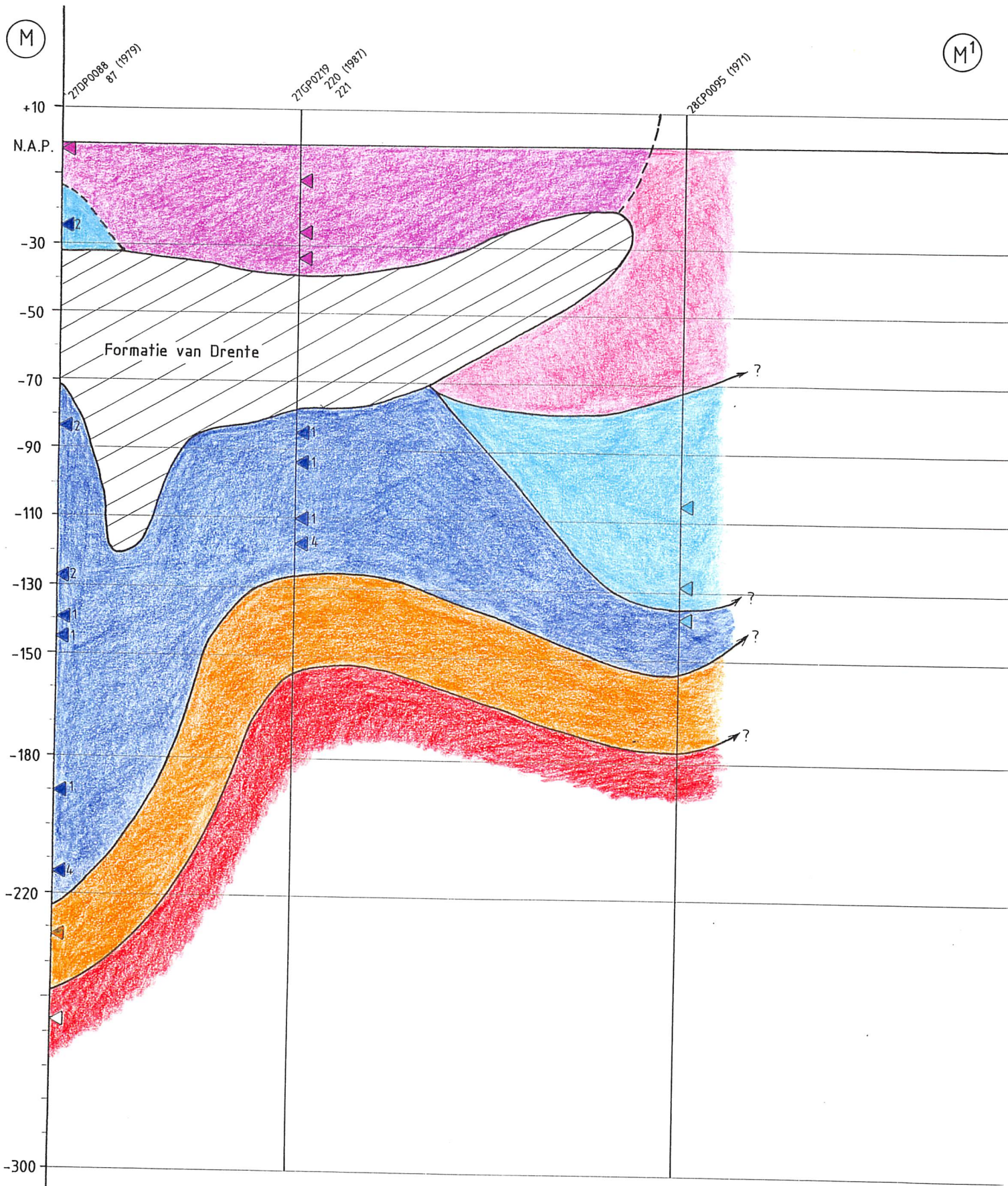


PROFIELLIJN L - L¹

1 : 150.000
1 : 1000

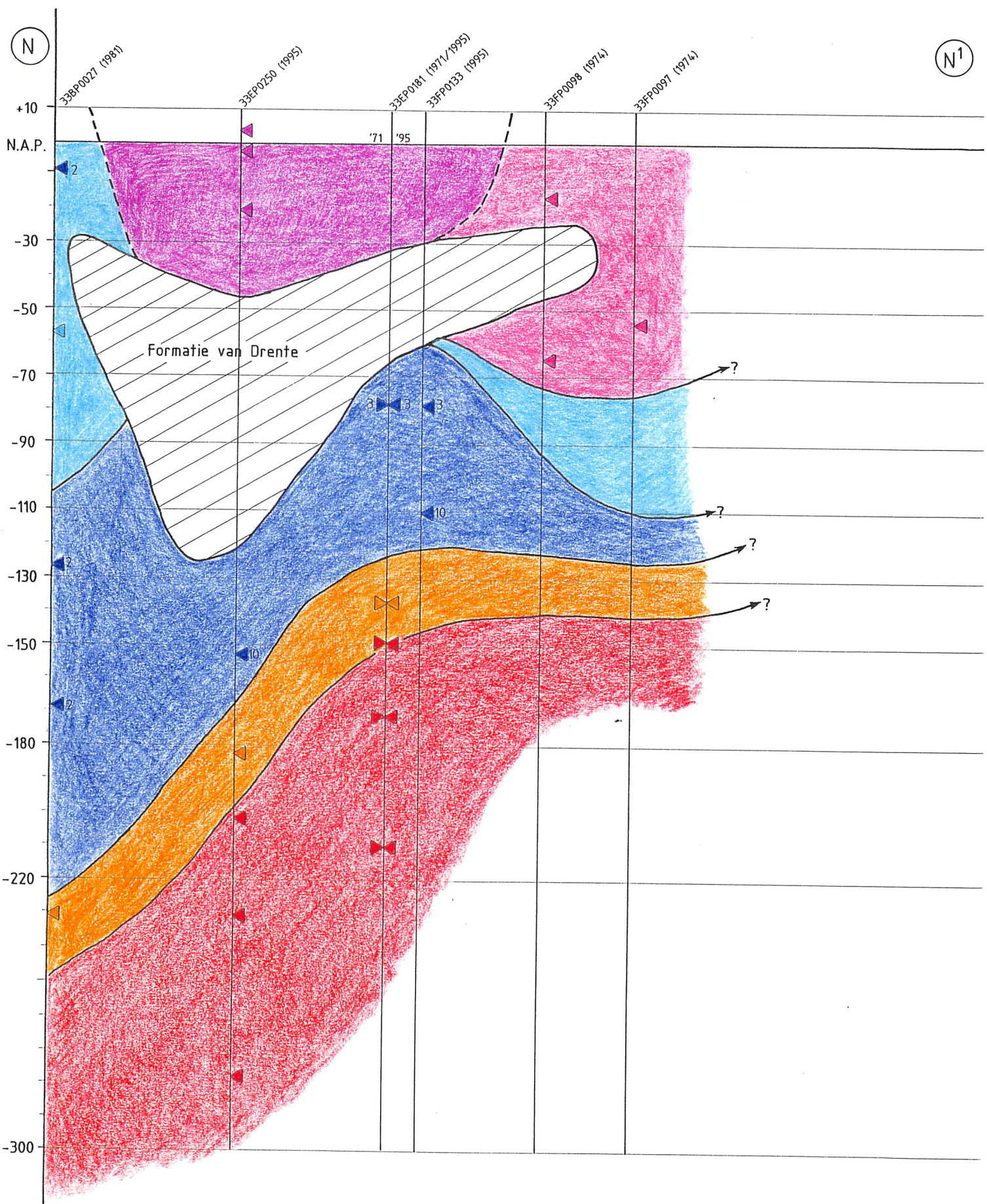
M

M¹



PROFIELLIJN M - M¹

1 : 150.000
1 : 1000



N

N¹

+10
N.A.P.
-30
-50
-70
-90
-110
-130
-150
-180
-220
-300

33EP0027 (1981) 33EP0250 (1995) 33EP0181 (1971/1995) 33FP0123 (1995) 33FP0098 (1974) 33FP0097 (1974)

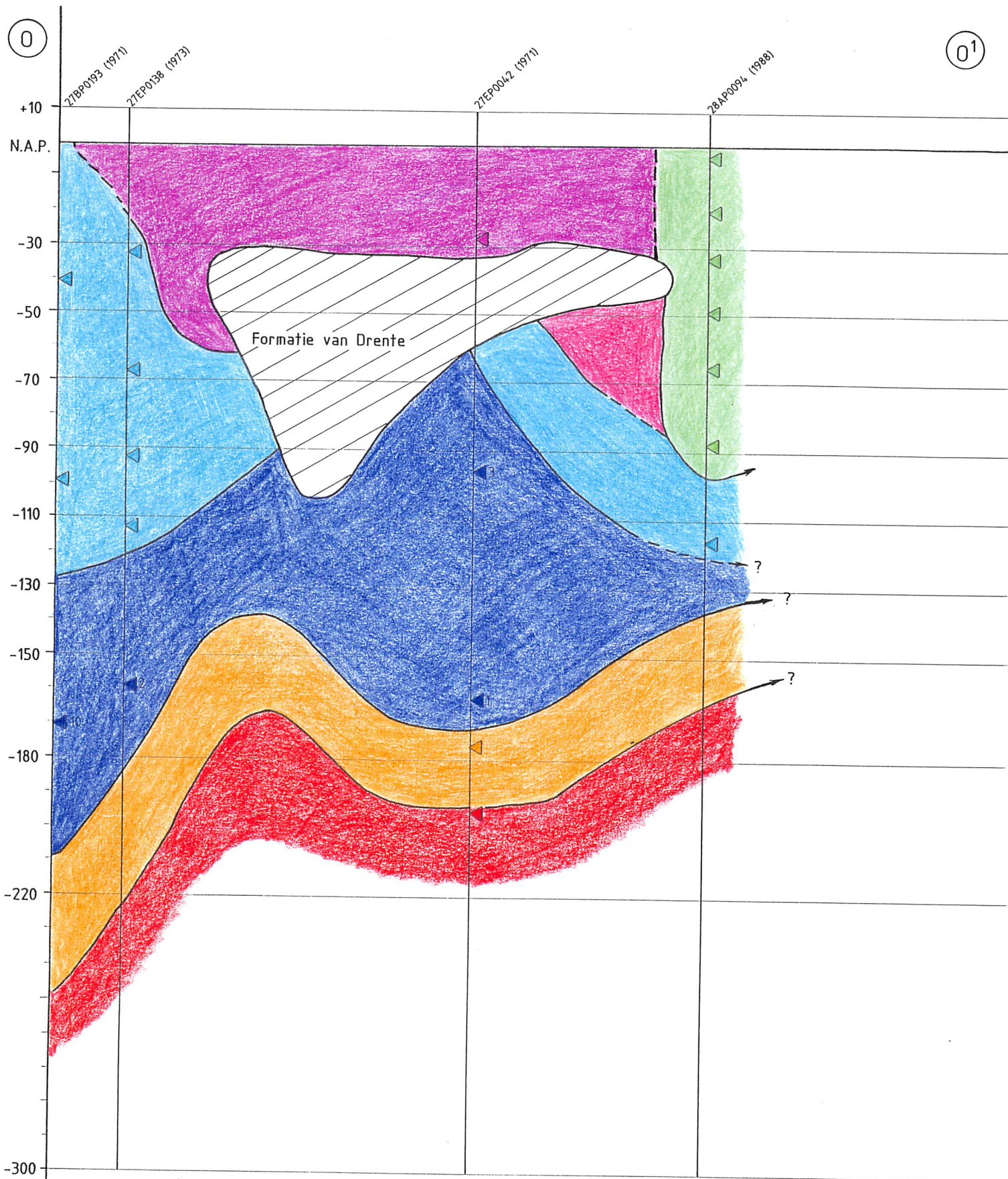
Formatie van Drente

PROFIELLIJN N - N¹

1 : 150.000
1 : 1000

0

0¹

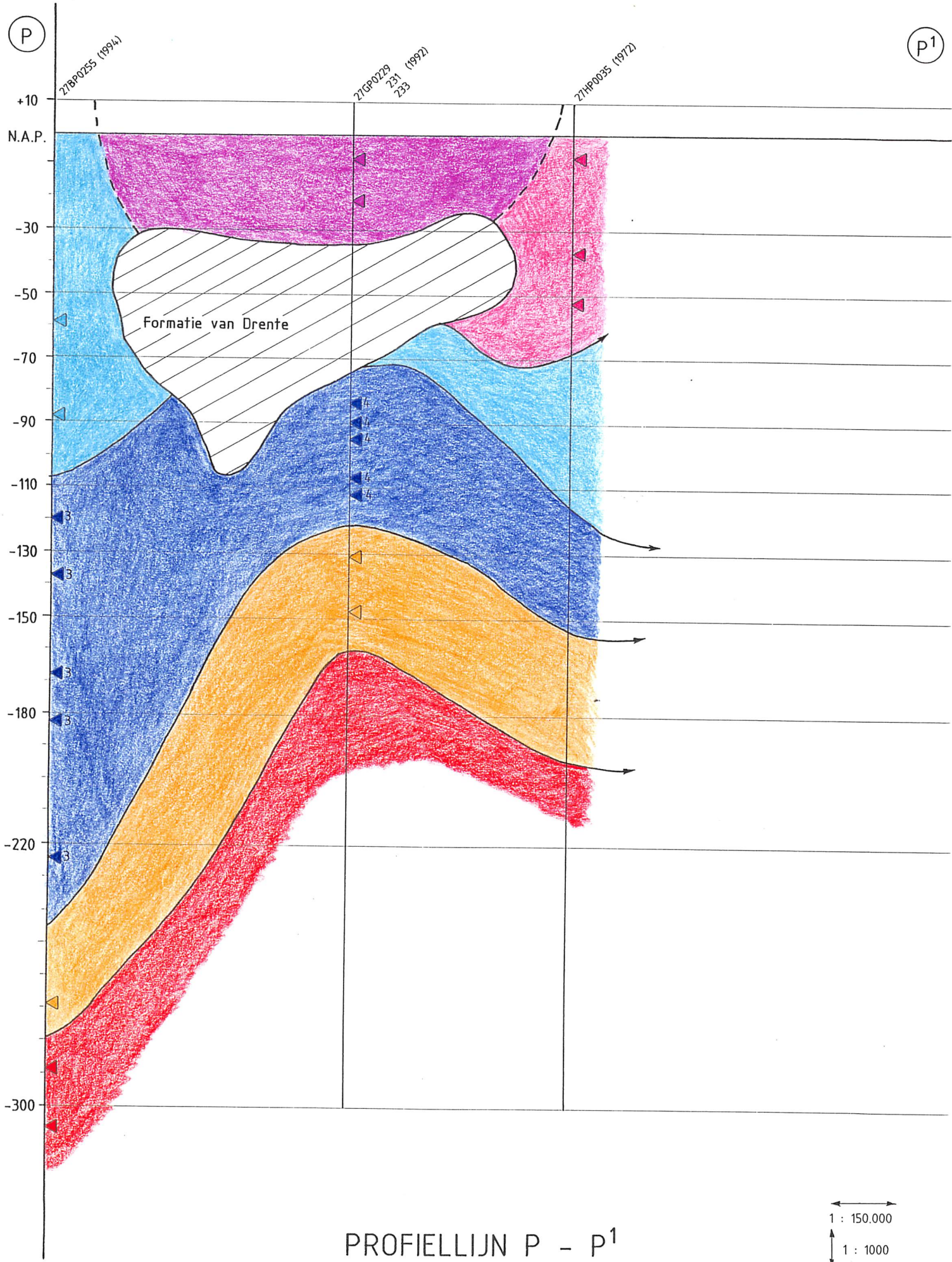


PROFIELLIJN 0 - 0¹

1 : 150.000
1 : 1000

P

P1

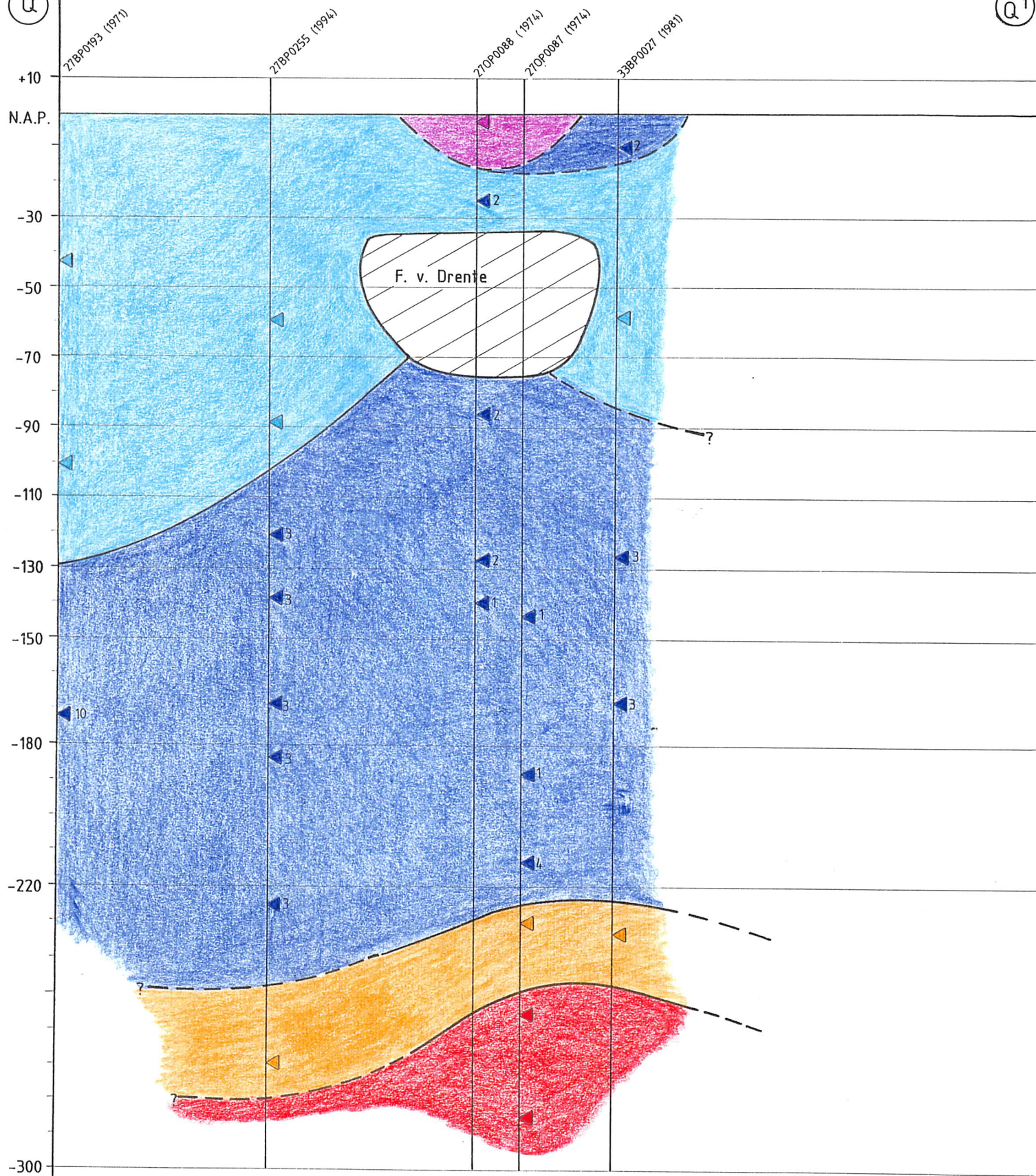


PROFIELLIJN P - P1

1 : 150.000
1 : 1000

Q

Q¹

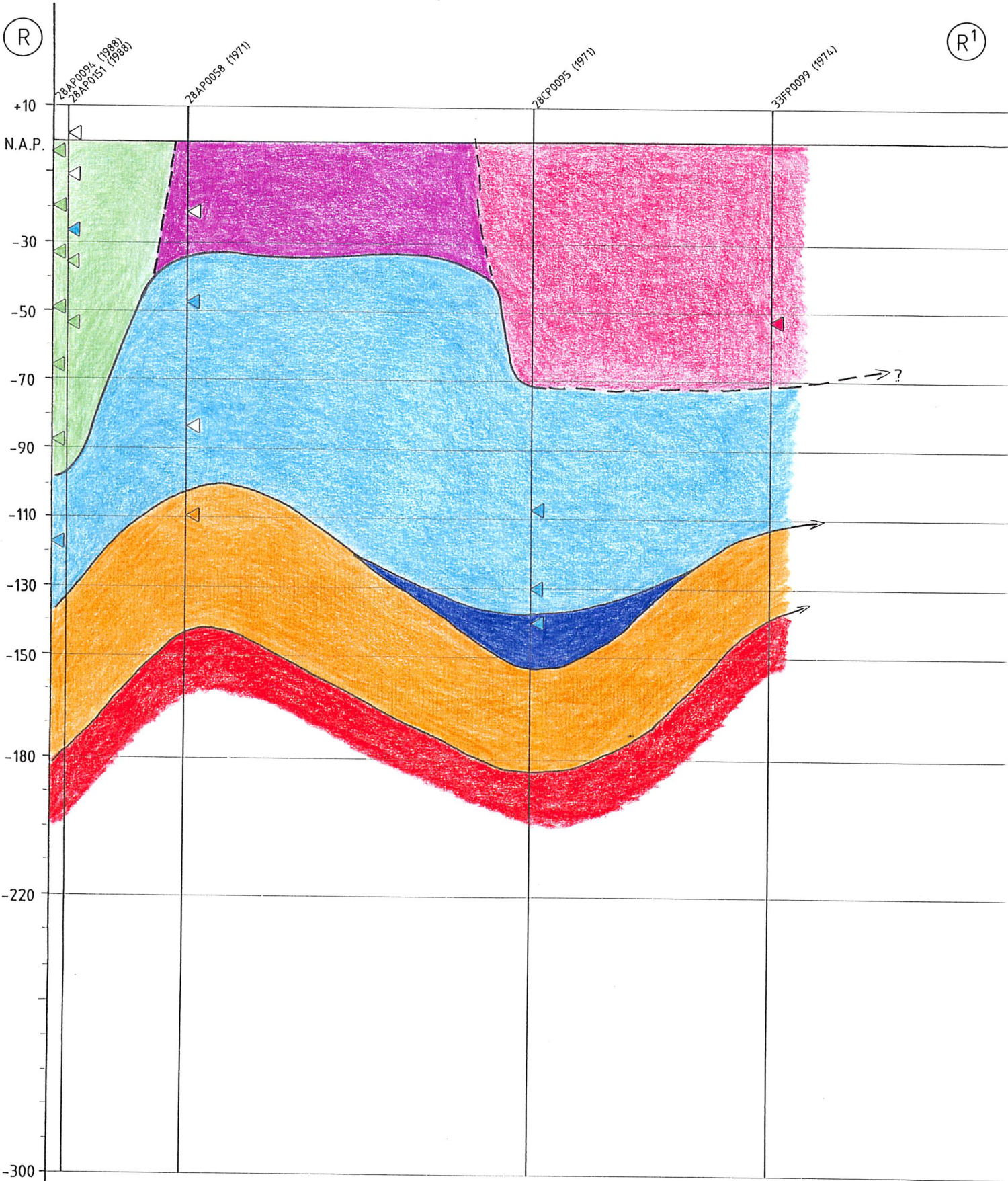


PROFIELLIJN Q - Q¹

1 : 150.000
1 : 1000

(R)

(R¹)



1 : 150.000
1 : 1000

PROFIELLIJN R - R¹



Bijlage 2 Bevindingen BROKS studie

BROKS Adviezen heeft in 1992 een onderzoek uitgevoerd naar uitbreiding van drinkwaterwinning in het tweede watervoerend pakket en de winbare hoeveelheid grondwateronttrekking in dit pakket ¹³. Voor uitbreiding van drinkwaterwinning is rekening gehouden met de volgende factoren:

- Locaties van bestaande winplaatsen (Engelse Werk, Boerhaar, Diepenveen, Ceintuurbaan, Zutphenseweg en Twello)
- Locatie van geplande winplaats Dalfsen
- Grondwaterstromingsrichting in Salland Diep
- Opwelling van het zoet-brak grensvlak tussen Bathmen en Zwolle
- Weerstand van de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerend pakket

Uit het onderzoek bleken de volgende drie uitbreidingsmogelijkheden het meest kansrijk:

- Vergroting van drinkwaterwinning Boerhaar
- Nieuwe drinkwaterwinning nabij Dalfsen langs de Vecht
- Nieuwe drinkwaterwinning rondom Olst

De nieuwe drinkwaterwinning nabij Dalfsen bleek kansrijk doordat het zoet-brak grensvlak zich op deze locatie op relatief grote diepte bevindt. De nieuwe drinkwaterwinning rondom Olst bleek gunstig door de grote weerstand van de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerend pakket. Bovendien is afstand van deze locatie tot de bestaande winputten in het tweede watervoerend pakket (horizontaal) en het zoet-brak grensvlak (verticaal) zo groot mogelijk. Om de effecten van deze uitbreidingen in kaart te brengen zijn modelberekeningen (met MODFLOW) verricht. In overleg met de opdrachtgevers Provincie Overijssel en Waterleidingmaatschappij Overijssel N.V. zijn drie scenario's opgesteld voor uitbreiding van drinkwaterwinning. Drie scenario's zijn hierbij doorgerekend met uitbreiding van drinkwaterwinning van respectievelijk 8, 12 en 16 Mm³/jaar. De uitgangspunten van de scenario's zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 – Gehanteerde scenario's in BROKS studie

| Hoeveelheid verhoging drinkwaterwinning in Salland Diep [Mm ³ /jaar] | | | | |
|---|-------------|-----------------|----------------|---------------|
| | <i>Olst</i> | <i>Boerhaar</i> | <i>Dalfsen</i> | <i>Totaal</i> |
| Scenario 1 | 4 | 2 | 2 | 8 |
| Scenario 2 | 6 | 2 | 4 | 12 |
| Scenario 3 | 8 | 2 | 6 | 16 |

Zoals weergegeven in tabel 3.2 is de uitbreiding van drinkwaterwinning bij Boerhaar in alle scenario's 2 Mm³/jaar. De locaties van de nieuwe winningen zijn op een afstand van minimaal 2 km van bestaande winputten gesitueerd.

¹³ BROKS Adviezen (1992). Geohydrologisch Onderzoek Winbare Hoeveelheid "Salland-Diep"; bijlagen. BROKS Adviezen, 's-Hertogenbosch.



Met het model zijn de verziltingsrisico's bepaald op basis van laterale en verticale toestroming. Voor scenario 3 is de verandering in laterale toestroming naar bestaande winningen in het tweede watervoerend pakket berekend. Hieruit bleek dat de grootste verandering in laterale toestroming bij winning Boerhaar plaatsvindt. De bestaande opwelling van het zoet-brak grensvlak verplaatst zich naar het westen. Op het moment van het uitgevoerde onderzoek bevond deze opwelling zich op circa 2,5 km ten oosten van Boerhaar. Uit de berekeningen volgt dat deze opwelling zich na 100 tot 200 jaar bij de winplaats Boerhaar bevindt. Uit de doorgerekende scenario's is geconcludeerd dat uitbreiding van grondwateronttrekking het laterale verziltingsrisico van bestaande winningen niet significant beïnvloed. Daardoor vormt het laterale verziltingsrisico geen beperkende factor voor de uitbreiding van drinkwaterwinning in Salland Diep.

In het onderzoek is geconcludeerd dat het grootste verziltingsrisico veroorzaakt wordt door een toename van verticale toestroming. Dit is echter niet met behulp van modelberekeningen bepaald. Bij plaatsing van nieuwe winputten dient optimalisatie plaats te vinden om kans op verzilting zo klein mogelijk te maken. Bij de doorgerekende scenario's zijn de nieuwe winputten op minimaal 2 km van bestaande winputten geplaatst. Alleen binnen een gebied met een straal van enkele honderden meters rond een diepe winning in het tweede watervoerend pakket treedt verticale toestroming op van grondwater onderuit dit pakket naar putfilters bovenin dit pakket. De verticale toestroming van grondwater onder de bestaande diepe winningen en daarmee het verziltingsrisico van deze winningen neemt niet toe door de winningsuitbreiding volgens de doorgerekende scenario's.



Bijlage 3 Modelaanpassingen MIPWA 3.0

1. Aanleiding

De studie naar de herijking en motivering van de begrenzing van de boringsvrije zone Salland-Diep betreft een hydrologisch onderzoek naar de inzetbaarheid van het watervoerende pakket Salland-Diep voor een toekomstige grondwateronttrekking voor de drinkwatervoorziening. Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van modelberekeningen met het recent opgeleverde grondwatermodel MIPWA 3.0. Na beoordeling van het model zijn een aantal modelissues geconstateerd en zijn modelaanpassingen noodzakelijk. Vitens wil deze aanpassingen graag uitgevoerd zien voor een groter gebied dan de begrenzing van de boringsvrije zone Salland-Diep, zodat het model in de toekomst gebruikt kan worden voor een studie naar de winmogelijkheden onder het gehele Laagpakket van Twello. Voor de aanpassingen wordt daarom een grotere begrenzing aangehouden.

2. Huidige lagenmodel MIPWA 3.0

Het lagenmodel in MIPWA 3.0 is opgebouwd uit negen aparte watervoerende modellagen. Een watervoerende modellaag kenmerkt zich door een top en een bodem welke ruimtelijk verbreed zijn. Een watervoerende modellaag wordt uiteindelijk geparаметeriseerd met een dikte = top-bodem en een gemiddelde horizontale doorlaatfactor k_h , tezamen gedefinieerd als transmissiviteit (dikte $\cdot k_h$).

Tussen de verschillende modellagen zijn de zogenaamde scheidende modellagen gedefinieerd. Deze lagen worden eveneens gekarakteriseerd door een top en een bodem waarbij top scheidende laag gelijk is aan de bodem van de erboven watervoerende laag. Evenzo is de bodem van de scheidende laag gelijk aan de top van de eronder gelegen watervoerende laag. Scheidende lagen worden gekarakteriseerd door een weerstand. De weerstand van een scheidende laag wordt berekend uit de dikte van deze laag in combinatie met de verticale doorlatendheid k_v van deze laag, volgens $c=d/k_v$. De weerstand van een scheidende laag wordt aangevuld met een bijdrage van verticale anisotropie uit de complexe watervoerende lagen. Hierbij wordt per scheidende laag de helft van het erboven gelegen watervoerende pakket en de helft van het eronder gelegen watervoerende pakket beschouwd.

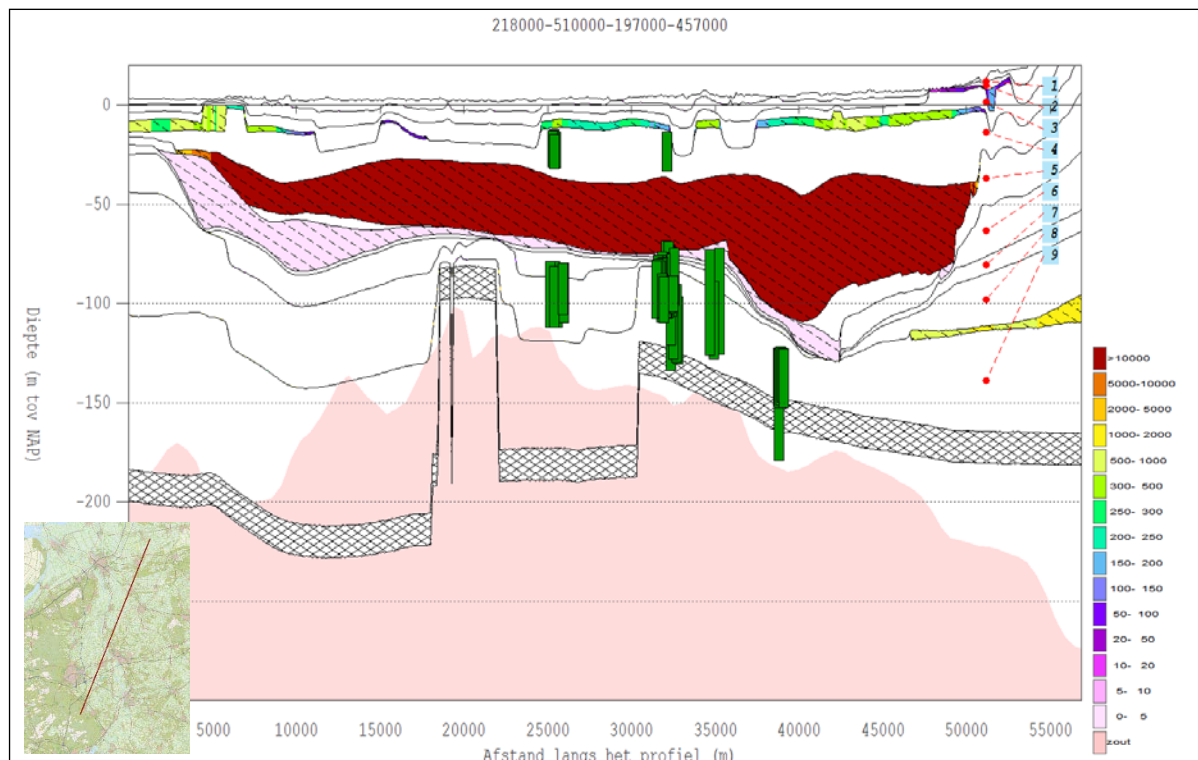
Er kunnen 2 type scheidende lagen worden onderscheiden, te weten een scheidende laag met een dikte en een weerstand berekend uit de verticale doorlatendheid en de verticale anisotropie van de watervoerende pakketten, en een scheidende laag met een dikte 0 waarbij de weerstand van deze laag alleen wordt berekend uit de verticale anisotropie. Scheidende lagen met een dikte worden hypothetische grensvlakken genoemd.

Aan de hand van een aantal dwarsprofielen is geconstateerd dat het lagenmodel in MIPWA 3.0 niet goed is gegenereerd. Het lagenmodel in MIPWA 3.0 is gebouwd op basis van REGIS II v2.1. De volgende issues zijn geconstateerd:

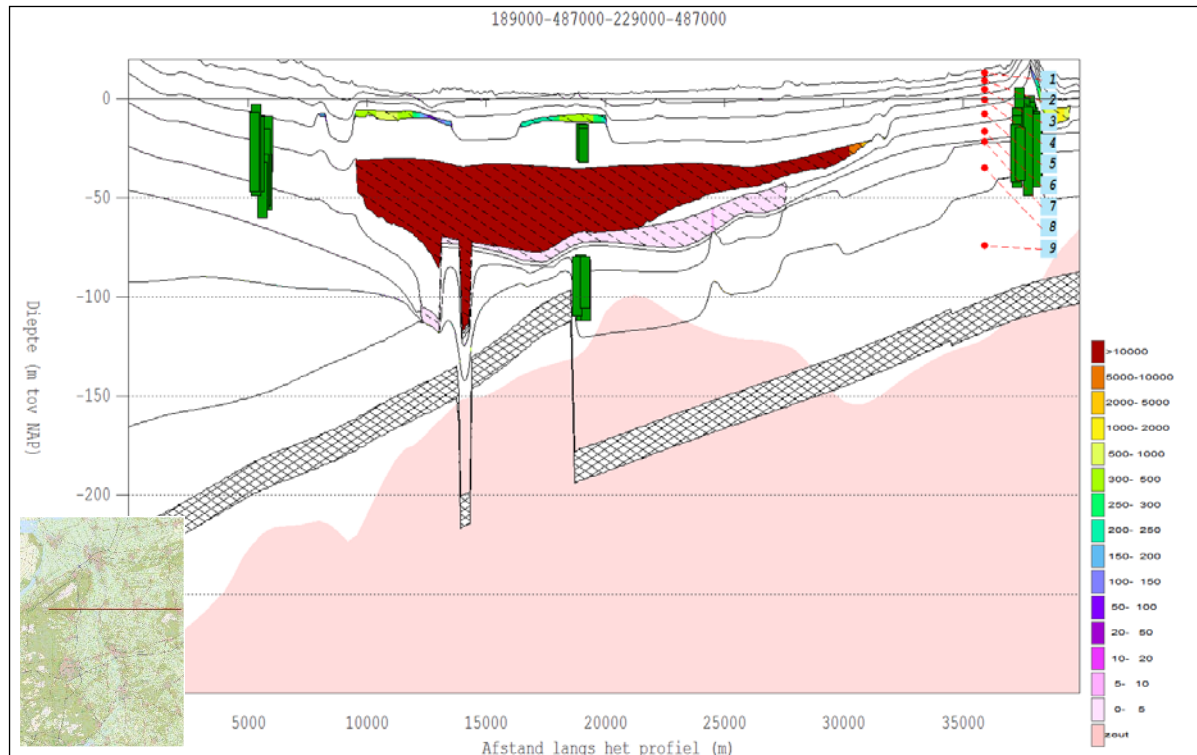
- Het lagenmodel is niet diep genoeg en de hydrologische basis heeft een springerig beeld (figuur 1)

- Sterk laagdiktewisselingen: in het lagenmodel zijn “heipalen” zichtbaar, zoals in de omgeving van Boerhaar (figuur 2)
- De modellagen direct onder het laagpakket van Twello heeft een beperkte dikte, waardoor het positioneren van onttrekkingsfilters lastig wordt (figuur 1 en 2)
- De klei afzetting Kreftenheije-Twello (REGIS code KrTw) lijkt niet goed te zijn overgenomen uit REGIS II v2.1 (figuur 3)

De genoemde issues worden geïllustreerd aan de hand van een aantal dwarsprofielen. In de figuren 1 en 2 zijn twee profielen gepresenteerd waar de laagdiktewisselingen en de te ondiepe basis duidelijk zichtbaar zijn. In dit deel van MIPWA 3.0 is als geohydrologische basis de onderzijde van het Maassluis complex (REGIS code Msc) gehanteerd. Als dit niet aanwezig is dan is de bovenzijde van de Breda klei1 uit REGIS II v2.1 gekozen (REGIS code Brk1) als geohydrologische basis. In deze figuur zijn ook de putfilters van de Vitens winningen gepresenteerd. De te ondiepe basis wordt niet alleen duidelijk uit de positie van de Vitens putfilters (groen weergegeven), ook de hoogte van het brak-zout grensvlak (licht rood weergegeven) ligt voor een deel onder de huidige basis, terwijl ervaringen en gemeten chloridegehalten anders doet vermoeden.



Figuur 1 – Noordoost-Zuidwest profiel van het lagenmodel MIPWA 3.0

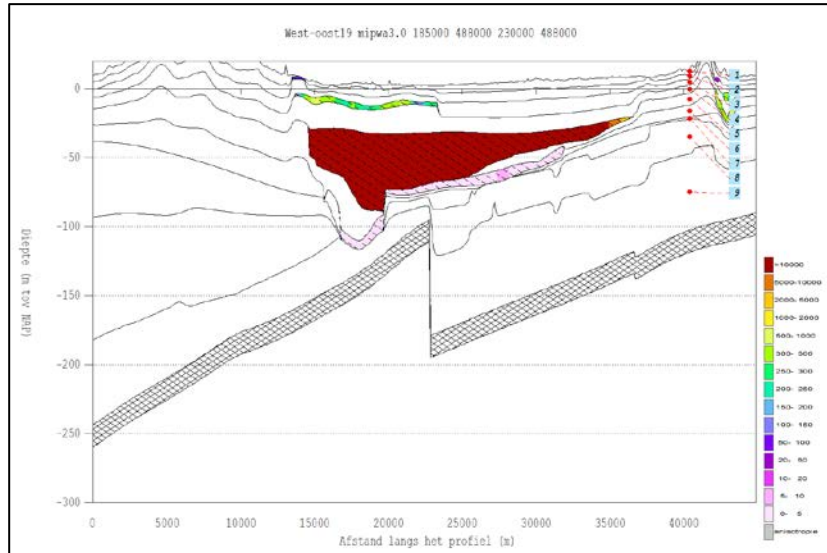


Figuur 2 – West-oost profiel van het lagenmodel MIPWA 3.0 ter hoogte van Boerhaar

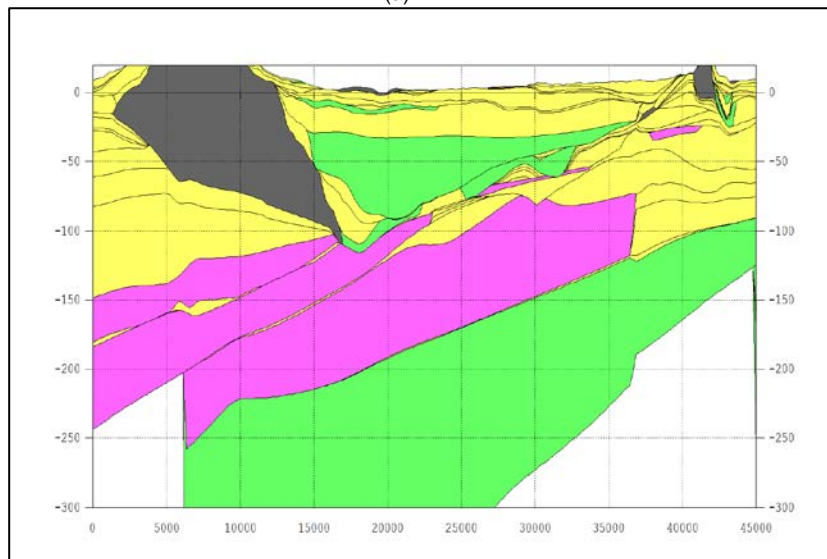
In figuur 3 is een west-oost profiel gekozen (linkerdeel) en deze is vergeleken met de originele REGIS II v2.1 lagen (rechterdeel). In het REGIS II v2.1-profiel worden een aantal type afzettingen onderscheiden, te weten:

- Zandige lagen: geel gekleurd
- Kleilagen: groen gekleurd
- Complexen: paars gekleurd
- Gestuwde anisotrope lagen: grijs gekleurd

In het lagenmodelprofiel is de kleiformatie van Kreftenheye-Twello als donkerrood gekleurd weergegeven. In het REGIS II v2.1-profiel, is deze ook herkenbaar als dikke groene lob. Onder de formatie van Kreftenheye-Twello bevindt zich nog een dunnere kleilaag welke de Drenthe-Gietenklei heet. Een vergelijking van beide lagenmodellen laat zien dat deze duidelijk afwijken. In het lagenmodel is er een behoorlijke rechthoekige hap uit de Kreftenheye-Twello formatie verdwenen en ook de Drenthe-Gieten klei heeft een ander patroon.



(a)



(b)

Figuur 3 – West-oost profiel van het lagenmodel MIPWA 3.0 (a) en REGIS 2.1 (b)

3. Aanpassing Lagenmodel

3.1 Uitgevoerde aanpassingen

De volgende aanpassingen aan het model zijn uitgevoerd:

- Corrigeren foutieve mapping van het Laagpakket van Twello en het Laagpakket van Gieten, waardoor de verbreiding van de klei naar de diepte overeenkomstig REGIS II v2.1 is
- De dikte van de modellagen onder het Laagpakket van Twello is in het model zeer dun, waardoor in deze modellagen geen winputten kunnen worden geplaatst. Indien de winputten



in diepere modellagen worden geplaatst, zal de onderzijde van het filter dicht bij het brak-zout grensvlak uitkomen. Dit heeft een directe invloed op de modeluitkomsten en daarom is bij de mapping van de diepere lagen rekening gehouden met een minimale laagdikte

- De geohydrologische basis in MIPWA was gebaseerd op de onderzijde van de Formatie van Maassluis en de bovenzijde van de Breda-klei in REGIS II v2.1. Hierdoor is een niet correcte hydrologische basis ontstaan. De geohydrologische basis kan het beste gebaseerd worden op de bovenzijde van de Breda-klei conform REGIS II v2.2
- Door de aanpassingen in de laagschematisatie moeten de modellagen gelegen onder het Laagpakket van Twello opnieuw worden geparаметeriseerd. Om zo dicht mogelijk bij de uitgangspunten van MIPWA 3.0 te blijven zijn de modellagen op basis van MIPWA 3.0 (=REGIS II v2.1) geparаметeriseerd en vanaf het verschil in geohydrologische basis tussen de 2 REGIS versies op basis van REGIS II v2.2. Met deze werkwijze wordt ook de overgang tussen het niet aangepaste modelgebied en het aangepaste modelgebied correct gehouden

3.2 Methode

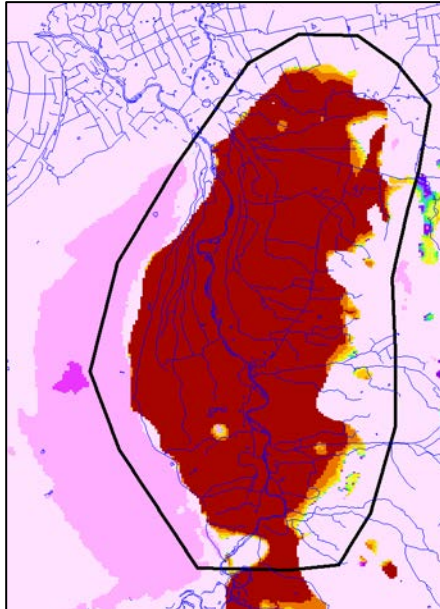
Bij de aanpassing van het lagenmodel worden 3 fasen onderscheiden:

- *Fase 1*
 - Herstel van de kleiafzettingen Kreftenheye-Twello en Drenthe-Gieten
 - Verdieping van het lagenmodel op basis van 1 consistente keuze namelijk tot aan de Breda klei
 - Handhaving overige scheidende lagen voor zover deze een dikte hebben
 - Herberekening hypothetische grensvlakken met een MODFLOW interpolator
- *Fase 2*
 - Verdieping van het lagenmodel op basis van REGIS II v2.2. In deze actie wordt de bovenzijde van de Breda klei uit REGIS II v2.2 gekozen
- *Fase 3*
 - Herparameteriseren van de nieuwe zandlagen, kleilagen en hypothetische grensvlakken op basis van REGIS II v2.1 en REGIS II v2.2

De resampling van de parameters wordt in 2 delen uitgevoerd. Voor het lagenmodel uit fase 1 worden de kD -waarden van de modellagen 5,6,7,8 en 9 en de c -waarden van de scheidende lagen 5,6,7 en 8 bepaald uitgaande van REGIS II v2.1. Voor het lagenmodel uit fase 3 wordt voor alleen de extra verdieping van modellaag 9 de extra toename van $kD9$ en $c8$ berekend op basis van REGIS II v2.2.

Fase 1: Aanpassing lagenmodel op basis van REGIS II v2.1

De aanpassing van het lagenmodel betreft een herdefinitie van de modellagen 5 t/m 9 in een gebied zoals is aangegeven in figuur 4.



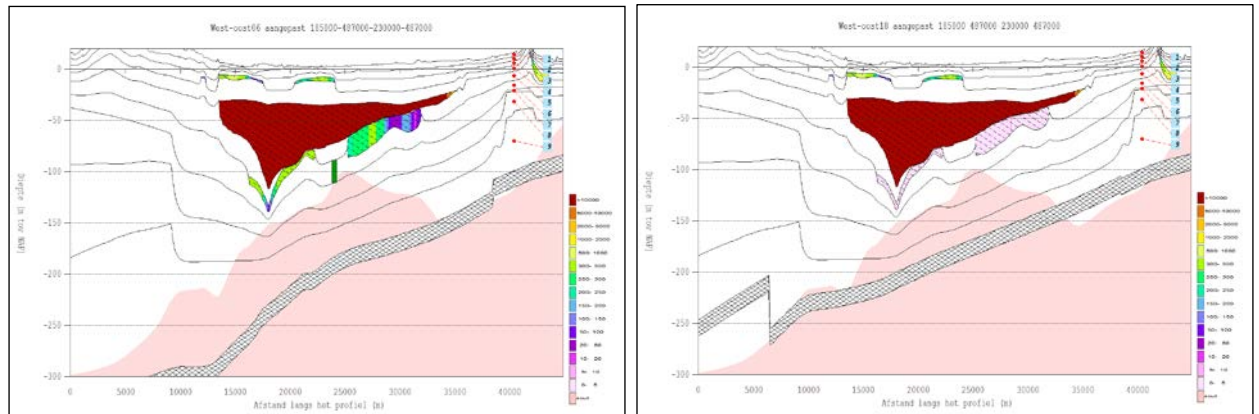
Figuur 4 Gebied rondom de Kreftenheje-Twello formatie waarbinnen het lagenmodel wordt aangepast

Bij de aanpassing van het lagenmodel wordt de onderzijde van de klei formatie Kreftenheje-Twello uit REGIS II v2.1 als vaste bovenrand gekozen, in het lagenmodel wordt dit dus de top van modellaag 5. Als vaste onderrand van het lagenmodel wordt de bovenzijde van de Breda1 klei uit REGIS II v2.1 gekozen. Verder wordt de bovenzijde en onderzijde van de Drenthe-Gietenklei als respectievelijk onderzijde modellaag 5 en bovenzijde modellaag 6 gedefinieerd. Tenslotte worden de overige scheidende lagen 6, 7 en 8 uit het originele lagenmodel overgenomen.

In dit nieuwe lagenmodel geldt als uitgangspunt dat alle scheidende lagen waar de laag een dikte heeft een vaste top en een vaste bodem hebben. Het overige deel van de scheidende lagen waar de dikte gelijk 0 is wordt als hypothetische grensvlak gedefinieerd en waarvan de ligging met de interpolator wordt bepaald. De aansluiting van dit hernieuwde deel van het lagenmodel aan het originele lagenmodel is uitgevoerd door de laagscheidingen aan de randen van het originele lagenmodel als vast niveau te kiezen. Met de iMODFLOW solver welke als interpolator kan worden gebruikt zijn de nieuwe hypothetische grensvlakken (laag scheidingen waar dikte $sdl = 0$) berekend. Ter voorkoming van negatieve laagdikten zijn de nieuwe laagdikten van de alle lagen bepaald waarbij eventuele negatieve laagdikten de waarde 0 hebben gekregen. Deze nieuwe laagdikten zijn van de bovenzijde van modellaag 5 afgetrokken waardoor een nieuw lagenmodel ontstaat met laagdikten altijd groter of gelijk 0. De plooiing van de hypothetische grensvlakken is bepaald door te spelen met de spreidingslengte van het iMODFLOW concept.

Fase 2: Verdieping lagen model op basis van REGIS II v2.2

Voor de verdieping van het lagenmodel op basis van REGIS II v2.2 is modellaag 9 aangepast. Voor de onderzijde van modellaag 9 is de bovenzijde van de Breda1 klei uit REGIS II v2.2 gebruikt (zie figuur 5).



Figuur 5 – Links: west-oost profiel ter plaatse van Boerhaar na fase 1 (nog niet geherparameteriseerd), rechts: west-oost profiel ter plaatse van Boerhaar na fase 2 (wel geherparameteriseerd)

Fase 3: Herparameterisering aangepaste lagenmodel

De berekening van de transmissiviteit (kD-waarde) van een watervoerende modellaag en weerstand (c-waarde) van een waterscheidende lagen is als volgt gedefinieerd:

Weerstand scheidende laag

$c_i = \text{verticale anisotropie } 50\% \text{ bovenliggende modellaag} + \text{deel scheidende laag}$
 $+ \text{verticale anisotropie } 50\% \text{ onderliggende modellaag}$

Ofwel:

$$c_i = \frac{\text{topwvp}_i - \text{botwvp}_i}{2 \times kva_i \times kh_i} + \frac{\text{botwvp}_i - \text{topwvp}_{i+1}}{kvv_i} + \frac{\text{topwvp}_i + 1 - \text{botwvp}_i + 1}{2 \times kva_{i+1} \times kh_{i+1}}$$

Met:

- kva_i = verticale anisotropie factor watervoerende modellaag i [-]
- kvi = verticale doorlaatfactor waterscheidende modellaag i [m/dag]
- kh_i = horizontale doorlaatfactor watervoerende modellaag i [m/dag]
- topwvp_i = bovenzijde watervoerende modellaag i
- botwvp_i = onderzijde watervoerende modellaag i

Met als opmerking dat in REGIS de verticale anisotropie wordt geïnitieerd door de complexen

Transmissiviteit of kD-waarde

$$kD_i = kh_i \times (\text{topwvp}_i - \text{botwvp}_i)$$

Bij de herberekening van de parameters wordt een volgende werkwijze gehanteerd:

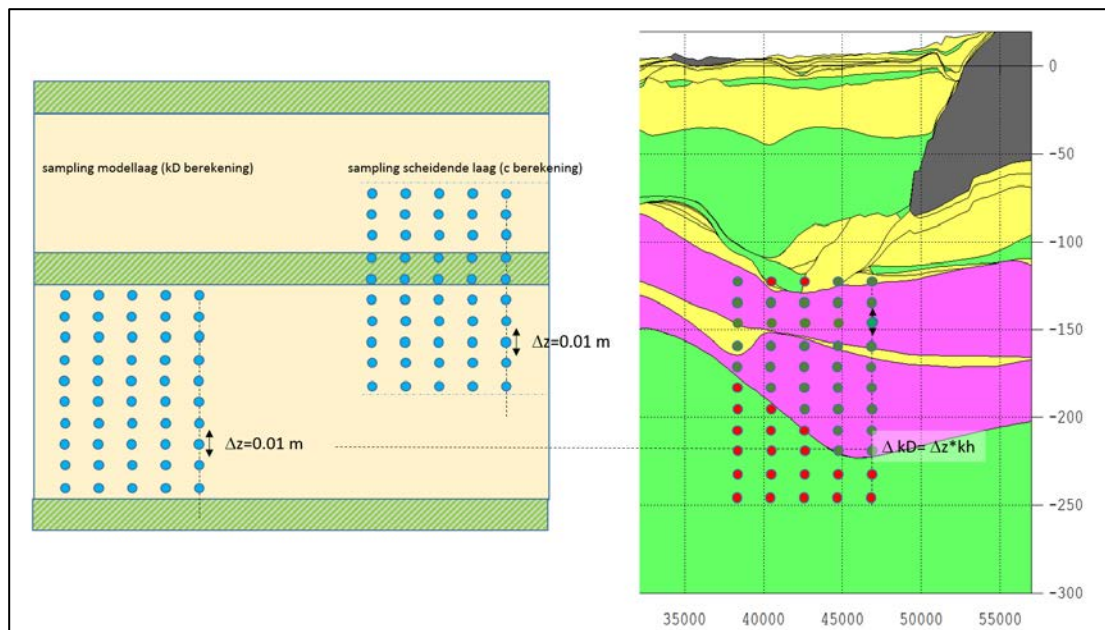
Voor de berekening van de kD van een watervoerende laag wordt elke modellaag van top tot bot gesampled in stukjes dz (bv 0.01 m). Het midden van elk stukje dz wordt gespot op het REGIS II v2.1 lagenmodel en daar wordt bepaald in welke afzetting dit stukje zit. Als dz in een watervoerende afzetting zit met een representatieve kh , dan kan de toename van de kD worden bepaald door elke keer $dz \times kh$ te berekenen.



Voor de waterscheidende modellen wordt op een gelijke wijze een sampling uitgevoerd. Nu wordt gesampled van het midden van de boven gelegen modellaag tot het midden van de onder gelegen modellaag.

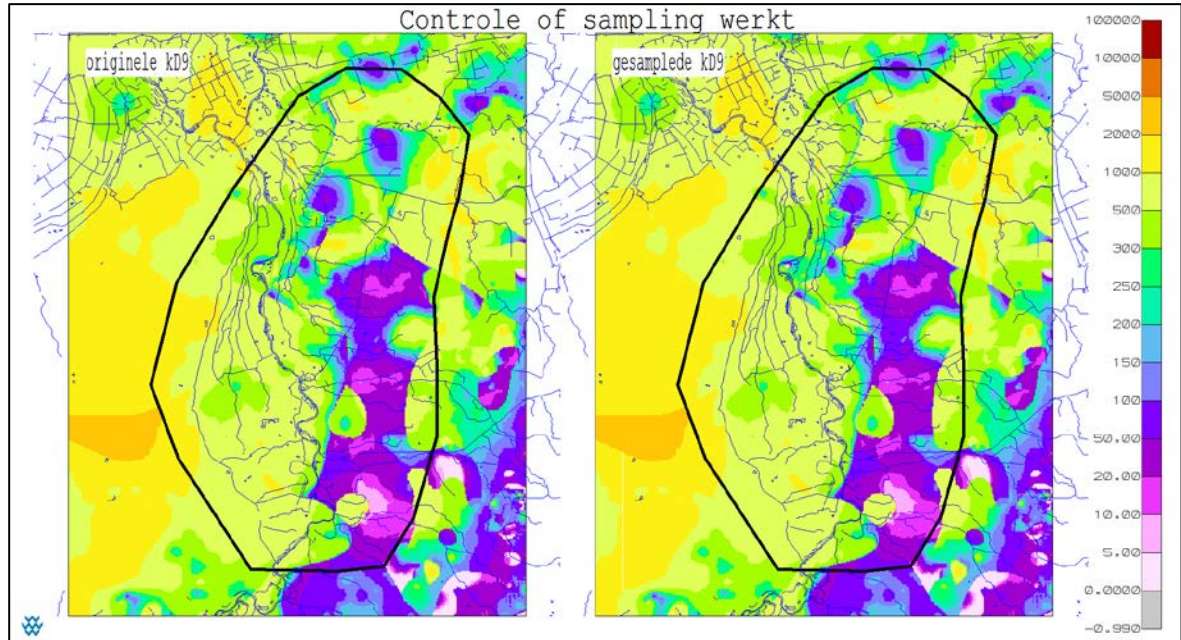
En als dz in een waterscheidende afzetting of een complex zit met een representatieve k_v , dan kan de toename van de c worden bepaald door elke keer dz/k_v te berekenen.

In figuur 6 is de uitgevoerde werkwijze schematische weergegeven.

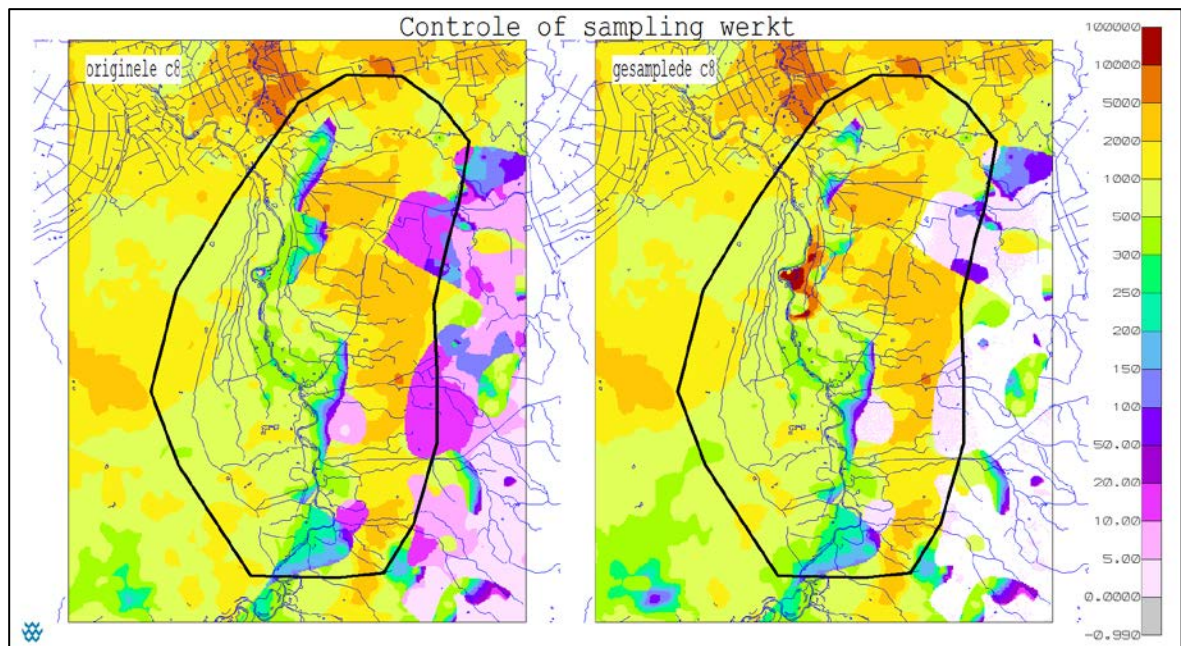


Figuur 6 – Sampling van het aangepaste lagenmodel (links) en spotting op bv REGIS II v2.1 (rechts)

Omdat de laagdikten en de basis van het lagenmodel zijn aangepast zullen de kD -waarden en de c -waarden van deze lagen opnieuw moeten worden berekend. Voordat deze berekening wordt uitgevoerd is het belangrijk om vast te stellen of op basis van het originele lagenmodel de parameters kunnen worden gereproduceerd. Als dit kan dan kunnen ook voor de nieuwe modellen de parameters worden vastgesteld. Als controle van de werkwijze zijn voor modellaag 9 en scheidende laag 8 het doorlaatvermogen en de weerstand opnieuw berekend op basis van sampling REGIS II v2.1. Beide patronen geven een consistent beeld, zoals ook blijkt uit de figuren 7 en 8.



Figuur 7 – Check oorspronkelijk KD9 en herberekende KD9

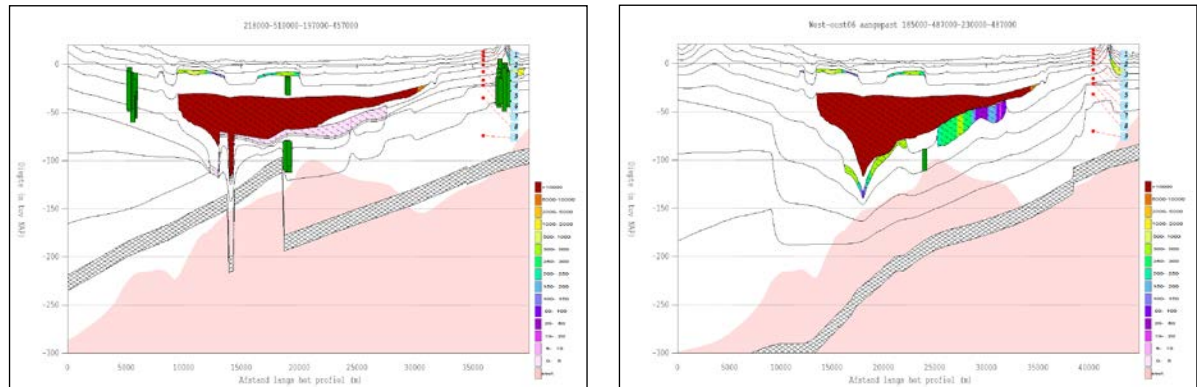


Figuur 8 – Check oorspronkelijk c8 en herberekende c8



4. Resultaat aangepast lagenmodel

Het resultaat van het aangepaste lagenmodel bestaat uit een aangepaste verbreiding van 2 formaties, het verdiepen van de geohydrologische basis en een gelijkmatige verdeling van de watervoerende lagen. Ter illustratie is in figuur 9 het oorspronkelijke en het verbeterde lagenmodel gepresenteerd.



Figuur 9 – Links het oorspronkelijke lagenmodel, rechts het aangepaste lagenmodel

Door de aanpassing van het lagenmodel en de herparameterisatie is de geohydrologische basis overall gelijk aan de Breda-klei conform REGIS II v2.2. Bovendien heeft de aanpassing geleid tot een gelijkmatige verdeling van het lagenmodel onder de Twello-klei, waardoor onttrekkingsfilters goed kunnen worden gepositioneerd. Tot slot kan het brak-zout grensvlak worden gedefinieerd in het lagenmodel. Het aangepaste lagenmodel is daarmee geschikt voor berekeningen in het pakket Salland-Diep.

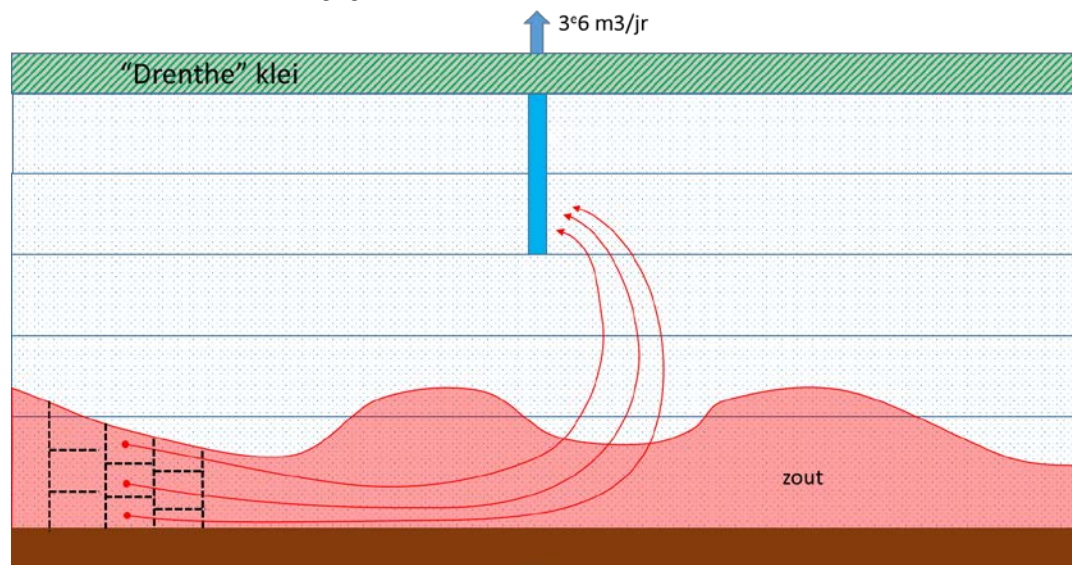


Bijlage 4 Methode stroombaanberekeningen en responscurves

Voor het berekenen van de responscurves voor het chloridegehalte zijn verschillende berekeningswijzen mogelijk. In eerste instantie ligt het voor de hand om stroombanen te starten in de winputten of op het brak-zout grensvlak. Bij het starten van de stroombanen in de putlocaties is echter sprake van een voorkeursstromingsrichting rondom de putten, die ingegeven wordt door het gekozen netwerk. Deze methode is daarom niet betrouwbaar genoeg.

Bij het starten van de stroombanen op het grensvlak lijkt het in eerste instantie goed te gaan, maar bij nadere analyse bleek dat er stroombanen zijn die zich eerst verplaatsen door het zoute pakket, en vervolgens op een andere locatie het grensvlak weer passeert richting de winning. Hierbij is sprake van een 'dubbeltelling' in de flux ter plaatse van de 'dubbele' stroombaan. Deze flux doet in het stromingsmodel echter maar 1 keer mee. Deze methode is daarom niet betrouwbaar genoeg.

Een derde methode die vervolgens is uitgedacht hangt sterk samen met de wijze waarop verontreinigingen worden doorgerekend met het programma MT3D. In de figuur 1 is deze methode schematisch weergegeven.



Figuur 1 – Schematische weergave methode stroombaanberekeningen

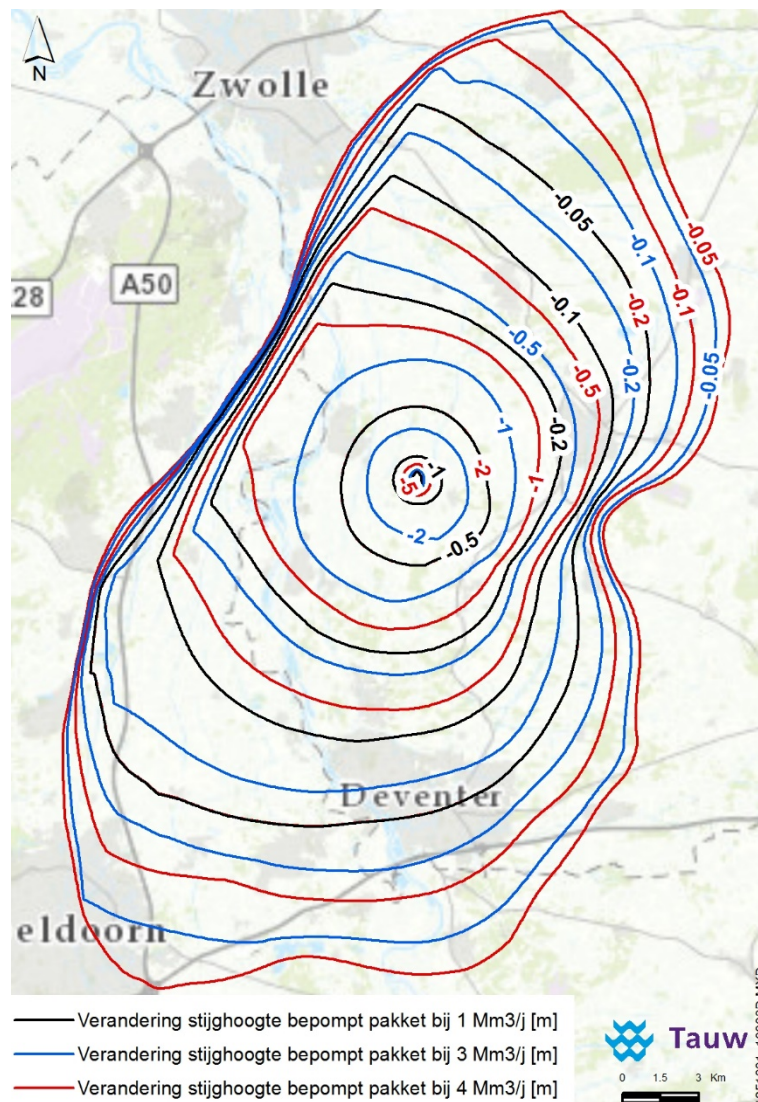
Het 'zoute' pakket wordt opgedeeld in een aantal deelvolumen en aan elk deelvolumen wordt een zoutmassa toegekend. Vervolgens wordt de verplaatsing van elke massa in de tijd doorgerekend. Zodra een deelvolumen 'aankomt' in de onttrekkingsput wordt een bepaalde massa zout 'afgeleverd'. Dat verklaart ook het 'springerige' verloop van het chloridegehalte in de responscurves. Een voordeel van deze methode is dat aan elk deelvolumen in de diepte een andere zoutmassa kan worden meegegeven.

Bijlage 5 Berekeningsresultaten individuele locaties

Deel 1: Boerhaar

Grondwaterstandsverlagingen

Wat betreft de freatische grondwaterstandsverlagingen zijn er bij een onttrekkingshoeveelheid van zowel 1,3 als 4 Mm³/j geen verlagingen groter dan 0,05 m. In figuur 1 zijn de berekende stijghoogteveranderingen in het bepompt pakket weergegeven.

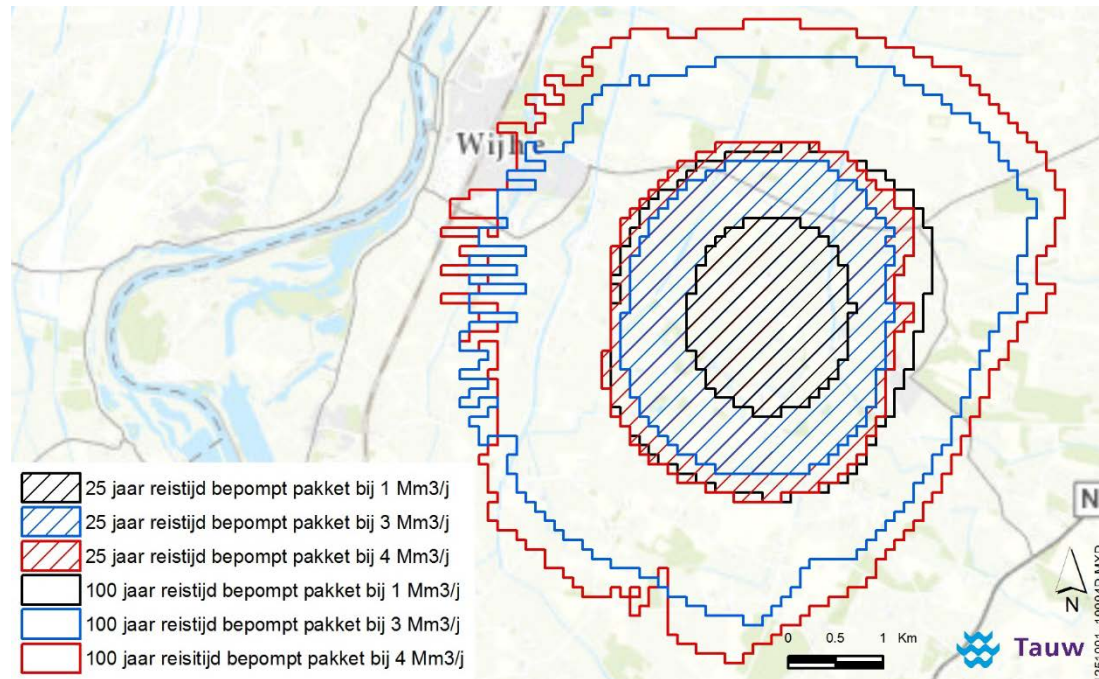


Figuur 1 – Stijghoogteveranderingen in bepompt pakket bij grondwateronttrekking van 1,3 en 4 Mm³/j bij locatie Boerhaar



Reistijden

Uit de modelberekeningen blijkt dat voor locatie Boerhaar er geen waterdeeltjes binnen 100 jaar vanuit het freatisch pakket de drinkwaterwinning in stromen. In figuur 2 zijn de 25 jaar en 100 jaar reistijden van waterdeeltjes in het bepompt pakket weergegeven.

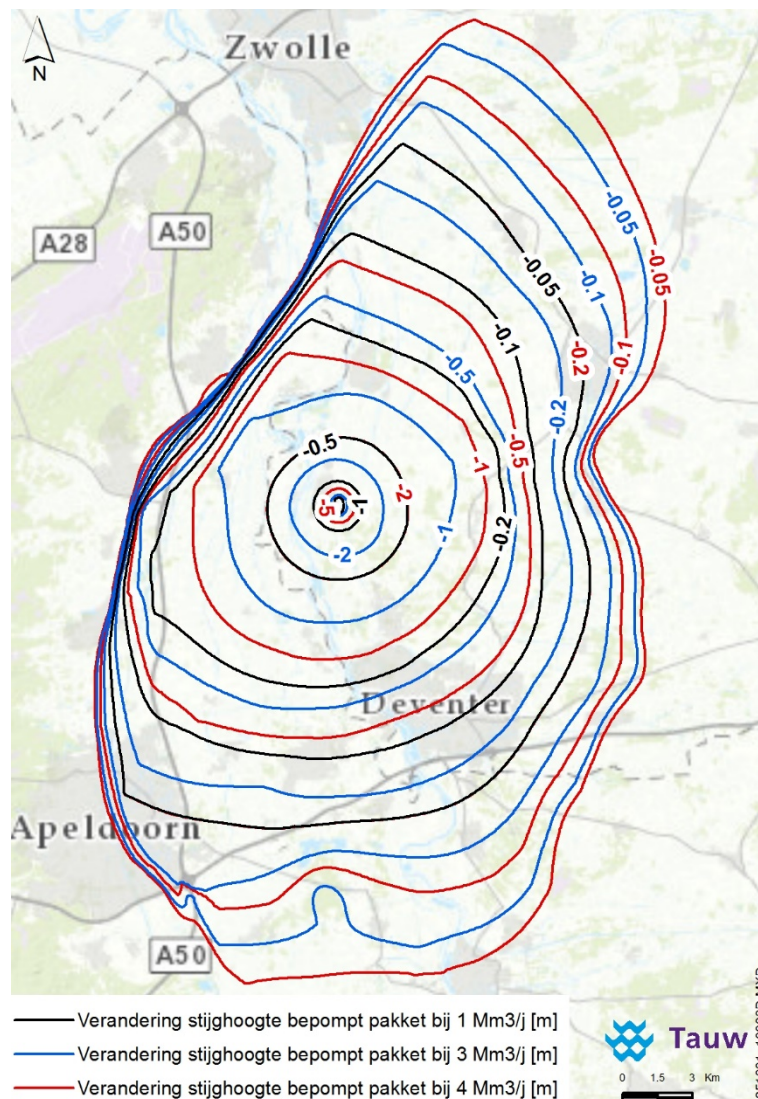


Figuur 2 – 25 jaar en 100 jaar reistijden in bepompt pakket bij grondwateronttrekking van 1,3 en 4 Mm³/j bij locatie Boerhaar

Deel 2: Olst

Grondwaterstandsverlagingen

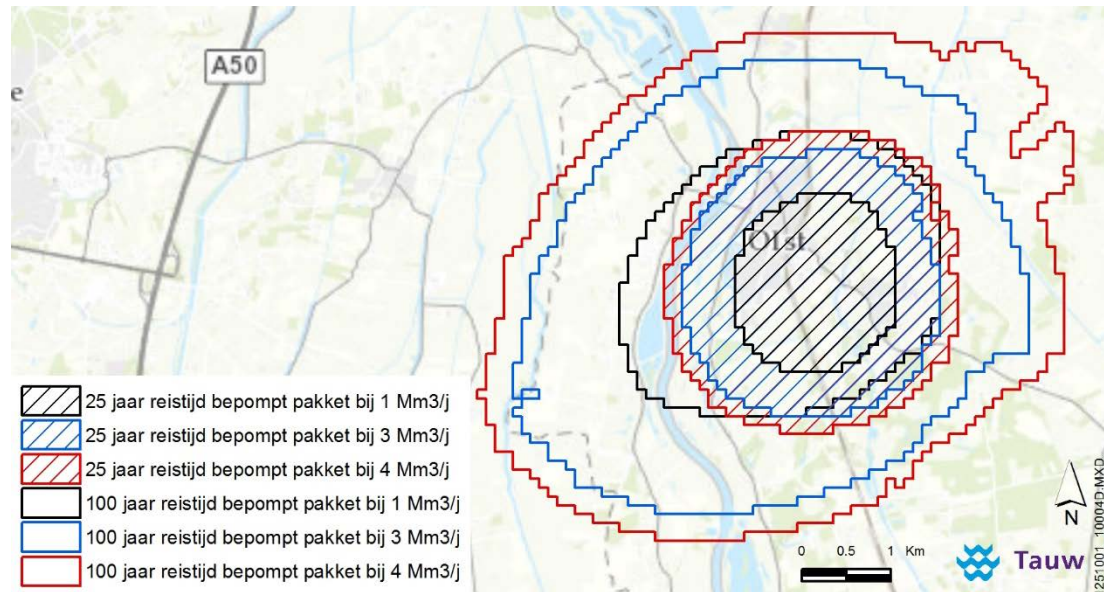
Wat betreft de freatische grondwaterstandsverlagingen zijn er bij een onttrekkingshoeveelheid van zowel 1,3 als 4 Mm³/j geen verlagingen groter dan 0,05 m. In figuur 3 zijn de berekende stijghoogteveranderingen in het gepompt pakket weergegeven.



Figuur 3 – Stijghoogteveranderingen in gepompt pakket bij een grondwateronttrekking van 1,3 en 4 Mm³/j bij locatie Olst

Reistijden

Uit de modelberekeningen blijkt dat er geen waterdeeltjes binnen 100 jaar vanuit het freatische pakket de drinkwaterwinning in stromen. In figuur 4 zijn de 25 jaar en 100 jaar reistijden van waterdeeltjes in het gepompt pakket weergegeven.



Figuur 4 – 25 jaar en 100 jaar reistijd in bepompt pakket bij grondwateronttrekking van 1,3 en 4 Mm³/j bij locatie Olst

Waterbalansen

In tabel 1 zijn de absolute fluxen en fluxveranderingen opgenomen van de deelgebieden die zijn gelegen boven het Laagpakket van Twello bij een winningshoeveelheid van 1 Mm³/j.

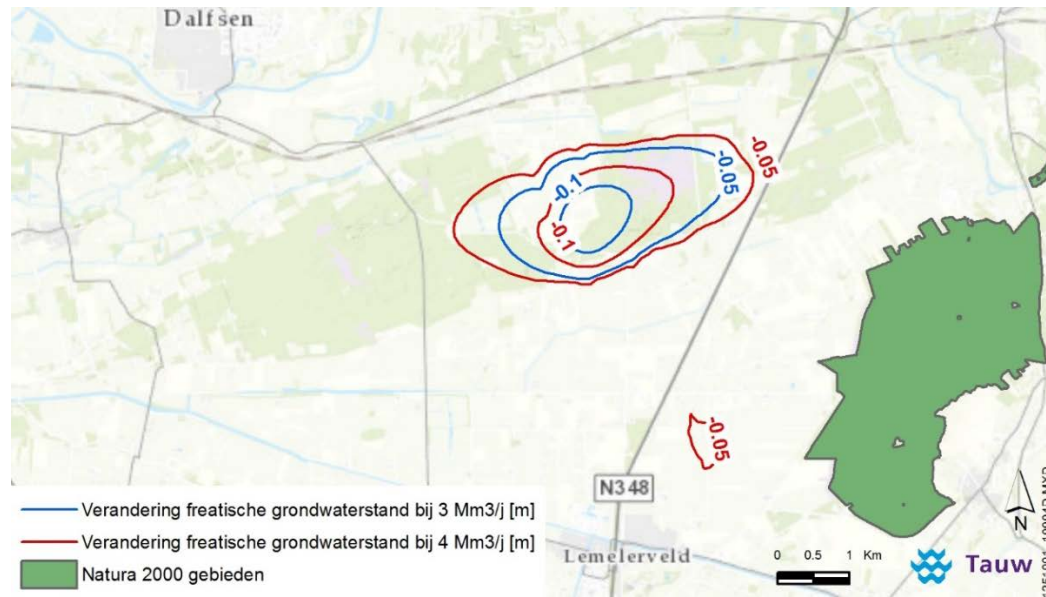
Tabel 1 – Fluxen deelgebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello

| | C1 Hoog | C1 Middel Veluwe | C1 Middel Salland | C1 Middel Noord | C1 Laag Veluwe | C1 Laag Salland | C1 Laag Buiten | Buiten Veluwe | Buiten Salland | Buiten Noord |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Oppervlaktewater | | | | | | | | | | |
| Afvoer winning uit [m ³ /d] | 433.175 | 135.797 | 334.730 | 51.441 | 53.827 | 168.154 | 69.491 | 928.189 | 629.741 | 385.789 |
| Infiltratie winning uit [m ³ /d] | 81.777 | 46.964 | 54.913 | 12.743 | 23.075 | 15.139 | 7.108 | 275.919 | 20.469 | 67.085 |
| Afvoer winning aan [m ³ /d] | 432.653 | 135.613 | 334.051 | 51.410 | 53.681 | 168.011 | 69.451 | 927.871 | 629.526 | 385.741 |
| Infiltratie winning aan [m ³ /d] | 81.839 | 46.987 | 55.003 | 12.750 | 23.100 | 15.157 | 7.112 | 275.971 | 20.505 | 67.090 |
| Netto totaal verschil [m ³ /d] | 584 | 207 | 769 | 38 | 161 | 151 | 44 | 370 | 251 | 53 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag (van wvp2 naar wvp1) | | | | | | | | | | |
| Netto winning uit [m ³ /d] | 6.725 | 6.710 | 11.070 | 1.625 | 4.270 | 2.506 | 2.475 | - 180.167 | -49.340 | -7.093 |
| Netto winning aan [m ³ /d] | 6.193 | 6.522 | 10.284 | 1.585 | 4.103 | 2.361 | 2.428 | - 180.603 | -49.610 | -7.144 |
| Verskil [m ³ /d] | -532 | -188 | -786 | -40 | -167 | -145 | -47 | 436 | 270 | 51 |

Deel 3: Dalfsen

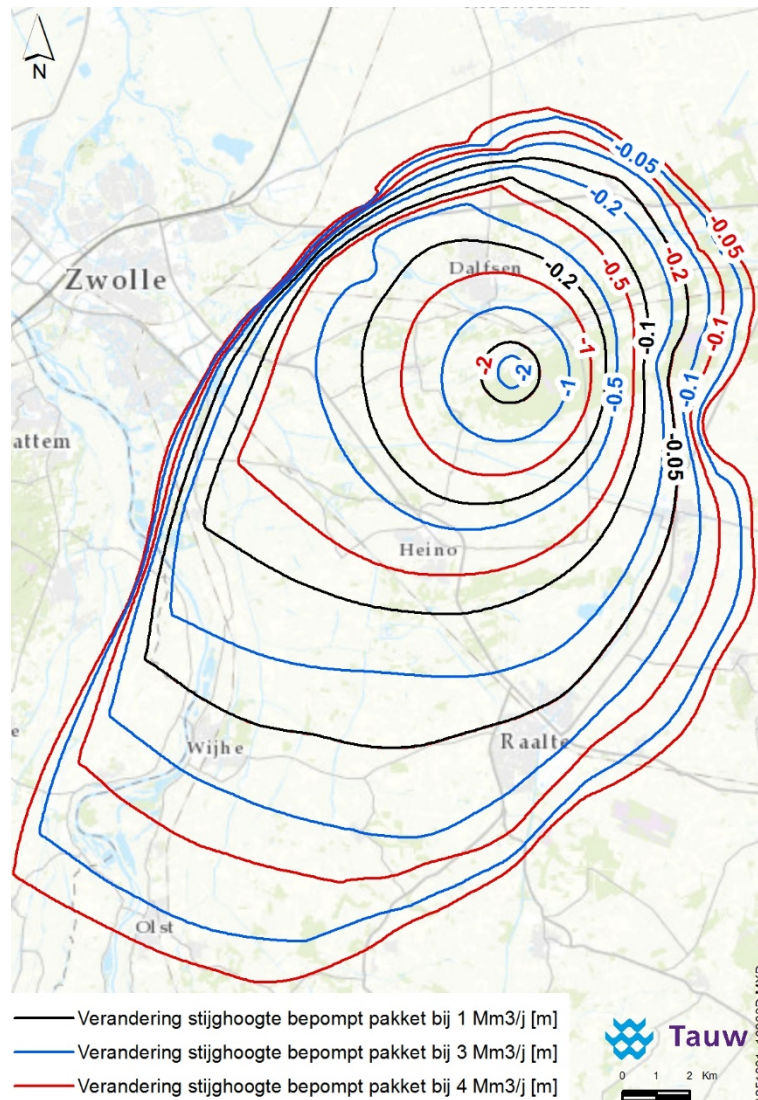
Grondwaterstandsverlagingen

Uit de modelresultaten blijkt dat bij zowel een grondwateronttrekking van 3 als 4 Mm³/j freatische grondwaterstandsverlagingen optreden die groter zijn dan 0,05 m. In figuur 5 zijn de verlagingcontouren behorend bij deze onttrekkingshoeveelheden weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de freatische grondwaterstandsverlagingen niet binnen Natura 2000-gebieden plaatsvinden.



Figuur 5 – Freatische grondwaterstandsveranderingen bij een grondwateronttrekking van 3 en 4 Mm³/j bij locatie Dalfsen

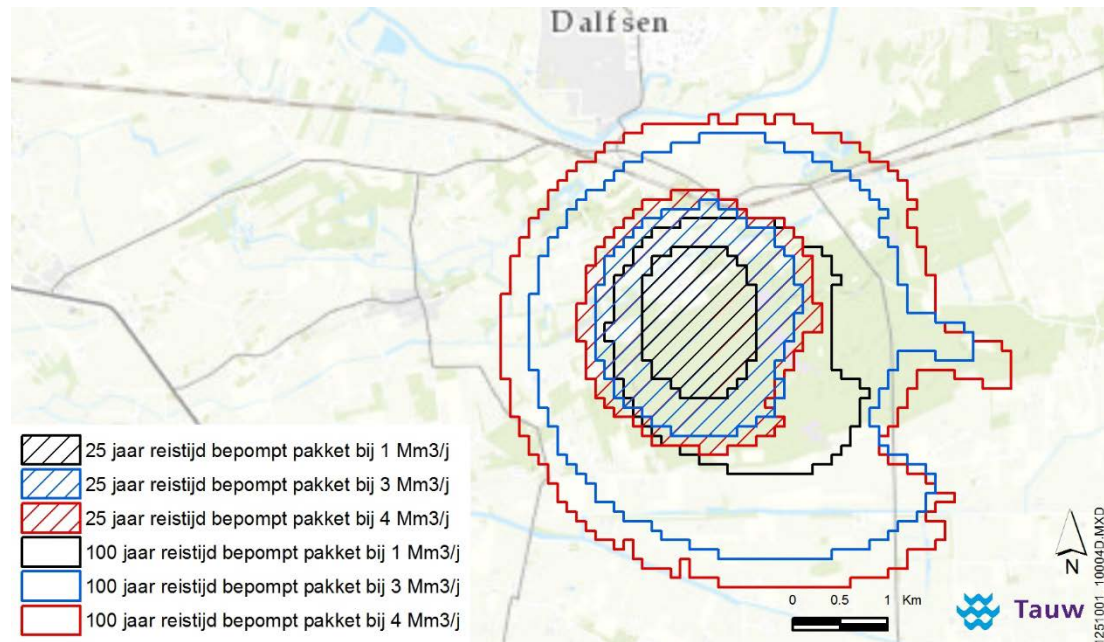
In figuur 6 zijn de berekende stijghoogteveranderingen in het bepaamt pakket weergegeven.



Figuur 6 – Stijghoogteveranderingen in bepompt pakket bij grondwateronttrekking van 1,3 en 4 Mm³/j bij locatie Dalfsen

Reistijden in freatisch pakket en bepompt pakket

Uit de modelberekeningen blijkt dat voor proeflocatie Dalfsen er geen waterdeeltjes binnen 100 jaar vanuit het freatisch pakket de drinkwaterwinning in stromen. In figuur 7 zijn de 25 jaar en 100 jaar reistijden van waterdeeltjes in het bepompt pakket weergegeven.



Figuur 7 – 25 jaar en 100 jaar reistijd in bepompt pakket locatie Dalfsen

Waterbalansen

In tabel 1 zijn de absolute fluxen en fluxveranderingen opgenomen van de deelgebieden die zijn gelegen boven het Laagpakket van Twello bij een winningshoeveelheid van 4 Mm³/j.



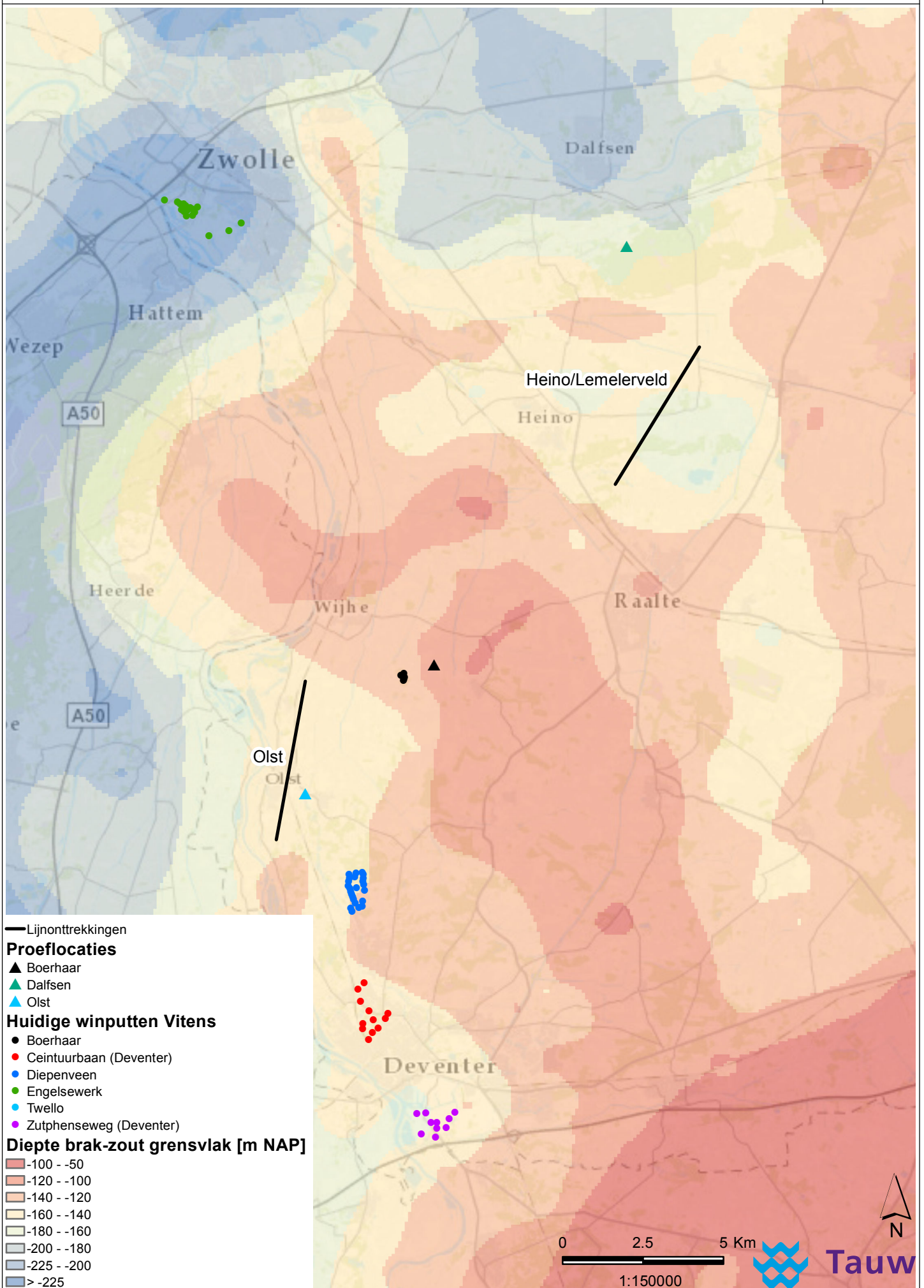
Tabel 1 – Fluxen deelgebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello

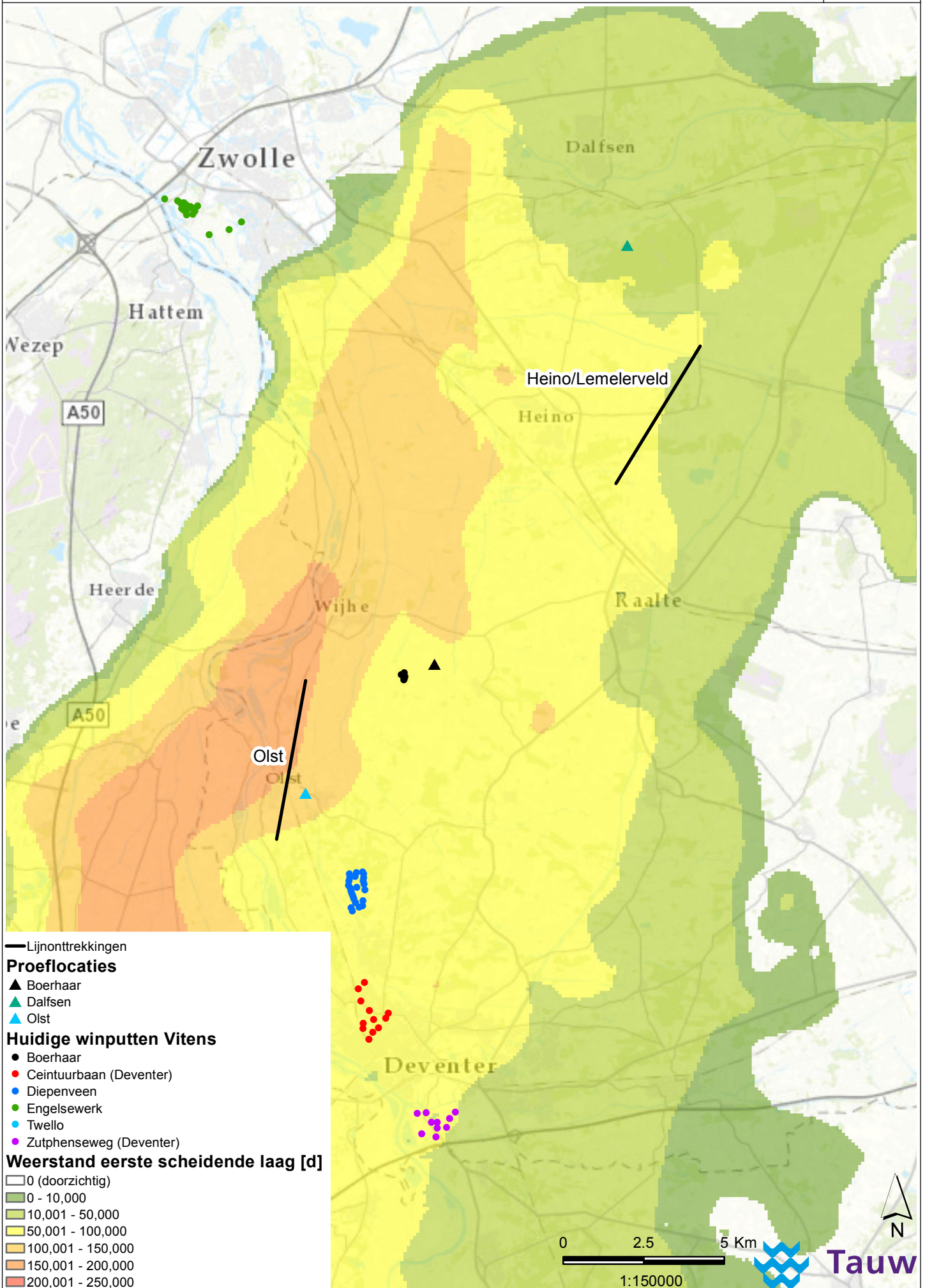
| | C1 Hoog | C1 Middel Veluwe | C1 Middel Salland | C1 Middel Noord | C1 Laag Veluwe | C1 Laag Salland | C1 Laag Buiten | Buiten Veluwe | Buiten Salland | Buiten Noord |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Oppervlaktewater | | | | | | | | | | |
| Afvoer winning uit [m ³ /d] | 407.480 | 103.301 | 227.026 | 51.439 | 41.472 | 93.619 | 69.485 | 648.926 | 484.887 | 498.208 |
| Infiltratie winning uit [m ³ /d] | 81.633 | 36.293 | 43.888 | 12.744 | 16.266 | 12.409 | 7.108 | 186.326 | 63.013 | 89.354 |
| Afvoer winning aan [m ³ /d] | 407.012 | 103.054 | 226.757 | 50.458 | 41.350 | 93.456 | 66.543 | 648.467 | 484.377 | 494.824 |
| Infiltratie winning aan [m ³ /d] | 81.700 | 36.324 | 43.939 | 12.946 | 16.310 | 12.439 | 7.396 | 186.406 | 63.094 | 89.789 |
| Netto totaal verschil [m ³ /d] | 535 | 278 | 320 | 1183 | 166 | 193 | 3.230 | 539 | 591 | 3819 |
| Minder afvoer / meer infiltratie | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag (van wvp2 naar wvp1) | | | | | | | | | | |
| Netto winning uit [m ³ /d] | 5.287 | 2.518 | 775 | 1.623 | 2.266 | 543 | 2.468 | - 125.026 | -74.679 | -1.311 |
| Netto winning aan [m ³ /d] | 4.813 | 2.206 | 461 | 387 | 2.086 | 387 | -932 | - 125.508 | -75.288 | -5.003 |
| Verschil [m ³ /d] | -474 | -312 | -314 | -1.236 | -180 | -156 | -3.400 | -482 | 609 | 3.692 |

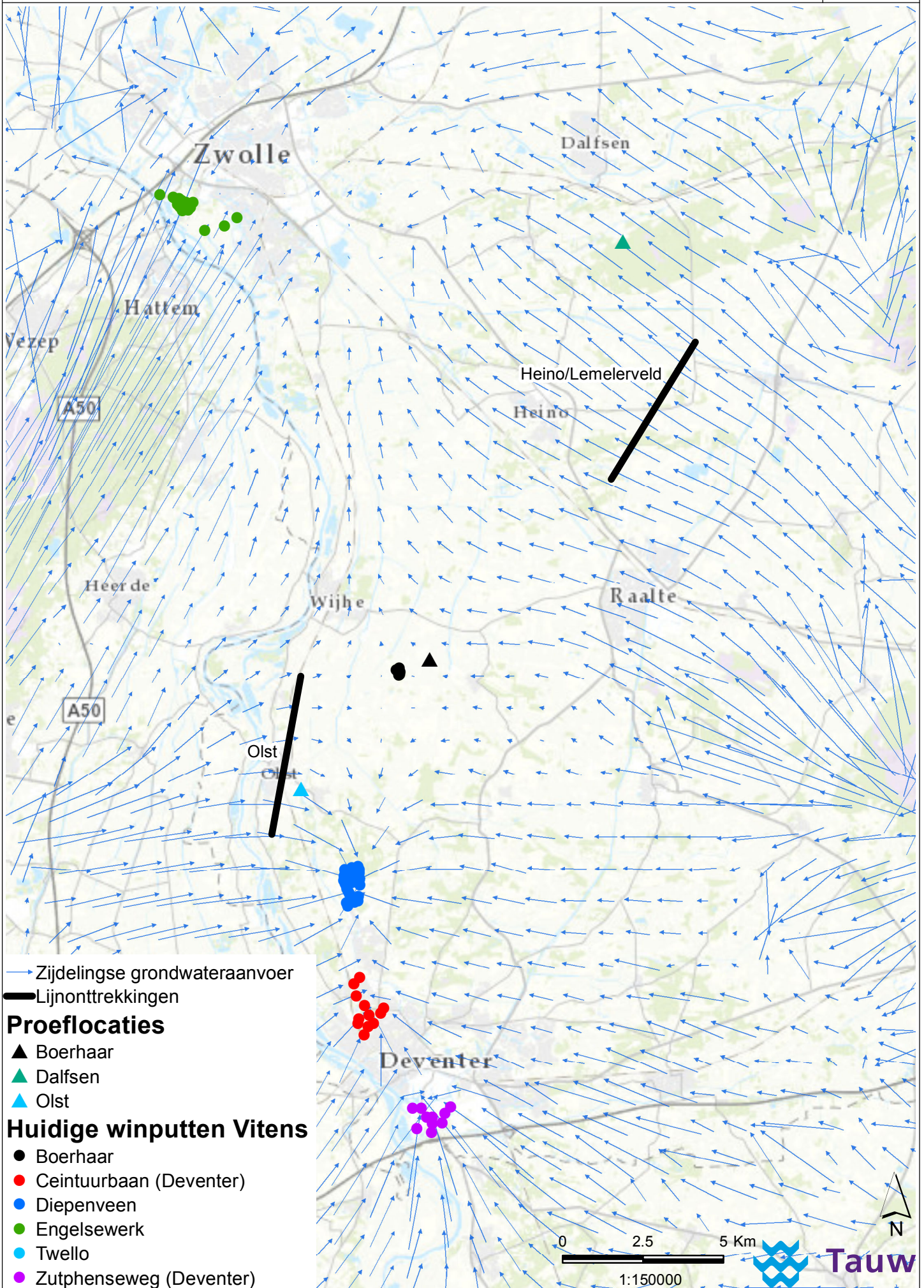


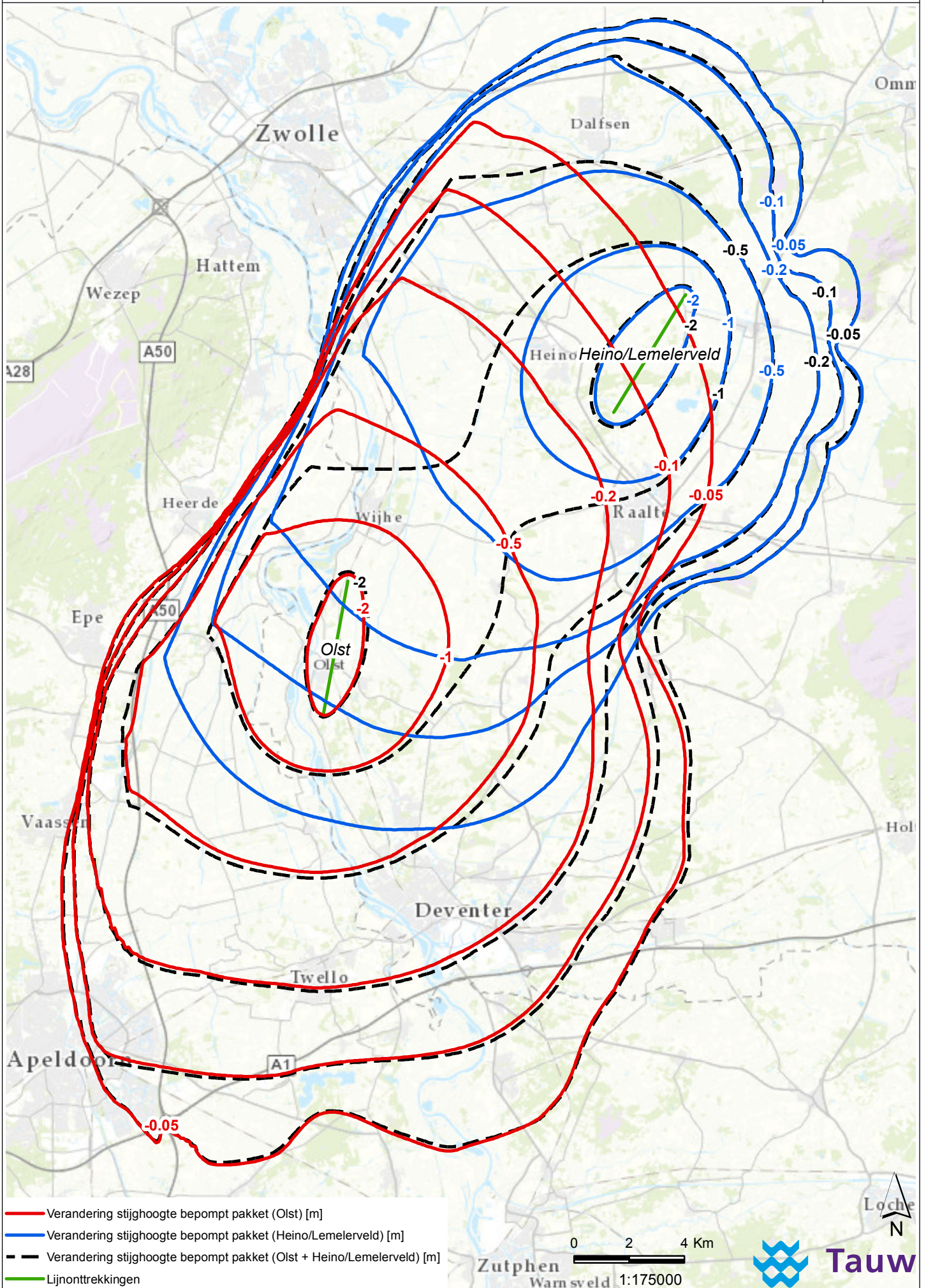
Bijlage 6

Lijnonttrekkingen: vaststelling locaties en berekeningsresultaten











Waterbalansen

In tabel 1 zijn de absolute fluxen en fluxveranderingen opgenomen van de deelgebieden die zijn gelegen boven het Laagpakket van Twello.

Tabel 1 – Fluxen deelgebieden gelegen boven het Laagpakket van Twello

| | C1 Hoog | C1 Middel Veluwe | C1 Middel Salland | C1 Middel Noord | C1 Laag Veluwe | C1 Laag Salland | C1 Laag Buiten | Buiten Veluwe | Buiten Salland | Buiten Noord |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Oppervlaktewater | | | | | | | | | | |
| <i>Afvoer winning uit [m³/d]</i> | 434.750 | 124.560 | 321.196 | 51.750 | 48.867 | 148.746 | 69.081 | 885.826 | 714.229 | 501.799 |
| <i>Infiltratie winning uit [m³/d]</i> | 84.041 | 39.262 | 53.211 | 13.031 | 24.022 | 13.091 | 7.265 | 255.652 | 66.114 | 88.823 |
| <i>Afvoer winning aan [m³/d]</i> | 432.780 | 123.832 | 318.742 | 50.569 | 48.355 | 147.701 | 65.996 | 884.738 | 711.600 | 498.348 |
| <i>Infiltratie winning aan [m³/d]</i> | 84.296 | 39.348 | 53.595 | 13.309 | 24.127 | 13.269 | 7.548 | 255.859 | 66.553 | 89.167 |
| <i>Netto totaal verschil [m³/d]</i> | 2.225 | 814 | 2.838 | 1.459 | 617 | 1.223 | 3.368 | 1.295 | 3.068 | 3.795 |
| <i>Minder afvoer / meer infiltratie</i> | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer | Vooraf minder afvoer |
| Flux door 1^e scheidende laag (van wvp2 naar wvp1) | | | | | | | | | | |
| <i>Netto winning uit [m³/d]</i> | 6.427 | 6.823 | 8.987 | 1.743 | 3.356 | 1.925 | 2.729 | - 152.986 | -85.323 | -3.454 |
| <i>Netto winning aan [m³/d]</i> | 4.371 | 5.969 | 6.130 | 242 | 2.807 | 872 | -1.001 | - 154.411 | -88.474 | -95 |
| <i>Vershil [m³/d]</i> | -2.056 | -854 | -2.857 | -1.501 | -549 | -1.053 | -3.730 | 1.425 | 3.151 | -3.359 |