

Geologische Dienst Nederland  
Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

## **TNO-rapport**

**TNO 2020 R12109**

# **Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe**

Datum	30 oktober 2020
Auteur(s)	Jelle Buma Armin Menkovic
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	26 (excl. Bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Vitens N.V.
Projectnaam	Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe
Projectnummer	060.42391

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2020 TNO

## Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van een nader onderzoek naar de ondergrond van de regio Overbetuwe. De nadruk ligt daarbij op de verbreiding en dikte van belangrijke weerstandbiedende lagen in de ondergrond tot een diepte van circa NAP - 40 m: de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Waalre (Wak1) en de keileem van het Laagpakket van Gieten van de Formatie van Drente (DRG1k1).

Op basis van handmatige interpretaties van ondergrondgegevens uit de REGIS II v2.2 selectieset, aangevuld met 35 boorbeschrijvingen / boorgatmetingen, 26 sonderingen en een vergelijking van stijghoogtemetingen in filterparen in 21 waarnemingsputten, is het inzicht vergroot (ten opzichte van REGIS II v2.2) in de verbreiding en de dikte van Wak1 en DRG1k1 in de Overbetuwe. Daarnaast is op basis van de geconstrueerde geologische profielen de consistentie in de stratigrafische interpretaties van de kleilagen verbeterd. Tot slot heeft het nader onderzoek geleid tot aanbevelingen voor aanvullend onderzoek naar verbreiding en dikte van genoemde lagen, en naar de samendrukbaarheid van Wak1.

Een belangrijke bevinding op basis van de geïnterpreteerde kleidikten is dat de gaten in de huidige REGIS II v2.2 kleiverbreidingen kleiner zijn. Naar aanleiding van deze bevinding zijn de verbreidingen van Wak1 en DRG1k1 op enkele plaatsen aangepast.

In een aantal gebieden is de onzekerheid over de dikte en/of de aanwezigheid van klei relatief groot. Aanvullend onderzoek naar de ondergrond is geformuleerd waar die gebieden vlakbij Vitens-waterwingebieden liggen, door de Provincie Gelderland worden onderzocht als mogelijke bouwstenen voor aanvullende strategische watervoorraden, of waar een specifieke problematiek aan de orde is.

Het aanbevolen aanvullende onderzoek naar kleiverbreiding en -dikte bestaat hoofdzakelijk uit sonderingen met een richtdiepte van NAP -45 m. Sonderingen zijn een betrouwbare en relatief goedkope manier om de ondergrond in beeld te brengen. Met de huidige inzichten is het in deze fase niet zinvol om de samendrukbaarheid van Wak1 te bepalen, omdat het nu nog onduidelijk is of daarmee een eventuele bijdrage van Wak1 aan ongelijkmatige maaiveldzakking te kwantificeren is. Om dit vast te stellen wordt aanbevolen om eerst de hiervoor benodigde geologische en geotechnische kennis te verzamelen.

Om de resultaten van het nader onderzoek beschikbaar te maken voor gebruikers zullen deze worden ontsloten via [grondwatertools.nl](http://grondwatertools.nl) of een ander online dataportaal. Bovendien zullen de resultaten worden teruggemeld bij het BRO-loket, zodat de nieuwe inzichten kunnen worden opgenomen als aandachtspunt bij REGIS II in de BRO.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding en vraagstelling.....	4
1.2	Projectgebied .....	4
1.3	Werkwijze .....	5
<b>2</b>	<b>Inventarisatie.....</b>	<b>6</b>
2.1	Ondergrondgegevens .....	6
2.2	Stijghoogtegegevens .....	7
2.3	Hydrochemische gegevens .....	8
<b>3</b>	<b>Interpretatie .....</b>	<b>9</b>
3.1	Geologische profielen .....	9
3.2	Kleidikten .....	13
3.3	Verbreidingen WAK1 en DRG1k1 .....	16
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Geologische profielen	
	B Stijghoogteverlopen filterparen	
	C Figuren op A3 formaat	

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en vraagstelling

Om gesteld te kunnen staan voor toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot de drinkwatervraag en drinkwatervoorraad, klimaatverandering, deltaprogramma zoet water en ruimtelijke adaptatie, wensen Vitens N.V. (hierna: Vitens), de Provincie Gelderland en Waterschap Rivierenland een beter inzicht in de ondergrond in de regio Overbetuwe. Daarom hebben zij TNO - Geologische Dienst van Nederland (hierna: TNO-GDN) opdracht gegeven voor een nader onderzoek naar de ondergrond in dit gebied. De nadruk in dit nader onderzoek ligt daarbij op de belangrijke weerstandbiedende lagen in de ondergrond tot een diepte van circa NAP - 40 m. Dit zijn de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Waalre (Wak1) en de keileem van het Laagpakket van Gieten van de Formatie van Drente (DRG1k1).

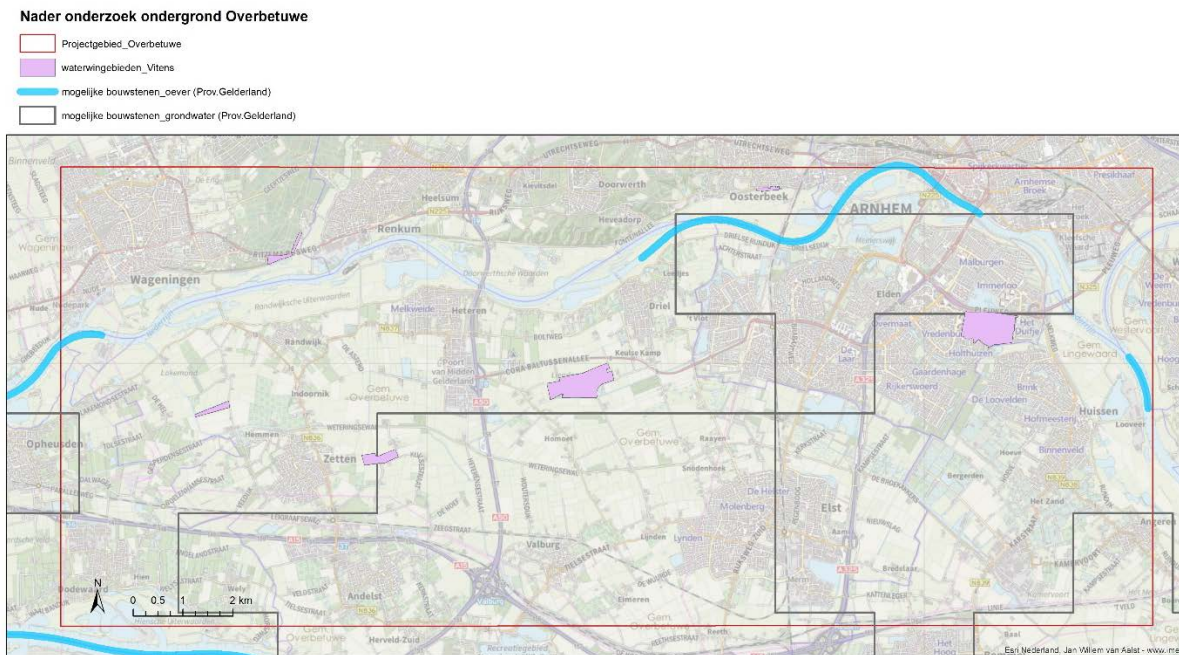
De vraagstelling luidt:

- Welke informatie voegen aanvullende boorbeschrijvingen, boorgatmetingen en sonderingen toe aan de via REGIS II v2.2 beschikbare regionale geologische informatie over de Overbetuwe ?
- Hoe kan het bestaande ondergrondmodel, zoals geïmplementeerd in het grondwatermodel MORIA, betrouwbaarder worden gemaakt en consistent met hydrologische informatie ?
- Welk aanvullend onderzoek (boringen/sonderingen) kan de nauwkeurigheid van verbreiding, continuïteit, weerstand en samendrukbaarheid (mechanische eigenschappen) van de genoemde weerstandbiedende lagen verbeteren ?

## 1.2 Projectgebied

Het projectgebied Overbetuwe is weergegeven in Figuur 1 en omvat de Vitens-drinkwaterwinningen Zetten, Hemmen (ten westen van Zetten), Fikkersdries (ten zuidwesten van Driel) en Ir. Sijmons (in Arnhem-Zuid). In Figuur 1 zijn ook de gebieden aangegeven die door de Provincie Gelderland worden onderzocht als mogelijke bouwstenen voor aanvullende strategische watervoorraden.

Het uiterste zuidoosten van het aangegeven gebied, ten zuidoosten van de N839, heeft minder aandacht gekregen omdat de afstand van dit gebiedsdeel tot de Vitens-waterwingebieden vrij groot is.



Figuur 1. Projectgebied Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe, met ligging Vitens-waterwingebieden en mogelijke bouwstenen voor strategische grondwatervoorraden Provincie Gelderland. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

### 1.3 Werkwijze

De werkwijze ter beantwoording van deze vragen bestond uit de onderstaande activiteiten:

1. Inventarisatie ondergrondgegevens
  - DINO/BRO;
  - externe gegevens;
  - hydrologische gegevens;
2. Interpretatie ondergrondgegevens;
3. Samenstelling GIS-bestanden met de resultaten van de interpretatie:
  - puntbestanden met kleidikten en betrouwbaarheid van WAK1 en DRGIk1;
  - polygoonbestanden met aangepaste verbreidingen van WAK1 en DRGIk1.

De indeling van dit rapport volgt de bovenstaande opsomming van activiteiten. Hoofdstuk 2 is gewijd aan de inventariserende activiteit 1. De interpretatie en presentatie van de GIS-bestanden komen aan de orde in hoofdstuk 3. Het rapport besluit met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 4.

De kwaliteitsbeoordeling van de beschikbare ondergrondgegevens vond in verschillende fasen plaats. Tijdens de inventarisatiefase had de kwaliteitsbeoordeling betrekking op de einddiepte en volledigheid van metagegevens. Tijdens de interpretatiefase ging het om een combinatie van toegepaste boormethode (bij boringen), het wel of niet aan- of doorboren van kleilagen, gedetailleerdheid van de boorbeschrijving en geologische plausibiliteit.

De gevolgde werkwijze bouwt voort op een intern proefproject dat in 2009 door TNO is uitgevoerd rond de winning Fikkersdries. Het doel van dit project was het vervaardigen van een lokaal, gedetailleerd model, door toevoeging en interpretatie van extra ondergrondinformatie ten opzichte van de toenmalige versie van het landelijke REGIS-model. Het lokale model werd vervolgens aan het REGIS model gekoppeld door middel van een reeks interpolatiebewerkingen in een buffer rond het Fikkersdries-gebied, het zgn. 'lasnaadgebied'. Het resultaat van dit proefproject is destijds vastgelegd in een PowerPoint-presentatie.

## 2 Inventarisatie

### 2.1 Ondergrondgegevens

De doelstelling van de inventarisatie was om een dataverzameling samen te stellen bestaande uit kwalitatief goede boorbeschrijvingen, boorgatmetingen en sonderingen met een voldoende einddiepte om DRG1k1 en WAK1 aan te boren en bij voorkeur te doorboren.

#### 2.1.1 Boorbeschrijvingen

Uit de DINO-database zijn de gegevens van alle ruim 6000 beschikbare boorlocaties in het projectgebied opgevraagd. Van circa 5600 van deze boorlocaties is een boorbeschrijving digitaal beschikbaar, van de resterende circa 400 zijn alleen metagegevens beschikbaar. Afhankelijk van deze beschikbaarheid zijn de volgende stappen gevolgd:

- Van de boorlocaties *met* digitale boorbeschrijving in DINO zijn de locaties geselecteerd met een einddiepte dieper dan NAP -4 m. Dit is enkele decimeters boven het hoogste niveau waarop WAK1 in de stratigrafisch reeds gelabelde boringen is aangetroffen in het gebied;
- Van de boorlocaties *zonder* digitale boorbeschrijving in DINO is een selectie gemaakt op basis waarvan Vitens in haar archieven is nagegaan of er boorbeschrijvingen aanwezig zijn. Dit betreft boringen met een einddiepte dieper dan NAP -4 m of met onbekende einddiepte, waarvan Vitens staat geregistreerd als eigenaar boring, opdrachtgever boring of eigenaar put. Het resultaat hiervan was de terbeschikkingstelling door Vitens van 25 nieuwe boorbeschrijvingen met een einddiepte dieper dan NAP -4 m;
- Van Waterschap Rivierenland en de gemeente Wageningen staat in het projectgebied een groot aantal boorlocaties zonder digitale boorbeschrijving en zonder einddiepte geregistreerd in DINO. Door beide partijen zijn de betreffende boorbeschrijvingen op aanvraag ter beschikking gesteld, maar geen van deze boorbeschrijvingen bleek de gewenste diepte van NAP -4 m te bereiken;
- Ook in de gemeenten Renkum en Arnhem staat een aantal boorlocaties zonder digitale boorbeschrijving en einddiepte geregistreerd. Bij het BRO-object grondwatermonitoringput op deze boorlocaties bleek wel informatie over het niveau van de onderkant van het filter geregistreerd te zijn. Daaruit is geconcludeerd dat ook deze boringen niet reiken tot een einddiepte van NAP -4 m.
- De onderstaande door Vitens verstrekte boorbeschrijvingen zijn uit de selectie verwijderd ondanks een einddiepte dieper dan NAP -4 m:
  - B39F0739, reden: deze boring staat op 100m afstand van boring B39F0261 die met een vergelijkbare boorbeschrijving is opgenomen in de selectieset REGIS II v2.2;
  - B39F0807, reden: het betreft een waarnemingsput met één filter, die vermoedelijk een aanvulling is op een al met een boorbeschrijving in DINO geregistreerde waarnemingsput met meerdere filters op dezelfde locatie (B39F0578);
  - B40A0358, reden: het betreft een waarnemingsput met één filter, die vermoedelijk een aanvulling is op een al met een boorbeschrijving in DINO geregistreerde waarnemingsput met meerdere filters op dezelfde locatie (B40A0551);
  - B40A0655, reden: het betreft een waarnemingsput met één filter, die vermoedelijk een aanvulling is op een al met een boorbeschrijving in DINO geregistreerde waarnemingsput met meerdere filters op dezelfde locatie (B40A0219);
  - B40A0662, reden: het betreft een waarnemingsput met één filter, die vermoedelijk een aanvulling is op een al met een boorbeschrijving in DINO geregistreerde waarnemingsput met meerdere filters op dezelfde locatie (B40A0400);

Het resultaat van bovenstaande activiteiten was een aanvulling op de REGIS II v2.2 selectieset van 50 boorbeschrijvingen uit DINO, en 20 nieuwe boorbeschrijvingen van Vitens.

### 2.1.2 Boorgatmetingen

In veel diepe boorgaten zijn boorgatmetingen uitgevoerd. Boorgatmetingen geven meestal een betrouwbaarder beeld van de afwisseling van zandige en kleiige lagen in de ondergrond dan de boorbeschrijving op dezelfde locatie. Dit geldt vooral bij kwalitatief minder hoogwaardige boormethoden zoals spoel- en zuigboringen. In DINO zijn 73 boorgatmetingen beschikbaar in het onderzoeksgebied ten zuiden van de Nederrijn. Een deel hiervan is gebruikt bij de constructie van REGIS II v2.2. Aanvullend is bij Vitens navraag gedaan naar de mogelijke aanwezigheid van boorgatmetingen op 53 andere boorlocaties waar dit werd vermoed, gelet op de einddiepte van de boring. Er zijn vervolgens twee boorgatmetingen (B39F2957 en B39F2960) door Deltares ter beschikking gesteld. Deze bleken echter dicht bij andere boorgatmeetlocaties met overeenkomstige gegevens te staan. Daarom is de toegevoegde waarde beperkt en zijn ze niet opgenomen in de selectie, zodat het aantal boorgatmetingen 73 is gebleven.

### 2.1.3 Sonderingen

Uit de DINO- en BRO-databases<sup>1</sup> zijn de gegevens van alle ruim 800 beschikbare sondeerlocaties in het projectgebied opgevraagd. Hiervan zijn de sonderingen geselecteerd die (1) een einddiepte van minimaal 20 meter – maaiveld hebben, en (2) minimaal 500 m verwijderd zijn van een REGIS II v2.2 - selectiesetboring, boorgatmeting of Vitens-boring. Vervolgens vond een verdere handmatige selectie plaats. Daarbij zijn vooral sonderingen gekozen in gebieden met een lage dichtheid aan boorbeschrijvingen en boorgatmetingen, of vlakbij minder betrouwbare boringen. Daar waar veel sondeerlocaties in clusters liggen, werden steeds één of twee van de diepste sonderingen gekozen. Het resultaat van deze activiteiten was een eerste selectie van 42 sondeerresultaten.

### 2.1.4 Aanpassingen n.a.v. de interpretatie

Tijdens de interpretatie is de selectie aangepast als bleek dat boringen of sonderingen niet tot WAK1 of DRG1k1 bleken te reiken. In het oosten van het onderzoeksgebied zijn extra locaties toegevoegd vanwege de complexe geologie. Uiteindelijk zijn, als aanvulling op de REGIS II v2.2 selectieset, 61 locaties met voldoende einddiepte opgenomen in de uiteindelijke selectie voor het nader onderzoek: 35 boorbeschrijvingen met of zonder boorgatmeting en 26 sonderingen. Deze locaties zijn weergegeven in Figuur 2.

Een met name te noemen voorbeeld van een aanpassing tijdens de interpretatie betreft boorlocatie B39F0836. Tijdens de constructie van de geologische profielen ontstond het vermoeden dat de coördinaten van deze boring niet correct in DINO geregistreerd waren. De boring hoort bij een waarnemingsput van Vitens. Navraag bij Vitens bevestigde dit vermoeden, waarna de locatie 6 km oostwaarts is verplaatst. Deze correctie is inmiddels doorgevoerd in DINO. Door deze correctie kwam de boring terecht te midden van andere geselecteerde boringen met overeenkomstige gegevens, en had de boorbeschrijving geen toegevoegde waarde meer. Daarom is deze boorbeschrijving verwijderd uit de uiteindelijke selectie.

## 2.2 Stijghoogtegegevens

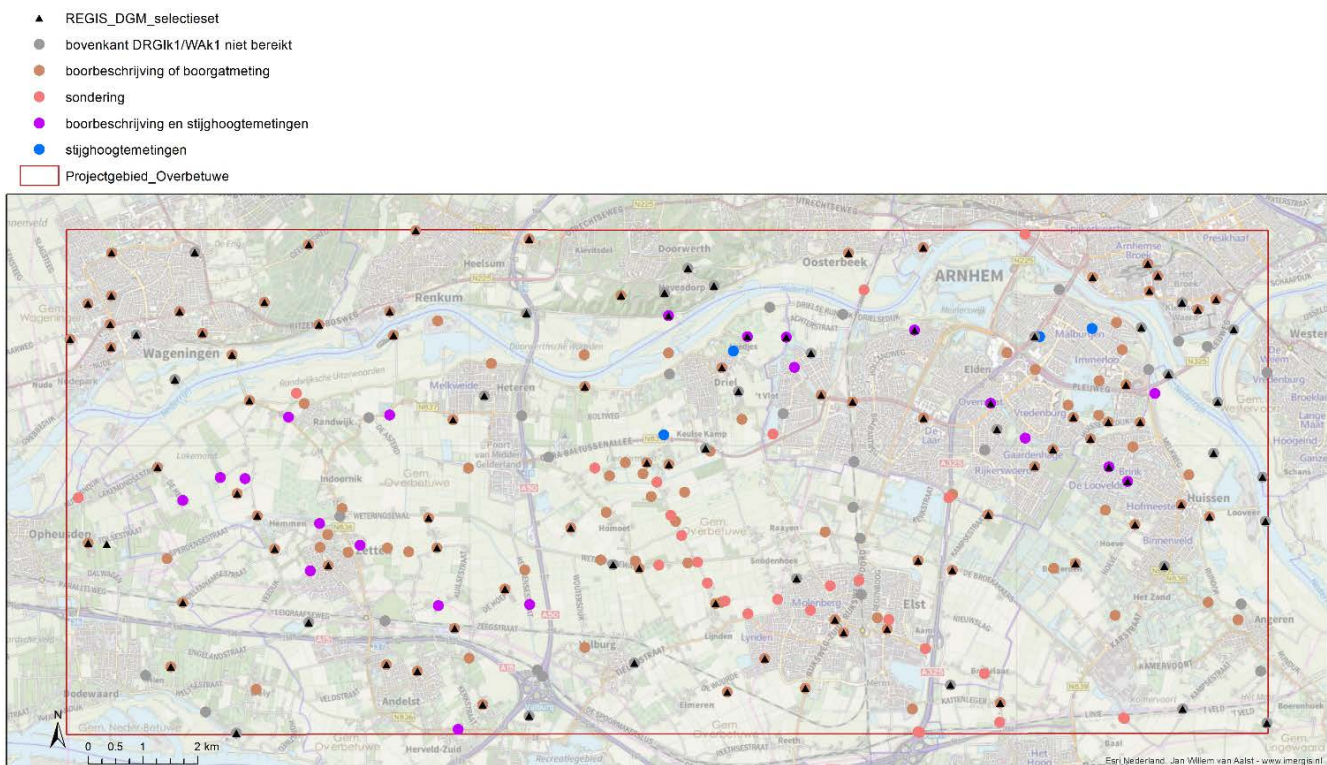
Stijghoogteverschillen tussen filters op verschillende diepten in dezelfde waarnemingsput kunnen informatie verschaffen over de aanwezigheid van hydraulische weerstand tussen beide filters. Uit de DINO-database zijn de gegevens van alle 357 waarnemingsputten met

---

<sup>1</sup> In DINO bleken meer sondeerlocaties met gegevens geregistreerd te staan dan in de BRO.

grondwaterstandsgegevens in het projectgebied opgevraagd. Daaruit zijn vervolgens de putten geselecteerd met filters zowel boven als onder het niveau van NAP -25 m.

Tijdens de interpretatiefase werd vervolgens duidelijk welke filterparen zich bevinden op locaties waar geen (betrouwbare) gegevens uit boorbeschrijvingen, boorgatmetingen of sonderingen beschikbaar zijn. Deze filterparen zijn onderworpen aan een visuele inspectie van de stijghoogteverlopen en -verschillen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de openbare functionaliteit '[Grondwaterstanden in beeld](#)' van [Grondwatertools](#). Uiteindelijk zijn 21 filterparen meegenomen in de uiteindelijke selectie (zie Figuur 2). Hiervan zijn 17 filterparen geanalyseerd in combinatie met boorbeschrijvingen op dezelfde locatie, en vier filterparen op locaties zonder andere ondergrondgegevens. De stijghoogteverlopen van deze filterparen zijn opgenomen in Bijlage B.



Figuur 2. Definitieve selectie van locaties die zijn gebruikt in het nader onderzoek ondergrond Overbetuwe. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

## 2.3 Hydrochemische gegevens

Gegevens over de samenstelling van het grondwater kunnen informatie verschaffen over de herkomst van het grondwater in een watervoerend pakket, en daarmee over stroombanen en hydraulische kortsluitingen tussen watervoerende pakketten.

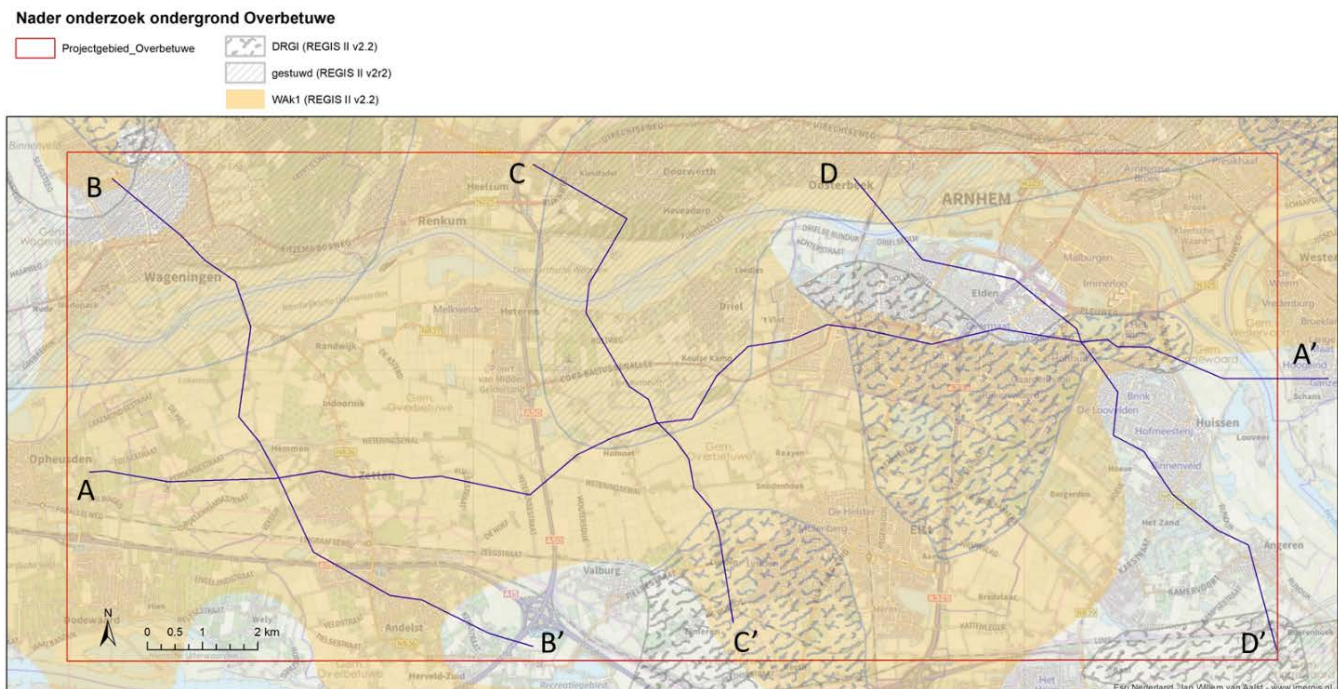
Door Vitens is een recent onderzoeksrapport beschikbaar gesteld waarin stroombanen, berekend met het grondwatermodel MORIA, zijn gecontroleerd met hydrochemische gegevens (Van der Schans e.a., 2019). Het rapport is doorgenomen om raakvlakken tussen de hydrochemische analyse en de geologische opbouw te identificeren. De bevinding die hieruit is voortgekomen, is gebruikt bij de bepaling van gebieden voor aanvullend onderzoek in paragraaf 3.4

## 3 Interpretatie

### 3.1 Geologische profielen

De eerste stap in de interpretatiefase is de constructie van vier geologische profielen. Deze profielen zijn essentieel voor een goed begrip van de geologie van het gebied, en fungeren als kapstok voor de bepaling van kleidikten van WAK1 en DRGIk1 in alle beschouwde locaties, inclusief de tussen de profielen in liggende punten.

De ligging van de profielen is niet alleen gekozen op basis van beschikbaarheid van voldoende diepe en betrouwbare ondergrondgegevens, maar ook zodanig dat ze de belangrijke geo(hydro)logische fenomenen in het onderzoeksgebied doorsnijden en via de waterwingebieden van Vitens lopen. Zodoende zijn de vier profielen geconstrueerd zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. Ligging geologische profielen met de verbreidingen van WAK1, DRGIk1 en gestuwde afzettingen in REGIS II v2.2. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

De profielen zelf zijn opgenomen in Bijlage A. De doorgetrokken lijnen in de profielen zijn de grenzen tussen de geologische formaties (Kreftenheye, Drente, Waalre, enz.). De stippellijnen zijn begrenzingen van laagpakketten en kleiige eenheden binnen de formaties (Laagpakket van Twello, DRGIk1, WAK1, WAK2, WAK3). In het onderzoeksgebied komt de Formatie van Drente alleen voor als DRGIk1. De begrenzing van DRGIk1 valt samen met de begrenzing van de Formatie van Drente, en is daarom een doorgetrokken lijn.

Onderstaand volgt een beschrijving van de belangrijke geo(hydro)logische fenomenen in elk profiel.

#### Profiel AA'

Profiel AA' is het oost-west lopende ruggengraatprofiel over alle Vitens-waterwingebieden, met in het westen een relatief ongestoorde WAK1 als weerstandbiedende laag onder het watervoerend pakket van de Formatie van Kreftenheye, in het midden WAK1 onder de begraven stuwwal van de Veluwe en in het oosten WAK1 beïnvloed door glaciale erosie waar DRG1k1 (keileem) is gevormd en glaciale bekken die opgevuld zijn met zand en klei (KRTWk1). Dit Laagpakket van Twello binnen de Formatie van Kreftenheye is in REGIS II v2.2 een kleiige eenheid, maar is in het onderzoeksgebied zandiger ontwikkeld. Ondanks lokale inschakeling van kleiige laagjes is KRTWk1 in de Overbetuwe niet als weerstandbiedende laag te beschouwen. Daarom is KRTWk1, anders dan WAK1 en DRG1k1, niet als weerstandbiedende laag onderwerp van het onderzoek geweest.

Bij twee boringen in Profiel AA' is een vraagteken geplaatst. Het betreft:

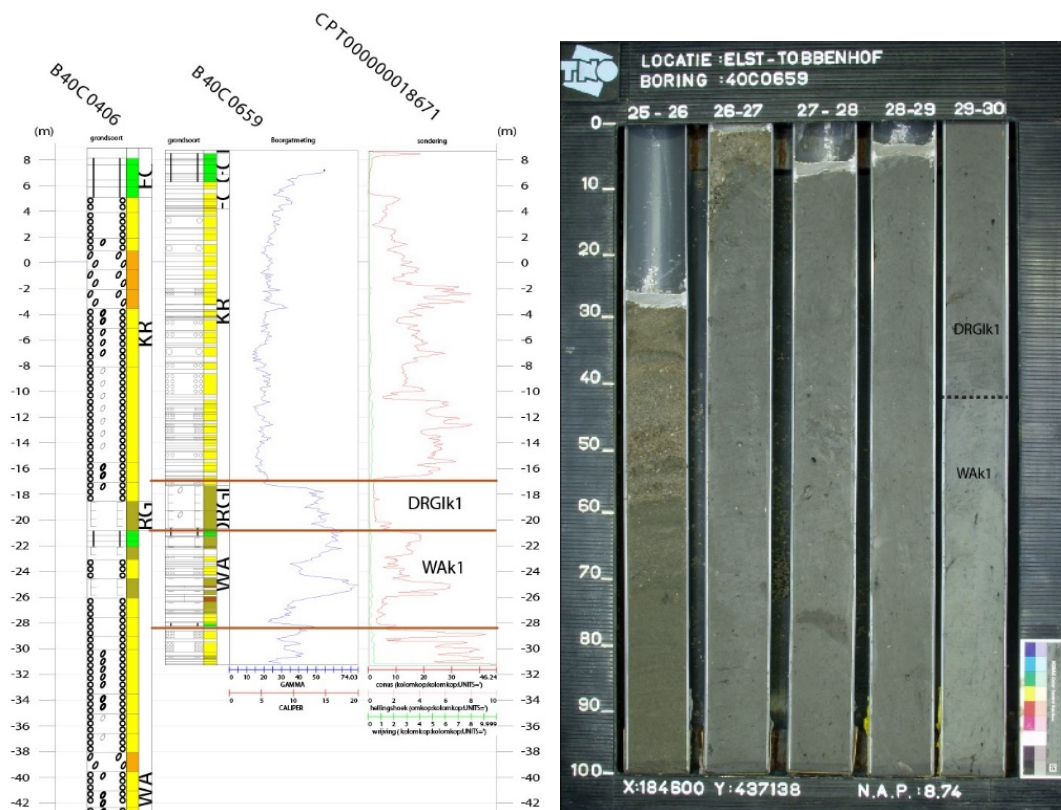
- boring B39F0008 bij Opheusden, een puls boring uit 1930 met een slechte beschrijving. Vermoed wordt dat de kleidikte van WAK1 hier niet 2,1 m is maar 7,3 m, maar de informatie ontbreekt om dit vermoeden te bevestigen. Deze boring is met een kleidikte van 7,3 m en een betrouwbaarheidslabel "kleiverbreiding betrouwbaar, kleidikte onzeker/onbekend/n.v.t." opgenomen in de uitgeleverde shape-puntbestanden;
- boring B40A0441 bij Elden, een luchtlift boring met een slechte beschrijving waarin de afwezigheid van klei niet wordt vertrouwd. Deze boring is met een kleidikte van 0,0 m en een betrouwbaarheidslabel "niet betrouwbaar" opgenomen in de uitgeleverde shape-puntbestanden.

#### Profiel BB'

Profiel BB' loopt vanuit het gestuwde gebied bij Wageningen via PS Hemmen in de Overbetuwe met relatief ongestoorde WAK1 naar het gebied rond knooppunt Valburg waar WAK1 ontbreekt in boring / boorgatmeting B40C0421. Het ontbreken van klei op deze locatie is de reden voor het gat in de WAK1-verbreiding in REGIS II v2.2.

#### Profiel CC'

Profiel CC' loopt vanuit het gestuwde Veluwemassief bij Doorwerth via PS Fikkersdries in de Overbetuwe, met WAK1 onder de begraven stuwwal, naar de DRG1k1-verbreiding in het glaciale Bekken van Valburg. De gestuwde afzettingen zijn goed herkenbaar in goede boorbeschrijvingen, boorgatmetingen en sonderingen: grof zand en grind uit verschillende Formaties, soms afgewisseld met kleilagen, die liggen boven WAK1. Vlakbij boring B40C0406 in dit profiel staat steekboring B40C0659, met aanvullend een boorgatmeting en een sondering. In deze steekkern is een overgang zichtbaar van DRG1k1 naar WAK1, met een enigszins versmeerde top (zie Figuur 4). Over het algemeen is in de Overbetuwe de aard van het contact tussen DRG1k1 en WAK1 zo dat de top van WAK1 de basis van het glaciale bereik was en daarbij versmeerd werd tot keileem. Dit is ook zo geïnterpreteerd in de profielen en tussenliggende punten. Lokaal echter kan subglaciaal smeltwater de WAK1 deels of geheel hebben opgeruimd, waardoor ofwel alleen DRG1k1 voorkomt (zoals bij Elden en Valburg), ofwel er smeltwaterzanden boven de resterende WAK1 voorkomen. In die gevallen zijn DRG1k1 en WAK1 hydrologisch niet te beschouwen als één scheidende laag.



Figuur 4. Boring B40C0406 en steekboring / boorgatmeting / sondering B40C0659 met de overgang van DRG1k1 naar WAK1 rond NAP -21 m (linker profiel) c.q. 30 m beneden maaiveld (rechter profiel)

#### Profiel DD'

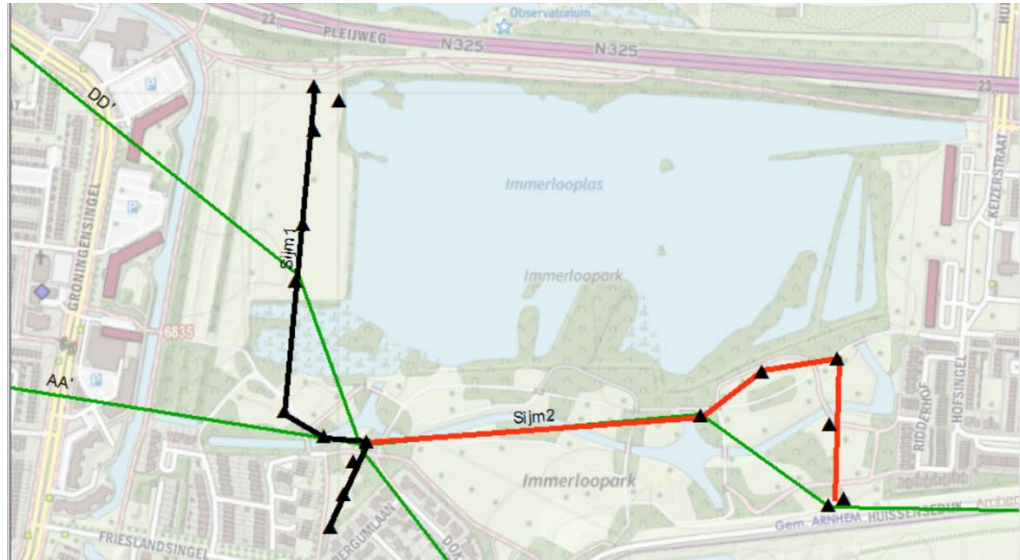
Profiel DD' loopt vanuit het gestuwde Veluwemassief bij Oosterbeek via PS Ir. Sijmons in het oostelijk deel van de Overbetuwe waar WAK1 sterk is beïnvloed door erosie van DRG1k1 en KRTWk1, naar een DRG1k1-verbreiding in het uiterste zuidoosten van het onderzoeksgebied. Het profiel loopt over de gebieden bij Elden en Huissen waar WAK1 ontbreekt in de huidige REGIS II versie. De twee vraagtekens betreffen niet-betrouwbare boringen:

- B40A0443, een luchtliftboring met een slechte beschrijving waarin de afwezigheid van klei niet wordt vertrouwd. B40A0443 is ook een stijghoogtemeetpunt met filters op NAP -10, -30 en -50 m. Tussen NAP -10 en -30 m heerst tussen 1999 en 2006 een permanent stijghoogteverschil van 10 a 20 cm met uitschieters naar meer dan 30 cm (Figuur 6). Dit stijghoogteverschil duidt op een hydraulische weerstand in het dieptebereik waar in de omgeving DRG1k1 en WAK1 worden aangetroffen. Bij de interpretatie is dit stijghoogteverschil als leidend genomen t.o.v. de boorbeschrijving, en daarom is deze locatie met de bevinding "weerstand aanwezig" en een betrouwbaarheidslabel "kleiverbreiding betrouwbaar, kleidikte onzeker/onbekend/n.v.t." opgenomen in de uitgeleverde shape-puntbestanden.
- B40B0341, een luchtliftboring met slechte beschrijving waarin de afwezigheid van klei niet wordt vertrouwd. Deze boring is met een kleidikte van 0,0 m en een betrouwbaarheidslabel "niet betrouwbaar" opgenomen in de uitgeleverde shape-puntbestanden.

Om de complexiteit van de geologie in dit deel van het onderzoeksgebied beter te begrijpen zijn twee aanvullende detailprofielen geconstrueerd over PS Ir. Sijmons, als extra aanvulling op de reeds beschreven selectie. Bij dit waterwingebied zijn veel boringen met boorgatmetingen op korte afstand aanwezig. Interpretatie van met name deze boorgatmetingen duidt duidelijk op de aanwezigheid van een continue kleilaag bestaande

uit DRG1k1 op WAK1. Omdat PS Ir. Sijmons al binnen de huidige REGIS II-verbreidingen van beide eenheden ligt, leidt deze analyse niet tot een aanpassing van deze verbreidingen. De bevindingen van de analyse kunnen wel worden beschouwd als een bevestiging van de huidige verbreidingen op deze locatie

De detailprofielen snijden elkaar in boring B40B0303, en sluiten daar ook aan op profiel DD'. De ligging van de twee detailprofielen is weergegeven in Figuur 5. De detailprofielen zelf zijn opgenomen in Bijlage A.



Figuur 5. Ligging detailprofielen en boorgatmetingen waar deze op gebaseerd zijn (driehoekjes) bij pompstation Ir. Sijmons.

## Putlocatie B40A0443



Figuur 6. Samenhang tussen stijghoogten in meetpunt B40A0443, filter 1 op NAP -10 m en filter 2 op NAP -30 m. Het stijghoogteverschil duidt op hydraulische weerstand.

## 3.2 Kleidikten

### 3.2.1 Totale kleidikte (WAK1 + DRGIk1)

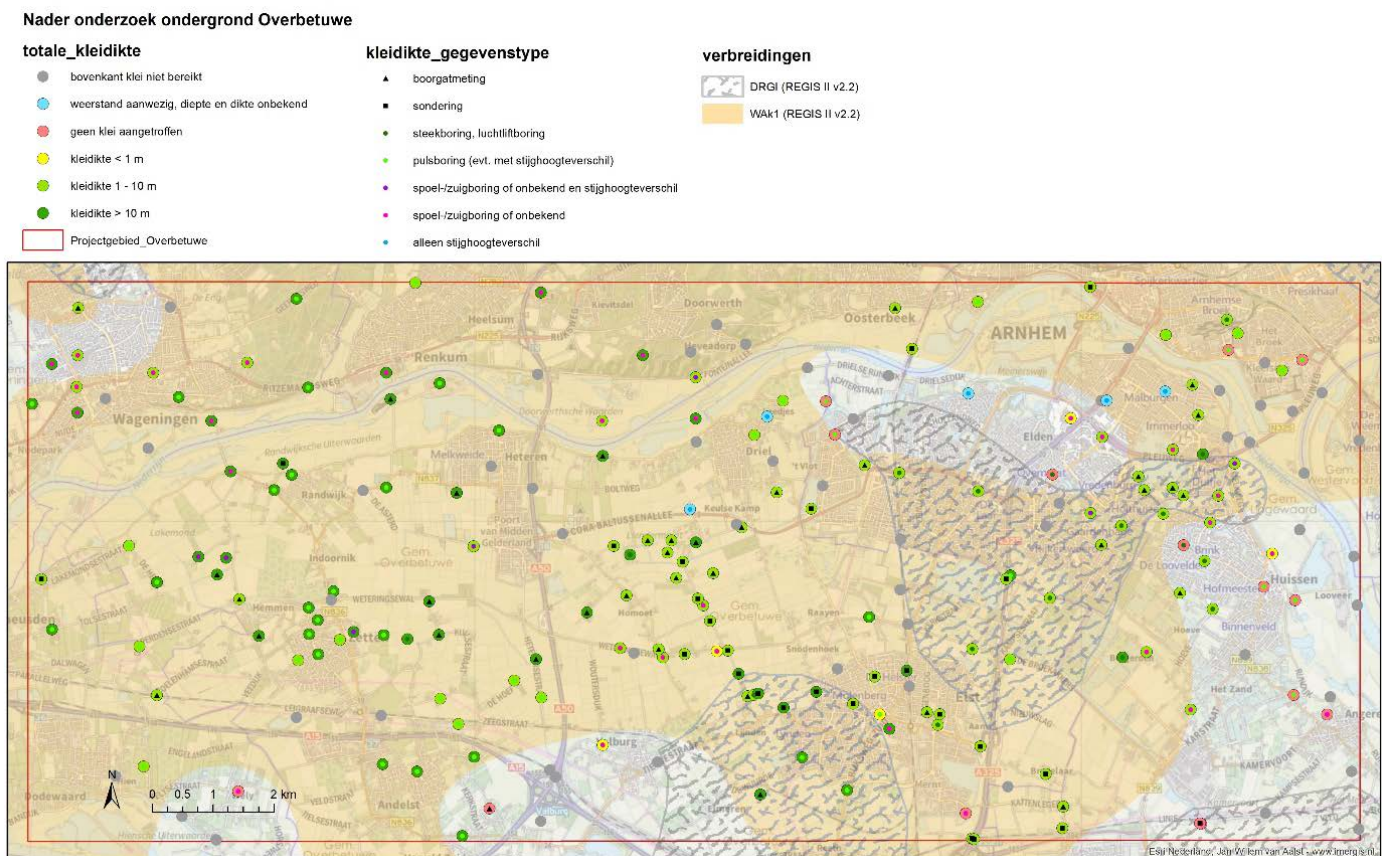
Op basis van handmatige interpretatie van alle geselecteerde boorbeschrijvingen, boorgatmetingen, sonderingen en stijghoogtemetingen is een shape-puntbestand samengesteld met de gezamenlijke kleidikte van WAK1 en DRGIk1 (Overbetuwe2020\_totale\_kleidikte.shp).

In Figuur 7 is de totale kleidikte van WAK1 en DRGIk1 weergegeven. Op meerdere plaatsen (bij Elden, Huissen en Valburg) buiten de huidige WAK1- en DRGIk1-verbredingen in REGIS II wordt toch klei geïnterpreteerd. Dit betekent dat de gaten in de huidige REGIS II v2.2 klei-verbredingen kleiner zijn.

Omgekeerd ontbreekt binnen de verbredingen alleen klei in boring B40C3513 bij knooppunt Ressen. Deze boorbeschrijving wordt als niet betrouwbaar beoordeeld, wegens de combinatie van een onbekende boormethode en haar ligging ver binnen de verbredingsgrens, te midden van locaties waar wél klei is geïnterpreteerd. Daarom is hier geen aanleiding om de huidige WAK1-verbreding in REGIS II aan te passen. Verder ontbreekt klei op twee locaties ten noorden van de Nederrijn. Deze locaties zijn niet verder onderzocht omdat ze buiten de Overbetuwe liggen.

In paragraaf 3.3. wordt verder ingegaan op een aantal gebieden in de Overbetuwe aan de randen van de huidige WAK1- en DRGIk1-verbredingen:

- op basis van welke informatie is de verbredingsgrens gedefinieerd in REGIS II v2.2 ?
- geeft de toegevoegde informatie en bijbehorende betrouwbaarheid aanleiding om de verbreding in deze gebieden aan te passen ?



Figuur 7. Totale kleidikte WAK1 en DRGIk1. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

### 3.2.2 Betrouwbaarheidsniveau

In het shape-puntbestand is een kolom aanwezig met het betrouwbaarheidsniveau dat aan de interpretatie is toegekend. Het betrouwbaarheidsniveau van de interpretatie is afhankelijk van het gegevenstype en de kwaliteit van de ondergrondgegevens op basis waarvan de kleidikte is geïnterpreteerd. De bij de toekenning gehanteerde criteria staan in Tabel 1.

Tabel 1. Criteria voor het betrouwbaarheidsniveau van de interpretatie. NB: In individuele gevallen kan hiervan zijn afgeweken.

Gegevenstype	Betrouwbaarheidsniveau
Boorgatmeting	Betrouwbaar
Sondering	Betrouwbaar
Steekboring (boorbeschrijving)	Betrouwbaar
Luchtliftboring (boorbeschrijving)	Betrouwbaar bij een goede beschrijving
Pulsboring (boorbeschrijving)	Redelijk betrouwbaar bij een goede beschrijving
Zuig- en spoelboring (boorbeschrijving)	Niet betrouwbaar
Boormethode onbekend (boorbeschrijving)	Onbekend
Stijghoogtemetingen	Kleiverbreiding betrouwbaar, kleidikte n.v.t.

De criteria zijn te beschouwen als vuistregel: de betrouwbaarheidsniveaus zijn vervolgens handmatig gecontroleerd en zonodig aangepast op basis van expert-oordeel. Van de criteria is afgeweken in de onderstaande gevallen:

- Combinatieboormethoden (bv. zuig/luchtlift, steek/puls);
- Interpretaties op basis van slecht beschreven boringen zijn voor wat betreft de kleidikte als niet betrouwbaar beoordeeld (treedt met name op bij enkele luchtliftboringen).
- Op locaties met een kleidikte van minimaal 1 meter wordt de aanwezigheid van klei (de kleiverbreiding) als betrouwbaar beschouwd, ook als de kleidikte als niet betrouwbaar wordt beoordeeld. De kans dat bij een niet betrouwbare boormethode of beschrijving klei over het hoofd wordt gezien is namelijk veel groter dan dat ten onrechte klei wordt beschreven: de kleidikte wordt bijna altijd onderschat en vrijwel nooit overschat. Het betrouwbaarheidsniveau dat aan de interpretatie op dit type locaties is toegekend is: "kleiverbreiding betrouwbaar, kleidikte niet betrouwbaar/onbekend/n.v.t."

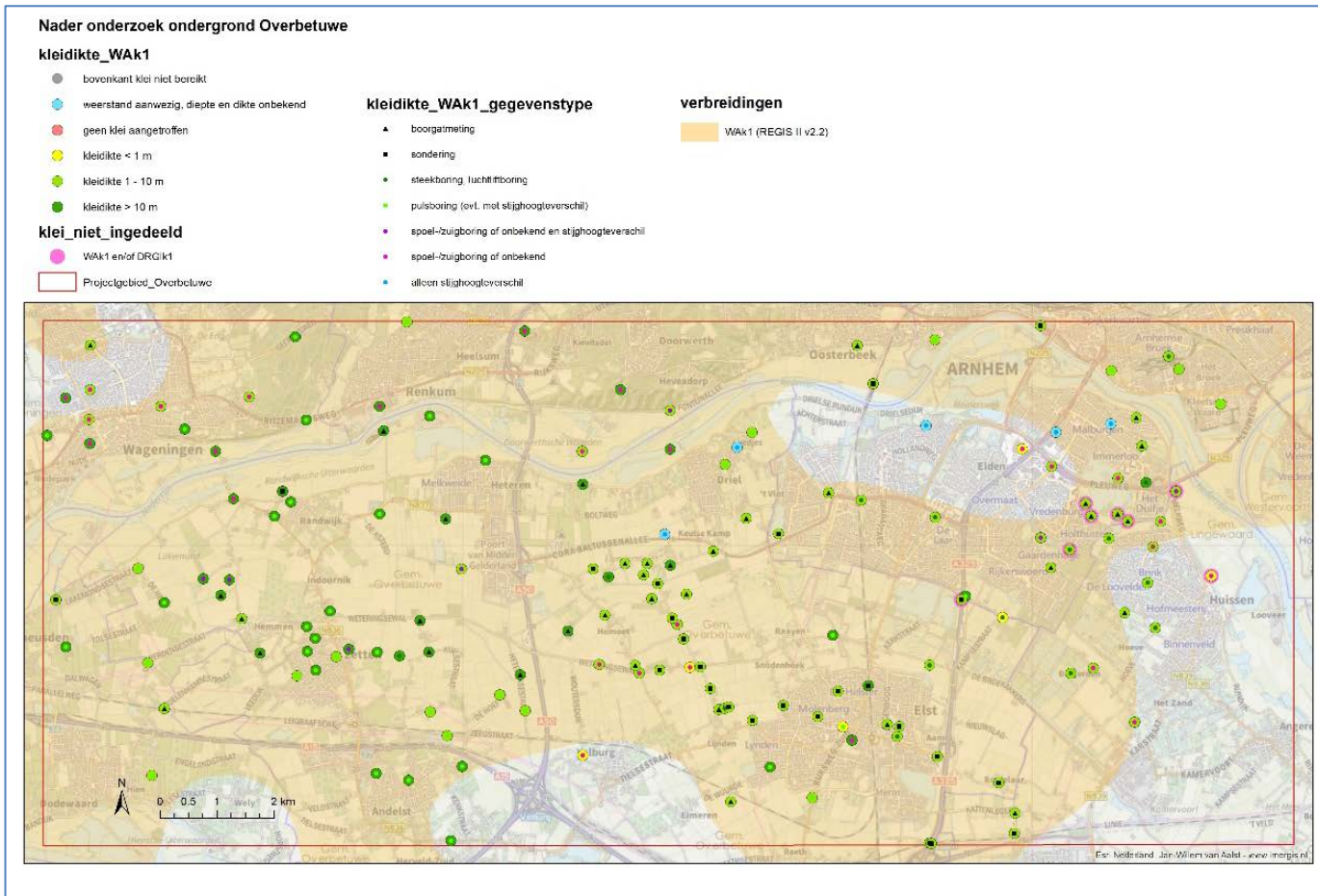
Op locaties waar meerdere gegevenstypen aanwezig zijn, wordt het betrouwbaarheidsniveau bepaald door het gegevenstype met de hoogste kwaliteit. Een boorgatmeting heeft bijvoorbeeld voorrang boven een boorbeschrijving.

### 3.2.3 Kleidikte per eenheid (WAK1 en DRG1k1)

Op basis van de handmatige interpretatie zijn vervolgens shape-puntbestanden samengesteld van de afzonderlijke kleidikten van de beide eenheden op de geïnterpreteerde locaties (Overbetuwe2020\_DRG1k1\_dikte.shp en Overbetuwe2020\_WAK1\_dikte.shp). Deze kleidikten op puntniveau zijn weergegeven in Figuur 8 (WAK1) en Figuur 9 (DRG1k1). Aandachtspunten bij deze punten-shapes zijn:

- De WAK1-puntenshape bevat vijf locaties waar een weerstandbiedende laag wordt vermoed op basis van een stijghoogteverschil. Deze locaties liggen binnen de WAK1-, maar buiten de DRG1k1-verbreiding, en zijn daarom ondergebracht in de WAK1-puntenshape. Ook bevat de WAK1-puntenshape één locatie buiten de DRG1k1-verbreiding waar klei is geïnterpreteerd maar niet stratigrafisch kon worden ingedeeld.

- De WAK1-puntenshape bevat ook acht locaties waar klei is geïnterpreteerd maar niet stratigrafisch kon worden ingedeeld. Deze locaties liggen binnen zowel de WAK1- als de DRG1k1-verbreiding, en de keuze om ze onder te brengen in de DRG1k1-shape is daarom arbitrair, maar noodzakelijk om dubbeltelling van de kleidikte te voorkomen bij gebruik van deze informatie.



Figuur 8. Kleidikte van WAK1 en huidige verbreiding in REGIS II v2.2. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

## Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

## kleidikte\_DRG1k1

- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kledikte < 1 m
- kledikte 1 - 10 m
- kledikte > 10 m

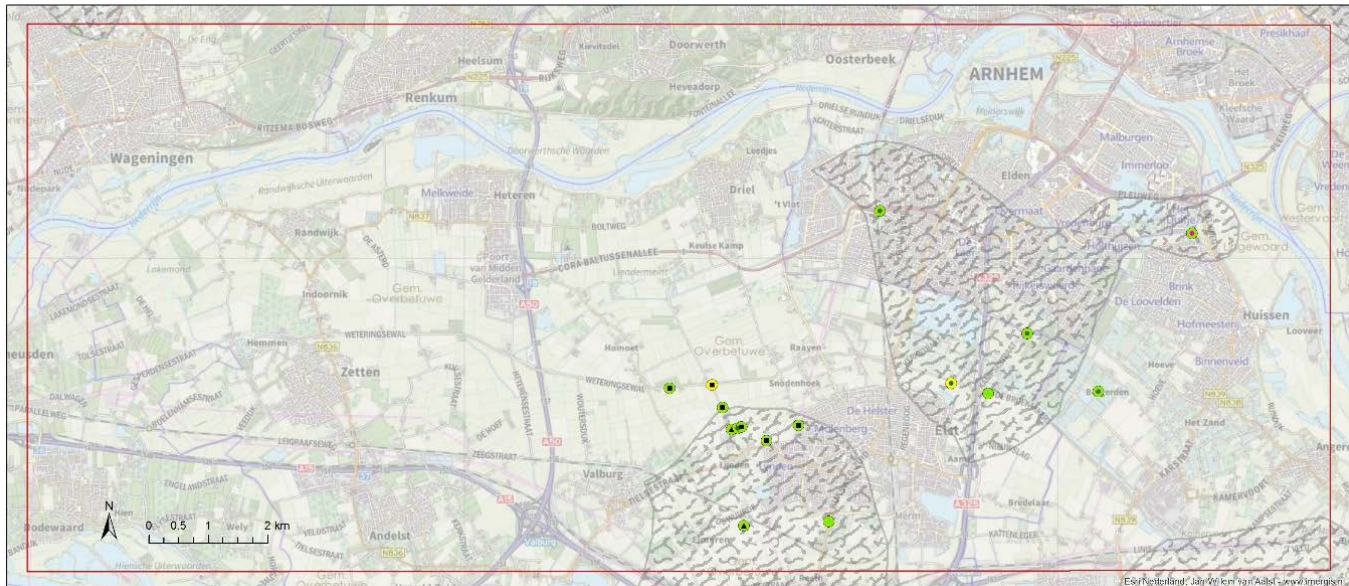
Projectgebied\_Overbetuwe

## kleidikte\_DRG1k1\_gegevenstype

- ▲ boorgalmeting
- sondering
- steekboring (luchtstiftboring)
- pulsaboring (evtl. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

## verbreidingen

DRGI (REGIS II v2.2)



Figuur 9. Kleidikte van DRG1k1 en huidige verbreiding in REGIS II v2.2. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

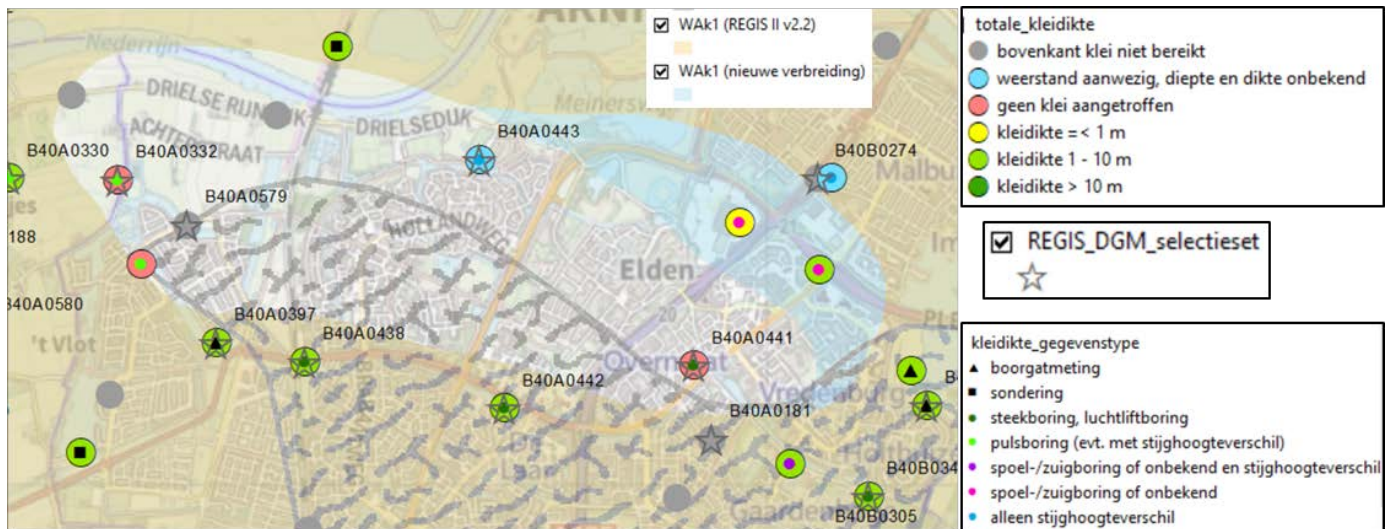
### 3.3 Verbreidingen WAK1 en DRG1k1

#### 3.3.1 Elden

Het in REGIS II v2.2 aanwezige kleigat bij Elden is gebaseerd op drie boringen waar geen klei is beschreven: B40A0332, B40A0441 en B40A0443 (Figuur 10).

De in deze studie verkregen inzichten verhouden zich als volgt tot de informatie in REGIS II v2.2:

- In het westen wordt de aanwezigheid van het kleigat vertrouwd op basis van de redelijk betrouwbare (puls)boring B40A0332, en bevestigd door het ontbreken van klei in een tweede pulsaboring die niet behoort tot de REGIS II selectieset;
- De verbreiding van WAK1 in het oosten is aangepast op basis van de aanwezigheid van WAK1-klei in twee boringen die niet behoren tot de REGIS II selectieset;
- Het gat is niet verder verkleind ondanks het geconstateerde stijghoogteverschil in de als niet betrouwbaar beoordeelde boring B40A0443. De belangrijkste reden hiervoor is dat zonder hard bewijs voor klei in een betrouwbare boring of sondering niet kan worden bepaald welke verbreiding zou moeten worden aangepast: DRG1k1 of WAK1. Verder is het nog steeds denkbaar dat er daadwerkelijk geen klei aanwezig is rond B40A0441 (beoordeeld als niet betrouwbaar), als gevolg van erosie van WAK1 door zanden van de Formaties van Drente of Kreftenheye.



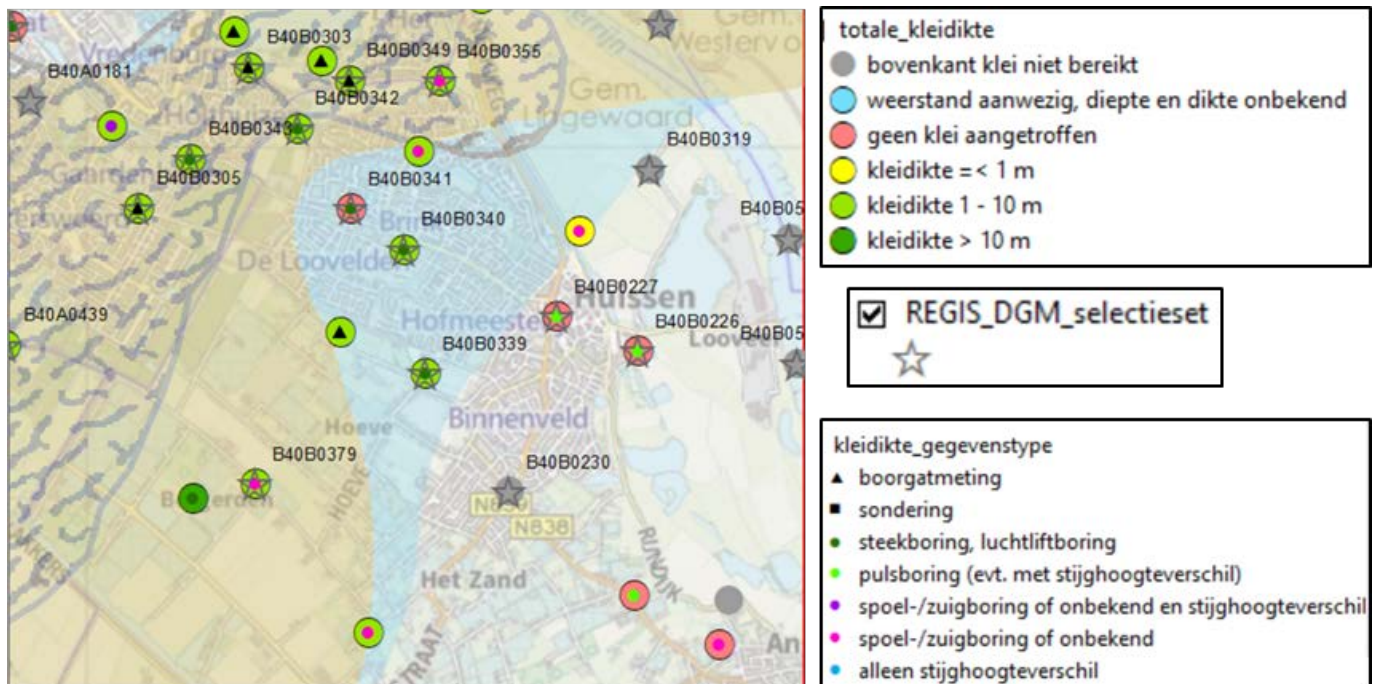
Figuur 10. Boringen REGIS II v2.2 selectieset (met ster en boringnummer), en interpretatie kleidikte volgens deze studie, kleigat bij Elden.

### 3.3.2 Huissen

De WAK1-verbreidingsgrens bij Huissen in REGIS II v2.2 is gebaseerd op drie boringen B40B0339, B40B0340 en B40B0341 (Figuur 11). In B40B0339 en B40B0340 is wel klei beschreven, maar deze is in REGIS II v2.2 stratigrafisch ingedeeld als Twello-klei (KRTWk1). In B40B0341 is geen klei beschreven.

De in deze studie verkregen inzichten verhouden zich als volgt tot de informatie in REGIS II v2.2:

- De verbreiding van WAK1 wordt oostwaarts verschoven als gevolg van een stratigrafische herindeling van de in B40B0339 en -0340 beschreven klei bij WAK1 in plaats van KRTWk1, en op basis van de aanwezigheid van WAK1-klei in drie boringen die niet behoren tot de REGIS II selectieset. Hiermee komt ook boring B40B0341 zonder klei terecht binnen de verbreiding, maar deze boring wordt niet vertrouwd vanwege een slechte beschrijving. De nieuwe verbreiding wordt begrensd door de afwezigheid van klei in de redelijk betrouwbare (puls)boring B40B0227. NB: ook de verbreiding van de hier verder niet besproken eenheid KRTWk1 verandert door deze stratigrafische herindeling.



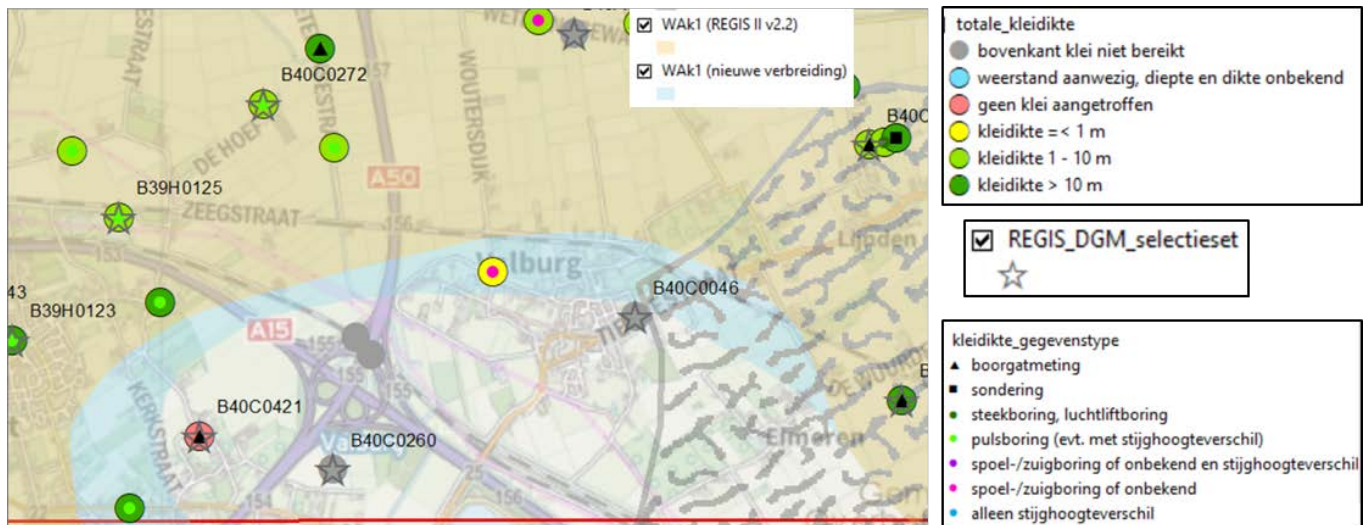
Figuur 11. Boringen REGIS II v2.2 selectieset (met ster en boringnummer), en interpretatie kleidikte volgens deze studie, Huissen.

### 3.3.3 Valburg

De WAK1-verbreidingsgrens bij Valburg in REGIS II v2.2 is binnen het Overbetuwe-onderzoeksgebied gebaseerd op één boring / boorgatmeting zonder klei buiten de verbreiding, namelijk B40C0421 (Figuur 12). Er is hier sprake van een gat in WAK1 dat zich verder zuidwaarts uitstrekt tot bij Nijmegen.

De in deze studie verkregen inzichten verhouden zich als volgt tot de informatie in REGIS II v2.2:

- De verbreiding van WAK1 wordt iets zuidwaarts verschoven op basis van de aanwezigheid van WAK1-klei in twee boringen die niet behoren tot de REGIS II selectieset. De verschuiving is beperkt doordat de betrouwbare boring / boorgatmeting B40C0421 bepalend blijft voor de verbreidingsgrens in het westen. Zonder nieuwe informatie uit boringen of sonderingen, eventueel van buiten het onderzoeksgebied, wordt de verbreidingsgrens ten oosten van knooppunt Valburg niet verder aangepast.



Figuur 12. Boringen REGIS II v2.2 selectieset (met ster en boringnummer), en interpretatie kleidikte volgens deze studie, Valburg.

### 3.3.4 Wely (Dodewaard)

De WAK1-verbreidingsgrens bij Wely in REGIS II v2.2 is binnen het Overbetuwe-onderzoeksgebied gebaseerd op één boring buiten de verbreiding, namelijk B39H0069 (Figuur 13). Er is hier sprake van een uitloper van een veel groter gebied zonder WAK1 dat zich verder zuidwaarts en westwaarts uitstrekt.

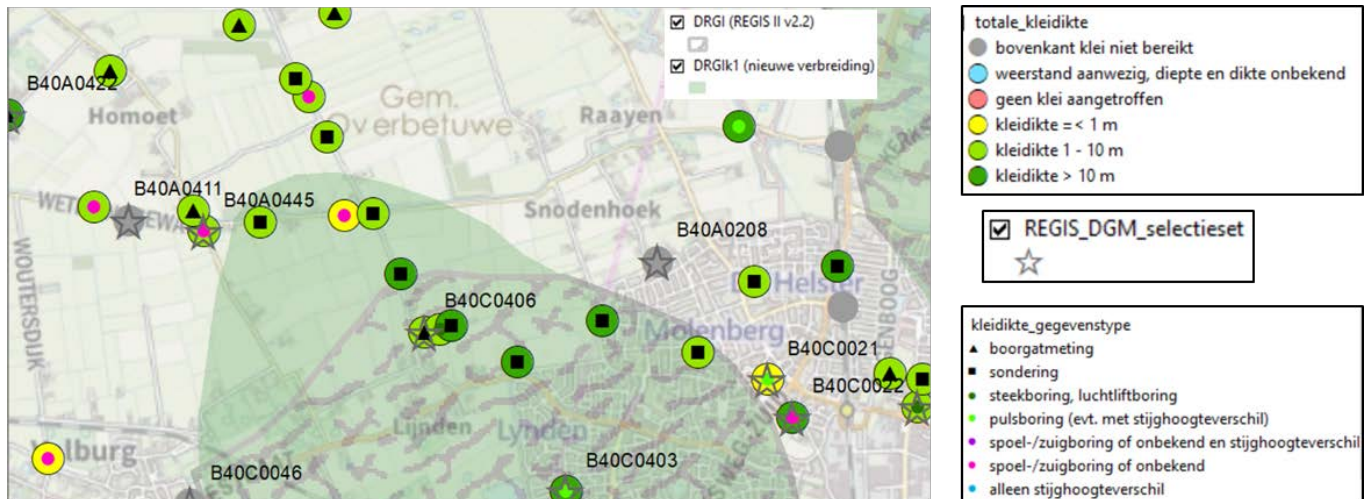
De in deze studie verkregen inzichten leiden niet tot een aanpassing van de WAK1-verbreidingsgrenzen, ondanks dat boring B39H0069 niet vertrouwd wordt. Er zijn namelijk geen aanvullende ondergrondgegevens gevonden waaruit de aanwezigheid van klei blijkt. Zonder nieuwe informatie uit boringen of sonderingen, eventueel van buiten het onderzoeksgebied, wordt de verbreidingsgrens hier niet aangepast.



Figuur 13. Boringen REGIS II v2.2 selectieset (met ster en boringnummer), en interpretatie kleidikte volgens deze studie, Wely (Dodewaard).

### 3.3.5 Elst-Weteringsewal

De DRG1k1-verbreidingsgrens ten westen van Elst kon ten opzichte van REGIS II v2.2 nauwkeuriger worden bepaald, voornamelijk op basis van een aantal betrouwbare boorgatmetingen en sonderingen die niet behoren tot de REGIS II selectieset (Figuur 14).



Figuur 14. Boringen REGIS II v2.2 selectieset (met ster en boringnummer), en interpretatie kleidikte volgens deze studie, Elst-Weteringsewal.

### 3.3.6 Nieuwe verbreidingen

Op basis van de hierboven beschreven aanpassingen zijn nieuwe verbreidingen van DRG1k1 en WAK1 gekarteerd, en ondergebracht in de shape-polygoonbestanden Overbetuwe2020\_DRG1k1\_verbreiding.shp en Overbetuwe2020\_WAK1\_verbreiding.shp.

## 3.4 Aanvullend onderzoek

### 3.4.1 Gebieden voor aanvullend onderzoek

In een aantal gebieden is de onzekerheid over de dikte en/of de aanwezigheid van klei (WAK1 of DRG1k1) relatief groot. Dit betreft met name

- gebieden waar geen klei is aangetroffen in één of meer boringen en waar de interpretatie als niet betrouwbaar is beoordeeld;
- gebieden waar geen ondergrondgegevens beschikbaar zijn.

Gebieden waar aanvullend onderzoek naar de ondergrond wordt aanbevolen, zijn aangewezen op basis van de onderstaande criteria:

- Relatief grote onzekerheid over dikte en/of aanwezigheid van klei, zoals hiervoor beschreven;
- Ligging vlakbij Vitens-waterwingebieden;
- Ligging binnen gebieden die door de Provincie Gelderland worden onderzocht als mogelijke bouwstenen voor aanvullende strategische watervoorraden (bouwstenen grondwater en bouwstenen oevergrondwaterwinning);
- Gebieden met een specifieke problematiek. Dit geldt met name voor gebied 4, waar een aantal gevallen van gebouwschade is gemeld. Het aanvullend onderzoek in dit gebied wordt apart besproken in paragraaf 3.4.3.

De gebieden voor aanvullend onderzoek zijn weergegeven in Figuur 15. De grenzen van deze gebieden zijn globaal getekend en mogen niet worden beschouwd als harde scheidslijnen. Voor gebied 3 wordt de volgende bijzonderheid vermeld:

- Aan de rand van gebied 3 is in twee waarnemingsputten antropogeen beïnvloed grondwater op diepte gevonden (Van der Schans et al., 2019). Op deze locaties zelf (B40A0533 en -0539) is overigens door ons wel klei geïnterpreteerd. Het antropogeen beïnvloede water kan duiden op verschillende oorzaken: een gat in WAK1 of kortsluitstroming tussen filters van niet goed afgedichte waarnemings- of beregeningsputten. Aanvullend onderzoek naar WAK1 geeft niet noodzakelijkerwijs uitsluitsel over de daadwerkelijke oorzaak;

#### Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

##### totale\_kleidikte

- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kleidikte  $\leq 1$  m
- kleidikte 1 - 10 m
- kleidikte  $> 10$  m
- Projectgebied\_Overbetuwe

##### kleidikte\_gegevenstype

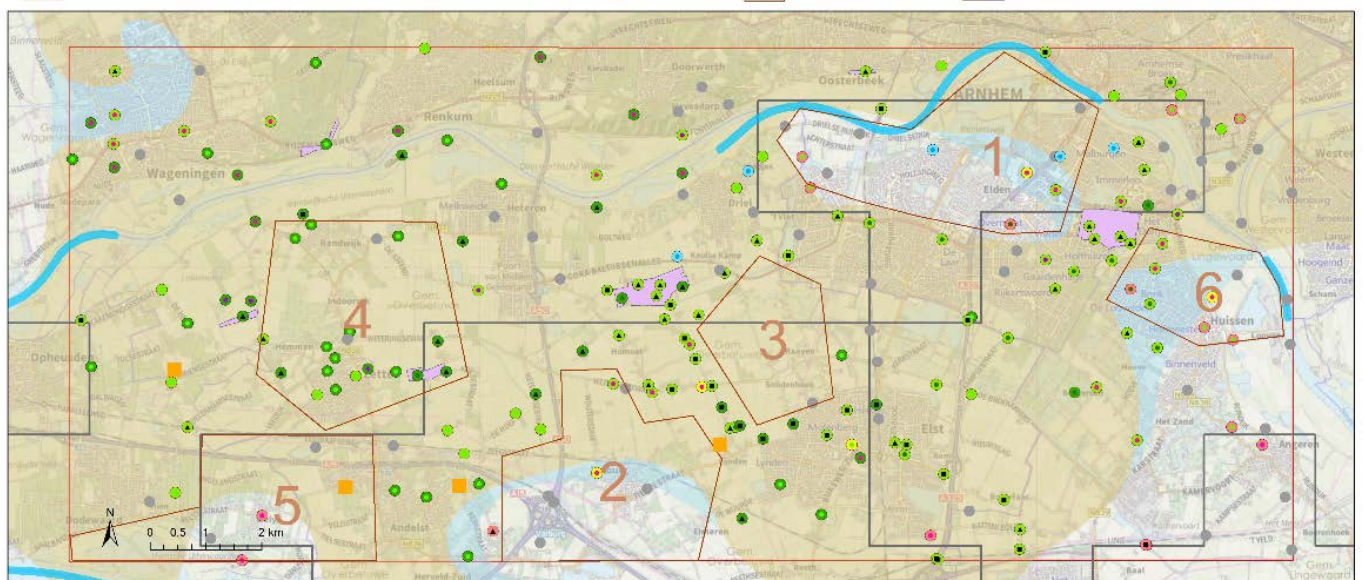
- boorgatmeting
- sondering
- steekboring, luchtliftboring
- pulsaboring (evt. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

##### verbredingen

- WAK1 (REGIS II v2.2)
- WAK1 (nieuwe verbreding)
- Aanvullend onderzoek
- KWR (2018)
- TNO-GDN (2020)

##### waterwingebieden\_Vitens

- waterwingebieden\_Vitens
- mogelijke bouwstenen\_oever (Prov.Gelderland)
- mogelijke bouwstenen\_oever (Prov.Gelderland)
- mogelijke bouwstenen\_grondwater (Prov.Gelderland)
- mogelijke bouwstenen\_grondwater (Prov.Gelderland)



Figuur 15. Gebieden waarvoor aanvullend onderzoek wordt aanbevolen. NB: de verbreding van DRG1k1 is weggelaten omwille van de leesbaarheid. Deze figuur is ook op A3-formaat te raadplegen in Bijlage C.

#### 3.4.2 Aanvullend onderzoek naar kleiverbreding en -dikte

Het aanbevolen aanvullend onderzoek is per gebied weergegeven in Tabel 2 en bestaat grotendeels uit sonderingen. Sonderingen zijn een betrouwbare en relatief goedkope manier om de ondergrond in beeld te brengen. De gangbare standaard voor sondeersnelheid is 20 mm/s  $\pm$  5 mm/s, wat een verticale resolutie oplevert van ca. 20 mm als er elke seconde gelogd wordt (sondeernorm NEN-EN-ISO-22476-1). Dit is voldoende om kleilagen te herkennen en in veel gevallen ook om stratigrafisch onderscheid te kunnen maken. Om de sondeerresultaten eventueel te kunnen gebruiken voor het afleiden van geotechnische eigenschappen van WAK1, wordt aanbevolen om de sonderingen uit te voeren binnen kwaliteitsklasse 1 of 2 volgens de voornoemde norm, en om waterspanningsmetingen uit te voeren bij de sonderingen. Een goed geboorde (volgens BRL SIKB 2100) boring levert goede kwaliteit geroerde monsters per meter, en steekmonsters die meestal per meter

gestoken worden. De geroerde en gestoken monsters kunnen goed beschreven worden; in het geval van steekmonsters kan dit veel uitgebreider en met een veel hogere resolutie dan bij geroerde monsters mogelijk is. In steekmonsters kan de opbouw van de ondergrond in millimeter tot decimeter resolutie beschreven worden waardoor ook informatie over gelaagdheid en afzettingssmilieu goed bepaald kan worden.

Tabel 2. Aanbevolen aanvullend onderzoek ondergrond Overbetuwe.

Gebied	Aanvullend onderzoek
1	6 sonderingen
2	5 sonderingen
3	4 sonderingen en een steekboring
4	4 sonderingen (alleen noordelijk deel) (vaststellen zettingsgevoeligheid WAK1: zie toelichting par. 3.4.3)
5	4 sonderingen
6	2 sonderingen

Verder gelden de onderstaande uitgangs- en aandachtspunten:

- Het aantal sonderingen is niet het resultaat van een berekening, maar visueel afgestemd op de dichtheid van betrouwbare ondergrondgegevens in de rest van het onderzoeksgebied;
- Voor de sonderingen moet rekening worden gehouden met een richtdiepte van NAP -45 m. Dit is 3 meter onder het laagste niveau waarop de onderkant van WAK1 is geïnterpreteerd in het onderzoeksgebied. In het onderzoeksgebied betekent dit een sondeerdiepte van 50 tot 55 meter onder maaiveld. Sonderen tot dergelijke diepten is mogelijk mits er geen harde klei of stenen in het sondeertraject zitten. In de praktijk komt dit regelmatig voor, er moet dan ook rekening worden gehouden met het mislukken van enkele sonderingen bij de eerste poging.
- De steekboring in gebied 3 dient om de sondeerresultaten beter te kunnen interpreteren. Vanwege de hoge kosten wordt de steekboring uitgevoerd pas na het sonderen, op een locatie waar klei is aangetroffen in de sondering, om de kans op misboren uit te sluiten;
- Daarnaast zijn twee steekboringen tot circa 35 m in Elst beschikbaar, die bij TNO-GDN in de wacht staan om te worden beschreven, stratigrafisch geïnterpreteerd, bemonsterd en geanalyseerd op lithologische, geochemische en hydrologische eigenschappen. De termijn waarop deze twee boringen zullen worden beschreven is nu nog niet aan te geven, maar is in ieder geval na voorjaar 2021;
- Het aanbevolen onderzoek richt zich alleen op het vergroten van de kennis over de aanwezigheid en dikte van DRG1k1 en WAK1 in het onderzoeksgebied. Het is niet bedoeld om met het aanvullende onderzoek de in deze gebieden spelende vraagstukken volledig te beantwoorden.

Door Van Dooren e.a. (2018) zijn eerder aanbevelingen gedaan voor uitbreiding van het stijghoogtemeetnet in de Overbetuwe, waarbij ook vier locaties specifiek zijn aangewezen om de zuidelijke verbreidingsgrens van WAK1 beter te karteren. Deze vier locaties zijn met oranje vierkantjes weergegeven in Figuur 15. De twee oostelijke locaties hiervan liggen tussen of nabij locaties waar in deze studie WAK1 is geïnterpreteerd op basis van (redelijk) betrouwbare ondergrondgegevens, en kunnen vervallen als locaties om de verbreidingsgrens beter te karteren. De locatie ten westen van Andelst ligt in gebied 5 en heeft daarom wel meerwaarde voor de kartering van WAK1. De meest westelijke locatie tenslotte, ligt ver van de verbreidingsgrens en is omringd door (redelijk) betrouwbare locaties waar in deze studie WAK1 is geïnterpreteerd. Deze locatie kan vervallen als locatie om de verbreidingsgrens van WAK1 beter te karteren. Gelet op de lage betrouwbaarheid van de kleidikte in naburige boring B39F0008 heeft deze locatie wel meerwaarde om de kleidikte beter vast te stellen, als daar een specifieke behoefte aan bestaat. Dit laatste geldt

ook voor de locaties waar door Van Dooren e.a. (2018) nieuwe waarnemingsfilters worden voorgesteld.

Tijdens de laatste fase van dit onderzoek bleken enkele boorstaten nabij het Gelredome uit de archieven van de provincie Gelderland de in boring B40A0691 geïnterpreteerde aanwezigheid van WAK1 te kunnen bevestigen. De boringen zijn uitgevoerd ten behoeve van de aanleg van WKO-bronnen. Waarschijnlijk zijn er veel meer van dergelijke boorstaten in de provinciale archieven aanwezig, die in hun gezamenlijkheid van grote waarde kunnen zijn voor de verbetering van REGIS II. Het loont dan ook naar onze mening de moeite om deze te inventariseren en te registreren in de BRO. Het voorbeeld van de Gelredome-boringen is hiervan een goede illustratie.

### 3.4.3 *Aanvullend onderzoek in verband met zettingsgevoeligheid*

In het hele rivierengebied spelen maaiveldzakking en gebouwschadeproblematiek. Maaiveldzakking kan worden gerelateerd aan de opbouw van de ondergrond, vegetatie en factoren die van invloed zijn op de belasting van de ondergrond of de vochthuishouding (bodemvocht, grondwaterstanden en alles wat daarop van invloed is). Eén van de gebieden waar gebouwschades bekend zijn is gebied 4. Het aanvullend onderzoek in gebied 4 heeft, naast het betrouwbaarder vaststellen van de dikte van WAK1, een bijkomend onderzoeksdoel, namelijk het vaststellen van de zettingsgevoeligheid van WAK1 en de kans dat eventuele zetting van WAK1 doorwerkt naar ongelijke zettingen aan maaiveld op de schaal van individuele gebouwen.

De grenzen van gebied 4 zijn globaal getekend op basis van (1) informatie van de Provincie Gelderland (pers. comm. R. de Groot, 5 oktober 2020: noordelijk deel bij Randwijk), en (2) de zettingskaart op pagina 13 van de rapportage van de zettingsanalyse rond Zetten en Hemmen (Fugro, 2019). Behalve in gebied 4 zijn ook gevallen van gebouwschade gemeld nabij PS Fikkersdries. Deze locaties zijn niet expliciet in Figuur 15 weergegeven.

Om te bepalen of het uitvoeren van steekboringen en bijbehorende geomechanische laboratoriumanalyses voldoende zekerheid kan bieden om een eventuele bijdrage van WAK1 aan ongelijke maaiveldzakking te kwantificeren, wordt aanbevolen voorafgaand hieraan middels een expertsessie de benodigde geologische en geotechnische kennis bijeen te brengen. In deze sessie te adresseren aspecten zijn: (1) de homogeniteit, diktevariëaties, ouderdom en begravingsdiepte van WAK1 in relatie tot zettingsgevoeligheid als gevolg van stijghoogteveranderingen, (2) de rol die grootschalige zeespiegel- en grondwaterfluctuaties en glaciëties tijdens het Pleistoceen hebben gespeeld in verhouding tot de huidige stijghoogteveranderingen door drinkwateronttrekking onder WAK1, (3) de mate waarin zetting van WAK1 doorwerkt naar maaiveld, (4) de kans dat dit verschijnsel een bijdrage levert aan ongelijke zettingen op gebouwschaal, (5) de verhouding tussen de bijdrage van eventuele zetting van WAK1 en andere mogelijke oorzaken van (ongelijke) maaiveldzakking, en (6) in hoeverre het in het licht van bovenstaande zinvol is om onderzoek uit te voeren ter bepaling van de samendrukbaarheid van WAK1, en zo ja, op welke locaties.

Met de huidige inzichten is het in deze fase niet zinvol om de samendrukbaarheid van WAK1 te bepalen, omdat het nu nog onduidelijk is of daarmee een eventuele bijdrage van WAK1 aan ongelijkmatige maaiveldzakking te kwantificeren is.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van handmatige interpretaties van ondergrondgegevens uit de REGIS II v2.2 selectieset, aangevuld met 35 boorbeschrijvingen / boorgatmetingen, 26 sonderingen en een vergelijking van stijghoogtemetingen in filterparen in 21 waarnemingsputten, is het inzicht vergroot (ten opzichte van REGIS II v2.2) in de verbreiding en de dikte van de scheidende lagen WAK1 en DRG1k1 in de Overbetuwe. Daarnaast is op basis van de geconstrueerde geologische profielen de consistentie in de stratigrafische interpretaties van de kleilagen verbeterd.

Een belangrijke bevinding op basis van de geïnterpreteerde kleidikten is dat de gaten in de huidige REGIS II v2.2 kleiverbreidingen kleiner zijn. Naar aanleiding van deze bevinding zijn de verbreidingen van WAK1 en DRG1k1 op enkele plaatsen aangepast.

In een aantal gebieden is de onzekerheid over de dikte en/of de aanwezigheid van klei relatief groot. Aanvullend onderzoek naar de ondergrond is geformuleerd waar die gebieden vlakbij Vitens-waterwingebieden liggen, door de Provincie Gelderland worden onderzocht als mogelijke bouwstenen voor aanvullende strategische watervoorraden, of waar een specifieke problematiek aan de orde is.

Het aanbevolen aanvullende onderzoek bestaat hoofdzakelijk uit sonderingen met een richtdiepte van NAP -45 m. Sonderingen zijn een betrouwbare en relatief goedkope manier om de ondergrond in beeld te brengen. Met de huidige inzichten is het in deze fase niet zinvol om de samendrukbaarheid van WAK1 te bepalen, omdat het nu nog onduidelijk is of daarmee een eventuele bijdrage van WAK1 aan ongelijkmatige maaiveldzakking te kwantificeren is. Om dit vast te stellen wordt aanbevolen om eerst de hiervoor benodigde geologische en geotechnische kennis te verzamelen.

Om de resultaten van het nader onderzoek beschikbaar te maken voor gebruikers zullen deze worden ontsloten via [grondwatertools.nl](https://grondwatertools.nl) of een ander online dataportaal. Bovendien zullen de resultaten worden teruggemeld bij het BRO-loket, zodat de nieuwe inzichten kunnen worden opgenomen als aandachtspunt bij REGIS II in de BRO.

## 5 Literatuur

Dooren, T.C.G.W. van, S. Stofberg, A. van Doorn, B. Hillebrand, W. Engel, J. Jansen, B. van der Wal & M.L. van der Schans (2018) Hydrologische analyse Overbetuwe en aanpassing grondwatermodel MORIA. KWR-rapport 2018.082 (versie 3), september 2018.

Fugro (2019) Zettingsanalyse Hemmen / Zetten (drinkwaterwinning). Definitieve rapportage, documentnr. 9018-1166-00, versie 1.0, 28 maart 2019.

Schans, M.L. van der, P.J. Stuyfzand, W. Engel & L. Avis (2019) Controle grondwatermodel MORIA met hydrochemische gegevens. KWR-rapport 2019.030, maart 2019.

## 6 Ondertekening

Naam en paraaf tweede lezer



Dr. ir. W.J. Zaadnoordijk

Ondertekening



Drs. J.T. Buma  
Auteur

Autorisatie vrijgave



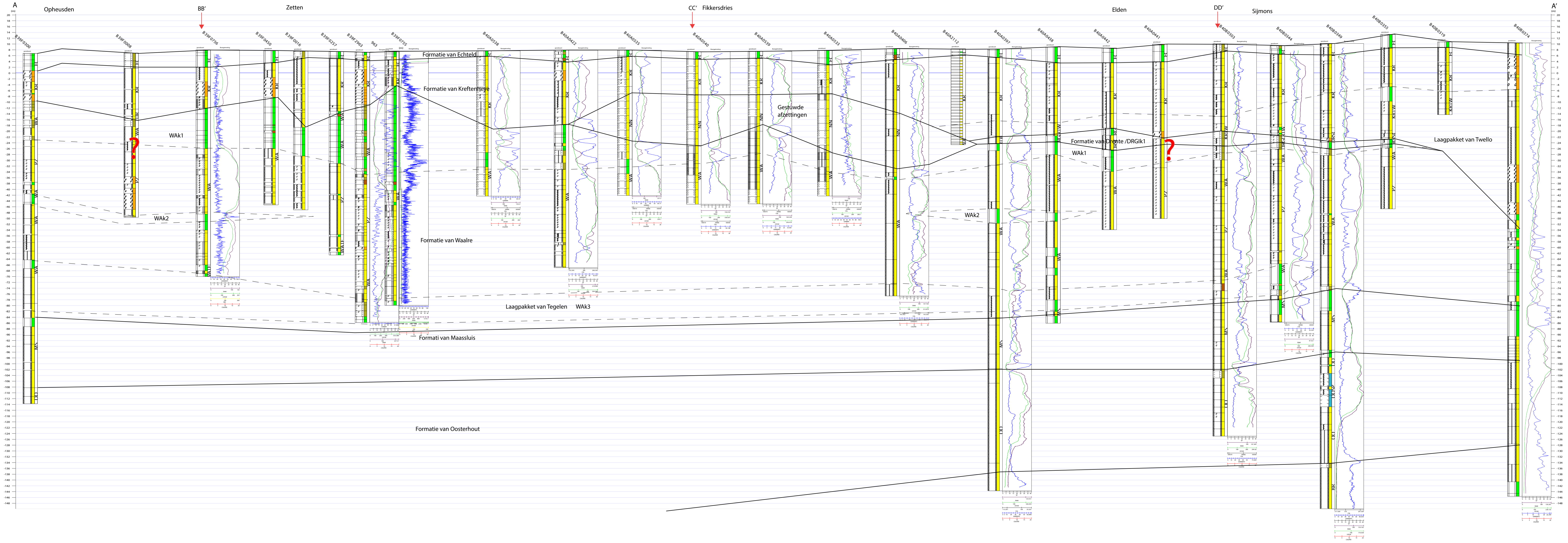
Drs. D. Maljers  
Research Manager



A. Menkovic  
Auteur

## A Geologische profielen

Verwezen wordt naar de meegeleverde PDF-bestanden

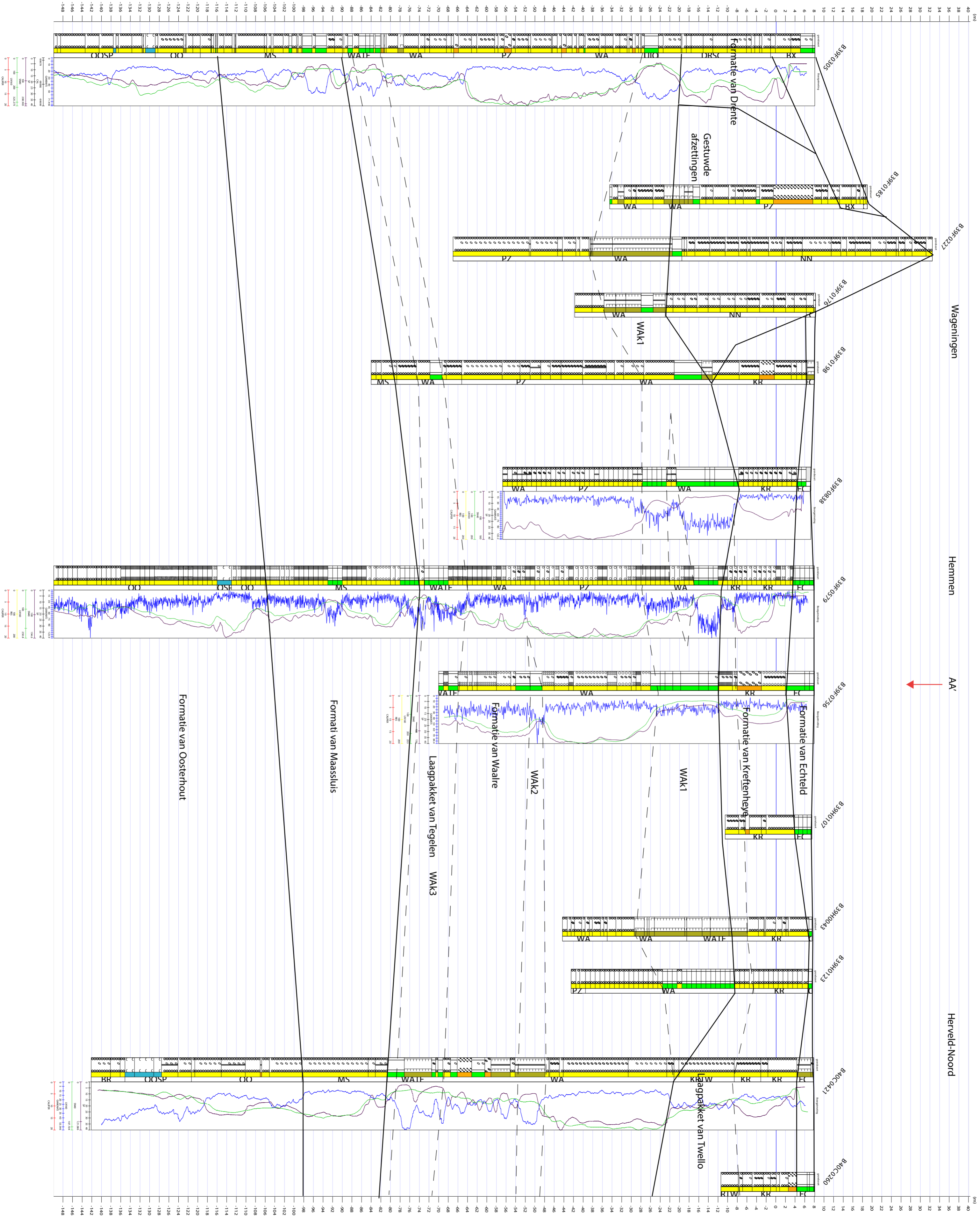


Wageningen

Hemmen

AA'

Herveld-Noord

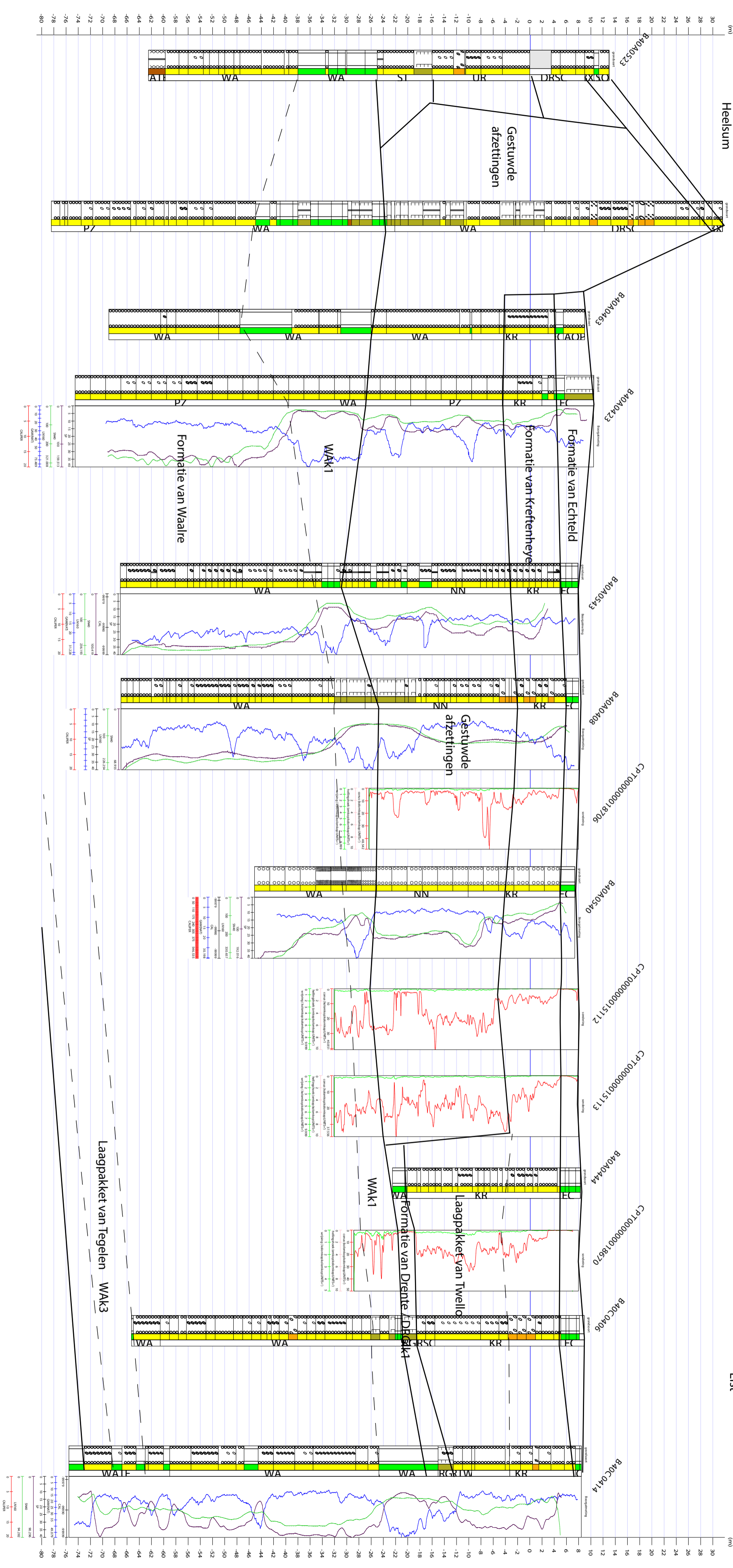


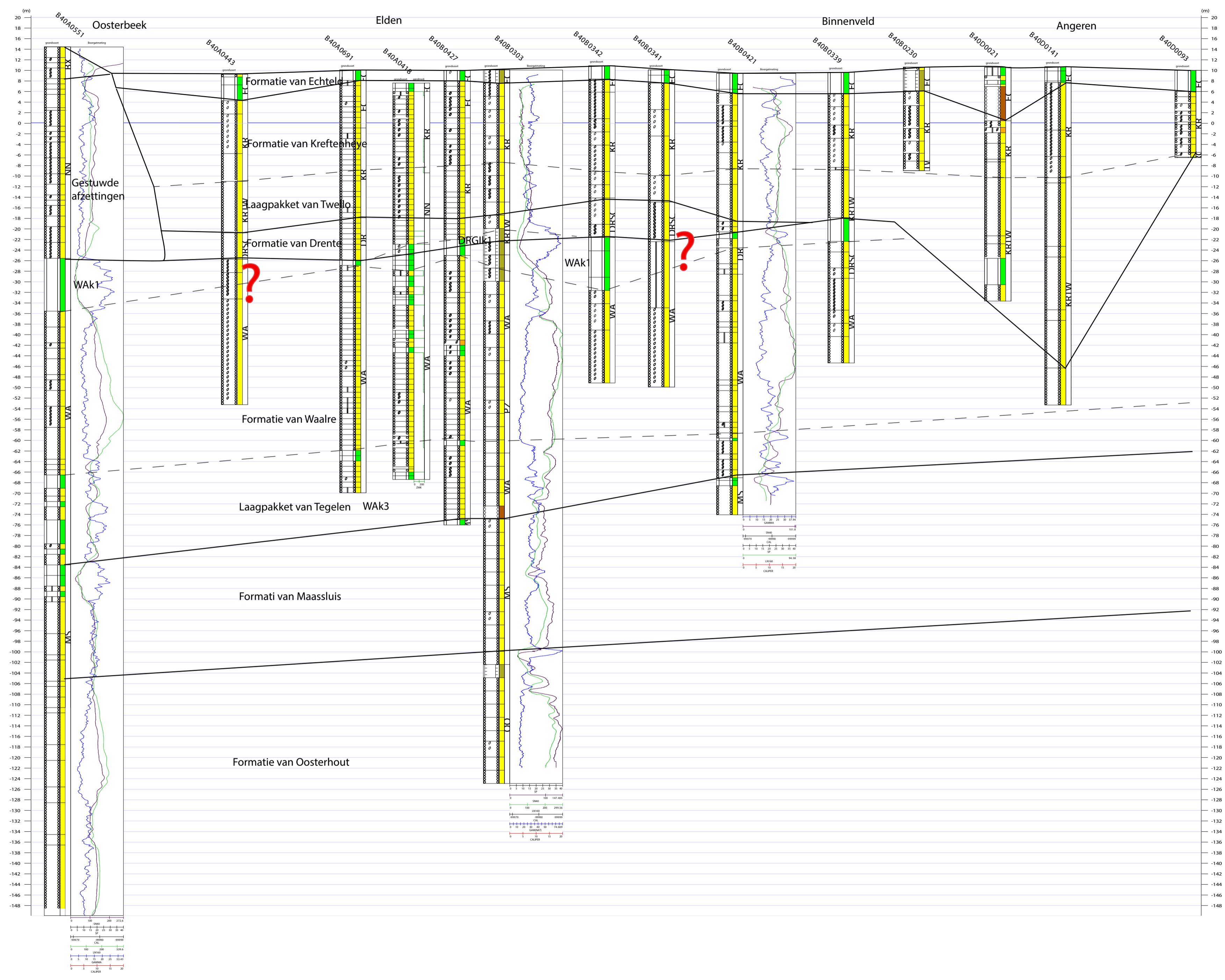
Heelsum

B40A0247

Fikersdries

Elst

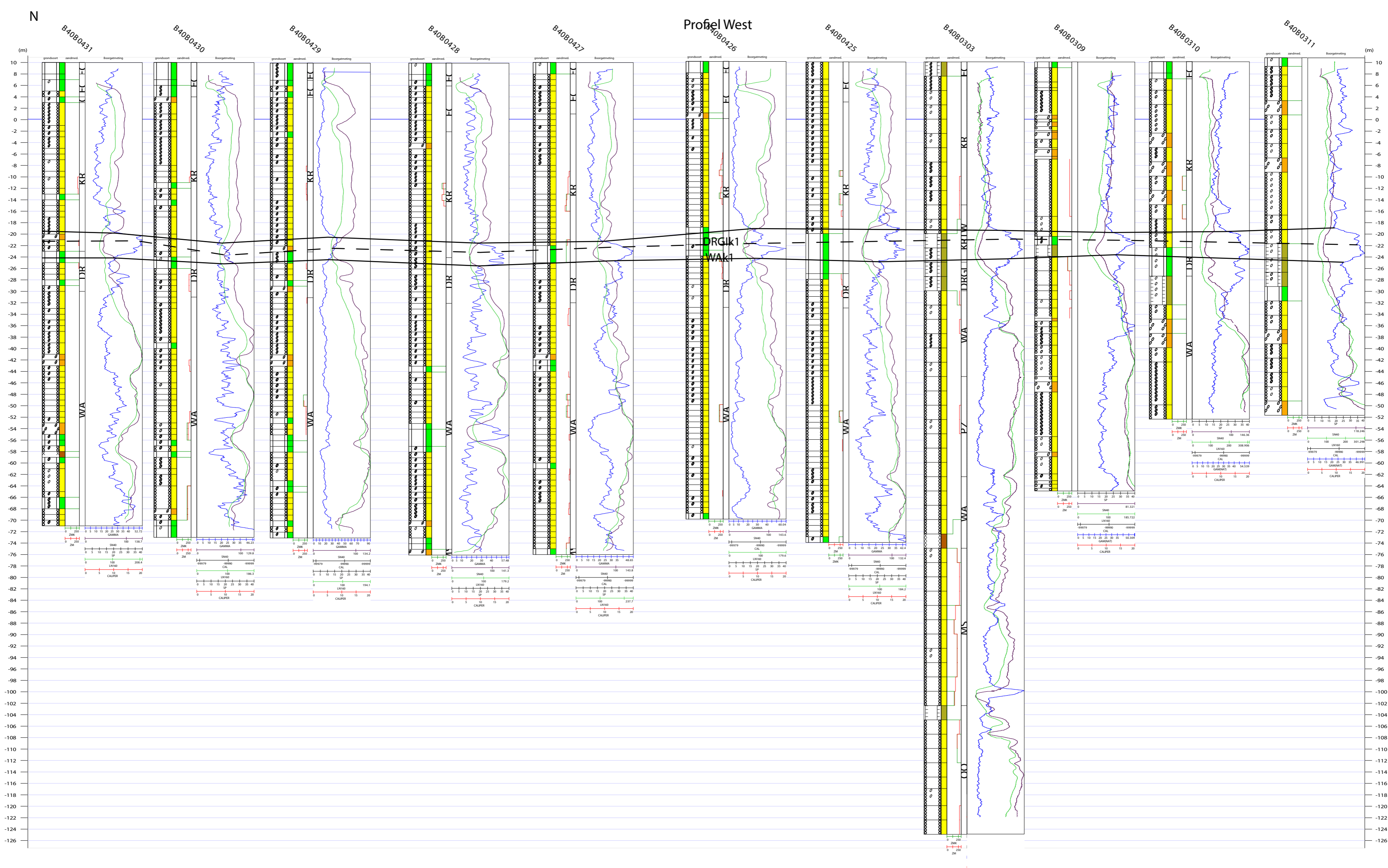




N

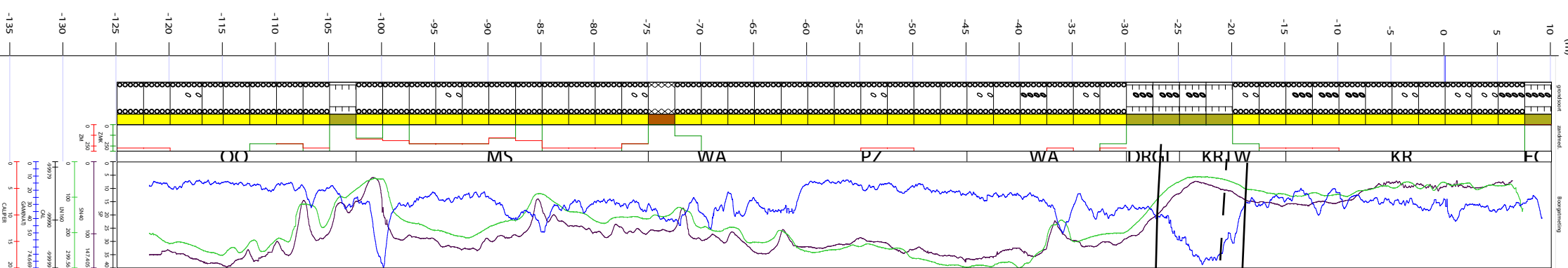
Z

Profil West

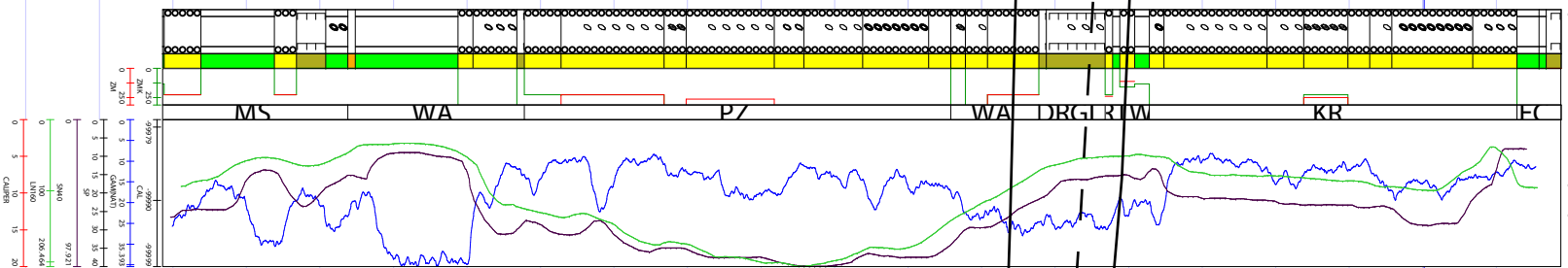


W

B-40B0343

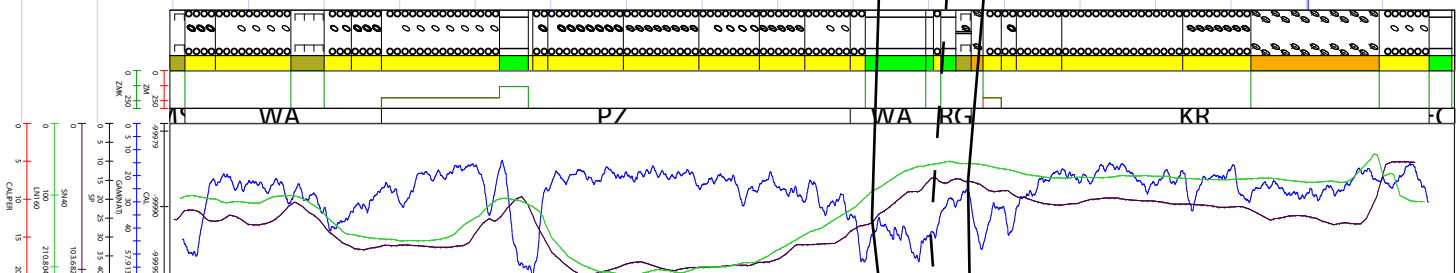


B-40B0344

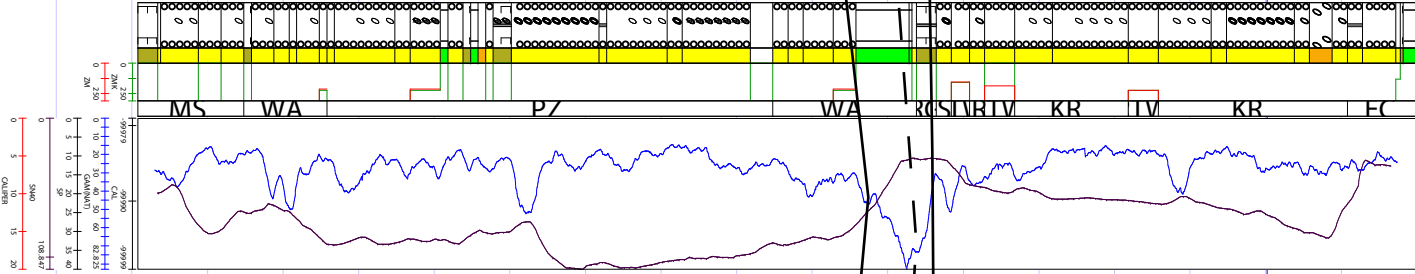


B-40B0345

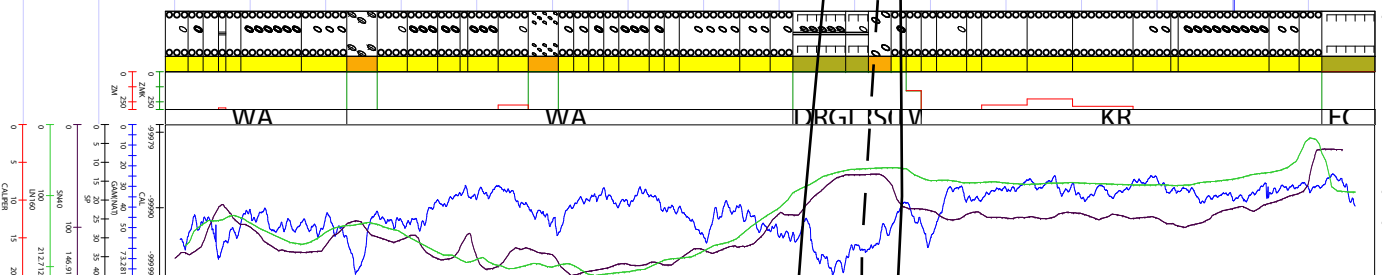
Profile Oost



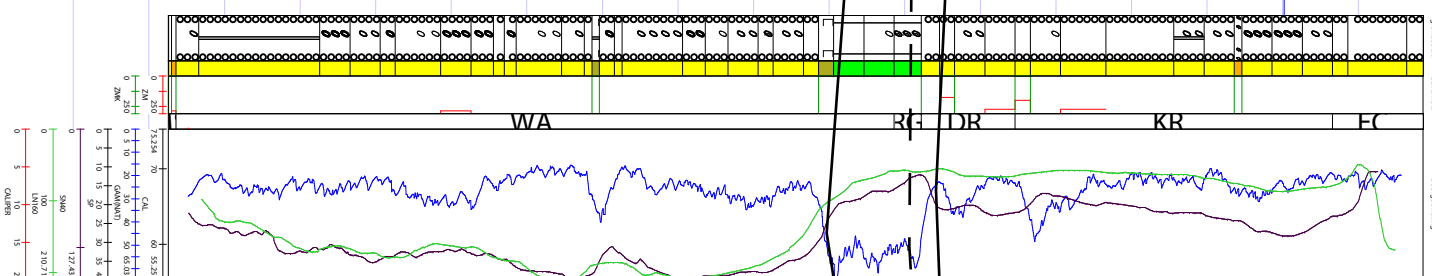
B-40B0346



B-40B0347

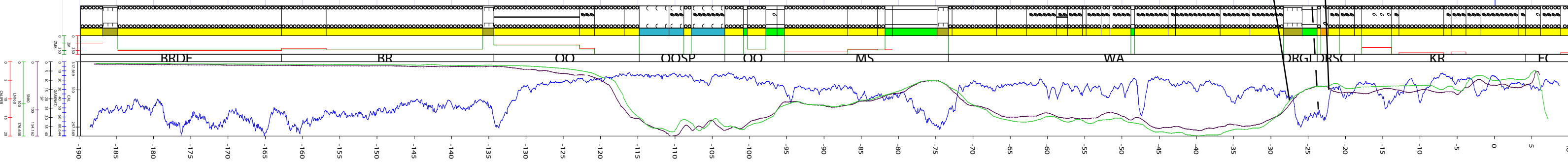


B-40B0348



B-40B0349

O

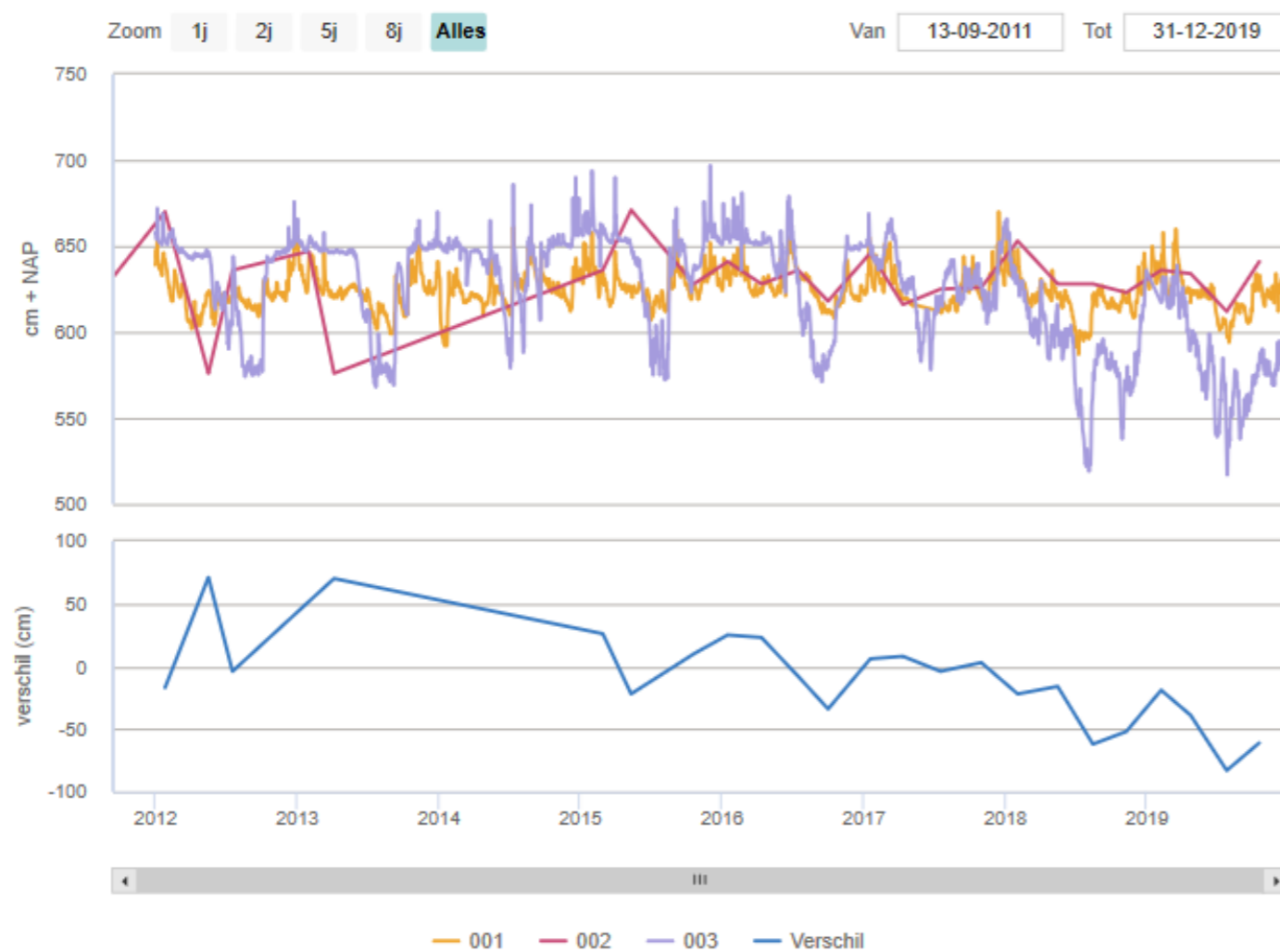


## B Stijghoogteverlopen filterparen

# Putlocatie B39F0578

[Analyse individuele filters](#)[Samenhang tussen filters](#)

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	103	624
002	-1699	632
003	-4100	635

## Toon verschil tussen meetreeksen

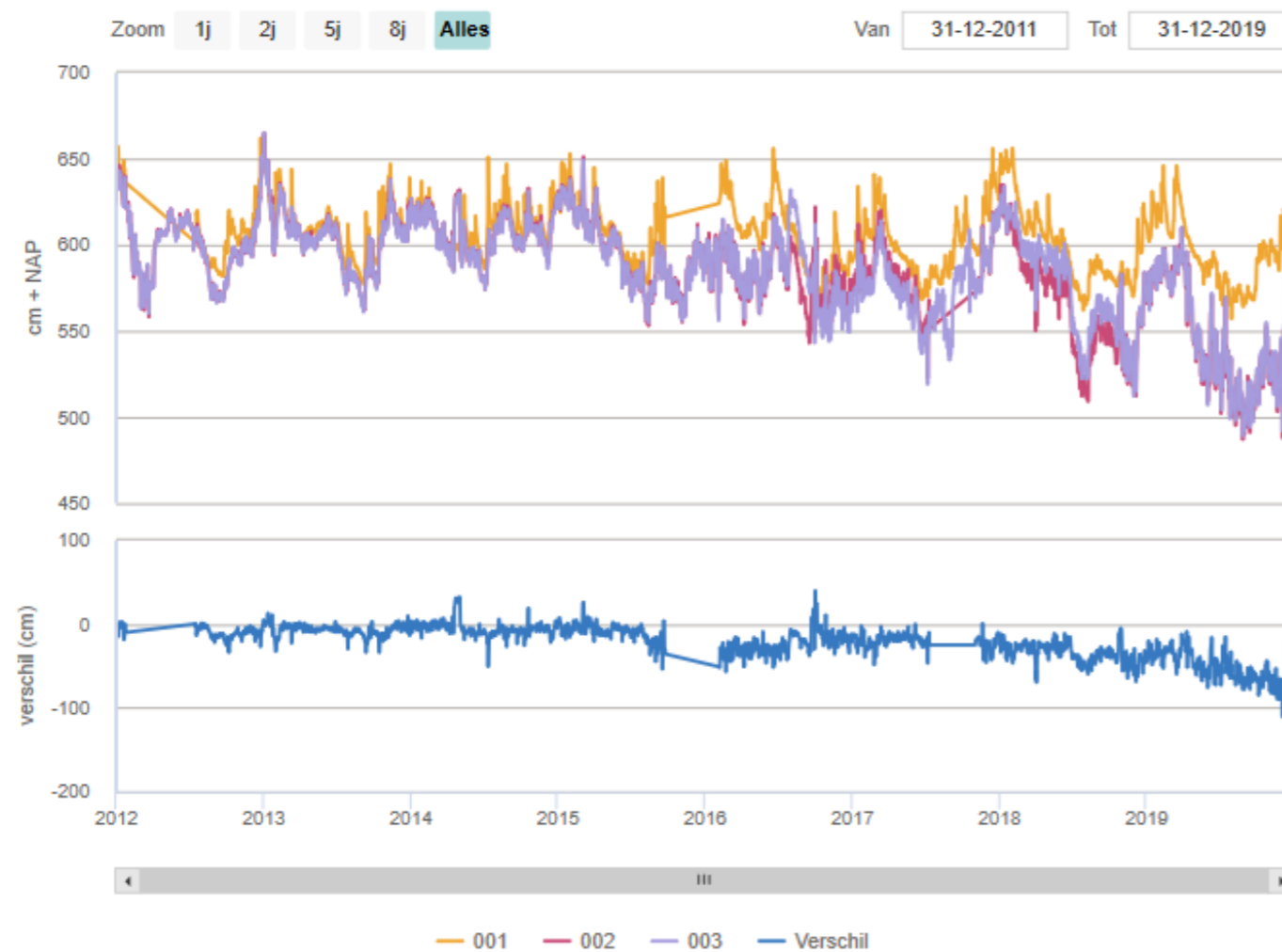
Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B39F0736

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

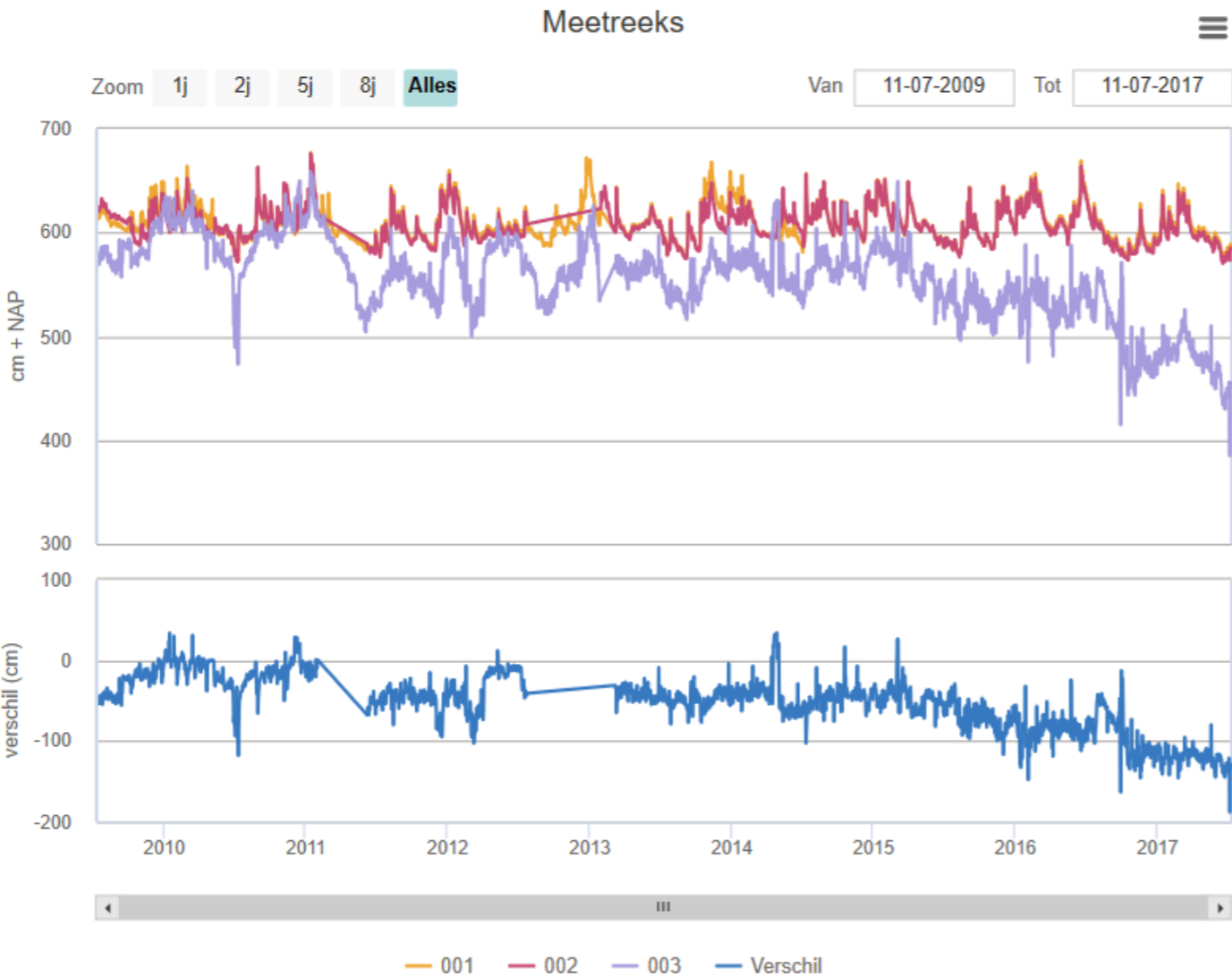
Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	332	606
002	-2457	589
003	-3613	589

## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 002 - Filter 001

# Putlocatie B39F0737

Analyse individuele filters    **Samenhang tussen filters**



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	256	606
002	-1626	605
003	-3237	560

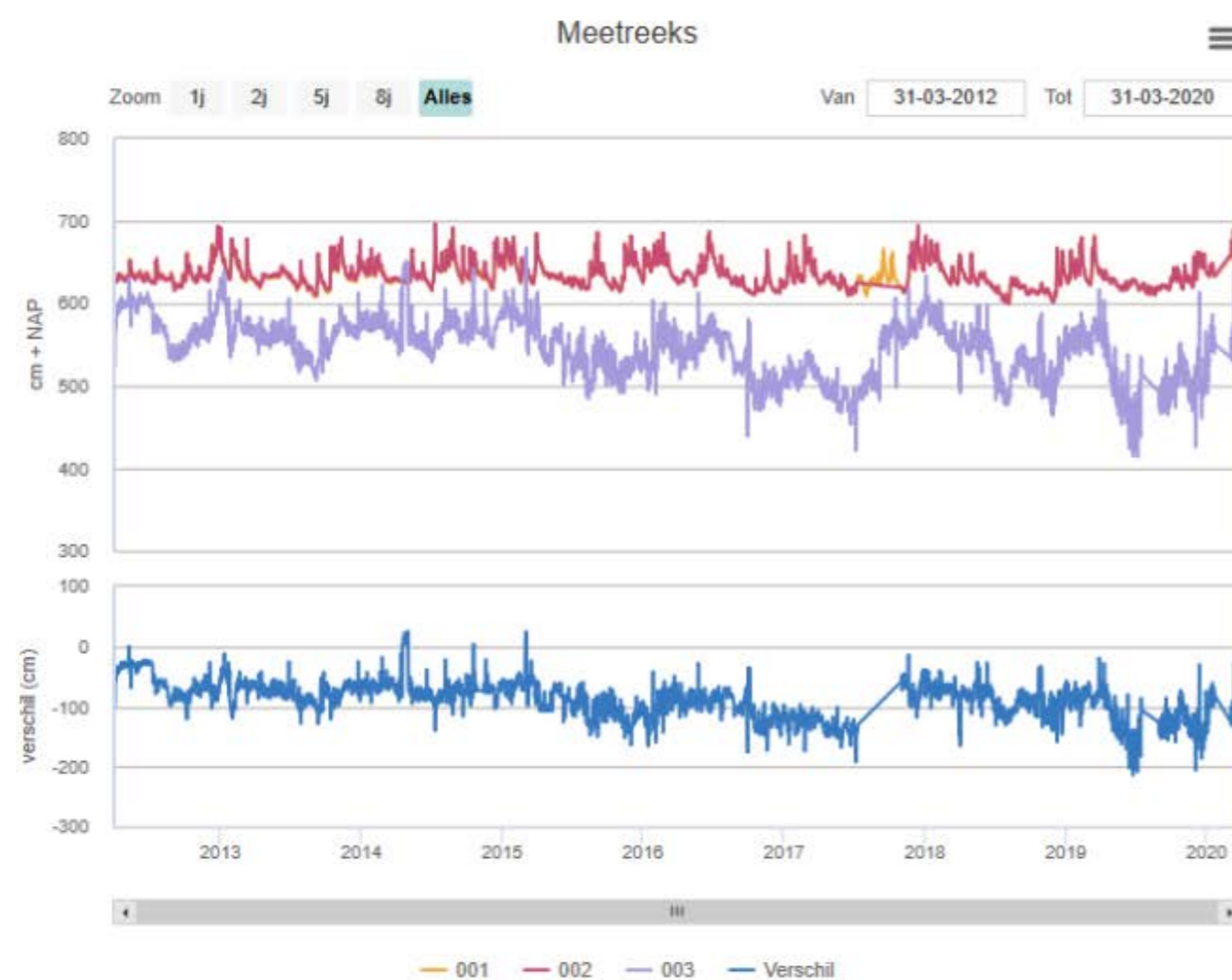
Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 ▾

-

Filter 002 ▾

# Putlocatie B39F0738

[Analyse individuele filters](#)[Samenhang tussen filters](#)

## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	511	632
002	111	632
003	-3888	551

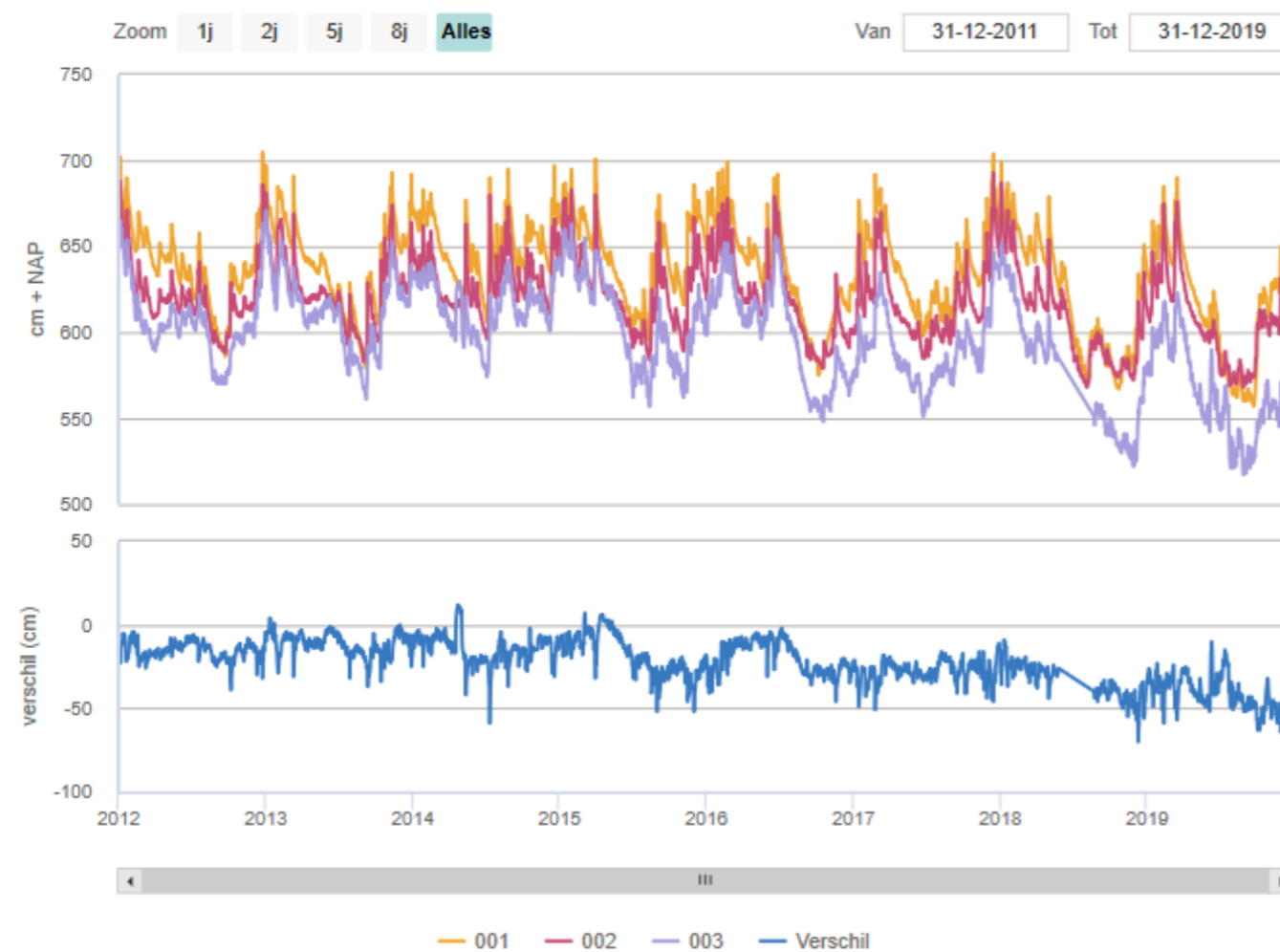
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B39F0740

[Analyse individuele filters](#)[Samenhang tussen filters](#)

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	547	640
002	-47	619
003	-3505	601

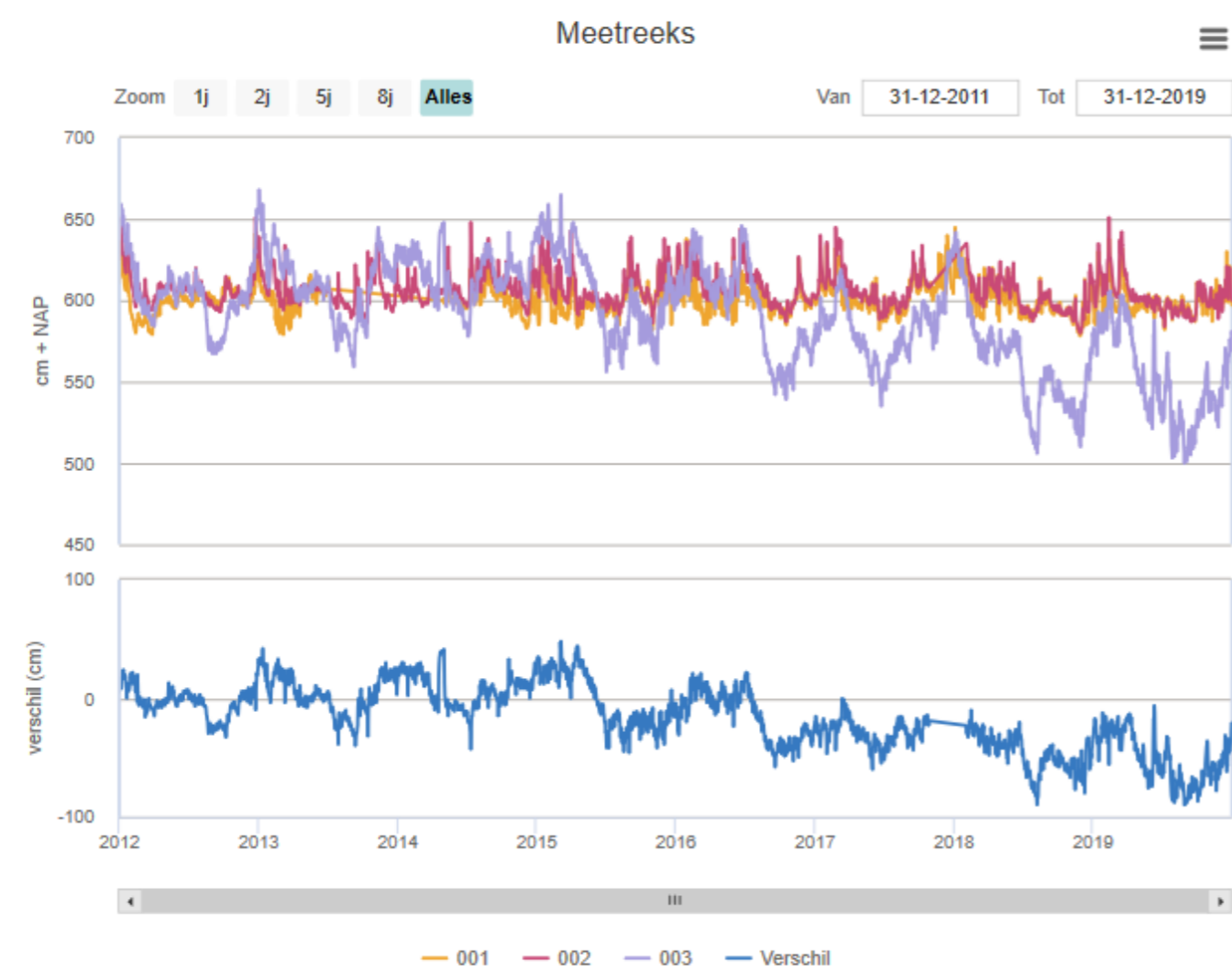
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B39F0741

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	230	600
002	-1111	605
003	-3472	595

Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003

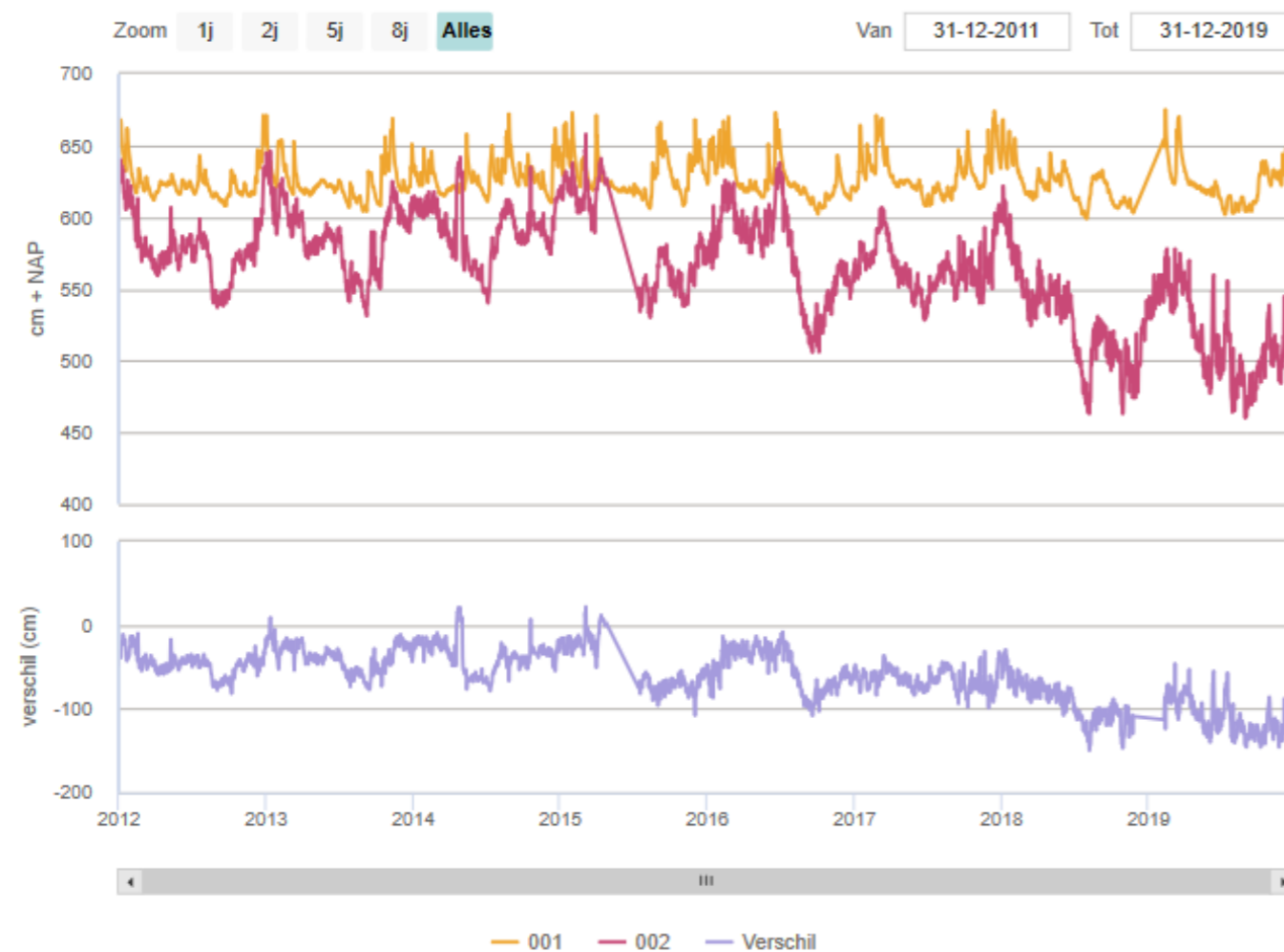
-

Filter 002

# Putlocatie B39F0742

[Analyse individuele filters](#)[Samenhang tussen filters](#)

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	59	623
002	-3487	568

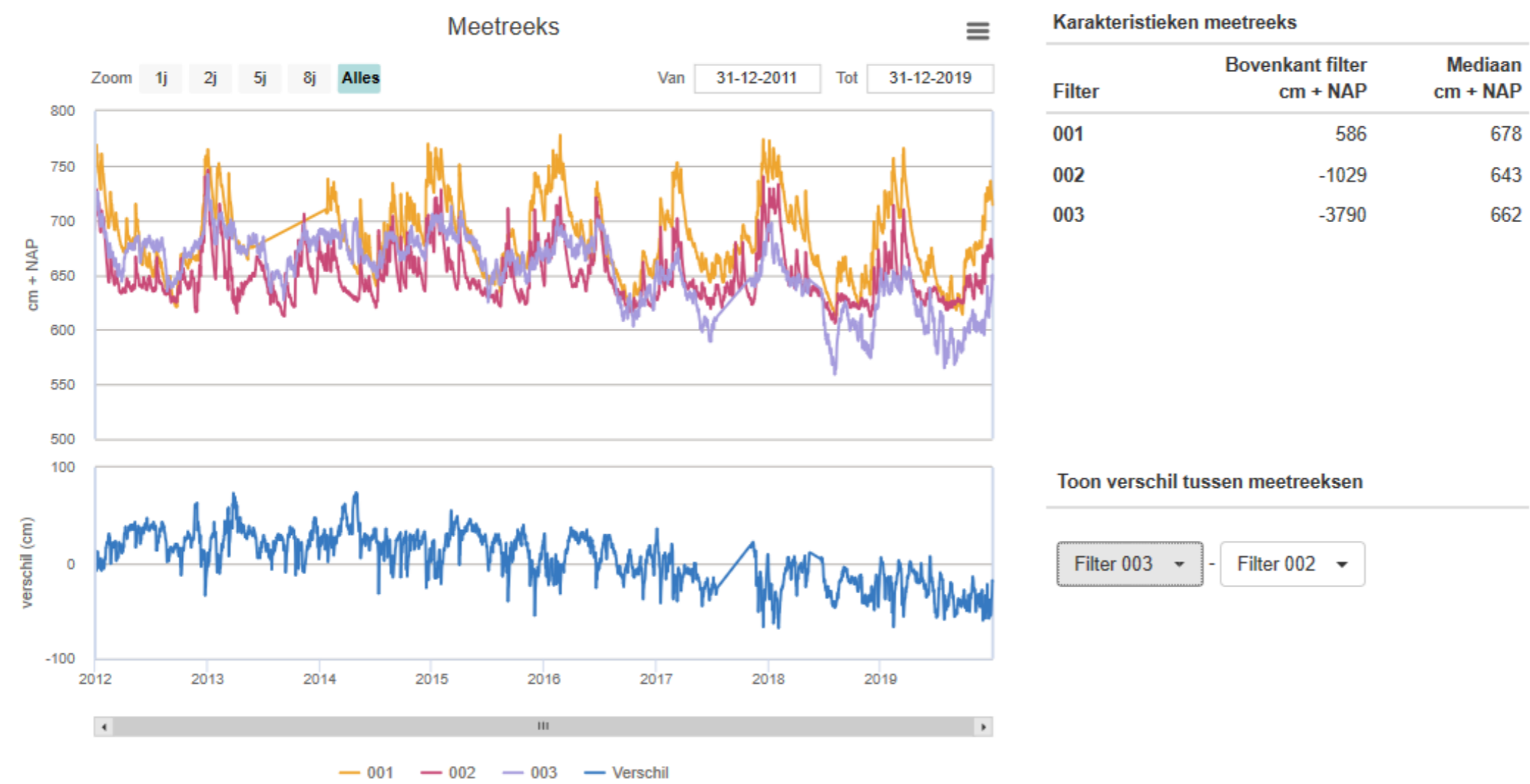
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 002 - Filter 001

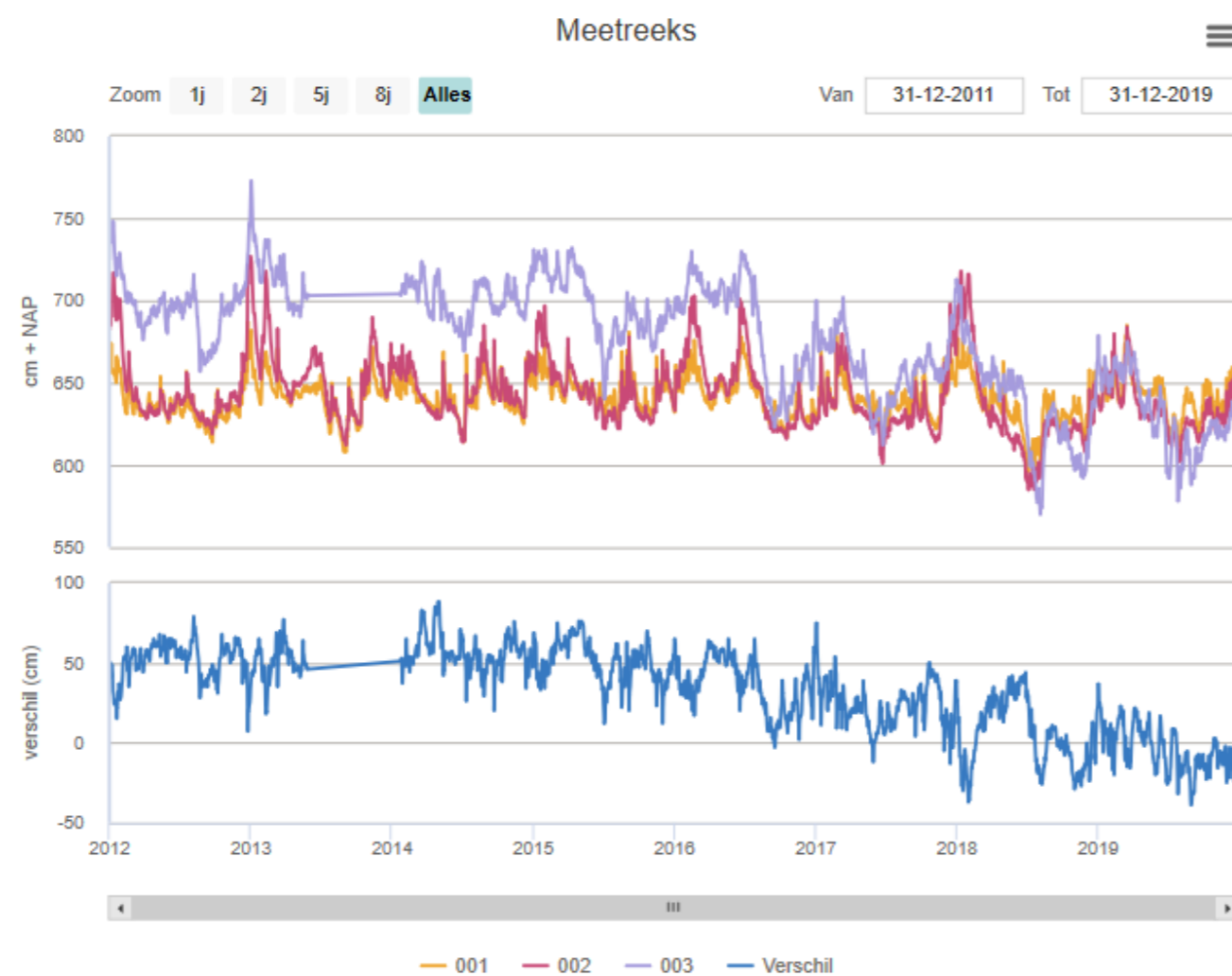
# Putlocatie B39F0743

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Putlocatie B39F0744

[Analyse individuele filters](#)[Samenhang tussen filters](#)

### Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	556	640
002	-227	639
003	-3739	682

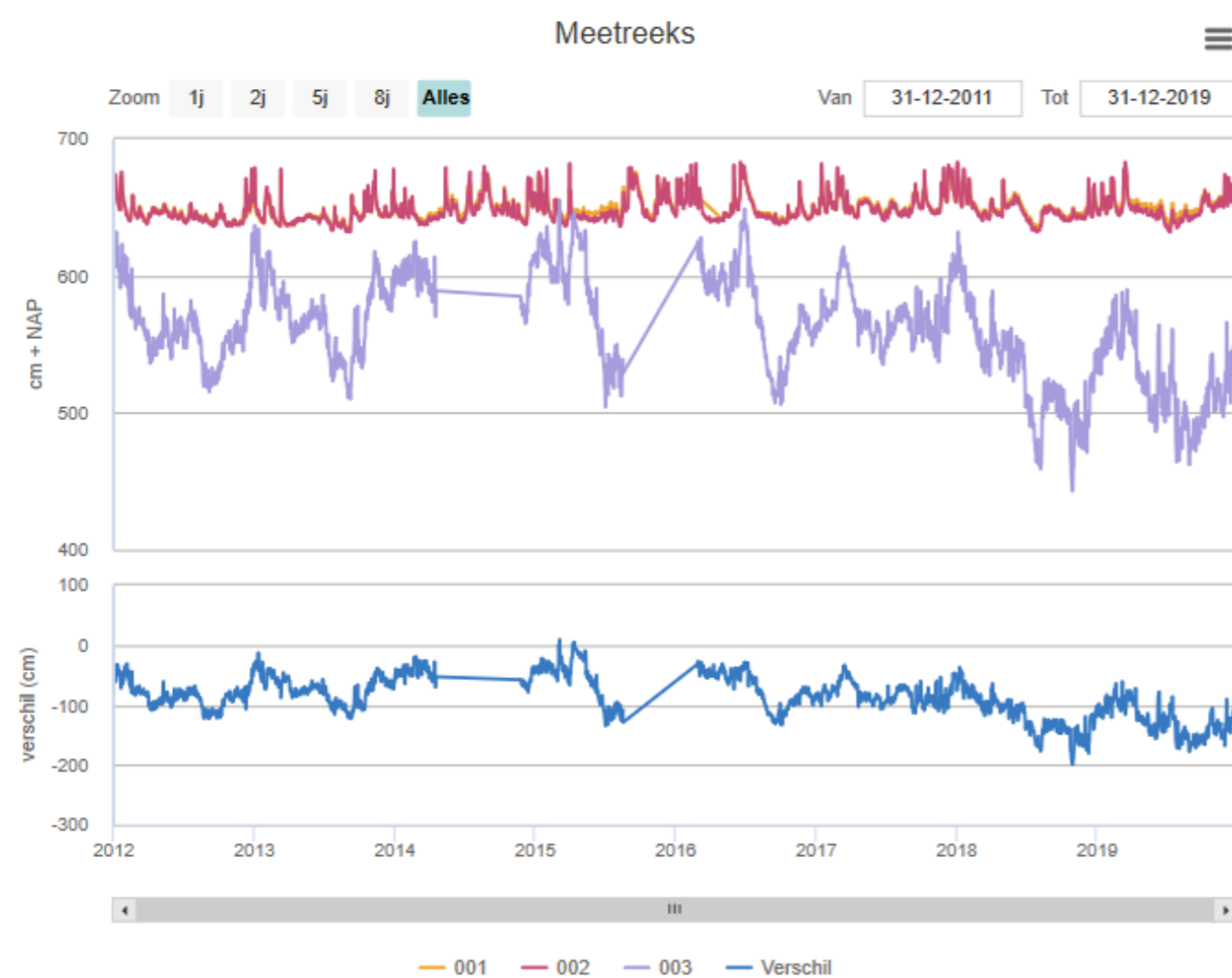
### Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B39H0382

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	511	647
002	-1051	646
003	-3626	562

## Toon verschil tussen meetreeksen

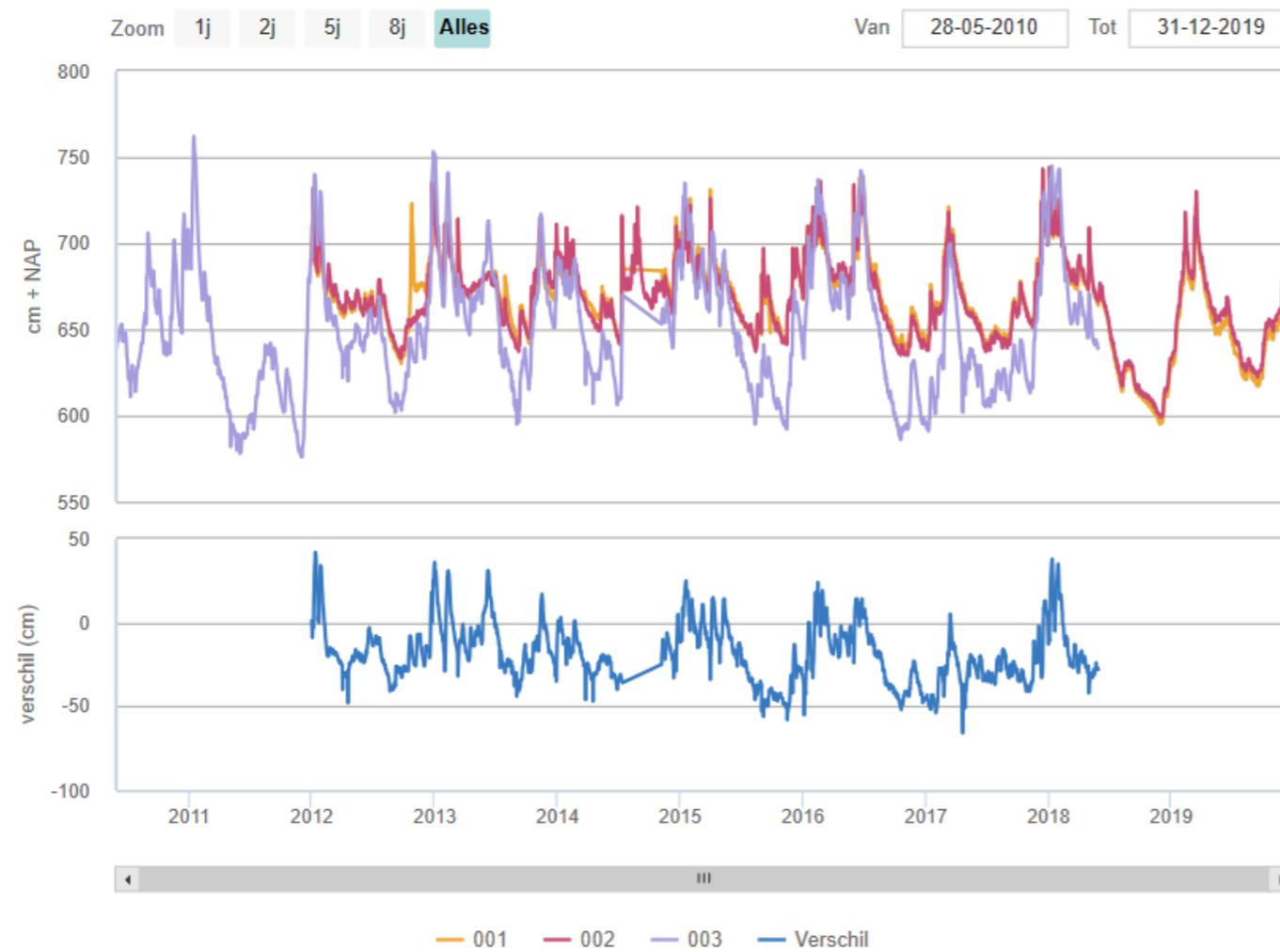
Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B39H0383

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	3	669
002	-882	668
003	-3579	647

## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 ▾

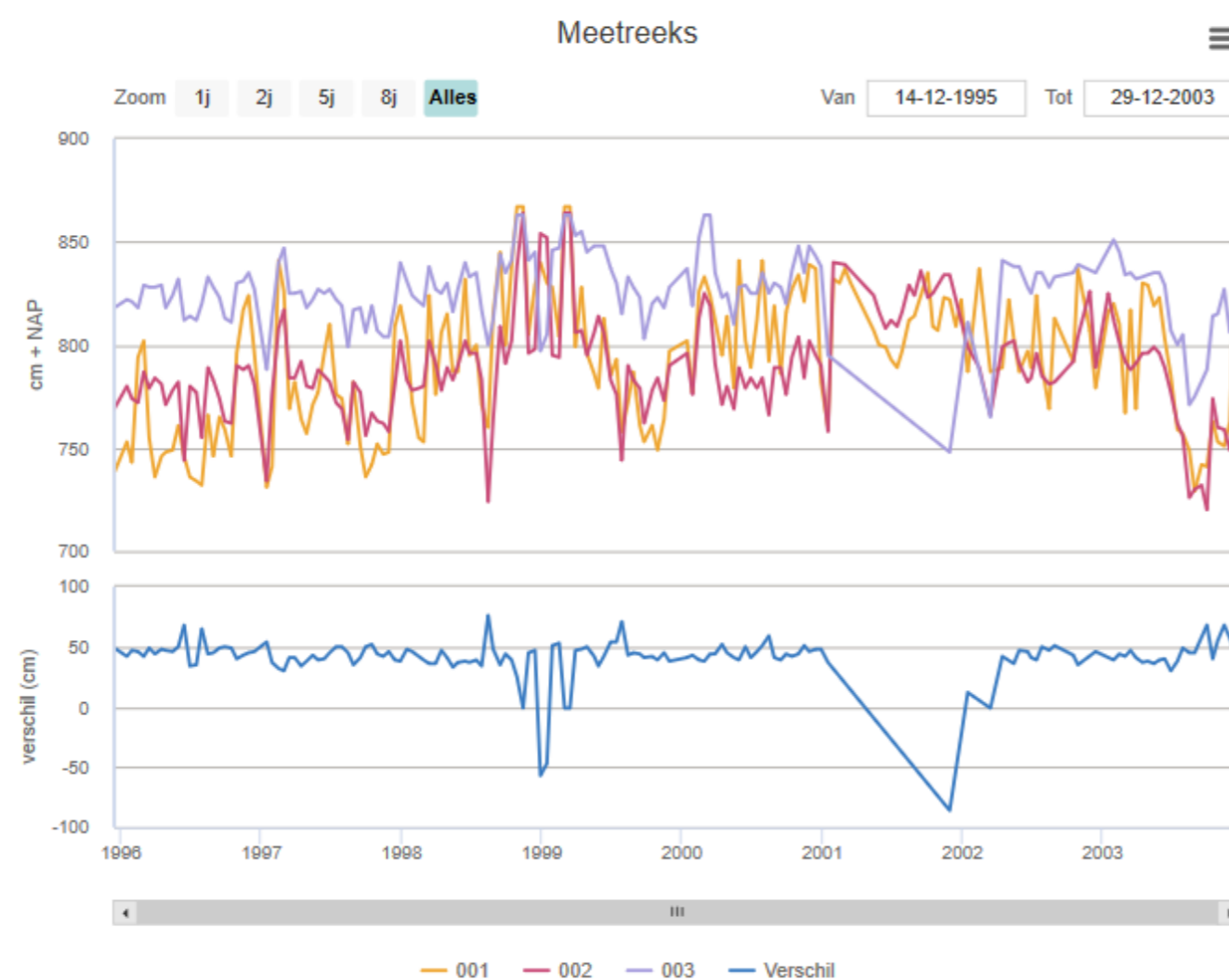
-

Filter 002 ▴

# Putlocatie B40A0330

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	702	796
002	-1116	788
003	-3711	828

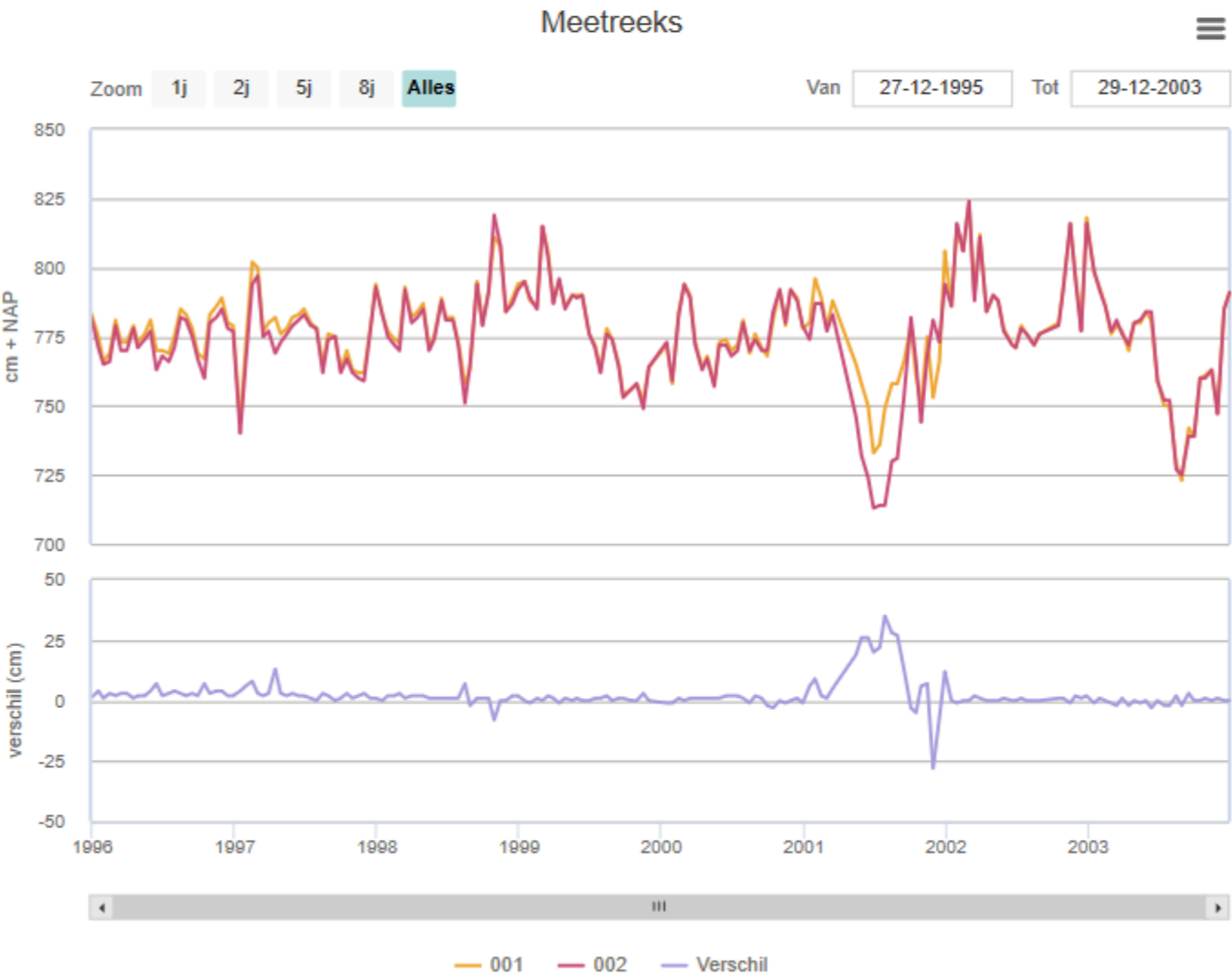
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B40A0331

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



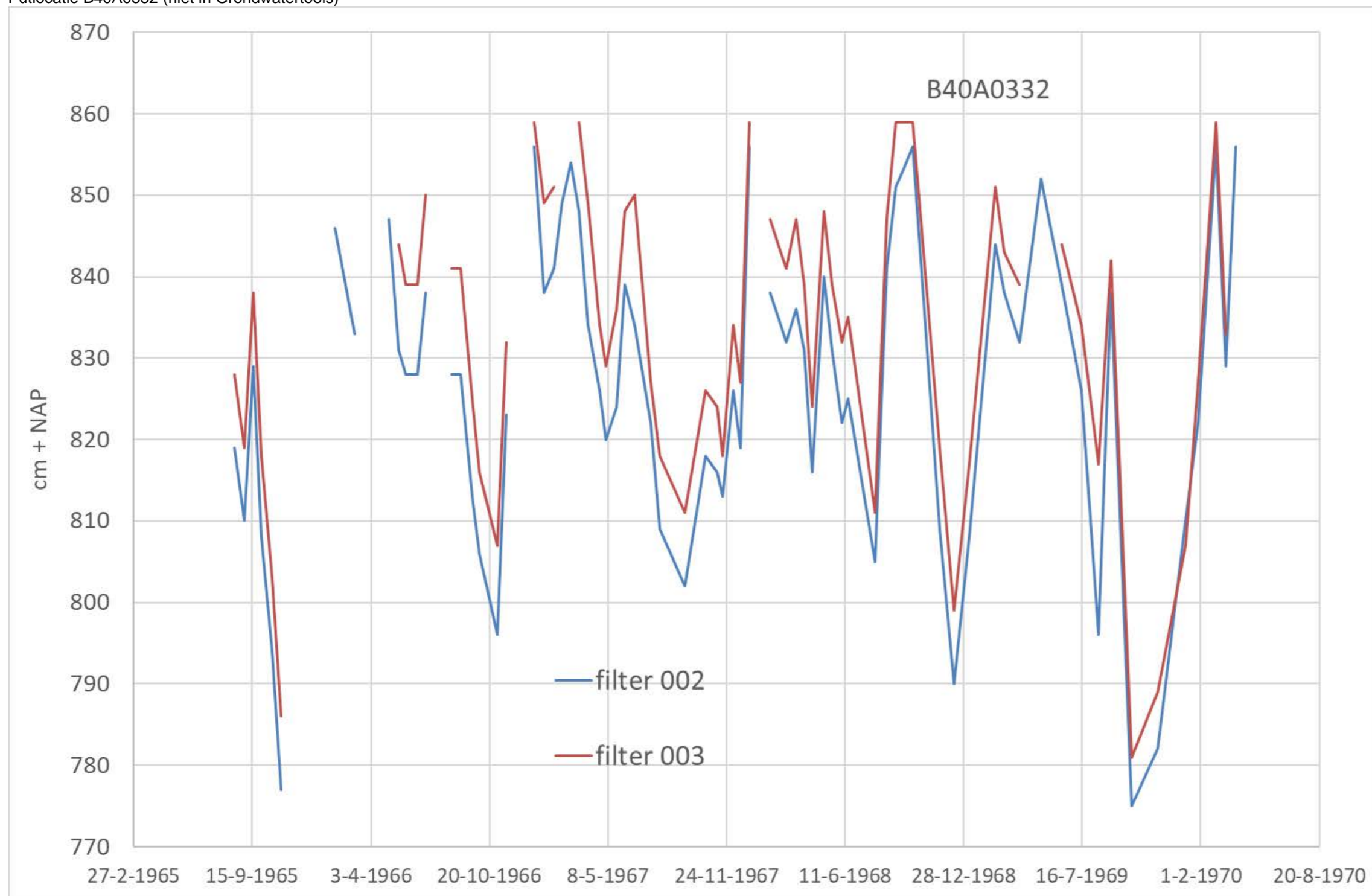
## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	-71	778
002	-3898	777

## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 001 - Filter 002

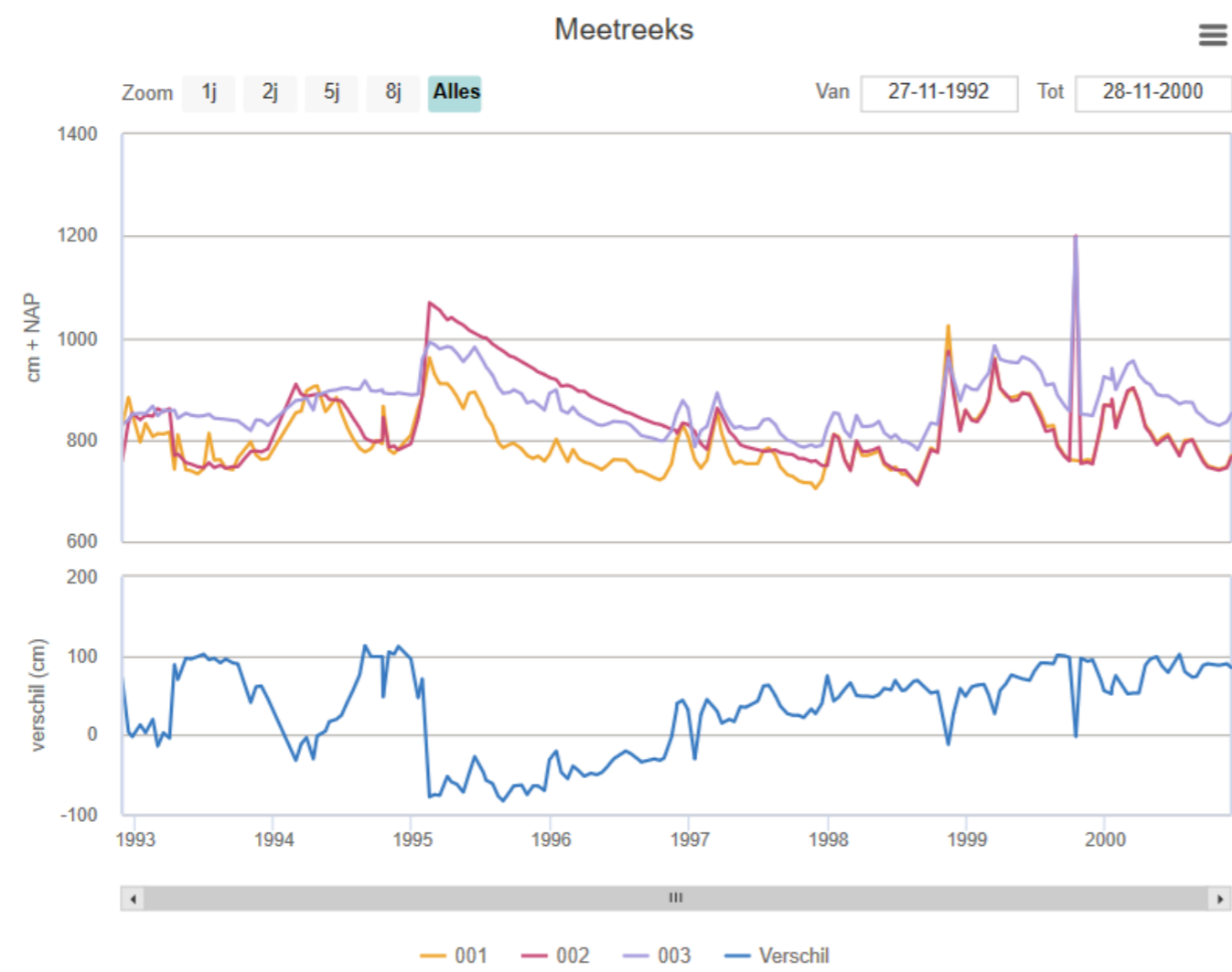
Putlocatie B40A0332 (niet in Grondwatertools)



# Putlocatie B40A0334

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks		
Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	653	785
002	-686	825
003	-2805	858

Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003

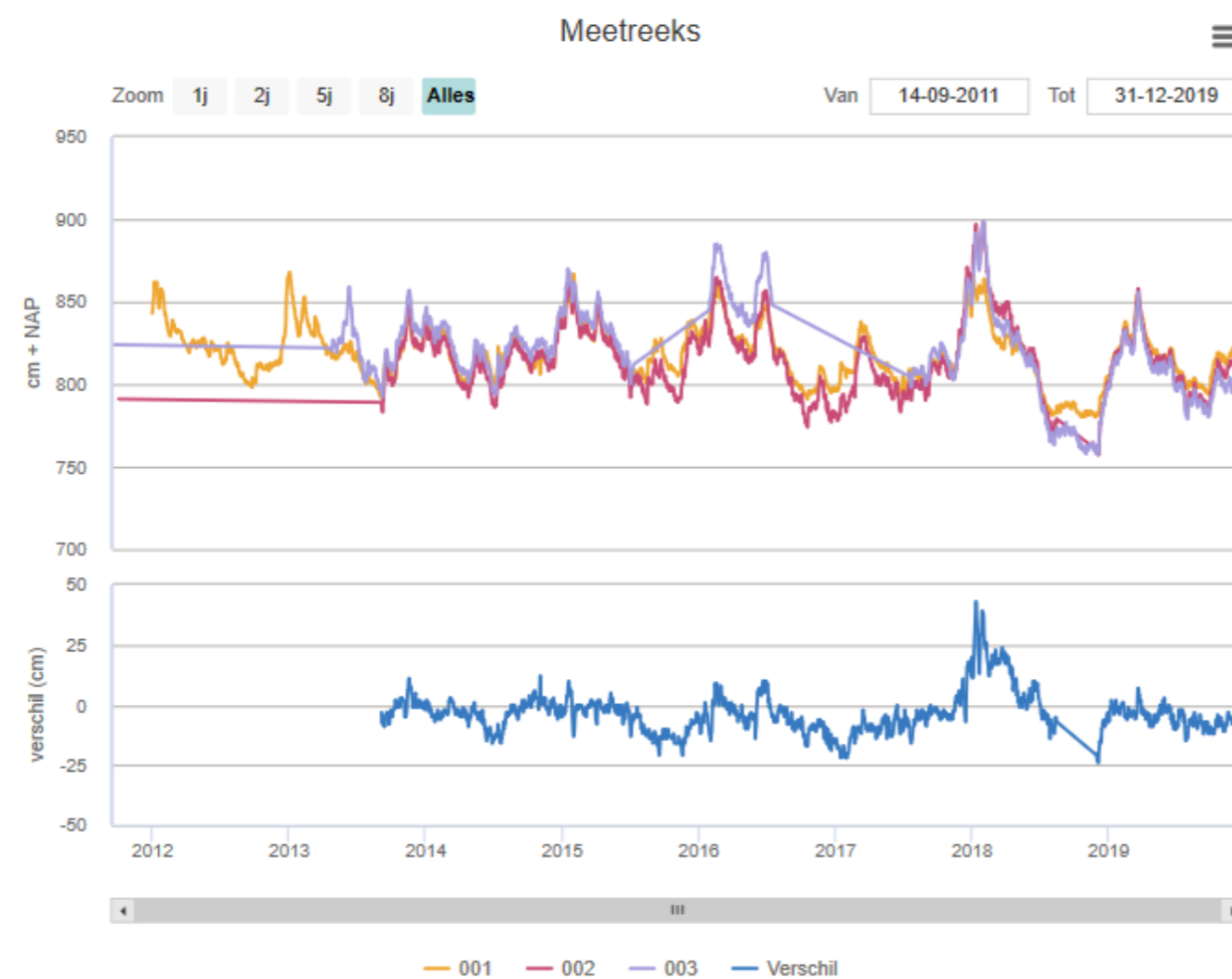
-

Filter 002

# Putlocatie B40A0441

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	-1008	818
002	-3108	814
003	-4908	820

## Toon verschil tussen meetreeksen

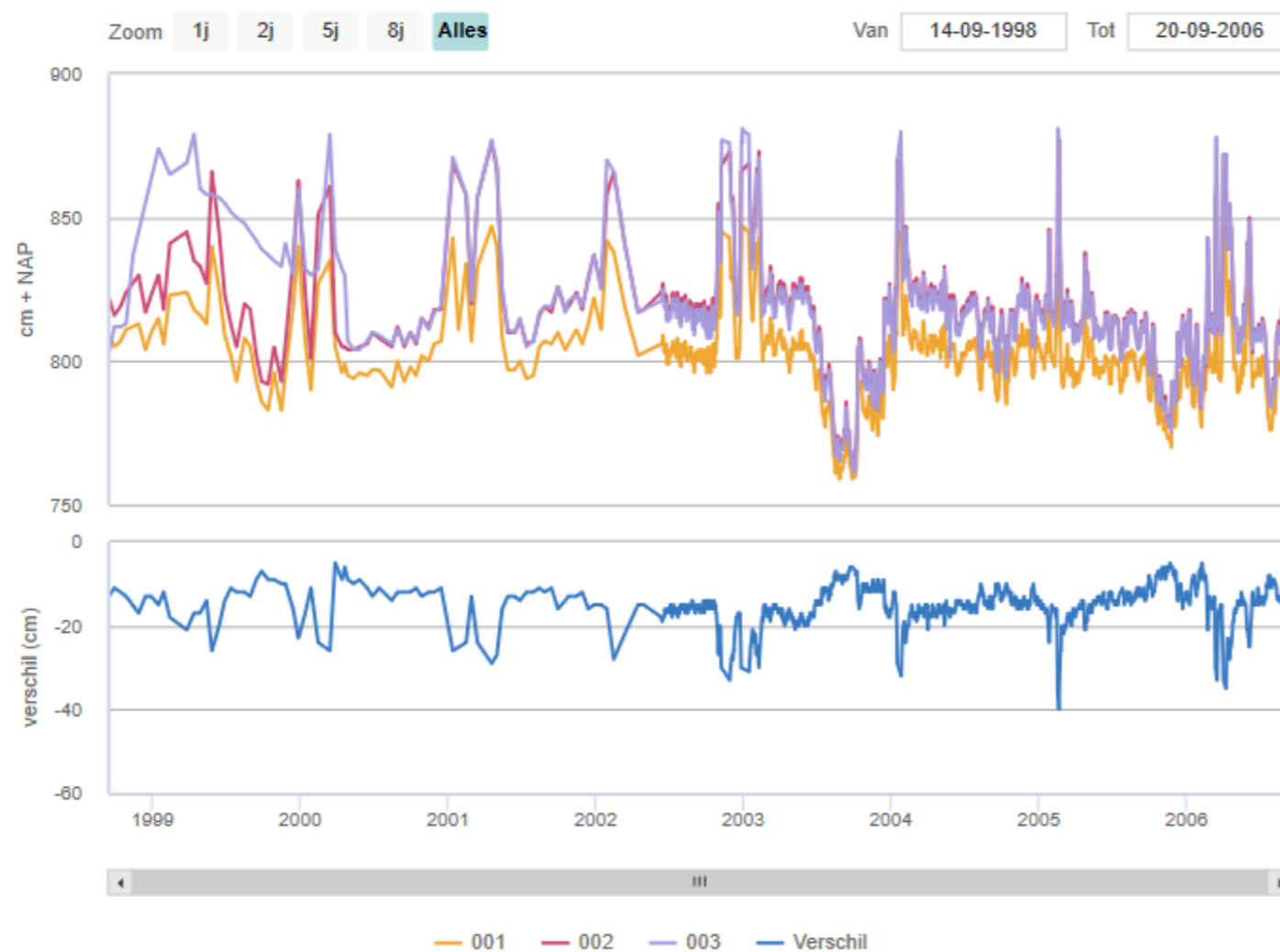
Filter 002 - Filter 001

# Putlocatie B40A0443

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters

## Meetreeks



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	-1082	801
002	-3082	816
003	-5082	815

## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 001 ▾

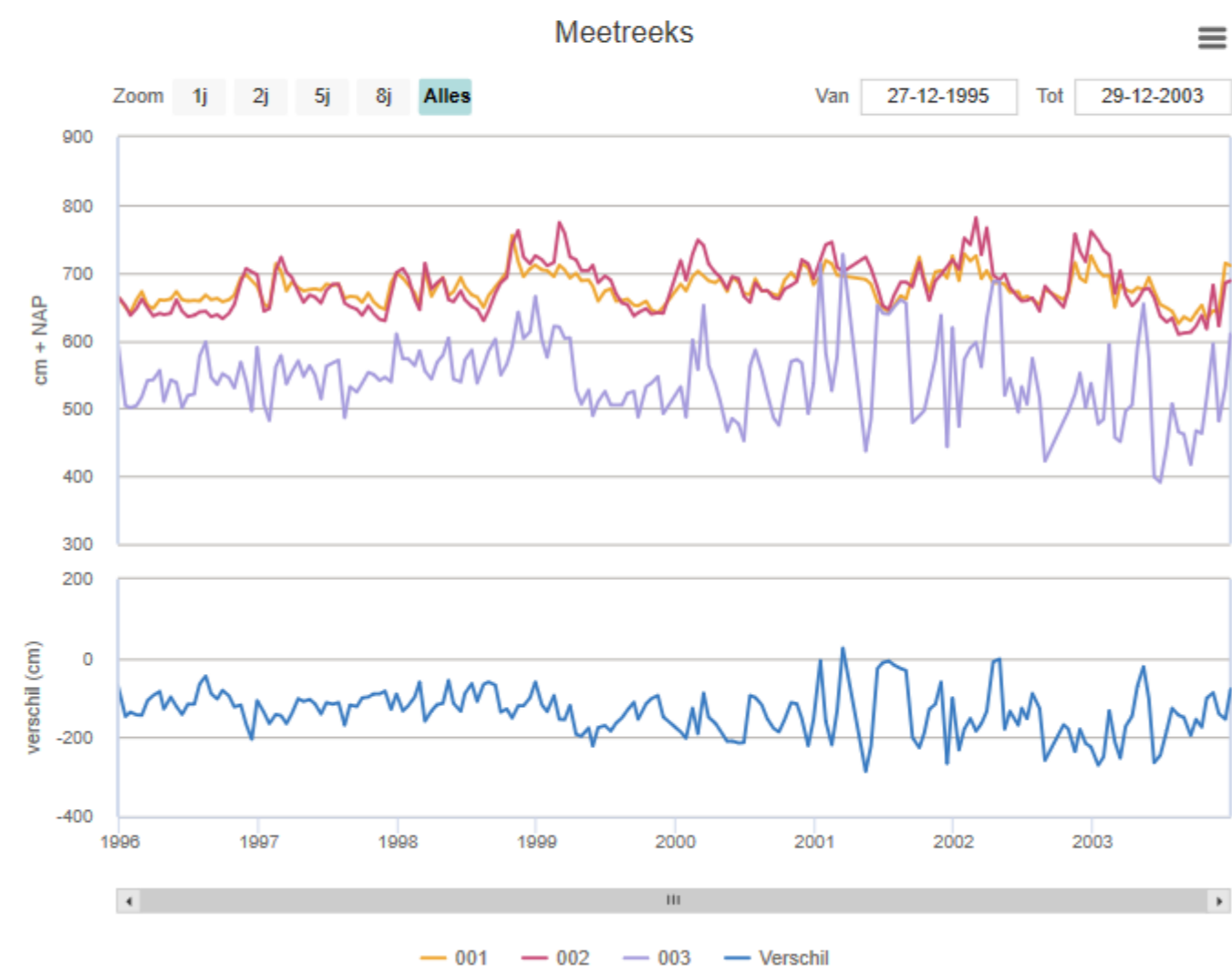
-

Filter 002 ▾

# Putlocatie B40A0604

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks		
Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	304	675
002	-1293	676
003	-3483	542

Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003

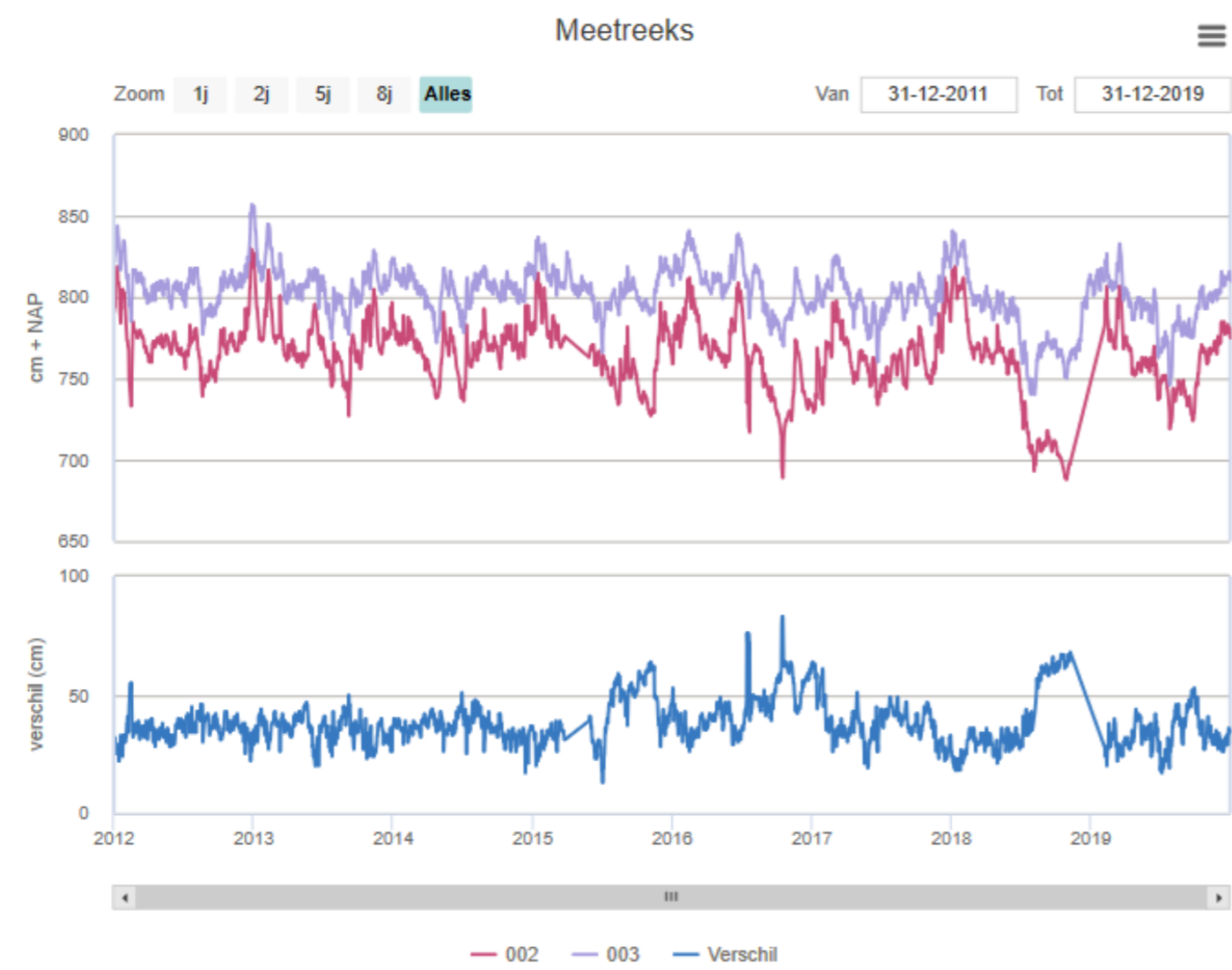
-

Filter 002

# Putlocatie B40A2159

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	909	
002	157	767
003	-3145	804

Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003

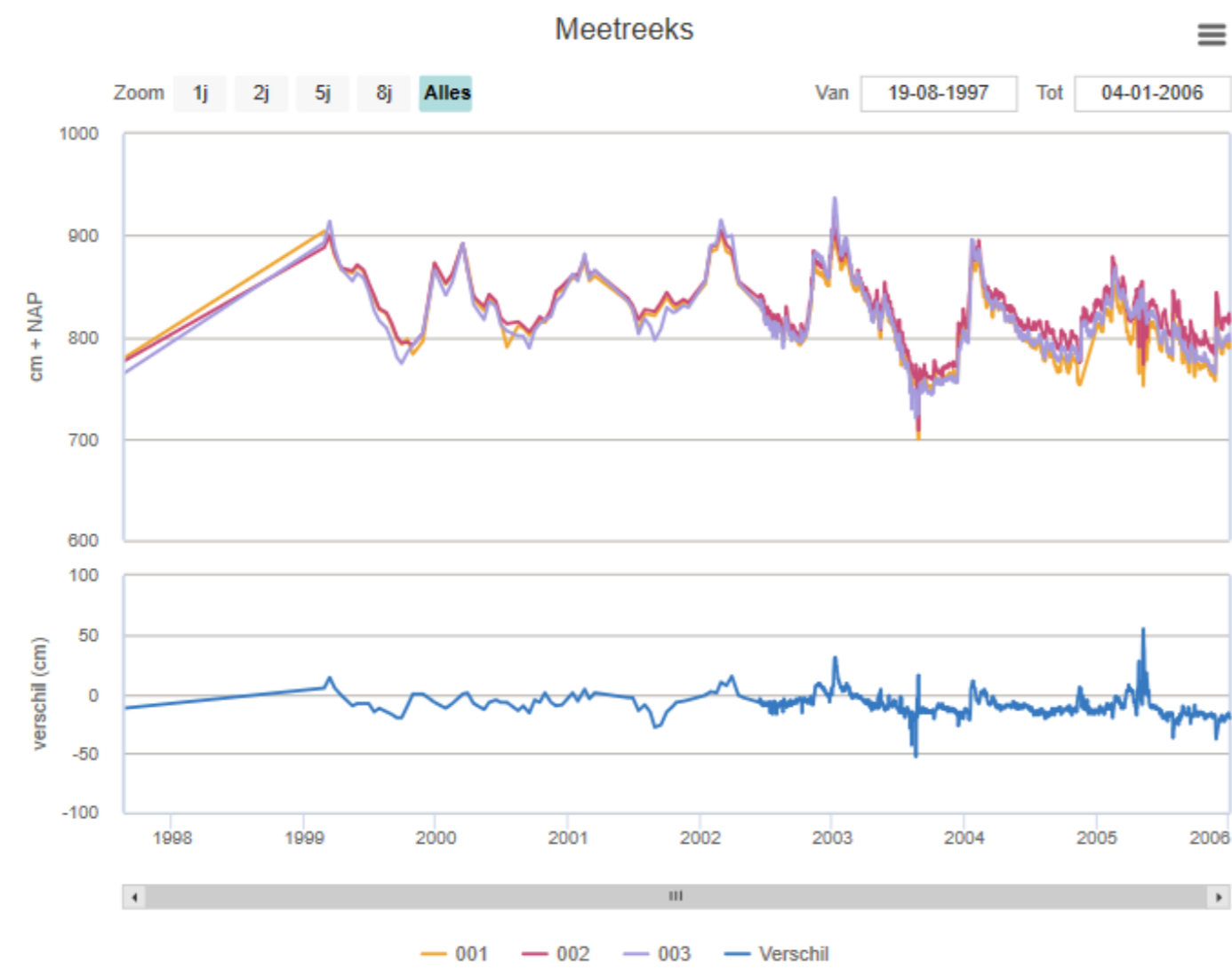
-

Filter 002

# Putlocatie B40B0340

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	173	805
002	-827	819
003	-4427	808

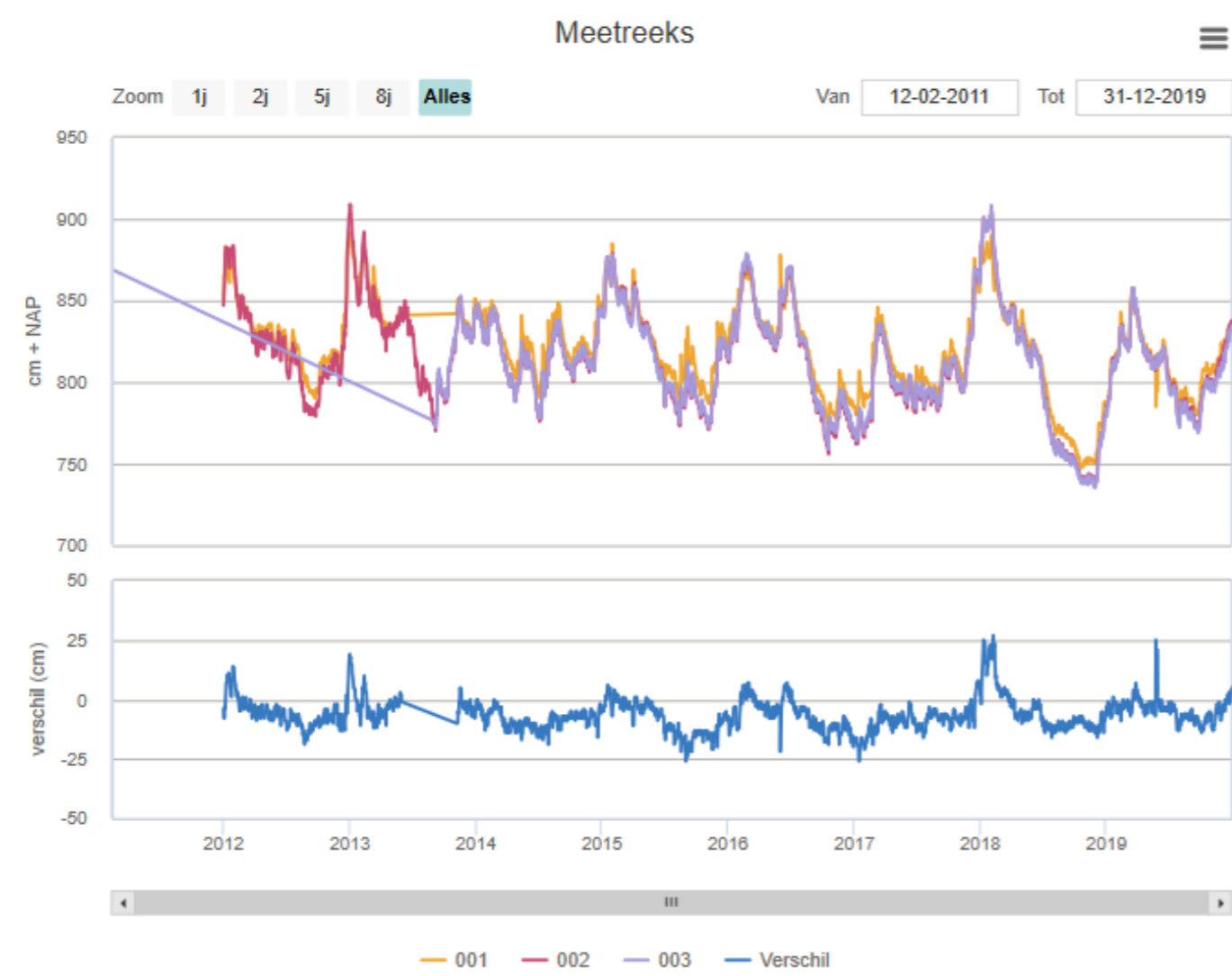
Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B40B0341

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	-997	822
002	-2997	814
003	-4997	812

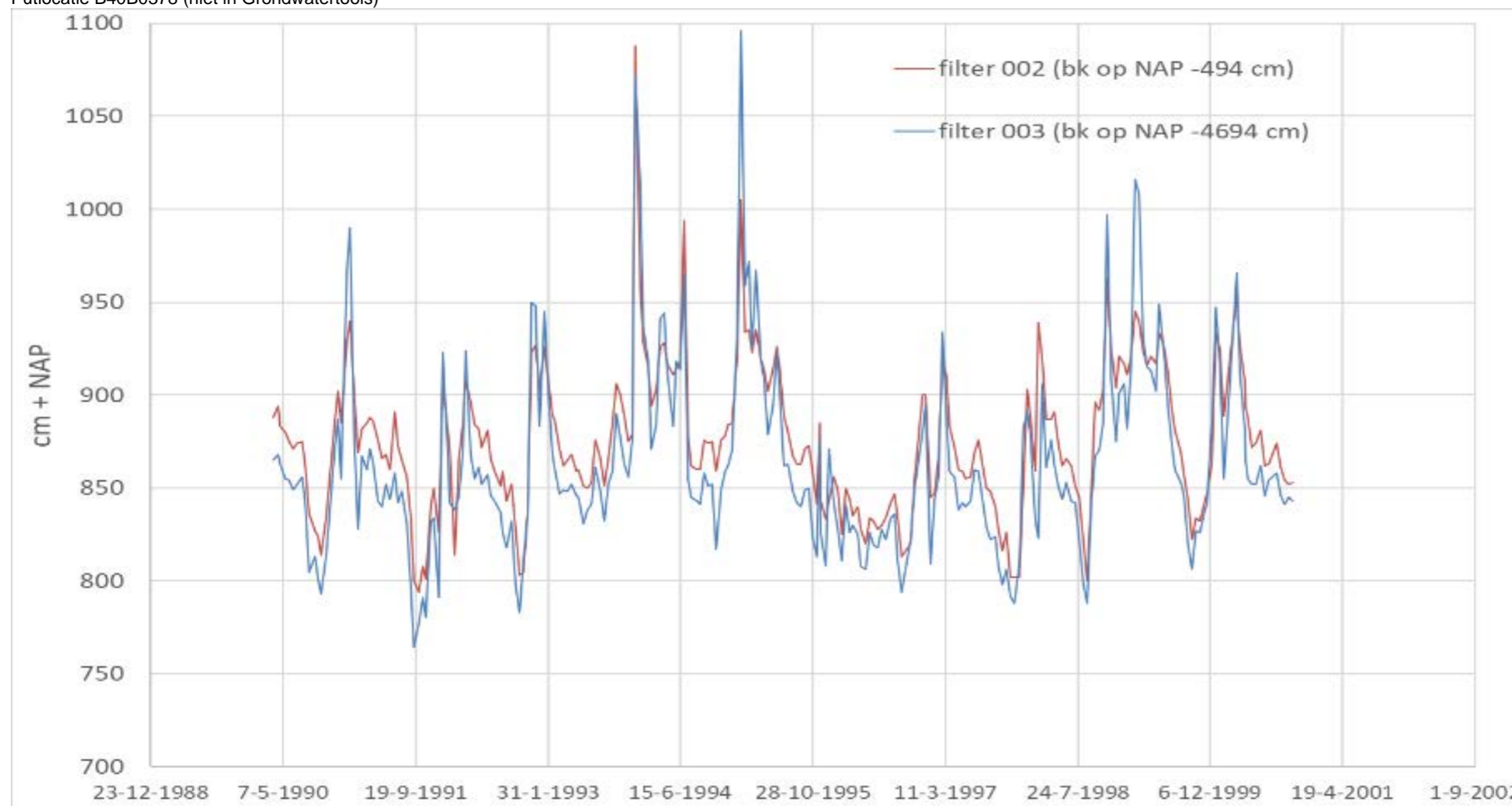
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 002

-

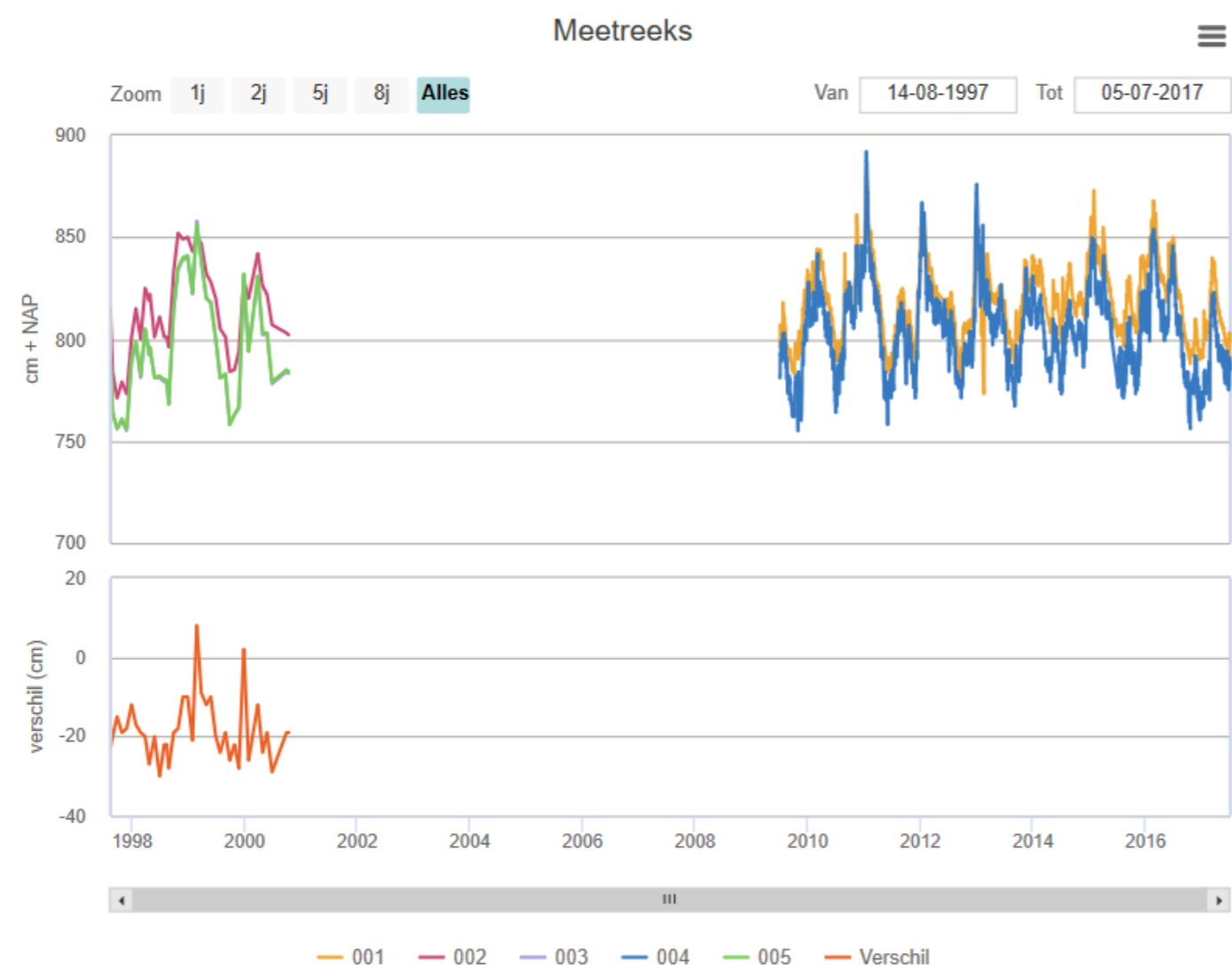
Filter 001

Putlocatie B40B0378 (niet in Grondwatertools)



# Putlocatie B40B0415

Analyse individuele filters    **Samenhang tussen filters**



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	282	818
002	-2218	815
003	-3518	792
004	-5418	805
005	-6718	793

Toon verschil tussen meetreeksen

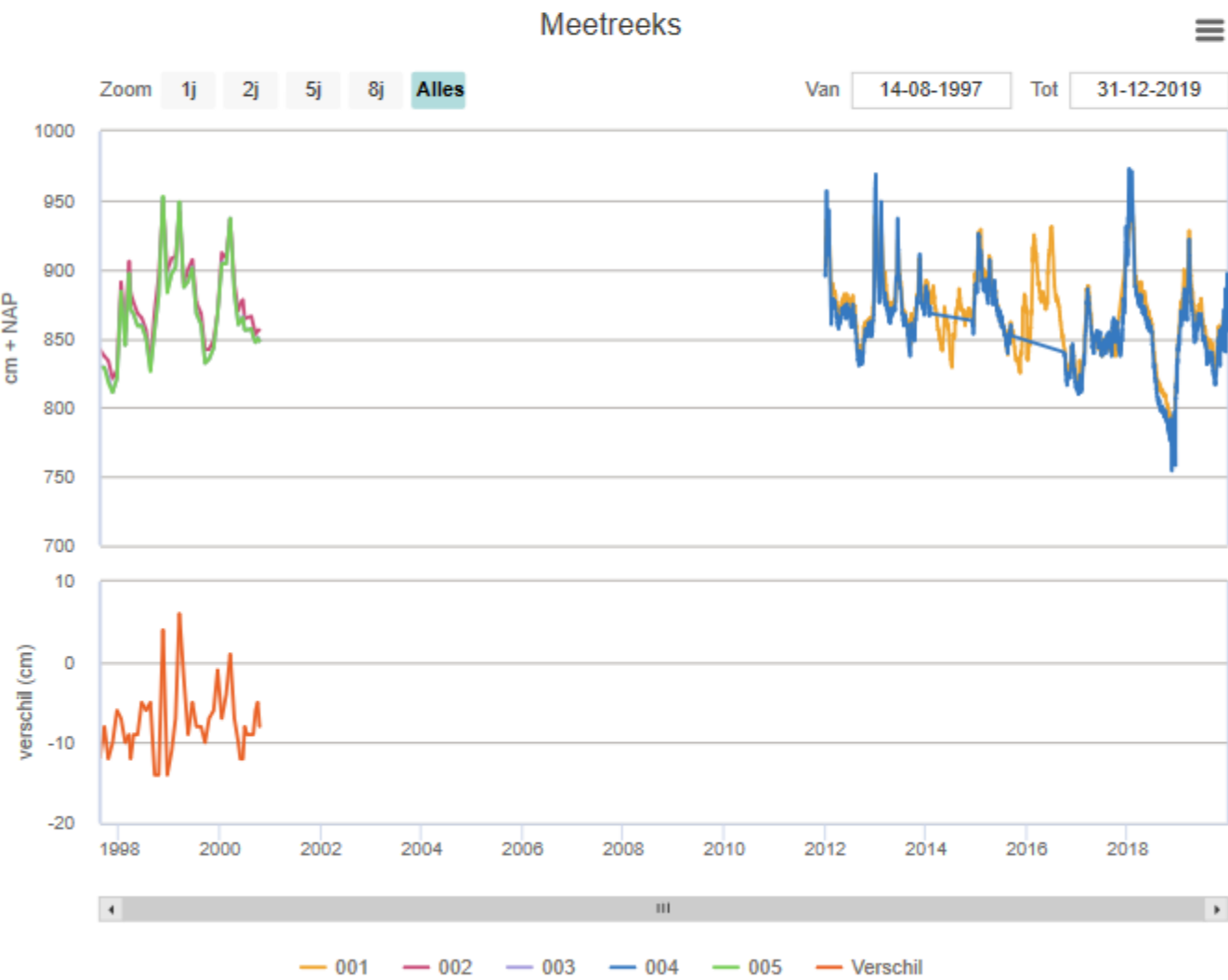
Filter 003 ▾

-

Filter 002 ▾

# Putlocatie B40B0422

Analyse individuele filters   **Samenhang tussen filters**



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	16	868
002	-1684	870
003	-3284	860
004	-5984	861
005	-7234	860

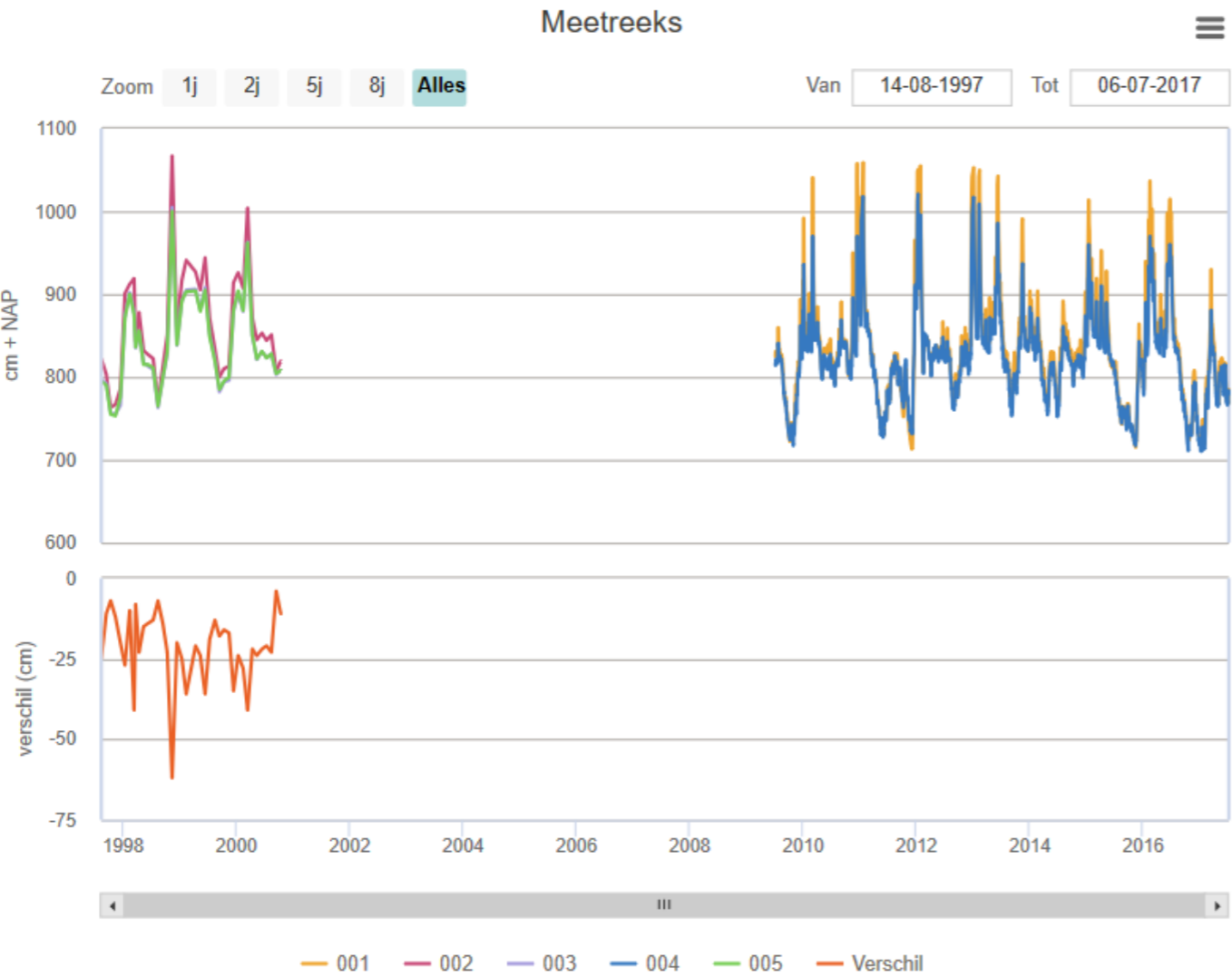
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B40B0433

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



## Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	-274	830
002	-1174	851
003	-3374	828
004	-5274	820
005	-6374	830

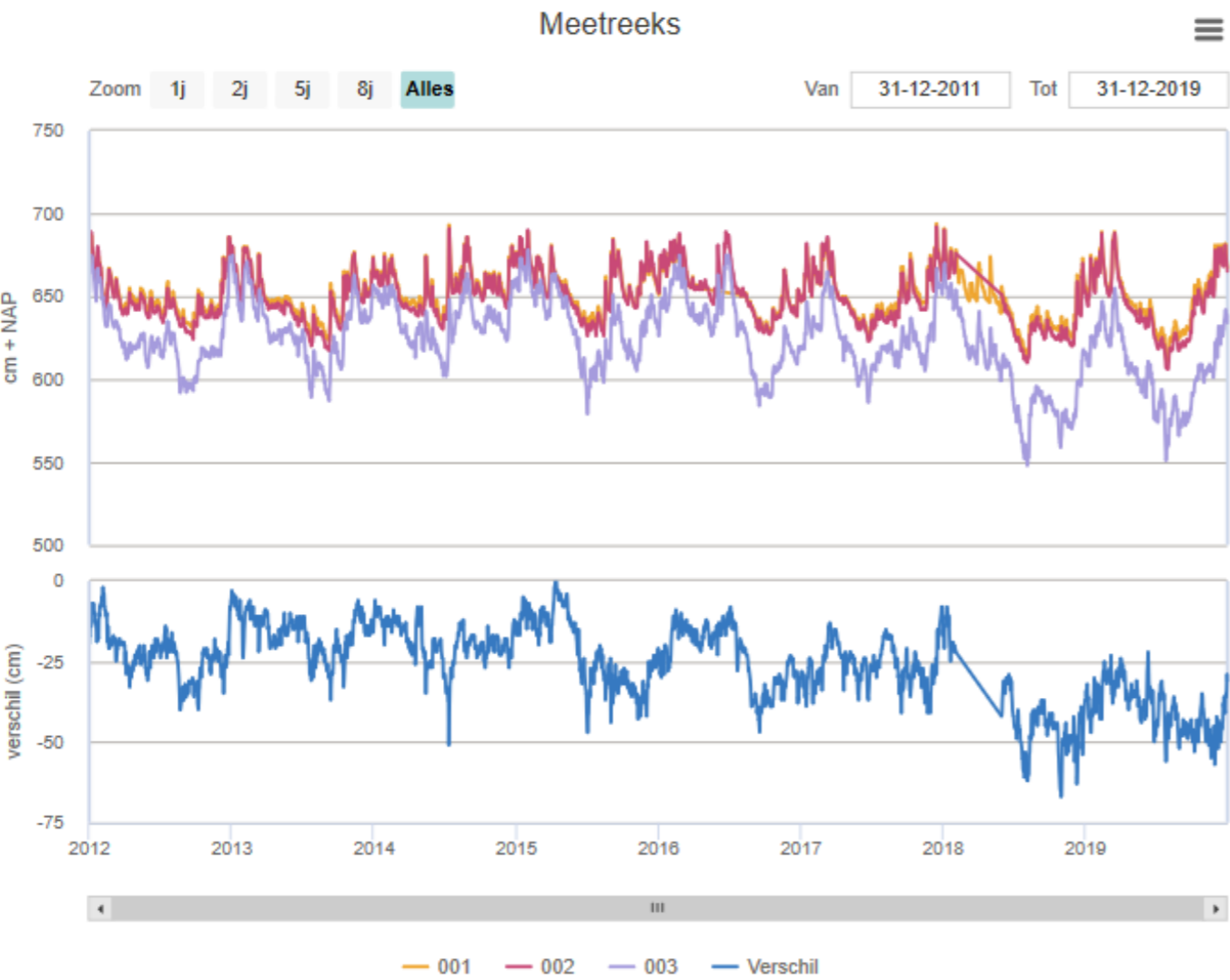
## Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003 - Filter 002

# Putlocatie B40C0550

Analyse individuele filters

Samenhang tussen filters



Karakteristieken meetreeks

Filter	Bovenkant filter cm + NAP	Mediaan cm + NAP
001	560	650
002	-535	648
003	-3495	624

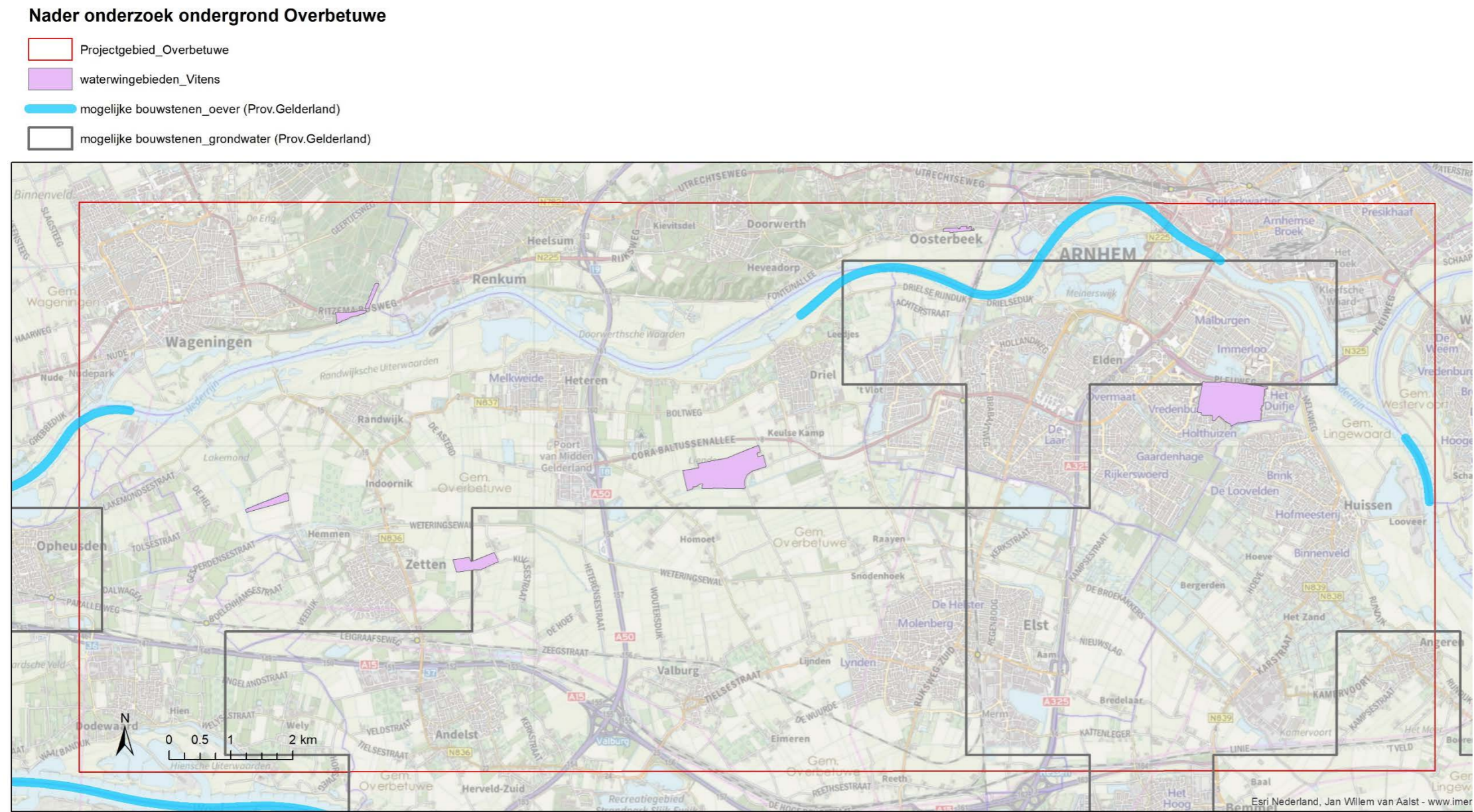
Toon verschil tussen meetreeksen

Filter 003

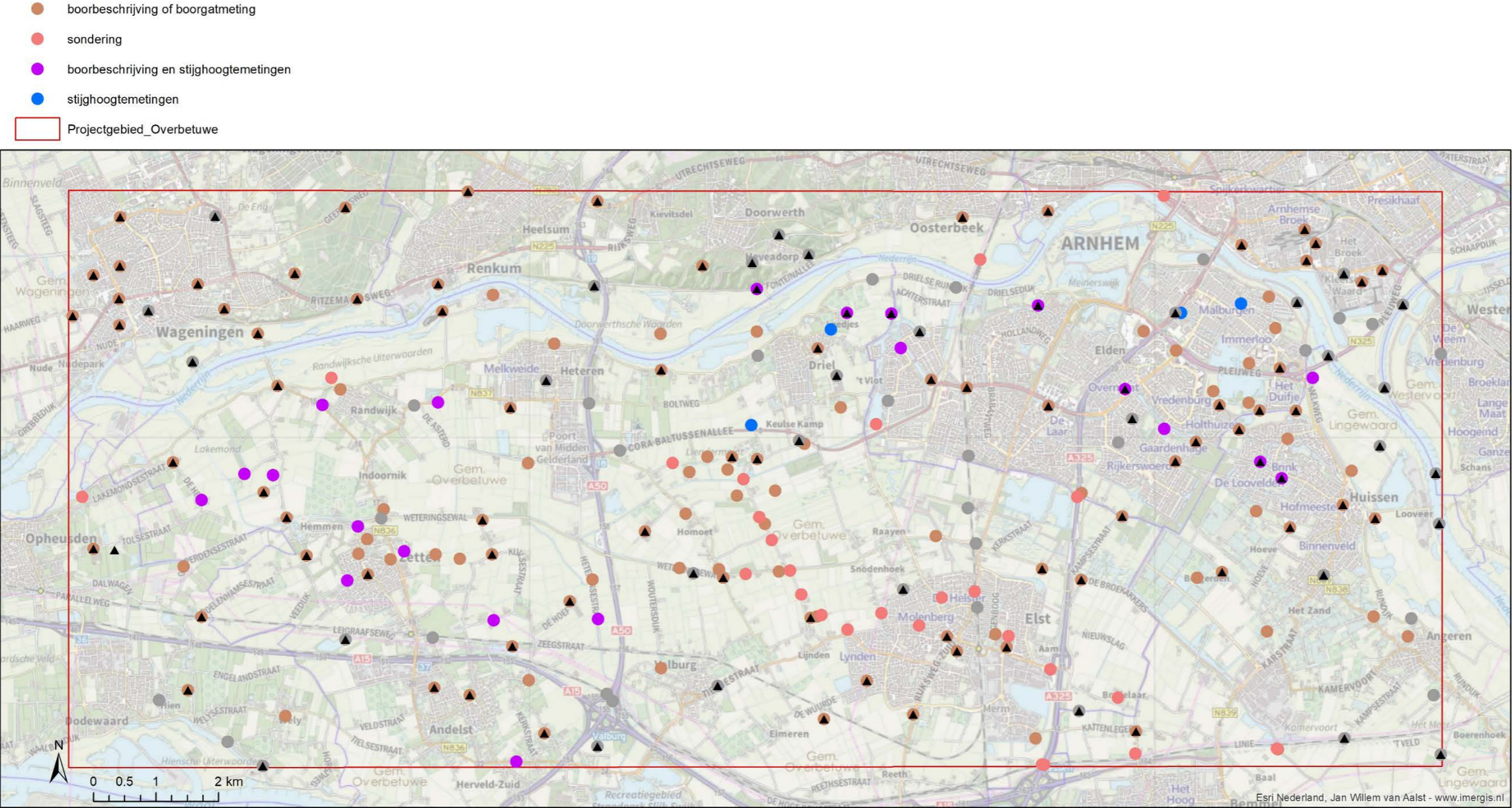
-

Filter 002

C Figuren (selectie) op A3 formaat

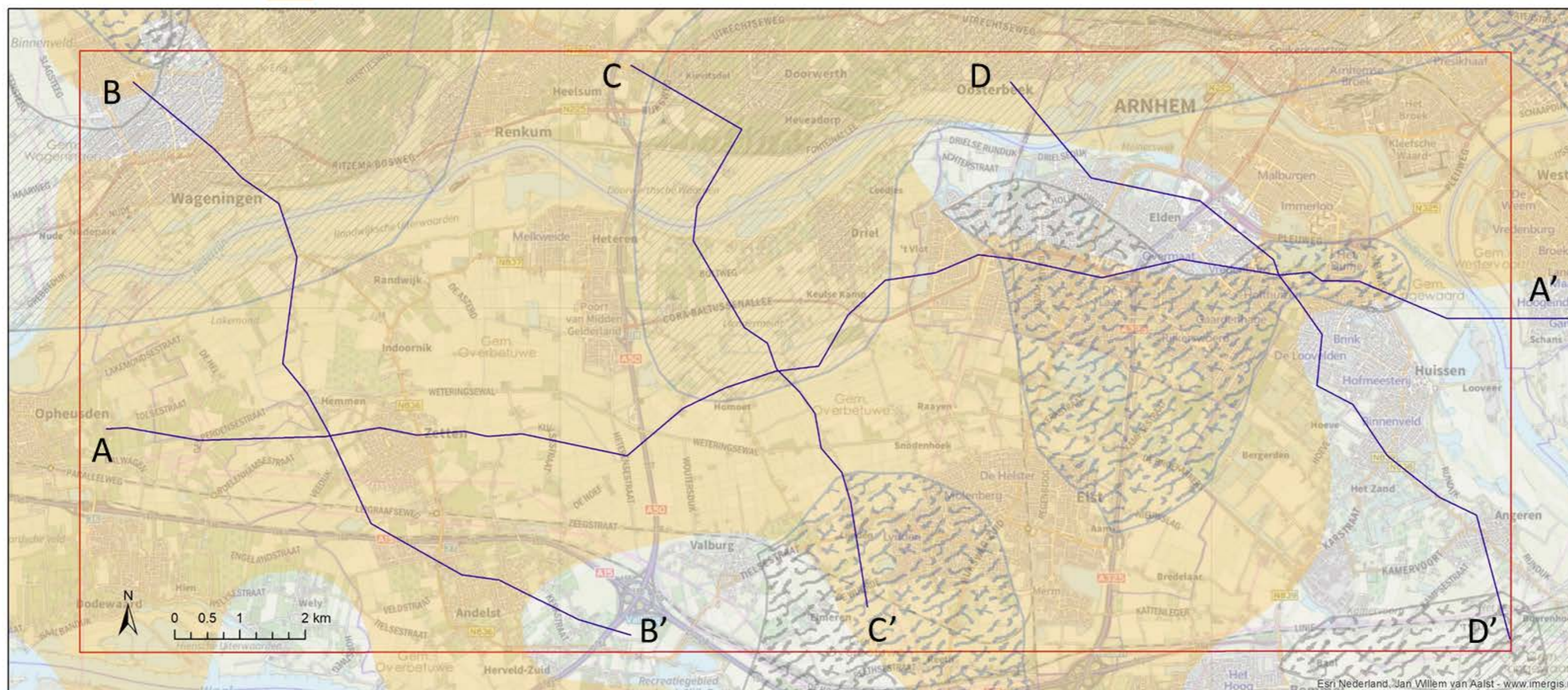


Figuur 1. Projectgebied Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe, met ligging Vitens-waterwingebieden en mogelijke bouwstenen voor strategische grondwatervoorraden Provincie Gelderland.



Figuur 2. Definitieve selectie van locaties die zijn gebruikt in het nader onderzoek ondergrond Overbetuwe.

### Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe



Figuur 3. Ligging geologische profielen met de verbreidingen van WAK1, DRGI1 en gestuwde afzettingen in REGIS II v2.2.

Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

totale\_kleidikte

- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kleidikte < 1 m
- kleidikte 1 - 10 m
- kleidikte > 10 m

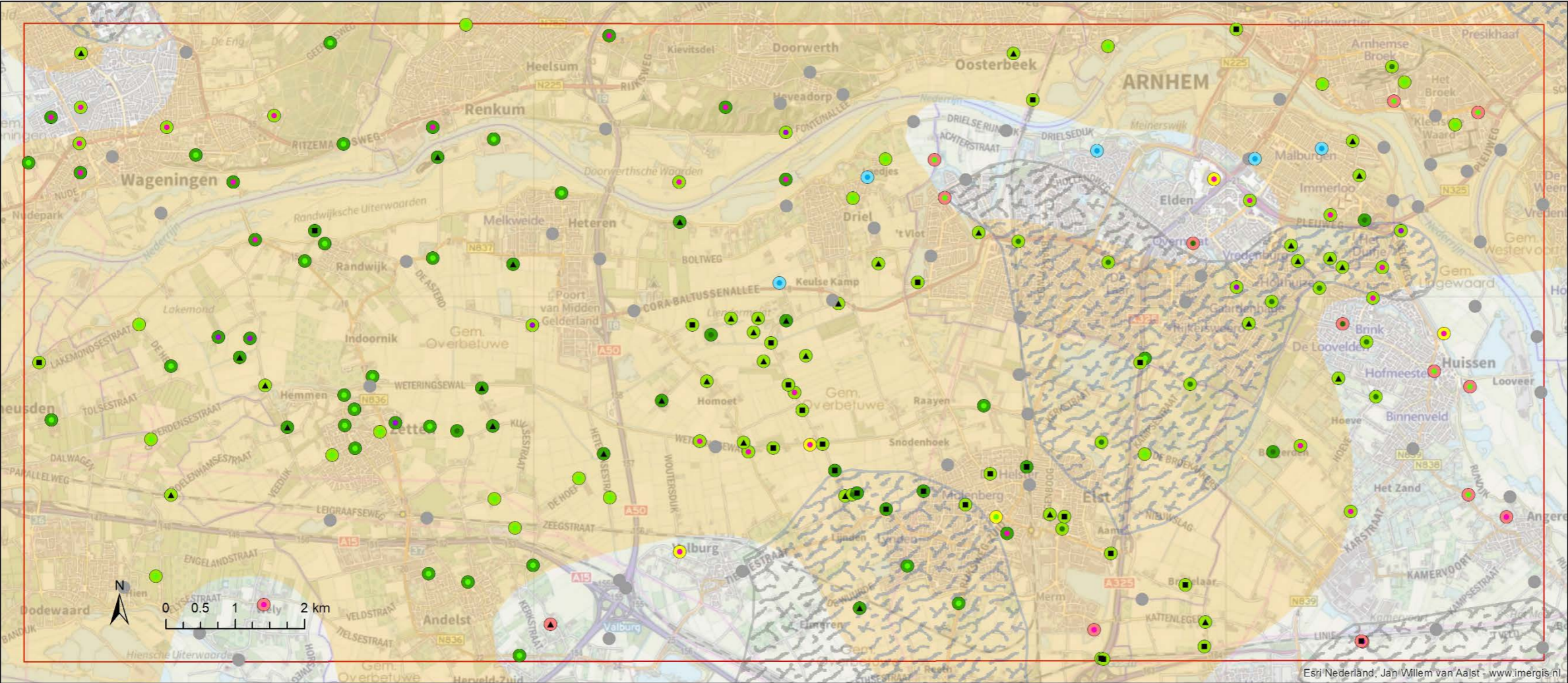
Projectgebied\_Overbetuwe

kleidikte\_gegevenstype

- boorgatmeting
- sondering
- steekboring, luchtliftboring
- pulsboring (evt. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

verbreidingen

- DRGI (REGIS II v2.2)
- WAK1 (REGIS II v2.2)



Figuur 7. Totale kleidikte WAK1 en DRGIk1.

## Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

## kleidikte\_WAK1

- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kledikte < 1 m
- kledikte 1 - 10 m
- kledikte > 10 m

## klei\_niet\_ingedeeld

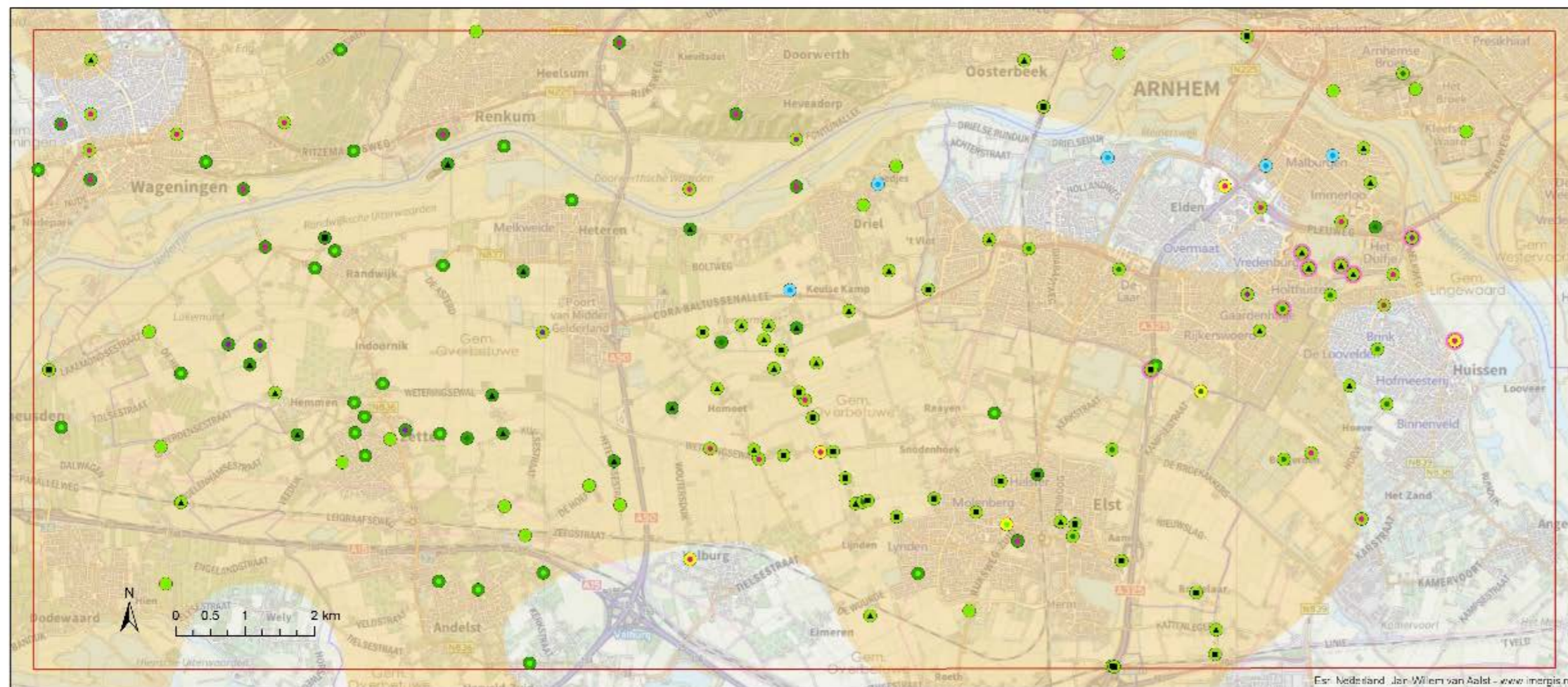
- WAK1 en/of DRG1k1
- Projectgebied\_Overbetuwe

## kleidikte\_WAK1\_gegevenstype

- ▲ boorgatmeting
- sondering
- steekboring, luchttiftboring
- pulsaboring (evl. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

## verbreidingen

- WAK1 (REGIS II v2.2)



Esri Nederland, Jan Willem van Aalst - www.inergis.nl

Figuur 8. Kleidikte van WAK1 en huidige verbreiding in REGIS II v2.2.

## Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

## kleidikte\_DRG1k1

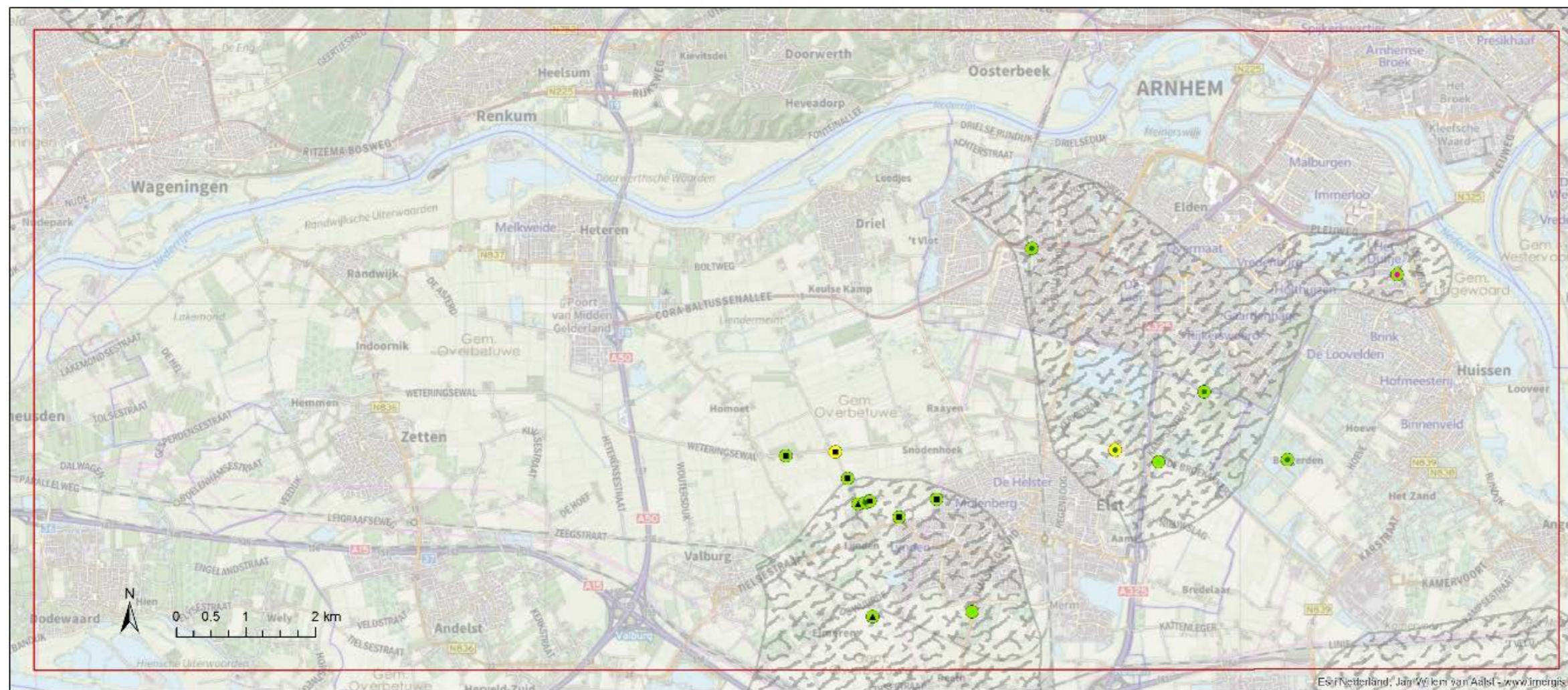
- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kleidikte < 1 m
- kleidikte 1 - 10 m
- kleidikte > 10 m
- Projectgebied\_Overbetuwe

## kleidikte\_DRG1k1\_gegevenstype

- ▲ boorgatmeting
- sondering
- steekboring, luchtliftboring
- pulsaboring (evt. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

## verbredingen

- DRGI (REGIS II v2.2)



Figuur 9. Kleidikte van DRG1k1 en huidige verbreding in REGIS II v2.2.

Nader onderzoek ondergrond Overbetuwe

totale\_kleidikte

- bovenkant klei niet bereikt
- weerstand aanwezig, diepte en dikte onbekend
- geen klei aangetroffen
- kleidikte  $\leq 1$  m
- kleidikte 1 - 10 m
- kleidikte  $> 10$  m
- Projectgebied\_Overbetuwe

kleidikte\_gegevenstype

- ▲ boorgatmeting
- sondering
- steekboring, luchtliftboring
- pulsaboring (evt. met stijghoogteverschil)
- spoel-/zuigboring of onbekend en stijghoogteverschil
- spoel-/zuigboring of onbekend
- alleen stijghoogteverschil

verbreidingen

- WAK1 (REGIS II v2.2)
- WAK1 (nieuwe verbreiding)
- Aanvullend onderzoek
  - KWR (2018)
  - TNO-GDN (2020)

waterwingebieden\_Vitens

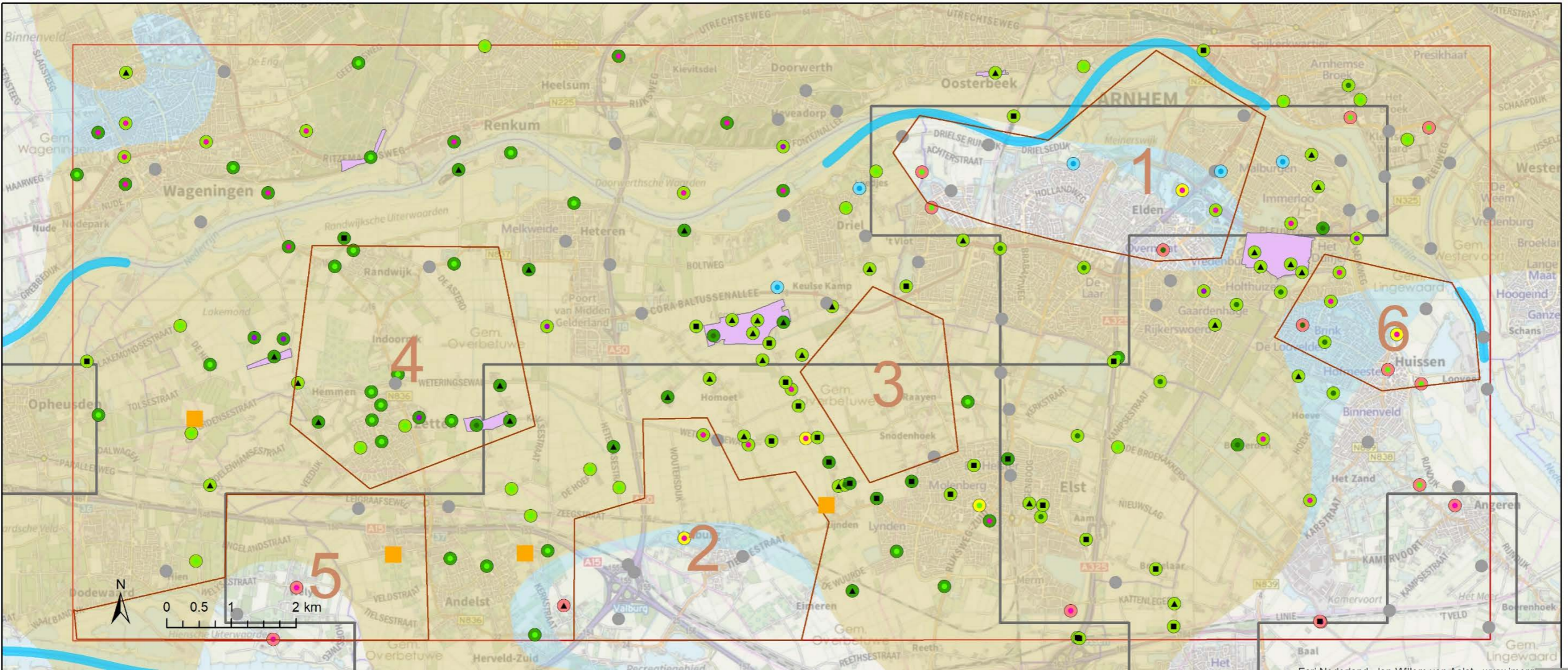
- waterwingebieden\_Vitens

mogelijke bouwstenen\_oever (Prov.Gelderland)

- mogelijke bouwstenen\_oever (Prov.Gelderland)

mogelijke bouwstenen\_grondwater (Prov.Gelderland)

- mogelijke bouwstenen\_grondwater (Prov.Gelderland)



Figuur 15. Gebieden waarvoor aanvullend onderzoek wordt aanbevolen. NB: de verbreiding van DRGIK1 is weggelaten omwille van de leesbaarheid