

EDELCHEMIE PANHEEL

Aanvullende verkenning grondwatersaneringsvarianten

Provincie Limburg

21 MAART 2019



Contactpersonen

[Redacted]

[Redacted]

Geohydroloog

[Redacted]

[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018

5200 BA 's-

Hertogenbosch

Nederland

[Redacted]

Senior consultant

[Redacted]

[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018

5200 BA 's-

Hertogenbosch

Nederland

[Redacted]

**Senior adviseur Bodem en
Ondergrond**

[Redacted]

[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018

5200 BA 's-

Hertogenbosch

Nederland

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	6
1 INLEIDING	7
1.1 Achtergrond project	7
1.2 Aanleiding en doelstelling aanvullende verkenning	7
1.3 Onderzoeksopzet	8
1.4 Leeswijzer	8
2 PROJECTACTIVITEITEN	9
2.1 Startbijeenkomst en aandachtspunten	9
2.2 Aanvullend onderzoek en monitoring	9
2.3 Sessie topkennis	10
2.4 Drinkwaternorm bromide	10
3 MODELSTUDIE	12
3.1 Gegevensbronnen	12
3.2 Grondwaterstromingsmodel	12
3.2.1 Modelgebied	12
3.2.2 Modelcode	13
3.2.3 Modelopbouw/bodemopbouw	13
3.2.4 Grondwateraanvulling/landgebruik	14
3.2.5 Oppervlaktewater	15
3.2.6 Grondwateronttrekkingen	17
3.2.7 Grondwater	18
3.3 Stoftransportmodule	19
3.3.1 Modelgebied	19
3.3.2 Modelcode	19
3.3.3 Dispersie	19
3.3.4 Verontreinigingspluim	20
3.3.5 Brontermen	21
3.4 Gevoeligheidsanalyse en kalibratie	22
3.4.1 Grondwaterstromingsmodel	22

3.4.2	Transportmodule	25
3.5	Resultaat	29
3.5.1	'Meest waarschijnlijke situatie'	29
3.5.2	Geldigheidsgebied	31
4	CONCEPTUAL SITE MODEL	32
4.1	Inleiding	32
4.2	Historie (geo)hydrologische situatie	33
4.3	Huidige (geo)hydrologische situatie	34
4.4	Bron en pluimvoorspelling	38
4.4.1	Gelijkblijvende of krimpende pluim	40
4.4.2	Toenemende pluim	40
4.5	Resumé	41
5	VERGELIJKING SANERINGSOPTIES	42
5.1	Opties en werkwijze	42
5.2	Optie 1: Monitoring grondwater en sanering grond	42
5.2.1	Beoordeling Lasten	43
5.2.2	Beoordeling Baten	43
5.3	Optie 2: Reductie nalevering brongebied	44
5.3.1	Beoordeling Lasten	44
5.3.2	Beoordeling Baten	45
5.4	Optie 3: Beheersing pluimfront	45
5.4.1	Beoordeling Lasten	45
5.4.2	Beoordeling Baten	46
5.5	Terugvalscenario: maatregelen bij de waterwinning	46
5.6	Vergelijkingstabel en keuze	47
	REFERENTIES	49
	BIJLAGEN	
	BIJLAGE A SESSIE TOPKENNIS D.D. 8 MEI 2018	50
	BIJLAGE B MODELGEBIED	53
	BIJLAGE C INMETING BODEMHOOGTE	57
	BIJLAGE D WATERSTANDEN	60

BIJLAGE E OPPERVLAKTEWATER	64
BIJLAGE F GRONDWATER	67
BIJLAGE G KALIBRATIERESULTAAT	72
BIJLAGE H HISTORISCHE TOPOGRAFIE	78
BIJLAGE I BEREKENDE CONCENTRATIES	85
COLOFON	89

SAMENVATTING

Op het terrein van Edelchemie in Panheel is een omvangrijke verontreiniging met bromide, zware metalen en VOCl aanwezig. Bromide is de maatgevende component. Tijdens een eerder onderzoek naar saneringsopties zijn extreem hoge saneringskosten berekend van 77-175 miljoen euro, reden voor de provincie Limburg om op zoek te gaan naar meer kosteneffectieve oplossingen. Daarvoor heeft Arcadis een aanvullende verkenning uitgevoerd met de nadruk op het goed begrijpen van de processen in de ondergrond en een solide vertrouwen in de voorspelling van de verspreiding van de verontreiniging. Tijdens het onderzoek is een uitgebreide grondwatermodellering uitgevoerd, met een gedegen gevoeligheidsanalyse en uiteindelijk een zeer goed en betrouwbaar kalibratieresultaat. Het resultaat is onderschreven door een team van Nederlandse experts in geohydrologie.

De modellering geeft goed inzicht in grondwaterstroming, en wijst ook op de bijzondere kronkel in de grondwaterstroming door een paar bijzondere factoren zoals de afwijkende stijghoogten bij de RWZI en de blokkade van het grindpakket van Beegden door de ontgroningen van Het Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas. Door de specifieke bodemopbouw wordt de grondwaterstroming door een smalle strook onder de Jachthaven Boschmolenplas en de overgang naar Het Tesken gestuurd. De grondwatermodellering maakt ook duidelijk dat ter plaatse van het Edelchemie-terrein de grondwaterstromingssnelheid nagenoeg nihil is, terwijl na passage van Het Tesken de snelheid sterk toeneemt.

De berekeningen laten met grote betrouwbaarheid zien dat de verontreinigingen vanaf het Edelchemie-terrein de drinkwaterwinningen van de WML niet zullen bereiken. Allereerst zullen stroombanen vanaf het terrein van Edelchemie altijd in het Lateraalkanaal terecht komen. Het is bovendien niet zeker of daadwerkelijk een grote lange pluim zal ontstaan waarmee het ook niet zeker is of het grondwater dat het Lateraalkanaal bereikt nog daadwerkelijk verontreinigd is. Ondanks een groot aantal verschillende stoftransportberekeningen met verschillende aannames voor de nalevering vanuit de bronzone is de verspreiding in de praktijk aanzienlijk langzamer of beperker dan de modelverwachtingen.

Het feit dat er niet meer sprake is van risico's voor de drinkwaterwinning of het Lateraalkanaal maakt dat niet langer zeer kostbare saneringsmaatregelen nodig zijn, en dat in de basis kan worden volstaan met monitoring van circa 20 jaar. De onzekerheid over de nalevering uit de bronzone op het Edelchemie-terrein leidt er toe dat wordt voorgesteld om deze zone versneld te doorspoelen, om het risico te verminderen dat een (weliswaar weinig risicovolle) grondwaterverontreiniging ontstaat onder Heel richting Lateraalkanaal. Bovendien ontstaat door deze gerichte saneringsactie inzicht in de nalevering.

Ten opzichte van eerdere ramingen van de saneringskosten (RHDHV 2016) nemen de geraamde saneringskosten met de nu voorgestelde maatregelen (monitoring en doorspoeling bronzone) af van minimaal 77 miljoen naar 6-7 miljoen, en wordt desalniettemin een robuuste, stabiele milieuhygiënische acceptabele eindtoestand bereikt.

1 INLEIDING

In opdracht van de provincie Limburg is Arcadis medio september 2017 gestart met de uitvoering van het project “Aanvullende verkenning grondwater saneringsvarianten en saneringsplan Edelchemie Panheel”. De afgelopen maanden is in dat kader het geohydrologisch model geoptimaliseerd, een CSM opgesteld en een aantal saneringsopties uitgewerkt en beoordeeld. In deze rapportage gaan wij nader in op de uitgevoerde werkzaamheden.

1.1 Achtergrond project

Op en nabij het terrein van Edelchemie is sprake van een ernstig en spoedeisend te saneren geval van bodemverontreiniging, dat mogelijk een bedreiging vormt voor de onttrekkingsputten van het Waterproductiebedrijf Heel. Op het terrein in Panheel heeft het bedrijf Edelchemie tussen 1974 en 2005 reststoffen verwerkt. Daardoor is het grondwater sterk verontreinigd geraakt met zware metalen, bromide en in mindere mate Vluchtige Organo-Chloorverbindingen (VOC). Het terrein is gelegen in het grondwaterbeschermingsgebied van Waterproductiebedrijf Heel. Met name bromide als meest mobiele component wordt gezien als meest bedreigende component.

In de periode van ca. 2012 – 2015 zijn alle ter plaatse van het terrein Edelchemie Panheel BV aanwezige afvalstoffen (en afvalwater) afgevoerd en verwijderd. Aansluitend zijn de installaties (ovens, schoorstenen, smelterij) afgebroken en verwijderd. Momenteel resteert een (grotendeels) verhard leeg bedrijfsterrein met enkele gebouwen en enkele (betonnen) bassins. Er vinden geen bedrijfsactiviteiten meer plaats.

Op basis van het uitgevoerde nader bodemonderzoek is op 30 september 2014 door Gedeputeerde Staten van Limburg het definitieve besluit “ernst en spoed” in het kader van de Wet bodembescherming (Wbb) genomen. In dit besluit zijn de volgende maatregelen voorgeschreven:

- binnen 2 jaar moet een saneringsplan bij de provincie zijn ingediend (ofwel uiterlijk november 2016, hiervoor is echter uitstel verleend vanwege momenteel gaande gesprekken);
- binnen 4 jaar moet zijn gestart met de sanering (uiterlijk november 2018);
- vanaf april 2015 moeten monitoringsgegevens worden overgelegd met betrekking tot de verspreiding van verontreinigingen in het grondwater.

De centrale doelstelling van de inspanning van de provincie Limburg ten aanzien van de aanwezige bodemverontreiniging (grond- en grondwater) is om ‘te komen tot een beheersbare situatie’. Onder een beheersbare situatie ten aanzien van de aanwezige verontreinigingen wordt verstaan dat de bodem geschikt dient te worden gemaakt voor de functie die het krijgt waarbij het risico voor mens, plant of dier als gevolg van blootstelling aan de verontreinigingen zoveel mogelijk wordt beperkt. Voor de grond betekent dit dat er nog een sanering van bovengrond dient plaats te vinden om het terrein geschikt te maken voor toekomstig (industriële gebruik).

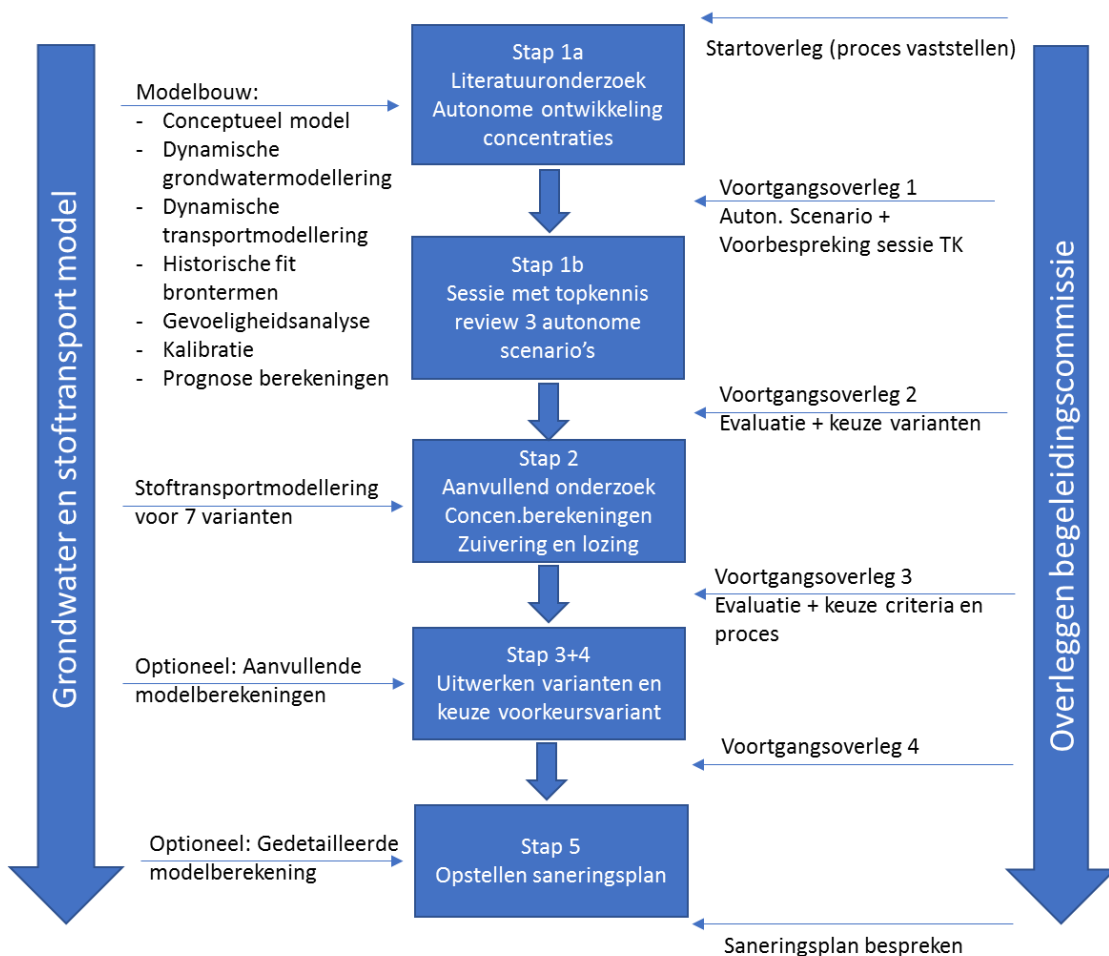
Daarnaast moet het risico van de verspreiding van verontreinigende stoffen worden beperkt en maatregelen worden genomen zodanig dat er geen risico meer bestaat voor de drinkwatervoorziening van WML (alsmede Dunea en Evides). Ook de noodzaak tot het nemen van maatregelen en beperkingen in het gebruik van de bodem (de nazorg) moet zo beperkt als mogelijk worden gehouden.

1.2 Aanleiding en doelstelling aanvullende verkenning

Als eerste stap zijn om te komen naar een effectieve aanpak zijn door Royal Haskoning DHV in 2016 vijf saneringsvarianten beschouwd. Uit dat onderzoek bleek dat met name de hoeveelheid te verplaatsen water (waterbezwaar), de zuivering en de duur hiervan (langdurige) extreem hoge kosten met zich meebrengen. De ingrepen zijn dermate kostbaar dat de provincie op zoek is naar meer kosteneffectieve opties. Het is uiteraard mogelijk dat er nog niet benoemde varianten of combinaties van varianten zijn gemist. De provincie Limburg wil behalve meer sober en doelmatige oplossingen, het vervolg proces zodanig inrichten dat ook later in retrospectief kan worden gezegd dat er alles aan gedaan is om de beste saneringsvariant te vinden. In dat kader is Arcadis gevraagd om een aanvullende verkenning uit te voeren naar meer kosteneffectieve varianten; varianten die tegen aanvaardbare kosten de continuering van winning van drinkwater waarborgen. Nadrukkelijk wordt gevraagd om een bredere blik, met innovatieve ideeën en slimme aanpakken.

1.3 Onderzoeksopzet

In onderstaand schema zijn de onderzoekstappen weergegeven zoals we deze in ons onderzoeksvoorstel d.d. 1 juni 2017 (kenmerk: 079431206 A) hebben opgenomen. In ons voorstel hebben we aangegeven dat het voor het opstellen van saneringsvarianten van groot belang is om te beschikken over een breed gedragen Conceptueel Site Model en een betrouwbaar beeld van de autonome ontwikkeling. Het 'meest waarschijnlijke situatie' gaat uit van de (geo)hydrologische omstandigheden anno 2018, zonder grootschalige wijzigingen in de huidige randvoorwaarden en condities. We hebben daarom in de eerste stappen uitgebreid aandacht besteed aan het opstellen van een betrouwbaar stoftransportmodel en de verificatie daarvan door externe deskundigen en specialisten (sessie topkennis). In deze rapportage zijn de resultaten van stap 1 tot en met 4 weergegeven. Op basis van deze rapportage kan de voorkeursvariant worden vastgesteld. Na het vaststellen van de voorkeursvariant wordt deze nader uitgewerkt in een saneringsplan.



Figuur 1 Onderzoeksopzet

1.4 Leeswijzer

In deze rapportage komen achtereenvolgens de volgende zaken aan de orde:

- Een beschrijving van de projectstappen en onderbouwing bromidenorm
- De opbouw en kalibratie van het geohydrologisch en stoftransport model;
- Het Conceptual Site Model (CSM)
- En tenslotte de uitwerking en afweging van de saneringsopties

2 PROJECTACTIVITEITEN

2.1 Startbijeenkomst en aandachtspunten

In de startbijeenkomst (30 augustus 2017) is geconstateerd dat het krijgen van grip op de actuele situatie door het verzamelen en analyseren van (aanvullende) informatie en een verdergaande modellering van grondwaterstroming en stoftransport resulterend in een breed gedragen conceptueel model een must is. Bijzonder aandachtspunt in het onderzoeksgebied betreft het gegeven dat ten gevolge van de steeds weer wisselende peilen in het oppervlaktewater en de start van de drinkwaterwinning de grondwaterstromingsrichting in het gebied steeds weer gewijzigd is. Tijdens de startbijeenkomst is aangegeven dat de modelstudie wordt gebruikt om de invloed van deze activiteiten op de grondwaterstromingsrichting en -snelheid in beeld te brengen. Een betrouwbare modellering valt of staat met betrouwbare data als input voor het model (kwantitatief en kwalitatief).

Op basis van een grondige bestudering van de beschikbare informatie zijn bij aanvang van het project de volgende aandachtspunten c.q. leemten in kennis geconstateerd:

- De verontreiniging met bromide in de peilbuizen dichtbij het puttenveld Langven kunnen niet goed worden verklaard met het grondwaterstromingsbeeld uit de monitoring en modellering. Hiervoor zou de grondwaterstroming veel noordelijker moeten zijn dan op basis van de monitoring door Antea Group en de modelstudie door RHDHV is bepaald. De stroombanen die kunnen worden ingetekend op basis van de isohypsen uit de monitoring en de modelstudie geven aan dat stroming vanaf het Edelchemie-terrein in noordoostelijke richting naar het Lateraalkanaal is.
- De historische (topografische) kaarten van het gebied tonen dat Het Tesken pas eind vorige eeuw zijn huidige omvang heeft gekregen. Op het moment van de ontgravingen rond Het Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas was Edelchemie al decennia actief waardoor het ontgraven materiaal verontreinigd kan zijn geweest. Een deel van dit materiaal (toutvenant) is mogelijk weer toegepast in de omgeving van de huidige Boschmolenplas. Oostelijk van deze plas zijn bij de start van het onderzoek geen meetpunten beschikbaar, of de filters zitten te diep om een eventuele verspreiding vanuit de Boschmolenplas waar te nemen.
- De meetpunten direct ten oosten van Het Tesken zijn doorgezet tot een diepte van 40 m -mv. Het filter op 40 meter bevat sterke verontreinigingen. Dieper is niet gemeten. In de directe omgeving van het bedrijfsterrein van Edelchemie zijn verontreinigingen aangetoond op 40 m -mv en op grotere diepte tot bijna 60 m -mv. Het is dus aannemelijk dat de verontreinigingen zich verder stroomafwaarts, ten oosten van Het Tesken, ook dieper 40 m -mv kunnen verspreiden. Direct ten oosten van Het Tesken zijn echter geen meetpunten op dit diepteniveau beschikbaar.
- Tussen Het Tesken/Jachthaven Boschmolen en puttenveld Het Langven ontbreken meetpunten om de samenhang van de metingen rond Het Tesken/Jachthaven Boschmolen en de metingen bij Het Langven te beoordelen.

2.2 Aanvullend onderzoek en monitoring

Om nadere invulling te kunnen geven aan bovenstaande aandachtspunten c.q. leemten in kennis is in de periode december 2017 tot en met februari 2018 het monitoringmeetnet uitgebreid met de volgende meetpunten:

- Vier boringen tot 25 m -mv met filters op 8, 16 en 25 m -mv, direct ten oosten van de Boschmolenplas;
- Twee boringen tot 60 m -mv met filters op respectievelijk 47, 52 en 60 m -mv en 30, 40, 50 en 60 m -mv, direct ten oosten van Het Tesken;
- Drie boringen tot 60 m -mv met filters op 25, 38, 48 en 58 m -mv in het gebied tussen Het Tesken/Jachthaven Boschmolen en puttenveld Het Langven (kern Heel).

De bemonstering van de peilbuizen en analyse van de monsters zijn meegenomen tijdens de reguliere monitoringronde uitgevoerd door Antea Group. Voor nadere informatie over de nieuwe peilbuizen en de resultaten van de monitoring verwijzen we naar de rapportage van deze monitoringronde ([ref.#4](#)). Het aanvullend onderzoek en een nieuwe monitoringronde is in de periode november 2017 – februari 2018 uitgevoerd.

Na het beschikbaar komen van de resultaten van het aanvullend onderzoek (maart 2018), zijn de werkzaamheden aan het Conceptueel Site Model, de opzet en kalibratie van het stoftransportmodel en het berekenen van het 'meest waarschijnlijke situatie' voortgezet. Het 'meest waarschijnlijke situatie' gaat uit van de (geo)hydrologische omstandigheden anno 2018, zonder grootschalige wijzigingen in de huidige randvoorwaarde en condities. Er is extra tijd besteedt aan het beter in kaart brengen en doorgronden van de grondwaterstroming en de verspreiding van de verontreinigingen. Hierdoor is de planning en doorlooptijd van het project is met een aantal maanden uitgebreid.

2.3 Sessie topkennis

Het conceptueel model (CSM; hoofdstuk 4), veldsituatie en hydrologische modelstudie zijn gepresenteerd en besproken tijdens een werksessie 'topkennis' met (externe) deskundigen rondom het onderwerp en project (d.d. 8 mei 2018). Het doel van deze werksessie was om:

- draagvlak en deskundige beoordeling (review) van het stromings- en stoftransportmodel te verkrijgen, en;
- een breed scala aan veelbelovende kosteneffectieve saneringsopties te inventariseren.

Tijdens de werksessie is de monitoring, de hydrogeologische modelstudie en het conceptueel model toegelicht en besproken. De algemene conclusie onder de aanwezige deskundigen was dat in deze aanvullende verkenning de juiste conclusies en resultaten zijn gepresenteerd:

“De berekende grondwaterstroming komt goed overeen met de metingen”

Onder de deelnemers aan de sessie topkennis is consensus over het feit dat nu onderbouwd is dat door het grote verschil in grondwaterstanden de verontreinigingspluim zich richting het lateraalkanaal verspreid en niet richting het puttenveld. Hiermee voor de drinkwaterwinning vooral de belasting van het oppervlaktewater in het Lateraalkanaal, waar drinkwater uit wordt ingenomen, van belang.

In **Bijlage A** zijn het programma en de lijst van deelnemers van de sessie topkennis opgenomen.

Aanbevelingen voor nader onderzoek zijn voornamelijk gericht op het verifiëren van het CSM. Bijvoorbeeld door het plaatsen van aanvullende meetpunten, uitvoeren van geo-electrische metingen, pompproeven en/of EC-metingen. Mogelijke aanbevolen varianten zijn geïnventariseerd en zijn nader toegelicht in **hoofdstuk 5**.

Aansluitend zijn nog enkele verbeteringen het geohydrologisch model doorgevoerd en zijn de scenario's nader uitgewerkt en afgewogen.

2.4 Drinkwaternorm bromide

Op verzoek van WML heeft het ministerie van I&M in een e-mail van 25 januari 2017 een voorlopige richtwaarde voor bromide in drinkwater aangereikt. Het verzoek is gedaan in relatie tot het risico dat de verspreiding in het grondwater van de bromide verontreiniging afkomstig van Edelchemie te Panheel kan gaan vormen voor één van de puttenvelden van Waterproductiebedrijf Heel. Hieronder is de reactie van het ministerie opgenomen.

Bromide is een stof die zowel van nature als antropogeen voorkomt en waarvoor geen maximum waarde in het Drinkwaterbesluit is opgenomen. Bromide leidt op dit moment - landelijk verspreid - niet (frequent) tot verhoogde concentraties in drinkwater en drinkwaterbronnen, zodanig dat deze een probleem vormen voor de volksgezondheid. Bromide kan echter mogelijk op termijn voor de drinkwatervoorziening in Heel een lokaal risico voor de volksgezondheid gaan vormen, als gevolg van de bodemverontreiniging lokaal.

Ingevolge art 21 lid 1 van de Drinkwaterwet draagt de eigenaar van een drinkwaterbedrijf er zorg voor dat het drinkwater dat hij aan consumenten of andere afnemers ter beschikking stelt, geen organismen, parasieten of stoffen bevat, in aantallen per volume-eenheid of concentraties, die nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen hebben.

Wij hebben daarom het RIVM gevraagd om de gezondheidsrisico's van deze stof te onderzoeken en een richtinggevend advies te geven tot welke concentratie in het drinkwater de risico's toxicologisch

aanvaardbaar zijn. Op basis van WHO uitgangspunten en staand drinkwaterbeleid komt het RIVM tot een advies waarbij men een concentratie van 2,8 mg/l bromide in drinkwater qua risico's voor de volksgezondheid aanvaardbaar acht.

Wij kunnen deze gezondheidskundige advieswaarde voor de drinkwatervoorziening in Heel als voorlopige richtwaarde overnemen. De voorlopige richtwaarde voor bromide in drinkwater heeft betrekking op deze specifieke casus en geldt niet voor andere drinkwatervoorzieningen. Uitgangspunt daarbij is dat geen oxidatieve zuiveringstechnieken (met ozon of chloor) door WML worden toegepast. Dit om bromaatvorming te voorkomen.

Indien deze voorlopige richtwaarde wordt overschreden en deze overschrijding naar het oordeel van de ILT gevaar kan opleveren voor de volksgezondheid, kan er aanleiding zijn om de levering van drinkwater op grond van artikel 52 DWW te beperken of verbieden.

3 MODELSTUDIE

In dit hoofdstuk zijn de aanpassingen aan het geohydrologisch model en de opzet van het stoftransportmodel beschreven. Op basis van dit model is het ‘meest waarschijnlijke situatie’ uitgewerkt. Het ‘meest waarschijnlijke situatie’ gaat uit van de (geo)hydrologische omstandigheden anno 2018, zonder grootschalige wijzigingen in de huidige randvoorwaarde en condities. Met het model kunnen ook de effecten van de actieve scenario’s voor de aanpak van de grondwater verontreinigingen worden gesimuleerd. Ten behoeve van de aanpassingen van het model is een groot aantal gegevensbronnen geraadpleegd en zijn data geanalyseerd. Hieronder zijn deze gegevensbronnen, de analyse daarvan en de aanpassing en kalibratie van het model beschreven. Aan het eind van dit hoofdstuk is het stoftransportmodel beschreven.

3.1 Gegevensbronnen

Het grondwatermodel ‘Edelchemie’ uit de studie “Nadere verkenning saneringsvarianten Edelchemie te Panheel” (ref.#18), hierna aangeduid als het ‘Basismodel’, is voor het aanvullend onderzoek bijgewerkt met nieuwe gegevens en inzichten. Hiervoor zijn de volgende gegevensbronnen gebruikt:

- boringen uit het dossier Edelchemie, aangeleverd door de opdrachtgever (Provincie Limburg);
- boringen opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (BRO, www.dinoloket.nl);
- het regionaal hydrogeologisch informatiesysteem II versie 2.2 (REGIS II v2.2, 2017, www.dinoloket.nl);
- grondwateronttrekkingen (Provincie Limburg & Waterleiding Maatschappij Limburg);
- grondwaterstanden en waterkwaliteitsgegevens gemonitord door Antea Group (ref.#1;#2;#3;#4);
- grondwaterstanden opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (www.dinoloket.nl);
- oppervlaktewater/leggergegevens (Waterschap Limburg);
- oppervlaktewaterstanden Lange Vlieter en Boschmolenplas (Waterleiding Maatschappij Limburg);
- oppervlaktewaterstanden rivieren en kanalen (Rijkswaterstaat, www.live.waterbase.nl, www.rijkswaterstaat.nl/water);
- bathymetrie / bodemhoogten van Tesken en Jachthaven Boschmolenplas (ref.#11);
- landgebruik en topografie (TDN Kadaster, BRT TOP10NL, www.kadaster.nl);
- neerslag & verdampingsgegevens (KNMI, www.knmi.nl).

3.2 Grondwaterstromingsmodel

Het vertrekpunt van de modellering is het gekalibreerd grondwaterstromingsmodel uit de studie “Nadere verkenning saneringsvarianten Edelchemie te Panheel” (ref.#18), ook wel aangeduid als het model na ‘kalibratie stap 2’. Dit is het gekalibreerd model waarbij de berekende grondwaterstanden en stijghoogten het meest overeenkomen met de metingen.

In hoofdstuk 4 is het *conceptual site model* (CSM) beschreven. Op basis van het CSM, beschikbare informatie, kennis en inzichten is op basis van het bestaande grondwatermodel een detailmodel opgesteld dat is geoptimaliseerd voor de aanvullende verkenning. Diverse randvoorwaarden en variabelen (modelinvoer) zijn hiervoor bijgewerkt, verfijnd, aangepast, verbeterd en gekalibreerd. In deze paragraaf zijn de aanpassingen aan het grondwaterstromingsmodel toegelicht. De gevoeligheidsanalyse en kalibratie is toegelicht in paragraaf 3.4).

3.2.1 Modelgebied

Het bestaande model uit de nadere verkenning is circa 11 km bij 8 km groot en noord-gericht. Het detailmodel dat is opgesteld voor de grondwaterstromingsberekeningen is circa 7,5 km bij 5,5 km en 30 graden gedraaid. Het grondwaterstromingsmodel heeft een resolutie van 50x50 m, 25x25 m en 12,5x12,5 m voor het aandachtsgebied. De redenen voor de aanpassing van het modelgebied voor het detailmodel is tweeledig:

1. vermindering van het aantal modelcellen in de x/y-richting om het aantal modelcellen in de z-richting te verhogen, zonder daarbij de rekentijden (doorlooptijden) explosief toe te laten nemen. Een detaillering van de modelopbouw in de z-richting is vooral van belang voor nauwkeurige transportberekeningen;
2. 30 graden gedraaid om het modelgrid zo parallel mogelijk op de grondwaterstroming en stoftransport te richten voor nauwkeurigere berekeningen (minimaliseren van numerieke dispersie).

De locatie Edelchemie, het WML Waterproductiebedrijf Heel (De Reut, Het Langven en De Galgenberg) en verontreinigingspluim zijn in het midden van het detailmodel gelegen. De stoftransportberekeningen zijn uitgevoerd binnen een modelgebied van 4,2 km bij 4,7 km, met een resolutie van 12,5x12,5 m (zie [Bijlage B](#)).

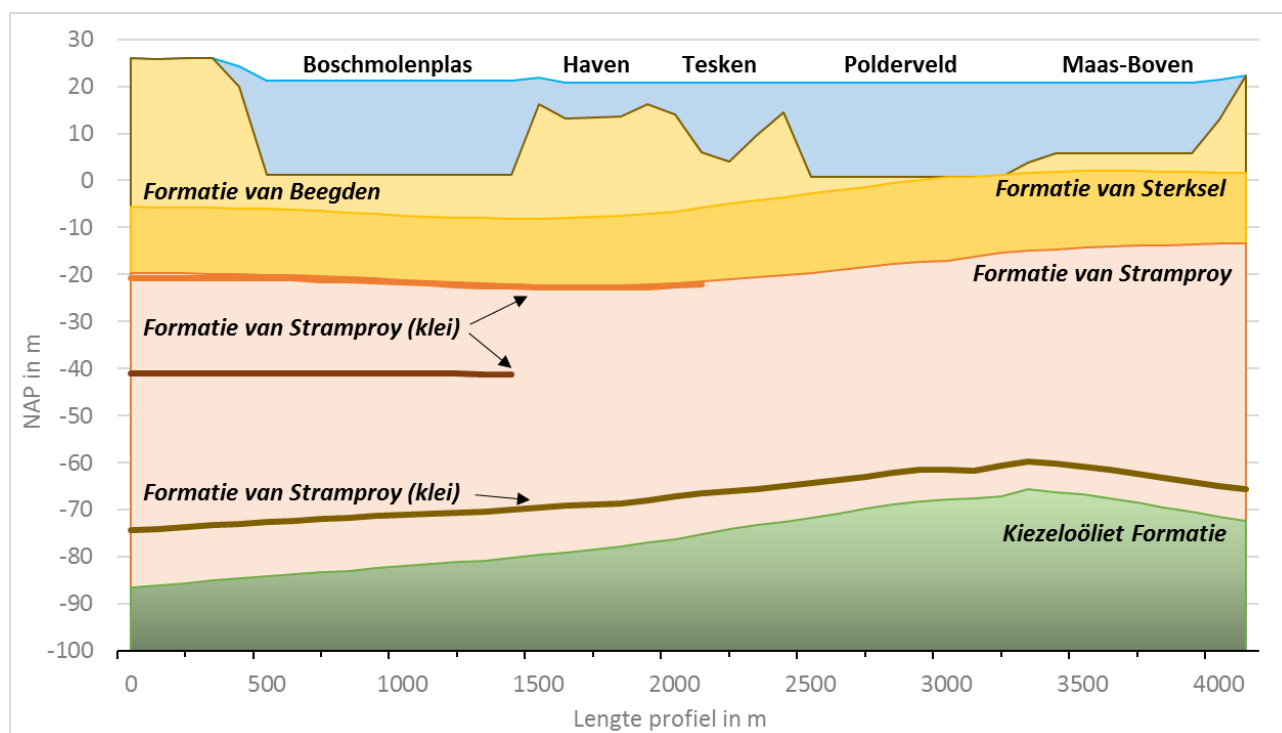
3.2.2 Modelcode

Voor het grondwaterstromingsmodel is gebruik gemaakt van de modelcode *MODFLOW-USG* ([ref.#15](#)), om met 'Unstructured Grid/Quadtree Refinement' de verschillende modelresoluties in de x,y-richting te verkrijgen en verkennende stoftransportberekeningen uit te voeren. De scenario's met stoftransportberekeningen zijn uitgevoerd met de modelcode *MODFLOW2005* ([ref.#12](#)) en *MT3DMS* ([ref.#21](#)). De modellen zijn opgebouwd in de modelleromgeving *Groundwater Vistas 6* (GWV; [ref.#19](#)). De modelresultaten en het 3D-CSM zijn weergegeven in *Groundwater Modeling System* (GMS; [ref.#5](#)). Zowel GWV als GMS zijn gebruikersschillen voor het aanmaken van modelinput en het analyseren van de modeloutput.

3.2.3 Modelopbouw/bodemopbouw

Voor het detailmodel is hydrogeologische bodemopbouw uit het Basismodel verder gedetailleerd op basis van REGISIIv2.2, maaiveldhoogte (AHN2) lokale informatie uit boringen en aangenomen bodemhoogtes van grotere oppervlaktewater (Maas, Lateraalkanaal en plassen). Het maaiveld van Panheel en Heel ligt rond de NAP 27,0 m. De eerste modellaag is circa 7 m dik (Formatie van Boxtel) met een gemiddelde doorlatendheid van 6 m/d. De overige modelopbouw is geschematiseerd in 19 modellagen van 5 m dik voor nauwkeurigere transportberekeningen.

De doorlatendheid van het circa 20 m dikke grindpakket van de Formatie van Beegden varieert tussen de 100 m/d en 200 m/d. Op circa 30 m beneden maaiveld (NAP -3,0 m) is een overgang aangenomen van grind naar zand waarin lokaal kleilagen en minder doorlatend zand is waargenomen in boringen. De doorlatendheid van de voornamelijk grove zanden van de Formatie van Sterksel is circa 75 m/d over een dikte van circa 15 m (NAP -20,0 m). Tot een diepte van 100 m beneden maaiveld (NAP -75 m) zijn de fijnere zanden en kleilagen van de Formatie van Stramproy aangenomen met een gemiddelde doorlatendheid van 10 tot 20 m/d. De Kiezeloöliet Formatie is aangehouden als geohydrologische basis. De beschreven bodemopbouw is in een noordwest-zuidoost dwarsdoorsnede weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 | Lengteprofiel (noordwest-zuidoost) van de Boschmolenplas tot Maas-Boven.

3.2.4 Grondwateraanvulling/landgebruik

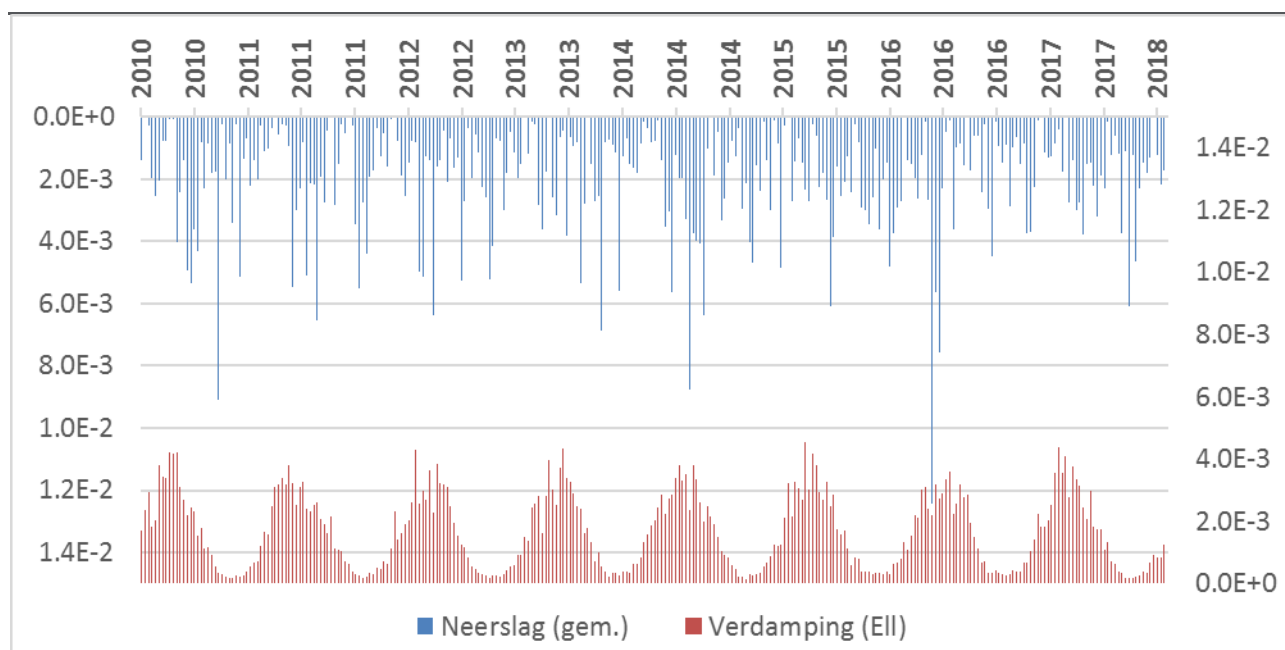
Voor het detailmodel Edelchemie is nieuwe modelinvoer gegenereerd voor de grondwateraanvulling per landgebruik type (op basis van de Basisregistratie Topografie TOP10NL2016, TDN Kadaster). De topografie is ingedeeld in 10 hoofdklassen landgebruik. Per hoofdklasse is voor de hydrologische langjarige periode april 2010 tot april 2018 een gemiddelde grondwateraanvulling berekend.

- gemiddelde neerslag van de KNMI-meteostations Ell, Heibloem, Echt en Roermond;
- Makkink referentie-gewasverdamping van KNMI-meteostation Ell;
- referentiegewasfactor per landgebruik type (ref.#6);
- reductiefactor voor neerslag (ref.#6).

Voor het detailmodel komt dit neer op een gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling van circa 115 mm. Dit is minder dan de helft van het landelijk gemiddelde van circa 250 mm. Door het grote areaal oppervlaktewater binnen het modelgebied is dit een plausibele waarde.

Tabel 1 | Gemiddelde grondwateraanvulling in mm per jaar voor de periode april 2010 tot april 2018

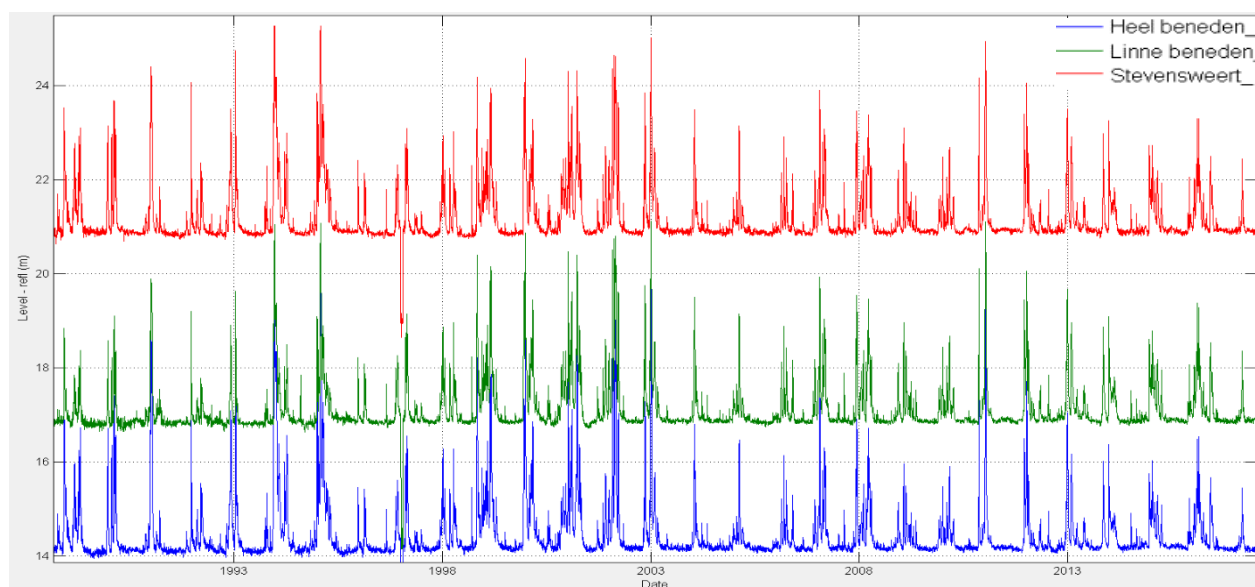
1. Bebouwing	2. Hoofd infrastructuur	3. Bos	4. Weiland/ gras	5. Bouwland	6. Boomgaard / kweek	7. Heide / natuur	8. Kale grond / braak	9. Water / moeras	10. Overig landgebruik
82	82	109	139	208	-197	275	450	-37	82



Figuur 3 | KNMI-meteogegevens voor de periode april 2010 tot april 2018

3.2.5 Oppervlaktewater

Het watersysteem van het detailmodel is bijgewerkt met recente gegevens en informatie van Waterschap Limburg (Legger), Rijkswaterstaat en het Kadaster. Waterlopen uit de legger zijn in het model opgenomen als 'river' randvoorwaarde, eventueel aangevuld met watervoerende watergangen uit de TOP10NL van het Kadaster. Droogvallende watergangen, sloten en greppels zijn als 'drain' randvoorwaarde gemodelleerd. De topografie van het Kadaster is ook gebruikt om de oppervlaktewaterplassen, rivieren en kanalen te schematiseren. De peilen zijn overgenomen uit het Basismodel en bijgewerkt met hoogtegegevens uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2) en gemeten waterstanden van Rijkswaterstaat (Figuur 4). Voor de watergangen, rivieren, plassen en kanalen zijn bodemhoogtes aangenomen/overgenomen uit het Basismodel en eventueel bijgewerkt met inmetingen, zoals de bathymetrie/bodemhoogten van Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas (ref.#11; Bijlage C). De gemiddelde waterpeilen voor de Lange Vlieter en Boschmolenplas zijn aangeleverd door WML. Voor de Maas-Boven (inclusief verbonden oppervlaktewater/plassen), Maas-beneden en het Lateraalkanaal zijn gemiddelde winterwaterstanden berekend (Bijlage D).



Figuur 4 | Gemeten waterstanden op Maas-Boven (Stevensweert), Maas-Beneden (Linne) en Lateraalkanaal (Heel).
Bron: www.rijkswaterstaat.nl/water

Voor de watergangen is een referentiehoogte bepaald aan de hand van het AHN2 (0,5x0,5m). Voor ieder type watergang is een bodemdiepte en waterdiepte aangenomen. De bodemhoogte is de AHN-referentiehoogte minus de aangenomen bodemdiepte. De waterstand is de afgeleide bodemhoogte plus de aangenomen waterdiepte. De bodemdoorlatendheid is aangenomen tussen de 0,05 en 10 m/d.

In Tabel 2 en Tabel 3 zijn de karakteristieken van oppervlaktewater en watergangen opgenomen (zie ook Bijlage E).

Tabel 2 | Watergangen op basis van TOP10NL en AHN2

Omschrijving TOP10NL	Watervoerend	Breedte	Bodemdiepte	Waterdiepte	Bodem k*
<i>Eenheid</i>		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m/d</i>	<i>m/d</i>
greppel, droge sloot	nee	1	0,9	0,2	10
waterloop; 0,5 - 3 meter	ja	3	1,1	0,3	1,0
waterloop; 0,5 - 3 meter	nee	3	1,1	0,3	1,0
waterloop; 3 - 6 meter;ja	ja	6	1,3	0,4	0,1
waterloop; 3 - 6 meter;nee	nee	6	1,3	0,4	0,1

* verticale doorlatendheid

Tabel 3 | Karakteristieken van oppervlaktewater.

Naam	Waterstand gemiddeld	Waterstand gem. winter	Bodem- /waterdiepte	Bodem kh*	Bodem kv**
<i>Eenheid</i>	<i>mNAP</i>	<i>mNAP</i>	<i>m</i>	<i>m/d</i>	<i>m/d</i>
Heelderpeel	24,46	nvt	10	nvt	nvt
Sint Annabeemden	18,50	nvt	10	nvt	nvt
Sint Antoniusplas	20,85	21,41	20	1	1
Jachthaven Boschmolenplas	20,85	21,41	Circa 10***	0,001	0,002
Tesken	20,85	21,41	Circa 20***	0,1	0,1
De Slaag	20,85	21,41	10	0,001	0,002
Leerke Ven	21,40	nvt	10	nvt	nvt
Boschmolenplas	21,30	nvt	20	0,005	0,05
Polderveld	20,85	21,41	20	0,1	0,1
Lange Vlieter	20,90	nvt	20	0,5	0,5
Maas Havenkanaal	20,85	21,41	15	1	1
Maas bovenstrooms	20,85	21,41	15	0,1	0,1
Maas benedenstrooms	17,10	17,39	15	0,1	0,1
Lateraalkanaal	14,42	14,67	15	5	5

* *horizontale doorlatendheid*** *verticale doorlatendheid**** *inmeting bodemhoogten*

3.2.6 Grondwateronttrekkingen

Waterproductiebedrijf Heel (WPH) heeft een vergunning om 20 miljoen m³/j te onttrekken via oevergrondwater (ref.#16;#20). Door Waterleiding Maatschappij Limburg zijn de onttrekkingsgegevens van 2005 tot en met 2017 beschikbaar gesteld. De gemiddelde onttrokken jaarhoeveelheden zijn weergegeven in Tabel 4. De pompputten en filterstellingen zijn in het model opgenomen volgens de gegevens aangeleverd door WML¹. De mediaanwaarde van het onttrekkingsdebiet over de aangegeven periode is aangenomen als meest representatieve waarde om de onttrekkingshoeveelheid niet te onderschatten. De onttrekkingshoeveelheden én het aantal putten per pompstation waaruit onttrokken wordt zijn dynamisch. Hierdoor bevatten de onttrekkingsgegevens ook lagere debieten als gevolg van het afbouwen en opbouwen van het onttrekkingsdebiet. Als hiermee een gemiddelde onttrekkingshoeveelheid per put bepaald wordt, ligt door dit dynamisch onttrekkingsregime circa 15% lager dan de mediaanwaarde (meest representatieve waarde). De locaties van de pompstations zijn weergegeven in [Bijlage B](#).

Tabel 4 | Jaargemiddelde onttrekkingshoeveelheden per puttenveld Waterproductiebedrijf Heel in miljoen m³ per jaar (bron: WML)

Puttenveld	Formatie	Gemiddeld debiet 2005-2017
De Reut	Formatie van Sterksel	3,4
	Kiezeloöliet Formatie*	0,2
Galgenberg	Formatie van Beegden	5,3
	Formatie van Sterksel	0,1
	Kiezeloöliet Formatie*	0,5
Langven	Formatie van Beegden	1,5
	Formatie van Sterksel	3,4
	Kiezeloöliet Formatie*	0,4

* de onttrekkingen in uit de Kiezeloöliet Formatie (Zanden van Waubach) zijn niet in het grondwatermodel opgenomen. Dit wordt onttrokken op een diepte groter dan 250 m beneden maaiveld.

Overige grondwateronttrekkingen

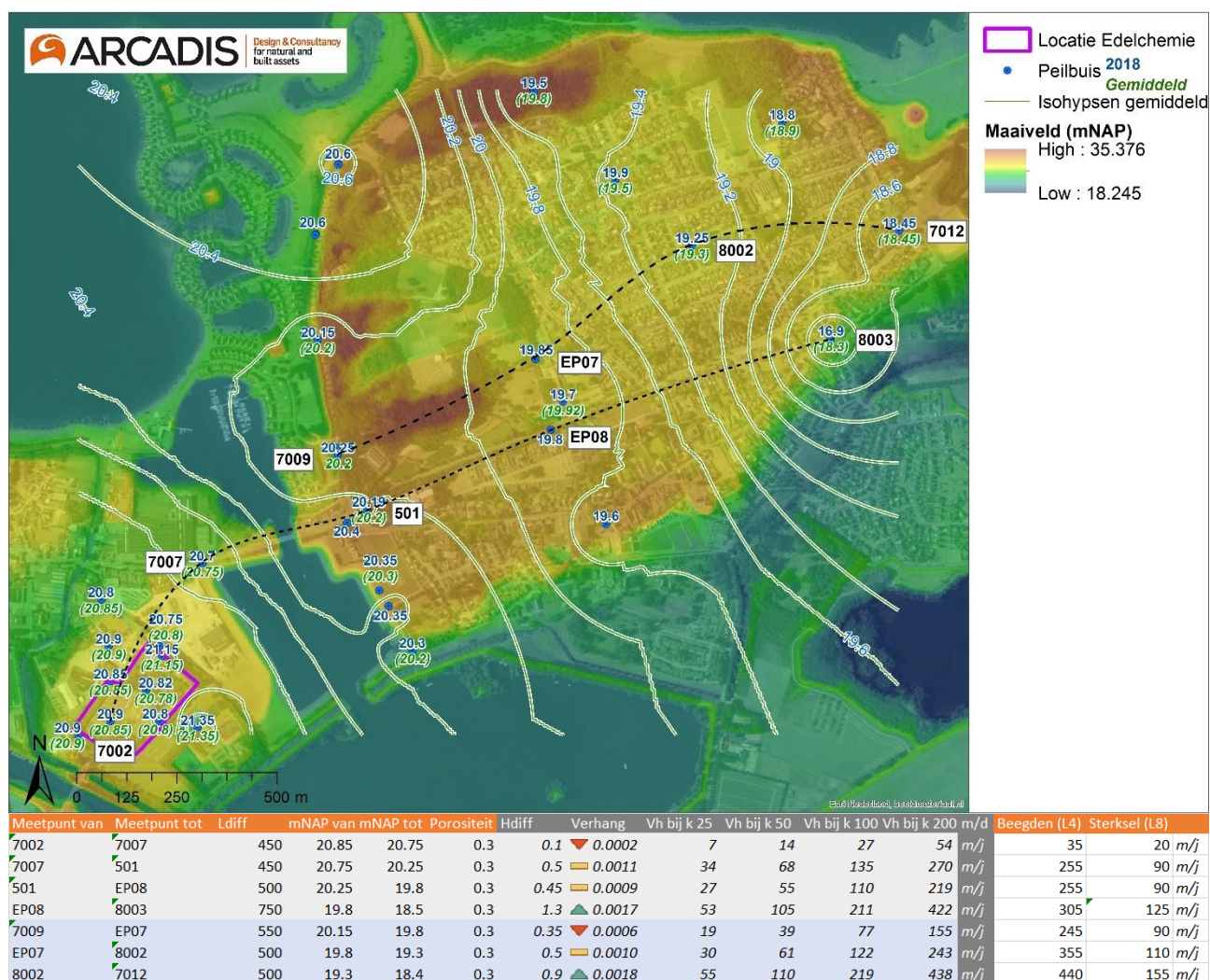
Pompstation Beegden van WML is eveneens in het grondwatermodel opgenomen. Op basis van het Landelijk Grondwater Register zijn geen aanvullende grondwateronttrekkingen bekend binnen het aandachtsgebied. Historische onttrekkingen die voor de langjarige gemiddelde modelperiode van 2005-2017 niet meer actief zijn, zijn niet in het model opgenomen. Dit is bijvoorbeeld de onttrekking op het Edelchemie-terrein, de tijdelijke onttrekking voor de aanleg van de nieuwe Sluis Panheel en onttrekkingen uit andere bronnen zoals historische onderzoeken (ref.#13;#14).

¹ Vanwege de vertrouwelijkheid van de onttrekkingsgegevens zijn de specifieke onttrekkingsgegevens en locaties van de onttrekkingsputten niet opgenomen in deze rapportage. In het grondwater- en stromingsmodel zijn deze gegevens wel opgenomen.

3.2.7 Grondwater

De grondwaterstanden, stijghoogten en grondwaterstroming (richting en verplaatsing) worden berekend door het grondwaterstromingsmodel aan de hand van de opgelegde randvoorwaarden. Gemeten grondwaterstanden en stijghoogten zijn gebruikt om de berekende waarden te controleren en kalibreren (zie paragraaf 3.4). De gemeten grondwaterstanden en stijghoogten zijn afkomstig uit de monitoring door Antea Group (ref.#1#2;#3;#4) en monitoringsgegevens in de Basisregistratie Ondergrond (www.dinoloket.nl). Voor de langjarige meetreeksen uit DINOLoket zijn tijdreeksmodellen opgesteld om de invloed van de neerslag/verdamping, oppervlaktewaterstanden en onttrekkingen op de gemeten grondwaterstand/stijghoogte te bepalen (zie Bijlage F, kaart 1). De tijdreeksanalyse laat een beperkte invloed van de onttrekkingen nabij de puttenvelden van De Reut, Langven en Galgenberg zien. Ook de invloed van oppervlaktewater neemt sterk af in de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten naarmate de afstand tot de Maas en het Lateraalkanaal groter wordt. Nabij Panheel zijn geen langjarige grondwaterstandmetingen beschikbaar voor tijdreeksanalyses.

Met de monitoringsgegevens van Antea Group is op basis van de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten een stromingsrichting en stroomsnelheid af te leiden (zie Figuur 5 en Bijlage F, kaart 2). De berekende stroomsnelheden met het gekalibreerd grondwaterstromingsmodel liggen binnen de afgeleide stroomsnelheden. Voor de grindlagen van de Formatie van Beegden liggen deze tussen de 35 en 300 m/j. In de grovere zanden van de Formatie van Sterksel ligt dit tussen de 20 en 155 m/j. De stroomsnelheid is sterk afhankelijk van het gemeten (en berekende) verhang. Nabij Panheel is dit circa 20 tot 90 m/j. In Heel is de variatie groter met 90 tot 440 m/j. Deze bandbreedte wordt sterk beïnvloed door de winningen van Waterproductiebedrijf Heel en de drainerende werking van het Lateraalkanaal en Maas-Beneden.



Figuur 5 | Afgeleide en berekende stroomsnelheden op basis van metingen en modelberekeningen (laatste 2 kolommen, zie ook Bijlage F). De zwarte onderbroken lijn illustreert de stromingsrichting van het grondwater op basis van de gemeten grondwaterstanden/stijghoogten.

3.3 Stoftransportmodule

In deze paragraaf zijn de randvoorwaarden en variabelen van de stoftransportmodule toegelicht. Voor de stoftransportmodule zijn de bromide monitoringsgegevens van Antea Group (ref.#1#2;#3;#4) verwerkt tot modelinvoer. Op basis van het CSM, beschikbare informatie, kennis en inzichten zijn in het detailmodel initiële concentraties (gebaseerd op metingen in huidige verontreinigingspluim) en brontermen (aanwezige vracht in brongebieden) bepaald en transportparameters opgesteld. De transportparameters zijn in diverse modelberekeningen geoptimaliseerd en gekalibreerd. De gevoeligheidsanalyse en kalibratie is toegelicht in paragraaf 3.4).

Met de transportmodule zijn conservatieve berekeningen uitgevoerd met bromide concentraties. Bromide is een conservatieve stof waardoor er geen adsorptie, afbraak en reactie in de berekeningen is meegenomen.

3.3.1 Modelgebied

De initiële transportparameters en variabelen zijn eerst in het grondwaterstromingsmodel met een resolutie van 50x50 m, 25x25 m en 12,5x12,5 m voor het aandachtsgebied opgezet (MODFLOW-USG). Vervolgens zijn de stoftransportberekeningen uitgevoerd in het detailmodel van 4,2 km bij 4,7 km, met een resolutie van 12,5x12,5 m (zie Bijlage B). Deze detaillering resulteert in kortere rekentijden van de berekeningen en ook kortere doorlooptijden voor de nabewerking en visualisaties van de resultaten.

3.3.2 Modelcode

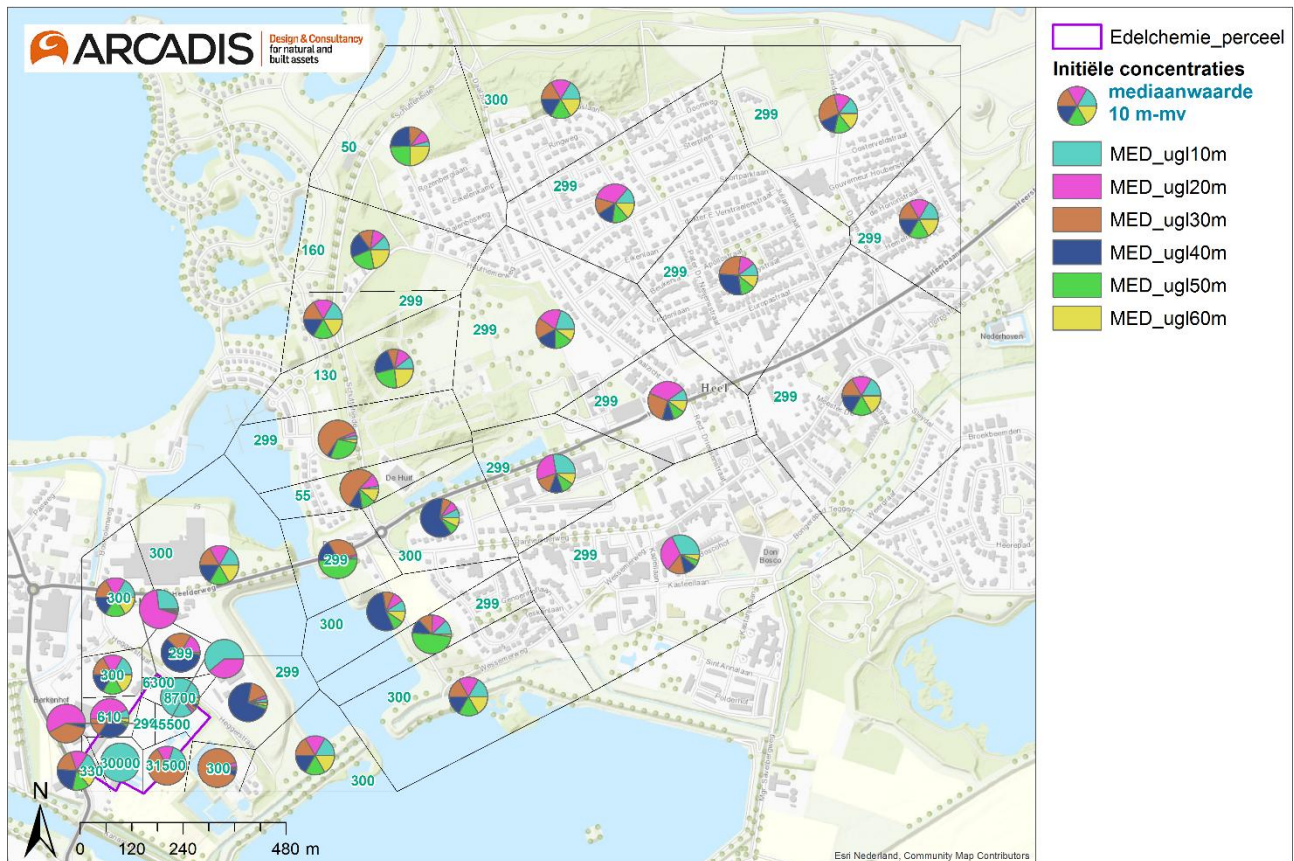
Voor de verkennende stoftransportberekeningen is gebruik gemaakt van de modelcode *MODFLOW-USG* (ref.#15). De scenario's met stoftransportberekeningen zijn uitgevoerd met de modelcode *MODFLOW2005* (ref.#12) en *MT3DMS* (ref.#21). De modellen zijn opgebouwd in de modelleeromgeving *Groundwater Vistas* 6 (GWV; ref.#19). De modelresultaten en het 3D-CSM zijn weergegeven in *Groundwater Modeling System* (GMS; ref.#5). Zowel GWV als GMS zijn gebruikersschillen voor het aanmaken van modelinput en het analyseren van de modeloutput.

3.3.3 Dispersie

De beweging van de verontreinigende deeltjes ten opzichte van de grondwaterstroming wordt dispersie genoemd. Dispersie kan optreden in de richting van de grondwaterstroming (longitudinaal), loodrecht daarop (transversaal horizontaal), of verticaal (transversaal verticaal). De longitudinale dispersielengte ligt naar verwachting tussen 0,1 en 10 meter (ref.#9;#10). Op basis van expert-judgement is de longitudinale dispersie geschat op 0,5 meter. Dit is de werkelijk optredende dispersie. Om de ontwikkeling van de verontreiniging met een numeriek grondwatermodel door te rekenen, moet echter ook rekening worden gehouden met numerieke dispersie. Op basis van de modelresolutie is een longitudinale numerieke dispersielengte van 0,4 m bepaald. Om tot een dispersielengte van 0,5 m te komen is in het model een longitudinale dispersielengte opgegeven van 0,1 m. Het is gebruikelijk (ref.#9;#10) om voor de horizontale dispersie een orde kleiner en voor de verticale dispersie twee orden kleiner te kiezen ten opzichte van de longitudinale dispersie. In het model zijn daarom de volgende waarden gebruikt voor de transportberekeningen: longitudinaal 0,1 meter, transversaal horizontaal 0,01 meter en transversaal verticaal 0,001 meter.

3.3.4 Verontreinigingspluim

Voor de huidige verontreinigingssituatie ('bromide pluim') zijn de bromide monitoringsgegevens van Antea Group (ref.#1#2;#3;#4) verwerkt tot modelinvoer. De huidige verontreinigingssituatie (maart 2018) is per dieptetraject geschematiseerd in representatieve oppervlakten per meetpunt. Hiervoor is per meetpunt een oppervlakte toegekend (Thiessen-polygoon) waar de mediaanwaarde van de gemeten bromide over de periode 2013-2018 is toegekend. Dit is voor 6 dieptetrajecten in het model doorgevoerd: 10, 20, 30, 40, 50 en 60 m beneden maaiveld (zie Figuur 6). Deze semi-3D verontreinigingssituatie vormen de startcondities ('initiële concentraties') van de transportberekeningen met bromide. In onderstaande figuur is deze aanpak en de globale verdeling van de concentraties per dieptetraject illustratief weergegeven met taartdiagrammen.



Figuur 6 | Toegekende oppervlakten per meetpunt. De gepresenteerde getallen zijn de mediaanwaarde op 10 m beneden maaiveld. De taartdiagrammen zijn bedoeld om de concentratieverdeling per meetpunt te illustreren. Zo is af te lezen dat bij Edelchemie de hoogste concentraties zich voornamelijk op 10 en 20 m-mv bevinden. Ten noorden van Het Tesken is dit vooral op een diepte van 40 tot 50 m-mv.

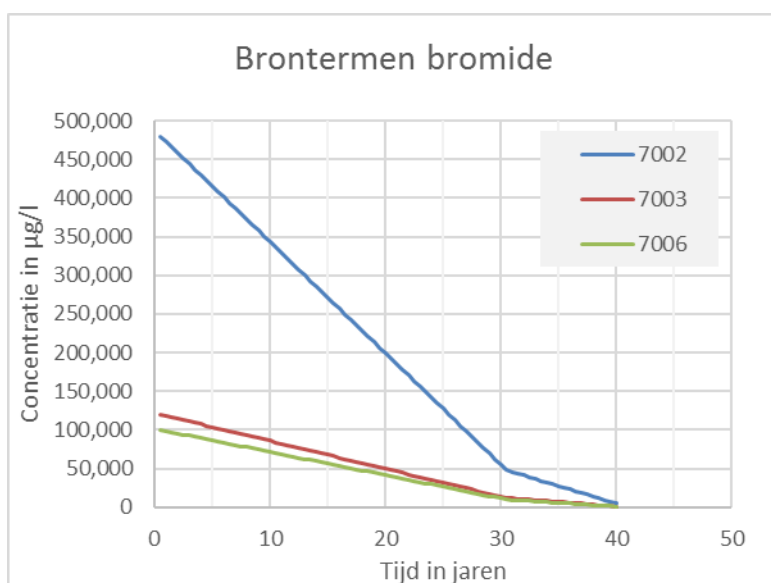
Een representatieve 3D-interpolatie van de gemeten bromide-concentraties per filtertraject is niet als voldoende nauwkeurig beoordeeld. De reden hiervoor is dat er per meetpunt geen filter/meetwaarde beschikbaar is voor elk dieptetraject. Met het toekennen van de mediaanwaarde aan de oppervlaktes waarbinnen de monitoringslocaties liggen is een conservatieve aanname (overschatting) gedaan van de 'huidige' verontreinigingssituatie.

3.3.5 Brontermen

Voor de eventuele nalevering van bromide naar het grondwater zijn brontermen in het model op verschillende locaties, dieptes, concentraties en concentratieverloop over de tijd aangenomen. Voor de eerste brontermen zijn de volgende randvoorwaarden aangenomen:

- 3 Brontermen met de gemeten concentraties in 2018;
- 1 bronterm ter plaatse van locatie 7002 met een concentratie van 480.000 µg/l op 20 m-mv;
- 1 bronterm ter plaatse van locatie 7003 met een concentratie van 120.000 µg/l op 40 m-mv;
- 1 bronterm ter plaatse van locatie 7006 met een concentratie van 100.000 µg/l op 55 m-mv;
- Afname van de 2018 concentraties over 30 jaar naar 10%, vervolgens over 10 jaar een afname tot 1% van de concentraties in 2018;
- De resterende 10 jaar van de berekening is er geen nalevering meer vanuit de brontermen.

Tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie zijn diverse brontermen doorerekend (zie [paragraaf 3.4](#)).



Figuur 7 | Vanaf de start van de berekening (2018) nemen de concentraties in de brontermen (gemeten concentraties 2018) over 40 jaar af conform bovenstaande grafiek.

3.4 Gevoeligheidsanalyse en kalibratie

In een gevoeligheidsanalyse wordt systematisch het modelgedrag voor veranderingen in de invoer, begincondities en parameters getoetst. Het modelgedrag is bestudeerd aan de hand van veranderingen van de modeluitvoer (grondwaterstand, stijghoogten, waterbalans, concentraties). De uitkomsten geven informatie met betrekking tot de nauwkeurigheid die gewenst is en anderzijds voor welke modelinvoer parameterschatting (kalibratie) zinvol is.

Kalibratie is het in overeenstemming brengen van veldwaarnemingen en de modeluitkomsten, door parameterwaarden bij te stellen. Tijdens de kalibratie wordt een set parameters (gekozen op basis van de gevoeligheidsanalyse) zo aangepast, dat de absolute afwijking van de berekende grondwaterstand/concentraties de gemeten waarden zo goed mogelijk benaderen. Hierbij wordt gestreefd naar:

- a. Een zo klein mogelijke afwijking, waarbij de afwijkingen gelijkmatig verdeeld zijn over het modelgebied, en;
- b. Te hoog en te laag berekende waarden moeten gelijkmatig verdeeld zijn en de afwijkingen van de te hoge waarden moeten ongeveer gelijk zijn aan de afwijkingen van de te lage waarden (gemiddelde afwijking zo laag mogelijk).

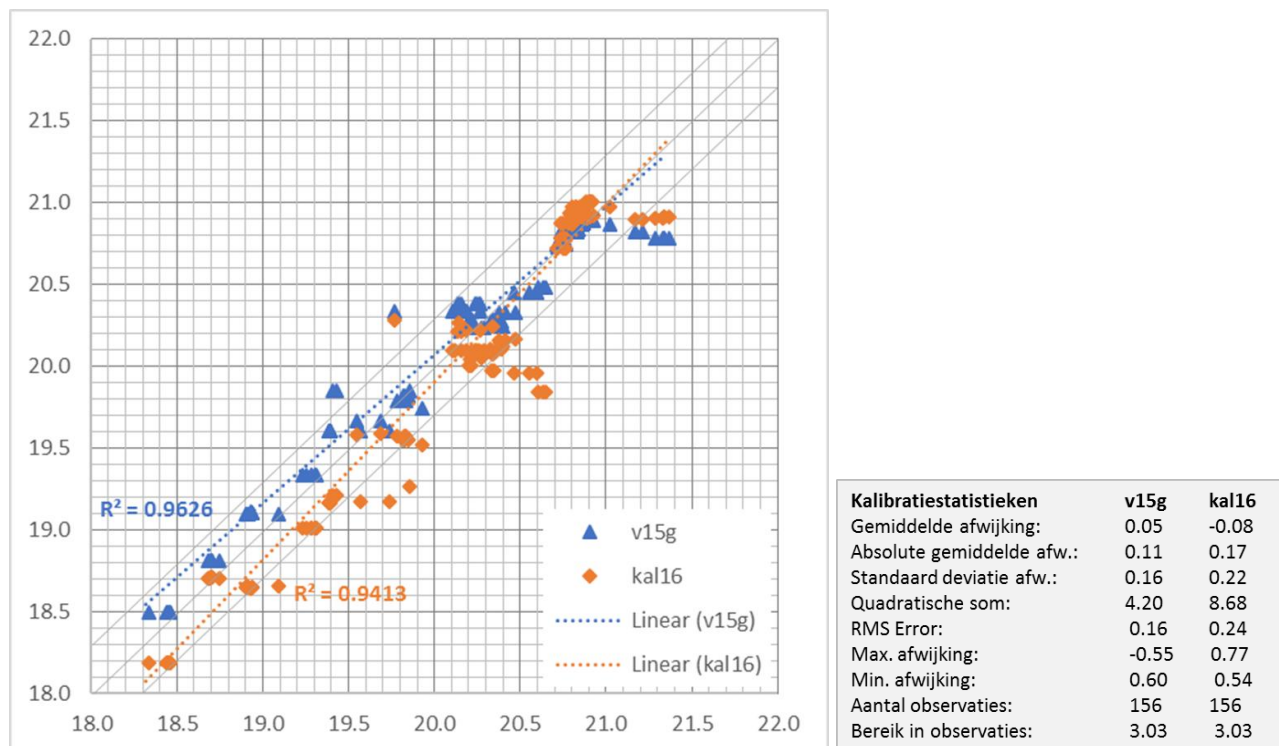
Optimalisatie van modelinvoer en parameters is een iteratief proces van gevoeligheidsanalyses, kalibratie, modelaanpassingen en bijstelling van modelkeuzes en het conceptueel model. In de volgende paragrafen is dit iteratief proces beknopt beschreven.

3.4.1 Grondwaterstromingsmodel

Voor de aangepaste en nieuwe modelinvoer en parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van deze parameters op de berekende grondwaterstanden en stijghoogten in beeld te brengen. De parameters die in de gevoeligheidsanalyse zijn onderzocht zijn de grondwateraanvulling, drainage-/infiltratievermogen ('conductance') van watergangen, sloten en greppels, bodemdoorlatendheden en doorlatendheden van de waterbodem van grote oppervlaktewater (Maas, kanalen en plassen). Hiervoor zijn alle parameters in een automatische gevoeligheidsanalyse afzonderlijk doorgerekend met een 5-tal vermenigvuldigingsfactoren: 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 en 10,0. Voor iedere berekening is de afwijking ten opzichte van de gemeten langjarige grondwaterstanden en stijghoogten bepaald. De parameters waarbij de grootste verschillen ten opzichte van de initiële parameterswaarde (vermenigvuldigingsfactor 1,0) worden berekend, zijn de meest gevoelige parameters.

De bodemdoorlatendheden (kh/kv) en doorlatendheden van de waterbodem van de grote oppervlaktewateren zijn in de analyse als meest gevoelig naar voren gekomen voor de berekende grondwaterstand en stijghoogte. Daarnaast is het modelresultaat gevoelig voor de grondwateraanvulling. Maar de gevoeligheidsanalyse toonde aan dat de berekende grondwateraanvulling op basis van neerslag, verdamping en landgebruik (zie [paragraaf 3.2](#)) een goede waarde is. Kortom, een verhoging/verlaging van de grondwateraanvulling ten opzichte van de initiële waarde resulteerde in de gevoeligheidsanalyse in een grotere afwijking tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden/stijghoogten.

Met de meest gevoelige parameters is in een automatische kalibratie (PEST, [ref.#8](#)) de optimale combinatie in parameterwaarden geschat. Ondanks dat de parameterwaarden binnen fysisch realistische grenzen gekalibreerd zijn, zijn de resultaten van de automatische kalibratie gebruikt om een handmatig modelkalibratie door te voeren. Door een handmatige kalibratie uit te voeren wordt er beter grip gehouden op de wijzigingen die in het model worden aangebracht. Hierbij is een optimale parameterinschatting bepaald waarbij de gekalibreerde parameters representatieve waarden hebben die binnen een realistisch bereik liggen. In [Bijlage G](#) is het kalibratieresultaat per dieptetraject weergegeven.

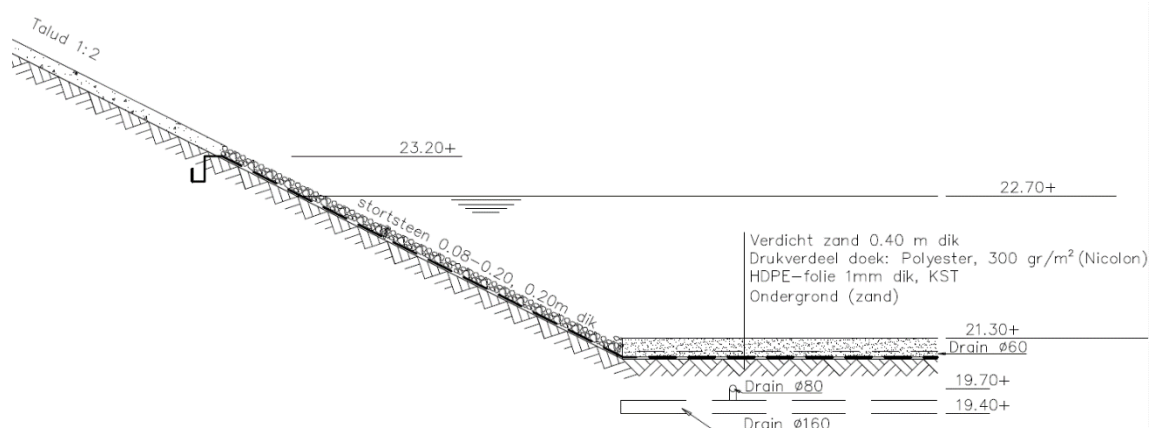


Figuur 8 | Kalibratieresultaat van het grondwaterstromingsresultaat (v15g) ten opzichte van het referentiemodel 'kalibratie stap 2' ('kal16')

Het bestaande grondwaterstromingsmodel berekende grondwaterstanden en stijghoogten die goed overeenkomen met de gemiddeld gemeten situatie. De absolute gemiddelde afwijking was circa 0,17 m (afwijking te hoog/te laag). Na het bijwerken van de modelinvoer met de nieuwste gegevens en inzichten is de reeds beperkte absolute afwijking van het model verder verkleint tot 0,11 m. Voornamelijk de verdeling van de afwijkingen (te hoog/te laag) en afwijkingen binnen het aandachtsgebied ('monitoring Edelchemie') zijn sterk verbeterd (zie [Bijlage G](#)).

Peilbuis 303 & RWZI Panheel

In de nabijheid van Edelchemie wordt in peilbuis 303 (10 tot 20 m-mv) een afwijking berekend van meer dan 0,5 m. Deze afwijking is het gevolg van een circa 0,5 m hoger gemeten grondwaterstand dan in de overige meetpunten rondom Edelchemie (circa NAP 20,9 m). In de overige peilbuizen rondom Edelchemie wordt een afwijking kleiner dan 0,1 m berekend. Een mogelijke oorzaak voor de hoger gemeten grondwaterstand in peilbuis 303 is een meetfout of schijngrondwaterspiegel. Vanwege de meerjarige monitoring van zowel grondwaterstanden als bromidegehaltes is een meetfout en schijngrondwaterspiegel niet waarschijnlijk. Een schijngrondwaterspiegel in dit sterk grindige pakket is weinig plausibel. Een andere verklaring kan zijn dat de beluchtingsvijver van RWZI Panheel deels doorlatend is waardoor er grondwateraanvulling van gezuiverd rioleffluent, dat gebufferd wordt in de beluchtingsvijver voordat dit geloosd wordt op de Sleybeek, plaatsvindt. Deze hypothese is getest tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie. Door compartiment 2 van de beluchtingsvijvers, dat is uitgevoerd in HDPE-folie van 1 mm dik en 0,4 m dik verdicht zand, als randvoorwaarde in het grondwatermodel op te nemen, wordt een reductie van de berekende afwijking gerealiseerd van 0,2 m. Stroombaanberekeningen onderschrijven de hypothese doordat na deze conceptuele modelaanpassing de grondwaterstroming vanuit het Edelchemie-terrein het traject van de grondwaterverontreiniging volgt. Aanbevolen wordt om door nader onderzoek de hypothese te bevestigen of te ontkrachten.



Figuur 9 | Principe-doorsnede effluentvijver compartiment 2 (bron: Waterschapsbedrijf Limburg; tek.nr 67002026, 1994)

Maasdynamiek

Om de invloed van de Maasdynamiek op de grondwaterstroming in beeld te brengen zijn gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd met gemiddelde hoogwatersituaties op de Maas en het Lateraalkanaal (zie [paragraaf 3.2.5](#) en [Bijlage D](#)). Enkele gevoeligheidsberekeningen en het resultaat op de grondwaterstroming hiervan zijn opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 | Gevoeligheidsanalyse grondwaterstroming Maasdynamiek

Hoogwatersituatie	Maas-boven	Maas-beneden	Lateraal-kanaal	Berekening	Grondwaterstroming
Gemiddeld peil (mNAP):	20,85	17,10	14,40		
Extreem hoogwater	23,50	20,70	16,60	Stationair (permanent)	Hoofdzakelijk richting Lateraal-kanaal, beperkte afstroming naar het Langven
Hoogwater	21,85	17,50	15,00	Stationair (permanent)	Richting Lateraalkanaal
Gem. 15-daags hoogwater	21,85	17,50	15,00	Dynamisch, gemiddeld 350 d, / 15 d hoogwater	Richting Lateraalkanaal
Gemiddelde winter	21,41	17,39	14,67	Stationair (permanent)	Richting Lateraalkanaal
Gemiddeld & gem.winter	21,41	17,39	14,67	Dynamisch, gemiddeld-/ winterhalfjaar	Richting Lateraalkanaal

De gevoeligheidsberekeningen met verhoogde waterstanden op de Maas en het Lateraalkanaal tonen allemaal een dominante grondwaterstroming richting het Lateraalkanaal. Slechts in de meest extreme berekening met een permanent extreem hoogwatersituatie (NAP 23,5 m) wordt er een beperkte afstroming richting het Langven berekend. Dit is niet realistisch. Bij alle berekening worden meer dan 1,0 m of zelfs meer dan 2,0 m afwijkingen berekend in de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Met de resultaten van de gevoeligheidsberekeningen is geconcludeerd dat de dynamiek op de Maas en Lateraalkanaal slechts een beperkte invloed heeft op de grondwaterstromingsrichting vanuit Edelchemie. Met de modellen zijn ook transportberekeningen uitgevoerd die hetzelfde resultaat laten zien.

3.4.2 Transportmodule

Met het grondwater- en transportmodel is een gevoeligheidsanalyse en kalibratie uitgevoerd op parameters die van invloed zijn op de verplaatsing en verspreiding van de verontreiniging. De gevoeligheidsanalyse en kalibratie van het grondwater- en transportmodel is een iteratief proces. De gevoeligheidsanalyse en kalibratie is uitgevoerd voor de volgende modelinvoer en parameters:

- Verontreinigingspluim 2018 (initiële concentraties)
- Nalevering vanuit brontermen
- Bodemdoorlatendheid en waterbodendoorlatendheid
- Onttrekkingshoeveelheden Waterproductiebedrijf Heel

De dispersielengtes zijn niet onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse en kalibratie. Door de hoge bodemdoorlatendheden en numerieke dispersie wordt een representatieve breedte en diepte van de bromideverspreiding berekend.

Initiële concentraties

De gevoeligheid van de transportberekeningen op de initiële bromide concentraties (huidig verontreinigingsbeeld van de pluim in 2018, zie [paragraaf 3.3.4](#)) is getoetst door maximale bromide waarden als initiële concentratie te hanteren. Hierdoor wordt de huidige verontreinigingssituatie sterk overschat, doordat de maximale waarde van een puntwaarneming voor een groter gebied en dieptetraject is aangenomen. De gevoeligheidsanalyse heeft aangetoond dat de initiële concentraties vooral in de eerste 5 tot 10 jaar van invloed zijn op het berekende verontreinigingsbeeld. Op grotere diepte (> 30 m-mv) is de invloed hiervan groter doordat de grondwaterstromsnelheden lager zijn. Op de langjarige prognoseberekeningen van 10 tot 50 jaar, zijn de gehanteerde initiële concentraties voldoende betrouwbaar geacht en is het modelresultaat niet gevoelig hiervoor, binnen realistische bandbreedte.

Nalevering vanuit brontermen

De transportberekeningen zijn sterk afhankelijk van de brontermen die aan het model worden toegekend. Zowel de locatie (x,y), dieptetraject (z), omvang (l x b) en het aangenomen concentratieverloop (µg/l) over de tijd (T), resulteren in significante verschillen in de berekende verspreiding van bromide concentraties. Het voert te ver om alle berekeningen en varianten die tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie zijn onderzocht te beschrijven. In Tabel 6 en Figuur 10 is een beknopt overzicht gegeven van de voornaamste bronterm situaties die zijn doorgerekend tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie.

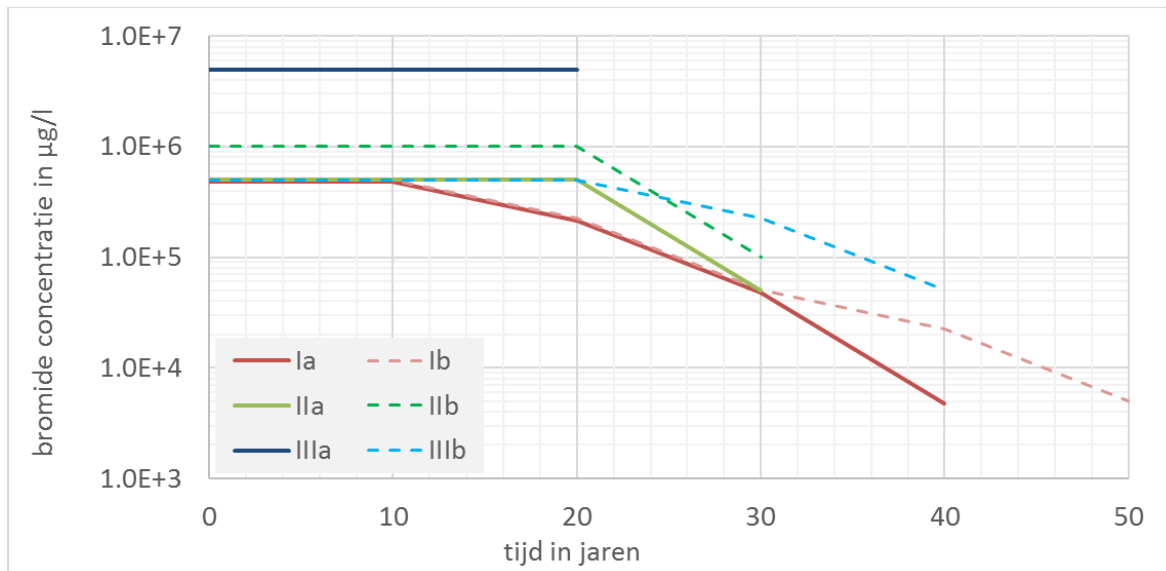
Tabel 6 | Beknopt overzicht van onderzochte brontermersituaties vanaf 2018

#	Omschrijving	Locatie	diepte	omvang	concentratie	Afname**
I ^a	1 bronlocatie, 3 brontermen	Edelchemie: 7002, 7003 en 7006	op 20, 40 en 55 m-mv	1 modelcel* (totaal 3)	gemeten 2018	30-40 jaar
I ^b		Edelchemie: 7002, 7003 en 7006	tot 25 m-mv	1 modelcel* (totaal 15)	0,5 Mµg/l	30-50 jaar
II ^a	1 bronlocatie, 1 bronterm	Edelchemie: 7002	tot 20 m-mv	1 modelcel* (totaal 4)	0,5 Mµg/l, constant 20 jaar	10 jaar
II ^b			tot 25 m-mv	1 modelcel* (totaal 5)	1 Mµg/l, constant 20 jaar	10 jaar
III ^a	2 bronlocaties	Edelchemie: 7002 Panheel: 7007	tot 20 m-mv 25-30 m-mv	1 modelcel* (totaal 6)	5 Mµg/l, constant 20 jaar	
III ^b		Edelchemie: 7002 Panheel: 7007	tot 20 m-mv 25-30 m-mv	1 modelcel* (totaal 6)	0,5 Mµg/l, constant 20 jaar 0,5 Mµg/l, constant 10 jaar	20 jaar 30 jaar

* 1 modelcel is 12,5 x 12,5 m en circa 5 m dik

** De afname van de concentraties over de aangegeven periode is voornamelijk lineair tot 10% van de beginconcentraties aangenomen.

Ook zijn modelberekeningen uitgevoerd zonder brontermen waardoor het effect van de initiële concentraties (huidige pluim 2018) op de verspreiding in beeld is gebracht. Naast de beschreven initiële concentraties in [paragraaf 3.3.4](#) is ook een hypothetische initiële concentratie van 5M μ g/L over het oppervlak tussen '7002-7003-7005-7006' van circa 10 tot 15 m-mv onderzocht. Zoals hierboven al is geconcludeerd zijn de initiële concentraties slechts voor de eerste 5 tot 10 jaar van invloed op de berekende bromideconcentraties in het model.



Figuur 10 | Beknopt overzicht van onderzochte brontermen en afname van 'nalevering'. De start van de berekening is de verontreinigingssituatie van maart 2018.

Brontermen situatie I, met 1 bronlocatie en 3 brontermen komt het meest overeen met de gemeten concentraties (orde-van-grootte). In brontermen situatie I^a worden de berekende concentraties ter hoogte van 501/EP05 onderschat en richting het Lateraalkanaal, vanaf EP08/EP09 mogelijk overschat. In brontermen situatie I^b worden de berekende concentraties ter hoogte van 501/EP05 in de juiste orde-van-grootte berekend. Richting het Lateraalkanaal vanaf EP08/EP09 worden de bromide concentraties vermoedelijk overschat. Uiteraard zijn bovengenoemde beoordelingen sterk afhankelijk van de situatie waarin de verontreiniging zich bevindt. Dit is nader toegelicht in [hoofdstuk 4](#).



Figuur 11 | Voorbeeld van te hoog en te laag berekende concentraties bij verschillende aannames voor de brontermconcentraties. Links: in 2018 gemeten bromide concentraties als bronterm (Ia). Rechts: 0,5 M μ g/l bromide als bronterm (Ib).

Bodemdoorlatendheid en waterbodemdoorlatendheid

De gevoeligheid van de transportberekeningen op de bodemdoorlatendheid en waterbodemdoorlatendheid is onderzocht door de parameterwaarden en bodemopbouw binnen fysisch realistische bandbreedtes te variëren. De gevoeligheidsanalyse en kalibratie van het grondwater- en transportmodel is een iteratief proces waarbij ook het kalibratieresultaat van het grondwaterstromingsmodel is verbeterd. Op basis van de transportberekeningen zijn de verspreiding/pluim en bromide concentraties onderzocht op conceptuele

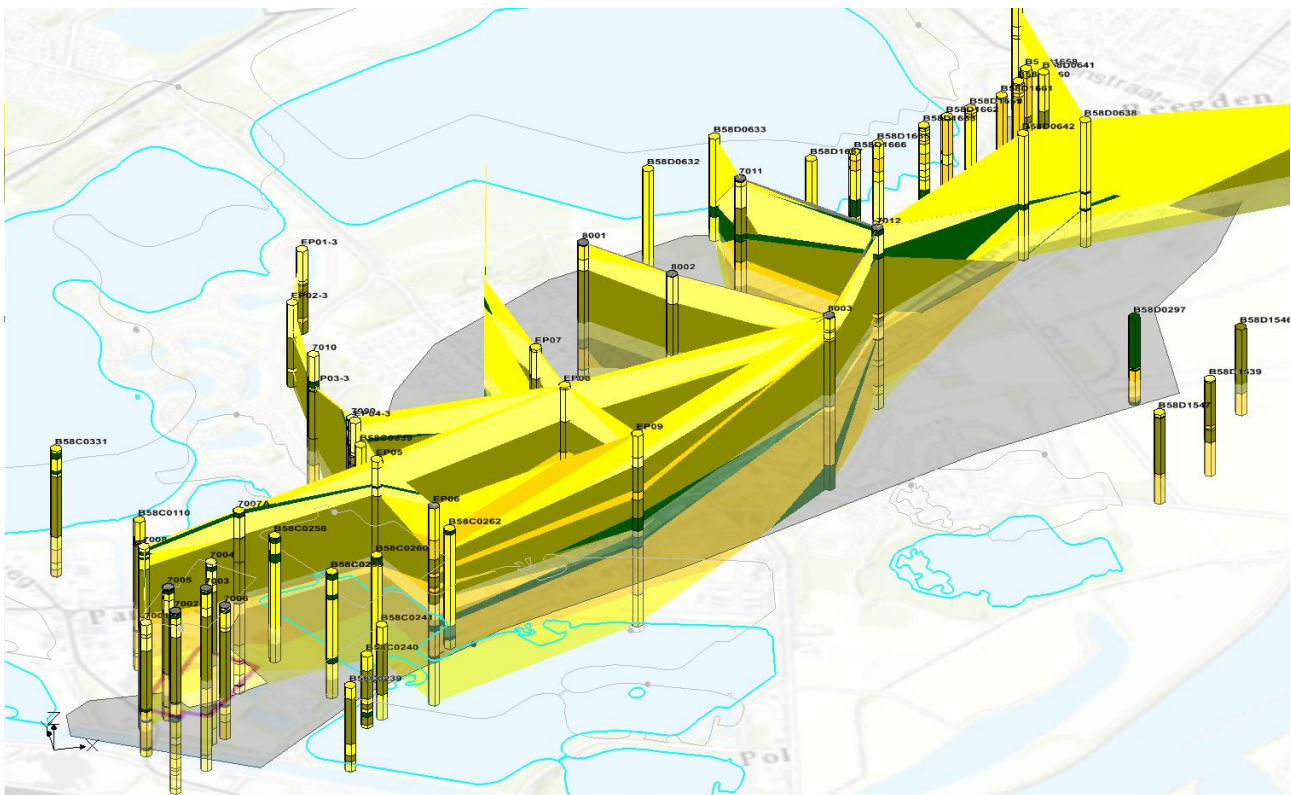
fouten in de modelschematisatie. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt het modelresultaat van de transportberekeningen gevoelig te zijn voor de bodemdoorlatendheden van de ondergrond en waterbodem.

Ontgrondingsdieptes

Om een verspreiding van de bromideconcentraties via peilbuis 7007 naar de noordoostzijde van de Jachthaven Boschmolenplas te verkrijgen ter hoogte van peilbuis 7009 en 501/EP05, heeft de gevoeligheidsanalyse aangetoond dat een aangenomen maximale ontgrondingsdiepte van de Boschmolenplas van 20 m-mv (zie **Bijlage C**) bijdraagt aan een juiste verspreiding van de berekende bromide concentraties. Door deze aangenomen maximale ontgrondingsdiepte en de resterende bodemdoorlatendheden van het grind in de Formatie van Beegden onder de Jachthaven Boschmolenplas van 20 tot 30 m-mv, wordt een grondwaterstroming en verspreiding van de bromide verontreiniging berekend zoals deze in de monitoring wordt waargenomen.

Overgangszone van klei en siltig fijn zand

In de grondwaterstroming- en transportberekeningen worden de bromideconcentraties vanuit Edelchemie onder de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken getransporteerd. De initiële modelberekening berekenden een verticale stroming en transport vanuit de diepere zandlaag richting het bovengelige grindpakket. Dit is een logisch gevolg van de circa 0,5 m lagere stijghoogtes die ten noordoosten van de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken optreden. Kortom, ten noordoosten van de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken werd een kwelsituatie berekend richting de Formatie van Beegden. Ondanks dat hiermee een goede overeenstemming wordt berekend met de gemeten stijghoogten komen hierdoor de berekende concentraties minder overeen met de gemeten bromide concentraties. In de vele boringen die in het gebied geplaatst zijn is op de overgang van het grind van de Formatie van Beegden en het grove zand van de Formatie van Sterksel (circa 30 tot 35 m-mv) een overgangszone van klei en siltig fijn zand af te leiden. Hierop is besloten om op deze diepte aan de hand van de boringen een lokale 'kleilaag' te schematiseren.



Figuur 12 | Grafische weergave uit het 3D-CSM waarin op basis van boringen een lokale minder doorlatende 'kleilaag' is op de overgangszone tussen de Formatie van Beegden en de Formatie van Sterksel. De groene vlakken in de (indicatieve) bodemprofielen zijn kleiige bodemtypen. Het grijze vlak is het gebied waar in boringen op een diepte van circa 30 tot 35 m-mv minder doorlatende bodemtypen zijn aangetroffen (klei, siltig fijn zand).

Onttrekkingshoeveelheden Waterproductiebedrijf Heel

De gevoeligheid van de transportberekeningen op onttrekkingen door Waterproductiebedrijf Heel (zie [paragraaf 3.2.6](#)) zijn onderzocht door de debieten te verdubbelen. Hierdoor wordt de verspreiding van bromide meer noordelijk berekend (zie Figuur 13). In dit extreem worst-case scenario met een maximale bronterm van 1 miljoen $\mu\text{g/l}$ (constant over 20 jaar) en een verdubbeling van het debiet van Waterproductiebedrijf Heel, worden 'slechts' concentraties tot 100 $\mu\text{g/l}$ berekend in de meest noordoostelijke putten van Het Langven (thv pompput 20/22). De transportberekeningen zijn gevoelig voor het onttrekkingsregime van Waterproductiebedrijf Heel, maar het effect hiervan op de berekende bromide concentraties in de winputten is zeer beperkt.



Figuur 13 | Verontreinigingsbeeld op circa 30 m-mv bij een maximale bronterm van 1 miljoen $\mu\text{g/l}$ én een verdubbeling van het onttrekkingsdebiet van Waterproductiebedrijf Heel. De verontreiniging verplaatst zich veel noordelijker en 'verwaait' door de invloed van het Lateraalkanaal en puttenveld Het Langven.

3.5 Resultaat

Uit de gevoeligheidsanalyse en kalibratie blijkt dat een verspreiding van de verontreiniging richting de drinkwaterwinning Heel niet voor de hand ligt. Dit is nader toegelicht in [Hoofdstuk 4](#).

Aan de hand van de laatst beschikbare informatie, modellen en veldgegevens is een gedetailleerd en actueel grondwater- en transportmodel opgebouwd uit feitelijke kennis en onderbouwd met realistische aannamen en systeemvertalingen. De modelstudie heeft geresulteerd in het 'meest waarschijnlijke situatie' waarmee de toekomstige verspreiding van bromide is berekend.

Met de projectgroep en tijdens de sessie topkennis met specialisten van externe partijen is vastgesteld dat het model geschikt is om de vragen in dit onderzoek mee te beantwoorden en dat het model in de toekomst gebruikt kan worden als basis voor verder onderzoek. Het geldigheidsgebied waarbinnen de modelresultaten gebruikt mogen worden is aangegeven in [paragraaf 3.5.2](#).

3.5.1 'Meest waarschijnlijke situatie'

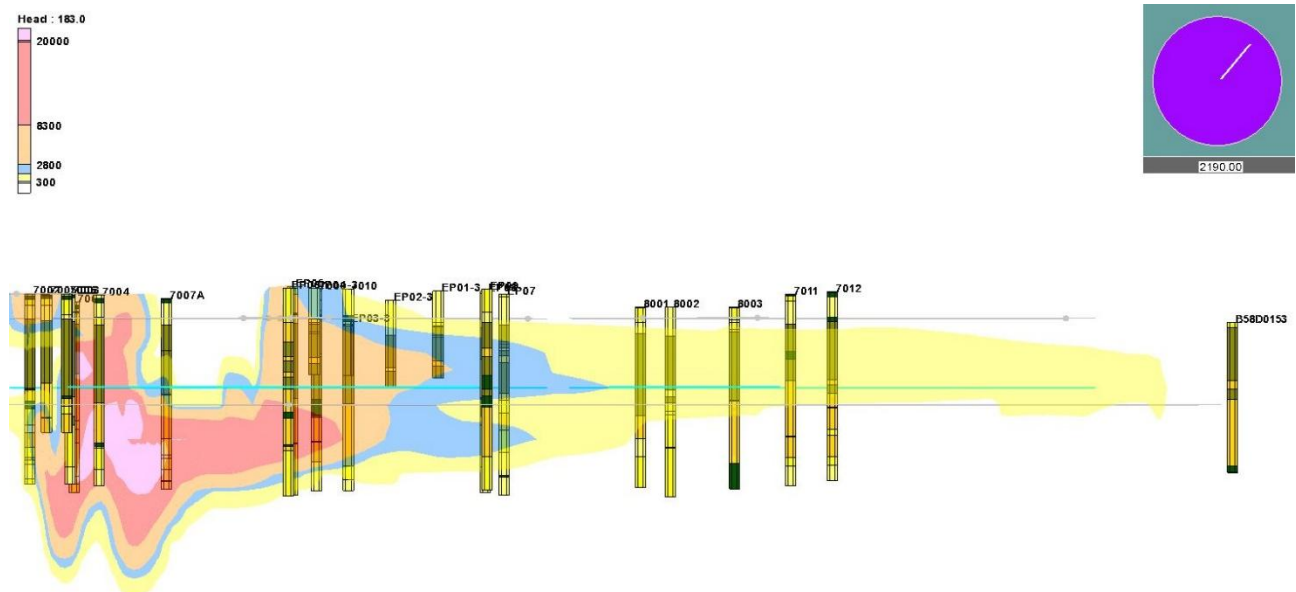
In het 'meest waarschijnlijke situatie' is uitgegaan van de (geo)hydrologische omstandigheden anno 2018, zonder grootschalige wijzigingen in de huidige randvoorwaarden en condities:

- Het grondwaterstromingsmodel is gekalibreerd op basis van gemiddelde grondwaterstand en stijghoogtegegevens voor de langjarige periode 2005-2017 (zie [paragraaf 3.4.1](#)).
- De modelberekening is semi-dynamisch uitgevoerd met halfjaarlijkse tijdstappen met een gemiddelde waterstand en gemiddelde winter waterstand (zie [paragraaf 3.2.5](#)).
- De mediaanwaarde van het onttrekkingsdebiet over de aangegeven periode is aangenomen als meest representatieve waarde, zodat de onttrekkingshoeveelheid van de winningen niet wordt onderschat (zie [paragraaf 3.2.6](#)).
- Er is aangenomen dat de beluchtingsvijver van RWZI Panheel deels doorlatend is waardoor een stromingsrichting richting Jachthaven Boschmolenplas/Tesken wordt berekend en een reductie van de berekende afwijking met 0,2 m in 'peilbuis 303'.
- De stoftransportmodule is gekalibreerd aan de hand van monitoringsgegevens over de periode 2013-2018 (zie [paragraaf 3.4.2](#)).
- Bij de start van de modelberekeningen is de verontreinigingssituatie zoals die vanuit de monitoring in beeld is in maart 2018 (zie [paragraaf 3.3.4](#)).
- Voor de verontreinigingsbron zijn 3 brontermen aangenomen zoals beschreven in [paragraaf 3.3.5](#) (idem I^a in Tabel 6).
- Voor de Jachthaven Boschmolenplas is een maximale ontgrondingsdiepte van 20 m-mv aangenomen, waarmee een betere verspreiding van de bromide verontreiniging wordt berekend.
- Een overgangszone van klei en siltig fijn is tussen het grind van de Formatie van Beegden en het grove zand van de Formatie van Sterksel (circa 30 tot 35 m-mv) aangenomen voor een betere berekening van de bromide verspreiding.

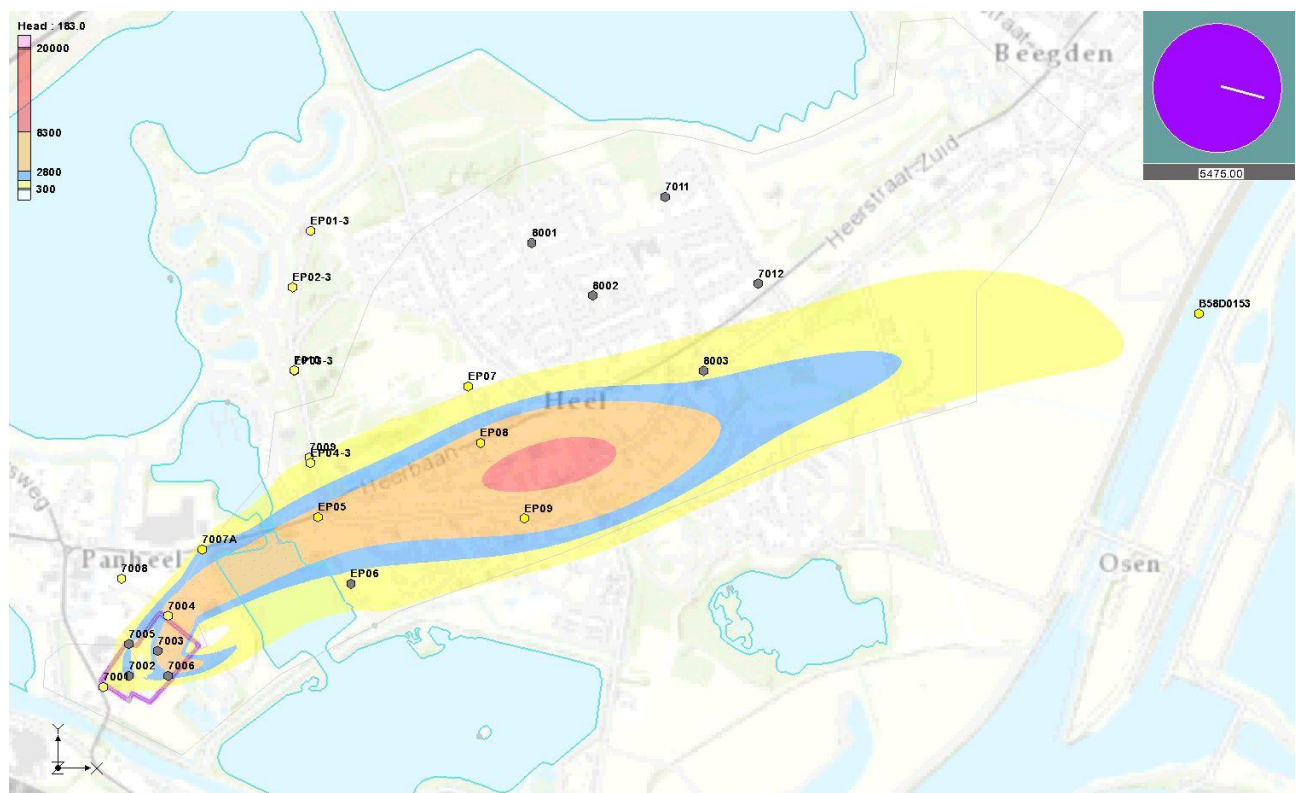
De berekende grondwaterstroming en stoftransport tonen de volgende resultaten:

- De omvang van de pluim zal nog significant toenemen ten opzichte van het verspreidingsbeeld anno 2018 (Figuur 14).
- Circa 15 jaar na de start van de berekening (situatie 2018) wordt de maximale pluimomvang berekend (Figuur 15).
- Na circa 25 jaar worden de maximale concentraties nabij het Lateraalkanaal berekend (Figuur 16).
- Concentraties boven de risicogrenswaarde van het RIVM (8.300 µg/l) komen niet veel verder dan halverwege de afstand tot het Lateraalkanaal en stromen niet richting Waterproductiebedrijf Heel.
- De gemiddelde concentraties bromide in het grondwater die het Lateraalkanaal bereiken liggen onder de 2.800 µg/l (Figuur 17). Het maximum over circa 30 jaar van het gewogen gemiddelde van de berekende concentraties bij het Lateraalkanaal ligt rond de 1.400 µg/l.
- Het intreeoppervlak is beperkt ten opzichte van het gehele kanaalpand voor het inname punt van de WML. De van Edelchemie afkomstige concentraties bromide zullen in het kanaalwater bij het innamepunt van WML door verdere verdunning daar ver onder liggen.

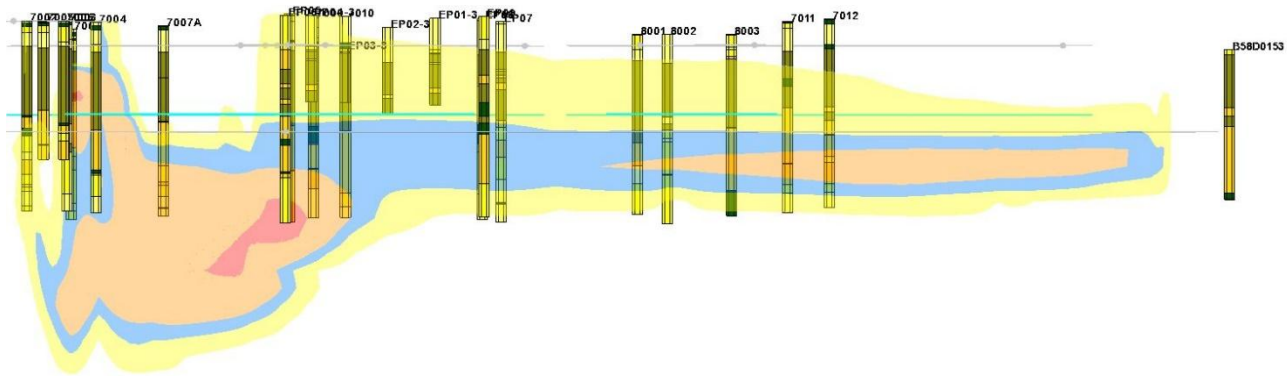
In [Bijlage I](#) is een aanvullende toelichting op resultaten van de modelberekeningen gegeven.



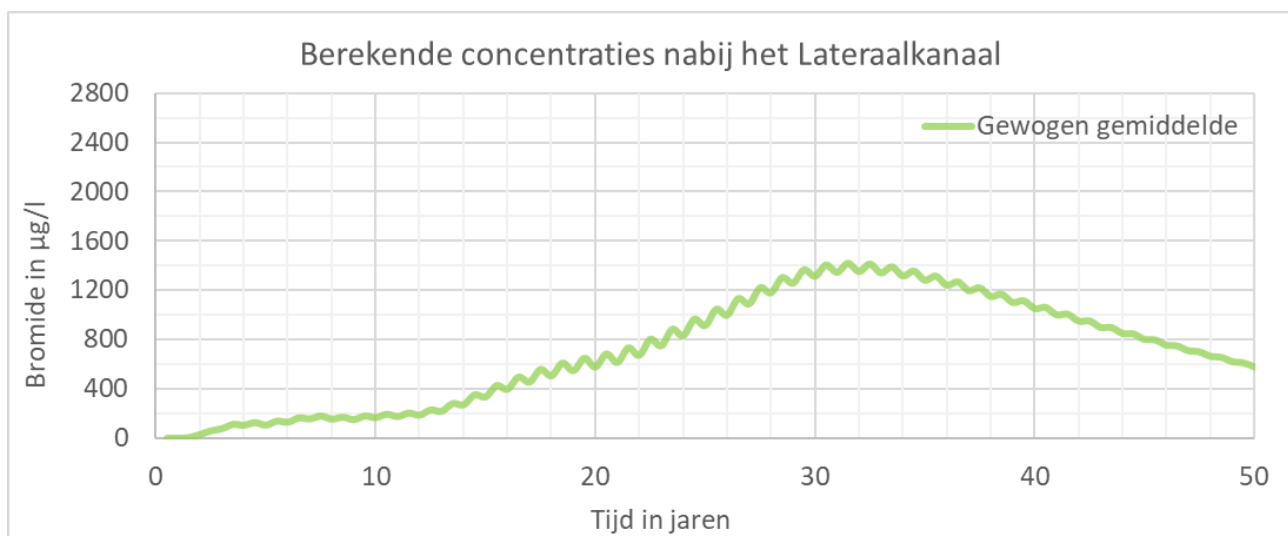
Figuur 14 | Dwarsdoorsnede concentraties (circa 5 jaar) waaruit berekend is dat de pluimomvang zal toenemen in de navolgende 10 jaar alvorens af te nemen.



Figuur 15 | Bovenaanzicht maximale pluimomvang en concentraties afnemende pluim over 15 jaar op circa 40 m-mv.



Figuur 16 | Dwarsdoorsnede maximaal berekende concentraties nabij het Lateraalkanaal over 25 jaar.



Figuur 17 | Berekende gewogen gemiddelde concentratie in het grondwater dat het lateraalkanaal instroomt. Het gewogen gemiddelde is de concentratie dat over het doorstromend vlak van de pluimbreedte (350 m) en diepte (45 m) het Lateraalkanaal instroomt.

3.5.2 Geldigheidsgebied

Het aandachtsgebied van het model zijn Panheel (Edelchemie) en Heel (WPH & Lateraalkanaal). Binnen dit aandachtsgebied mogen de modelresultaten onder de volgende omstandigheden gebruikt worden:

- De gebruiker dient kennis te nemen van de kalibratieresultaten en berekende afwijkingen ten opzichte van gemeten grondwaterstanden, stijghoogten (paragraaf 3.4.1 & Bijlage G) en concentraties (paragraaf 3.4.2). Deze afwijkingen geven inzicht in de betrouwbaarheid van de modelresultaten.
- Het resultaat van de 'meest waarschijnlijke situatie' onderschat de piekconcentraties op korte afstand van de bronzone, vóór passage van Jachthaven Boschmolenplas/Tesken (t/m peilbuis 7007).
- Het resultaat van de 'meest waarschijnlijke situatie' overschat vermoedelijk de concentraties en verspreiding, ná passage van Jachthaven Boschmolenplas/Tesken (vanaf peilbuis EP05, zie ook paragraaf 4.4). Ook wordt het centrum van de pluim ten zuiden van de Heerbaan (bij EP05) berekend in plaats van ten noorden van de Heerbaan bij 7009, zoals uit de monitoring is af te leiden.
- De modelresultaten zijn betrouwbaar op de resolutie van de modelcellen, 12,5 x 12,5 m en gevalideerde rekentijdstap (half jaar).
- Veranderingen in het oppervlaktewatersysteem als gevolg van autonome ontwikkelingen zijn in de modelberekeningen niet meegenomen. Voor langjarige prognoseberekeningen moet de gebruiker hiermee rekening houden.

4 CONCEPTUAL SITE MODEL

4.1 Inleiding

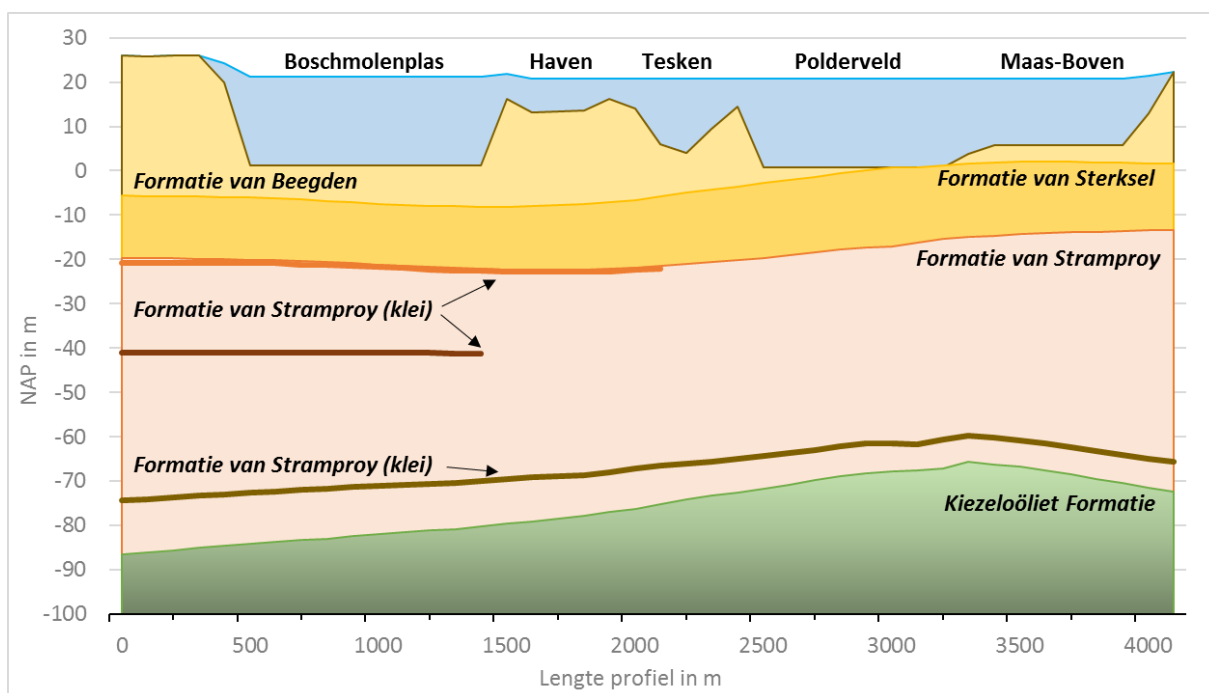
Het huidige conceptueel site model van de locatie van Edelchemie is grotendeels gebaseerd op de uitkomsten van de grondwater- en stoftransportmodellering ('meest waarschijnlijke situatie'). Met behulp van deze modellering kan de huidige verontreinigingssituatie worden verklaard. Locatie specifieke pieken en dalen in de gemeten bromide concentraties kunnen niet met een grondwater- en transportmodel berekend worden. De heterogeniteit van de ondergrond is in werkelijkheid altijd groter dan in een model kan worden geschematiseerd. Daarnaast zijn tussen 1980 en 2018 veel veranderingen in de ondergrond, de verontreinigingssituatie en het watersysteem opgetreden. Bijvoorbeeld de ontgravingen, de bronlocaties en hoeveelheden verontreinigende stoffen en de aanleg en dempen van watergangen, plassen, kanalen en sluizen. De start van de modelberekeningen is de gemiddelde verontreinigingssituatie zoals die vanuit de monitoring in beeld is gebracht in maart 2018. Het 'meest waarschijnlijke situatie' gaat uit van de (geo)hydrologische omstandigheden anno 2018, zonder grootschalige wijzigingen in de huidige randvoorwaarden en condities.

In het Conceptual Site Model is aangegeven welke processen en elementen een rol spelen bij de historische en toekomstige verspreiding van de verontreiniging met bromide en zware metalen. Hierin maken we aannemelijk dat bromide vanaf de locatie van Edelchemie zal afstromen naar het Lateraalkanaal Linne-Buggenum zonder dat sprake zal zijn van ontoelaatbare effecten op de waterwinning Heel of waterkwaliteit in het Lateraalkanaal. Daarbij is het de verwachting dat afgezien van lokale en tijdelijke afwijkingen de concentraties verder zullen afnemen.

Bodemopbouw

Binnen het aandachtsgebied is de bodemopbouw ruwweg als volgt:

- Maaiveldhoogte ; circa NAP +27,0 m
- 0 – 7 m-mv ; Zandige deklaag (Formatie van Bostel)
- 7 – 27 m-mv ; Grof grind (Formatie van Beegden)
- 27 – 50 m-mv ; Zand met kleilagen (Formatie van Sterksel)
- 50 – 120 m-mv ; Zand met klei-leemlagen (Formatie van Stramproy)



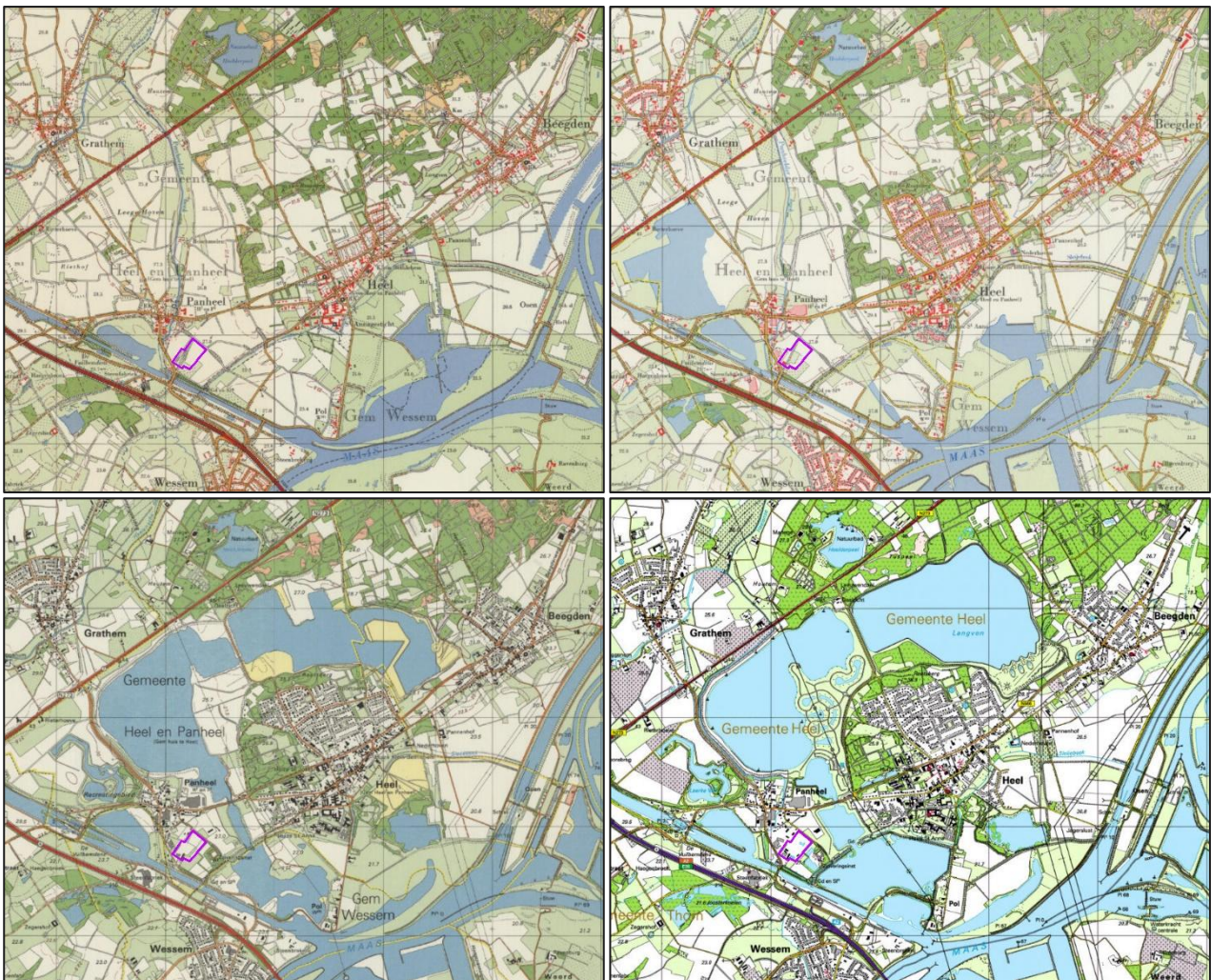
Figuur 18 | Hydrogeologische dwarsdoorsnede van de Boschmolenplas tot de Maas boven (A'; REGIS II v2.2, 2017, www.dinoloket.nl).

Het grove grind van de Formatie van Beegden is sterk bepalend in de grondwaterstroming door de zeer

hoge doorlatendheid enerzijds, en de lokale ontgrondingen die hebben plaatsgevonden anderzijds. Waar ontgrondingen hebben plaatsgevonden is na het verwijderen van het goed doorlatende grind het 'grindgat' vaak opgevuld met zogenaamd 'toutvenant'. Dit is minder goed tot slecht doorlatend bodemmateriaal (zand en klei) dat bij de ontgrondingen is vrijgekomen. Op basis van de topografie en inmetingen van de bodemhoogte (zie ook [paragraaf 3.2.3](#) en [Bijlage C](#)) wordt aangenomen dat ter plaatse van de Jachthaven Boschmolenplas slechts de bovenste 10 m van het grindpakket is ontgonnen. In voorgaande onderzoeken wordt het resterende grindpakket ook wel aangeduid als de 'grindtunnel' ([ref.#15](#);[#18](#)).

4.2 Historie (geo)hydrologische situatie

De historische topografische kaarten geven belangrijke informatie over de grote veranderingen in de geohydrologie op de locatie. In Figuur 19 is de topografische situatie tussen 1970 en 2000 weergegeven (zie ook [Bijlage H](#)). De locatie van Edelchemie (in bedrijf tussen 1974 en 2005) is in paars omlijnd. In 1970 wordt er een begin gemaakt aan de ontgrindingen nabij de Slaag en de aanleg van het Lateraalkanaal ([linksboven](#), Figuur 19). In 1980 is het Lateraalkanaal aangelegd maar de Boschmolenplas, Jachthaven Boschmolenplas, Tesken en Polderveld ontbreken nog ([rechtsboven](#), Figuur 19). Door de drainerende werking van het Maasdal en het Lateraalkanaal is de grondwaterstroming vanuit Edelchemie in noordoostelijke richting. Edelchemie is inmiddels een aantal jaren actief op de locatie.



Figuur 19 | Topografische situatie van 1970 ([linksboven](#)), 1980 ([rechtsboven](#)), 1988 ([linksonder](#)) en 1999 ([rechtsonder](#)); bron: <http://www.topotijdreis.nl>).

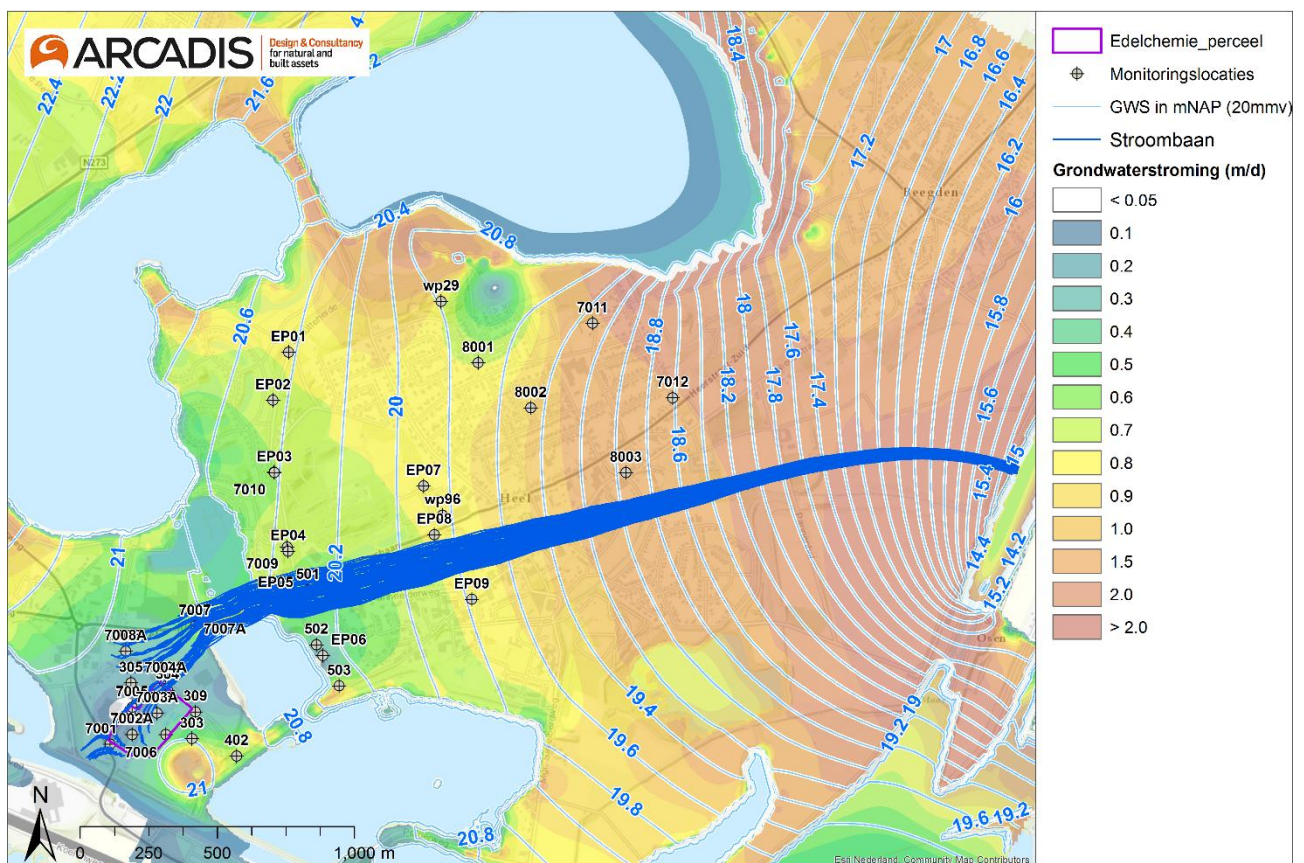
Tussen 1980 en 1988 zijn in een tijdsbestek van 8 jaar grootschalige ontgrondingen uitgevoerd rondom Panheel en Heel ([linksonder](#), Figuur 19). Tussen 1986 en 1992 is ook de nieuwe Sluis Panheel bij Kanaal Wessem-Nederweert aangelegd. Het waterpeil op het Polderveld, Tesken, Jachthaven Boschmolenplas, Boschmolenplas en de Lange Vlieter is gelijk aan het gestuwde peil van de Maas, circa NAP +20,85 m. Omdat Edelchemie midden tussen deze plassen ligt, heeft dit tot gevolg dat in deze periode de horizontale

grondwaterstroming op de locatie zeer gering is, waardoor de dominante stromingsrichting verticaal is. Als gevolg van hoogwaterperioden op de Maas en tijdelijke bemalingen aan de nieuwe Sluis Panheel, is mogelijk kortstondig verspreiding van verontreinigingen in noordelijke richting opgetreden.

In 1999 zijn de grindplassen al nagenoeg volledig in hun huidige vorm aanwezig (**rechtsonder**, Figuur 19). Op de Boschmolenplas is een peil van NAP +21,4 m hoger ingesteld dan dat van de Lange Vlieter (NAP +20,9 m) en van de Jachthaven Boschmolenplas, Tesken, Polderveld en De Slaag die het stuwniveau van de Maas hebben (NAP +20,85 m). Hierdoor is de horizontale grondwaterstroming wederom in noordoostelijke richting naar het Lateraalkanaal (NAP +14,4 m). Ook het maaiveldverloop in het Maasdal en de sterk doorlatende grindafzettingen van de Formatie van Beegden spelen hierin een grote rol.

4.3 Huidige (geo)hydrologische situatie

Anno 2018 stroomt het grondwater vanaf het maaiveld van het Edelchemie-terrein naar het noordoosten en stroomt onder Het Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas door. Afgezien van de Boschmolenplas wordt het terrein omringd door oppervlaktewater met eenzelfde oppervlaktewaterniveau. Hierdoor zijn de gemeten stijghoogteverschillen bij Edelchemie en Panheel beperkt. Dit is geïllustreerd in Figuur 20 (zie ook Figuur 5 en **Bijlage F, kaart 2**). Daarin is met de grondwaterstromingsberekeningen inzichtelijk gemaakt dat het grondwater in het zeer doorlatende grindpakket onder Edelchemie relatief langzaam stroomt (circa 10-30 m/j). Ten noordoosten van Het Tesken worden grondwaterstromingssnelheden berekend van circa 200 m/j, tot meer dan 500 m/j nabij het Lateraalkanaal. De lage grondwaterstromingssnelheid bij Edelchemie is alleen mogelijk als het stijghoogteverhang en/of de bodemdoorlatendheid zeer beperkt is. De aangenomen en gekalibreerde bodemdoorlatendheden liggen binnen de fysische grenzen van de hydrogeologische formaties en zijn daardoor betrouwbaar geacht (zie **paragraaf 3.4**). Het grondwaterstromingsmodel heeft aangetoond dat een kleine verandering van de stijghoogte ter plaatse van Edelchemie een grote invloed heeft op de stromingsrichting. Bovendien is duidelijk dat de grondwaterstroming in Beegden zich wringt door het restant van het grindpakket onder de Jachthaven Boschmolenplas. Door het sterke verhang ten zuidwesten en noordoosten van de Jachthaven Boschmolenplas zijn de stroomsnelheden zeer hoog. Tussen meetpunt 7007 en 501 kan een stroomsnelheid afgeleid worden van 100-270 m/j (modelberekening 90-255 m/j).



Figuur 20 | Berekende grondwaterstromingssnelheden in m/dag op 25 m-mv (Beegden grind)

Mede door de vele historische ingrepen en veranderingen in de stromingsrichting, is minder zeker op welke plaats de pluim de Jachthaven Boschmolenplas of Het Tesken passeert. Daarnaast is ook niet exact bekend op welke plaats en op welk moment de bulk van de verontreiniging in de ondergrond is vrijgekomen en waar deze zich ondertussen bevindt. In de peilbuismetingen wordt een pluim gemeten net ten noorden van de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken. Het oorspronkelijke gekalibreerde grondwaterstromingsmodel wees er in eerste instantie op dat de stroombanen vanaf het terrein van Edelchemie niet richting de Jachthaven Boschmolenplas gaan, maar juist naar de overgang tussen Het Tesken en het Polderveld.

Dit is geïllustreerd met een stoftransportberekening uit de gevoeligheidsanalyse en kalibratie (Figuur 21). Daarin is op een diepte van diepte van 30 m -mv weergegeven waar volgens de huidige kalibratie de pluimen van een bron van bromide op het Edelchemie-terrein (peilbuis 7002) en een bron ter plaatste van peilbuis 7007 zich naar toe begeven. De verontreiniging vanaf het Edelchemie-terrein passeert duidelijk zuidelijker.

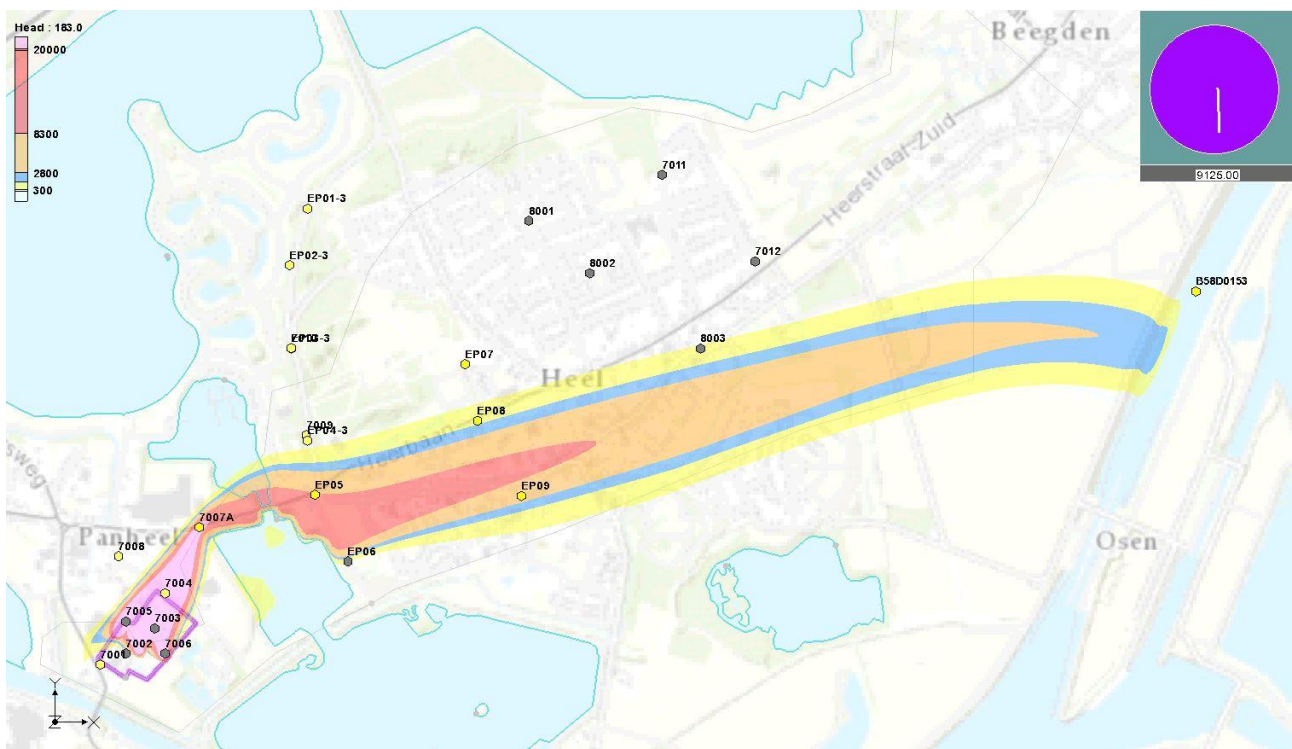


Figuur 21 | Stoftransportberekening laag 30 m -mv (gevoeligheidsanalyse en kalibratie)

Ook bij langdurige hoogwatersituaties op de Maas kan in deze gevoeligheidsberekening een noordelijke stroming vanuit Edelchemie niet worden verklaard. Uit de berekening volgt wel eenduidig dat de twee (hypothetische) pluimen van twee verontreinigingsbronnen halverwege de afstand naar het Lateraalkanaal samenkomen en dezelfde stromingsrichting volgen.

Horizontale verspreiding

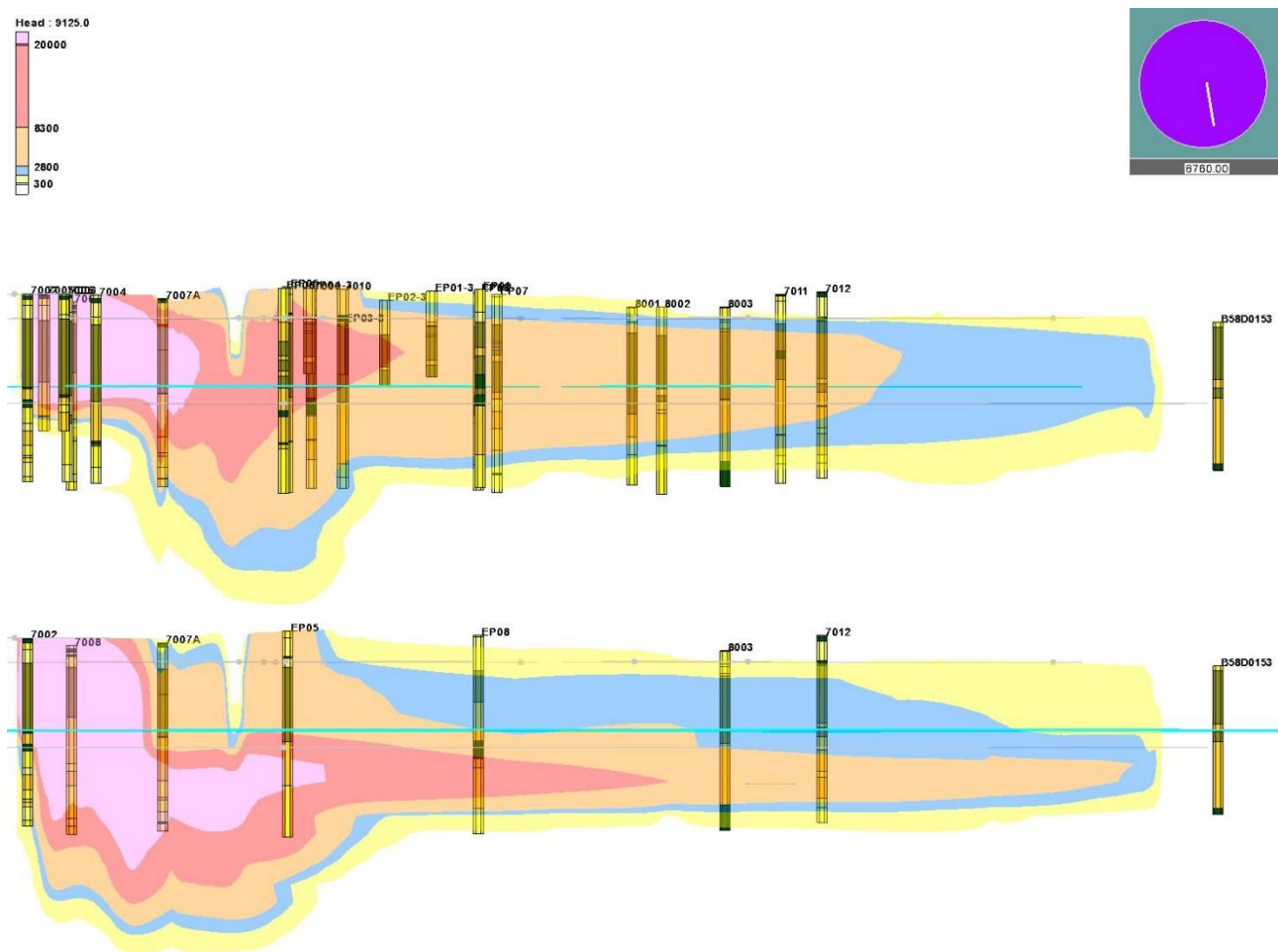
Tijdens de initiële modelbouw is aanvankelijk geen rekening gehouden met een afwijkende stijghoogtemeting direct zuidoostelijk van het Edelchemie-terrein, nabij de RWZI Panheel (peilbuis 303). Op basis van overige metingen op het Edelchemie-terrein is het grondwaterverhang zeer gering. Hierboven is aangegeven dat het grondwaterstromingsmodel heeft aangetoond dat een kleine verandering van de stijghoogte ter plaatse van Edelchemie een grote invloed heeft op de stromingsrichting. Tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie is het effect van een eventuele infiltratie van gezuiverd rioleffluent vanuit de RWZI-beluchtingsbassins ('compartiment 2') op de grondwaterstroming onderzocht (zie [paragraaf 3.4.1](#)). Dit heeft aangetoond dat door een lokale grondwaterstandverhoging ter plaatse van de RWZI-beluchtingsbassins, een grondwaterstroming vanaf het Edelchemie-terrein in noordelijke richting ontstaat. Met de transportmodule is hiermee een verspreiding van bromide via het huidige verontreinigingsbeeld berekend (Figuur 22). Omdat er uit de peilbuismetingen geen aanwijzingen zijn dat de verontreinigingen zich op een andere plaats aan de overzijde van Het Tesken kan manifesteren, is in deze aanvullende verkenning uitgegaan van dit modelconcept en verspreidingspatroon (zie ook [hoofdstuk 3](#)).



Figuur 22 | Bovenaanzicht op 30 m-mv ter illustratie van de berekende verspreiding van de verontreiniging door grondwateraanvulling door RWZI-beluchtingsbassins

Verticale verspreiding

In verticale richting wordt de grondwaterstroming sterk bepaald door infiltratie vanuit oppervlaktewater zoals Het Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas. De infiltratie wordt beperkt door de lage waterbodembedoorlatendheid en doordat het ontgonnen grind van de Formatie van Beegden bij de plassen is vervangen door slecht doorlatend materiaal ('toutvenant'). Hierdoor wordt grondwaterstroming in noordoostelijke richting geforceerd om op een diepte van circa 20 m onder de Jachthaven Boschmolenplas en op een diepte van circa 30 m onder Het Tesken te stromen. Op de overgang van het grind van de Formatie van Beegden en het grove zand van de Formatie van Sterksel (circa 30 tot 35 m-mv) is in boringen een laag met klei en siltig fijn zand aangetroffen (zie [paragraaf 3.4.2](#)). Tijdens de gevoeligheidsanalyse en kalibratie is aangetoond dat hierdoor de verontreiniging ten noordoosten van de Jachthaven Boschmolenplas en Tesken op de juiste diepte wordt berekend (zie Figuur 23), zoals ook in metingen van oa. peilbuis 7009/EP04, 501 en EP05 is vastgesteld ([ref.#1;#2;#3;#4](#)). Bij een afwezigheid van deze 'kleilaag' berekent het grondwater- en transportmodel een opwaartse stromingsrichting ten noordoosten van de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken als gevolg van het stijghoogteverschil aan weerszijden van deze plassen.

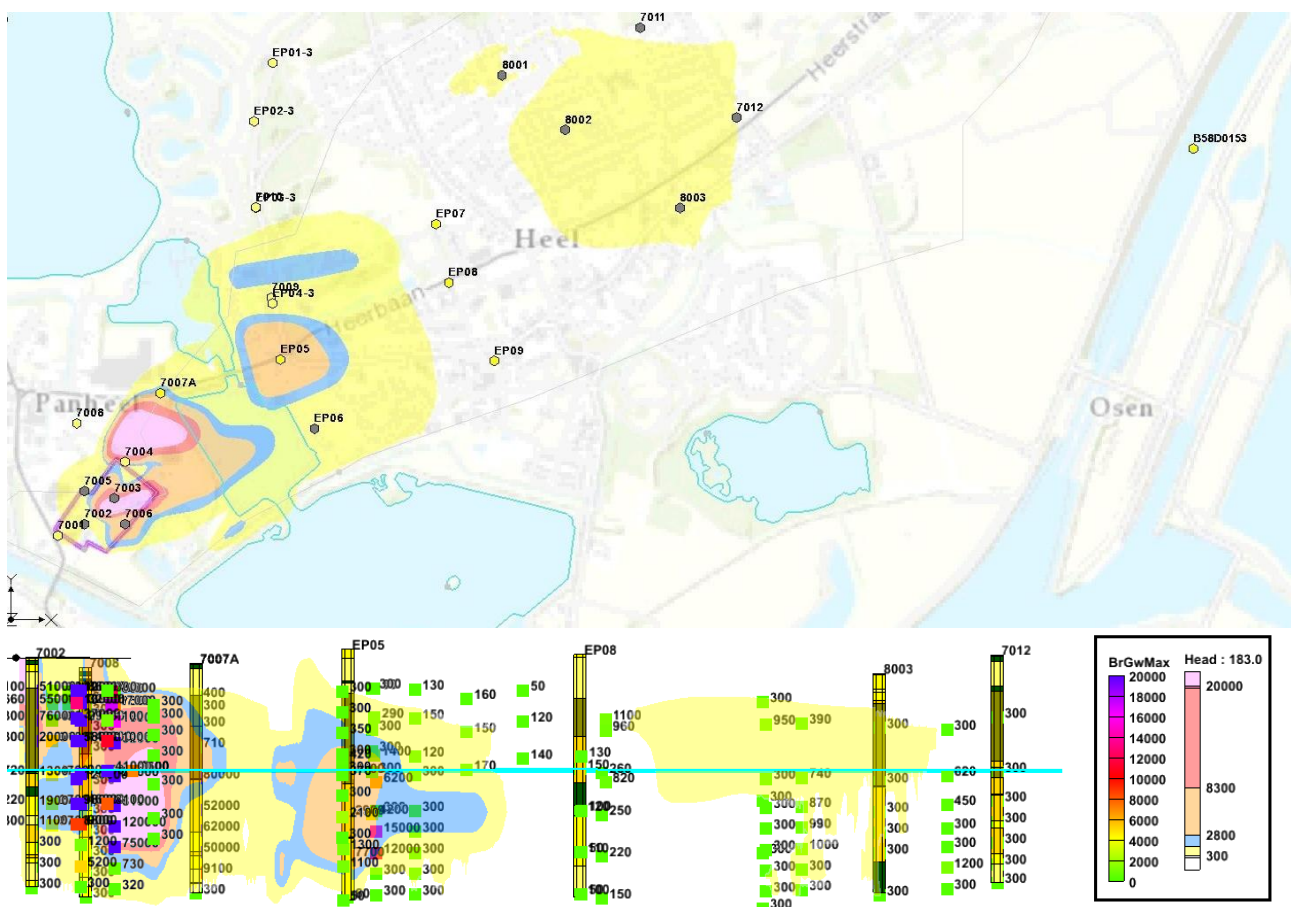


Figuur 23 | Dwarsdoorsnede ter illustratie van de verticaal berekende verspreiding bij een maximale bronsterkte (1Mµg/l), zonder (boven) en met een overgangszone van klei (onder) tussen de Formatie van Beegden en de Formatie van Sterksel. De overgangszone is gelegen tussen de cyaan en de grijze lijn daaronder (circa 30 tot 35 m-mv; NAP -3 tot -8 m).

4.4 Bron en pluimvoorspelling

Het grondwaterstromingsmodel benadert de werkelijkheid goed, maar desondanks blijkt het niet eenvoudig om de veldwaarnemingen te verklaren met de berekeningen van het stoftransport. Bij de stoftransportmodellering worden ook bij lagere invoerconcentraties dan aangetoond in de bron, grotere pluimen gevonden met hogere concentraties dan in het veld worden waargenomen.

- In Figuur 24 is de huidige verontreinigingssituatie weergegeven op 40 m-mv (zie ook [paragraaf 3.3.4](#)).
- De verontreiniging is in werkelijkheid niet veel verder waargenomen dan enkele honderden meters voorbij Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas.
- Modelberekeningen met bromide (als conservatieve tracer, zie ook Tabel 6) tonen dat de verontreiniging met de huidige grondwaterstroming binnen 15 jaar het Lateraalkanaal bereikt.
- Op basis van de bedrijfsvoering van Edelchemie mogen we ervan uitgaan dat de eerste bronemissies al 30-40 jaar oud zijn.
- Meetgegevens bij het Lateraalkanaal vóór 2013 zijn niet beschikbaar om de berekende verspreiding te verifiëren. Op basis van de monitoring sinds 2013 is hier geen aanleiding voor geweest.
- In de werkelijkheid lijkt de verontreiniging dus pas één derde van de berekende afstand te hebben afgelegd.
- De beschikbare monitoringsgegevens bestrijken een periode van circa 4 jaar, wat te weinig is om een eenduidige trend af te leiden.
- Op dit moment lijkt het erop dat de concentraties in het front van de pluim (7007 en 7009) toenemen, terwijl de concentraties op het Edelchemie-terrein gelijk blijven of beperkt afnemen. Omdat de meetperiode kort is kunnen dit ook tijdelijke fluctuaties zijn die los staan van de langjarige trend.



Figuur 24 | Boven- en zijaanzicht van de huidige verontreinigingssituatie in het model en de gemeten bromide concentraties (in µg/l)

Welke situatie doet zich voor?

De gemeten hoge bronconcentraties (tot >500.000 µg/l) onder het Edelchemie-terrein lijken niet in overeenstemming met de leeftijd van de verontreiniging en de vastgestelde pluimomvang. De bedrijfsvoering van Edelchemie is in 2004 beëindigd en het is onbekend hoe hoog de bromide concentraties in het verleden zijn geweest. Er is een aantal mogelijkheden:

1. Er is sprake van een gelijkblijvende of krimpende pluim
 - De hoogste concentraties zijn het meetnet al gepasseerd, of;
 - De hoge concentraties in de brongebieden leveren langzamer na omdat bromide grotendeels is gebonden in een complex, of;
 - Doordat hoge concentraties voor een deel in de langzaam doorspoelde onverzadigde zone aanwezig is, of in relatief stagnante zones onder het terrein.
 - Dit betekent dat de aangenomen brontermen in het model zijn overschat, en een deel van de verontreiniging/pluim is/wordt gemist door de veldmetingen.
2. Er is sprake van een toenemende pluim
 - De grondwaterstroming voor de passage van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas is in werkelijkheid veel lager, en ten tijde van de bedrijfsvoering hielden de onttrekkingen van Edelchemie de verontreiniging op zijn plaats.
 - Ook is het mogelijk dat er bromide complexen aanwezig zijn die zich niet gedragen als conservatieve tracer. De huidige toename van de concentraties bij de peilbuizen 7007 en 7009 lijken in die richting te wijzen.
 - Er is sprake van een langzaam groeiende pluim, die vanaf Het Tesken zal versnellen én verdunnen richting Lateraalkanaal.
3. Er is sprake van een combinatie van bovenstaande met een min of meer constante of stationaire pluim die geleidelijk zal afnemen. De effecten zijn vergelijkbaar met verklaring 1.

4.4.1 Gelijkblijvende of krimpende pluim

De hypothese van de afnemende pluim, meer dan 40 jaar na begin bedrijfsvoering op Edelchemie lijkt in het geval van bromide en het tot op circa 30 m-mv zeer goed doorlatende grindpakket in eerste instantie een voor de hand liggende verklaring. Bromide is een goed oplosbare stof die zich met het grondwater beweegt, en de doorlatendheid in het grindpakket is zeer hoog met plaatselijk stromingssnelheden van meerdere honderden meters per jaar. Het feit dat de hoogste concentraties ten noorden van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas voornamelijk worden aangetroffen in de onderliggende minder goed doorlatende zandlagen, lijkt deze hypothese te onderschrijven. Dit wijst namelijk in de richting van een verontreiniging die zich snel heeft verspreid door de ondiepe goed doorlatende grindlagen én minder snel in de onderliggende zandlagen. Na het passeren van de bulk van de verontreiniging spoelt het goed doorlatende grind relatief snel weer schoon en vindt vanuit de minder goed doorlatende zandlagen nalevering plaats.

- Deze hypothese wordt echter tegengesproken door de hoge bronconcentraties en de (waarschijnlijk) toenemende waarden bij peilbuis 7007 (ten noorden van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas). De verontreiniging had hier al weg of afnemend moeten zijn.
- Bij goed oplosbaar bromide zal bromide ook bij de relatief lage grondwaterstromingssnelheden, snel verdunnen en zich met de grondwaterstroming richting Lateraalkanaal verplaatsen.
- Uit de modelberekeningen blijkt dat om de huidige situatie te verklaren met een gelijkblijvende of krimpende pluim, de nalevering vanuit de brontermen significant lager moet worden ingeschat. Bovendien moet het zo zijn dat het monitoringsnetwerk een deel van de pluim mist. De concentraties onder het Edelchemie terrein zijn echter nog steeds hoog en het meetnet aan de andere zijde van Het Tesken is inmiddels uitgebreid.
- De hypothese van de krimpende pluim is daardoor minder waarschijnlijk. Het feit dat de verontreiniging ten noorden van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas vooral in de diepere zandlaag wordt aangetroffen en niet in het ondiepe grindpakket kan worden verklaard doordat de pluim door infiltratie vanuit Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas naar de diepte wordt gedrukt tot zelfs onder de lokaal voorkomende kleilaag op een diepte van 30-35 m-mv.

4.4.2 Toenemende pluim

Er is een aantal argumenten waarom de verontreiniging minder ver is verspreid dan verwacht op basis van de modelverwachtingen of de leeftijd van de bronemissie. Allereerst is het zo dat de grondwaterstroming direct onder het Edelchemie-terrein op basis van de gemeten en berekende grondwaterstanden en stijghoogten zeer gering tot nihil is (zie Figuur 5 en [Bijlage F, kaart 2](#) en ook Figuur 20). Op basis van de schaars bekende informatie over de exacte bedrijfsvoering van Edelchemie is het ook mogelijk dat de tijdelijke onttrekking op het terrein van Edelchemie een bijdrage leverde aan de beheersing van de verontreinigingsbron. Bij de huidige inzichten van de geringe grondwaterstroming kan deze hypothese in ieder geval zeker niet worden uitgesloten. Daarbij is het vermoeden dat bromide deels als neergeslagen verbinding in de onverzadigde zone aanwezig is, of als minder mobiel bromidecomplex in grond en grondwater.

- Deze hypothese wordt ondersteund door de hoge bronconcentraties en de (mogelijk) toenemende waarden bij peilbuis 7007 (ten noorden van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas). De verontreiniging had hier al weg of afnemend moeten zijn.
- Bij goed oplosbaar bromide zal bromide ook bij de relatief lage grondwaterstromingssnelheden, snel verdunnen en zich met de grondwaterstroming richting Lateraalkanaal verplaatsen.
- De modelberekeningen voorspellen toenemende pluimconcentraties in de komende 10 tot 15 jaar (zie [paragraaf 3.5](#)). De toename in concentraties is sterk afhankelijk van het aangenomen concentratieverloop voor de brontermen (zie [paragraaf 3.3.5](#)). De berekende waarden in concentratietoename zijn daardoor slechts indicatief.
- Gecontinueerde monitoring moet uitwijzen of de hypothese van een toenemende pluim bevestigd of verworpen moet worden. De uitbreiding van het meetnet aan de andere zijde van Het Tesken/Jachthaven Boschmolenplas draagt bij aan het vaststellen van de situatie en de betrouwbaarheid van de monitoring.

De hypothese van een toenemende pluim is het meest waarschijnlijke scenario. Zowel de monitoring als de modellering wijzen in deze richting.

4.5 Resumé

Het grondwaterstromingsmodel omschrijft de geohydrologische situatie zeer goed en de uitgebreide stoftransportmodellering heeft inzichtelijk gemaakt dat voor de verklaring van de huidige omvang van de pluim meerdere oorzaken mogelijk zijn. In alle onderzochte scenario's met het grondwater- en transportmodel bereikt de pluim met bromide niet de waterwinningen van Waterproductiebedrijf Heel, en zullen (over 30 jaar) de concentraties intredend grondwater in het Lateraalkanaal lager zijn dan de toegestane Jaargemiddelde Milieukwaliteitsnormen (JG-MKN) van 8.000 µg/l. Op basis van de berekende concentraties is de verwachte concentratie bromide die mogelijk het Lateraalkanaal intreedt maximaal 1.400 µg/l (gewogen gemiddelde bij een groeiende pluim over circa 30 jaar). Dit is lager dan de voorlopige richtwaarde voor bromide in drinkwater van 2.800 µg/l. De van Edelchemie afkomstige concentraties bromide zullen in het kanaalwater bij het innamepunt van WML door verdere verdunning daar ver onder liggen. De verontreinigingen met zware metalen en VOCI vallen ruimschoots binnen de omvang van de bromide pluim en verspreiden zich ook niet verder. Alleen nikkel neemt recent toe, maar is in verhouding tot bromide niet relevant.

Alhoewel de verklaring van een stationaire of zelfs al afnemende pluim nog niet onmogelijk wordt geacht, is het op basis van de monitoring en modelstudie zeer waarschijnlijk dat er sprake is van een toenemende pluim. Het stoftransportmodel voorspelt weliswaar een veel snellere verspreiding, maar het lijkt waarschijnlijk dat in de praktijk de verspreiding veel trager verloopt. De nalevering van de bron is onzeker, grondwaterstromingssnelheden op de locatie zijn ondanks het goed doorlatende grindpakket zeer gering. Mogelijk hebben de onttrekkingen door Edelchemie in het verleden een beheersende werking gehad op de verspreiding.

De hoge concentraties in de bron, in combinatie met de (weliswaar tijdelijk) stijgende concentraties in het front van de pluim weerspreken de mogelijkheid van een krimpende pluim. Tijdens de sessie topkennis werd hieraan gedacht omdat in het front van de pluim de verontreiniging in de minder doorlatende zandlagen wordt aangetoond. Dit wordt echter niet veroorzaakt door het feit dat het grindpakket al schoon is gespoeld, maar doordat infiltratie vanuit de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken, de verontreiniging naar het zandpakket onder de grindlaag dringt, deels bevorderd door een weerstand biedende overgangszone van klei en siltig fijn zand tussen de Formatie van Beegden en de Formatie van Sterksel op 30 m-mv.

Voor de effecten bij de kwetsbare objecten maakt het verrassend weinig verschil welke verklaring wordt aangehangen. Door het sterke, en vooral continue stijghoogte verhang van de Jachthaven Boschmolenplas/Tesken naar het Lateraalkanaal, zal alle verontreiniging uiteindelijk in het Lateraalkanaal en Maas uitkomen. Over deze afstand zullen de concentraties voor aankomst sterk verdund zijn door de hoge grondwaterstromingssnelheden tot meerdere honderden meters per jaar.

5 VERGELIJKING SANERINGSOPTIES

5.1 Opties en werkwijze

In overleg met het Expertteam en de projectbegeleidingsgroep zijn 4 saneringsopties afgeleid die mogelijk zijn, in aanvulling op de sanering van de bovengrond en het geschikt maken van het terrein als bedrijfsterrein. De grondsanering wordt hier niet nader benoemd, maar we gaan er in alle opties van uit dat deze wordt uitgevoerd voor de uitvoering van voorkeursoptie. Het saneringsplan voor de bovengrond wordt tijdens het schrijven van deze aanvullende verkenning voorbereid.

Na de uitwerking van de stoftransportmodellering worden maatregelen bij de waterwinningen beschouwd als een minder voor de hand liggende optie en wordt daarom opgenomen als terugvalscenario. Het terugvalscenario (optie 4) is toegelicht in [paragraaf 5.5](#). De volgende 3 opties zijn in dit hoofdstuk beschreven.

1. Monitoring grondwaterverontreiniging en sanering toplaag grond Edelchemie
2. Variant 1 en verminderen nalevering brongebied
3. Variant 1 en beheersing bij pluimfront

Deze varianten worden hierna nader beschreven en globaal beoordeeld op hun kosteneffectiviteit aan de hand van een baten-lasten analyse met de afwegingsaspecten:

Lasten:

- a. Kosten
- b. Tijdsduur
- c. Faalrisico's
- d. Emissies en overlast

Baten:

- e. Risico-reductie (waterwinning)
- f. Vrachtverwijdering
- g. Toename gebruiksmogelijkheden
- h. Maatschappelijke acceptatie

5.2 Optie 1: Monitoring grondwater en sanering grond

In optie 1 wordt monitoring voorgesteld volgens de monitoringsmethodiek uit de handreikingen onder de Kader Richtlijn Water (KRW) en Dochterrichtlijn Grondwater. Daarin wordt gewerkt met de zogenaamde Plains of Compliance (PoC). De ontwikkeling van de pluim in het grondwater wordt in deze methodiek gevolgd met het bestaande netwerk van peilbuizen (PoC 1 en 2), en tegelijkertijd wordt bij de kwetsbare objecten, de waterwinning en het Lateraalkanaal gemonitord (PoC 3). Dit laatste is een zogenaamd *'early warning systeem'*.

Overigens wordt met betrekking tot de KRW opgemerkt dat het spoedgeval Edelchemie wordt beschikt onder de huidige Wet Bodembescherming (Wbb) en als zodanig ook in de toekomst onder het overgangsrecht zal vallen. De Wbb verzorgt daarmee indien nodig een uitzondering op de eisen uit de KRW. Het kan zijn dat de pluim nog enige tijd blijft toenemen of het oppervlaktewater bereikt. In de voorliggende afweging van saneringsopties en later saneringsplan grondwater wordt uiteindelijk gewerkt naar de meest kosteneffectieve en optimale saneringsvariant (zonder risico's!) conform de Wbb en bijbehorende circulaire bodembescherming. Indien deze optie vanwege verspreiding niet strikt voldoet aan de eisen uit de KRW, dan is de Wbb de paraplu die een uitzonderingspositie op dit punt mogelijk maakt. Eigenlijk is een keuze in de lijn van de Wbb daarmee altijd 'KRW-proof'.

Het bestaande monitoringsnetwerk in de pluim wordt uitgebreid met 2 diepe peilbuizen tot 60 m-mv noordelijk van EP07, bijvoorbeeld op de kruising Eikenlaan/Daalzicht en in de knik van de Houthemerweg. Deze peilbuizen dienen deels als *'early warning system'* en zijn nodig om het stijghoogtepatroon definitief te bevestigen. Daarnaast moeten 3 peilbuizen geplaatst worden tot 50 m-mv, vlak voor het Lateraalkanaal, tussen sluis en Oosderweg. We gaan er van uit dat de monitoring 20 jaar moet worden doorgezet, waarna een voldoende beeld en zekerheid bestaat over het afnemende pluimbeeld en de risico's. Op dit moment bestaat een monitoringreeks van 5 jaar, die nog geen goede trendanalyse mogelijk maakt. Gezien de grootte van het totale systeemgebied, de mogelijke ingrepen in het brongebied en de onzekerheden in de snelheid waarmee de pluim zich verplaatst, schatten we dat een totale monitoringperiode van 25 jaar nodig is om voldoende grip te krijgen op de ontwikkeling van de pluim (groei, stationariteit of krimp).

In alle opties wordt allereerst een grondsanering uitgevoerd. De grondsanering bestaat uit het geschikt maken van het Edelchemie-terrein voor de bestemming industrie. Dit betekent dat alle bestaande infrastructuur, kabels en leidingen zullen worden verwijderd, en dat de toplaag wordt gesaneerd tot 1 m-mv. Alleen de echt duidelijk herkenbare hotspots zullen worden gesaneerd tot 4 m-mv.

5.2.1 Beoordeling Lasten

Kosten:

- We schatten (nog te detailleren) de totale kosten voor bemonstering, herplaatsen van verloren gegane peilbuizen en rapporteren van de monitoring op 1,5 miljoen euro over de periode van 20 jaar;
- De grondsanering met alle bijbehorende activiteiten worden geschat op 1,2 miljoen (bron: afwegingsnotitie Oranjewoud, 2013)

Tijdsduur:

De monitoring loopt over 20 jaar, maar levert geen overlast op voor de omgeving. De grondsanering zal ongeveer 1 jaar in beslag nemen.

Faalisico's:

Het voornaamste faalisico bestaat hieruit dat zich in de toekomst toch een onverwachte verspreiding voordoet en sprake blijkt te zijn van beïnvloeding van de drinkwaterkwaliteit, hetzij in de onttrekkingen, hetzij te hoge concentraties in het Lateraalkanaal. In het eerste geval manifesteert de pluim zich op een andere plaats en uit de monitoring van de pluim of het early warning systeem van de winputten volgt dat een deel van de pluim de putten van de WML bedreigt en het terugvalscenario moet worden geactiveerd (zie [paragraaf 5.5](#)). In het tweede geval stijgen de concentraties in het Lateraalkanaal sterker dan verwacht. Omdat ondanks alle modelleer- en onderzoeksinspanningen meerdere verklaringen mogelijk zijn voor het huidige verspreidingsbeeld, en er beperkt onzekerheid overblijft in de conceptuele beschrijving van de verspreiding, wordt de kans op een onverwachte gebeurtenis relatief hoog geraamd op 4-5%. Het faalisico wordt uitgedrukt in kans x kosten, in dit geval $0,5 \cdot 10 \text{ mln} = \text{€ } 500.000$, -

Emissies en overlast

De emissies en overlast als gevolg van de grondsanering zijn onderdeel van alle saneringsopties en worden in de vergelijking buiten beschouwing gelaten. De milieueffecten van de monitoring zijn te verwaarlozen en bestaan uitsluitend uit zeer beperkt verkeer door de bemonsteringsbusjes 1 of enkele keren per jaar gedurende 20 jaar.

5.2.2 Beoordeling Baten

Risico-reductie

Naar verwachting is in de huidige situatie niet direct sprake van risico's voor mens en milieu. Toelaatbare risiconiveaus worden in het grondwater niet overschreden, en de kwetsbare objecten worden naar verwachting niet bedreigd in hun functie. In die zin zal geen enkele variant leiden tot risico reductie (het kan niet kleiner). Na sanering van de bovengrond is het terrein weer beschikbaar voor een maatschappelijke functie (bedrijfsterrein). Het is wel zo dat deze variant de kans op het faalisico niet verkleint. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat de concentraties in het Lateraalkanaal hoger worden dan de modelverwachting aangeeft.

Vrachtverwijdering

Alleen de grondsanering leidt daadwerkelijk tot vrachtverwijdering. Omdat deze grondsanering voor alle opties vergelijkbaar is, wordt de grondsanering voor wat betreft vrachtverwijdering uit de vergelijking gelaten. Voor wat betreft de verontreiniging in het grondwater leidt de monitoring niet tot enige vrachtverwijdering

Toename gebruiksmogelijkheden

Na de grondsanering kan het terrein weer worden uitgegeven voor bedrijfsdoeleinden. De pluim in het grondwater blijft aanwezig en veroorzaakt mogelijk een beperkte beperking van het mogelijke gebruik van onttrokken water. Het is niet zonder meer geschikt voor (mn. menselijke) consumptie. Gebruik voor andere doeleinden is niet uitgesloten.

Maatschappelijke acceptatie

Deze optie is de minimale optie, maar het terrein wordt opgeschoond en de risico's zijn beheerst. Acceptatie is direct afhankelijk van de communicatie en verantwoording van de gekozen optie. Deze optie wordt gezien als sober en doelmatig, maar er zal waarschijnlijk sprake zijn van een nog toenemende verontreinigingsomvang die alleen kan worden verantwoord door het feit dat geen negatieve effecten optreden. Omdat de sanering wordt uitgevoerd door de overheid die zorgvuldig met de beschikbare middelen moet omgaan is naar verwachting de acceptatie voldoende.

5.3 Optie 2: Reductie nalevering brongebied

In deze optie worden dezelfde maatregelen uitgevoerd als in optie 1, met toevoeging van versnelde doorspoeling van de bronzone onder het Edelchemie-terrein. Daarmee wordt bereikt dat de pluim beduidend minder zal toenemen en sneller een afnemende trend zal laten zien. Het spreekt voor zich dat deze optie kostbaarder is dan optie 1, maar de vergelijking draait hierom of de grotere investering ook duidelijk meerwaarde heeft die de extra investering waard is. Leidt een snellere afname van de pluim ook tot snellere afname van risico's en gebruiksbeperkingen?

De noodzaak en wijze van uitvoeren van het versneld doorspoelen van de bronzone moet nader worden uitgewerkt. Voor de vergelijking gaan we uit van een aanvullend onderzoek van circa € 150.000, - Euro om het nut van de bronsanering nader te onderbouwen en de ligging van de bronzones nader in beeld te brengen. Indien blijkt dat een versnelde doorspoeling van de bronzone weinig effect heeft, dan kan worden teruggeslagen op optie 1. Vooralsnog gaan we er echter van uit dat een recirculatiesysteem met zuivering dat grondwater onttrekt op een diepte van 10-12 m-mv en herinfiltrateert op een diepte van ongeveer 3 m-mv zinvol zal zijn. De stoftransportberekeningen laten een grote gevoeligheid zien voor de bronflux, én dat er wel degelijk nalevering optreedt. Daarbij zijn maar zeer beperkt gegevens beschikbaar van de ondergrond van het brongebied, en wordt verwacht dat het verspreidingsbeeld zeer grillig is en moeilijk karteerbaar. Een recirculatiesysteem kan enerzijds dit brongebied geheel beslaan, en zal anderzijds ook zelf veel informatie opleveren over de nalevering van het gebied. Volledige sanering zal niet mogelijk blijken en is ook niet nodig. Een sterke fluxreductie is dat wel.

Bij een debiet van 30 m³/uur gedurende 3 jaar wordt een oppervlakte van 2 hectare 10-15x doorspoeld. De zuivering geschiedt met omgekeerde osmose en het vrijkomende brijn (water met hoge concentratie zouten) moet worden afgevoerd. Uitgaande van het goed mobiele bromide is de inschatting dat 10-15x doorspoelen zal leiden tot een zeer sterke afname van de nalevering van de bronzone.

5.3.1 Beoordeling Lasten

Kosten:

- De kosten van optie 1: 2,5 à 3 miljoen Euro
- De totale kosten van aanvullende karakterisering, aanleg en onderhoud en grondwaterzuivering worden geraamd op ongeveer 3 miljoen Euro

Tijdsduur:

De monitoring loopt over 20 jaar, maar vindt nagenoeg onmerkbaar plaats. De grondsanering zal circa 1 jaar in beslag nemen. De aanvullende karakterisering van de noodzaak neemt 5 jaar in beslag, waarna de doorspoeling van de bronzone staat gepland voor een periode van 3 jaar.

Faalisico's:

Het voornaamste faalisico bestaat hieruit dat ondanks al het zorgvuldig uitgevoerde onderzoek én de vermindering van de bronflux in de toekomst toch sprake blijkt te zijn van beïnvloeding van de drinkwaterkwaliteit. De pluim groeit en uit de monitoring volgt dat een deel van de pluim de putten van de WML bedreigt en het terugvalsscenario moet worden geactiveerd (zie [paragraaf 5.5](#)). De kans op deze gebeurtenis is significant kleiner dan optie 1, omdat de kans dat een pluim ontstaat wezenlijk wordt teruggedrongen. We schatten deze kans op 1-2%. Het faalisico wordt uitgedrukt in kans x kosten, in dit geval 0,02*10 mln = € 200.000, - Euro.

Emissies en overlast

De emissies en overlast als gevolg van de grondsanering zijn onderdeel van alle saneringsopties en worden in de vergelijking buiten beschouwing gelaten. De milieueffecten van de monitoring zijn beperkt en bestaan

vooral uit de voertuigbewegingen over 20 jaar. De aanpak van het grondwater op de locatie zorgt gedurende 3 jaar tot een beperkte overlast. Naar verwachting heeft de installatie niet of nauwelijks emissies, anders dan dat een relatief grote afvalstroom met brijn kan ontstaan die als afval moet worden afgevoerd.

5.3.2 Beoordeling Baten

Risico-reductie

Naar verwachting is in de huidige situatie al niet direct sprake van risico's voor mens en milieu. Toelaatbare risiconiveaus worden in het grondwater niet overschreden, en de kwetsbare objecten worden naar verwachting niet bedreigd in hun functie. In die zin zal geen enkele variant leiden tot risico reductie (het kan niet kleiner). In deze variant zullen de bromide concentraties in het brongebied dalen en daarmee de kans dat sprake is van een groeiende pluim of van contact met verontreinigd water.

Vrachtverwijdering

Behalve het feit dat de grondsanering daadwerkelijk leidt tot vrachtverwijdering, zal ook de recirculatie leiden tot het duidelijk aftoppen van de hoogste concentraties op het terrein. Hiermee kan naar schatting 20-30% van de aanwezige vracht worden verwijderd.

Toename gebruiksmogelijkheden

Na de grondsanering kan het terrein weer worden uitgegeven voor bedrijfsdoeleinden. Door de versnelde doorspoeling van de toplagen zijn deze eerder relatief schoon, maar het ligt niet in de lijn der verwachting dat deze zone in de nabije toekomst voor enig doel wordt gebruikt. De pluim in het grondwater blijft aanwezig en veroorzaakt mogelijk een beperkte beperking van het mogelijke gebruik van onttrokken water. Het is niet zonder meer geschikt voor (mn. menselijke) consumptie. Gebruik voor andere doeleinden is niet uitgesloten.

Maatschappelijke acceptatie

Met deze optie wordt bovenop de minimale optie een extra inspanning gedaan om de last uit het verleden te verminderen, verontreiniging uit de bodem te verwijderen en bovendien om pluimgroei tegen te gaan. De meerkosten ten opzichte van variant 1 bedragen 2,5 a 3 mln waarmee de kosten nog steeds aanzienlijk minder zijn dan het derde scenario. Deze optie zal naar verwachting uitstekend worden ontvangen.

5.4 Optie 3: Beheersing pluimfront

Ook in deze optie wordt gestart met het saneren van de bovengrond en het geschikt maken voor het gebruik als industrieterrein. Het pluimfront bevindt zich op dit moment direct aan de overzijde van Tesken en Jachthaven Boschmolenplas. Door middel van een aanvullend grondwateronderzoek met peilbuizen wordt het centrum van de pluim in beeld gebracht. Naar verwachting bevindt het centrum van de verontreiniging zich net in het zandpakket onder de kleilaag die de onderzijde vormt van het Beegden pakket. In deze optie worden 5 onttrekkingsputten voorgesteld van 30-50 m-mv over een lengte van circa 250 m op de Schutteheid rondom peilbuis 7009. Het benodigde debiet bedraagt circa 100 m³/uur en moet gedurende 30 jaar worden gehandhaafd. Omdat de onttrekking plaats vindt in het zandpakket kan worden gerekend met een lager debiet dan RHDHV in 2017, er zijn wel meer putten nodig. Bij het bepalen van de saneringskosten gaan we ervan uit dat het opgepompte grondwater moet worden gezuiverd alvorens het kan worden geloosd. De zuiveringskosten bepalen met name de kosten van deze optie. Deze optie zou mogelijk ook als terugvalscenario kunnen worden ingezet bij de keuze voor optie 1 of 2.

5.4.1 Beoordeling Lasten

Kosten:

- De kosten van optie 1: 2,5 à 3 miljoen Euro
- De kosten van de beheersing worden geraamd op 40 - 60 miljoen

Tijdsduur:

Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de beheersing 30 jaar moet worden gehandhaafd. De grondsanering zal ongeveer 1 jaar in beslag nemen.

Faalisico's:

Het voornaamste faalisico bestaat hieruit dat het scherm onvoldoende functioneert of op de verkeerde plaatst staat, en dat alsnog een grondwaterpluim kan ontstaan. De pluim groeit en uit de monitoring volgt dat een deel van de pluim de putten van de WML bedreigt en het terugvalsscenario moet worden geactiveerd (zie paragraaf 5.5). De kans op deze gebeurtenis wordt iets kleiner geraamd dan optie 2 op 1%. Het faalisico wordt uitgedrukt in kans x kosten, in dit geval $0,01 \cdot 10 \text{ mln} = \text{€ } 100.000, -$.

Emissies en overlast

Gedurende 30 jaar is een relatief omvangrijke grondwaterzuiveringsinstallatie actief op een locatie in Heel, en zal een relatief omvangrijke stroom brijn ontstaan die als afval moet worden afgevoerd. Dit wordt gezien als een omvangrijke milieubelasting.

5.4.2 Beoordeling Baten

Risico-reductie

Naar verwachting is in de huidige situatie al niet direct sprake van risico's voor mens en milieu. Toelaatbare risiconiveaus worden in het grondwater niet overschreden, en de kwetsbare objecten worden naar verwachting niet bedreigd in hun functie. Met de beheersing wordt het risico dat nog verspreiding optreedt teruggebracht tot een laag niveau.

Vrachtverwijdering

Behalve het feit dat de grondsanering daadwerkelijk leidt tot vrachtverwijdering, zal ook met de beheersing significant vracht worden verwijderd. Indien niet sprake is van falen (zie hierboven) zal naar verwachting 30-40% vrachtverwijdering mogelijk blijken over een periode van 30 jaar.

Toename gebruiksmogelijkheden

Na de grondsanering kan het terrein weer worden uitgegeven voor bedrijfsdoeleinden. De pluim in het grondwater blijft aanwezig tot aan de beheersing. Het grondwater verderop wordt niet beïnvloedt en zal breed bruikbaar blijven.

Maatschappelijke acceptatie

Een langjarige beheersing is kostbaar en vergt veel inspanning. De vraag doet zich mogelijk voor of dit allemaal wel nodig is, en het is maar de vraag of deze optie brede steun krijgt. Daarom schatten we dit in op niet meer dan matig tot voldoende.

5.5 Terugvalsscenario: maatregelen bij de waterwinning

De kans dat een terugvalsscenario moet worden geactiveerd om de waterwinning te beschermen wordt uiterst klein geschat, maar in het geval de monitoring aangeeft dat verontreiniging zich verplaatst naar de winputten van de WML, hetzij de Reut, hetzij het Langven, dan moeten maatregelen worden getroffen om de ruwwaterkwaliteit te verbeteren. Dit kan op twee manieren. Allereerst kan de bijdrage van de Lange Vlieter aan het onttrokken water worden vergroot door de bodemdoorlatendheid te vergroten, daarmee wordt eveneens de stromingsrichting van de verontreiniging richting winputten tegengegaan. Het vergroten van de bodemdoorlatendheid kan gebeuren door regelmatig slib te verwijderen uit de Lange Vlieter.

De tweede maatregel bestaat uit het sturen van de onttrekkingshoeveelheid per winput. Daarmee kan allereerst de grondwaterstromingsrichting worden beïnvloed, en vervolgens kan, indien nodig, de meest beïnvloedde deelstroom worden gescheiden of verminderd.

Slibverwijdering van de Lange Vlieter brengt hoge kosten met zich mee, en moet mogelijk tweejaarlijks (gemiddeld) worden herhaald. Eerdere metingen gaven aan dat al een half jaar na baggeren de bodeminfiltratie weer significant was gedaald. Bij herhaaldelijk baggeren verwachten we dat uiteindelijk een gemiddelde van 1x/2jaar een redelijke maat zal zijn.

Sturen van de winhoeveelheden per put kan in vergelijking met eerder geraamde saneringskosten tegen relatief lage kosten plaatsvinden, maar heeft beperkingen. De capaciteit van de winningen is voor een groot deel bezet, en de flexibiliteit is daardoor aan grenzen gebonden. Als bovendien zuivering nodig zal blijken zullen de kosten snel tot grote hoogte stijgen. Vooralsnog is dit ook bij het terugvalsscenario niet aan de orde.

In het geval dat er gekozen wordt voor optie 1 of 2 kan tevens 'Beheersing van het Pluimfront' (optie 3) worden gezien als een mogelijk terugvalscenario.

5.6 Vergelijkingstabel en keuze

In de tabel hieronder zijn de globale scores voor de verschillende saneringsopties weergegeven. Voorop staat in alle opties dat de grondsanering er al toe leidt dat het terrein geschikt wordt voor de bestemming industrie.

Conform de afwegingsmethode van ROSA en Duurzaam Saneren is gekozen voor een eenvoudige semi kwantitatieve uitwerking. Als daarmee de keuze al evident is en dit voor alle stakeholders begrijpelijk is, dan is een complexere en duurdere uitwerking niet noodzakelijk. Bovendien ontstaat met het introduceren van meer variabelen (en de marges daarin) een grotere kans op onzekerheden.

Tabel 7 | Scoring per afwegingsaspect voor de 3 saneringsopties

Afwegingsaspect	Optie 1 Monitoring	Optie 2 Bronsanering	Optie 3 Pluimbeheersing
Lasten			
Kosten	2,5 - 3 mln	5 - 6 mln	42,5 – 63 mln
Tijdsduur	1+20 ¹	8+20	30+0
Faalisico's	0,05*10 mln	0,02*10 mln	0,01*10 mln
Emissies en overlast	Zeet beperkt	Beperkt	Langdurig
Baten			
Risico-reductie	Neutraal ²	Extra zekerheid	Neutraal
Vrachtverwijdering	0	20-30%	30-40%
Gebruikersmogelijkheden	Goed	Zeet goed	Goed
Acceptatie	Voldoende	Zeet goed	Matig/voldoende

¹ Actief+passief (monitoring)

² Er is niet sprake van actuele risico's voor mens of milieu, en het risico dat verspreiding wordt gemist is verdisconteerd bij het faalisico

Voor de vergelijking is bewust niet gekozen voor een scoringsmethodiek met wegingsfactoren en getalsmatige scores, maar voor de 'paarsgewijze vergelijking'. Met een paarsgewijze vergelijking ligt de focus op de doorslaggevende factoren ("20% van de aspecten bepalen voor 80% de keuze").

Optie 3 valt af

Deze paarsgewijze vergelijking maakt direct duidelijk dat optie 3 afvalt. De beduidende grotere lasten vertalen zich niet in een meerwaarde. Bovendien wordt geen extra zekerheid verkregen voor wat betreft de risico-reductie. Naar verwachting is ook de acceptatie maar matig tot voldoende.

Optie 2 verdient de voorkeur boven optie 1

De keuze tussen Optie 1 en 2 vergt meer toelichting, waarbij de cruciale vraag is of de meerwaarde aan extra baten een rechtvaardiging zijn voor de extra inspanning van 2,5 à 3 miljoen euro, en beperkt extra overlast. Optie 2 leidt tot een betrouwbaarder eindresultaat. Het risico dat een grote pluim ontstaat in het grondwater en dat te hoge concentraties bromide het Lateraalkanaal bereiken wordt aanzienlijk verkleind, en naar verwachting zal het grondwater op en rondom het Edelchemie-terrein sneller een kwaliteitsverbetering ondergaan en meer gebruiksmogelijkheden kennen. Optie 2 adresseert ook de onzekerheden die zijn

overgebleven na de uitgebreide modelleerexercitie. Het is niet goed mogelijk gebleken om de nalevering uit de bronzone zo te modelleren dat een meer nauwkeurige historische fit werd verkregen. Door het aanpakken van de bronzone wordt die onzekerheid direct aangepakt én kan informatie vrijkomen waarmee wel een betere voorspelling kan worden gedaan.

Een motiveringsregel zou kunnen zijn om te kiezen voor saneringsoptie 2, omdat:

- voor acceptabele extra kosten ten opzichte van de minimale monitoringsvariant een belangrijk deel van de onzekerheid over mogelijke toekomstige verspreiding wordt weggenomen;
- meer vrachtverwijdering plaatsvindt, en;
- sneller een betere grondwaterkwaliteit wordt bereikt op het Edelchemie-terrein.

Bovendien wordt aanbevolen om eerst een periode van 5 jaar te gebruiken om de hypothese van een nog groeiende pluim, en de ligging en het gedrag van de bronzones, nader in beeld te brengen. Indien binnen deze onderzoeksperiode duidelijk blijkt dat de nalevering uit de bronzone geen grote invloed heeft op het pluimgedrag, dan kan alsnog het doorspoelen van de bronzone achterwege blijven.

Mocht het terrein binnen deze periode van 5 jaar reeds worden opgeschoond en geschikt gemaakt voor industrieel gebruik dan wordt aanbevolen om alvast middelen (denk aan leidingwerk, drains, bronnen) aan te brengen die later gebruikt kunnen worden voor de bronsanering.

Aanbevelingen nader onderzoek

Bij saneringsoptie 2 hoort een 5-jarig onderzoek om de hypothese en aannamen beter in beeld te brengen en deze te bevestigen of te ontkrachten. Bij een bevestiging van de hypothese en aannamen kan onderbouwd gekozen worden voor saneringsoptie 2.

Voor het 5-jarig onderzoek adviseren wij het volgende:

- Een continuering en uitbreiding van de huidige monitoring van grondwaterstanden en concentraties;
- Nader onderzoek van de concentraties in de bronzone (omvang, ligging, trend over 5 jaar), en;
- Uitvoeren van lange en diepe steekmonsters van de grond op het Edelchemie-terrein in de bronzone en deze te onderwerpen aan uitloogtests in combinatie met een chemische karakterisatie van de bromidecomplexen.

REFERENTIES

- #1. Antea Group, 2014. Nader bodemonderzoek Edelchemie Panheel. Projectnummer 257796, Revisie 03, maart 2014.
- #2. Antea Group, 2016. Monitoring Edelchemie najaar 2015. Projectnummer 0405904.00, Revisie 0, 25 januari 2016.
- #3. Antea Group, 2017. Monitoring Edelchemie najaar 2016. Projectnummer 413510, Revisie 1, 27 maart 2017.
- #4. Antea Group, 2018. Monitoring Edelchemie januari/februari 2018. Projectnummer 420985, Revisie 0, concept, 18 april 2018.
- #5. Aquaveo, 2012. GMS User Manual (v8.3), The Groundwater Modeling System.
https://www.xmswiki.com/wiki/GMS:User_Manuals
- #6. Bot, B., 2011. Grondwaterzakboekje. Bot Raadgevend Ingenieur, Rotterdam.
- #7. DHV Water BV, 2000. Waterproductiebedrijf Heel - Geohydrologische verkenning risico's grondwaterverontreiniging Edelchemie. Registratienummer ML-BH20002518, versie 1, 4 oktober 2000.
- #8. Doherty, J. 2016. PEST: Model-Independent Parameter Estimation. 6th Edition of User Manual, Part I & Part II. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia, 2016.
- #9. Domenico, P.A., Schwartz, F.W., 1998. Physical and Chemical Hydrogeology. Wiley, New York, USA.
- #10. Fetter, C.W., 1999. Contaminant Hydrogeology, 2nd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- #11. IGL, 2017. Waterpartijen Jachthaven /Tesken – bodemhoogten oktober 2017. Ingenieursdiensten voor Geodesie, Hydrografie en Advies, Tekeningnr. PRPL180, Herten, 27 oktober 2010.
- #12. Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.
- #13. Oranjewoud, 1992. Aanvullend historisch onderzoek bedrijfsterrein verwerkingsbedrijf Edelchemie Panheel B.V. te Panheel. Projectnr. 7967-45926, Maastricht, november 1992.
- #14. Oranjewoud, 1993. Aanvullend nader grondwateronderzoek verwerkingsbedrijf Edelchemie Panheel B.V. te Panheel. Projectnr. 7967-45926, Maastricht, juni 1993.
- #15. Panday, Sorab, Langevin, C.D., Niswonger, R.G., Ibaraki, Motomu, and Hughes, J.D., 2013, MODFLOW-USG version 1: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A45, 66 p.
- #16. Provincie Limburg, 2012. Grondwateronttrekking Waterproductiebedrijf Heel (WO928). Provincie Limburg, Afdeling Vergunningen en Subsidies, Besluit 2011-0787, d.d. 5 april 2012.
- #17. Royal HaskoningDHV, 2016. Beschrijving geohydrologische modellering (kwantiteit). Referentie T&PBE3158R001D01, versie 01/concept, Maastricht, 4 februari 2016.
- #18. Royal HaskoningDHV, 2016. Nadere verkenning saneringsvarianten Edelchemie te Panheel. Referentie: T&PBE3158-102-100R001D01, versie 01, Maastricht, 16 november 2016.
- #19. Rumbaugh, J.O. & D.B. Rumbaugh. 2011. Groundwater Vistas. Guide to Using, Version 6, Reinholds: Environmental Simulations, Inc.
- #20. Witteveen+Bos, 2014. Gebiedsdossier Oppervlaktewaterwinning Heel. Referentie MT1071-1/14-001.286, Maastricht, 24 januari 2014.
- #21. Zheng, Chunmiao, and P. Patrick Wang, 1999, MT3DMS, A modular three-dimensional multi-species transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; documentation and user's guide, U.S. Army Engineer Research and Development Center Contract Report SERDP-99-1, Vicksburg, MS, 202 p.

BIJLAGE A | SESSIE TOPKENNIS D.D. 8 MEI 2018

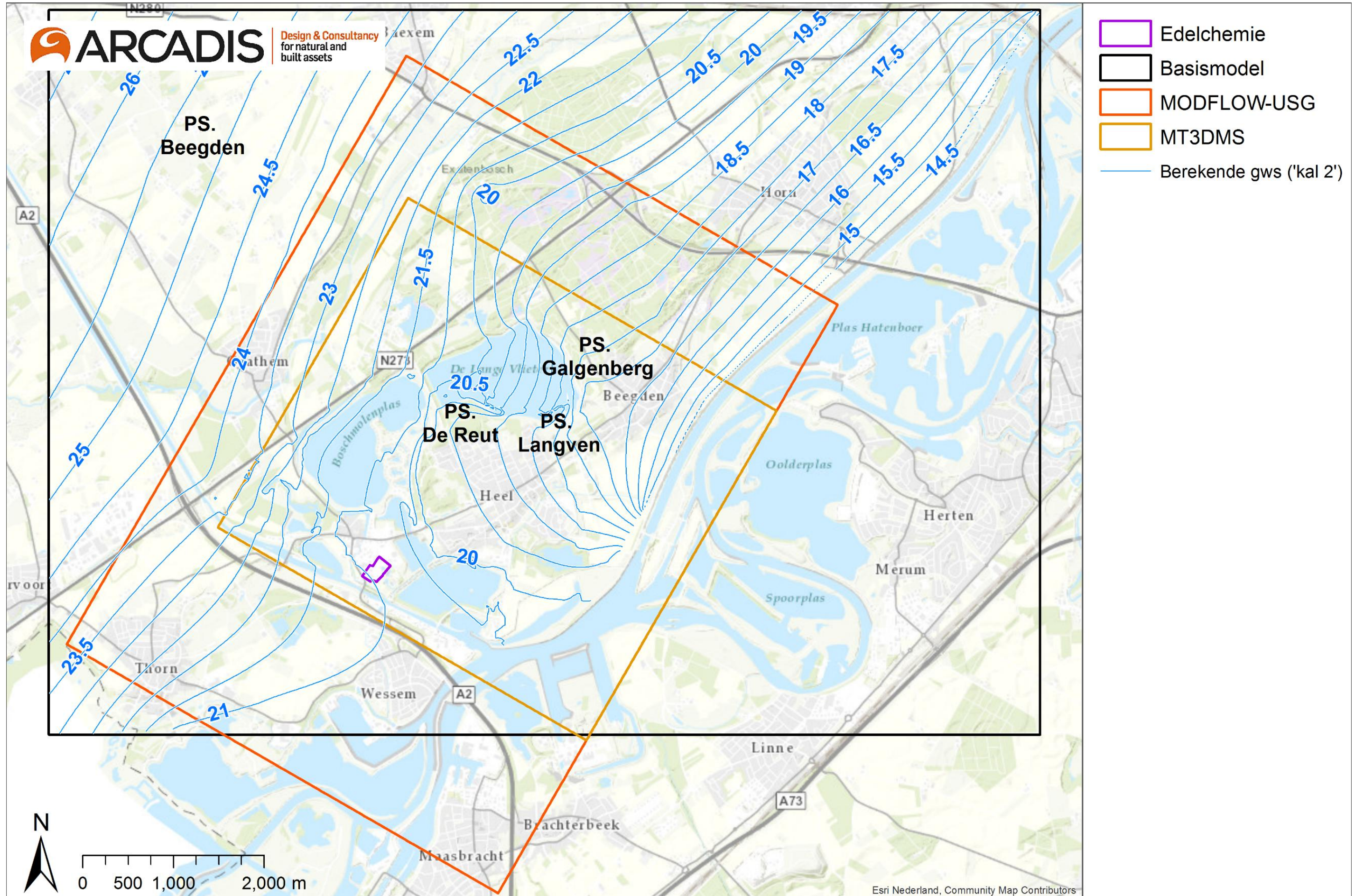
Programma sessie topkennis

- 09.30 Toelichting en doel van de dag, [REDACTED]
- 09.40 Historie en doel project Edelchemie, [REDACTED]
- 09.50 Bodem- en verontreinigingssituatie, [REDACTED]
- 10.00 Introductie geohydrologie, [REDACTED]
- 10.30 Scenic tour over de locatie
- 11.30 Modelleren 'meest waarschijnlijke situatie', [REDACTED]
- 12.00 Discussie: betrouwbaarheid, risico's, verbeterpunten
- 12.45 Lunch
- 13.30 Introductie saneringsalternatieven, [REDACTED]
- Saneringsonderzoek RHDHV, Offertetraject
 - Afwegingsproces Duurzaam Saneren
 - Afwegingscriteria
- 13.45 Werken in groepjes
- 2-3 voorkeursvarianten per groep
 - Afwegingscriteria
- 15.15 Integratie en eindconclusies
- Startpunt uitwerking saneringsvarianten ('meest waarschijnlijke situatie')
 - 4-5 saneringsvarianten
 - Afwegings- of beoordelingscriteria
- 16.00 Afronding

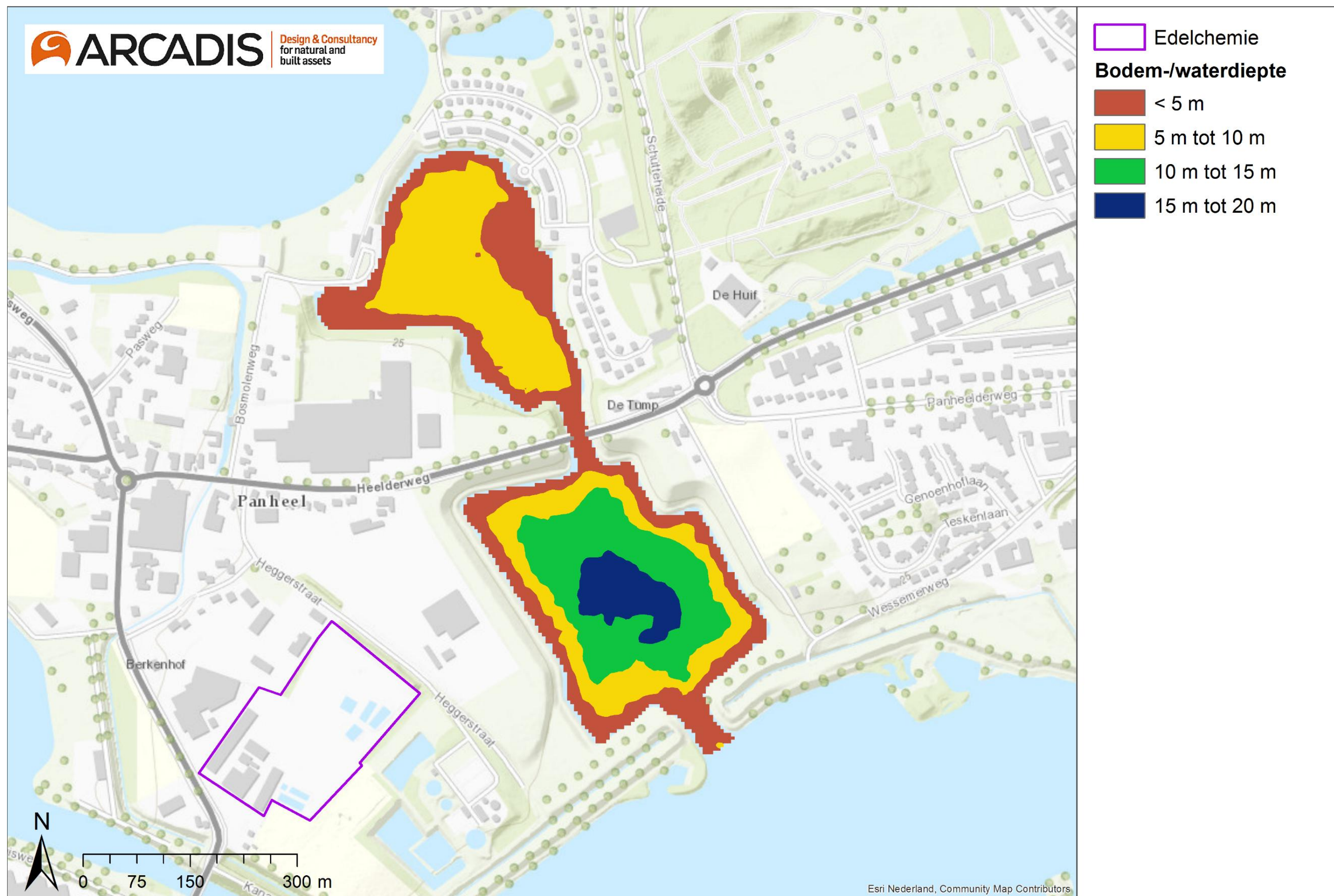
Deelnemers sessie topkennis

Deelnemers	Organisatie
	Rijkswaterstaat WVL
	Waterleiding Maatschappij Limburg (WML)
	Waterleiding Maatschappij Limburg (WML)
	Waterleiding Maatschappij Limburg (WML)
	KWR, Senior wetenschappelijk onderzoeker
	RHDHV
	Antea Group
	Deltares
	Rijkswaterstaat WVL
	TTE
	Provincie Limburg
	Provincie Limburg
	Arcadis
	Arcadis
	Arcadis

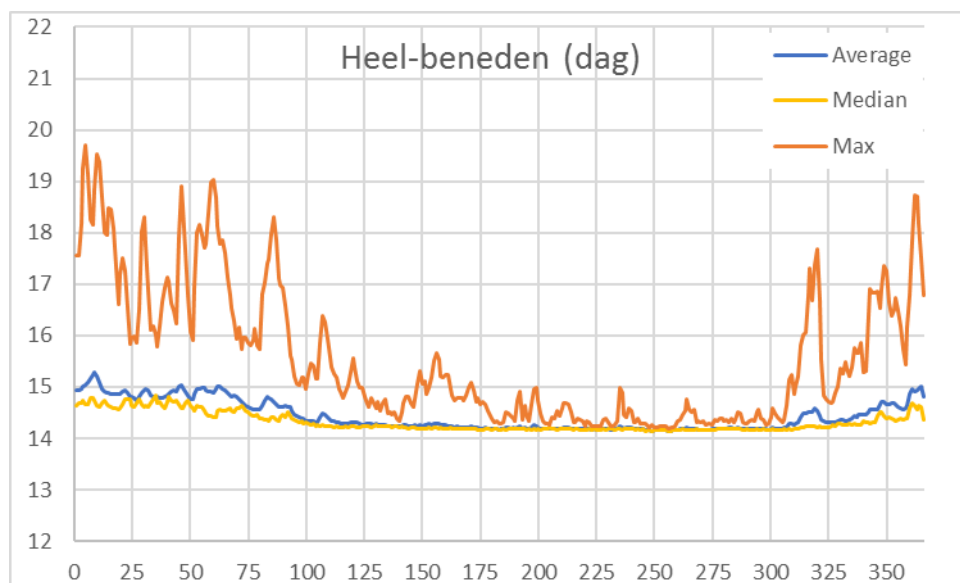
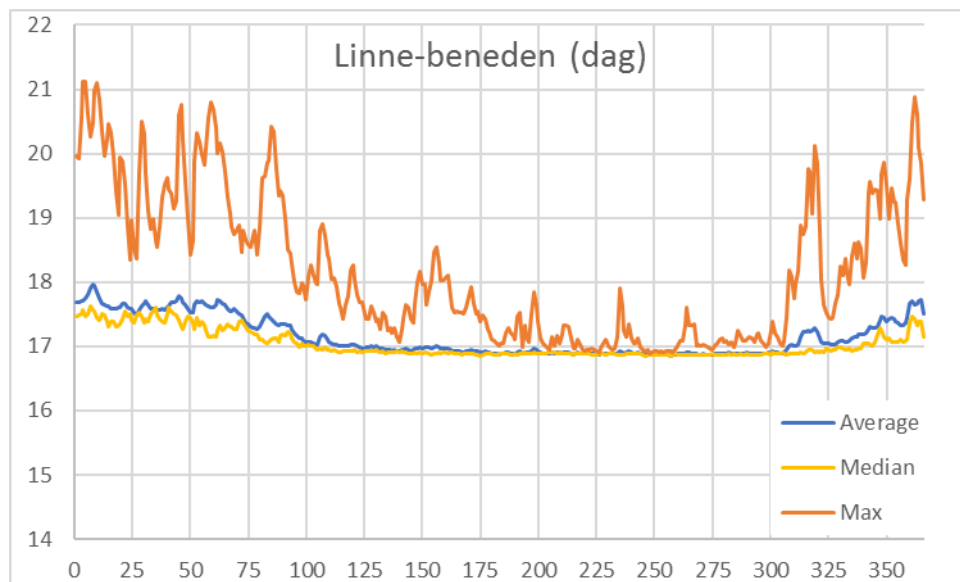
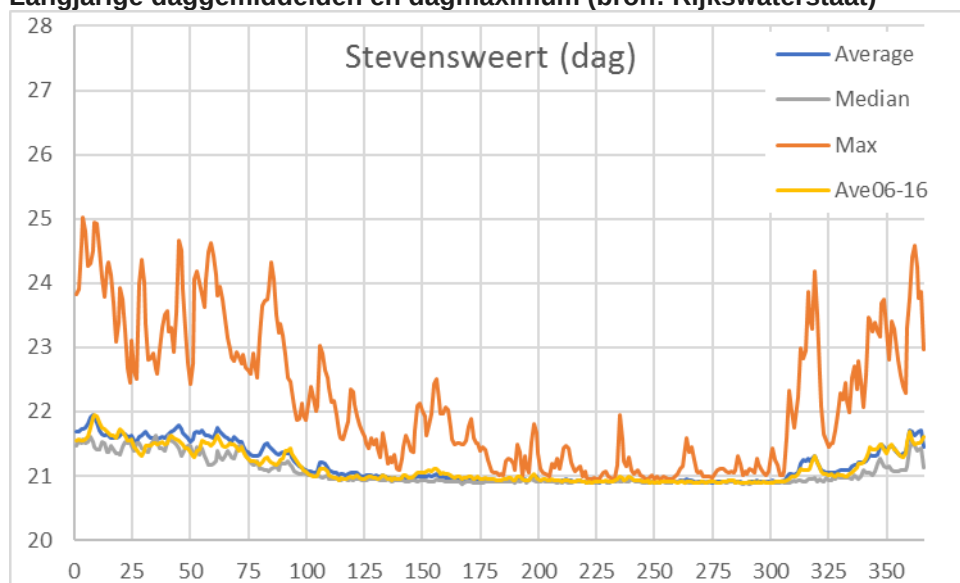
BIJLAGE B | MODELGEBIED

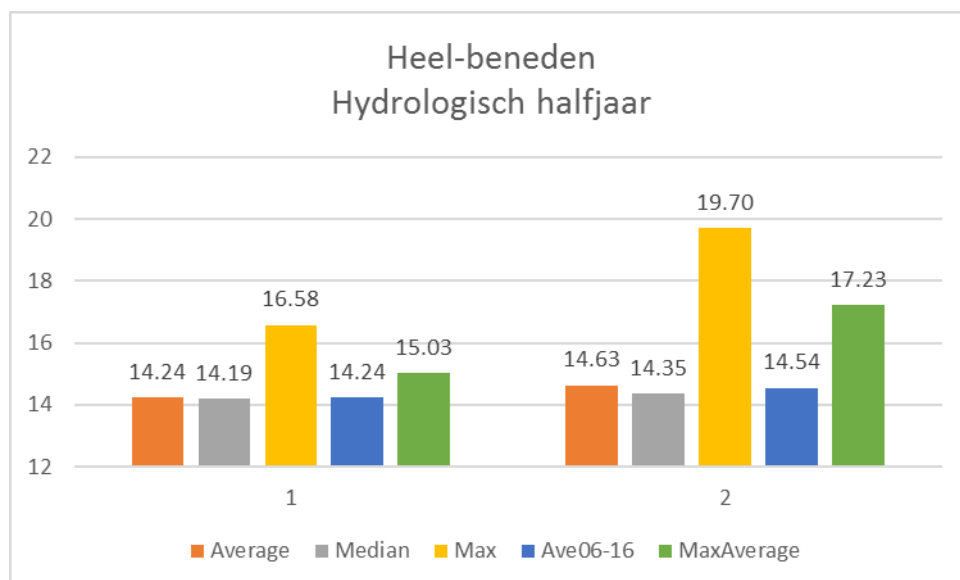
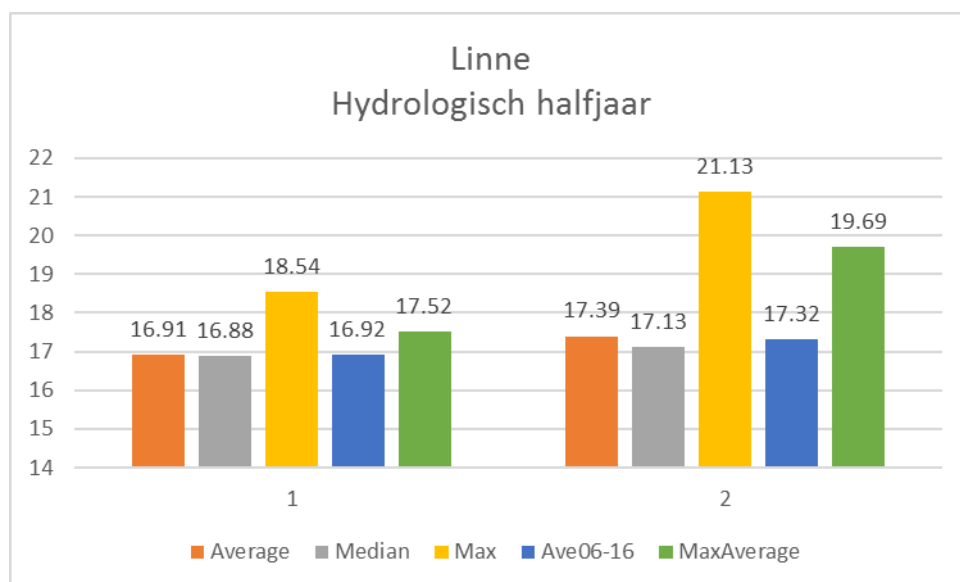
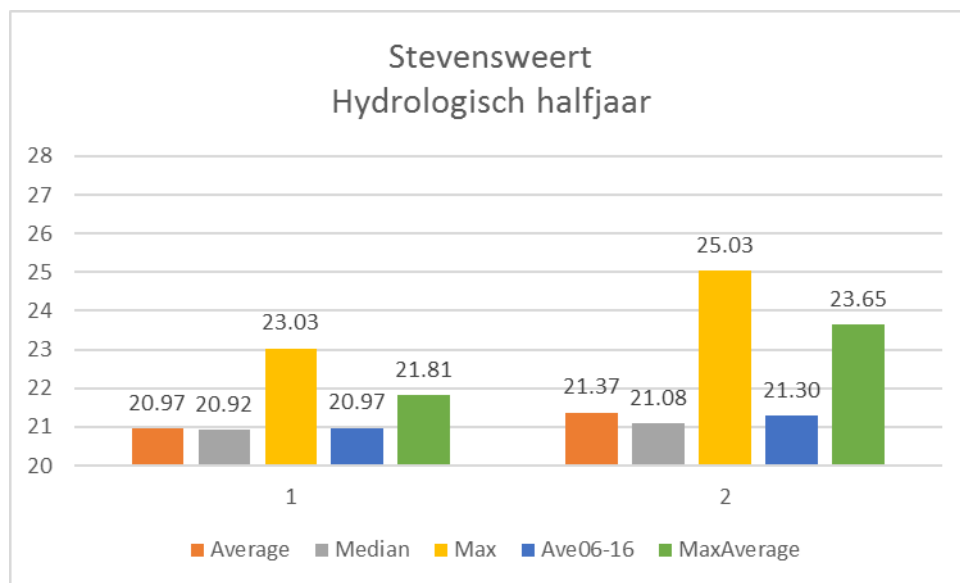


BIJLAGE C | INMETING BODEMHOOGTE

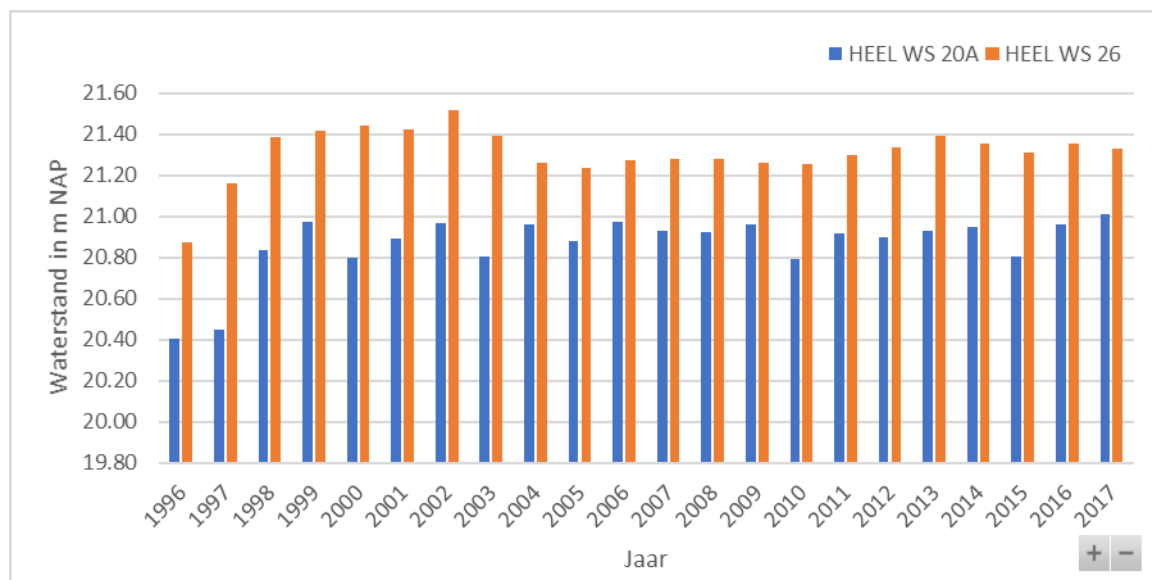


BIJLAGE D | WATERSTANDEN

Langjarige daggemiddelden en dagmaximum (bron: Rijkswaterstaat)

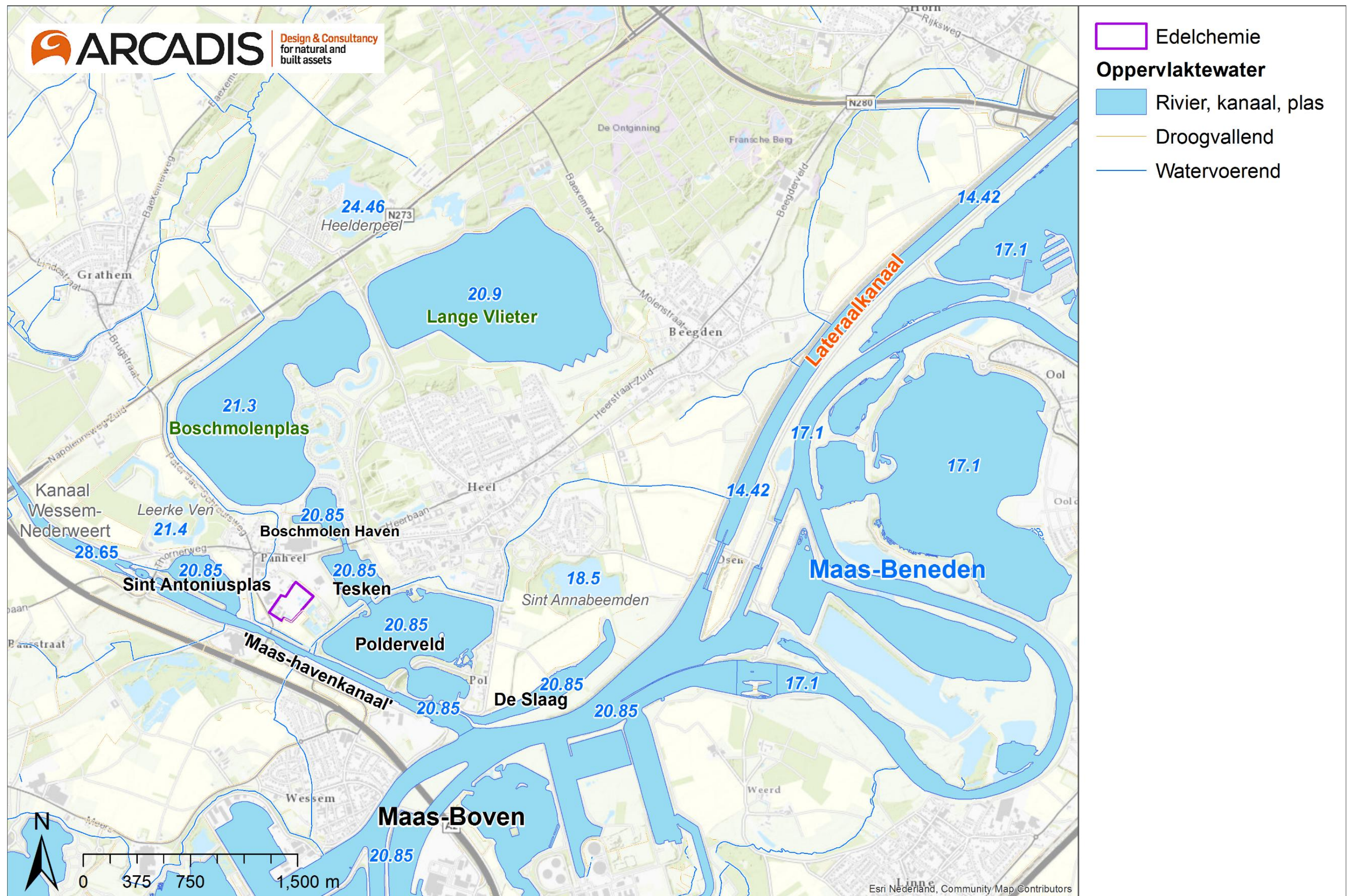
Langjarig hydrologisch halfjaar daggemiddelde/dagmaximum (1 = zomer, 2 = winter)


Jaargemiddelde waterpeilen van de Lange Vlieter en de Boschmolenplas

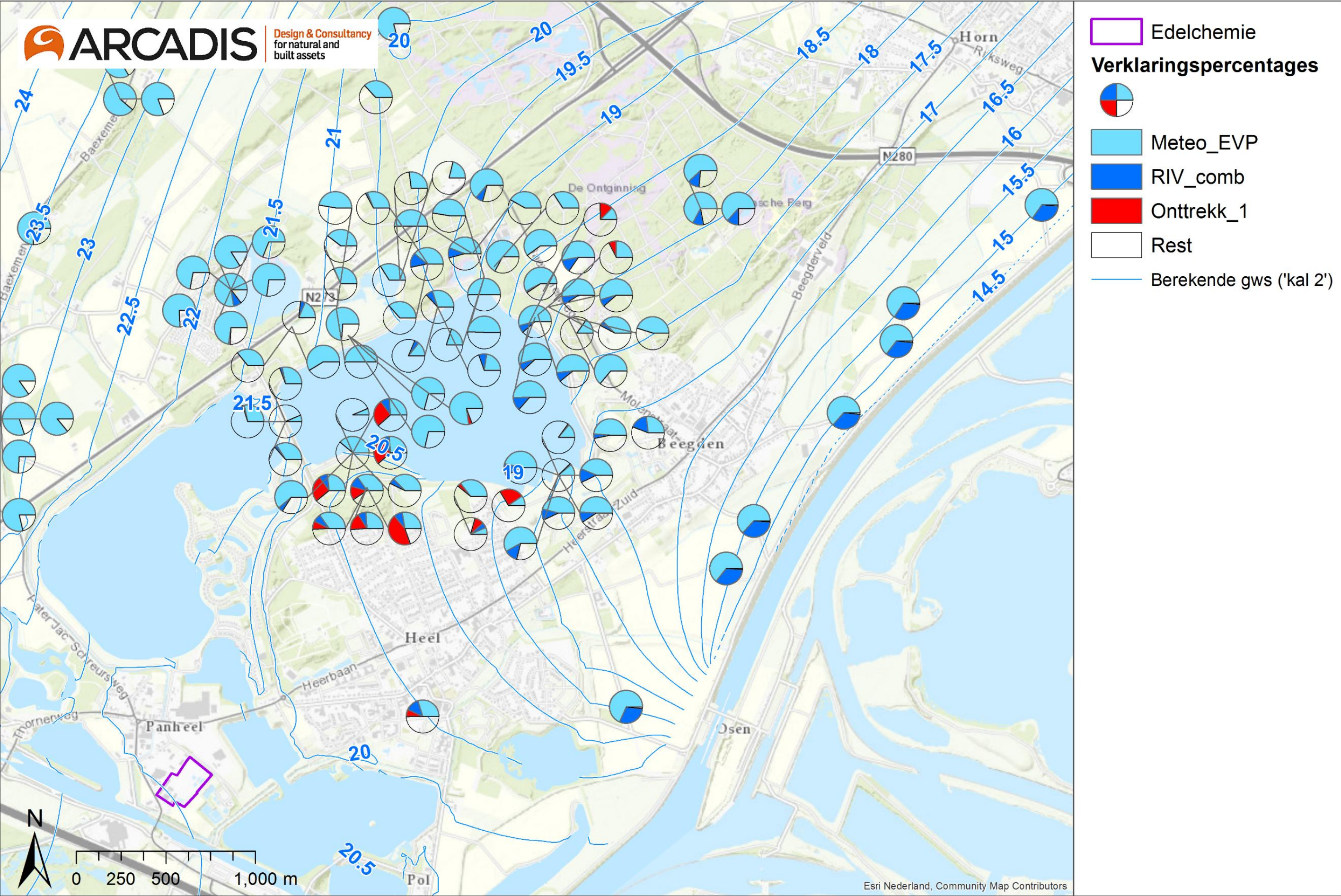


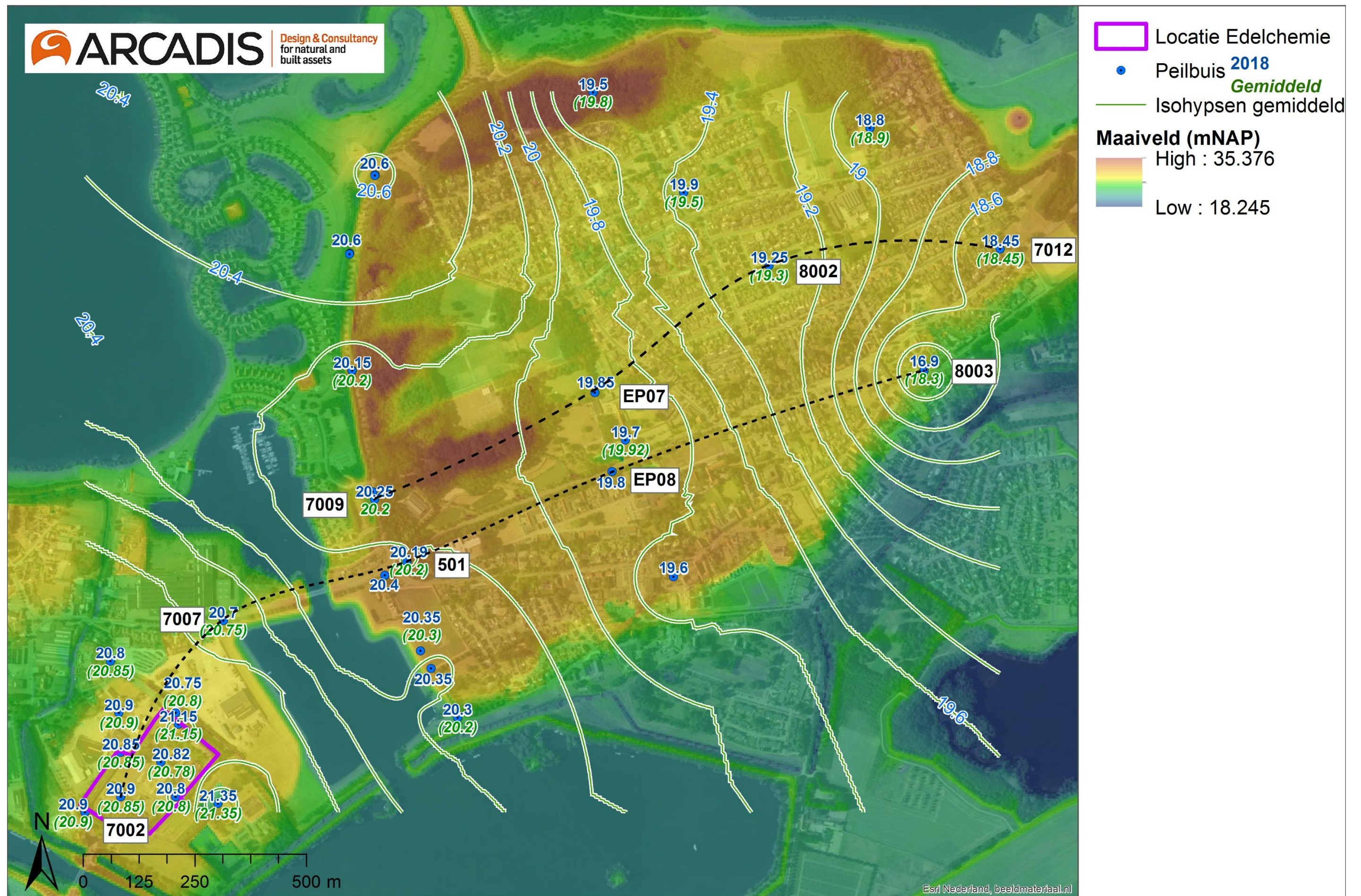
Tussen 2010 en 2017 is een gemiddeld peil van circa NAP 20,9 op de Lange Vlieter ('HEEL WS 20A) en op de Boschmolenplas ('HEEL WS 26') NAP 21,3 m gemeten. Bron: Waterleiding Maatschappij Limburg (WML).

BIJLAGE E | OPPERVLAKTEWATER



BIJLAGE F | GRONDWATER



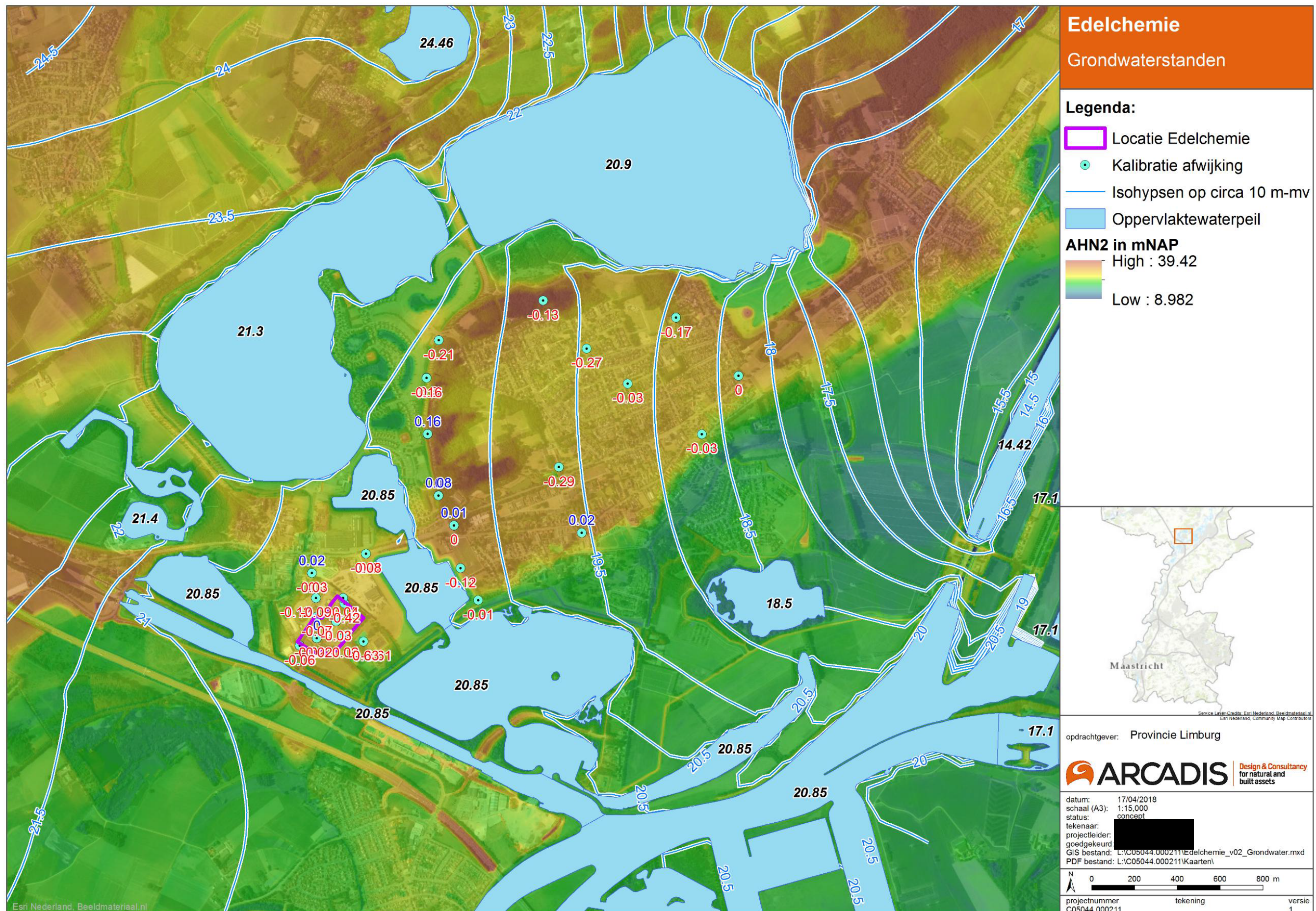


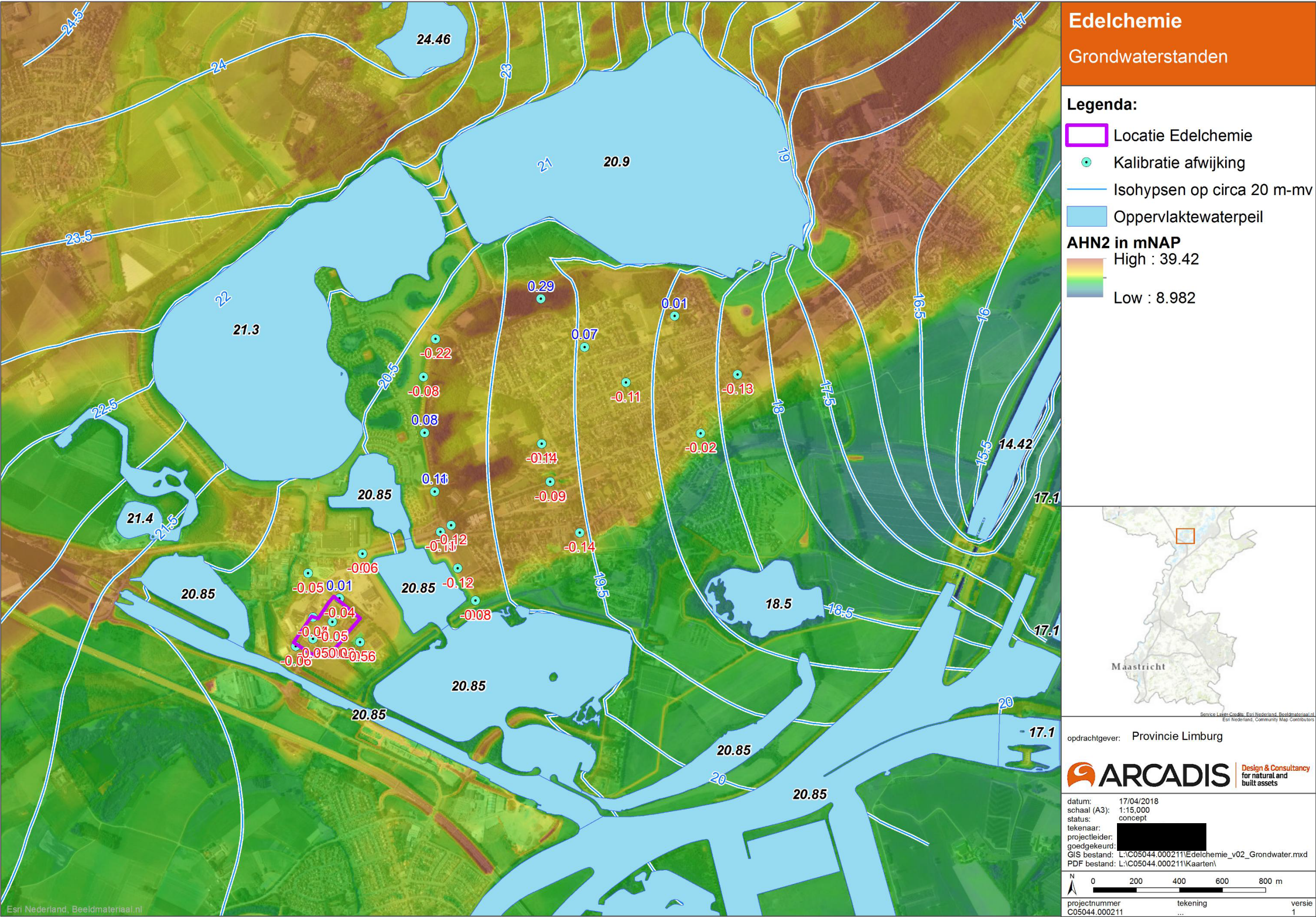
			Stijghoogte					25	50	100	200		Model v22	
Meetpunt van	Meetpunt tot	Ldiff	mNAP van	mNAP tot	Porositeit	Hdiff	Verhang	Vh bij k 25	Vh bij k 50	Vh bij k 100	Vh bij k 200	m/d	Beegden (L4)	Ste
7002	7007	450	20.85	20.75	0.3	0.1	▼ 0.0002	7	14	27	54	m/j	35	
7007	501	450	20.75	20.25	0.3	0.5	▬ 0.0011	34	68	135	270	m/j	255	
501	EP08	500	20.25	19.8	0.3	0.45	▬ 0.0009	27	55	110	219	m/j	255	
EP08	8003	750	19.8	18.5	0.3	1.3	▲ 0.0017	53	105	211	422	m/j	305	▲
7009	EP07	550	20.15	19.8	0.3	0.35	▼ 0.0006	19	39	77	155	m/j	245	
EP07	8002	500	19.8	19.3	0.3	0.5	▬ 0.0010	30	61	122	243	m/j	355	
8002	7012	500	19.3	18.4	0.3	0.9	▲ 0.0018	55	110	219	438	m/j	440	

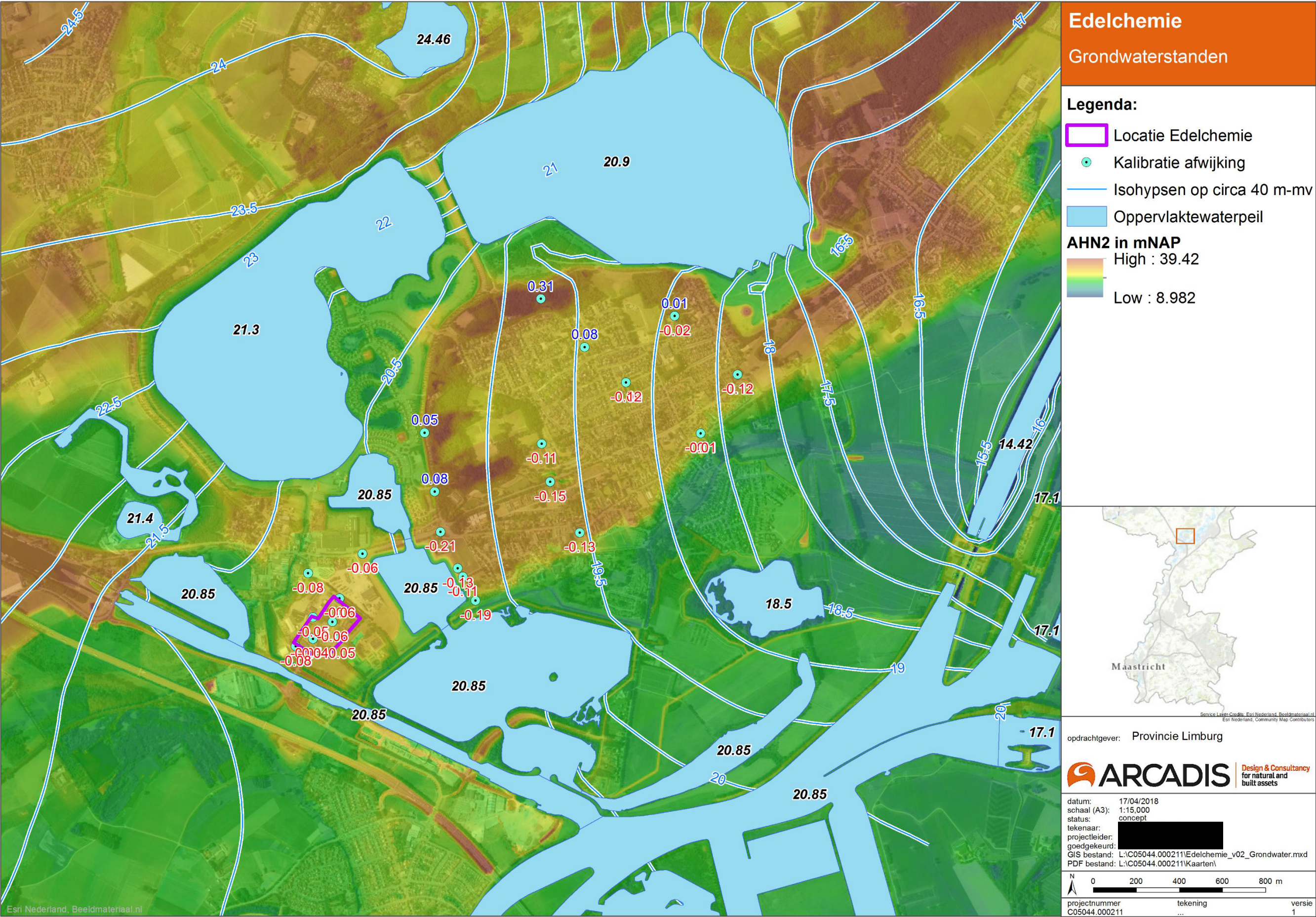
De op kaart weergegeven grondwaterstanden en stijghoogten zijn afgeronde gemiddelde waarden over verschillende filterdieptes voor de periode 2013-2018. De spreiding in gemeten grondwaterstand/stijghoogte per locatie zijn nabij Panheel, Het Tesken en de Jachthaven Boschmolenplas is circa 0,1 m. In Heel, nabij de puttenvelden van De Reut en Langven is de spreiding in gemeten grondwaterstand/stijghoogte per locatie circa 0,45 m en maximaal 0,85 m.

Met de monitoringsgegevens van Antea Group is op basis van de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten een stromingsrichting en stroomsnelheid af te leiden. In bovenstaande tabel is een bandbreedte in stroomsnelheden in m/j bepaald bij verschillende (plausibele) bodemdoorlatendheden. De laatste 2 kolommen tonen de gemiddelde berekende stroomsnelheid door het grondwaterstromingsmodel. Deze bevinden zich binnen de bandbreedte van de stroomsnelheden afgeleid van de metingen.

BIJLAGE G | KALIBRATIERESULTAAT









BIJLAGE H | HISTORISCHE TOPOGRAFIE



Edelchemie

Historische topografie 1970

Locatie Edelchemie



opdrachtgever: Provincie Limburg

 **ARCADIS**

Design & Consultancy
for natural and
built assets

datum: 06/09/2017

schaal (A3): 1:20,000

status: concept

tekenaar: [redacted]

projectleider: [redacted]

goedgekeurd: [redacted]

GIS bestand: L:\C05044.000211\Edelchemie_v00.mxd

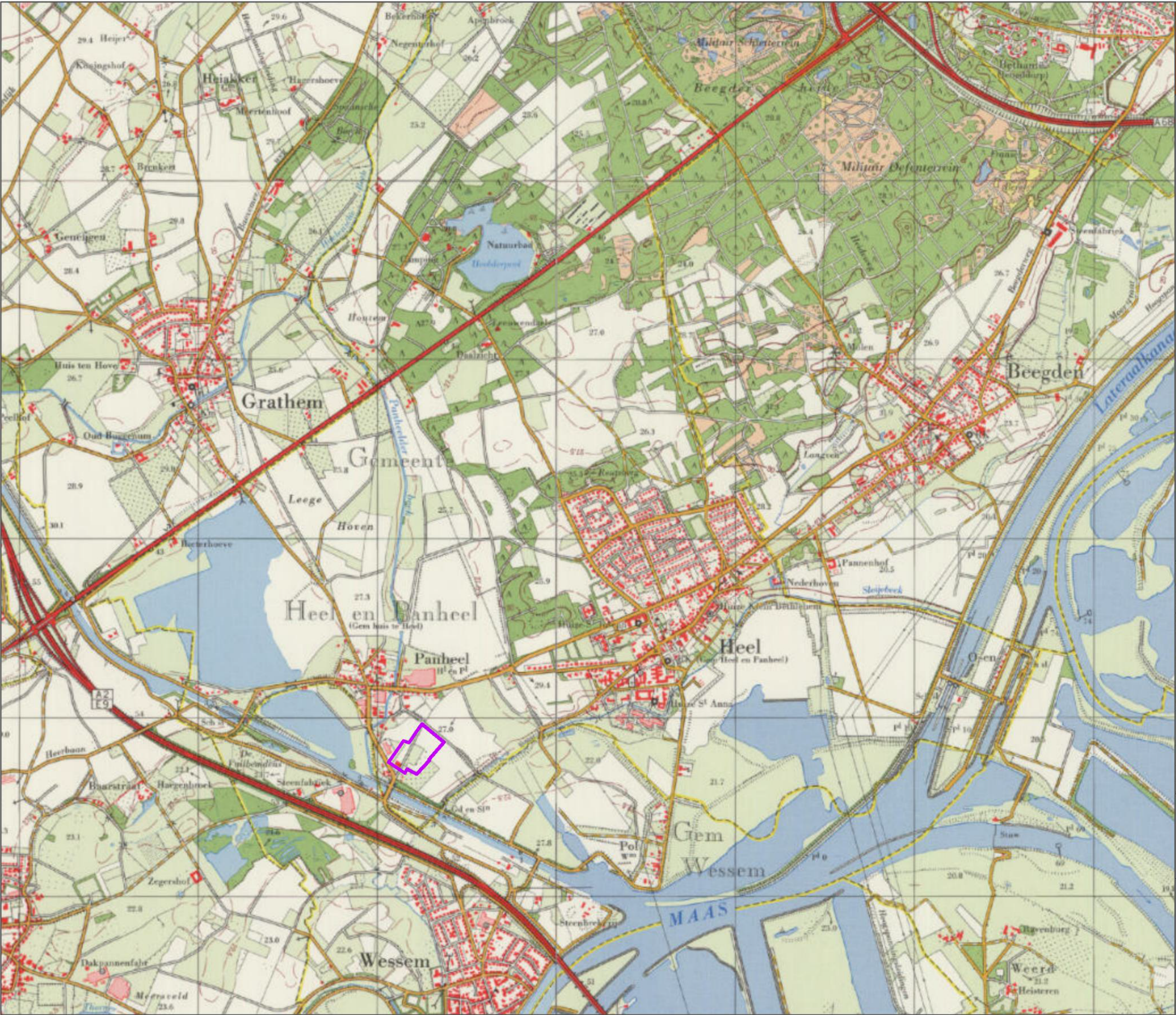
PDF bestand: L:\C05044.000211\Kaarten\

 0 200 400 600 800 1000 1200 m

projectnummer C05044.000211

tekening ...

versie 1



Edelchemie

Historische topografie 1980

Locatie Edelchemie



opdrachtgever: Provincie Limburg

ARCADIS

Design & Consultancy
for natural and
built assets

datum: 06/09/2017

schaal (A3): 1:20,000

status: concept

tekenaar: [redacted]

projectleider: [redacted]

goedgekeurd: [redacted]

GIS bestand: L:\C05044.000211\Edelchemie_v00.mxd

PDF bestand: L:\C05044.000211\Kaarten\

 0 200 400 600 800 1000 1200 m

projectnummer C05044.000211

tekening ...

versie 1



Edelchemie

Historische topografie 1988

Locatie Edelchemie



opdrachtgever: Provincie Limburg

ARCADIS

Design & Consultancy
for natural and
built assets

datum: 06/09/2017

schaal (A3): 1:20,000

status: concept

tekenaar: [redacted]

projectleider: [redacted]

goedgekeurd: [redacted]

GIS bestand: L:\C05044.000211\Edelchemie_v00.mxd

PDF bestand: L:\C05044.000211\Kaarten\

 0 200 400 600 800 1000 1200 m

projectnummer C05044.000211

tekening ...

versie 1



Edelchemie

Historische topografie 1999

 Locatie Edelchemie



ARCADIS

Design & Consultancy
for natural and
built assets

datum: 06/09/2017

schaal (A3): 1:20,000

status: concept

tekenaar: [redacted]

projectleider: [redacted]

goedgekeurd: [redacted]

GIS bestand: L:\C05044.000211\Edelchemie_v00.mxd

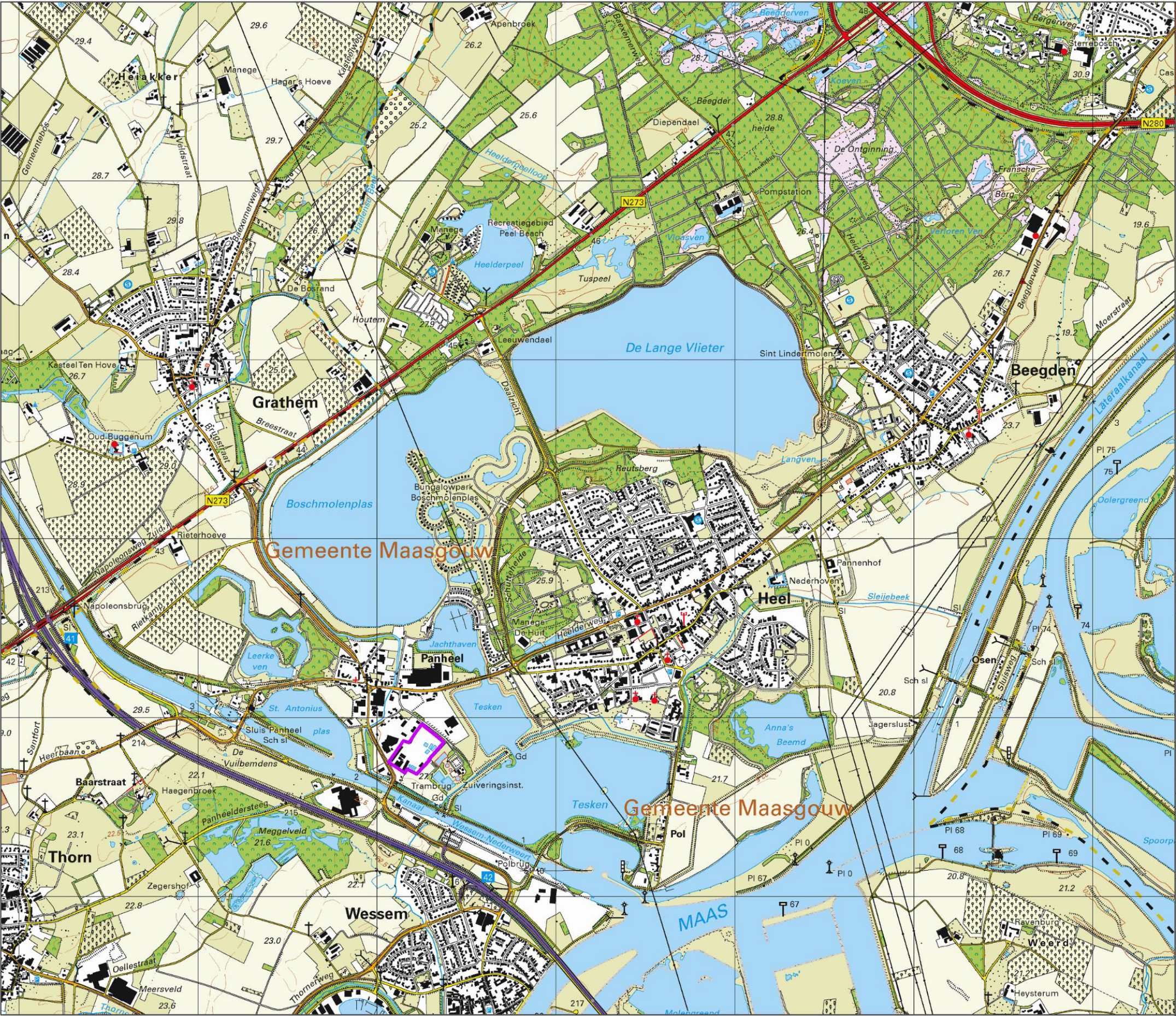
PDF bestand: L:\C05044.000211\Kaarten\

 0 200 400 600 800 1000 1200 m

projectnummer C05044.000211

tekening ...

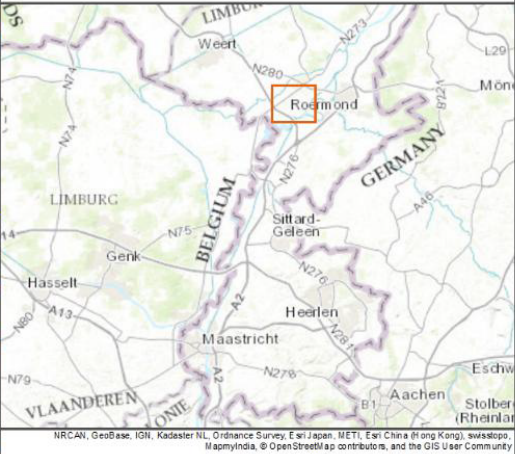
versie 1



Edelchemie

Historische topografie 2017

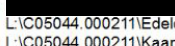
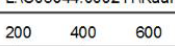
 Locatie Edelchemie

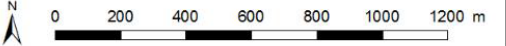


opdrachtgever: Provincie Limburg



Design & Consultancy
for natural and
built assets

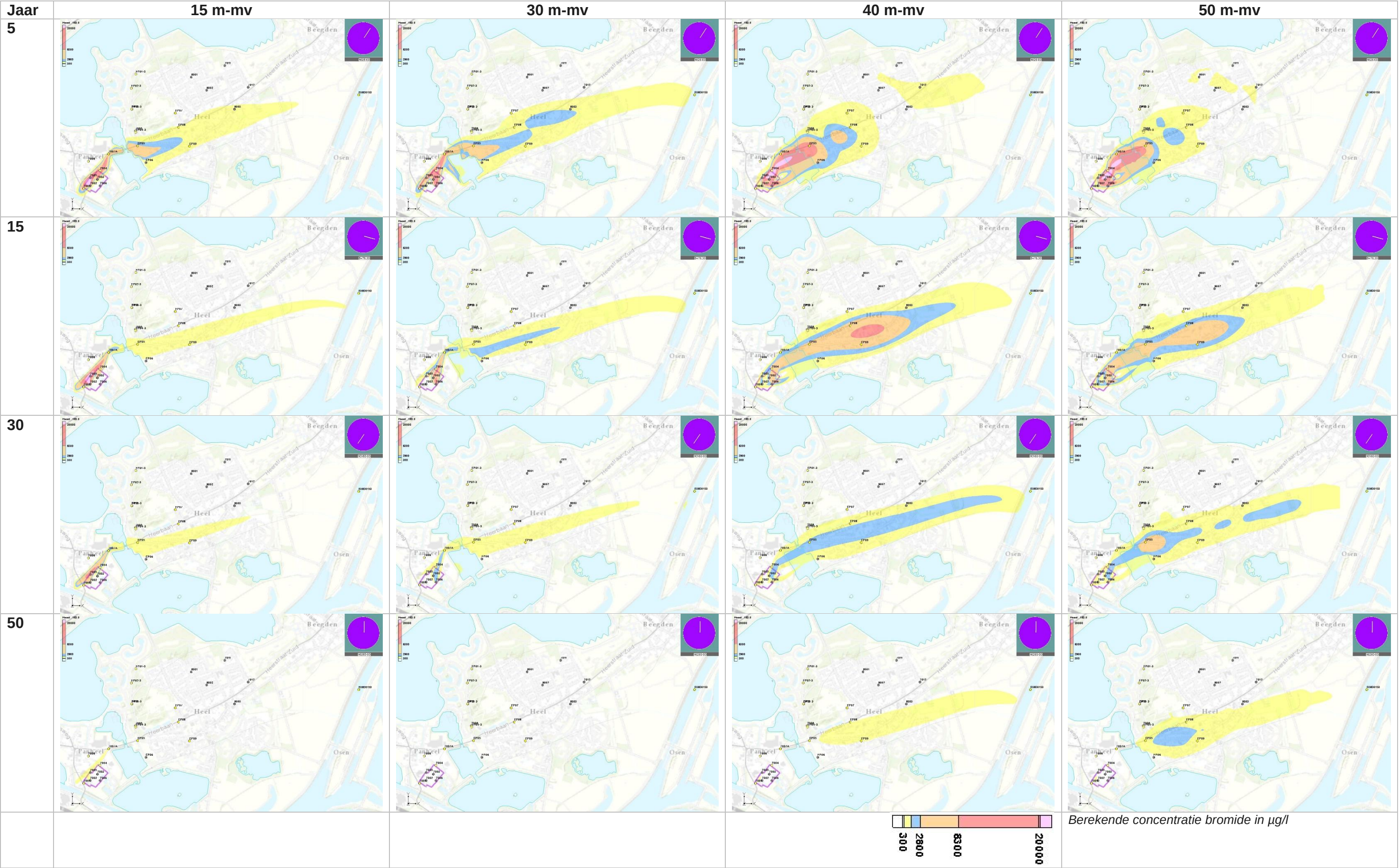
datum: 06/09/2017
schaal (A3): 1:20,000
status: concept
tekenaar: 
projectleider: 
goedgekeurd: 
GIS bestand: L:\C05044.000211\Edelchemie_v01.mxd
PDF bestand: L:\C05044.000211\Kaarten\



projectnummer	tekening	versie
C05044.000211	...	1

BIJLAGE I | BEREKENDE CONCENTRATIES

1. ‘MEEST WAARSCHIJNLIJKE SITUATIE’ | bovenaanzicht resultaten x jaar na ‘situatie 2018’



Jaar

5

25

10

30

15

40

20

50

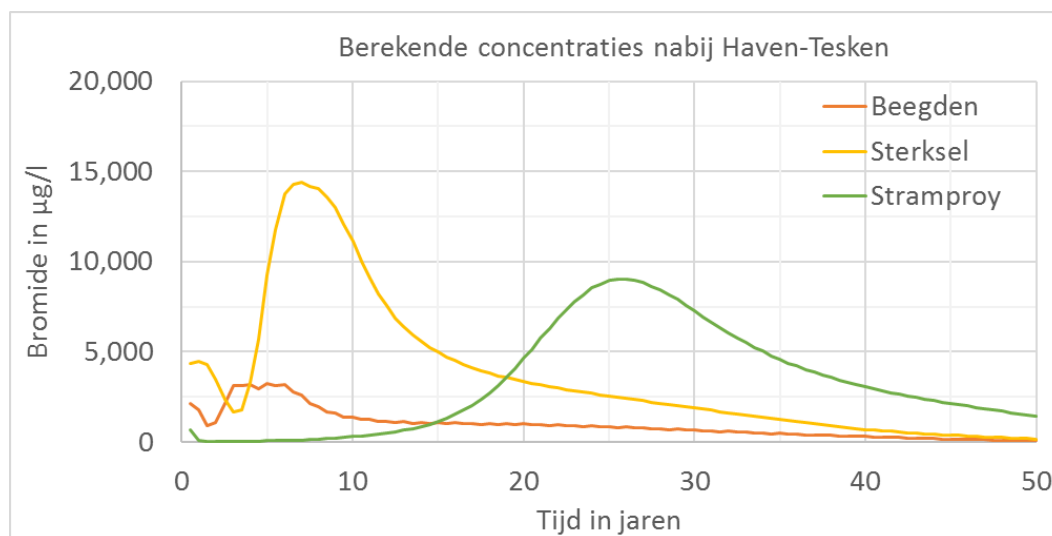
Number of children	Frequency
0	300
1	2800
2	8300
3 or more	20000

3. 'TOENEMENDE PLUIM' | Berekende bovengrens concentraties per dieptetraject

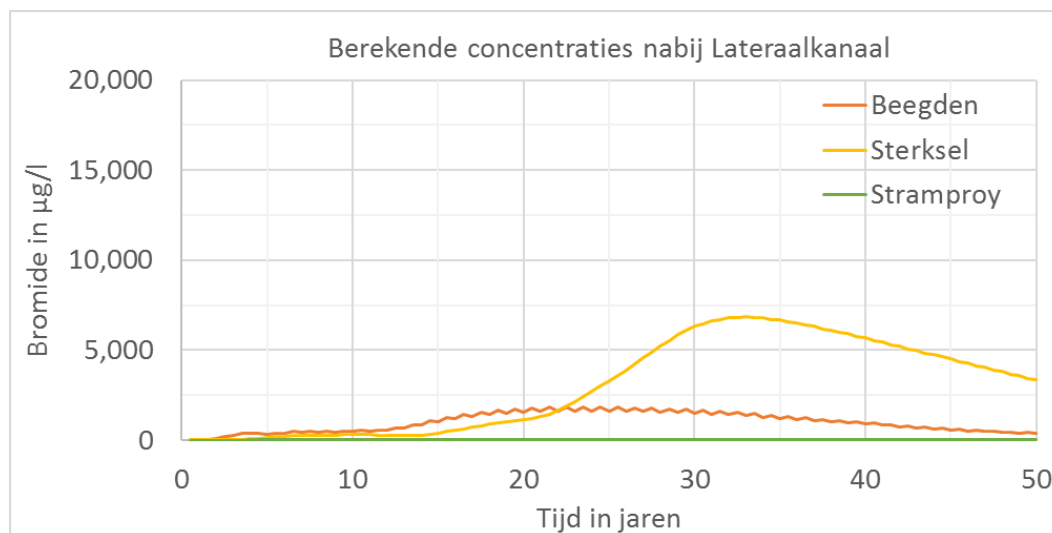
De bovengrenskoncentraties zijn gemiddeld over het dieptetraject (Formatie) in het midden van de pluim. De berekende concentraties van de gehele pluim liggen lager, zie ook [paragraaf 3.5.1](#).

- Formatie van Beegden gemiddelde concentraties tot circa 30 m-mv
- Formatie van Sterksel gemiddelde concentraties van circa 30 m-mv tot circa 45 m-mv
- Formatie van Stramproy gemiddelde concentraties van circa 45 m-mv tot circa 65 m-mv

Ter hoogte van de Jachthaven Boschmolenplas en Het Tesken worden (op enig moment) concentraties berekend tussen de 8.000 µg/l en 15.000 µg/l op een diepte van 30 m tot 45 m-mv. Dit is vergelijkbaar met de gemeten concentraties in peilbuis 7009 ([ref.#4](#)).



Ter hoogte van het Lateraalkanaal worden alleen nog verhoogde concentraties berekend in de zanden van de Formatie van Sterksel op een diepte van circa 45 m-mv. Dit komt doordat de concentraties in het grind van de Formatie van Beegden sneller verdunnen. Maar ook doordat het Lateraalkanaal tot in de zanden van de Formatie van Sterksel draineert door de diepe ligging in het landschap.



Op basis van de resultaten is een afname van de berekende bovengrenskoncentraties van circa 50% af te leiden tussen 'peilbuis 7009' en het 'Lateraalkanaal'. Het gewogen gemiddelde van de berekende bromide concentraties die in het Lateraalkanaal stromen liggen rond de 1.400 µg/l (zie ook [paragraaf 3.5.1](#)).

COLOFON

EDELICHEMIE PANHEEL
AANVULLENDE VERKENNING GRONDWATERSANERINGSVARIANTEN

KLANT

Provincie Limburg

AUTEUR

[REDACTED]

PROJECTNUMMER

C05044.000211

ONZE REFERENTIE

083683776 B

DATUM

21 maart 2019

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

[REDACTED]

VRIJGEGEVEN DOOR

[REDACTED]

[REDACTED]

Senior consultant

[REDACTED]

Senior adviseur Bodem en Ondergrond

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com