

Masterplan Bodemenergie

Centrumgebied Eindhoven



Masterplan Bodemenergie

Centrumgebied Eindhoven

- *gebruiks- en ordeningsregels voor open bodemenergiesystemen*
- *beleidsregels over de toepassing van art. 5.13b lid 9 Bor inzake verlening omgevingsvergunning beperkte milieutoets voor gesloten bodemenergiesystemen*

Opdrachtgever

Gemeente Eindhoven
Postbus 90150
5600 RB Eindhoven

Combinatie BGK

Buro Bron
Geofoxx
KWR

Status

Definitief

Datum

14 januari 2022

Projectnummer

20201032

Documentkenmerk

20201032_a5RAP

KWR 2021.064

Auteurs

Buro Bron

ing. J.A. Meijer
ir. J.C. Dijkhoorn

Geofoxx

ing. J.M.J. van Rooij
drs. B.L.H. ter Haar
D.M. Smulders Msc.

KWR

dr. ir. M. Bloemendal

Controle / vrijgave BGK

ir. J.C. Dijkhoorn

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel en doelgroepen	1
1.3	Juridische status Masterplan Bodemenergie	3
1.4	Gebiedsgericht grondwaterbeheer	3
1.5	Plangebied	3
1.5.1	Projectgrens en wijken	3
1.5.2	Watervoerend pakket voor bodemenergie	4
1.6	Leeswijzer	6
2	Stappenplan en uitgangspunten	7
2.1	Stappenplan	7
2.2	Uitgangspunten verspreiding verontreiniging	8
3	Resultaten stappenplan	9
3.1	Vraag en aanbod bodemenergie	9
3.1.1	Stap 1: Aanbod bodemenergie; referentie scenario	9
3.1.2	Stap 2: Vraag naar bodemenergie	10
3.2	Stap 3: Vaststellen van deelgebieden waar knelpunten zijn	11
3.2.1	Stap 3a: Vergelijking vraag en aanbod	12
3.2.2	Stap 3b: Toetsing verspreiding buiten GGB grens	13
3.3	Stap 4 & 5: Optimalisatie bronlocaties	13
3.4	Stap 6: Effect op grondwaterstanden	14
4	Orderingsregels per deelgebied	15
4.1	Fellenoord	17
4.2	De Binnenstad	19
4.3	Westzijde plangebied	21
4.4	Vooralsnog geen bodemenergie	22
4.5	Overige gebieden	23
5	Verankering en vergunningverlening	25
5.1	Algemeen	25
5.2	Verankering van het Masterplan	25
5.2.1	Interferentiegebied	25
5.2.2	Relatie met het GGB	25
5.2.3	Omgevingswet	25
5.3	Vergunningverlening	26
5.3.1	Algemeen en samenhang wetgeving & Masterplan	26
5.3.2	Open bodemenergiesystemen	27
5.3.3	Gesloten bodemenergiesystemen	27
5.4	Overige vergunningsaspecten en procedures	27
5.4.1	Verontreinigingen buiten GGB-scope	27
5.4.2	Toestemming aanleg in gemeentegrond	27
5.4.3	Aanleg in verontreinigde bodem	28
5.4.4	Besluit lozen buiten inrichtingen (Blbi)	28
5.4.5	Activiteitenbesluit milieubeheer	28
5.4.6	Vooroverleg met coördinator bodemenergie gemeente	28
5.4.7	Coördinatie en communicatie met instanties	28
5.4.8	Vergunningaanvraag	29

Referenties

Bijlage I	Optimalisatie gebruik van de ondergrond met OBES
Bijlage II	Beschrijving Thermisch Referentiemodel
Bijlage III	Beschrijving toetsing GGB
Bijlage IV	Hydrologische check grondwaterstanden
Bijlage V	Resultaten modeltoetsen geoptimaliseerde indeling
Bijlage VI	Plankaart

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Net als iedere andere gemeente in Nederland staat ook Eindhoven aan de vooravond van een belangrijke bijdrage aan de energietransitie. Het aardgasvrij realiseren van nieuwbouw en het van het aardgas afkoppelen van - onder meer - 100.000 woningen in 30 jaar tijd is een immense operatie. Als innovatieve en duurzame gemeente is Eindhoven al behoorlijk vergevorderd in het vormgeven van de randvoorwaarden voor deze operatie. Belangrijke kaders zijn/worden gesteld in verschillende visiedocumenten. Het Masterplan Bodemenergie dient in samenhang te worden beschouwd met de Warmtevisie 2020, de Transitievisie Warmte en de Energievisie centrumgebied Eindhoven.

Zeker voor het centrumgebied van Eindhoven wordt duidelijk dat aardgas als warmte- en energiebron niet één op één vervangbaar is. Per deelgebied zal gezocht moeten worden naar een combinatie van alternatieve mogelijkheden en technieken.

De gemeente Eindhoven wil zeker bij nieuwbouw een belangrijke plek inruimen voor bodemenergie als alternatieve energiebron. De eigenschappen van de ondergrond in Eindhoven zijn bewezen geschikt voor open bodemenergiesystemen (OBES), ook wel bekend als Warmte-Koude-Opslag ofwel WKO.

Ook voor ontwikkelaars van nieuwbouw is OBES vaak een aantrekkelijke techniek. In de praktijk blijkt echter dat diverse OBES (bestaand en nieuw) op nabijgelegen kavels elkaar in de weg kunnen zitten. Dit is problematisch in een dichtbebouwd gebied als Eindhoven centrum. Er is alleen voldoende OBES capaciteit als de ondergrond slim geordend wordt en OBES onderling op elkaar zijn afgestemd. Zonder toepassing van dit Masterplan Bodemenergie kan een situatie ontstaan dat er onvoldoende geregeld is om alle gebouwen in het centrum van duurzame energie te voorzien. Optimale benutting van bodemenergie en OBES is nodig om een alternatief of aanvulling te vormen voor andere vormen van duurzame energie. Bovendien kan daarbij het elektriciteitsnet zoveel mogelijk worden ontzien.

Optimale benutting van bodemenergie en OBES, betekent dat er ook ordeningsregels moeten worden opgenomen over het gebruik van gesloten bodemenergiesystemen (GBES). GBES kunnen het functioneren van OBES immers ook beïnvloeden. Daarom bevat dit Masterplan Bodemenergie beleidsregels als bedoeld in artikel 4:81 Awb over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor bij de verlening van een omgevingsvergunning beperkte milieutoets voor gesloten bodemenergiesystemen (GBES). Deze beleidsregels zijn opgenomen in hoofdstuk 4 en de toelichting op de toepassing daarvan in hoofdstuk 5.

1.2 Doel en doelgroepen

Het doel van dit Masterplan Bodemenergie (hierna "Masterplan") is het waarborgen van voldoende bodemenergie voor zoveel mogelijk initiatienemers door optimaal gebruik te maken van bodemenergie aan de hand van een plankaart en de daarbij behorende gebruiks- of ordeningsregels voor OBES en GBES.

Het Masterplan omschrijft de kaders waarbinnen de gemeente Eindhoven het gebruik van bodemenergie reguleert en maximaal faciliteert. Het document is daarmee een stimulans voor het toepassen van deze vorm van duurzame energie. De gebruiks- en ordeningsregels voor gesloten bodemenergiesystemen gelden als door het college van B&W vastgestelde beleidsregels ex artikel 4:81 Awb over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor bij verlening van een omgevingsvergunning beperkte milieutoets voor gesloten bodemenergiesystemen in aangewezen gebieden.

Als initiatiefnemer en aanspreekpunt stelt de gemeente dit Masterplan ter beschikking met als doel handvatten en regels aan te reiken aan de hieronder genoemde doelgroepen om bodemenergie toe te kunnen passen.

Dit Masterplan is bedoeld voor:

a. De gemeente Eindhoven

De gemeente vervult de rol van initiatiefnemer en coördinator bodemenergie van dit Masterplan, is één van de gebouw- en grondeigenaren binnen het plangebied en is beheerder van de openbare ruimte.

De gemeente geeft sturing aan het duurzaam en multifunctioneel gebruik en inrichting van de ondergrond. Doelmatig bovengronds en ondergronds gebruik van de openbare ruimte speelt hierbij een belangrijke rol. Met behulp van dit Masterplan bevordert de gemeente optimaal gebruik van het potentieel aan bodemenergie met de visie dat alle stakeholders binnen een buurt of gebied dezelfde kansen en mogelijkheden hebben om bodemenergie toe te kunnen passen.

Het college van B&W is het bevoegd gezag voor het verlenen van een omgevingsvergunning beperkte milieutoets als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, onder i, Wabo jo. 2.2a, zesde lid, Bor voor GBES. Indien een interferentiegebied als bedoeld in artikel 2.2b, eerste lid, Bor is aangewezen, is voor alle GBES, ongeacht het bodemzijdig vermogen, een omgevingsvergunning beperkte milieutoets vereist.

Het college van B&W verleent deze vergunning op grond van artikel 2.17 Wabo jo. artikel 5.13b, negende lid, Bor. De omgevingsvergunning beperkte milieutoets wordt alleen niet verleend als het GBES zodanige interferentie kan veroorzaken met een ander bodemsysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad, dan wel anderszins sprake is van een ondoelmatig gebruik van bodemenergie. Hoofdstuk 4 van dit Masterplan bevat beleidsregels over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor.

b. Initiatiefnemers

Onder initiatiefnemers vallen ontwikkelaars, gebouweigenaren, energie-exploitanten en anderen die bodemenergie willen toepassen. Deze groep wil bodemenergiesystemen ontwikkelen als onderdeel van aardgasvrij bouwen en wil daarom weten welke bronlocaties, vergunningen en regels van toepassing zijn ten behoeve van de realisatie en het onderhoud en beheer van open en gesloten bodemenergiesystemen, waar vergunningen kunnen worden verkregen en wat de mogelijkheden zijn om bij andere ontwikkelingen aan te sluiten in het kader van collectiviteit.

c. De provincie Noord-Brabant en de Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant (ODZOB)

Het college van GS van de provincie is bevoegd gezag voor vergunningen op grond van de Waterwet. Het betreft dit plan op grond van artikel 4, aanhef en onder i, van de Beleidsregel Grondwaterbeheer Noord-Brabant d.d. 9 april 2020 bij het beoordelen van een vergunningaanvraag voor OBES. De ODZOB is namens GS de gemandateerde, uitvoerende instantie. Een vergunningaanvraag Waterwet loopt via het Omgevingsloket (OLO) en wordt door de ODZOB behandeld.

d. Geïnteresseerden en belanghebbenden

Diegenen op de hoogte willen zijn van de ondergrondse (ruimtelijke) ontwikkelingen binnen het plangebied, zoals ondernemers, bewoners en andere belanghebbenden.

1.3 Juridische status Masterplan Bodemenergie

Dit Masterplan geeft inzicht in een optimale ordening van bodemenergiebronnen. Eindhoven is voornemens om dit Masterplan vast te laten stellen door het college van B&W.

Het college van B&W zal hoofdstuk 4 vaststellen als beleidsregel als bedoeld in artikel 4:81 Awb. Daarnaast zal de gemeenteraad het plangebied van het Masterplan in een plaatselijke verordening aanwijzen als Interferentiegebied zoals bepaald in artikel 2.2b, eerste lid, Bor. Hierdoor is op grond van artikel 2.2a, zesde lid, Bor voor alle GBES een omgevingsvergunning beperkte milieutoets vereist. Hoofdstuk 4 bevat beleidsregels voor het college van B&W voor de verlening van deze vergunning.

Het college van GS van de provincie Noord-Brabant is het bevoegd gezag voor vergunningen op grond van de Waterwet. Na de beoogde vaststelling van het Masterplan door de gemeente Eindhoven zal een vergunning voor de onttrekking van grondwater ten behoeve van een bodemenergiesysteem op grond van artikel 4, aanhef en onder i van de "Beleidsregel Grondwaterbeheer Noord-Brabant d.d. 9 april 2020" worden getoetst aan de gebruiks- en orderingsregels in het Masterplan.

De ODZOB en het college van B&W toetsen vergunningaanvragen voor bodemenergie dan aan de plankaart en de orderingsregels.

1.4 Gebiedsgericht grondwaterbeheer

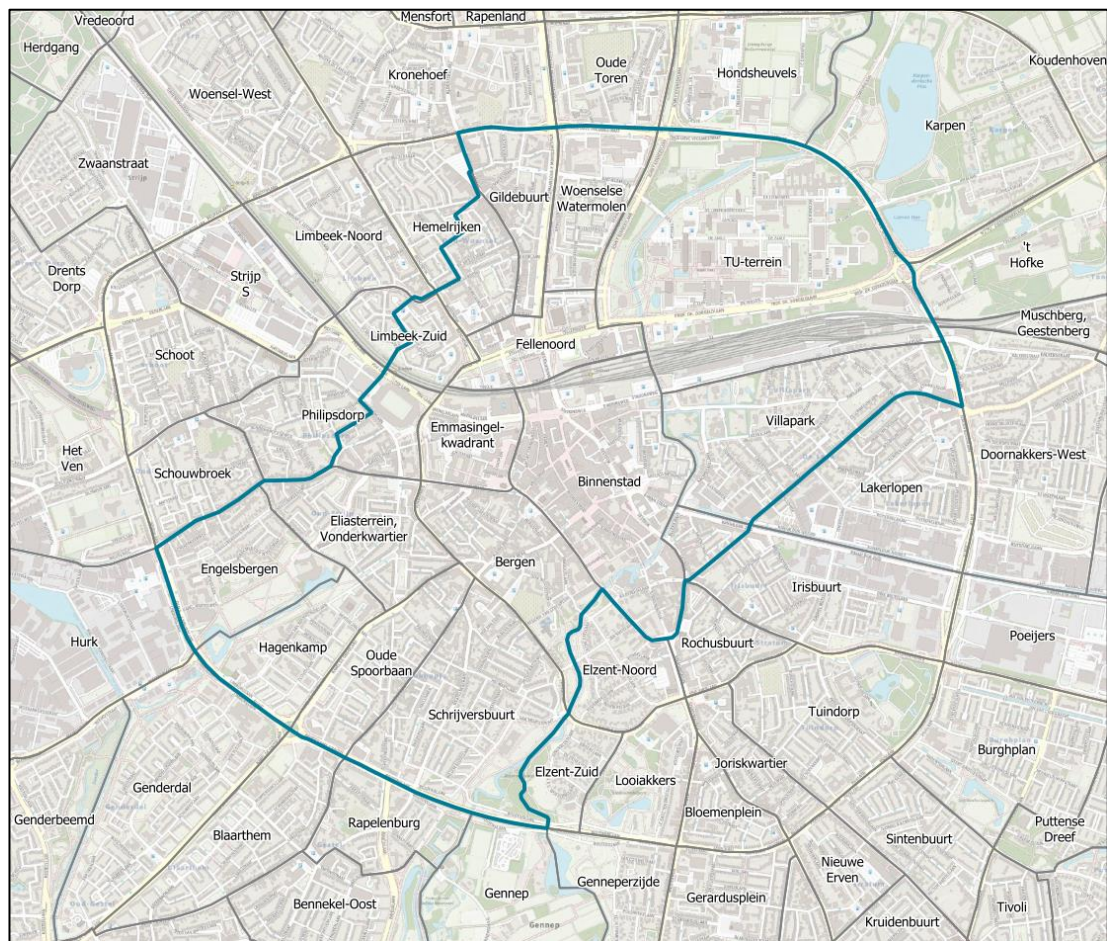
Voorliggend document is niet los te zien van het Gebiedsgericht Grondwaterbeheer (GGB) van de gemeente Eindhoven (Gemeente Eindhoven, 2021). De industriële historie van Eindhoven is deels nog terug te vinden in de bodem onder de stad, met name in het centrumgebied in de vorm van grootschalige (grondwater)verontreinigingen. Door het stellen van verantwoorde kaders waarbinnen deze grondwaterverontreinigingen mogen verspreiden en verdunnen én door het gezamenlijk beschouwen en benaderen van deze verontreinigingen, ontstaat er ruimte in de ondergrond voor de toepassing van bodemenergie. Het GGB beoogt zodoende maximale handelingsruimte te verschaffen, zonder het belang van een verstandig en zorgvuldig grondwaterbeheer uit het oog te verliezen. De balans tussen GGB en de toepassing van bodemenergie is in dit Masterplan vormgegeven.

1.5 Plangebied

1.5.1 Projectgrens en wijken

Het Masterplan richt zich op het Centrumgebied van Eindhoven, weergegeven in figuur 1. De (toekomstige) vraag naar energie is in dit gebied erg hoog. Daarnaast zijn er veel bovengrondse ontwikkelingen te verwachten die de inpassing van bodemenergiebronnen bemoeilijken. Tot slot bevinden zich in dit gebied ook verschillende grondwaterverontreinigingen, die in het kader van het GGB¹ beheerd worden. Tezamen vormen deze argumenten de reden om het Centrumgebied te prioriteren in het uitwerken en stimuleren van bodemenergie als duurzame techniek voor verwarming en koeling van gebouwen. De GGB-gebiedsgrens is leidend geweest bij het vaststellen van de projectgrens van het Masterplan.

¹ Gebiedsplan Gebiedsgericht Grondwaterbeheer Eindhoven-Centrum, gemeente Eindhoven, ref. 20797.4197GBP/2.1, d.d. 5 mei 2021



Figuur 1: projectbegrenzing en woonwijken / deelgebieden

1.5.2 Watervoerend pakket voor bodemenergie

De ondergrond van Eindhoven is in het GGB-plan en in de onderliggende geohydrologische modelstudie uitgebreid beschreven (Gemeente Eindhoven, 2021, Geofoxx, 2020). In dit Masterplan is de bodemopbouw uit deze studies overgenomen en weergegeven in tabel 1 op de volgende pagina.

Tabel 1: Geohydrologische bodemopbouw

Diepte (m-mv)	Geohydrologische eenheid	Pakketten	Hoofdsamenstelling bodem
0 – 3	Deklaag	Freatisch pakket	Zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit midden en fijn zand, met weinig zandige klei en grof zand en een spoor klei, veen en grind
3 – 4		Scheidende laag	Kleiige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit leem, met weinig fijn en midden zand en een spoor veen en grof zand
4 – 19		Watervoerend pakket	Zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit midden en fijn zand, met weinig zandige klei en grof zand en een spoor klei, veen en grind
19 – 22		Scheidende laag	Kleiige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit zandige klei, midden en fijn zand, met weinig klei, veen en grof zand
22 – 30			Zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit midden en fijn zand, met weinig zandige klei en grof zand en een spoor klei, veen en grind
30 – 62	1^e watervoerend pakket	Watervoerend pakket	Zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit grof en midden zand, met weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei
62 – 63		Scheidende laag (beperkt lokaal aanwezig)	Kleiige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit zandige klei, klei en midden zand, met weinig fijn en grof zand en een spoor veen en grind
63 – 90		Watervoerend pakket	Zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit grof en midden zand, met weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei
90 – 95	Hydrologische basis	Scheidende laag	Kleiige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit zandige klei, klei en midden zand, met weinig veen, fijn en grof zand en een spoor bruinkool

De kleiige eenheid op 62-63 m-mv ontbreekt in grote delen van het plangebied. Het eerste watervoerende pakket is geschikt voor het toepassen van OBES. Juridisch is het mogelijk filters te plaatsen tot 80 m-mv. De fysieke ondergrens van de bronnen is in dit Masterplan daarom gesteld op 80 m-mv vanwege de strategische bescherming van de drinkwatervoorraad.

In de bijlagen II, III en IV zijn de geohydrologische eenheden van tabel 1 vertaald in modelspecifieke invoerparameters om respectievelijk thermische, stroombaan- en hydrologische “worstcaseberekeningen” te kunnen maken.

1.6 Leeswijzer

In voorliggend document wordt achtereenvolgens ingegaan op de volgende onderwerpen / onderdelen:

- Stappenplan en uitgangspunten (hoofdstuk 2);
- Resultaten stappenplan (hoofdstuk 3);
- Ordeningsregels per deelgebied en beleidsregels voor GBES (hoofdstuk 4);
- Verankering en vergunningverlening (hoofdstuk 5).

Deze hoofdstukken zijn verbonden met een aantal bijlagen, waarin toelichting en achtergrondinformatie is opgenomen. Ook de plankaart is opgenomen als bijlage.

Belangrijke termen en afkortingen die in voorliggend document gebruikt worden hebben de volgende betekenis:

- **Bron:** een grondwaterbron waaruit onttrokken en geïnfiltreerd wordt;
- **COP:** Coefficient of Performance; maat om de energieprestatie van een warmtepomp aan te geven. COP is het quotiënt van de gebruikte elektriciteit en geleverde warmte van een warmtepomp. Gangbare waarden zijn 4-6;
- **Doublet:** een koppel van twee bronnen, bestaande uit een warme en koude bron;
- **GBES:** gesloten bodemenergiesystemen;
- **GGB:** gebiedsgericht grondwaterbeheer;
- **OBES:** open bodemenergiesystemen, ook bekend als WKO;
- **Wbb:** Wet bodembescherming;
- **WKO:** Warmte-Koude-Opslag.

2 Stappenplan en uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste methodieken en kaders besproken die samen leiden tot de ordeningsregels voor OBES en (als afgeleide daarvan) beleidsregels voor GBES.

2.1 Stappenplan

Voor het maken van de plankaart en de ordeningsregels zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Bepalen referentiescenario aanbod OBES.
Op basis van de kenmerken en eigenschappen van de ondergrond (zie tabel 1 en § 3.1) is eerst het aanbod / de potentie van OBES binnen het totale plangebied van het Masterplan vastgesteld op basis van standaard plaatsingsregels, i.e. afstand tussen de bronnen is 3 x de thermische straal (zie kader in bijlage I), zonder daarbij rekening te houden met bestaande infrastructuur en overige belemmeringen, waaronder grondwaterverontreinigingen. Met een thermisch model voor OBES (bijlage II) is getoetst in hoeverre de standaard plaatsing van OBES kan voldoen aan de vraag naar bodemenergie.
2. Het bepalen van de toekomstige vraag naar bodemenergie (zie § 3.2).
3. Vaststellen knelpunten.
 - a. Op basis van het verschil tussen vraag en aanbod naar bodemenergie is per wijk vastgesteld waar aanvullende ordening nodig is om meer bodemenergiesystemen te kunnen accommoderen.
 - b. Omdat niet in alle wijken vergelijkbare optimalisaties en verdichtingen nodig zijn, zijn 5 deelgebieden onderscheiden waarvoor vergelijkbare ordeningsregels geformuleerd kunnen worden.
 - c. Vervolgens is met het GGB-model (bijlage III) getoetst of de verspreiding van de verontreiniging door bodemenergiesystemen al dan niet leidt tot overschrijdingen buiten de GGB-gebiedsgrens.
4. In de deelgebieden waar de vraag naar bodemenergie het aanbod overstijgt en/of waar de bodemenergiebronnen zorgen voor verspreiding van de verontreiniging over de randen van de GGB-gebiedsgrens zijn de bronposities heroverwogen, zodat er meer bronnen konden worden ingepast door maximaal te verdichten/clusteren (zie § 3.2 en bijlage I) respectievelijk verspreiding tot buiten de gebiedsgrens werd opgeheven (zie § 3.3 en bijlage I).
5. De aangepaste bronnenconfiguratie is getoetst aan het GGB-model/thermische model, waarbij stappen 4 en 5 zijn herhaald totdat het optimale plan is vastgesteld (zie § 3.3). De resultaten van de toetsing van het geoptimaliseerde plan zijn opgenomen in bijlage V.
6. Tot slot zijn ook de veranderingen in de grondwaterstand getoetst (bijlage IV). In het thermisch referentiemodel is uitgegaan van standaard plaatsingsregels en het om en om (kruislings) plaatsen van warme en koude bronnen. De hydrologische effecten van één of meerdere kruislings geplaatste OBES op de grondwaterstanden zijn vrijwel verwaarloosbaar omdat de verlagingen van de onttrekkingen worden gecompenseerd door de verhogingen van de infiltraties en andersom. In een aantal deelgebieden is door het doorvoeren van optimalisaties en verdichtingen uitgegaan van het plaatsen van bronnen in clusters of stroken waardoor de cumulatieve hydrologische effecten in de clusters of stroken worden versterkt. In bijlage IV zijn daarom de cumulatieve hydrologische effecten op de freatische grondwaterstanden en op de stijghoogten in de deklaag bepaald.

De ordening van bronnen die tot stand is gekomen na de stappen 1 t/m 6 is in hoofdstuk 4 vertaald in zoekgebieden en ordeningsregels.

2.2 Uitgangspunten verspreiding verontreiniging

Voor de aanwezige grondwaterverontreinigingen en het beperken van de verspreiding door bestaande en toekomstige OBES gelden in het plangebied de navolgende uitgangspunten:

a. Historische verontreinigingen (< 1987)

- I. Vluchtige Organo Chloorverbindingen (VOCl) in het grondwater vallen onder het GGB-beleid en mogen de gebiedsgrens in horizontale en verticale richting niet overschrijden. Verspreiding van verontreiniging binnen de gebiedsgrens is op basis van het GGB binnen zekere kaders toegestaan. Dit dient voorafgaand door de coördinator bodemenergie te worden geaccordeerd;
- II. Overige verontreinigingen (o.a. minerale olie, aromaten en zware metalen) mogen zich niet verspreiden en vallen buiten het GGB-beleid.

b. Zorgplichtverontreinigingen (> 1987)

- I. Alle zorgplichtverontreinigingen dienen conform artikel 13 Wet bodembescherming te worden aangepakt en worden niet additioneel in dit Masterplan beschouwd.

Voor het Masterplan zijn alle aanwezige grondwaterverontreinigingen binnen en nabij de projectgrens geïnventariseerd. Alle grondwaterverontreinigingen met VOCl zijn reeds voor het GGB geïnventariseerd (Geofoxx, 2020) en daarin opgenomen. Voor de grondwaterverontreinigingen in de categorie "overige verontreinigingen" blijkt dat deze enkel in de deklaag (tot 19 m-mv) aanwezig zijn en door onderliggende scheidende en overgangslagen niet in het eerste watervoerende pakket zullen geraken en/of door de huidige en toekomstige OBES (30-80 m-mv) beïnvloed zullen worden.

Op basis hiervan is de toekomstige verspreiding van de verontreinigingen bepaald aan de hand van het ten behoeve van het GGB ontworpen grondwatermodel ("GGB-model", zie toelichting in bijlage III). In bijlage I is beschreven welke verspreidingsmechanismen een rol spelen bij de toepassing van bodemenergie in (de buurt van) mobiele bodemverontreinigingen. Deze inzichten zijn gebruikt in de optimalisatie om dreigende verspreiding buiten de GGB gebiedsgrens door de OBES bronnen te beperken.

3 Resultaten stappenplan

Het Masterplan faciliteert in ordeningsregels voor de gebieden waar de bovengrondse energievraag groter is dan het aanbod op basis van standaard plaatsingsregels voor bodemenergiebronnen, alsook voor gebieden waar ongecontroleerde verspreiding van diepe grondwaterverontreiniging moet worden tegengegaan. In dit hoofdstuk wordt vastgesteld waar aanbod van bodemenergie niet aan de vraag kan voldoen en waar bij standaard plaatsing verspreiding van de verontreiniging over de GGB grens optreedt. Tot slot worden de resultaten van de optimalisaties en grondwatertoets toegelicht.

3.1 Vraag en aanbod bodemenergie

3.1.1 Stap 1: Aanbod bodemenergie; referentie scenario

In het eerste watervoerende pakket is het volgens de standaard ontwerpregels mogelijk om binnen het projectgebied 162 doubletten, elk met een maximale capaciteit tot 150 m³/uur of tot 1.050 kW, te realiseren.

Om het maximale aanbod van OBES te kunnen bepalen is uitgegaan van de in tabel 2 genoemde globale uitgangspunten.

Tabel 2: Dimensionering doublet/bronnenpaar volgens standaard ontwerpregels

Onderdeel	Hoeveelheid	Eenheid
Capaciteit	150	m ³ /uur, 1.050 kW
Vollasturen	1.500	uur
Waterverplaatsing	225.000	m ³ /seizoen
Energiehoeveelheden	1.570	MWh/seizoen
Effectieve filterlengte	30	m
Dikte OBES-reservoirs	50	m
Minimale afstand tussen bronnen	130	m (2,5x thermische straal)
Minimaal oppervlak per doublet	33.800	m ²

Bij het vaststellen van het aanbod van bodemenergie is de maximale capaciteit van de ondergrond in eerste instantie vastgesteld door een maximaal aantal standaard doubletten (zie tabel 2) kruislings over het totale projectgebied te projecteren zonder rekening te houden met de beperkende randvoorwaarden vanuit het GGB-beleid of de bovengrondse vraag naar bodemenergie (het "graslandscenario").

Vervolgens zijn de bronposities van dit "graslandscenario" tijdens meerdere iteratiestappen zodanig geoptimaliseerd dat aan het GGB-beleid kan worden voldaan en bovendien een significante verdichting is doorgevoerd in die deelgebieden waar de (toekomstige) vraag naar bodemenergie significant groter is dan het maximale aanbod. Het maximale aanbod van bodemenergie volgens het referentiescenario (zie bijlage II) vormt de voornaamste basis voor het opstellen van de plankaart (zie bijlage VI) en het opstellen van de ordeningsregels voor OBES en beleidsregels voor GBES per deelgebied (hoofdstuk 4).

3.1.2 Stap 2: Vraag naar bodemenergie

Tijdens het opstellen van de “Energievisie Centrumgebied Eindhoven” is in het vierde kwartaal van 2020 een inventarisatie gemaakt van de energie- en vermogensbehoefte van de bestaande gebouwen en de nieuwbouw in de deelgebieden binnen het centrum van Eindhoven. Bij de inventarisatie is rekening gehouden met bekende plannen in Binnenstad, Emmasingelkwadrant, Fellenoord en Bergen en met de toename van het aantal woningen en utilitaire gebouwen zoals aangegeven in het “Ontwikkelingsperspectief 2040 Centrum Eindhoven” van april 2020.

Voor dit Masterplan is een inschatting gemaakt van het percentage van de bestaande bouw dat op OBES kan worden aangesloten. Voor enkele buurten is dat percentage gelijk aan 0%. In dat geval is de energiebehoefte en de vermogensbehoefte van die buurt gelijk aan de energie- en vermogensbehoefte van de nieuwbouw. Per buurt is de energie- en vermogensbehoefte gegeven van de nieuwbouw plus het voor aansluiting op OBES geschikte aandeel van de bestaande bouw.

In tabel 3 is de vermogens- en energievraag van bodemenergiesystemen voor de bestaande gebouwen en nieuwbouw weergegeven. In de laatste kolom is aangegeven hoeveel doubletten hiervoor nodig zijn. De vermogensvraag uit de bodem is afgeleid uit de energievraag. Daarbij is uitgegaan van een monovalente situatie, waarbij het vermogen uitsluitend door het OBES wordt geleverd. Het uitgangspunt is dat er monovalente bodemenergiesystemen worden toegepast waarbij het gehele gevraagde vermogen en energie wordt geleverd met het OBES. Voor de COP van de warmtepomp is 4 aangehouden bij warmtelevering. Bij koudelevering is er vanuit gegaan dat alle koude zonder tussenkomst van een warmtepomp wordt geleverd.

Bij Fellenoord is het vermogen bij warmtelevering maatgevend voor het vaststellen van het benodigde aantal doubletten. Als een deel van de installatie bivalent wordt uitgevoerd, bijvoorbeeld voor de piekvoorziening stadsverwarming, en de basislast met een OBES, dan zakt het aantal benodigde doubletten naar 28,8 (de energiehoeveelheid bij warmtelevering wordt dan maatgevend).

Tabel 3: Energie- en vermogensvraag bestaande bouw en nieuwbouw [bron: gemeente Eindhoven, informatiedatum: 2^e kwartaal 2021]

Woonwijk	Benodigde energie nieuwbouw plus bestaande bouw			Benodigd vermogen nieuwbouw plus bestaande bouw		
	warmte [MWh]	koude (MWh)	Aantal benodigde dubletten 1.570 MWh per dublet	warmte (kW)	koude (kW)	Aantal benodigde dubletten 1.050 kW per dublet
Bergen	9.948	2.207	6	8.118	2.237	8
Binnenstad	32.380	20.757	21	25.504	16.477	25
Eliasterrein, Vonderkwartier	6.118	851	4	5.086	946	5
Engelsbergen	3.662	925	2	3.052	1.028	3
Fellenoord	62.263	30.208	40	48.633	24.939	47
Gildebuurt	5.720	590	4	4.745	656	5
Hagenkamp	3.028	765	2	2.523	850	3
Hemelrijken	7.480	1.035	5	6.212	1.150	6
Irisbuurt	8.572	1.568	5	4.657	1.742	5
Limbeek-Zuid	3.251	508	2	2.689	564	3
Oude Spoorbaan	7.440	747	5	6.031	830	6
Philipsdorp	6.746	1.181	4	5.550	1.312	6
TU-terrein	13.801	27.202	17	11.501	19.684	19
Villapark	8.564	1.568	5	7.008	1.742	7
Emmasingel-kwadrant	10.588	4.819	7	8.823	4.402	9
Woenselse Watermolen	7.031	686	4	5.655	762	6
Schrijversbuurt	6.633	1.676	4	5.528	1.862	6
Totaal	203.225	97.293	138	161.315	81.183	169

3.2 Stap 3: Vaststellen van deelgebieden waar knelpunten zijn

Om meer duurzame energie te kunnen leveren is, in deelgebieden waar de vraag naar bodemenergie groter is dan het aanbod, opschaling van het gebruik van bodemenergie nodig. De ondergrondse potentie van bodemenergie wordt onder normale/generieke plaatsingsregels veelal niet volledig benut. Vooral in binnenstedelijke gebieden waar de vraag naar bodemenergie hoog is, is het daarom van belang de locaties van bronnen te verdichten en op elkaar af te stemmen, zodat de beschikbare ruimte in de ondergrond maximaal wordt benut voor de duurzame energievoorziening. Verdichten van bronnen kan echter leiden tot negatieve interacties tussen bronnen van verschillende temperatuur. Zolang deze negatieve interacties niet leiden tot significante toename van het primaire energiegebruik van individuele bodemenergiesystemen kan dat worden toegestaan. Voorts zorgt de toegenomen toepassing van bodemenergie voor (nóg) meer duurzame gebouwen c.q. minder CO₂-uitstoot.

3.2.1 Stap 3a: Vergelijking vraag en aanbod

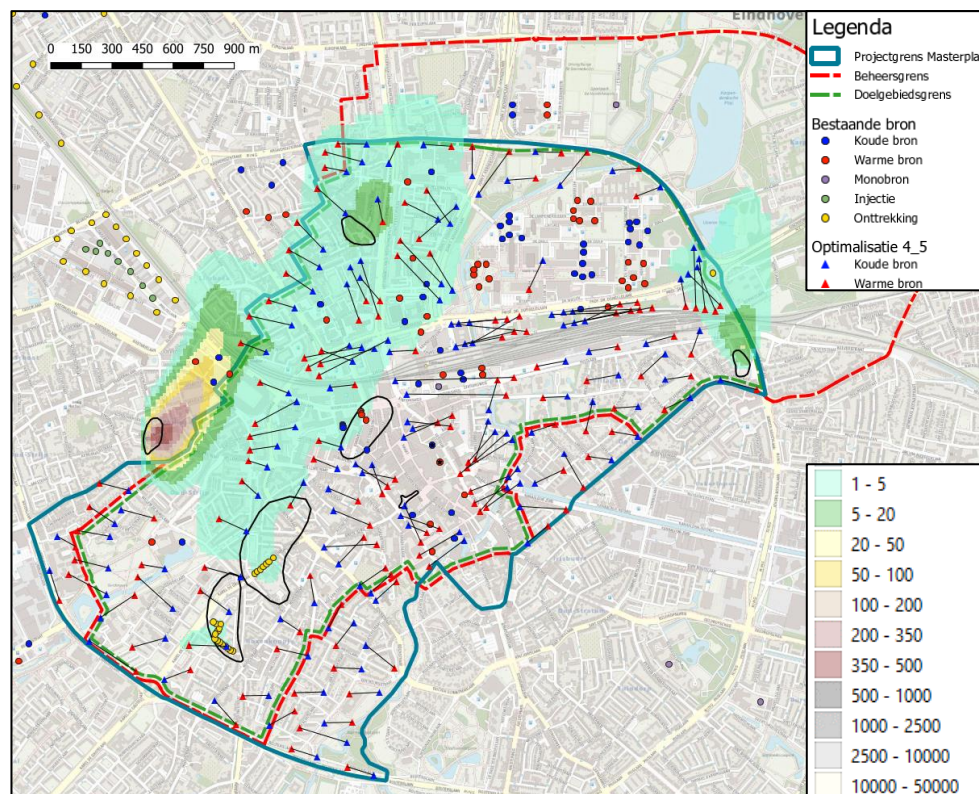
In tabel 4 is voor elke wijk opgenomen wat het aantal benodigde doubletten en het aantal beschikbare doubletten is in het referentiescenario. Hieruit blijkt dat in de Binnenstad (inclusief o.a. de ontwikkelingen ten zuiden van de spoorzone) en Fellenoord de vraag naar bodemenergie het beschikbare aanbod uit de bodem overstijgt. Verder zijn er ten tijde van het opstellen van het Masterplan concrete ontwikkelingen die in elkaars nabijheid liggen in het Emmasingelkwadrant en Bergen. In die gebieden moet er lokaal worden verdicht om alle initiatieven te kunnen faciliteren.

Tabel 4: Vergelijking van het benodigde en het beschikbare aantal doubletten per buurt

Woonwijk	Aantal benodigde doubletten voor energie (1570 MWh per doublet)	Aantal benodigde doubletten voor capaciteit (1050 kW per doublet)	Optimalisatie en verdichting	Aantal beschikbare doubletten na inpassing en optimalisatie
Bergen	8	6	169	8
Binnenstad	25	21	Verdichting via clustering, met clusters op de rand met Binnenstad.	29
Eliasterrein, Vonderkwartier	5	4	Verspreiding van verontreiniging tegen gaan	3
Engelsbergen	3	2		8
Fellenoord	47	40	Grootschalige verdichting via clustering, met clusters in omliggende wijken.	31
Gildebuurt	5	4		5
Hagenkamp	3	2		5
Hemelrijken	6	5		4
Irisbuurt (gedeeltelijk)	5	5		2
Limbeek-Zuid	3	2		2
Oude Spoorbaan	6	5		4
Philipsdorp	6	4	Verspreiding van verontreiniging tegen gaan	0
TU-terrein	19	17		8
Villapark	7	5		14
Emmasingel-kwadrant	9	7		7
Woenselse Watermolen	6	4		6
Schrijversbuurt	6	4		16
Totaal	169	138		152

3.2.2 Stap 3b: Toetsing verspreiding buiten GGB grens

De bronlocaties van het referentiescenario zijn toegepast in het GGB model (Bijlage III) om de (additionele) verspreiding van de grondwaterverontreiniging in beeld te brengen. In figuur 2 is een enkel voorbeeld van de GGB toetsing weergegeven. Uit deze simulatie blijkt dat OBES aan de westzijde van het plangebied zorgen voor verspreiding over de grens van het GGB gebied, waarbinnen de 5 $\mu\text{g/l}$ contour moet blijven. Om dat te voorkomen moeten de OBES bronnen in de wijken Philipsdorp, Engelsbergen en Eliasterrein/ Vonderkwartier zodanig worden geordend dat de mate van verspreiding wordt verminderd (zie bijlage I).



Figuur 2: Voorbeeld GGB toetsing bodemlaag 6 (27-38 m-mv) concentratie vinylchloride (VC) na 50 jaar

3.3 Stap 4 & 5: Optimalisatie bronlocaties

Op basis van de handreikingen uit wetenschappelijk en praktijkgericht onderzoek (Bloemendal et al. 2018, Bloemendal et al. 2020) t.a.v. verdichten en het beperken van verspreiding, die zijn beschreven in bijlage I, is in 5 iteraties toegewerkt naar een optimale verdeling van de bronlocaties in het plangebied van dit Masterplan. Doel was in beeld te brengen onder welke plaatsingsregels het aantal bodemenergiebronnen op verantwoorde wijze kan worden verdicht, dus zonder dat dit tot significante afname van de energieprestaties van individuele systemen leidt. In de twee laatste kolommen van tabel 4 is aangegeven welke optimalisaties zijn uitgevoerd om tot het definitief aantal toe te passen doubletten te komen. De ordeningsregels volgens uit de optimalisaties en zijn beschreven in hoofdstuk 4.

3.4 Stap 6: Effect op grondwaterstanden

Gemiddeld liggen de grondwaterstanden in Eindhoven tenminste op één meter onder maaiveld. Bij bijvoorbeeld tunnels onder het spoor of bij gebouwen in de omgeving van het Station Eindhoven Centraal is dat echter anders. Volgens de cumulatieve berekeningen van bijlage IV beperken de grondwaterstandveranderingen zich gemiddeld tot maximaal circa 50 cm. In de figuur van bijlage IV is met rode contourlijnen aangegeven waarbinnen de grondwaterstanden cumulatief 40 cm of meer kunnen wijzigen als gevolg van OBES.

De grootste cumulatieve veranderingen van de grondwaterstanden treden op het TU-terrein en rondom het Station Eindhoven Centraal op. Daarbuiten blijven de grondwaterstandsveranderingen beperkt(er). Voor zover de cumulatieve grondwaterstandsveranderingen een risico vormen voor bijvoorbeeld wateroverlast of opdroging van parkeergarages zijn aanvullende ordeningsregels aan het Masterplan toegevoegd voor met name het gebied rondom het Station Eindhoven Centraal. Het gebied rondom het Station Eindhoven Centraal valt aan de zuidzijde onder het deelgebied van de Binnenstad en aan de noordzijde onder het deelgebied van Fellenoord.

4 Ordeningsregels per deelgebied

Binnen het plangebied zijn 5 typen deelgebieden onderscheiden met ieder hun eigen ordeningsregels voor bronlocaties. In sommige gevallen zijn dat generieke plaatsingsregels en in andere deelgebieden zijn er zoekgebieden aangewezen voor de positionering van warme dan wel koude bronnen (zie § 4.1 t/m 4.5). De ordenings- en plaatsingsregels gelden met name voor OBES. De regels in § 4.1 t/m 4.5 worden voor zover zij zien op GBES, door het college van B&W vastgesteld als beleidsregels als bedoeld in artikel 4:81 Awb. Deze worden hierna toegelicht. In bijlage VI zijn de 5 deelgebieden op de plankaart weergegeven.

Bij de situering van de clusters en zonering is rekening gehouden met de beoogde locaties van de bekende ontwikkelingen die vanaf eind 2021 / begin 2022 gaan lopen. Hiermee is een optimale ruimtelijke invulling gegeven op basis van deze toekomstige ontwikkelingen.

Tabel 5: Aantal beschikbare doubletten per deelgebied

Deelgebied	Woonwijken	Aantal beschikbare doubletten
Fellenoord	Limbeek-Zuid (beperkt gedeelte)	31
	Hemelrijken (beperkt gedeelte)	
	Gildebuurt (beperkt gedeelte)	
	Woenselse Watermolen (beperkt gedeelte)	
	Fellenoord	
	TU-terrein (gebied ten noorden van de spoorzone)	
Binnenstad	Binnenstad (inclusief het gebied ten zuiden van de spoorzone)	29
	TU-terrein (gebied ten zuiden van spoorzone)	
	Bergen (gedeeltelijk)	
Westzijde plangebied	Philipsdorp (gedeeltelijk)	34
	Emmasingelkwadrant (gedeeltelijk)	
	Eliasterrein/Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Engelsbergen	
	Hagenkamp	
	Oude Spoorbaan	
Vooralsnog geen bodemenergie	Philipsdorp (gedeeltelijk)	0
	Eliasterrein/Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Emmasingelkwadrant (grotendeels)	
	Villapark en TU-terrein (beperkt oostelijk gedeelte)	
Overige gebieden	Limbeek-Zuid (grotendeels)	58
	Hemelrijken	
	Woenselse Watermolen	
	TU-terrein	
	Villapark	
	Bergen	
	Eliasterrein, Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Oude Spoorbaan (gedeeltelijk)	
	Schrijversbuurt	
Totaal	Projectgebied	152

Disclaimer: Het in dit Masterplan beschreven deelgebied Fellenoord kent andere gebiedsgrenzen dan het Projectgebied van de gebiedsontwikkeling Fellenoord. Dit is om geohydrologische redenen. Het deelgebied Fellenoord in dit Masterplan is het voedingsgebied waarin warmte- en koudebronnen kunnen komen voor de toekomstige gebouwen in de gebiedsontwikkeling en het beoogde Zeer Lage Temperatuur Warmte- en Koudenet.

Beleidsregels voor verlening van de omgevingsvergunning beperkte milieutoets voor GBES

Op grond van artikel 2.2a, zesde lid, Bor is er een omgevingsvergunning beperkte milieutoets als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder i, Wabo vereist voor gesloten bodemenergiesystemen met een bodemzijdig vermogen van 70 kW of meer. Als er op grond van artikel 2.2b Bor een interferentiegebied is aangewezen, is de omgevingsvergunning beperkte milieutoets ook vereist voor gesloten bodemenergiesystemen met een bodemzijdig vermogen van minder 70 kW in dat interferentiegebied. De gemeenteraad van Eindhoven zal een interferentiegebied aanwijzen op grond van artikel 2.2b, eerste lid, Bor. Vanaf dat moment is er binnen dit gebied voor elk gesloten bodemenergiesysteem een omgevingsvergunning beperkte milieutoets vereist.

Het college van B&W is het bevoegd gezag voor het verlenen van de omgevingsvergunning beperkte milieutoets. Een aanvraag daarvoor wordt beoordeeld aan de hand van artikel 2.17 Wabo in juncto artikel 5.13b, negende lid, Bor. Uit het samenstel van deze bepalingen volgt dat de omgevingsvergunning beperkte milieutoets slechts in twee gevallen geweigerd moet worden. Als deze weigeringsgronden zich niet voordoen, dan kan de omgevingsvergunning beperkte milieutoets niet worden geweigerd (limitatief-imperatief stelsel). Er kunnen op grond van artikel 5.13a Bor geen voorschriften worden verbonden aan de vergunning. De weigeringsgronden zijn als volgt:

- *Het bodemenergiesysteem kan zodanige interferentie veroorzaken met een ander open of gesloten bodemenergiesysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad; of,*
- *Er is anderszins sprake van ondoelmatig gebruik van bodemenergie.*

Het college van B&W heeft beoordelingsruimte om in beleidsregels nader in te vullen wanneer er sprake is van het doelmatig functioneren van bodemenergiesystemen en wanneer er sprake is van ondoelmatig gebruik van bodemenergie. Het is niet mogelijk om aanvullende weigeringsgronden op te nemen in beleidsregels.

Dit Masterplan is opgesteld om de ondergrondse potentie van bodemenergie zo optimaal mogelijk te benutten om te kunnen voldoen aan de vraag. Dit kan worden gedaan door met name OBES toe te passen. In hoofdstuk 3 is daarom aan de hand van een aantal stappen beoordeeld hoe dit gedaan kan worden in het centrumgebied. Bij stap 3 (§ 3.2) is overwogen dat de ondergrondse potentie van bodemenergie onder normale/generieke plaatsingsregels veelal niet volledig wordt benut. Om de beschikbare ruimte in de ondergrond van het centrumgebied maximaal te benutten voor de duurzame energievoorziening is het daarom van belang de locaties van bronnen te verdichten en op elkaar af te stemmen. Verdichten van bronnen kan echter leiden tot negatieve interacties tussen bronnen van verschillende temperatuur (interferentie). In het kader van stap 4 en 5 (§ 3.3) is in beeld gebracht onder welke plaatsingsregels het aantal bodemenergiebronnen op verantwoorde wijze kan worden verdicht, dus zonder dat dit tot significante afname van de energieprestaties van individuele systemen leidt. In stap 6 (§3.4) is toegelicht dat er door het toepassen van optimalisaties tot een definitief aantal toe te passen OBES kan worden gekomen, dit aantal is hiervoor opgenomen in tabel 5.

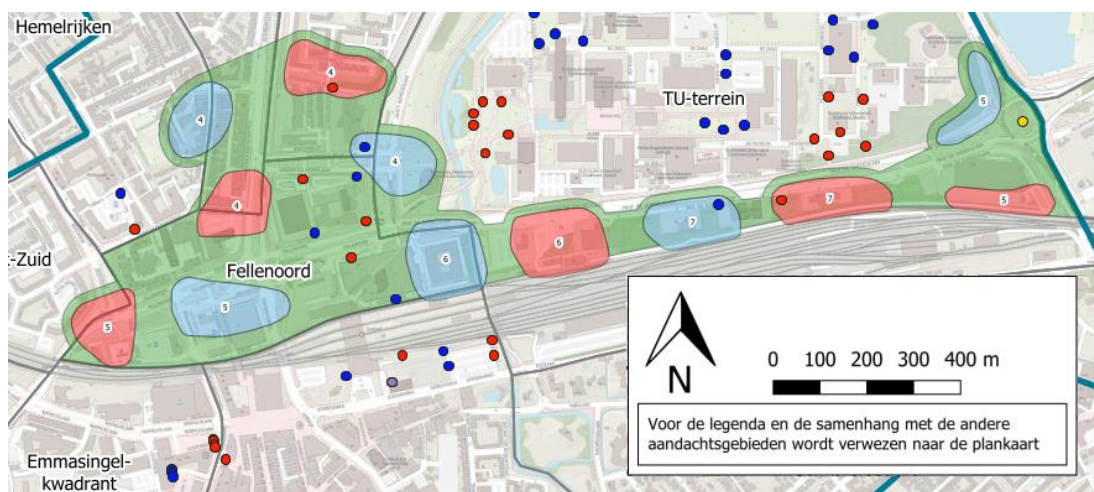
Op basis van de voornoemde optimalisaties zijn per deelgebied in het centrumgebied plaatsings- en ordeningsregels opgesteld voor bodemenergiesystemen. Met deze plaatsings- en ordeningsregels wordt het ontstaan van interferentie, die het doelmatig functioneren van – met name OBES – kan schaden, voorkomen. Om ervoor te zorgen dat de bodemenergie in het

centrumgebied zo doelmatig mogelijk kan worden ingezet door het gebruik van OBES, is er in een aantal deelgebieden geen ruimte voor gesloten bodemenergiesystemen. Deze zouden het doelmatig functioneren van de aanwezige OBES schaden en zorgen voor ondoelmatig gebruik van bodemenergie in het centrumgebied.

De plaatsings- en ordeningsregels die navolgend in § 4.1 t/m 4.5 zijn opgenomen gelden voor het desbetreffende gebied als beleidsregels als bedoeld in artikel 4:81 Awb over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor bij de verlening van een omgevingsvergunning beperkte milieutoets voor gesloten bodemenergiesystemen. De regels die relevant zijn voor gesloten bodemenergiesystemen worden in dit hoofdstuk aangeduid door toevoeging van de volgende afkorting: **(GBES)**.

4.1 Fellenoord

In het gebied Fellenoord (zie figuur 3) is op de lange termijn de geprognostiseerde vraag naar verwarming en koeling voor de gebouwen groter dan het aanbod uit de bodem. Om toch zoveel mogelijk gebouwen van bodemenergie (maximaal 31 doubletten) te kunnen voorzien, zijn de navolgende ordeningsregels van toepassing.



Figuur 3: situering Fellenoord met zoekgebieden

Algemeen

1. Alleen open bodemenergiesystemen in de vorm van clusters van doubletten zijn toegestaan, dus geen monobronnen, recirculatiesystemen of gesloten bodemenergiesystemen - **(GBES)**;
2. Als regel geldt: aanleg op basis van collectiviteit. Collectiviteit betekent dat een vergunningaanvraag gebaseerd moet zijn op een laag temperatuur bron-net geschikt voor individuele of collectieve bodemenergiesystemen, waarbij één doublet - of zoveel doubletten als er nodig zijn - op meerdere gebouwontwikkelingen (vastgoedprojecten) worden aangesloten via een collectief laag temperatuur bron-net. Hiervan kan worden afgeweken indien wordt aangetoond dat de individuele aanvraag geen andere (toekomstige) (collectieve) OBES in de weg staat of indien deze later onderdeel kan worden van een collectief systeem. Initiatiefnemers dienen in een vroeg stadium contact op te nemen met de gemeente Eindhoven om de inpassing van het beoogde OBES af te stemmen.

Positionering

3. Alleen bronnen met de maximaal mogelijke effectieve filterlengte, een minimale brondiameter van 800 mm en tot een diepte van maximaal 80 m-mv zijn toegestaan;

4. Bronnen worden geplaatst binnen de grenzen van de voor Fellenoord vastgestelde/ beschikbare zoekgebieden, corresponderend met het type bron (warm/koud).
N.B. enkele clusters liggen fysiek niet in het deelgebied Fellenoord, maar behoren wel tot de zoekgebieden van Fellenoord
5. Bronnen worden in principe niet in de openbare ruimte geboord, tenzij aan de coördinator bodemenergie van de gemeente Eindhoven wordt aangetoond dat het niet anders kan. In dat geval dient in een vroeg stadium bij de gemeente Eindhoven als grondeigenaar toestemming te worden verkregen om bronlocaties en leidingtracés aan te mogen leggen.
6. De locaties van de clusters zijn op de plankaart aangegeven.
7. Een warme en een koude bron op de grens van een cluster, moeten een bepaalde minimale afstand tot elkaar respecteren. Deze afstand is minimaal 2 x de thermische straal (≈ 90 m) maar kan groter zijn, afhankelijk van het beoogde aantal bronnen in betreffende clusters, zie tabel 6. De middelpunten van de clusters moeten minimaal de aangegeven afstanden in tabel 6 tot elkaar respecteren

Tabel 6: Afstanden tussen de middelpunten van clusters met meerdere bronnen (ook van toepassing tussen clusters van een ander gebied)

aantal bronnen clusters	1	2	3	4	5	6	7
2 x thermische straal (Rth) in meter	80 - 90	120 - 130	150 - 160	175 - 185	195 - 205	215 - 225	230-240

Voorbeeld berekeningen:

- a. Warme bron (hierna: W-bron) en koude bron (hierna: K-bron) in westelijke cluster met 4 bronnen: K-bron aan zuidrand en W-bron aan noordrand van betreffende cluster: er worden 4 bronnen geclusterd, dus de onderlinge afstand tussen het middelpunt van de clusters moet ca. 175 m zijn.
- b. en W-bron aan de zuidkant van westelijke cluster met 4 bronnen t.o.v. een K-bron aan de noordkant van K-cluster met 5 bronnen: bij de één zijn er 4 bronnen geclusterd en bij de andere 6. Dus onderlinge afstand tussen het middelpunt van de clusters is ca. $(175 + 215)/2 = 195$ m

8. Binnen een cluster dienen warme, en dus ook koude, bronnen onderling 20 à 30 m uit elkaar te liggen. Niet minder in verband met ongewenste hydrologische effecten. Bronnen worden zodanig geplaatst dat deze óf goed op elkaar aansluiten (dus 20 à 30 m uit elkaar) óf dat er voldoende ruimte is om later nog een bron tussen te kunnen plaatsen.

Dimensionering systeem

9. Elk doublet is geschikt om een capaciteit van minimaal 150 m³/uur te injecteren en onttrekken. Eventuele overcapaciteit wordt gemeld aan de coördinator bodemenergie en beschikbaar gesteld aan andere initiatiefnemers.
10. Een doublet moet voorbereid zijn om naderhand aan te kunnen sluiten op een bron-net (clustering);
11. In het ontwerp van nieuwe doubletten dient om droogvallen van de onderwaterpompen te voorkomen, rekening gehouden te worden met een extra stijghoogteverlaging van 2 meter in de bron ten gevolge van de hydrologische invloed van andere doubletten.
12. Het uitleggen van alle doubletten binnen een buurt op dezelfde ontwerptemperaturen is een belangrijke randvoorwaarde om de bronnen in de toekomst relatief eenvoudig op een collectief bron-net aan te sluiten. De gemiddelde infiltratietemperatuur (of ontwerptemperatuur) dient derhalve bij koudelevering 16 °C te bedragen, en bij warmtelevering 7 °C.
13. Om te voorkomen dat de cumulatieve effecten op de grondwaterstanden te groot worden, wordt een maximum debiet van 150 m³/uur voorgeschreven. Dit geldt met name voor het gebied ten zuiden van de spoorzone rondom het Station Eindhoven Centraal. Mocht uit de effectberekeningen die bij een vergunningaanvraag worden ingediend blijken dat er toch wateroverlast ontstaat dan dienen er extra beheersmaatregelen genomen te worden in de vorm van bijvoorbeeld "spanningsbemalingen".

GGB

14. VOCl-verontreinigingen in het grondwater vallen onder het GGB-beleid en mogen de (doel)gebiedsgrens in horizontale en verticale richting niet overschrijden. Daarom dienen alle aanvragen voor OBES vooraf getoetst te worden door de coördinator bodemenergie.
15. Overige verontreinigingen (o.a. minerale olie, aromaten en zware metalen) mogen zich niet verder verspreiden en vallen buiten het GGB-beleid.

Energie

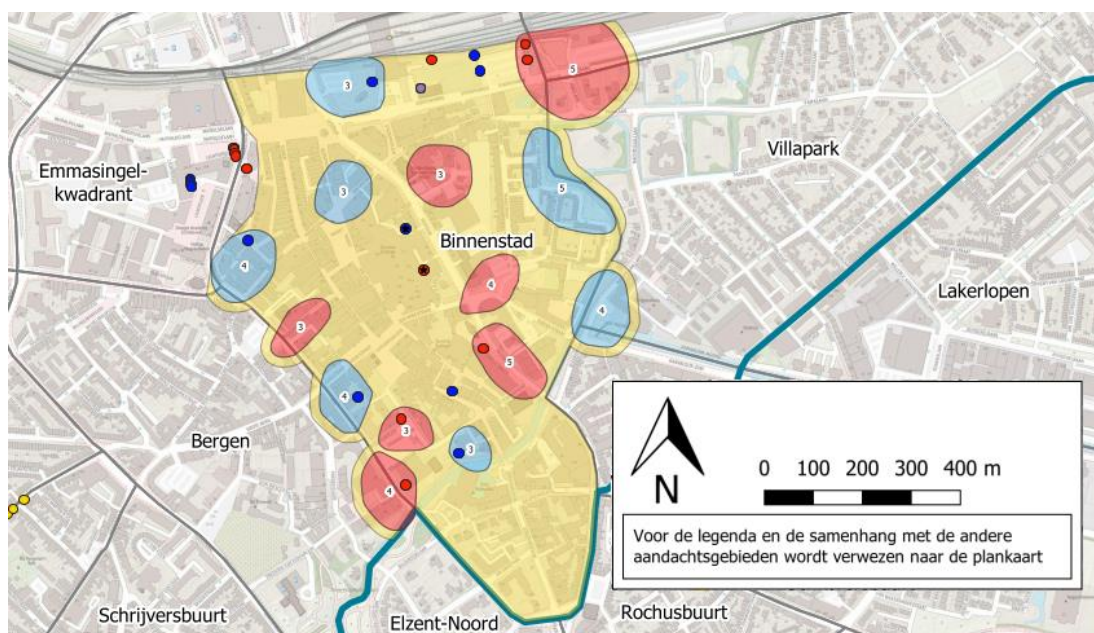
16. Elk OBES dient thermisch in balans te zijn. De provincie Noord-Brabant verwoordt deze balanssituatie in de beschikking van de vergunning Waterwet.

Grondwaterstanden

17. Nieuwe aanvragen van vergunningen in het kader van de Waterwet in dit deelgebied worden door de gemeente Eindhoven getoetst op het significant wijzigen van grondwaterstanden. In geval daardoor extra wateroverlast ontstaat, zal de gemeente Eindhoven daarvoor aanvullende beheersmaatregelen formuleren.

4.2 De Binnenstad

In het gebied van de Binnenstad (zie figuur 4) is de geprognostiseerde vraag naar verwarming en koeling voor de gebouwen op de lange termijn groter dan het aanbod uit de bodem. Om toch zoveel mogelijk gebouwen van bodemenergie (maximaal 29 doubletten) te kunnen voorzien, zijn de navolgende ordeningsregels van toepassing.



Figuur 4: situering Binnenstad met zoekgebieden

Algemeen

1. Alleen open bodemenergiesystemen in de vorm doubletten zijn toegestaan, dus geen monobronnen, recirculatiesystemen of gesloten bodemenergiesystemen – (GBES).
2. Alleen bronnen met maximale effectieve filterlengte, een minimale brondiameter van 800 mm en een maximale capaciteit van 150 m³/uur en tot een diepte van maximaal 80 m-mv zijn toegestaan.

3. Bronnen worden geplaatst binnen de grenzen van de voor de Binnenstad vastgestelde/ beschikbare zoekgebieden, corresponderend met het type bron (warm/koud).
N.B. enkele clusters liggen fysiek niet in het deelgebied Binnenstad, maar behoren wel tot de zoekgebieden van de Binnenstad. Daarnaast valt een stukje aan de westzijde (nabij Emmasingel) in verband met de bodemsanering nabij het Emmasingelkwadrant (Witte Dame) onder de gebieden "Vooralsnog geen bodemenergie" (zie § 4.4).
4. Zoeken naar bronlocaties is maatwerk in verband met beperkte (openbare) ruimte. Bronnen worden in principe niet in de openbare ruimte geboord, tenzij aan de coördinator bodemenergie van de gemeente Eindhoven wordt aangetoond dat het niet anders kan. In dat geval dient in een vroeg stadium bij de gemeente Eindhoven als grondeigenaar toestemming te worden verkregen om bronlocaties en leidingtracés aan te mogen leggen.
5. De locaties van de clusters zijn op de plankaart aangegeven. De ligging is globaal geduid. In voorkomende gevallen kan hiervan in overleg met de coördinator bodemenergie worden afgeweken. Voorwaarden hierbij zijn dat er dezelfde hoeveelheid warmte en koude uit de bodem gehaald kan worden binnen het plangebied en dat de verontreinigingen de GGB-grens niet overschrijden.
6. Een warme en een koude bron op de grens van een cluster, moeten een bepaalde minimale afstand tot elkaar respecteren. Deze afstand is minimaal 2 x de thermische straal ($\approx 90\text{m}$) maar kan groter zijn, afhankelijk van het beoogde aantal bronnen in betreffende clusters, zie tabel 6. De middelpunten van de clusters moeten minimaal de aangegeven afstanden in tabel 6 tot elkaar respecteren.
N.B. De warme en koude bron van de Heuvelgalerie werken op een ander temperatuurniveau dan alle andere bodemenergiesystemen. De bronnen die worden geplaatst in de clusters nabij de bronnen van Heuvelgalerie moeten tenminste 150 meter afstand tot de bronnen van de Heuvelgalerie respecteren. Een kleinere afstand is toegestaan indien met een effectenstudie is aangetoond dat de Heuvelgalerie daar geen nadelige effecten van ondervindt.
7. Binnen een cluster dienen warme, en dus ook koude, bronnen onderling 20 à 30 m uit elkaar te liggen. Niet minder in verband met ongewenste hydrologische effecten. Bronnen worden zodanig geplaatst dat deze óf goed op elkaar aansluiten (dus 20 à 30 m uit elkaar) óf dat er voldoende ruimte is om er later nog een bron tussen te kunnen plaatsen.

Dimensionering systeem

8. Elk doublet is geschikt om de maximale capaciteit van 150 m³/uur te verwerken. Eventuele overcapaciteit wordt gemeld aan de coördinator bodemenergie en beschikbaar gesteld aan andere initiatiefnemers.
9. Een doublet moet voorbereid zijn om naderhand aan te kunnen sluiten op een bron-net;
10. In het ontwerp van nieuwe doubletten dient om droogvallen van de onderwaterpompen te voorkomen, rekening gehouden te worden met een extra stijghoogteverlaging van 2 meter in de bron ten gevolge van de hydrologische invloed van andere doubletten.
11. Het uitleggen van alle doubletten binnen een buurt op dezelfde ontwerptemperaturen is een belangrijke randvoorwaarde om de bronnen in de toekomst relatief eenvoudig op een collectief bron-net aan te sluiten. De gemiddelde infiltratietemperatuur (of ontwerptemperatuur) dient derhalve bij koudelevering 16 °C te bedragen, en bij warmtelevering 7 °C.
12. Om te voorkomen dat de cumulatieve effecten op de grondwaterstanden te groot worden, wordt een maximum debiet van 150 m³/uur voorgeschreven. Dit geldt met name voor het gebied ten zuiden van de spoorzone rondom het Station Eindhoven Centraal. Mocht uit de effectberekeningen die bij een vergunningaanvraag worden ingediend blijken dat er toch wateroverlast ontstaat dan dienen er extra beheersmaatregelen genomen te worden in de vorm van bijvoorbeeld "spanningsbemalingen".

GGB

13. VOCl-verontreinigingen in het grondwater vallen onder het GGB-beleid en mogen de (doel)gebiedsgrens in horizontale en verticale richting niet overschrijden. Daarom dienen alle aanvragen voor OBES vooraf getoetst te worden door de coördinator bodemenergie.
14. Overige verontreinigingen (o.a. minerale olie, aromaten en zware metalen) mogen zich niet verder verspreiden en vallen buiten het GGB-beleid.

Energie

15. Elk OBES dient thermisch in balans te zijn. De provincie Noord-Brabant verwoordt deze balanssituatie in de beschikking van de vergunning Waterwet.

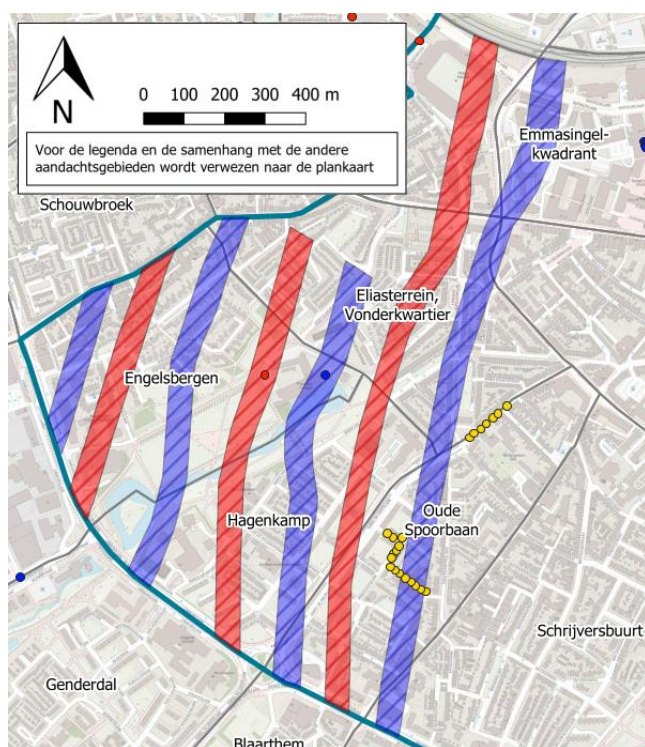
Grondwaterstanden

16. Nieuwe aanvragen van vergunningen in het kader van de Waterwet in dit deelgebied worden door de gemeente Eindhoven getoetst op het significant wijzigen van grondwaterstanden. In geval daardoor extra wateroverlast ontstaat zal de gemeente Eindhoven daarvoor aanvullende beheersmaatregelen formuleren.

4.3 Westzijde plangebied

In het gebied Westzijde (zie figuur 5) is op de lange termijn de geprognostiseerde vraag naar verwarming en koeling voor de gebouwen lager dan het aanbod uit de bodem. De navolgende ordeningsregels zijn van toepassing.

Binnen dit gebied dient vooral te worden voorkomen dat een OBES de grondwater-verontreiniging tot over de (westelijke) projectgrens verspreidt.



Figuur 5: situering westzijde plangebied met stroken

Algemeen

1. Alleen open bodemenergiesystemen in de vorm van doubletten in de stroken zijn toegestaan, dus geen clusters van doubletten en geen monobronnen, recirculatiesystemen of gesloten bodemenergiesystemen – (GBES).

Positionering

2. Bronnen worden geplaatst binnen de grenzen van de vastgestelde beschikbare zoekgebieden/stroken, corresponderend met het type (warm/koud).
3. Bronnen worden in principe niet in de openbare ruimte geboord, tenzij aan de coördinator bodemenergie van de gemeente Eindhoven wordt aangetoond dat het niet anders kan. In dat geval dient in een vroeg stadium bij de gemeente Eindhoven als grondeigenaar toestemming te worden verkregen om bronlocaties en leidingtracés aan te mogen leggen.
4. Een warme en een koude bron dienen minimaal 100 meter uit elkaar te liggen.
5. Binnen één strook dienen bronnen circa 50 m uit elkaar te liggen.

GGB

6. VOCl-verontreinigingen in het grondwater vallen onder het GGB-beleid en mogen de (doel)gebiedsgrens in horizontale en verticale richting niet overschrijden. Daarom dienen alle aanvragen voor OBES vooraf getoetst te worden door de coördinator bodemenergie.
7. Overige verontreinigingen (o.a. minerale olie, aromaten en zware metalen) mogen zich niet verder verspreiden en vallen buiten het GGB-beleid.
8. Warme bronnen in de warme stroken (zie figuur 5) mogen alleen gekoppeld worden aan de direct oostelijk gelegen koude bronnen in de koude stroken.

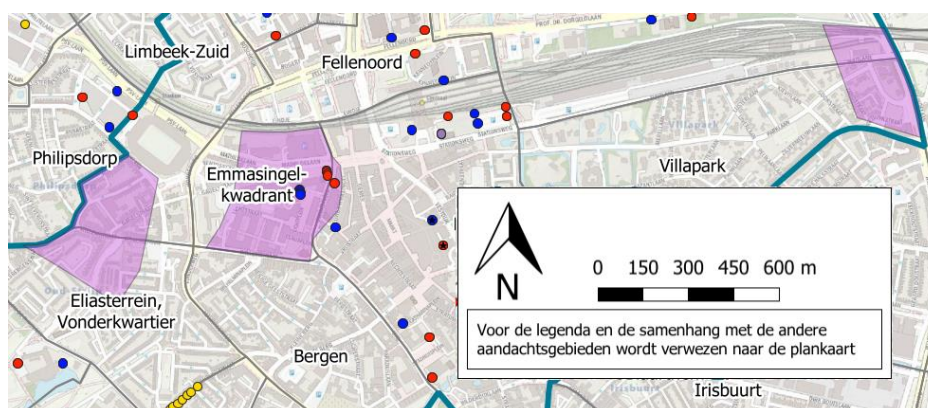
Energie

9. Elk OBES dient thermisch in balans te zijn. De provincie Noord-Brabant verwoordt deze balanssituatie in de beschikking van de vergunning Waterwet.

4.4 Vooralnog geen bodemenergie

Binnen of nabij drie specifieke gebiedsdelen worden tussen 2021 en 2031 nog bodemsaneringen uitgevoerd en afgerond. Het betreft hier de bodemsaneringen Strijpsestraat en Tapuitstraat respectievelijk net buiten en binnen de projectgrens van het Masterplan en de gebiedsgrens van het GGB én de Witte Dame aan de Emmasingel. Omdat nieuwe OBES in de nabijheid de saneringen kunnen verstoren en mogelijk leiden tot ontoelaatbare verspreiding, is plaatsing van nieuwe bronnen in deze gebieden vooralnog niet toegestaan.

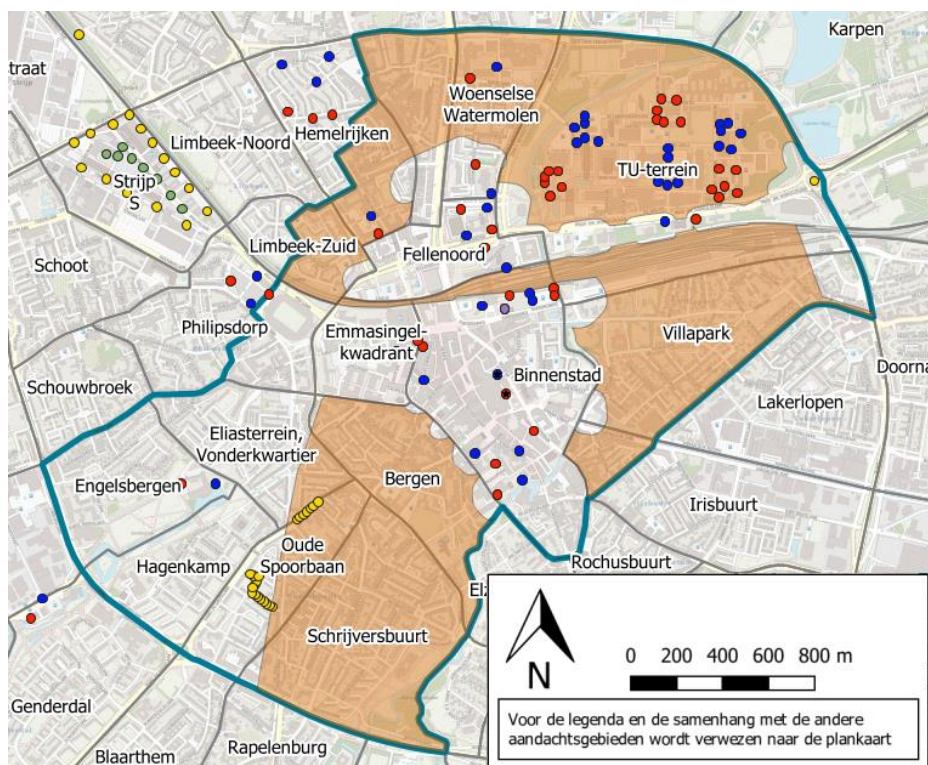
Ook monobronnen, recirculatiesystemen of gesloten bodemenergiesystemen zijn niet toegestaan – (GBES).



Figuur 6: situering Vooralnog geen bodemenergie

4.5 Overige gebieden

Binnen de overige deelgebieden zal de vraag naar bodemenergie kleiner zijn dan het aanbod uit de bodem.



Figuur 7: situering Overige gebieden

Er zijn binnen deze deelgebieden geen voorgeschreven zoekgebieden van toepassing. Wel gelden de navolgende ordeningsregels – (GBES).

Open bodemenergiesystemen

1. Open bodemenergiesystemen in de vorm van doubletten, monobronnen en recirculatiesystemen zijn toegestaan;
2. Bronnen worden geplaatst binnen de grenzen van het deelgebied;
3. Bronnen worden in principe niet in de openbare ruimte geboord, tenzij aan de coördinator bodemenergie van de gemeente Eindhoven wordt aangetoond dat het niet anders kan. In dat geval dient in een vroeg stadium bij de gemeente Eindhoven als grondeigenaar toestemming te worden verkregen om bronlocaties en leidingtracés aan te mogen leggen.
4. In geval van een doublet dienen een warme en een koude bron minimaal 3 x de thermische straal uit elkaar te liggen;
5. Bronnen mogen niet dieper worden geboord dan 80 m-mv.

Gesloten bodemenergiesystemen

De toepassing van gesloten bodemenergiesystemen is vergunningplichtig. Als aan de voorwaarden (6 t/m 10) wordt voldaan, is er sprake van doelmatig gebruik van bodemenergie als voldaan in artikel 5.13b, negende lid, Bor en kan het GBES worden toegestaan – (GBES):

6. Er mogen alleen verticale GBES worden toegepast (geen horizontale, korven of andere vormen) en wel op eigen kavel;
7. Systemen mogen niet dieper dan 80 m-mv worden geplaatst en zijn uitsluitend gevuld met schoon leidingwater;
8. Per meter GBES wordt minimaal 50 kWh aan warmte onttrokken;
9. Het GBES moet jaarlijks in thermische balans zijn;

10. Voor aanvang van de realisatie moet een effectenstudie worden opgesteld. Middels modelberekeningen moet bij de coördinator bodemenergie aangetoond worden dat de toepassing van toekomstige bodemenergiesystemen niet negatief wordt beïnvloed.

GGB

11. VOCl-verontreinigingen in het grondwater vallen onder het GGB-beleid en mogen de (doel)gebiedsgrens in horizontale en verticale richting niet overschrijden. Daarom dienen alle aanvragen voor OBES of GBES vooraf getoetst te worden door de coördinator bodemenergie.
12. Overige verontreinigingen (o.a. minerale olie, aromaten en zware metalen) mogen zich niet verder verspreiden en vallen buiten het GGB-beleid.

5 Verankering en vergunningverlening

5.1 Algemeen

Bij het toepassen van bodemenergie in Nederland wordt onderscheid gemaakt tussen open en gesloten bodemenergiesystemen. Binnen het plangebied van dit Masterplan Bodemenergie Centrumgebied Eindhoven kunnen beide systemen worden toegepast.

De wet- en regelgeving aangaande de toepassing van bodemenergiesystemen is divers. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de juridische verankering van het Masterplan enerzijds en een aantal bepalende vergunningsaspecten anderzijds. Het betreft hier de hoofdlijnen, waarbij het accent ligt op het perspectief van de (toekomstige) initiatiefnemer.

Aanvullende informatie is te vinden op de site van [Rijkswaterstaat Bodem+](#), de [Rijksdienst voor Ondernemend Nederland](#) en het [SIKB](#).

5.2 Verankering van het Masterplan

5.2.1 Interferentiegebied

De gemeenteraad zal het plangebied van het Masterplan in een plaatselijke verordening aanwijzen als Interferentiegebied zoals bepaald in artikel 2.2b, eerste lid, Bor. Hierdoor is voor alle GBES op grond van artikel 2.21, zesde lid, Bor een omgevingsvergunning beperkte milieutoets vereist. Het college van B&W zal hoofdstuk 4 van het Masterplan vaststellen als beleidsregel als bedoeld in artikel 4:81 Awb voor de verlening van deze vergunning.

Het college van GS van de provincie Noord-Brabant is het bevoegd gezag voor vergunningen op grond van de Waterwet. Na de beoogde vaststelling van het Masterplan door de gemeente Eindhoven zal een vergunning voor de onttrekking van grondwater ten behoeve van een bodemenergiesysteem op grond van artikel 4, aanhef en onder i van de "Beleidsregel Grondwaterbeheer Noord-Brabant d.d. 9 april 2020" worden getoetst aan de gebruiks- en ordeningsregels in het Masterplan.

De ODZOB en het college van B&W toetsen vergunningaanvragen voor bodemenergie dan aan de plankaart en de ordeningsregels.

5.2.2 Relatie met het GGB

Het Masterplan heeft een sterke (juridische) verbinding met het GGB. Het GGB beschrijft de kaders waarbinnen geïdentificeerde diepe grondwaterverontreinigingen met vluchtige chloorkoolwaterstoffen mogen verspreiden en 'vergrijzen' binnen vastgestelde ruimtelijke grenzen. De gemeente Eindhoven is voornemens om het GGB-plan te laten vaststellen door de gemeenteraad. Daarmee komt synchronisatie tot stand in het toetsen van aanvragen voor OBES en GBES waar het gaat om hun eventuele effect op de verspreiding van grondwaterverontreinigingen, i.e. datgene waar het GGB-plan op toeziet.

5.2.3 Omgevingswet

Het Masterplan is niet los te zien van de komst van de Omgevingswet. In die wet worden vele sectorale wetten en regels gebundeld en geïntegreerd. De komst van de Omgevingswet is

thans voorzien voor medio 2022. Navolgende paragrafen zijn beschreven vanuit de huidige situatie en praktijk (medio 2021). Na de inwerkingtreding van de Omgevingswet zal dit Masterplan worden overgenomen in het Omgevingsplan.

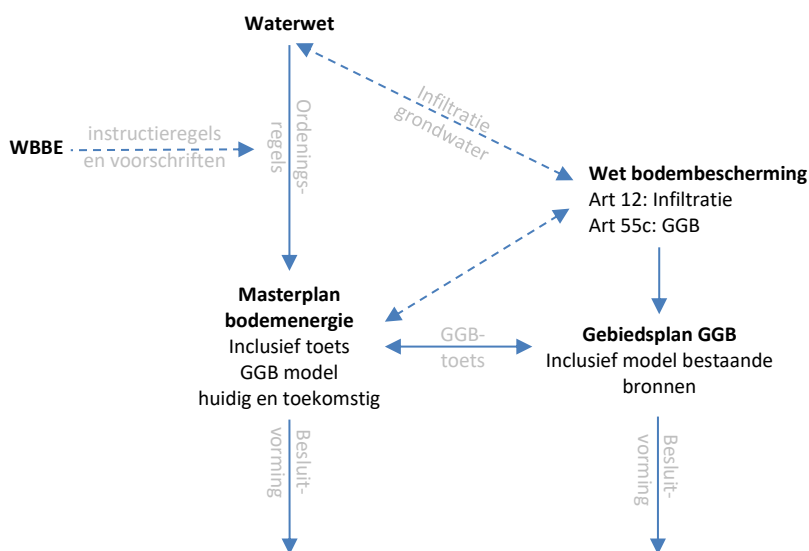
5.3 Vergunningverlening

5.3.1 Algemeen en samenhang wetgeving & Masterplan

Per 1 juli 2013 gelden er op grond van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (WBBE)² regels voor zowel open als gesloten bodemenergiesystemen. Deze regels zijn opgenomen in verschillende besluiten, zoals het Activiteitenbesluit milieubeheer, het Besluit bodemkwaliteit, het Besluit hernieuwbare energie, het Besluit lozen buiten inrichtingen, het Besluit lozing afvalwater huishoudens, het Besluit omgevingsrecht en het Waterbesluit. Aan het WBBE liggen twee sturingsmotieven ten grondslag: het doelmatig gebruik van bodemenergie en bescherming van de bodem. Voorliggend Masterplan geeft hier mede invulling aan.

Voor de open systemen is het college van GS van de provincie het bevoegd gezag en voor de gesloten systemen het college van B&W van de gemeente. In de praktijk ligt de uitvoering van beide bevoegdheden veelal bij de regionale Omgevingsdienst, i.c. de ODZOB. Afstemming tussen de verschillende bestuursorganen is cruciaal om inconsistenties te voorkomen.

Initiatieven voor de realisatie van OBES en GBES worden in juridisch-procedurele zin geborgd in vergunningprocedures, waarbij via instructieregels (indien mogelijk) voorschriften aan de vergunning worden verbonden. Vanuit het perspectief van initiatiefnemers is het verkrijgen van een vergunning Waterwet leidend. De samenhang tussen de Waterwet(vergunning), de Wet bodembescherming, het WBBE, het GGB en het Masterplan is in figuur 8 schematisch gevisualiseerd.



Figuur 8: samenhang wetgeving en Masterplan

² Stb. 2013, 112.

5.3.2 Open bodemenergiesystemen

Voor OBES dient een vergunning te worden aangevraagd bij het college van GS van de provincie Noord-Brabant in het kader van de Waterwet. Een Waterwetververgunning kan aan de hand van een m.e.r. beoordelingsnotitie en een effectenstudie inclusief GGB toetsing worden aangevraagd via het online Omgevingsloket. Voor de proceduretermijn wordt door de ODZOB de reguliere procedure doorlopen.

5.3.3 Gesloten bodemenergiesystemen

Binnen een aantal deelgebieden (zie hoofdstuk 4) zijn GBES toegestaan. De voorgenomen aanwijzing van het centrumgebied als interferentiegebied betekent dat een OBM (Omgevingsvergunning Beperkte Milieutoets) bij het college van B&W van de gemeente Eindhoven dient te worden aangevraagd. De OBM is een eenvoudige vergunning zonder voorschriften op grond van de Wabo, die met de reguliere procedure wordt voorbereid. Deze vergunning kan worden verleend op grond van artikel 2.17 Wabo jo. artikel 5.13b, negende lid, Bor. Voor GBES geldt een ja/nee-toets.. De omgevingsvergunning beperkte milieutoets wordt geweigerd als het GBES zodanige interferentie kan veroorzaken met een ander bodemsysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad, dan wel anderszins sprake is van een ondoelmatig gebruik van bodemenergie. Hoofdstuk 4 van dit Masterplan bevat beleidsregels over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor. Het college van B&W heeft deze bevoegdheid gemandateerd aan de ODZOB.

5.4 Overige vergunningsaspecten en procedures

5.4.1 Verontreinigingen buiten GGB-scope

Voor de “overige verontreinigingen”, dat wil zeggen de verontreinigingen die niet onder het beheer van het GGB vallen, geldt het reguliere spoor van de Wet bodembescherming. Dit betekent dat deze verontreinigingen zich niet mogen verspreiden als gevolg van de huidige en toekomstige OBES. Aangezien deze verontreinigingen binnen het projectgebied zich ondieper en niet binnen de invloedssfeer van de OBES in het eerste watervoerende pakket bevinden, is er primair geen verspreiding c.q. beïnvloeding van deze verontreinigingen. Desondanks dient nadere beschouwing altijd in de effectenstudie behorende bij de vergunningaanvraag in kader van de Waterwet te worden meegenomen.

5.4.2 Toestemming aanleg in gemeentegrond

Gezien de drukte in de ondergrond onder de openbare ruimte hanteert de gemeente Eindhoven het principe dat bronnen en leidingen op eigen terrein of kavel dienen te worden aangelegd. Indien dit niet mogelijk is, dient in een vroeg stadium contact op te worden genomen met de coördinator bodemenergie. Bij nieuwbouw dient hierbij het ondergrondse ontwerp onderdeel uit te maken van het totale ontwerp. Hierbij is het van belang dat het ondergrondse ruimtebeslag tot een minimum beperkt wordt. Aan de hand van tekeningen van de initiatienemer zullen meerdere overleggen noodzakelijk zijn met de gemeente Eindhoven (zie ook § 5.4.6). Het doel is het verkrijgen van toestemming voor het aanleggen van bronnen en leidingen.

In een later stadium dient de toestemming door de aannemer verder geconcretiseerd te worden middels detailtekeningen en de aanvraag van een aanlegvergunning (middels WIOR) en mogelijk een opstalrecht.

5.4.3 Aanleg in verontreinigde bodem

Voor de plaatsing van bronnen en leidingen in een bestaand geval van ernstige bodemverontreiniging dienen (sanering)maatregelen te worden genomen. Indien het gaat om VOCl-verontreinigingen die opgenomen zijn in het GGB, vallen de maatregelen onder het regime van het GGB. Hiervoor dienen afspraken gemaakt te worden met de coördinator bodemenergie. Alle overige verontreinigingen vallen onder het normale regime van de Wbb. Hieraan voorafgaand stelt de initiatiefnemer een saneringsplan op en vraagt hierop een beschikking aan bij de ODZOB. De gemeente Eindhoven heeft haar taken/ het bevoegd gezag in het kader van de Wbb gemandateerd aan de ODZOB.

5.4.4 Besluit lozen buiten inrichtingen (Blbi)

Bij de aanleg van een OBES ontstaat afvalwater. Dit afvalwater, veelal 5 tot 10 m³ per boorgat, moet worden geloosd. Omdat dit niet in een (gecontroleerde) inrichting gebeurt, valt deze activiteit onder de werking van het Blbi. In hoofdstuk 3a van het Blbi zijn algemene regels opgenomen ten aanzien van bodemenergiesystemen. Aanvullende informatie is te vinden via het Kenniscentrum InfoMil van Rijkswaterstaat/I&W.

5.4.5 Activiteitenbesluit milieubeheer

Specifiek voor zowel OBES als GBES zijn in het Activiteitenbesluit met bijbehorende Activiteitenregeling regels en voorschriften opgenomen. Met deze regels en voorschriften dienen initiatiefnemers rekening te houden. Dat wil zeggen, in die deelgebieden waar OBES en/of GBES zijn toegestaan.

Voor een OBES dient de aanvraag Waterwet via het OLO tevens te worden uitgebreid met het onderdeel milieu. Bij de GBES is dit op basis van eerder genoemde OBM geregeld en is vooralsnog geen aanvulling op de aanvraag noodzakelijk.

5.4.6 Vooroverleg met coördinator bodemenergie gemeente

De coördinator bodemenergie van de gemeente draagt zorg voor een optimale inzet van bodemenergiesystemen binnen het plangebied.

Een initiatiefnemer dient vooroverleg te voeren met de coördinator bodemenergie om één en ander optimaal en tijdig te ontwerpen en configureren. Hierbij wordt niet enkel gekeken naar de energiekant, maar wordt integraal afgewogen. Zo wordt er gekeken naar verontreinigings- en verspreidingsaspecten, plaatsing en locatie van bronnen, hydrologische aspecten, ruimte/drukke in de ondergrond, bereikbaarheid en onderhoud, etc.

5.4.7 Coördinatie en communicatie met instanties

Initiatieven voor de aanleg van OBES en GBES vragen om actieve afstemming met en tussen de diverse instanties en betrokkenen. De primaire verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de initiatiefnemer. De gemeente zal hierin actief-faciliterend handelen. In het vooroverleg (zie voorgaande paragraaf) worden deze communicatiemomenten bepaald en gesynchroniseerd. Het betreft (met name) contactmomenten met de gemeente en de ODZOB.

5.4.8 Vergunningaanvraag

Indien aan de hiervoor beschreven stappen en onderdelen aandacht is besteed, kan voor een OBES invulling worden gegeven aan de daadwerkelijke vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet. Zoals aangegeven is het essentieel dat de initiatiefnemer haar initiatief in een zo vroeg mogelijk stadium meldt bij de coördinator bodemenergie van de gemeente Eindhoven. Samen met de ODZOB kan de gemeente eventuele gelijktijdige initiatieven optimaal op elkaar afstemmen en synchroniseren.

Op basis van de Wet milieubeheer artikel 7.28 kan door de aanvrager een m.e.r. beoordelingsverzoek³ inclusief aanmeldnotitie gelijktijdig met de aanvraag van de vergunning Waterwet indienen bij het Omgevingsloket (OLO).

Het college van B&W is het bevoegd gezag voor het verlenen van een omgevingsvergunning beperkte milieutoets als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, onder i, Wabo jo. 2.2a, zesde lid, Bor voor GBES. In een interferentiegebied als bedoeld in artikel 2.2b, eerste lid, Bor is aangewezen is voor alle GBES, ongeacht het bodemzijdig vermogen, een omgevingsvergunning beperkte milieutoets vereist.

Het college van B&W verleent deze vergunning op grond van artikel 2.17 Wabo jo. artikel 5.13b, negende lid, Bor. De omgevingsvergunning beperkte milieutoets wordt alleen niet verleend als het GBES zodanige interferentie kan veroorzaken met een ander bodemsysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad, dan wel anderszins sprake is van een ondoelmatig gebruik van bodemenergie. Hoofdstuk 4 van dit Masterplan bevat beleidsregels over de toepassing van artikel 5.13b, negende lid, Bor.

³ Het betreft hier geen m.e.r. plicht. Deze is alleen van toepassing indien in gevallen waarin meer dan 10 miljoen m³ grondwater wordt verplaatst

Referenties

- Beernink, S., Hartog, N., Bloemendal, M., Meer, M.v.d., 2019. ATES systems performance in practice: analysis of operational data from ATES systems in the province of Utrecht, The Netherlands, European Geothermal Congress, The Hague, Netherlands
- Bloemendal, M., beernink, S., Valstar, J., Lugtenbelt, R., Brugge, R.v.d., 2020. Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen in: KWR (Ed.). KWR Water research, Nieuwegein
- Bloemendal, M., Hartog, N., 2018. Analysis of the impact of storage conditions on the thermal recovery efficiency of low-temperature ATES systems. *Geothermics* 17, 306-319
- Bloemendal, M., Jaxa-Rozen, M., Olsthoorn, T., 2018. Methods for planning of ATES systems. *Applied Energy* 216, 534-557
- Duijff, R., 2019. Interaction between multiple ATES systems. Delft University of Technology, Delft
- Willemsen, N., 2016. Rapportage bodemenergiesystemen in Nederland. RVO / IF technology, Arnhem
- Alvarez, P. J. J., & Illman, W. A. (Walter A. (2006). *Bioremediation and natural attenuation : process fundamentals and mathematical models*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience. John Wiley & Sons, Inc. Publication
- Bakr, M., Oostrom, N. Van, & Sommer, W. (2013). Efficiency of and interference among multiple Aquifer Thermal Energy Storage systems ; A Dutch case study. *Renewable Energy*, 60, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.004>
- Bloemendal, M., Olsthoorn, T., & Boons, F. (2014). How to achieve optimal and sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage. *Energy Policy*, 66, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.034>
- Bloemendal, J.M., 2018. The hidden side of cities; Technische Universiteit Delft.
- Bloemendal, M., & Hartog, N. (2018). Analysis of the impact of storage conditions on the thermal recovery efficiency of low-temperature ATES systems. *Geothermics*, 71, 306–319. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.10.009>
- Bloemendal, M. and T. Olsthoorn (2018). "The effect of a density gradient in groundwater on ATES system efficiency and subsurface space use." *Advances in Geosciences* 45: 85-103
- Bonte, M. (2013). Impacts of shallow geothermal energy on groundwater quality; Vrije Universiteit Amsterdam
- Bonte, M., Mesman, G., Kools, S., Meerkerk, M., Schriks, M., 2013. Effecten en risico's van gesloten bodemenergiesystemen. KWR Watercycle research institute, Nieuwegein.
- Bradley, P. M. (2000). Microbial degradation of chloroethenes in groundwater systems. *Hydrogeology Journal*, 8(1), 104–111. <https://doi.org/10.1007/s100400050011>
- DeltaFacts. (2020). Effects of open and closed soil energy systems on groundwater quality (pp. 1–19). pp. 1–19
- Dinkla, I., Lieten, S., Hartog, N., & Drijver, B. (2012). Meer met Bodemenergie -Rapport 3/4. Effecten op de ondergrond. Effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten
- Dinkla, I., Lieten, S., Vries, E. de, Hartog, N., & Hoekstra, N. (2012). Meet met Bodemenergie (MMB) – Rapport 9 Effect op Saneering. Effecten van bodemenergiesystemen bij inzet bodemsanering resultaat metingen op pilotlocaties en in labtesten. Retrieved from www.meermetbodemenergie.nl
- GBK, 2021, Oplevering fase 1 Masterplan Bodem Energie Eindhoven
- Gemeente Eindhoven, Warmtevisie 2020
- Gemeente Eindhoven, Transitievisie Warmte
- Gemeente Eindhoven, Energievisie centrumgebied Eindhoven
- Gemeente Eindhoven, 2021, Gebiedsplan Gebiedsgericht Grondwaterbeheer Eindhoven-Centrum, gemeente Eindhoven, kenmerk 20797.4197GBP/2.1, d.d. 5 mei 2021

- Geofoxx, 2020, Geohydrologische modelstudie Centrumgebied e.o. te Eindhoven (GGB), kenmerk 20190825_b1RAP.docx, d.d. 17 maart 2020
- Hartog, N. (2011). Anticipated temperature effects on biogeochemical reaction rates in seasonal Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems: an evaluation using the Arrhenius equation. 1e Nationaal Congres Bodemenergie - Utrecht, Nederland, 13 - 14 Oktober 2011, 5
- Henssen, M., & Hartog, N. (2012). Meet met Bodemenergie (MMB) – Rapport 11 - Gebiedsgericht Grondwaterbeheer. Inpassing van bodemenergie in gebiedsgrondwaterbeheer – kansen en aandachtspunten
- Hoekstra, N., Slenders, H., van de Mark, B., Smit, M., Bloemendal, M., Van de Ven, F., ... Simmons, N. (2018). Europe-wide Use of Sustainable Energy from Aquifers, Climate-KIC. D1e E - USE (aq) Technical performance & monitoring report Dutch pilot Utrecht. Retrieved from <https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/10/D1e-Dutch-pilot-Utrecht.pdf>
- Hofman-Caris, C. H. M., Harmsen, D. J. H., Hartog, N., Nicolaes, T., Janssen, L. J. J. M., Winters-Breur, E., & Keijzer, T. J. S. (2017). The potential of using UV photolysis in an aquifer thermal energy storage system to remediate groundwater contaminated with chloro ethenes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2921–2929 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.035>
- Koenders, M., 2012. Meer met Bodemenergie research program
- Lenselink, G., Van Schaik, M., Rob Heijer, R., Hartog, N., Roosjen, R., Hoekstra, N. De bodem als thermosfles. Bodem nr. 3, juni 2019
- Ni, Z., van Gaans, P., Smit, M., Rijnaarts, H., & Grotenhuis, T. (2016). Combination of aquifer thermal energy storage and enhanced bioremediation: resilience of reductive dechlorination to redox changes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(8), 3767–3780. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7241-6>
- Ni, Z., Van Gaans, P., Smit, M., Rijnaarts, H., & Grotenhuis, T. (2015). Biodegradation of cis-1,2-Dichloroethene in Simulated Underground Thermal Energy Storage Systems. *Environmental Science and Technology*, 49(22), 13519–13527. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03068>
- Oorstrom, N. van, & Bakr, M. (2012). Meer met Bodemenergie - Rapport 7 Interferentie. Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving - modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden
- Pankow, J. F., & Cherry, J. A. (1996). Dense Chlorinated Solvents and other DNAPLs in Groundwater: History, Behavior, and Remediation. Portland, Oregon: Waterloo Press
- Pellegrini, M., Bloemendal, M., Hoekstra, N., Spaak, G., Andreu Gallego, A., Rodriguez Comins, J., ... Steeman, H. J. (2019). Low carbon heating and cooling by combining various technologies with Aquifer Thermal Energy Storage. *Science of the Total Environment*, 665, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.135>
- Phernambucq, I. H. (2015). Contaminant spreading in areas with a high density of Seasonal Aquifer Thermal Energy Storage (SATES) systems. MSc Thesis. Utrecht: Utrecht University
- Schultz van Haegen, M.H., 2013. Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen, in: Environment, M.o.l.a. (Ed.). Staatscourant 23617, Den Haag
- Slenders, H. L. A., Dols, P., Verburg, R., & Vries, A. J. de. (2010). Sustainable Remediation Panel : Sustainable Synergies for the Subsurface : Combining Groundwater Energy With Remediation. *Remediation Journal*, 20(2), 143–153. <https://doi.org/10.1002/rem.20246>
- Schultz van Haegen, M. H. (2013). Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen. M. o. l. a. Environment. Den Haag, Staatscourant 23617
- Sommer, W., Drijver, B., Verburg, R., & Slenders, H. (2013). Combining shallow geothermal energy and groundwater remediation. *Researchgate.Net*, (June), 3–7. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/254864457_Combining_shallow_geothermal_energy_and_groundwater_remediation/file/3deec51ff824b965fb.pdf

- Sommer, W. T. (2015). Modelling and monitoring of Aquifer Thermal Energy Storage. In Wageningen University
- Spoor, A. (2015). Analysis of groundwater flow dynamics in a contaminated area and the influences of the ATES system of the High Tech Campus - MSc Thesis.
- Verburg, R., Slenders, H., Hoekstra, N., Nieuwkerk, E. van, Guijt, R., Mark, B. van der, & Mimpfen, J. (2010). Handleiding boeg Bodemenergie en grondwaterverontreiniging: Het ijs gebroken
- Zuurbier, K. G., Hartog, N., Valstar, J., Post, V. E. A., & Van Breukelen, B. M. (2013). The impact of low-temperature seasonal aquifer thermal energy storage (SATES) systems on chlorinated solvent contaminated groundwater: Modeling of spreading and degradation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 147, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2013.01.00>

Bijlage I: Optimalisatie gebruik van de ondergrond met OBES

Filterlengte – verticale verspreiding van warmte/koude

Voor het bepalen van het ontwerp voor de broncapaciteit is uitgegaan van een filterlengte van 35 m in het pakket van 60 m dik, i.v.m. de aanwezige kleilagen. De temperatuurverandering rondom de bron zal door onvolkomenheid van het bronfilter echter over grotere laagdikte verspreiden. Hoeveel de verticale verspreiding precies is, is op voorhand lastig te beoordelen omdat dat afhangt van de details van de bodemopbouw ter plaatse van de boring en op welke verticale afstand van kleilagen de filters worden geïnstalleerd. In deze analyse is de inschatting gehanteerd dat de verspreiding van warmte over 50m plaatsvindt, dus 15m meer dan dat het bronfilter lang is.

Filterlengte – conductieverliezen en afdrijving

Om optimaal gebruik te maken van de ruimte in de aquifer geldt voor drukke gebieden dat het altijd het beste is om de volledige aquifer dikte te gebruiken (Bloemendal et al., 2020; Bloemendal et al., 2018), ook voor kleine systemen. Dit beperkt de grootte van de thermische straal, en in veel gevallen beperkt het ook nog eens de warmteverliezen die optreden door conductie (Bloemendal and Hartog, 2018).

Bronlocatie – horizontale verspreiding van warmte/koude Standaard beleid is om bij OBES tegengestelde (koude en warme) bronnen op circa 3 maal de thermische straal van elkaar te positioneren (zie kader “Plaatsing op basis van de thermische straal”). In drukke gebieden wordt daar in de praktijk al vaak van afgeweken, door die afstand te verkleinen naar 2 maal de thermische straal. Hierbij is de thermische straal gebaseerd op het maximaal vergunde opslagvolume in de bronnen.

Onderzoek naar het effect van onderlinge interactie tussen tegengestelde OBES bronnen op de energieprestatie van een individueel OBES heeft aangetoond dat er bij het toepassen van 2 maal de thermische straal op basis van het werkelijke jaarlijks gemiddelde opslagvolume verwaarloosbare negatieve effecten optreden (Bloemendal et al., 2020). In de praktijk is werkelijk verpompt een factor 2 tot 1.5 kleiner dan het maximale opslag volume (Beernink et al., 2019; Willemsen, 2016).

Om zoveel mogelijk bodemenergiesystemen te kunnen accommoderen in de gebieden waar de vraag groter is dan het aanbod, worden de inzichten uit deze studie toegepast. Uitgangspunt⁴ is daarbij dat de maximale capaciteit van bodemenergiesystemen jaarlijks vrijwel volledig worden benut (vergund is gelijk aan verpompt). Voor bronnen van hetzelfde type geldt dat onderlinge interactie positief werkt en dat deze op maximaal 0.5 maal de thermische straal afstand moeten worden geplaatst.

Door de achtergrondstroming drijft een deel van de opgeslagen warme en koude grondwater weg van de bron. Hier is rekening mee gehouden voor het bepalen van de verliezen en interactie met eventuele OBES bronnen die benedenstrooms liggen.

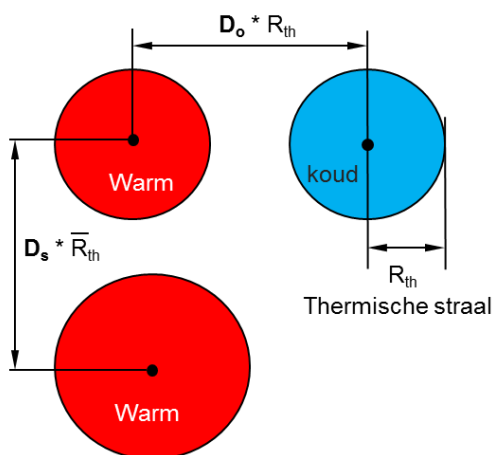
⁴ **Belangrijke kanttekening voor gebiedsregisseur/vergunningverlener:** vergunningen moeten worden verleend op basis van reële inschatting van de jaarlijks gemiddelde energievraag, zonder allerlei veiligheidsmarges om eventuele extreme jaren op te kunnen vangen. Nog een voordeel van collectief, je kan bijsturen op basis van werkelijk gebruik. I.p.v. onzekere verwachtingen tijdens het ontwerp van het OBES hele delen van de ondergrond opgeven aan een individuele initiatiefnemer. Maar dat vraagt dus ook wel wat regie op voorhand, door niet zorgvuldig aanvragen te beoordelen.

Plaatsing op basis van de thermische straal

Bij het infiltreren van warm of koud water in een bron ontstaat een cilindervormig volume met afwijkende temperatuur rondom de bron. Van bovenaf gezien is dat een cirkel met een straal, die afhankelijk is van het jaarlijks geïnjecteerde volume (V), filterlengte (L) (vaak ook dikte van de aquifer, maar dat is niet het geval in Eindhoven), de warmtecapaciteit van water (c_w) en de warmtecapaciteit van het aquifermateriaal (c_{aq}):

$$R_{th} = \sqrt{\frac{c_w V}{c_{aq} \pi L}} \quad (1)$$

Plaatsing van bronnen vindt plaats op basis van de thermische straal, waarbij voor bronnen van hetzelfde type (D_s) kleinere afstanden kunnen worden gehanteerd (positieve interactie) dan voor bronnen van een tegengesteld type (D_o) (mogelijke negatieve interactie).



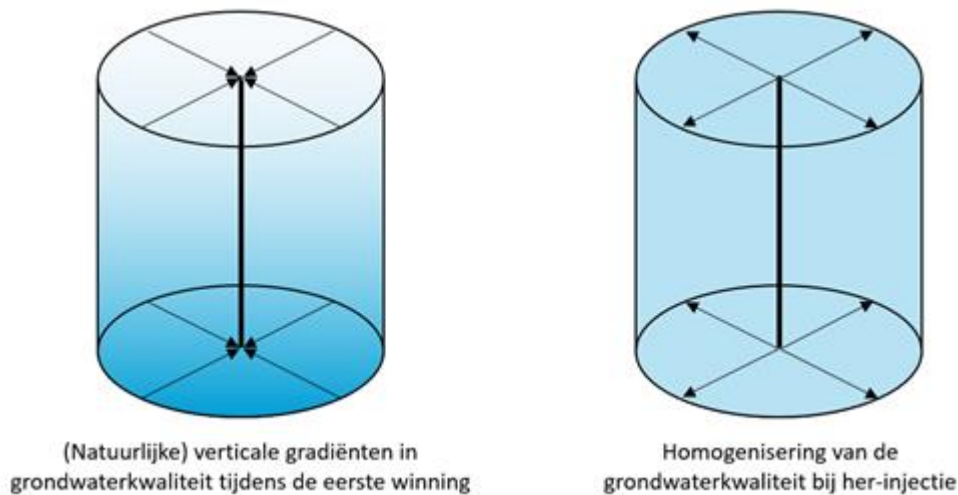
(Duijff, 2019)

Bij grote waarden voor D_o en D_s komen bronnen dus ver uit elkaar te staan, voor lage waarden dichtbij elkaar. Als bronnen niet dezelfde thermische straal hebben wordt het gemiddelde van de thermische stralen van de 2 betreffende bronnen gebruikt.

Beperken verspreiding van verontreiniging

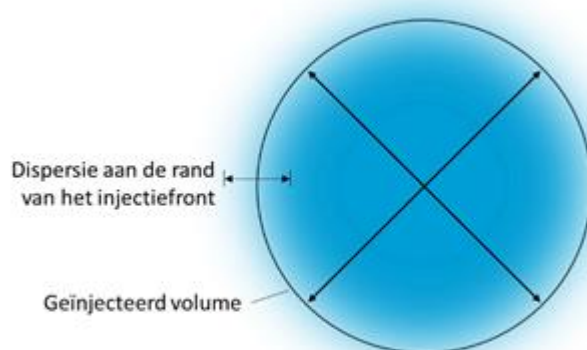
Bodemenergiesystemen zorgen voor verspreiding en verdunning van in de in hun beïnvloedingsgebied aanwezige verontreinigingen. De volgende verspreidingsmechanismen treden daarbij op:

1. **Mengen van verticale watersamenstellingsgradiënten.** Door het onttrekken van grondwater over de hele filterlengte van een OBES-bron worden variaties in watersamenstelling over de dikte van de aquifer gemengd en gehomogeniseerd (Figuur 9) (Dinkla, Lieten, Hartog, et al., 2012; Bloemendal, M. and T. Olsthoorn, 2018). Verontreinigd grondwater kan zich tijdens de onttrekking mengen met schoon grondwater en zich in verticale richting verspreiden. Hoe groter het onttrokken en geïnjecteerde volume, hoe groter dit effect (Phernambucq, 2015).



Figuur 3: Tijdens de onttrekking wordt grondwater met een natuurlijke verticale gradiënt in kwaliteit gemengd en tijdens de her-injectie wordt de grondwaterkwaliteit gehomogeniseerd. Dit kan leiden tot vermenging en verdunning van de in de watervoerende laag aanwezige verontreiniging

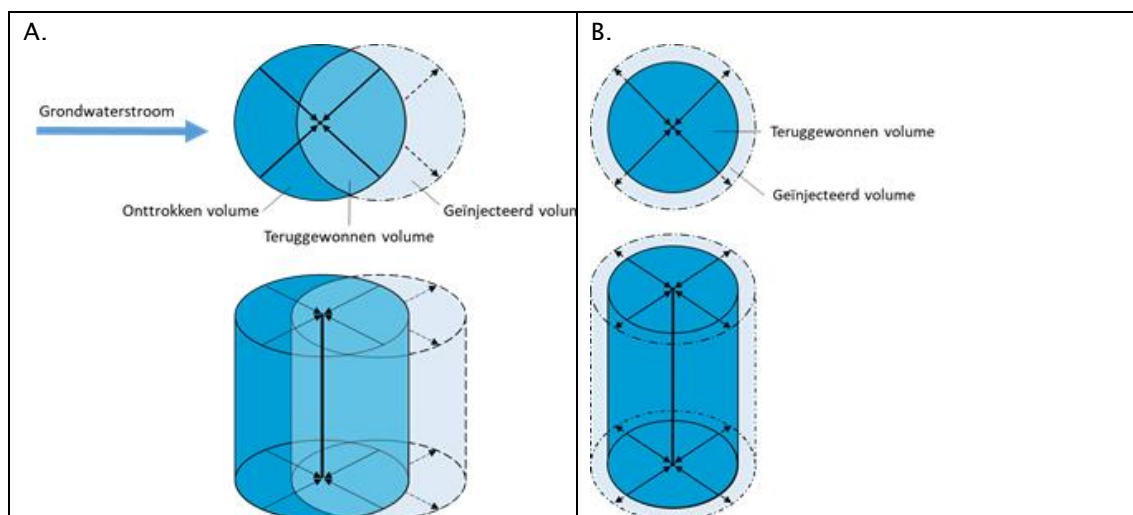
2. **Dispersie aan de randen van een geïnjecteerd volume.** Dispersie mengt het geïnjecteerde grondwater met het omgevingsgrondwater op de (hydraulische) grens van het geïnjecteerde volume (Figuur 10). Geïnjecteerd verontreinigd grondwater mengt zich zo met schoon omgevingsgrondwater en andersom, resulterend in grotere verontreinigde volumes. Hoe hoger de pompsnelheid en het watervolume, hoe hoger de mengeffekten van de dispersie op de verspreiding van de verontreiniging (Henssen et al., 2012). Als OBES systemen met volumebalans draaien, zorgt dispersie er voor dat de verontreinigingen zich verspreiden buiten de hydraulische invloedssfeer van het OBES.



Figuur 4: Dispersie aan de rand van het injectiefront kan leiden tot een verhoogde verspreiding van de verontreiniging, door het mengen van verontreinigd grondwater in het geïnjecteerde volume met het schone omgevingswater, of andersom.

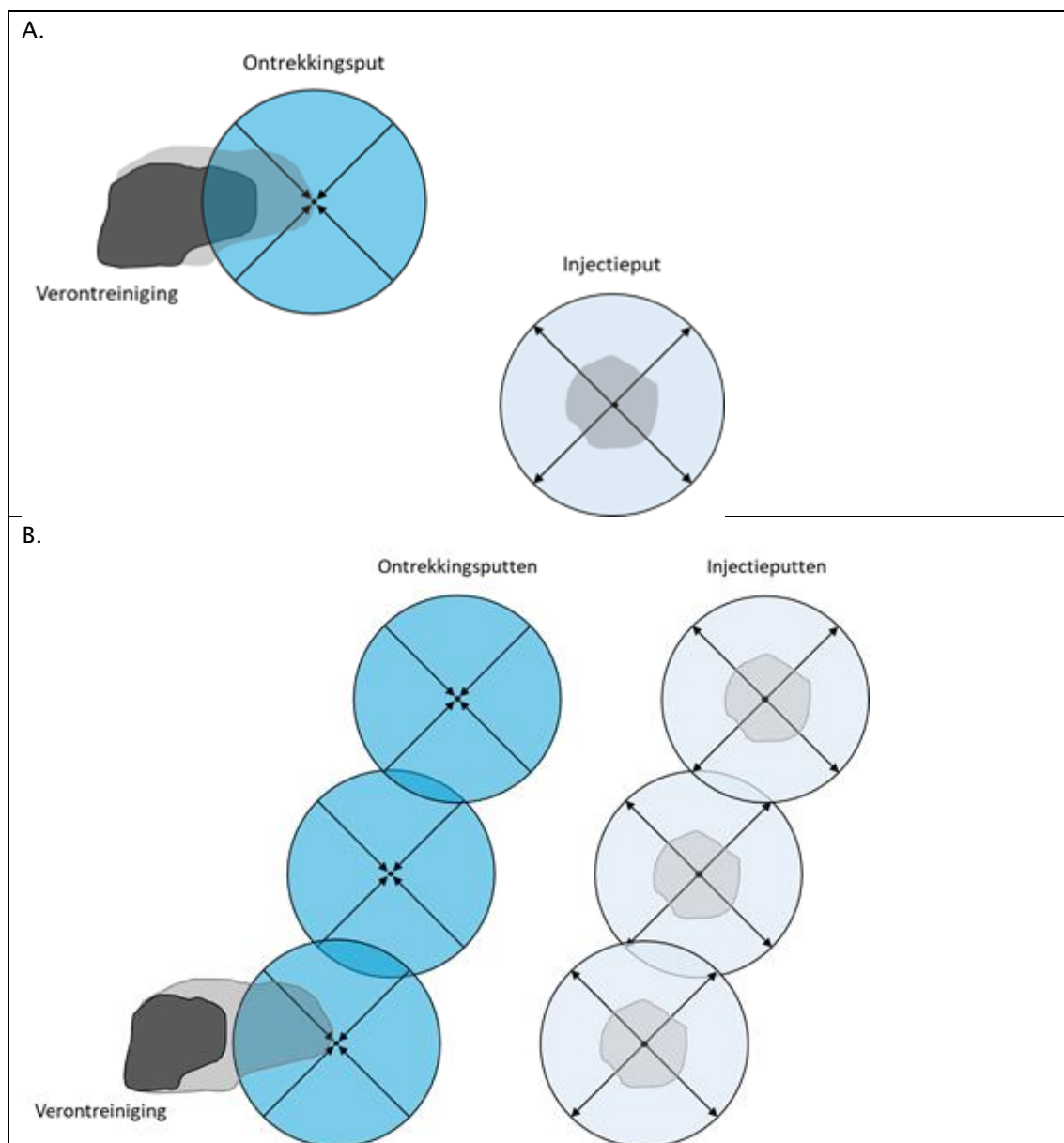
3. **Onvolledige terugwinning van het geïnjecteerde volume.** Als gevolg van de achtergrondstroming van het grondwater wordt het geïnjecteerde volume water in een OBES verplaatst in de tijd tussen de pompcycli (Figuur 11A) (Bonte, 2013). Deze verplaatsing houdt in dat voor elke pompcyclus een deel van het geïnjecteerde volume niet volledig wordt

teruggewonnen, maar wordt vervangen door grondwater van bovenstrooms, dat vervolgens tijdens de onttrekking wordt vermengd met het oorspronkelijke geïnjecteerde volume. Het niet-teruggewonnen deel blijft in de aquifer en stroomt verder stroomafwaarts. Deze vermenging van inkomend grondwater in de onttrekkingsfase verspreidt de verontreiniging tussen de injectie- en de onttrekkingsputten en de vermenging van het niet-teruggewonnen deel met het omgevingsgrondwater verspreidt de verontreiniging buiten het toestroomgebied van het systeem. De mate van verspreiding is afhankelijk van de natuurlijke grondwaterstroming ten opzichte van het opslagvolume (Phernambucq, 2015). Een onvolledige onttrekking van het geïnjecteerde volume kan ook het gevolg zijn van een structurele energieonbalans in de warme en koude vraag van het OBES. Als bijvoorbeeld de warmtevraag groter is dan de koudevraag, zal er meer koud water in de aquifer worden geïnjecteerd dan dat er wordt onttrokken (Figuur 11B). Op lange termijn kan dit resulteren in een steeds grotere koude zone die de verontreiniging verspreidt (Bloemendal et al. 2020). Het omgekeerde zal natuurlijk het geval zijn wanneer de koudevraag groter is dan de warmtevraag met hetzelfde resultaat.



Figuur 5: Onvolledige terugwinning van het geïnjecteerde volume: A. Als gevolg van de achtergrond grondwaterstroming, B. Als gevolg van onbalans aan evenwicht in de warme en koude vraag van het OBES-systeem.

4. Transport door OBES. In een OBES wordt grondwater gerecirculeerd door middel van onttrekking op de ene locatie en simultaan her-injectie van grondwater op een andere locatie. Wanneer de verontreiniging aanwezig is, leidt dit tot de verspreiding van de verontreiniging van de extractie- en injectieplaatsen van één OBES (Figuur 12A) en tussen meerdere bronnen van hetzelfde OBES (Figuur 12B). Het ontwerp van het OBES is van invloed op de mate van verspreiding; hoe meer injectie- en onttrekkingsputten in het systeem, hoe groter de verdunning, en hoe groter de afstand tussen de putten, hoe groter het mogelijke verspreidingsgebied. In het geval van het aantal putten zal de verspreiding van de verontreiniging afhangen van het feit of de beïnvloedingsgebieden van de putten elkaar binnen hetzelfde systeem overlappen. De koppeling van de putten heeft ook invloed op de verspreiding van verontreinigingen. Phernambucq (2015) liet zien hoe de verontreiniging die in 1 put wordt aangetrokken, sterk verdund in alle putten van het andere type wordt geïnfilteerd.

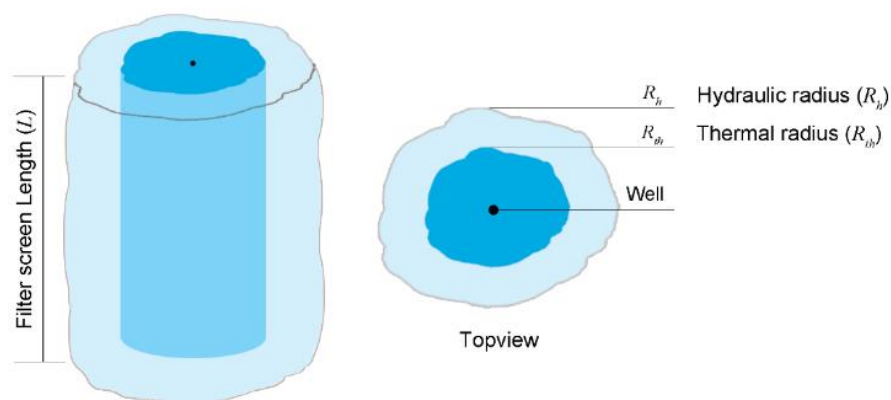


Figuur 6: Verontreiniging kan worden verspreid door A. het overspringen tussen bronnen van hetzelfde OBES-systeem en B. het overspringen tussen meerdere bronnen van hetzelfde OBES-systeem.

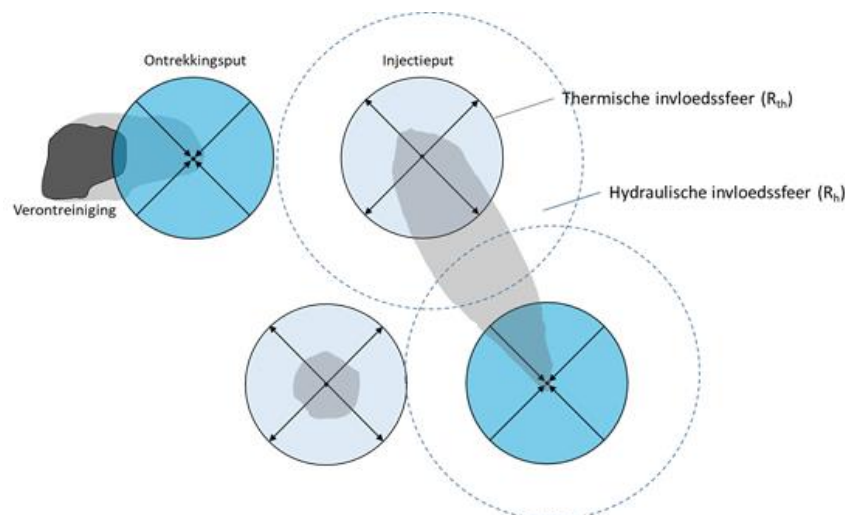
5. Veranderingen in de grondwaterstroming. Door onttrekken en infiltreren in OBES bronnen verandert de stijghoogte van het grondwater rondom de bronnen en daarmee de hydraulische gradiënt. kan ervoor zorgen dat de verontreiniging zich in de directe nabijheid van het OBES zich in andere richtingen verspreidt dan de heersende achtergrondstroming (Spoor, 2015).

In het geval van een opgeloste verontreiniging neemt het volume van de verontreinigde pluim toe als gevolg van deze processen, hoewel de concentratie in de pluim wordt verdund. Echter, in het geval dat DNAPL aanwezig is, kunnen deze processen het oplossen daarvan stimuleren, waardoor naast het pluimvolume ook de contaminantenmassa toeneemt (Henssen et al., 2012; Zuurbier et al., 2013).

6. Interactie van meerdere OBES. Wanneer meerdere OBES in een gebied aanwezig zijn, kan er overlapping zijn tussen de thermische en hydraulische invloedssfeer van de systemen (Dinkla, Lieten, Hartog, et al., 2012). Deze overlapping kan ervoor zorgen dat verontreinigingen van het ene OBES naar het andere springen (Figuur 13). Gewoonlijk worden OBES bronnen zo geïnstalleerd dat elk systeem buiten de thermische invloedssfeer van een ander systeem wordt geplaatst. De hydraulische invloedssfeer is echter 1,5 keer groter dan de thermische invloedssfeer (Phernambucq, 2015), en verontreinigingen verplaatsen zich juist binnen de hydraulische invloedssfeer. Als systemen te dicht bij elkaar worden geplaatst kunnen verontreinigingen van het ene systeem naar het andere worden verspreid, terwijl er geen nadelige gevolgen zijn voor de thermische efficiëntie van het systeem. Hierdoor wordt een groot gebied zeer snel bestreken (Phernambucq, 2015). Bovendien zijn in gebieden met OBES-bronnen in elkaars nabijheid de hydraulische en thermische stralen niet perfect cirkelvormig en versterken de hydraulische interacties tussen de systemen de effecten van overlappende zones.



Figuur 7: Verschil tussen thermische en hydraulische invloedssfeer (Bloemendal & Hartog, 2018)



Figuur 8: Aangezien de thermische straal (R_{th}) kleiner is dan de hydraulische straal (R_h), kunnen OBES-filters plaatsen dicht bij elkaar staan zonder negatieve gevolgen voor de thermische efficiëntie van het systeem, maar kunnen ze leiden tot het springen van de verontreiniging van de ene OBES naar de andere.

7. Overige factoren. De ontwikkeling van de pluimmassa en -omvang is ook afhankelijk van de vraag of de afbraaksnelheid in het sediment wordt beïnvloed door de menging. Mengen veroorzaakt over het algemeen een homogenisering van het grondwater (Dinkla, Lieten, Vries, et al., 2012). Zuurbier et al. (2013) hebben met modellering aangetoond door welke factoren de totale afbraaksnelheid van de verontreiniging wordt beperkt, en of het OBES de afbraak door middel van mengprocessen al dan niet kan versterken. Onder omstandigheden waarin de afbraaksnelheid van de verontreiniging wordt beperkt door de langzame afgifte van elektronendonoren uit het sediment (bijvoorbeeld door afbraak van sedimentair organisch materiaal), kan het OBES de afbraak verbeteren door een betere verspreiding van de verontreiniging in de watervoerende laag, waardoor de verontreiniging wordt blootgesteld aan een groter deel van de afbraakcapaciteit die in het sediment aanwezig is. Dit op voorwaarde dat de redoxcondities niet verslechteren als gevolg van het OBES. Onder omstandigheden waarin al voldoende elektronendonoren beschikbaar zijn, leidt de aanwezigheid van het OBES tot een grotere verspreiding van de verontreiniging, met als gevolg een groter pluimvolume, maar geen verbeterde afbraak (Zuurbier et al., 2013). Menging kan ook resulteren in het verlies van specifieke redox niches, wat een negatief effect kan hebben op de afbraak van de verontreiniging. Dit kan echter ook leiden tot vermenging van koolstofbronnen, elektronenacceptoren en/of bacteriën, wat een (positief) effect kan hebben op de snelheid van de afbraak van de verontreiniging grondwater (Dinkla, Lieten, Vries, et al., 2012).

Binnen het plangebied van het Masterplan mag verontreiniging worden verspreid en verdund. De 5 mg/l concentratie contour mag echter niet over de grens van het gebied komen. Met name verspreiding door bodemenergie met meerdere bronnen en van het ene bodemenergie systeem naar de andere kan zorgen voor overschrijding van de in het GGB gestelde norm. Daarom kunnen bodemenergie bronnen in het plangebied alleen 1-Op-1 gekoppeld worden via een bron TSA, dus grondwater uit meerdere bronnen kan niet worden gemengd. Verder kan met ordeningsregels voor bronlocaties nader worden gestuurd op het beperken van het overspringen in gebieden waar dat nodig is. Hierbij geldt dat het clusteren van gelijke type bronnen de verspreiding beperkt en dat moet worden voorkomen dat via bronnen in verschillende clusters, bodemenergiesystemen verschillende clusters/stroken en stroken met elkaar verbindt. Waar nodig wordt er gestuurd op positionering van bronparen in clusters/stroken.

Bijlage II: Beschrijving Thermisch Referentie model

In deze bijlage worden de resultaten van de optimalisatie en verdichting van het thermisch model toegelicht. Daarnaast wordt ook de finale thermische toetsing van het referentiemodel per deelgebied beschreven waarbij duidelijk wordt dat het verregaand geoptimaliseerde en verdichte referentiemodel niet tot ontoelaatbare thermische kortsluitingen tussen de verschillende OBES-systemen zal leiden.

Thermische berekeningen met HSTwin2D

Om de hydrothermische berekeningen uit te voeren is gebruik gemaakt van HSTwin2D. Met dit programma kan warmtetransport worden berekend in een verzadigd grondwatersysteem (1-laagsmodel). De invoerparameters zijn vastgesteld op basis van de tabellen 1 en 2 in het hoofddocument.

Met HSTwin2D kunnen naast de thermische invloedsgebieden van OBES-systemen ook de thermische interacties tussen de systemen vastgesteld worden. Het thermische invloedsgebied is het gebied rondom een infiltratiebron waar de temperatuur meer dan 0,5°C afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur. De natuurlijke grondwatertemperatuur van het opslagpakket in Eindhoven bedraagt gemiddeld circa 12°C.

Om de maximale thermische capaciteit van OBES te bepalen is uitgegaan van de effectieve filterlengte zoals die is opgenomen in tabel 2. Het doorrekenen van warmte en koude opslag op basis van een effectieve filterlengte in plaats van op basis van de dikte van het watervoerende pakket is een gebruikelijke worst-case-benadering die ook bij de aanvraag van een Waterwetvergunning wordt toegepast. In deze zin sluiten de thermische berekeningen in dit Masterplan direct aan bij de methoden van beoordelen door de ODZOB.

Scenario's

Om te bepalen wat het maximale aanbod is van OBES binnen de projectgrenzen van het Masterplan Bodemenergie Eindhoven zijn de volgende scenario's uitgewerkt:

- Graslandmodel (geen beperkende factoren);
- Thermisch referentiemodel (geoptimaliseerd op basis van GGB-model en verdicht op basis van vraag en aanbod van bodemenergie).

Graslandmodel

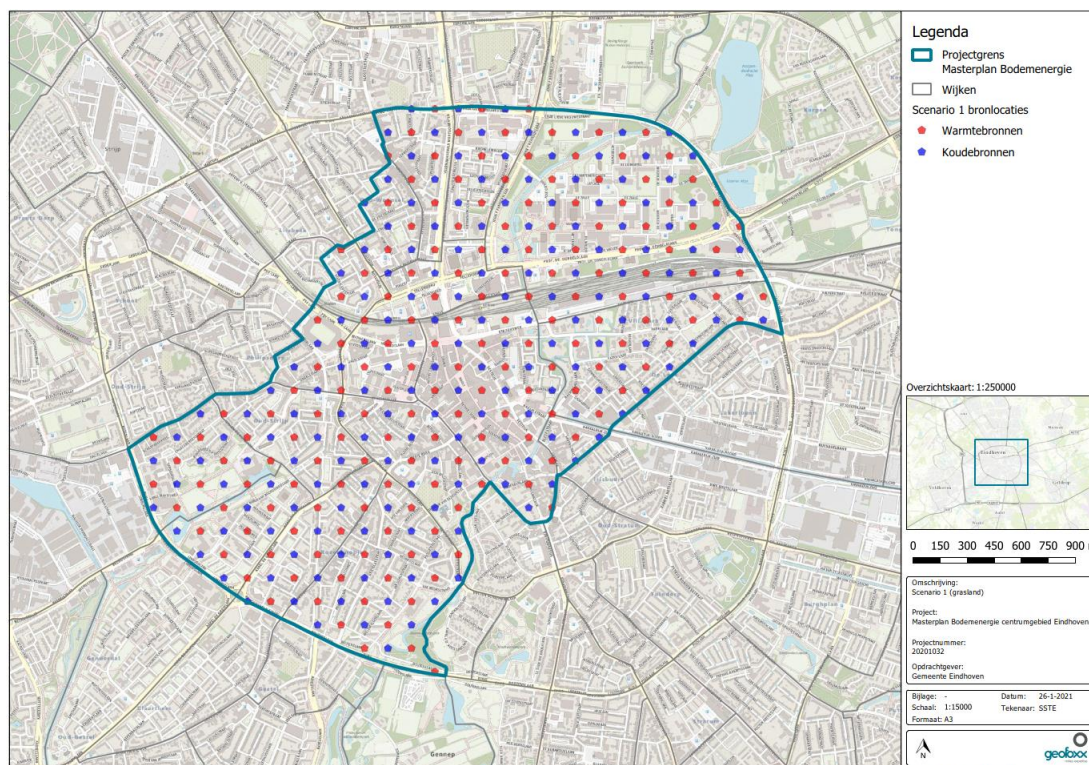
In het graslandmodel wordt een optimaal gebruik van de ondergrond door de nieuwe OBES systemen met de eigenschappen van tabel 2 kruislings te verdelen over het totale projectgebied. Het graslandscenario kan beschouwd worden als het maximale aanbod van bodemenergie zonder dat rekening gehouden wordt met andere beperkende factoren dan de ondergrond zelf.

Het maximaal aantal OBES-systemen (volgens de standaard ontwerprichtlijnen van tabel 2) dat in het graslandmodel kan worden geplaatst bedraagt 172 stuks. De maximale hoeveelheden energie die per seizoen met deze 172 systemen kan worden geleverd bedraagt ruim 270.000 MWh.

Naast doubletten (OBES) is in het graslandmodel ook gekeken naar de mogelijkheden van de toepassing van monobronnen en gesloten systemen (GBES). Het aantal monobronnen en GBES-systemen dat in het graslandmodel geplaatst kan worden bedraagt respectievelijk 403 en 58.040. Vanwege de relatief geringe boordiepte zijn de energieopbrengsten van monobronnen en GBES-systemen echter 37 tot 33 % lager.

Tabel A: maximaal aantal systemen in het graslandmodel

Woonwijk	Aantal OBES-systemen	Aantal mono-bronnen	Aantal GBES-systemen
Bergen	10	24	3.450
Binnenstad	20	46	6.640
Eliasterrein, Vonderkwartier	9	21	3.030
Engelsbergen	10	23	3.290
Fellenoord	7	15	2.210
Gildebuurt	6	15	2.100
Hagenkamp	8	19	2.720
Hemelrijken	11	26	3.680
Limbeek-Zuid	5	13	1.810
Oude Spoorbaan	8	18	2.660
Philipsdorp	12	29	4.200
TU-terrein	37	86	12.400
Villapark	17	39	5.580
Emmasingelkwadrant	5	13	1.830
Woenselse Watermolen	7	17	2.440
Schrijversbuurt	18	41	5.960
Totaal aantal	172	403	58.040
Totaal energie (MWh)	270.040	170.125	180.927



Figuur 1: Graslandmodel

Thermisch referentiemodel

Het thermisch referentiemodel is in feite een verregaand geoptimaliseerd en verdicht model van het graslandmodel waarbij na elke iteratiestap (in totaal 5 iteraties) de resultaten zijn getoetst aan het GGB-model (zie bijlage III).

Op basis van de eerste iteratiestap is een aantal aandachtsgebieden onderscheiden waarvoor vergelijkbare optimalisaties en verdichtingen nodig zijn. Werd in het graslandmodel nog op niveau van woonwijken gekeken, in het thermisch referentiemodel is uitgegaan van een beschouwing op grotere en relevantere schaal en zijn de deelgebieden, zoals die in tabel 5 van het hoofddocument, overgenomen.

Tabel B: Aantal beschikbare doubletten per deelgebied (tabel 5 hoofddocument)

Deelgebied	Woonwijken	Aantal beschikbare doubletten
Fellenoord	Limbeek-Zuid (beperkt gedeelte)	31
	Hemelrijken (beperkt gedeelte)	
	Gildebuurt (beperkt gedeelte)	
	Woenselse Watermolen (beperkt gedeelte)	
	Fellenoord	
	TU-terrein (gebied ten noorden van de spoorzone)	
Binnenstad	Binnenstad (inclusief het gebied ten zuiden van de spoorzone)	29
	TU-terrein (gebied ten zuiden van spoorzone)	
	Bergen (gedeeltelijk)	
Westzijde plangebied	Philipsdorp (gedeeltelijk)	34
	Emmasingelkwadrant (gedeeltelijk)	
	Eliasterrein/Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Engelsbergen	
	Hagenkamp	
	Oude Spoorbaan	
Vooralsnog geen bodemenergie	Philipsdorp (gedeeltelijk)	0
	Eliasterrein/Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Emmasingelkwadrant (grotendeels)	
	Villapark en TU-terrein (beperkt oostelijk gedeelte)	
Overige gebieden	Limbeek-Zuid (grotendeels)	58
	Hemelrijken	
	Woenselse Watermolen	
	TU-terrein	
	Villapark	
	Bergen	
	Eliasterrein, Vonderkwartier (gedeeltelijk)	
	Oude Spoorbaan (gedeeltelijk)	
	Schrijversbuurt	
Totaal	Projectgebied	152

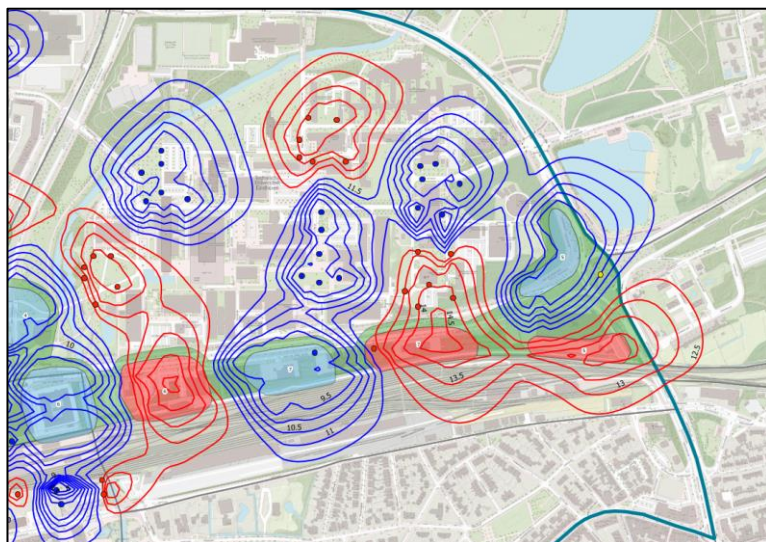
In de deelgebieden Fellenoord en De Binnenstad is het aanbod relatief gering ten opzichte van de energie- en vermogensvraag en is er verregaand verdicht om zoveel mogelijk aan de bovengrondse vraag te voldoen. Daarbij ontstond de noodzaak om de warme en koude bronnen

zoveel mogelijk te clusteren, overeenkomstig de ordening zoals ook is toegepast bij de bestaande systemen op het TU-terrein.

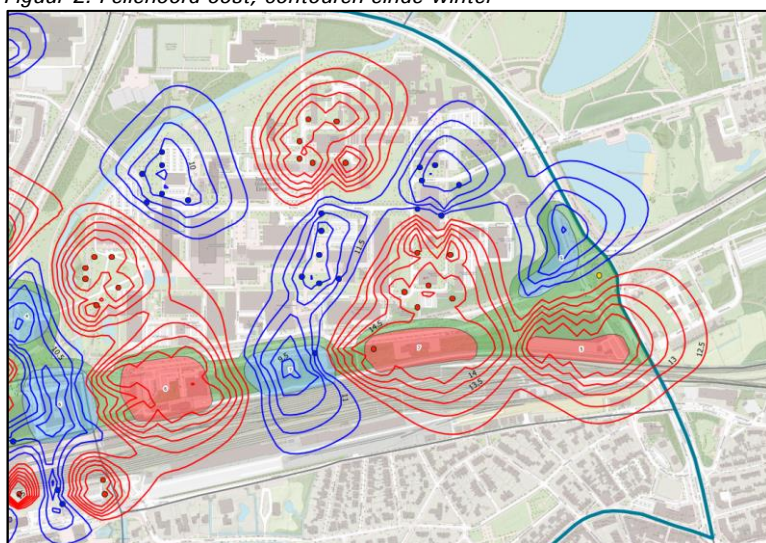
Voor het deelgebied Westzijde plangebied lag de nadruk op optimalisatie om te kunnen voldoen aan de toetsing met het GGB-model. Daarbij is de ordening in stroken uitgewerkt zodat voorkomen wordt dat de aanwezige verontreinigingen zich over de westelijke projectgrens verspreiden.

Thermische toets Fellenoord

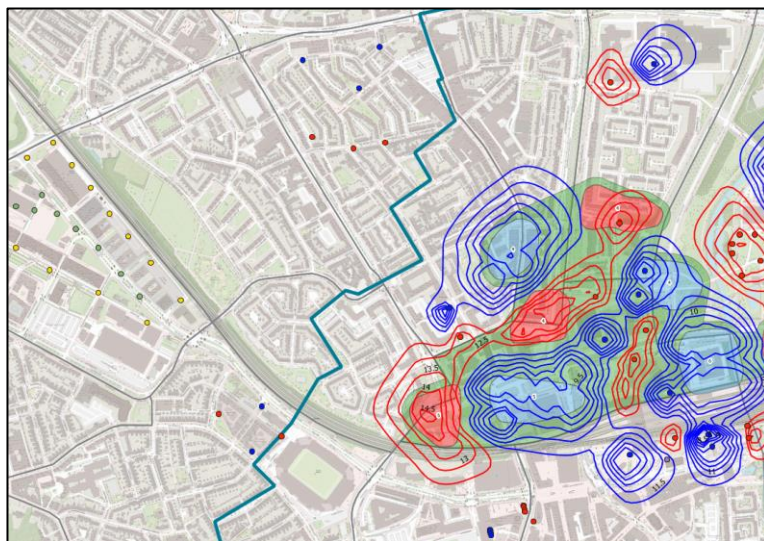
De 31 dubletten zoals die na optimalisatie en verdichting in het deelgebied van Fellenoord ter beschikking gesteld kunnen worden zijn met behulp van het thermisch referentiemodel doorgerekend en getoetst. Vanwege de modelbeperking van het programma HSTwin2D (maximaal aantal in te voeren bronnen bedraagt 100) is Fellenoord in 2 stukken gepresenteerd; oost en west. In de onderstaande figuren is bovendien onderscheid gemaakt in respectievelijk de contouren aan het einde van het winter- en het zomerseizoen.



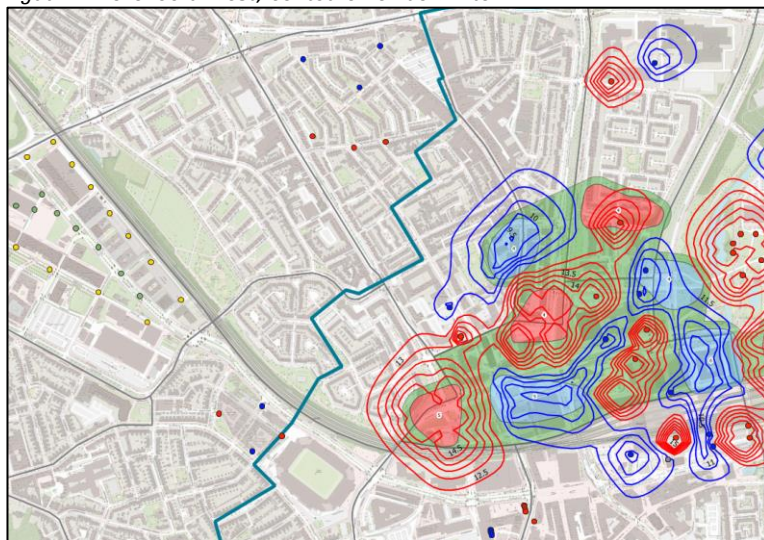
Figuur 2: Fellenoord-oost; contouren einde winter



Figuur 3: Fellenoord-oost; contouren einde zomer



Figuur 4: Fellenoord-west; contouren einde winter

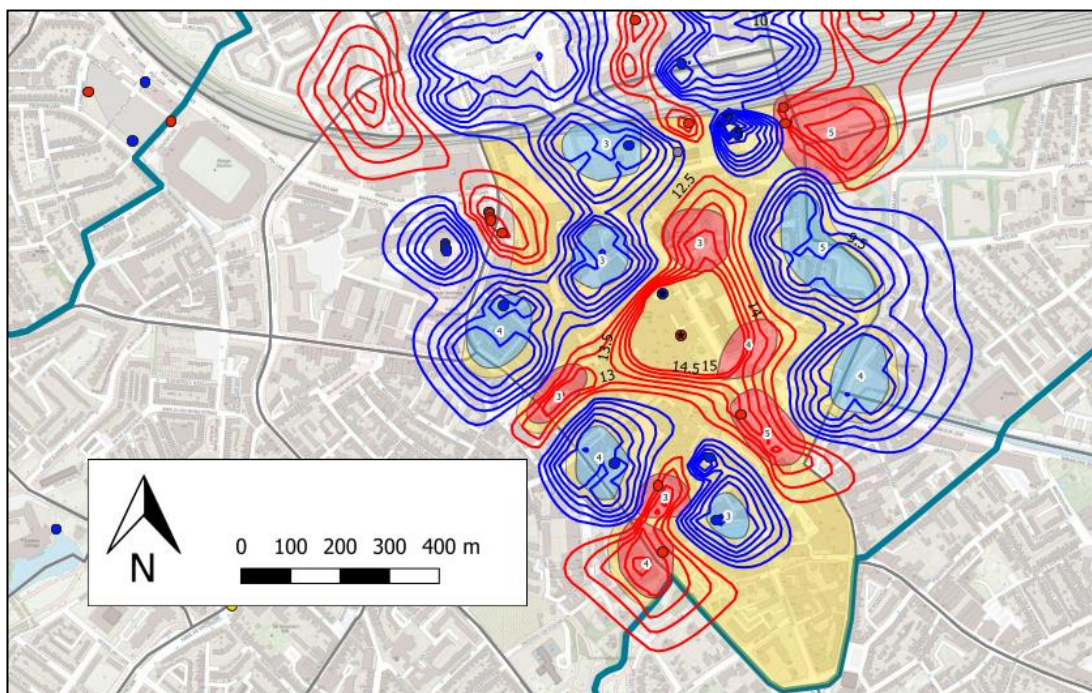


Figuur 5: Fellenoord-west; contouren einde zomer

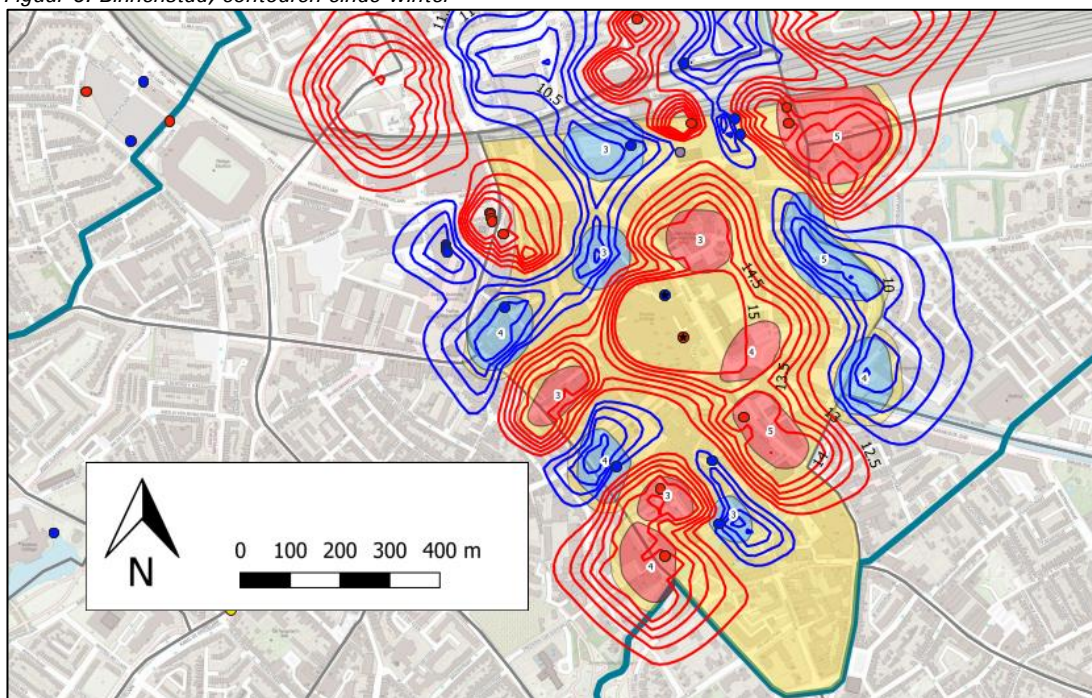
Uit de berekeningen blijkt dat er geen onacceptabele thermische interacties tussen de clusters en reeds bestaande systemen zal plaatsvinden.

Thermische toets De Binnenstad

De 29 doubletten zoals die na optimalisatie en verdichting in het deelgebied De Binnenstad ter beschikking gesteld kunnen worden zijn met behulp van het thermisch referentiemodel doorgerekend en getoetst. In navolgende figuren is onderscheid gemaakt in respectievelijk de contouren aan het einde van het winter- en het zomerseizoen.



Figuur 6: Binnenstad; contouren einde winter

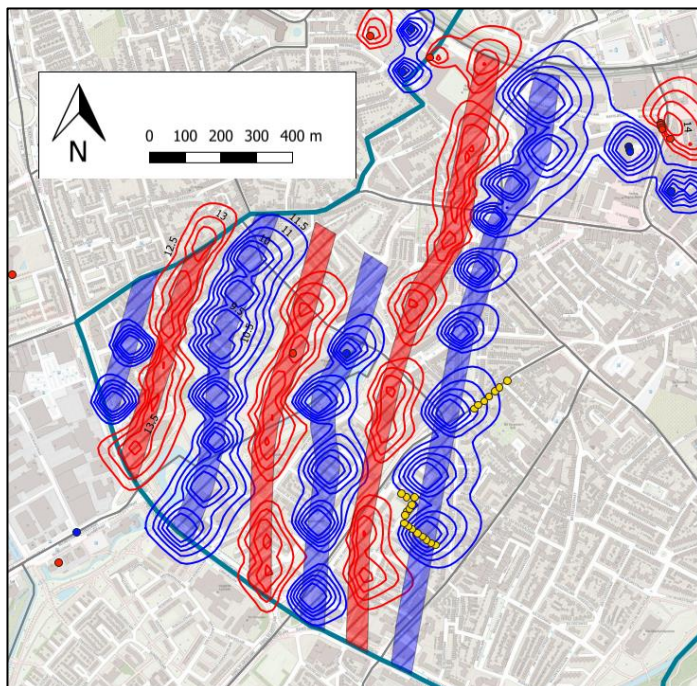


Figuur 7: Binnenstad; contouren einde zomer

Uit de berekeningen blijkt dat er geen onacceptabele thermische interacties tussen de clusters en reeds bestaande systemen zal plaatsvinden.

Thermische toets Westzijde plangebied

De 34 doubletten zoals die na optimalisatie en verdichting in het deelgebied Westzijde plangebied ter beschikking gesteld kunnen worden zijn met behulp van het thermisch referentiemodel doorgerekend en getoetst. In onderstaande figuren is onderscheid gemaakt in respectievelijk de contouren aan het einde van het winter- en het zomerseizoen.



Figuur 8: Westzijde plangebied; contouren einde winter



Figuur 9: Westzijde plangebied; contouren einde zomer

Uit de berekeningen blijkt dat er geen onacceptabele thermische interacties tussen de stroken en reeds bestaande systemen zal plaatsvinden.

Bijlage III: Beschrijving GGB model

**Bijlage III Toetsing GGB
Masterplan bodemenergie**

Centrumgebied Eindhoven

Opdrachtgever

Gemeente Eindhoven
Postbus 90150
5600 RB Eindhoven

Combinatie BGK

Buro Bron
Geofoxx
KWR

Status

Definitief

Datum

14 januari 2022

Projectnummer

20201032

Documentkenmerk

20201032_b2RAP

Auteur

De heer D.M. Smulders MSc
De heer ing. J.M.J. van Rooij

Controle / vrijgave

drs. B.L.H. ter Haar

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Inventarisatie verontreinigingen	2
2.1	Stap 1: Bepalen invloedsfeer OBES	2
2.2	Stap 2: Bodeminformatiesysteem	2
2.3	Stap 3: Aanvullend dossieronderzoek	3
2.4	Stap 4: Gebiedsgericht Grondwaterbeer	3
2.5	Verontreinigingen GGB toetsing	4
3	Toelichting modelopbouw	5
3.1	Modelopzet stromingsmodel	7
3.2	Opzet stoftransportmodel	9
4	Resultaten en interpretatie	12
4.1	Algemeen	12
4.2	1° watervoerend pakket	13
4.3	2° watervoerend pakket	14

Bijlage

A	Resultaten verspreidingsberekening
---	------------------------------------

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen het project Masterplan bodemenergie is op basis van een iteratief proces de plankaart met planregels tot stand gekomen. Tijdens dit iteratieve proces is vanuit het thermische referentiemodel (zonder boven- en ondergrondse belemmeringen) gewerkt naar een finale bronverdeling, genaamd optimalisatie 4-5 (hierna 'scenario 4-5'). Voor de beschrijving wordt verwezen naar bijlage II van het Masterplan. In scenario 4-5 is rekening gehouden met én invulling gegeven aan de huidige en toekomstige ontwikkelingen met energetische warmte en koude behoefte, verdichting en clustering van de toekomstige bronnen en de plaatsing van bronnen waardoor de aanwezige grondwaterverontreinigingen zich minimaal binnen de gebiedsgrens van het Gebiedsgericht Grondwaterbeheer (GGB) verspreiden.

Scenario 4-5 betreft een fictief scenario met "maximaal te plaatsen bronnen" dat op basis van het Masterplan en de reeds bestaande - of binnen afzienbare termijn te vergunnen - OBES bronnen gerealiseerd kan worden. De daadwerkelijke toekomstige plaatsing van bronnen geschiedt op basis van de uitgangspunten van dit Masterplan met bijbehorende planregels en plankaart en kunnen in detail dus afwijken.

1.2 Doel

Het doel van voorliggende GGB toetsing is om door middel van een modelstudie te toetsen of voornoemd scenario 4-5 met toekomstige ontwikkelingen voldoet aan het Gebiedsplan Gebiedsgericht Grondwaterbeheer Eindhoven-centrum (Gemeente Eindhoven. 20797.4197GBP/2.1, 5 mei 2021).

1.3 Leeswijzer

Voorliggende bijlage III beschrijft de inventarisatie van de verontreinigingen (hoofdstuk 2), toelichting op de modelopbouw (hoofdstuk 3) en de uiteindelijke GGB toetsing met resultaten (hoofdstuk 4).

2 Inventarisatie verontreinigingen

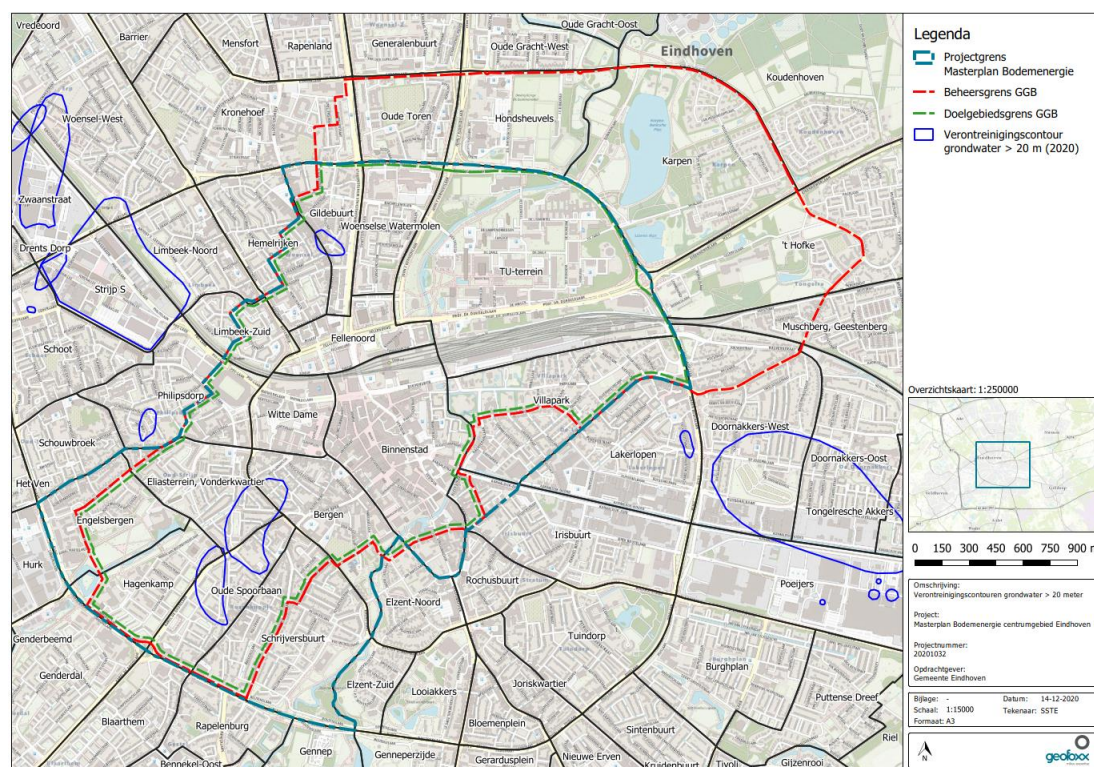
2.1 Stap 1: Bepalen invloedssfeer OBES

Op basis van de geplande brondiepte vanaf 30 m-mv wordt een invloed door de toekomstige OBES vanaf 20 m-mv in de scheidende laag op 18-22 m-mv verwacht. In de laag van 0-20 m-mv worden geen effecten door de OBES op de verontreinigingen verwacht.

Grond- en grondwaterverontreinigingen in de laag 0-20 m-mv worden niet aanvullend beschouwd in deze GGB toetsing.

2.2 Stap 2: Bodeminformatiesysteem

Voor de inventarisatie van de verontreinigingen is het actuele bodeminformatiesysteem (peildatum 9 december 2020) van de gemeente Eindhoven geraadpleegd. De grondwaterverontreinigingen met contouren in de laag dieper dan 20 m-mv zijn geïnventariseerd en op onderstaande afbeelding weergegeven.



Figuur 1: Verontreinigings situatie bodeminformatiesysteem > 20 m-mv (bron: gemeente Eindhoven)

In aanvulling op deze inventarisatie en ter borging van de zorgvuldigheid is de informatie uit het bodeminformatiesysteem op 15 december 2020 met de heer R. Craamer doorgenomen. Hierbij is vastgesteld dat een deel van de verontreinigingen uit het GGB nog niet op de kaart gepresenteerd was (zie stap 4). Daarnaast is een aantal verontreinigde locaties op verzoek van de gemeente Eindhoven nader beschouwd (zie stap 3).

2.3 Stap 3: Aanvullend dossieronderzoek

Op 15 december 2020 heeft de gemeente Eindhoven bodemrapportages van 5 verontreinigde locaties aangeleverd inclusief een samenvatting van de verontreinigingssituatie op het zogenaamde NRE terrein (e-mail 15-12-2020 de heer Van Laarhoven). Onderstaand wordt een korte samenvatting en conclusie per verontreinigde locatie weergegeven.

NRE-terrein: Cyanide verontreiniging tot maximaal 9 m-mv, lokaal een PAK spot tot maximaal 15 m-mv. Het grondwater is maximaal licht verontreinigd met VOCl.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Scherpakkerweg 15: VOCl verontreiniging met maximaal een lichte verontreiniging tot een diepte van 7 tot 8 m-mv.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Tongelresestraat-Korte Havenstraat: Verontreiniging met vluchtige aromaten tot maximaal 8 m-mv.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Vestdijk 280: Sterke lokale verontreiniging met vinylchloride tot circa 10 m-mv.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Javalaan ongenummerd: Verontreiniging met minerale olie en vluchtige aromaten. Op circa 10 m-mv wordt maximaal een lichte verontreiniging vastgesteld.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Stratumsedijk 23F: Verontreiniging met minerale olie en vluchtige aromaten tot maximaal 8 m-mv.

Conclusie: geen toetsing noodzakelijk

Op basis van stap 3 is voor deze verontreinigde locaties geen aanvullende toetsing noodzakelijk gebleken.

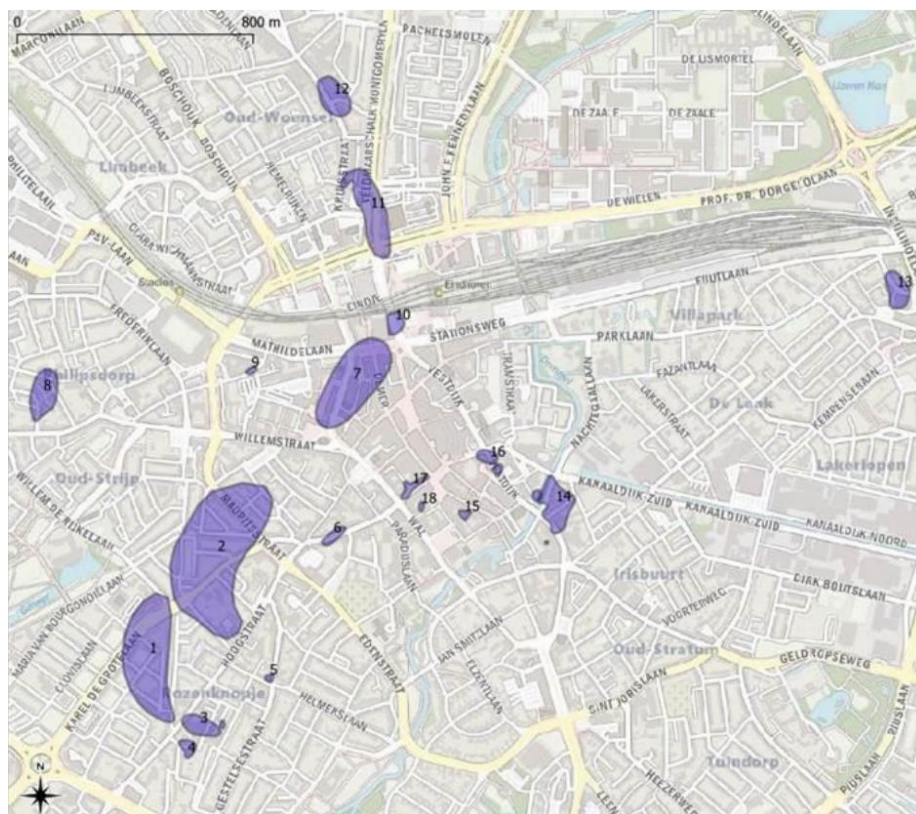
2.4 Stap 4: Gebiedsgericht Grondwaterbeer

Als onderdeel van het GGB is in het gebiedsplan en onderliggende geohydrologische modelstudie (20190825_b1RAP, d.d. 17-03-2020) een uitgebreide beschouwing van de 18 bekende VOCl-verontreinigingen opgenomen. Op basis van deze beschouwing zijn destijds, kijkend naar de mate van verspreiding van VOCl (met name in de diepte), de situering ten opzichte van de gebiedsgrens en de omvang, 7 verontreinigde locaties geselecteerd en opgenomen in het GGB-model. Deze locaties betreffen:

- Locatie 1: Hessen Kasselstraat;
- Locatie 2: Palingstraat;
- Locatie 7: Emmasingel/ Witte Dame;
- Locatie 8: Op den Bult;
- Locatie 12: Kruisstraat 97 - 138*;
- Locatie 13: Tapuitstraat*;
- Locatie 17: Kerkstraat 10-34*.

* Deze locaties worden in aanvulling op stap 1 meegenomen, maar maakten reeds onderdeel uit van het GGB-model.

Bovenstaande 7 verontreinigde locaties met verontreinigingscontouren (inclusief de overige 11 VOCl-verontreinigingen) zijn in navolgende figuur weergegeven.



Figuur 2: Verontreinigde locaties met verontreinigingscontouren (bron: Gebiedsplan)

2.5 Verontreinigingen GGB toetsing

Op basis van voorgaande stapsgewijze inventarisatie kan worden geconcludeerd dat het GGB-model voor de toetsing van het Masterplan op basis van de huidige verontreinigingssituatie (deellocatie 1, 2, 7, 8, 12, 13 en 17) geen aanvulling behoeft en daarmee dekkend is.

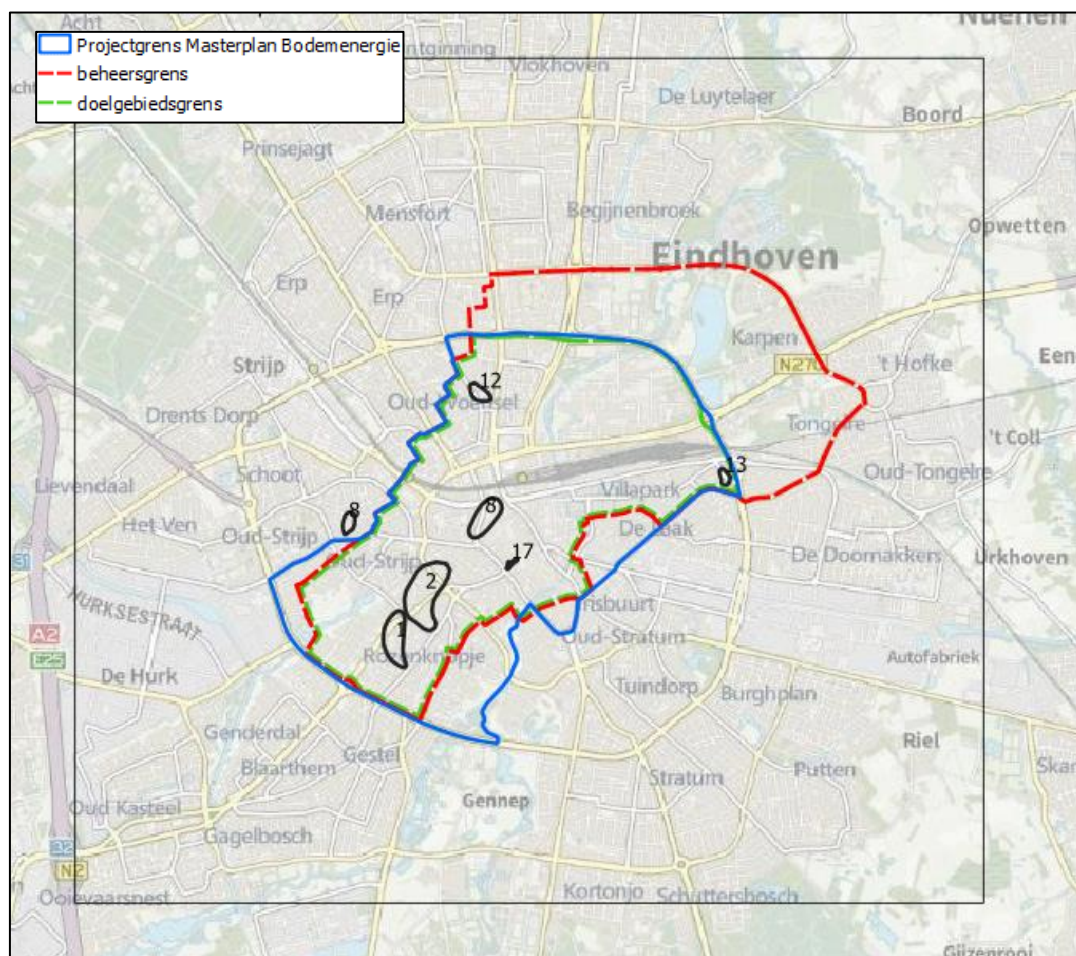
3 Toelichting modelopbouw

Voor deze toetsing is gebruik gemaakt van het GGB-model. Het is een 3-dimensionaal stromingsmodel in MODFLOW. Dit model is geactualiseerd op basis van gevalideerde gegevens van reeds aanwezige bodemenergiesystemen en uitgebreid met de bovenste laag van het 2^o watervoerend pakket. De omvang van het model bedraagt: 6,5 x 7 km (~45 km², figuur 3). De omvang is zo gekozen dat de effecten van de modelranden tot het interessegebied (Centrumgebied) nihil zijn. Het gebied is geschematiseerd in rechthoekige elementen (grid-cellen) die in afmeting variëren.

Voor de celgrootte binnen het model is gekozen voor een netwerk dat afneemt van de randen van afgerond 200 bij 200 meter naar afgerond 15 bij 15 meter (interessegebied). De gekozen celgrootte is een afweging tussen voldoende rekennauwkeurigheid en een te behappen rekentijd. De tijdstap waarmee is gerekend betreft een half jaar. Dit betreft voor de variatie van de meest relevante randvoorwaarden (in dit geval WKO-bronnen) de belangrijkste tijdschaal. Verder is deze tijdschaal, gezien de periode waarover gerekend wordt (50 jaar), een optimum tussen voldoende nauwkeurigheid en rekentijd.

Om een inschatting te maken van het gedrag van de verontreinigingen wordt gebruik gemaakt van de stoftransportmodule MT3DMS. Van alle onderzochte stoffen uit de VOCI-stofgroep komen CIS en VC in het diepe grondwater voor in de hoogste concentraties. Daarbij is VC de meest mobiele stof, waardoor deze stof ten aanzien van verspreidingsrisico's als leidend wordt beschouwd. Om deze redenen is gekozen om de overige VOCI-parameters niet mee te nemen in de modellering. Het oorspronkelijk product PER en TRI komt terug in de brongebieden met nalevering in de vorm van CIS en VC.

Met behulp van MT3DMS kan, op basis van het stromingspatroon dat verkregen is uit het grondwatermodel, enkele relevante transportparameters en de initiële concentraties, een inschatting verkregen worden van het verspreidingsgedrag van een stof. Hierbij wordt een zogenaamde forward run gemaakt waarbij gerekend wordt met de processen dispersie, diffusie, adsorptie, retardatie en sequentiële afbraak. Voor de kalibratie wordt verwezen naar het rapport behorende bij voornoemde modelstudie.



Figuur 3: Omvang van het modelgebied van het Centrumgebied model (zwart omkaderd) met de daarbinnen gelegen grondwaterverontreinigingen.

3.1 Modelopzet stromingsmodel

Geohydrologische schematisatie

In tabel 1 is de geohydrologische schematisatie weergegeven die is gebruikt in het model. Hierbij zijn de verschillende bodemparameters die zijn ingevoerd voor de diverse bodemlagen weergegeven. In het model worden 8 verschillende geohydrologische lagen onderscheiden, waarbij de deklaag en het 1° watervoerend pakket verder zijn onderverdeeld in een aantal evenredig dikke modellagen. Daar waar een slecht doorlatende laag relatief dun is (< 2 meter), is deze niet toegekend aan de specifieke cel binnen die laag. Hierdoor komt de laag Sterksel klei 2 binnen modellaag 10 maar beperkt voor binnen het gebied.

In aanvulling op het in 2020 opgestelde grondwatermodel zijn laag 13 en 14 toegevoegd. Dit betreft een scheidende laag tussen het 1° en 2° watervoerend pakket (laag 13) en de bovenzijde van het 2° watervoerend pakket (laag 14). Voor het in beeld brengen van het voorkomen en de dikte van deze lagen is gebruik gemaakt van het REGIS v2.2-model van TNO en beschikbare diepe boorprofielen.

Tabel 1: Representatieve geohydrologische schematisatie (gemiddeldes modelgebied)

Model-laag	Diepte-traject (gemiddeld) m-mv		Bovenkant bodemlaag (gemiddeld) m t.o.v. NAP	Hoofdsamenstelling	Eenheid
1-3	0	- 18	17	Fijn zand met lokaal klei/ leem Boxtel	deklaag
4	18	- 22	-1	Klei Boxtel	Scheidende laag
5	22	- 27	-5	Fijn zand Boxtel	Overgangs-laag
6 – 8	27	- 62	-10	Grof zand/ grind Sterksel	1° watervoerend pakket – 1° etage
9 (lokaal)	62	- 63	-45	Klei/leem Sterksel	Scheidende laag
(9) 10 - 12	63	- 90	-46	Grof zand/ grind Sterksel	1° watervoerend pakket – 2° etage
13	90	- 95	-72	Klei/leem Stramproy	Scheidende laag
14	95	- 105	-77	Grof zand/ grind Stramproy	2° watervoerend pakket

Bodemparameters

Aan het model zijn waarden voor diverse bodemparameters toegekend. Dit betreft onder meer de horizontale doorlatendheid, anisotropiefactor, porositeit en bergingscoëfficiënten. Deze parameters zijn bepaald aan de hand van (veld)gegevens, en waar deze niet beschikbaar waren zijn deze gebaseerd op algemeen erkende literatuurwaarden. Voor een overzicht wordt verwezen naar de rapportage behorende bij de modelstudie.

Modelgrenzen en randvoorwaarden

Door gebruik te maken van “constant heads” zijn de langjarig gemiddelde stijghoogten als randvoorwaarden langs de modelranden vastgelegd in het 1° en 2e watervoerend pakket en de deklaag. Voor de initiële stijghoogte is gebruik gemaakt van het isohypsenpatroon voor de langjarig gemiddelde situatie.

Grondwateraanvulling

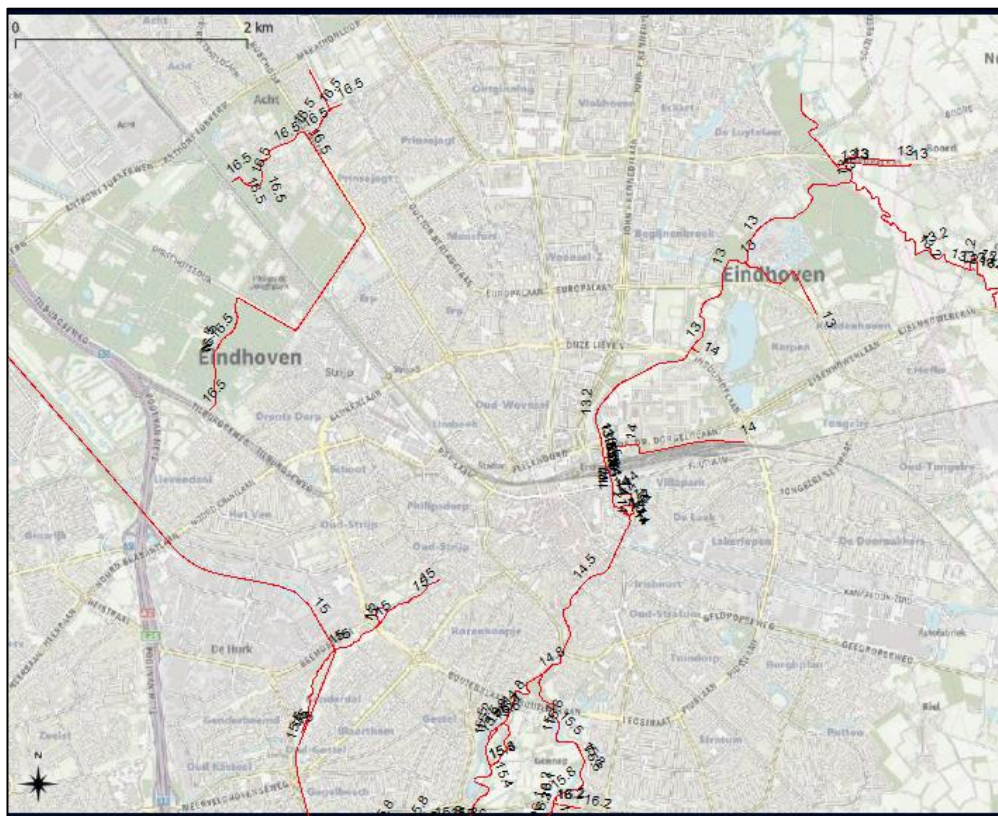
In het model wordt de grondwateraanvulling gesimuleerd door voor het gehele modelgebied aan te geven wat de netto neerslag is. Het betreft hier de neerslag na evapotranspiratie en oppervlakkige afstroming van het grondwater, waarvan de waarde is gebaseerd op algemene kentallen van het meest nabijgelegen meetstation van KNMI (Eindhoven) en een correctiefactor voor landgebruik.

In het model wordt uitgegaan van een constante hoeveelheid grondwateraanvulling en wordt onderscheid gemaakt tussen het onverhard en verhard gebied (gemiddeld 200 mm/jaar).

Ont-/ afwatering

Binnen het modelgebied zijn verschillende waterlopen gelegen. Daarnaast zijn binnen het modelgebied de IJzeren Man en Karpendonkse plas gelegen. Dit oppervlaktewater is in de bovenste modellagen opgenomen met de functie 'river' met een constant (maatgevend) peil per segment (zie figuur 4).

De hoeveelheid water die door een specifieke waterloop af- of aangevoerd wordt (in het modelgebied) is afhankelijk van de actuele grondwaterstand (die wordt berekend), het oppervlaktewaterpeil, de bodemhoogte en -breedte en de intree/uittreeweerstand van de waterbodem (die is opgebouwd uit de slibdikte en de doorlatendheid van de sliblaag). Deze waarden zijn per waterloop bepaald en aan het model opgelegd en vertaald naar representatief gemiddelde waarden per watersegment.



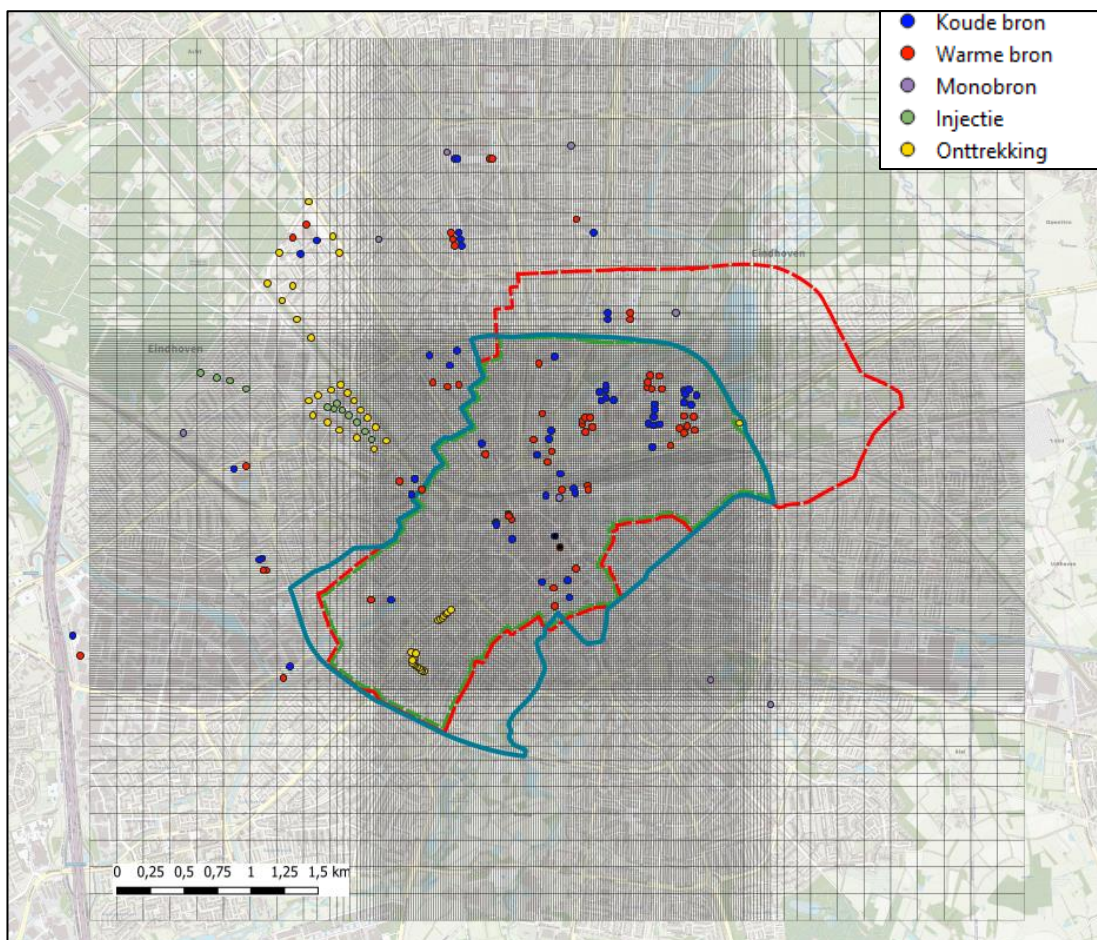
Figuur 4: Hoofdwaterlopen met vast waterpeil per segment in m + NAP (uit model).

Onttrekkingen en infiltraties

Uit de gegevens blijkt dat binnen het modelgebied een groot aantal open bodemenergiesystemen is geregistreerd (figuur 5). Het betreft overwegend doublet systemen en een kleiner aantal monobronnen. Deze systemen zijn in feite grondwaterneutraal, maar vaak wordt wel onttrokken voor spoelwatergebruik. In de nabijheid kunnen ze invloed hebben op het stromingspatroon in hoofdzakelijk het 1^e watervoerend pakket. Zo wordt in een koude bron onttrokken in de zomer en geïnjecteerd in de winter. In een warme bron is dit andersom. De meest grootschalige bodemenergiesystemen betreffen die op het TUE-terrein (6 clusters met ieder 5 bronnen) en het Sanergy-systeem op Strijp-S. De getoonde systemen zijn met de functie 'well' aan het model toegekend.

De drinkwaterwinningen van Brabant Water (Aalsterweg en Klotputten) zijn op de rand van het modelgebied gelegen, waarvan alleen de Aalsterweg voorkomt in het 1^e watervoerend pakket. Daarnaast zijn de beheersonttrekkingen ter plaatse van de Berenkuil, de Palingstraat en Hessen Kasselstraat opgenomen met de functie 'well' in het model. De drainage in het stationsgebied (Neckerspoeel) is in het model met de functie 'drain' opgenomen in modellaag 1. De drinkwaterwinning Aalsterweg is als een vaste stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket opgenomen in het model.

De locaties van een groot aantal systemen binnen het centrumgebied zijn in het veld gevalideerd en daarmee iets gewijzigd ten opzichte van de modelopzet in 2020. Daarnaast zijn drie nieuwe systemen toegevoegd, namelijk Enexis, Edge en Lichthoven, waarvan de gegevens zijn gebaseerd op de beschikbare watervergunningen.



Figuur 5: Raster en omvang van het modelgebied met situering onttrekkingen, injectiebronnen en bodemenergiesystemen (na validatie)

3.2 Opzet stoftransportmodel

In voorliggende paragraaf wordt een beknopte beschrijving gegeven van de gehanteerde transportparameters. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar voorgaande modelstudie.

Porositeit

De porositeit beïnvloedt het transport van opgeloste stoffen op twee manieren. Enerzijds heeft het invloed op de snelheid waarmee het grondwater zich “voortbeweegt” in de bodemlaag. Hiervoor is het meewerkend poriënvolume van belang. Daarnaast bepaalt het totale poriënvolume hoeveel er beschikbaar is in de bodemmatrix voor de opslag stoffen. Hiervoor is het totale poriënvolume van belang. Voor de porositeit is per bodemlaag een inschatting gemaakt op basis van in de literatuur beschikbare gegevens waarbij het meewerkend en totale poriëngehalte is gekoppeld aan de lithologie van de bodem.

Dispersie

Dispersie wordt veroorzaakt door de grilligheid van de bodem en de bewegingen die het grondwater hierdoor maakt wanneer het langs de bodemdeeltjes passeert. Hierdoor ontstaan er verschillen in stromingssnelheid waardoor waterdeeltjes tijdens de stroming in toenemende mate verder van elkaar verwijderd raken. Dit proces is in het model meegenomen.

Sorptie

De verspreiding van een verontreiniging wordt onder andere bepaald door de mate waarin de stoffen zijn geabsorbeerd aan de vaste fase. Het sorptie-evenwicht bepaalt hierbij hoe de verhouding is tussen de hoeveelheid stof in water en de hoeveelheid geabsorbeerd aan de grond. De sorptieconstante (K_{oc}) is een maat voor het sorptie-evenwicht aan de organische fractie in de bodem. De hoeveelheid organische fractie wordt ook wel uitgedrukt in het organisch (kool)stofgehalte (f_{oc}) in de grond. Op basis van de sorptieconstante, de bulkdichtheid en de porositeit van de bodem kan de retardatiefactor of vertragsingsfactor (R) worden berekend. Deze factor is een maat voor de snelheid waarmee de verontreiniging zich beweegt ten opzichte van de stroomsnelheid van het grondwater. De verontreinigingen verplaatsen zich in de bodem door retardatie minder snel dan het grondwater. Voor alle lagen is (worst-case) uitgegaan van de voor mineraal zand weergegeven kleine retardatiefactor.

Afbraak

De gehanteerde halfwaardetijd is mede gebaseerd op het zogenaamde Peilbuis 19 onderzoek van Arcadis uit 2015 en komt overeen met waarden die verwacht worden binnen het 1^e watervoerend pakket binnen de gemeente Eindhoven. In het model wordt daarbij uitgegaan van een worst-case hoge halfwaardetijd (~ kleine afbraaksnelheid).

Initiële concentraties

De initiële concentraties van VC zijn gebaseerd op de maximaal gemeten concentratie (voor zover bij ons bekend) per peilbuisfilter. De gemeten concentraties zijn vervolgens per laag geïnterpoleerd naar een vlakdekkende kaart, die als input dient voor de modelberekeningen. Bij deze interpolatie is per laag de gevalscontour als grens aangehouden (buiten deze contour de waarde 0). Hiervoor zijn dezelfde gevallen meegenomen als voor de modelstudie van het Centrumgebied voor de gemeente Eindhoven in 2020.

Nalevering VC vanuit brongebieden/zaklagen

Voor gebieden met nalevering van CIS en VC zijn die locaties in kaart gebracht waar sprake is van een duidelijk brongebied in de grond dan wel hoge concentraties in het grondwater met uitgangsubstanten PER, TRI dan wel afbraakproduct CIS.

Per locatie is het effect van nalevering nagebootst door per laag een concentratie toevoeren aan VC toe te kennen. In afwijking op de modelstudie in 2020 is bekend dat de sanering van de Witte Dame binnen 10 jaar is afgerond. Daarom is de nalevering vanuit de bron bij de Witte Dame in deze toetsing na 10 jaar op nul gezet.

Recirculatie VC in open bodemenergiesystemen

De aanwezige open bodemenergiesystemen hebben effect op stoftransport door een aantal processen. Een belangrijk proces is recirculatie, waarbij de verontreiniging in de ene bron wordt onttrokken en ongezuiverd wordt geïnfiltreerd in de andere bron. Een ander proces is ‘overspringen’ naar andere WKO-systemen, doordat deze binnen elkaars hydrologische invloedstraal (vaak groter dan thermische invloedstraal) zijn gelegen. Vanwege het voorkomen

van verontreinigingen binnen de invloedstraal van de bodemenergiesystemen is beoordeeld of deze effecten ook hier van toepassing kunnen zijn. Dit blijkt het geval voor een groot aantal bodemenergiesystemen. Het recirculatie-effect van de bodemenergiesystemen is in het model verwerkt door de concentratie van het onttrokken water van de ene bron terug te brengen in de aan die bron gekoppelde injectiebron. Hierbij is uitgegaan van individuele systemen (doubletten/ monobronnen).

4 Resultaten en interpretatie

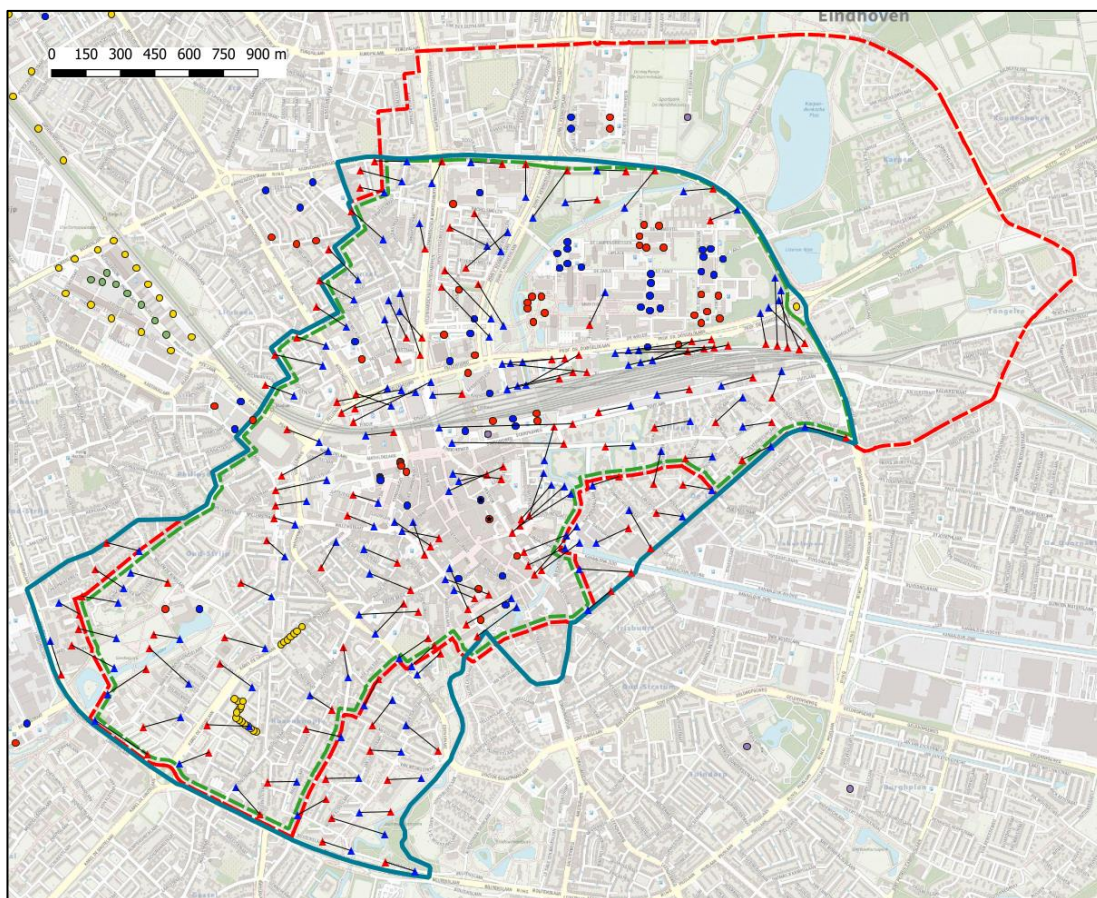
4.1 Algemeen

In navolgende figuren zijn de resultaten van het scenario 4-5 weergegeven. De getoonde door Geofoxx berekende concentraties betreffen de concentratie aan VC (de meest mobiele component en daarmee maatgevend voor de maximale verspreiding). De berekende concentraties worden getoond voor de lagen binnen zowel de 1^e etage (laag 6 en 10) als de 2^e etage (laag 12) van het 1^e watervoerend pakket en het 2^e watervoerend pakket (laag 14).

Opgemerkt wordt dat de modelopzet op een groot aantal aspecten ten aanzien van de verspreiding worst-case van aard is. Dit betreft onder meer de hoog ingeschaalde nalevering vanuit de brongebieden (behalve Witte Dame) en de recirculatiebronnen, beperkte afbraak en relatief sterke noordoostelijke stromingscomponent in het 1^e watervoerend pakket.

Voor het scenario 4-5 met de nieuwe (toekomstige) bronnen is uitgegaan van de volgende aspecten:

- Individuele systemen
- Filterstelling van 35 – 75 m-mv
- Een gemiddeld debiet van 225.000 m³/seizoen
- Locaties conform figuur 2.1



Figuur 6: Situering bronnen en bronparen conform scenario 4-5.

Noot: Bodemenergiebronnen kunnen op basis van het Masterplan worden geplaatst van 30 – 80 m-mv. Het 1e watervoerende pakket begint op circa 27 meter diepte en 80 meter is beleidsmatig de maximale diepte.

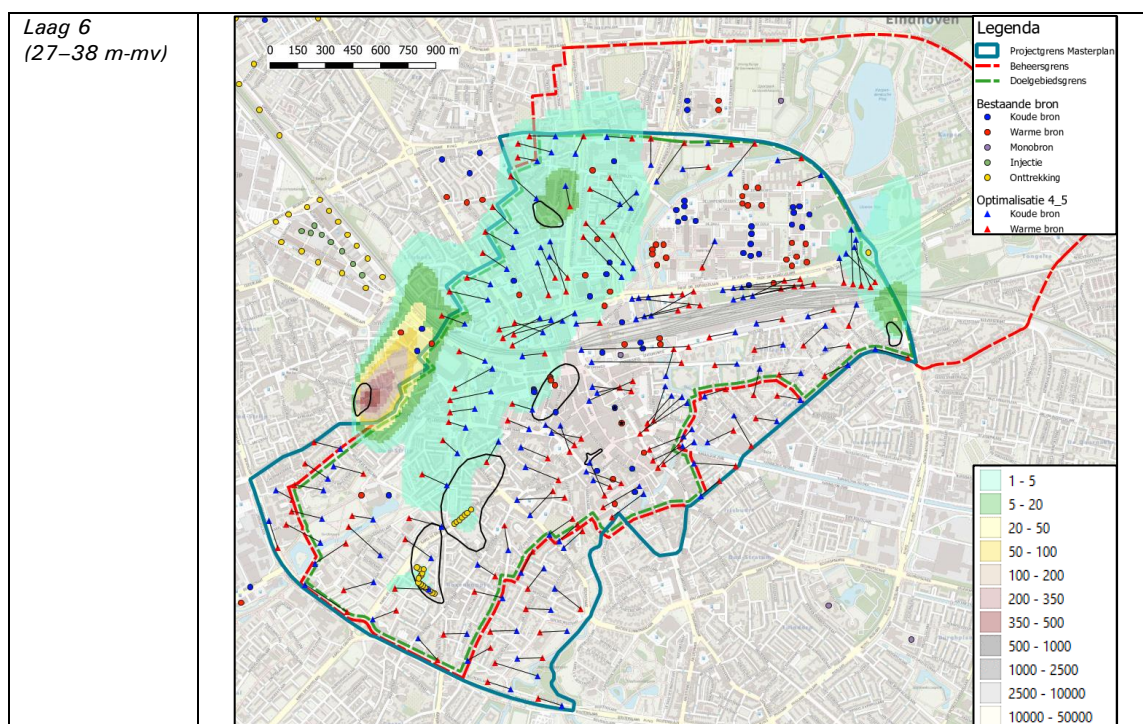
Bij het stellen van het filter van OBES bronnen wordt in de praktijk enkele meters afstand tot scheidende lagen gehanteerd. Aangezien in het beoogde 1e watervoerende pakket ook minder doorlatende of storende laagjes voorkomen, is het waarschijnlijk dat in de praktijk het filter niet over de volledige laagdikte van 50m wordt geïnstalleerd. Bij een korter filter zal het geïnfilterde water zich verder vanaf de bron verspreiden, wat daarmee ook grotere gevolgen heeft voor de verspreiding van de verontreiniging. Om de verspreiding van de verontreiniging niet te onderschatten is daarom in het GGB model een filterstelling van 35-75 m-mv gehanteerd.

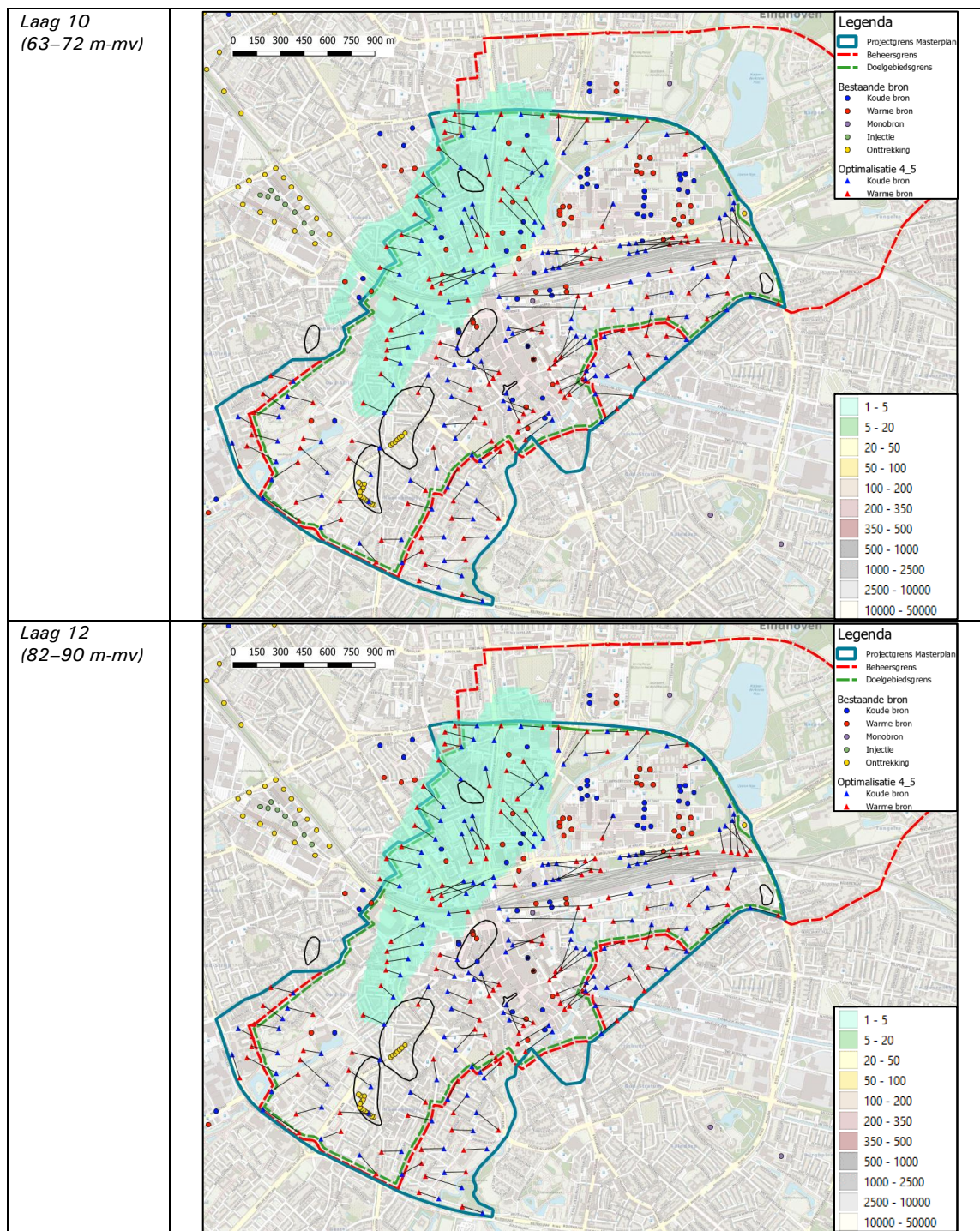
Navolgend zijn de meest relevante uitkomsten besproken. Hierbij is getoetst aan het Gebiedsplan Gebiedsgericht Grondwaterbeheer Eindhoven-Centrum (5 mei 2021). Hierin staat dat de concentratie aan verontreiniging op de beheergebiedsgrens maximaal de interventiewaarde mag bedragen. Dit is 5 µg/l voor VC.

4.2 1° watervoerend pakket

In navolgende figuur staan de resultaten van het 1° watervoerend pakket na 50 jaar. Hieruit blijkt dat op de beheersgrens aan de oostzijde van het centrumgebied de concentratie VC binnen 50 jaar nergens de 5 µg/l overschrijdt. Aan de westzijde overschrijdt de berekende concentratie de 5 µg/l alleen ter plaatse van De Bult in laag 6, ten gevolge van de instromende verontreiniging (De Bult). De maximaal berekende concentratie in laag 6 na 50 jaar op de grens bedraagt hier afgerond 150 µg/l. Opgemerkt wordt dat dit geval (De Bult) momenteel gesaneerd wordt, terwijl de berekende situatie daar nog niet van uit gaat. In de overige lagen en in laag 6 op het overige deel van de beheersgrens wordt na 50 jaar nergens de 5 µg/l overschreden.

In laag 10 en 12, eveneens onderdeel van het 1° watervoerend pakket, worden na 50 jaar binnen de gehele gebiedsgrens enkel concentraties aan VC (ruim) onder de 5 µg/l vastgesteld.

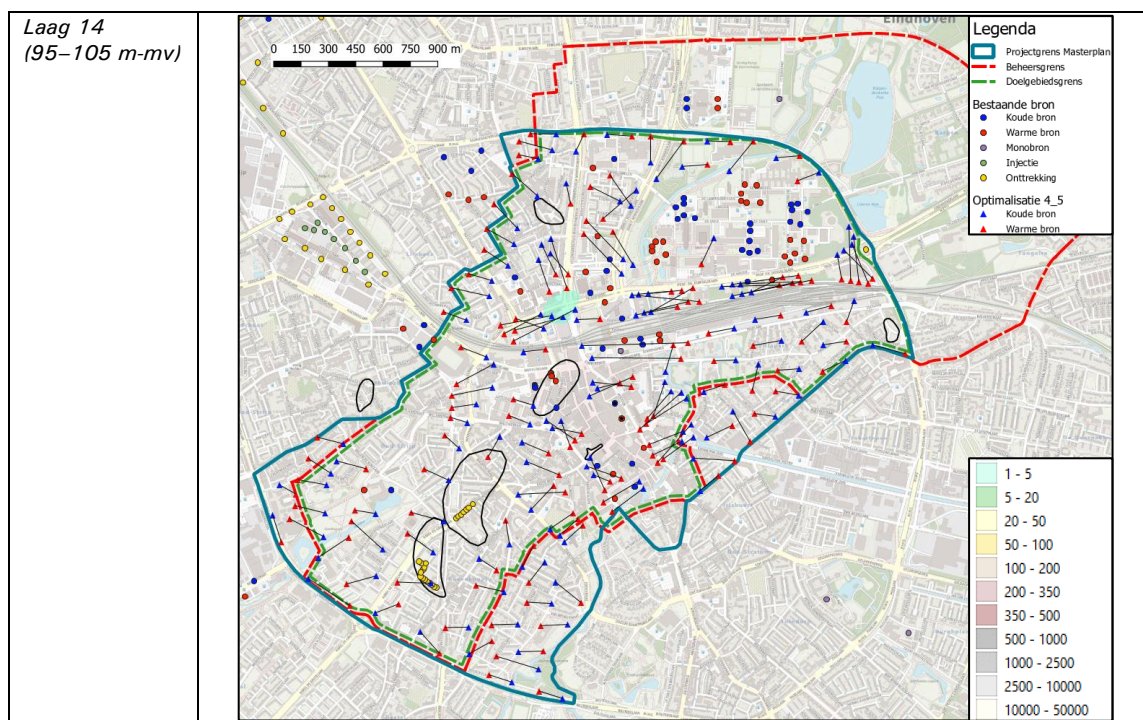




Figuur 7: Resultaten verspreidingsberekeningen 1^e watervoerend pakket

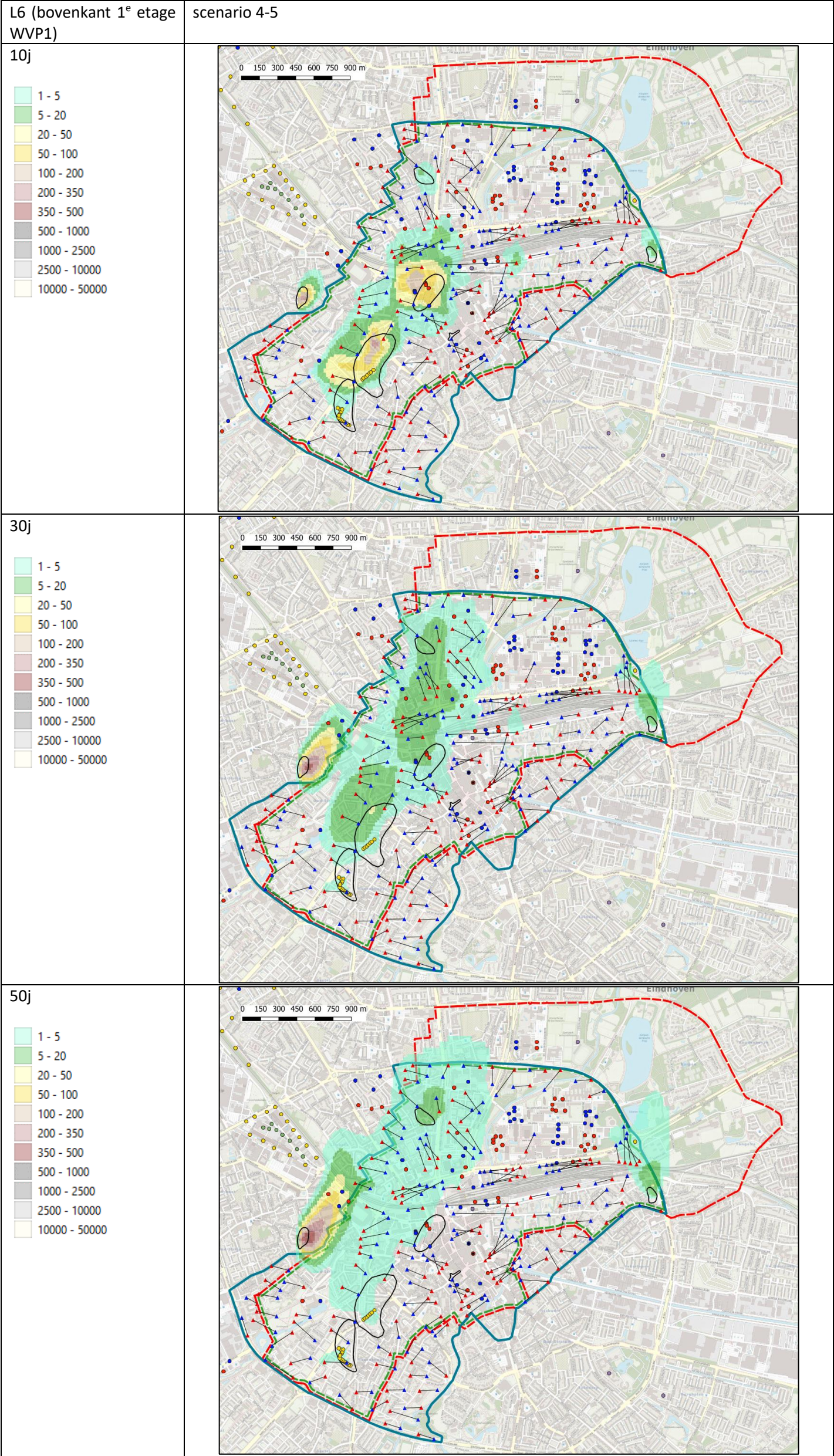
4.3 2^e watervoerend pakket

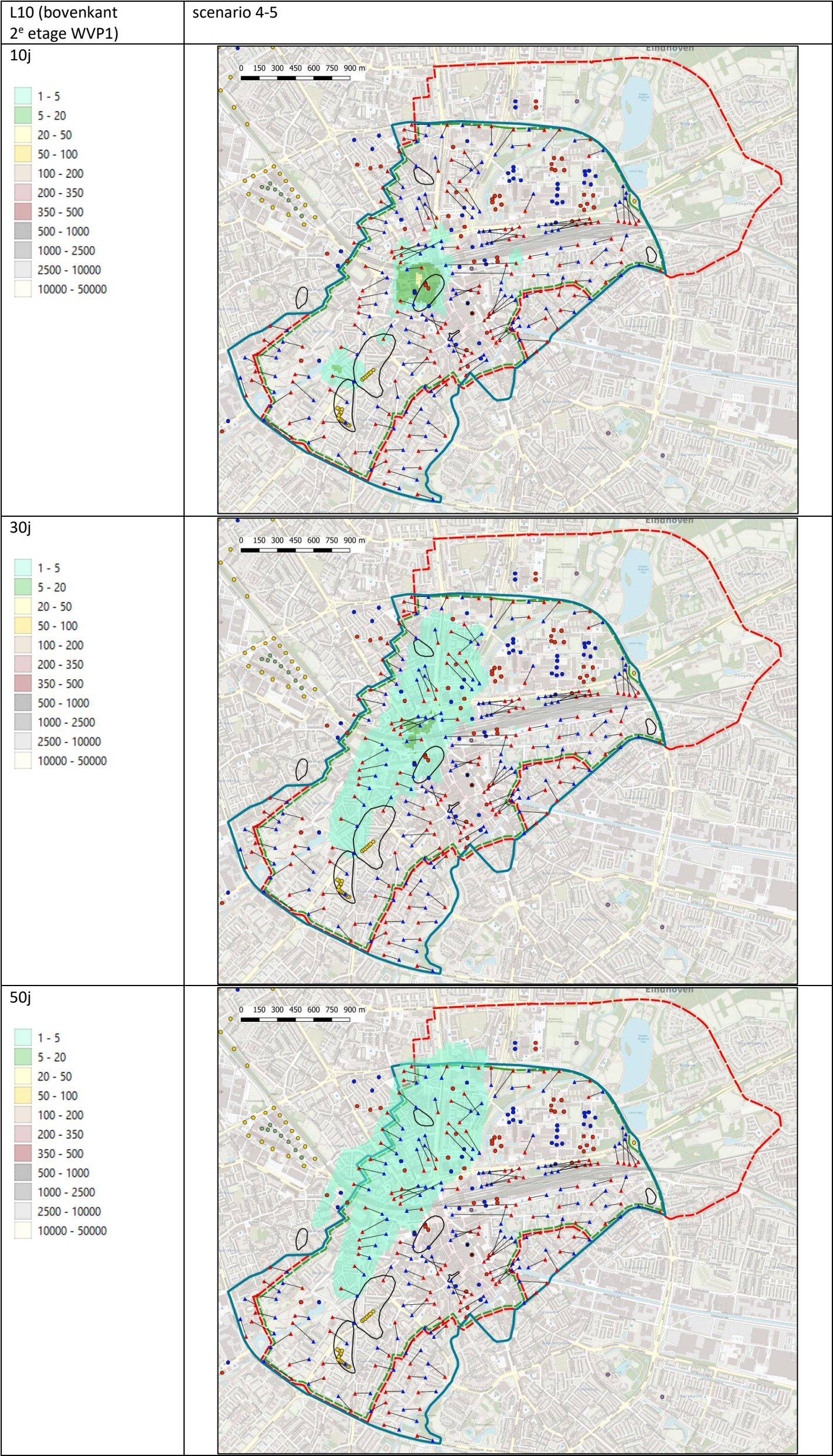
In navolgende figuur 8 staan de resultaten van het 2^e watervoerend pakket na 50 jaar. In het verlengde van de resultaten in laag 10 en 12, wordt bevestigd dat de concentratie VC op de verticale beheersgrens van het centrumgebied binnen 50 jaar nergens de 5 µg/l overschrijdt. De maximaal berekende concentratie VC bedraagt afgerond 1 µg/l.

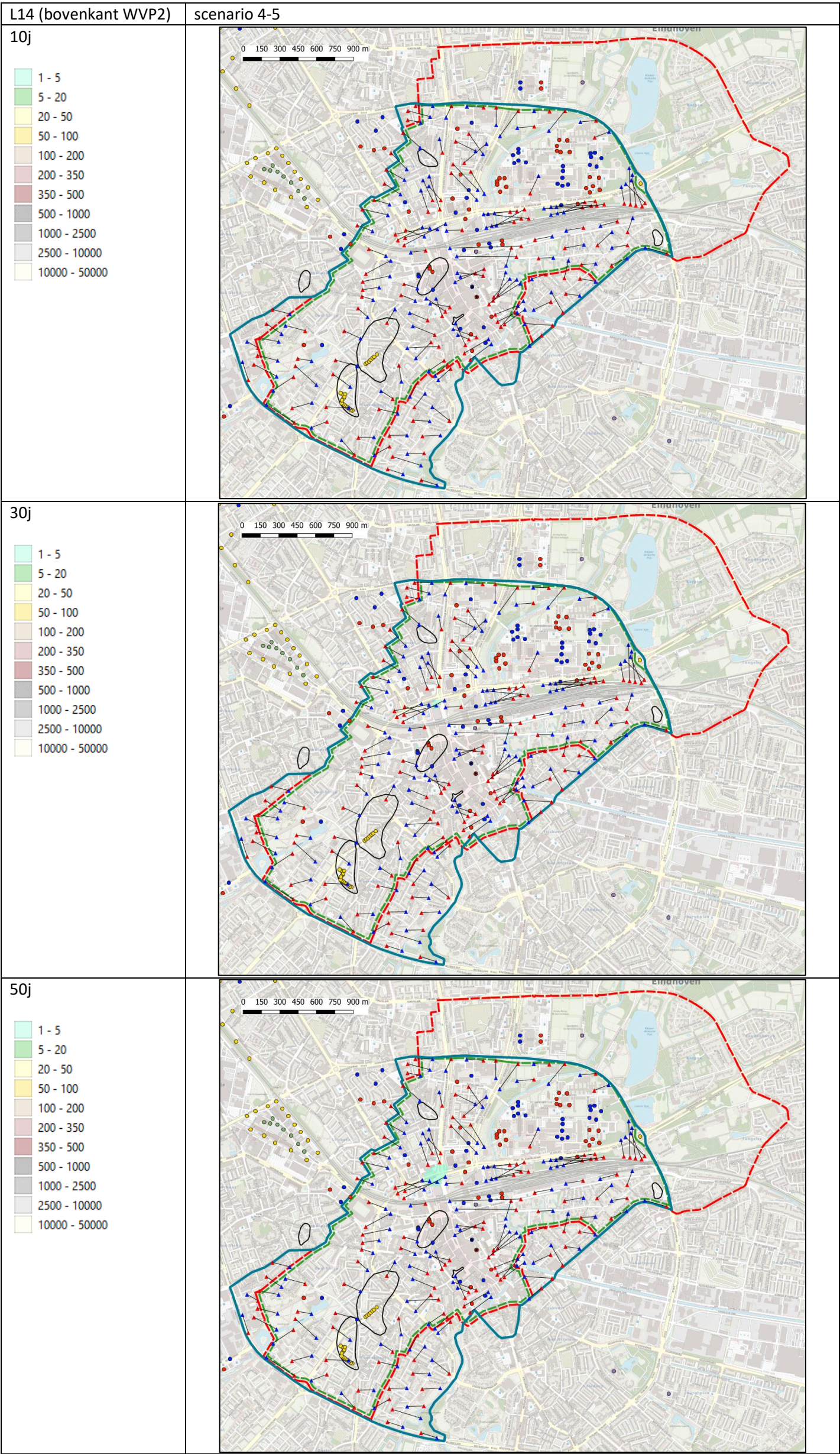


Figuur 8: Resultaten verspreidingsberekeningen 2° watervoerend pakket

Bijlage A: Resultaten







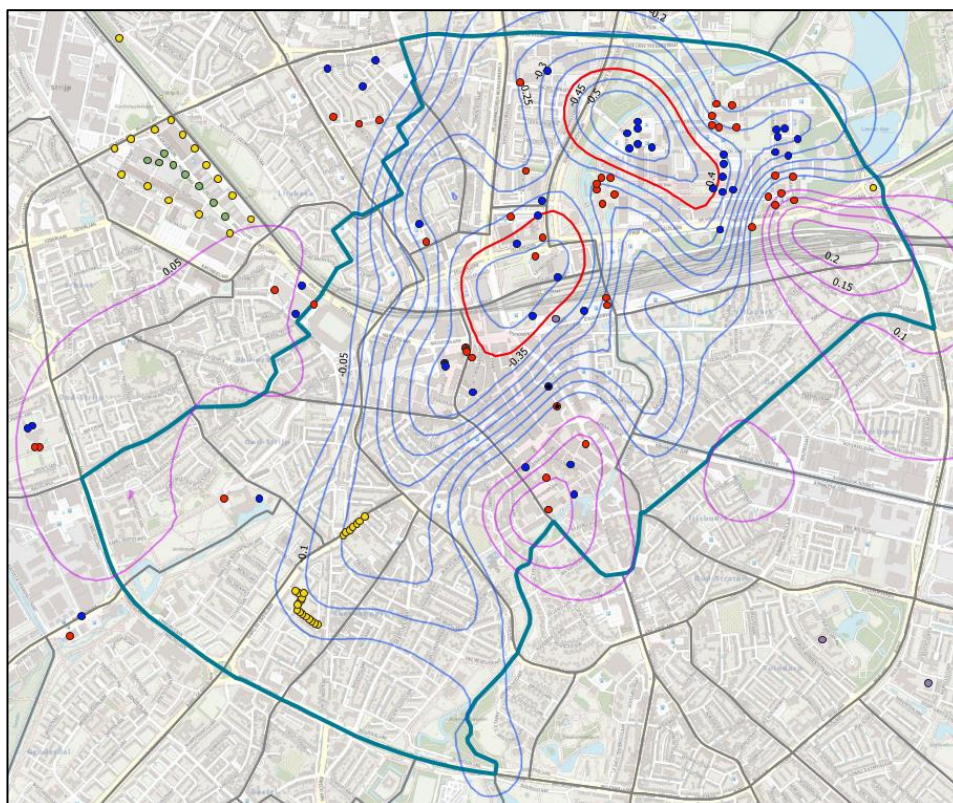
Bijlage IV: Hydrologische check grondwaterstanden

Geohydrologisch model

Om de hydrologische effecten van de OBES-systemen te kunnen berekenen, is gebruik gemaakt van het softwarepakket MLU. Meer informatie over MLU is te vinden op www.microfem.com. De invoerparameters zijn gebaseerd op de geohydrologische schematisatie in tabel 1 van het hoofddocument. De berekeningen zijn stationair en dus worstcase uitgevoerd. Dat wil zeggen dat in het model per doublet continu met maximaal debiet wordt onttrokken en geïnfiltrerd (150 m³/uur).

Grondwaterstandsveranderingen

In het graslandmodel is uitgegaan van standaard plaatsingsregels en het om en om (kruislings) plaatsen van warme en koude bronnen. De hydrologische effecten van een of meerdere kruislings geplaatste OBES op de grondwaterstanden zijn vrijwel verwaarloosbaar omdat de verlagingen van de onttrekkingen worden gecompenseerd door de verhogingen van de infiltraties en andersom. In een aantal deelgebieden is door het doorvoeren van optimalisaties en verdichtingen uitgegaan van het plaatsen van bronnen in clusters of stroken waardoor de cumulatieve hydrologische effecten in de clusters of stroken worden versterkt. In onderstaande figuur zijn de grondwaterstandswijzigingen als gevolg van de nieuwe OBES-systemen doorgerekend.



Figuur 1: cumulatieve grondwaterstandswijzigingen als gevolg van OBES-systemen (in rood de 40 cm-contour).

In figuur 1 is met een rode contour aangegeven waarbinnen een cumulatieve grondwaterstandverandering van 40 of meer cm kan optreden tot een maximum van maximaal circa 50 cm. Met name in het gebied rondom het Station Eindhoven Centraal is in natte perioden reeds sprake van incidenteel wateroverlast en zijn aanvullende beheersmaatregelen noodzakelijk.

Bijlage V: Resultaten modeltoetsen geoptimaliseerde indeling

Thermische toetsen

Het thermisch referentiemodel dat de basis vormt voor de plankaart en de ordeningsregels is in de volgende 4 iteratiestappen geëvolueerd:

- Versie 1: (Graslandmodel): bronnenconfiguratie van standaard OBES-systemen waarmee de ondergrond van Eindhoven maximaal wordt benut zonder beperkende factoren;
- Versie 2: model op hoofdlijnen aangepast op basis van het GGB-model (oplevering thermisch referentiemodel (einde fase 1));
- Versie 3: geoptimaliseerd en verdicht respectievelijk op basis van het GGB-model en de deelgebieden waarin de vraag significant groter is dan het maximale aanbod;
- Versie 4: laatste optimalisaties en verdichtingen in de diverse deelgebieden doorgevoerd gevolgd door een thermische toets;
- Versie 5: laatste optimalisaties t.a.v. ander temperatuurniveau WKO bronnen Heuvelgalerie (situering bronnen is op plankaart geduid) en het tussentijd vergunde OBES-systeem⁵ (Lichthoven) nabij het station in De Binnenstad doorgevoerd. Gevolgd door een ultieme thermische toets (zie ook bijlage II).

Op basis van de thermische toets die is uitgevoerd op het thermisch referentiemodel (versie 5) is geconcludeerd dat de inpassing van 152 nieuwe OBES-systemen binnen de projectgrens van het masterplan niet leidt tot ontoelaatbare thermische interactie of kortsluiting tussen bronnen, clusters of stroken.

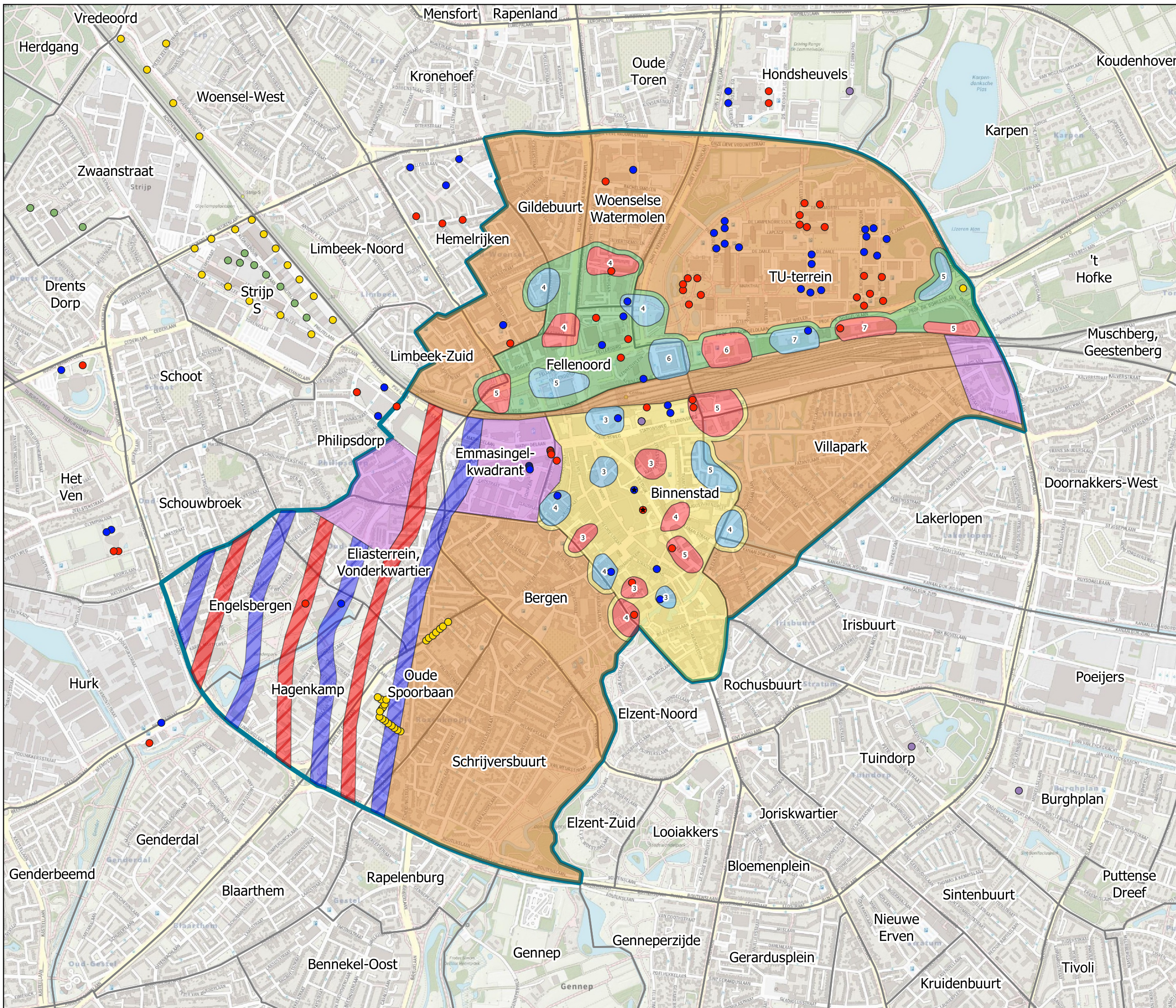
GGB toetsen

Op basis van de GGB toetsing (bijlage III) kan worden geconcludeerd dat de verontreiniging met VOCI op de horizontale beheersgrens vanuit het centrumgebied binnen 50 jaar nergens de 5 $\mu\text{g/l}$ voor VC overschrijdt. Aan de westzijde is wel een instromende verontreiniging vastgesteld. Opgemerkt wordt dat deze verontreiniging buiten de gebiedsgrens ligt en momenteel gesaneerd wordt, terwijl de berekende situatie daar nog niet van uit gaat.

In de diepere lagen van het 1^e watervoerend pakket (zogenaamde 2^e etage), worden na 50 jaar enkel concentraties (ruim) onder de 5 $\mu\text{g/l}$ vastgesteld. Op basis hiervan en met een extra toets voor het 2^e watervoerende pakket is berekend dat de verontreiniging binnen 50 jaar de verticale beheersgrens niet overschrijdt.

⁵ De warme bron van Lichthoven kent ook een afwijkende filterstelling van 25-55 m-mv ivm de nabij gelegen monobron van het Student hotel.

Bijlage VI: Plankaart



Legenda

- Projectgrens Masterplan en interferentiegebied
- Wijken
- Deelgebieden**
 - Fellenoord
 - Binnenstad
 - Overige gebieden (hier ook GBES onder voorwaarden mogelijk, elders niet)
 - Voorsnoea een bodemenergie Westzijde:
 - Bronnen zone koud
 - Bronnen zone warm

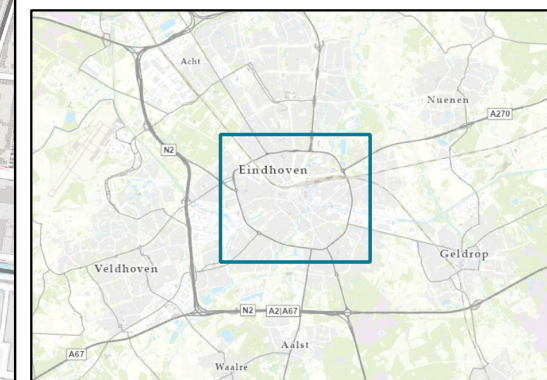
Zoekgebieden Binnenstad

- 4 Bronnencluster koud (met maximaal aantal bronnen)
- 4 Bronnencluster warm (met maximaal aantal bronnen)

Bestaande bronnen

- Koude bron
- Warme bron
- Monobron
- Injectie
- Onttrekking
- Warme en koude bron Heuvelgalerie werken op een ander temperatuurniveau dan alle overige WKO-bronnen

Overzichtskaart: 1:250.000



0 150 300 450 600 750 900 m

Omschrijving:
Plankaart en interferentiegebied

Project:
Masterplan Bodemenergie centrumgebied Eindhoven

Projectnummer:
20201032

Opdrachtgever:
Gemeente Eindhoven

Bijlage: - Datum: 14-1-2022
Schaal: 1:15.000 Tekenaar: SSTE
Formaat: A3

