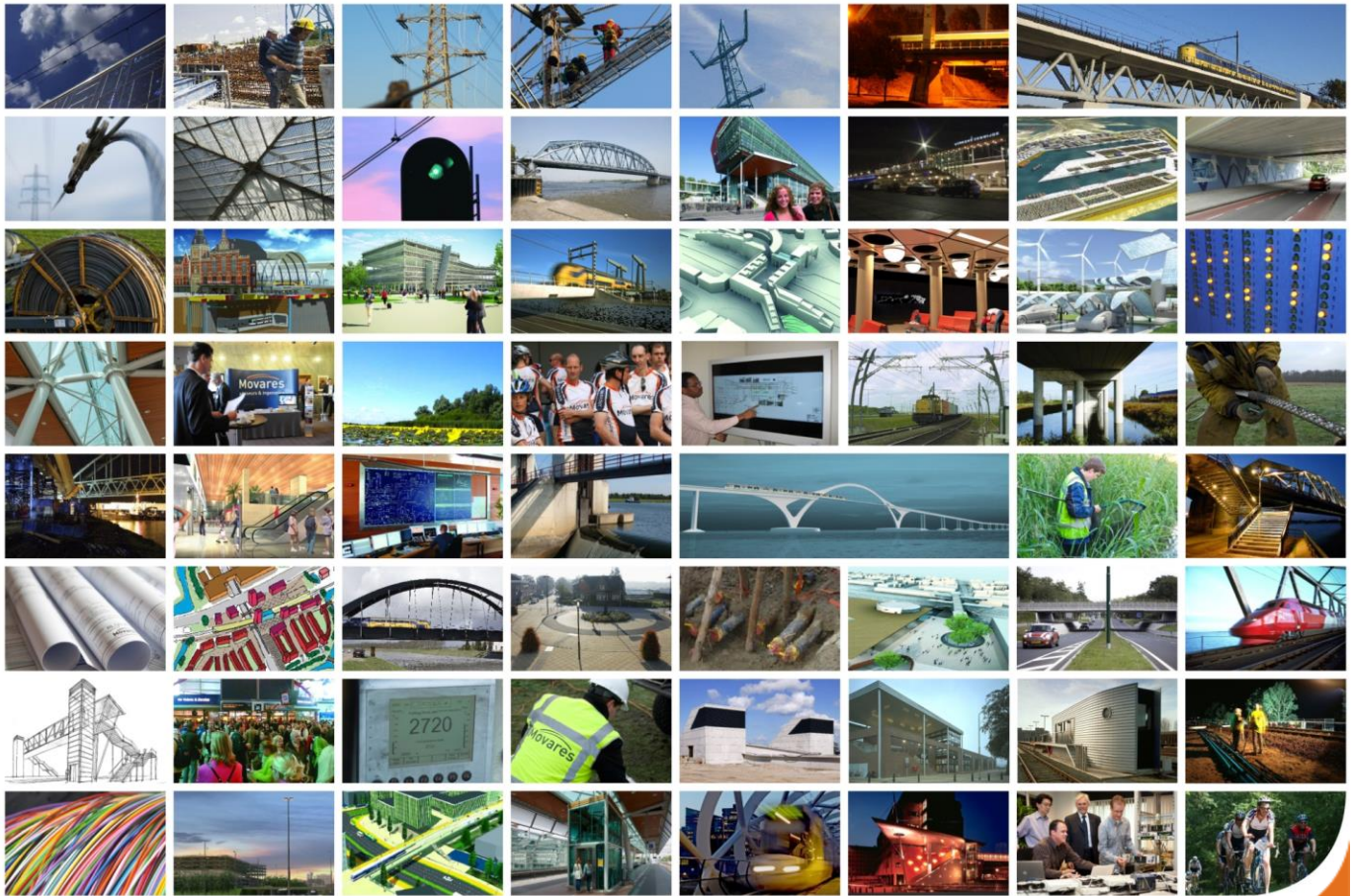




11 februari 2022 - Versie 1.0

Autorisatieblad

Eindhoven Stationsgebied Zuid

Integrale grondwateranalyse

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Alkemade GIJ (Govert)	✓	11-02-2022
Gecontroleerd door	Rivière, WW la	✓	11-02-2022
Vrijgegeven door	Vorm, PLJ van der	✓	11-02-2022

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.1	Alkemade GIJ	1 dec 2021	Conceptrapport
1.0	Alkemade GIJ	11 feb 2022	Feedback jan 2022 verwerkt

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Geohydrologische situatie	5
2.1	Bodemopbouw	5
2.2	Grondwaterstanden en stijghoogtes	6
2.3	Oppervlaktewater en drainage	6
2.4	Onttrekkingen en infiltraties	6
3	Ontwikkelingen	7
3.1	Inleiding	7
3.2	District-E	7
3.3	Fietskelder NS	8
3.4	Lichthoven kavel A	8
3.5	Lichthoven kavels C en D	9
3.6	EDGE Eindhoven	9
3.7	De Gender	10
4	Grondwatermodellering	11
4.1	Inleiding	11
4.2	Modelgebied	11
4.3	Schematisatie	11
4.3.1.	<i>Celgrootte</i>	11
4.3.2.	<i>Doorlatendheden</i>	12
4.3.3.	<i>Initiële grondwater-standen en stijg-hoogtes</i>	13
4.3.4.	<i>Oppervlaktewater</i>	13
4.3.5.	<i>Drainage</i>	15
4.3.6.	<i>Onttrekkingen en infiltraties (WKO's)</i>	16
4.3.7.	<i>Bestaande kelders Bijenkorf en station Eindhoven</i>	16
4.4	Kalibratie	17
5	Modelresultaten bemalingen	20
5.1	Uitgangspunten	20
5.2	Verlaging grondwaterstand	21
5.3	Verlaging stijghoogte	22
5.4	Invloed op WKO's	23
5.5	Zettingen	24
6	Modelresultaten grondwaterobstructie	25
6.1	Inleiding	25
6.2	Resultaten grondwaterobstructie zonder Gender	25
6.3	Resultaten grondwaterobstructie met Gender	26
7	Invloed op verontreinigingen	27
7.1	Inleiding	27
7.2	Methodiek	27
7.3	Verplaatsing verontreiniging deklaag	27
7.4	Verplaatsing verontreiniging 1 ^e watervoerende pakket	28
7.5	Invloed Gender	30

7.6 Invloed sanering Signify	30
8 Maatregelen	32
8.1 Inleiding	32
8.2 Bouwfase	32
8.2.1. Bewatering	32
8.2.2. Drainage	32
8.2.3. Retourbemaling	33
8.2.4. Schermbemaling	33
8.3 Permanente situatie	33
8.3.1. De Gender	33
8.3.2. Drainage	33
8.3.3. Aanleg doorlatende lagen	33
9 Conclusies	34
10 Referenties	35
Colofon	36

1 Inleiding

Ten zuiden van station Eindhoven verandert er veel in de komende jaren. Er wordt een nieuwe watergang aangelegd (de Gender), er worden meerdere nieuwbouwprojecten gerealiseerd, er komt een ondergrondse fietsenstalling bij het station en de openbare ruimte wordt opnieuw ingericht.

Het realiseren van deze nieuwbouwprojecten kan invloed hebben op de stroming van grondwater. Zeker omdat het veelal gaat om hoogbouw waar ook kelders onder komen, waarbij tijdelijke of permanente hulpwerken worden aangebracht in de ondergrond. Ook de ondergrondse fietsenstalling wordt gedeeltelijk of in zijn geheel gerealiseerd met diepe hulpwerken die achterblijven in de ondergrond. Door deze ontwikkelingen treedt barrièrewerking op voor het grondwater, waardoor een verhoging van de grondwaterstand kan optreden. De gemeente Eindhoven en waterschap de Dommel vinden een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand van 5 cm of meer onacceptabel.

Anderzijds heeft de nieuwe watergang (de Gender) ook effect op de grondwaterstanden in het gebied, want de Gender komt in contact te staan met het grondwater.

Tevens worden er voor meerdere projecten in het stationsgebied bemalingen toegepast die mogelijk gelijktijdig plaatsvinden waardoor het effect van de individuele bemalingen op de omgeving kan worden versterkt. Belangrijk hierbij is het beheersen van de verplaatsing van verontreinigingen in de ondergrond die zich in het gebied bevinden. Daarnaast kan er ook invloed zijn op de in het gebied aanwezige warmte-koude-opslag (WKO) van verschillende partijen.

In dit rapport worden het effect van de barrièrewerking, het terugbrengen van de Gender en de bemalingen in kaart gebracht aan de hand van een MODFLOW grondwater-modelstudie.

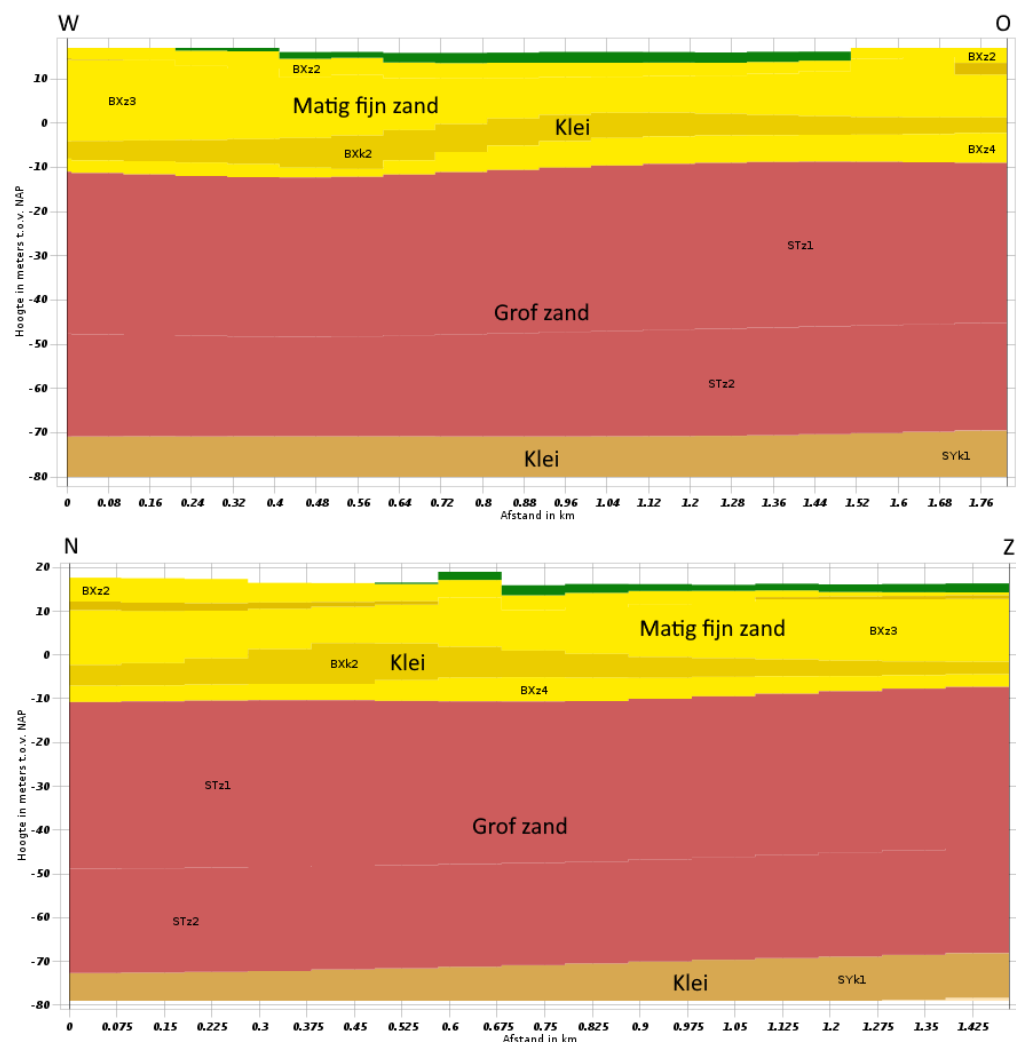
Omdat de uitvoeringswijzen van de verschillende projecten nog niet vast staan is voor nu uitgegaan van de meest waarschijnlijke uitvoeringswijzen (en/of meest maatgevende). Het kan echter gebeuren dat na het schrijven van deze rapportage de uitgangspunten zullen wijzigen.

2 Geohydrologische situatie

2.1 Bodemopbouw

Het modelgebied bevindt zich in de Centrale Slenk. De Centrale Slenk is een geologisch dalingsgebied dat wordt begrensd door de Peelrandbreuk in het oosten en de Feldbissbreuk in het westen. Beide breuksystemen zijn op aanzienlijke afstand van het modelgebied gelegen. In het Vroeg Pleistoceen stroomde de Rijn door de Centrale Slenk, waardoor vooral (grof)zandige afzettingen zijn afgezet met hier en daar kleilagen: de formatie van Sterksel. In de koude periodes binnen het Laat Pleistoceen werden voornamelijk eolisch zand en löss (formatie van Boxtel) afgezet. In warmere periodes werd in moerassen en vennetjes veen afgezet (formatie van Boxtel).

Een goed beeld van de regionale bodemopbouw volgt uit een doorsnede van het model REGIS II v2.2 (TNO) (zie Figuur 1).



Figuur 1: REGIS II v2.2 (TNO) Doorsnedes (oost-west en noord-zuid).

De deklaag (formatie van Boxtel) bestaat hoofdzakelijk uit matig fijn zand met enkele kleischollen. Lokaal wordt ook veen aangetroffen in de deklaag en met name aan de oostkant van het onderzoeksgebied bevindt zich rond NAP +13 á 14 m een wat dikkere leemlaag. De kleilaag tussen circa NAP +0 tot -10 m (BXk2 in Figuur 1) varieert in dikte en exacte diepteligging en is tevens niet geheel dekkend.

Het eerste watervoerende pakket bestaat uit de formatie van Sterksel en bevat homogeen grof zand met een relatief hoge doorlatendheid.

De geohydrologische bodem wordt gevormd op NAP -70 á NAP -75 m door de formatie van Stramproy. De kleilaag bovenin deze formatie vormt een slecht doorlatende laag met een zeer hoge weerstand die overal in het projectgebied aanwezig is.

2.2 Grondwaterstanden en stijghoogtes

De grondwaterstanden in het modelgebied variëren grofweg tussen de NAP +14,0 en NAP +16,5 m. In paragraaf 4.4 wordt nauwkeuriger gekeken naar de grondwaterstanden bij de kalibratie van het model. De stijghoogte in de omgeving van het projectgebied is over het algemeen iets lager dan de grondwaterstand waardoor water infiltreert naar het eerste watervoerende pakket. Er zijn echter locaties waar kwel plaatsvindt omdat er zich drainerende elementen in het landschap bevinden die de grondwaterstand zodanig verlagen dat de stijghoogte hoger is dan de grondwaterstand. Dit is het geval in het onderzoeksgebied waarbinnen alle kelders en diepwanden zullen worden gerealiseerd.

2.3 Oppervlaktewater en drainage

Het grootste oppervlaktewater in het modelgebied is de rivier de Dommel. De Dommel draineert het omliggende land en heeft een peil (onder normale condities) van NAP +14,5 m (ten zuiden van het modelgebied) tot NAP +13,2 m (ten noorden van het modelgebied). In paragraaf 4.3.4 is onderbouwd hoe de Dommel in het model is opgenomen. Het overige oppervlaktewater in het projectgebied bestaat uit kleine spoorsloten en het Eindhovensch Kanaal. Het Eindhovensch kanaal staat niet in verbinding met het grondwater en is hydrologisch geïsoleerd (*Onderzoek Grondwaterstromingspatroon Eindhoven Centrum-Noord, Grondmij, juni 2015*).

Ten noorden van station Eindhoven-centraal ligt drainage om te voorkomen dat het stationsgebied te drassig wordt bij zeer hoge grondwaterstanden. Het gedraineerde gebied heet de Neckerpoel en de drainage is aangelegd tijdens de wederopbouw van Eindhoven na WOII.

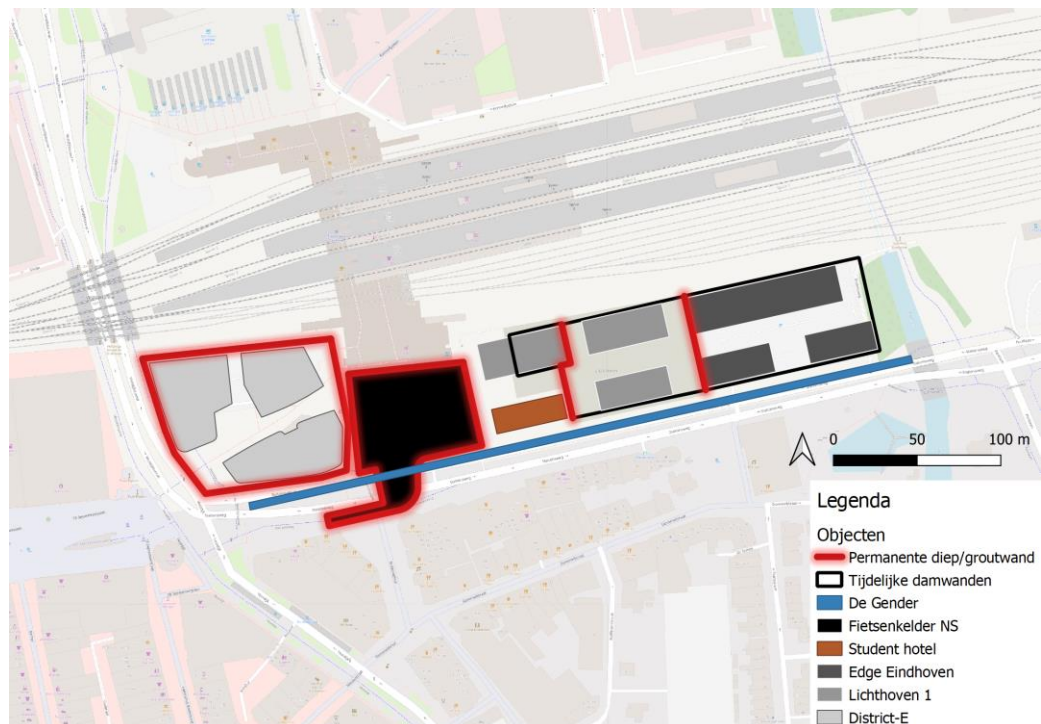
2.4 Onttrekkingen en infiltraties

In het modelgebied bevinden zich meerdere WKO-installaties in het eerste watervoerende pakket. Met name in het noordoosten van het projectgebied bevinden zich veel putten van de Technische Universiteit Eindhoven. In Figuur 6 zijn de infiltraties en onttrekkingen van de WKO's weergegeven.

3 Ontwikkelingen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verschillende ontwikkelingen in het onderzoeksgebied beschreven. Hierbij wordt ingegaan op de uitvoeringsmethode die op dit moment het meest waarschijnlijk wordt geacht. Ook is uit de bemalingsrapporten zoveel mogelijk relevante informatie gehaald. In Figuur 2 zijn de verschillende ontwikkelingen weergegeven. De debieten weergegeven in dit hoofdstuk, zijn de maatgevende debieten wanneer er meerdere scenario's zijn beschreven in de bemalingsadviezen, tenzij deze maatgevende debieten van korte duur zijn.



Figuur 2: Verschillende ontwikkelingen in het projectgebied.

3.2 District-E

District-E is een nieuwbouwproject dat bestaat uit drie hoogbouwtorens waarin woningen worden gerealiseerd. Onder deze drie torens zal een gemeenschappelijke doorlopende kelder van één laag komen.

Op het moment van schrijven (februari 2022) is het plan om de bouwput met ondoorlatende CSM-wanden uit te voeren tot circa NAP -2 m. In het rapport “Hydrologische beschouwing bemaling parkeerkelder District E, Royal Haskoning DHV, april 2019” wordt nog uitgegaan van damwanden in plaats van groutwanden. Hierdoor is het maatgevende debiet verminderd met het debiet dat door de damwanden zou stromen, maar dat met CSM-wanden niet zal doen. Rondom de groutwanden zal tijdens de aanleg van de kelder drainage aangelegd worden. Deze drainage zal eventuele opstuwing van het grondwater tegen de groutwanden hier begrenzen.

In Tabel 1 zijn de gegevens van District-E weergegeven, verkregen uit het bovengenoemde rapport. Er is gekozen voor CSM wanden om de invloed op de freatische grondwaterstand en de verplaatsing van de VOCL verontreinigingen te minimaliseren.

Tabel 1: Gegevens District-E.

Gegevens District-E	
Debiet [m ³ /uur]:	34
Type wanden [-]:	CSM wanden (blijven achter)
OK wanden bouwkuip [m NAP]:	-2 tot -5
Verlaging in bouwkuip [m NAP]:	9,65
Duur bemaling [maanden]:	9
Totaal waterbezwaar [m ³]:	220.000
OK achterblijvende constructie [m NAP]:	-2 tot -5
Geplande start bouw [-]:	Januari 2023

3.3 Fietskelder NS

De nieuwe fietsenstalling van station Eindhoven wordt ondergronds gerealiseerd. In Figuur 2 is de fietsenstalling in zwart aangeduid. Er komt een ingang aan de andere zijde van de Stationsweg die onder de Stationsweg en de Gender door zal lopen. De bemaling zal worden uitgevoerd met CSM-wanden, dat is op het moment van schrijven (februari 2022) het plan. De wand aan de stationszijde zal sowieso een CSM-wand worden, voor de overige wanden kan dit nog veranderen. In Tabel 2 zijn de gegevens van de fietskelder weergegeven. De gegevens zijn verkregen uit de notitie “Eindhoven CS, haalbaarheid toepassing bemaling fietsenstalling, Movares, maart 2021”

Tabel 2: Gegevens Fietskelder NS.

Gegevens Fietskelder NS	
Debiet [m ³ /uur]:	23 (2 maanden) en 15 (10 maanden)
Type wanden [-]:	CSM wanden (blijven achter)
OK wanden bouwkuip [m NAP]:	-1
Verlaging in bouwkuip [m NAP]:	Ca. 9,5
Duur bemaling [maanden]:	12
Totaal waterbezwaar [m ³]:	145.000
OK achterblijvende constructie [m NAP]:	-1
Geplande start bouw [-]:	December 2023

3.4 Lichthoven kavel A

De aanleg van Lichthoven kavels A, C en D zal niet tegelijk plaatsvinden. De bouw van kavel A zal eerder beginnen dan de bouw van kavel C en D.

In Tabel 3 zijn de gegevens van Lichthoven kavel A weergegeven. Deze gegevens zijn verkregen uit het rapport “Lichthoven Bouwdeel A aan het Stationsplein te Eindhoven, Inpijn Blokpoel, 11-12-2020”.

Tabel 3: Gegevens Lichthoven kavel A.

Gegevens Lichthoven kavel A	
Debiet [m ³ /uur]:	5 (15 weken) en 20 (3 weken)
Type wanden [-]:	Tijdelijke damwanden
OK wanden bouwkuip [m NAP]:	2
Verlaging in bouwkuip [m NAP]:	12,45
Duur bemaling [maanden]:	4 á 5
Totaal waterbezwaar [m ³]:	39.000
OK achterblijvende constructie [m NAP]:	14,35
Geplande start bouw [-]:	Juni 2022

3.5 Lichthoven kavels C en D

Lichthoven kavels C en D worden samen in een bouwkuip gerealiseerd. Deze bouwkuip zal deels uit permanente diepwanden bestaan en deels uit tijdelijke damwanden (in Figuur 2 weergegeven). De kelder zal uit 2 lagen bestaan. De gegevens voor Lichthoven kavels C en D zijn in Tabel 4 weergegeven en verkregen uit het rapport “*Lichthoven blok C en D aan de Stationsweg te Eindhoven, Inpijn Blokpoel, 15 november 2021*”.

Tabel 4: Gegevens Lichthoven kavels C en D.

Gegevens Lichthoven kavels C en D	
Debiet [m ³ /uur]:	30 (20 weken), 15 (8 weken) en 5 (18 weken)
Type wanden [-]:	Tijdelijke damwanden en permanente diepwanden
OK wanden bouwkuip [m NAP]:	0,5
Verlaging in bouwkuip [m NAP]:	12,45
Duur bemaling [maanden]:	10 á 11
Totaal waterbezwaar [m ³]:	135.000
OK achterblijvende constructie [m NAP]:	11,25
Geplande start bouw [-]:	Januari 2023 of later

3.6 EDGE Eindhoven

Het project EDGE Eindhoven bestaat uit een kantoorgebouw en een woongebouw met een gemeenschappelijke en doorlopende twee laags parkeerkelder. De uitvoering vindt plaats met tijdelijke damwanden. Ook zal een goed doorlatende laag van ca. 0,2 m onder de kelder aangelegd worden om het hydraulische contact te verbeteren en opstuwing van grondwater tegen te gaan.

In Tabel 5 zijn de gegevens van project EDGE Eindhoven weergegeven, verkregen uit het rapport “*Kantoorgebouw EDGE bemalingsadvies te Eindhoven, MOS Grondmechanica, 2 december 2020*” en “*watertoets Lichthoven fase 2 te Eindhoven, Royal HaskoningDHV, mei 2021*”.

Tabel 5: Gegevens EDGE Eindhoven.

Gegevens EDGE Eindhoven	
Debiet [m ³ /uur]:	45 (4 weken) en 30-35 (22 weken)
Type wanden [-]:	Tijdelijke damwanden
OK wanden bouwkuip [m NAP]:	2,5
Verlaging in bouwkuip [m NAP]:	10,7 tot 7,9
Duur bemaling [maanden]:	6
Totaal waterbezwaar [m ³]:	Ca. 150.000
OK achterblijvende constructie [m NAP]:	11,25
Geplande start bouw [-]:	Mei 2022

3.7 De Gender

De Gender is een voormalige beek die eind negentiende eeuw in het projectgebied is gedempt. De Gender stroomde uit in De Dommel. Binnen de plannen voor het stationsgebied wordt deze beek weer teruggebracht. Met behulp van stuwen zal ervoor worden gezorgd dat de Gender een watervoerende watergang zal zijn. Het peil van de Gender in het projectgebied komt op een niveau van NAP +14,8 m te liggen (*Hydraulische toetsing Gender, Gemeente Eindhoven, Juli 2021*).

Er is nog niet besloten hoe de wanden van de Gender gerealiseerd gaan worden. Dit gaat of met relatief diepere damwanden tot ca. NAP +9 m, of met L-wanden die minder diep reiken. Wel staat vast dat de bodem een open bodem wordt die in contact staat met het grondwater.

4 Grondwatermodellering

4.1 Inleiding

In overleg met opdrachtgever is ervoor gekozen gebruik te maken van een bestaand grondwatermodel (model Geofoxx). Dit is een MODFLOW-model dat in opdracht van de gemeente Eindhoven is gemaakt en de gehele gemeente als studiegebied heeft. Voor onderhavig onderzoek is echter alleen het stationsgebied van belang. Daarom is een nieuw model gemaakt met als uitgangspunt de modelschematisatie van het bestaande MODFLOW-model. Op 4 november 2021 zijn hiervan voor het onderzoeksgebied de inputbestanden ontvangen. Wanneer van de schematisatie van het reeds bestaande model wordt afgeweken zal dat in dit hoofdstuk worden benoemd.

4.2 Modelgebied

Als vuistregel in de geohydrologie wordt voor de bepaling van de reikwijdte de volgende formule gehanteerd:

$$\text{Afstand van ingreep tot de rand} > 3 * (k * D * C_{\text{deklaag}})^{0,5}$$

Met een $k * D$ van circa $90 \text{ m}^2/\text{dag}$ (deklaag) en een C_{deklaag} van 400 dagen leidt dit tot een straal van circa 570 m. Voor het model is een waarde van 600 m gehanteerd. Bij deze afstand wordt voorkomen dat geohydrologische ingrepen in de deklaag door de modelrand worden beïnvloed.

Het stationsgebied heeft een grootte van 210 bij 525 m. De grootte van het model wordt dan minimaal 1.410 m bij 1.725 m.

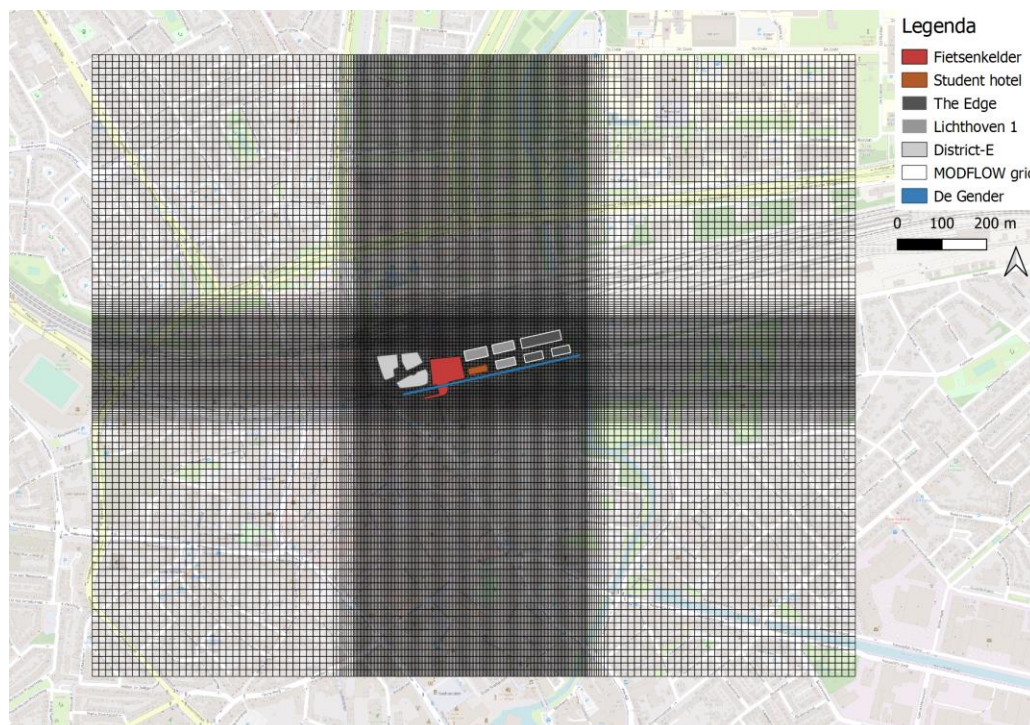
4.3 Schematisatie

4.3.1. Celgrootte

Het totale modelgebied omslaat 1.725 bij 1.410 meter en bevat 264 bij 159 gridcellen.

In het midden van het modelgebied hebben de gridcellen een grootte van 3 bij 3 meter. Alle ingrepen vallen binnen dit gebied met een hogere resolutie. Dit gebied is 525 bij 210 meter en bevat 175 bij 70 gridcellen.

Hieromheen is een gebied van 600 meter (paragraaf 4.2) gevuld met steeds grotere gridcellen tot maximaal 15 bij 15 meter om tot het totale modelgebied te komen. In Figuur 3 zijn de gridcellen van het model weergegeven.



Figuur 3: Gritcellen van het MODFLOW model

Verder zijn in het model 12 lagen gebruikt met een totale diepte van NAP +17 m tot NAP -90 m. De parameters en diktes van deze lagen worden in paragraaf 4.3.2 verder omschreven.

4.3.2. Doorlatendheden

De gebruikte parameters in het MODFLOW model zijn afgeleid uit REGIS II v2.2 en gelijk aan de gebruikte parameters van het Geofoxx-model, zie onderstaande tabel.

Tabel 6: Parameters van de modellagen

Model -laag	BK laag [m NAP]	OK laag [m NAP]	Dikte [m]	Hoofd- samenstelling	Kx/Ky [m/d]	Kz [m/d]	Weerstand C [d]
1	17	11	6	Fijn zand met	5	1*	6*
2	11	5	6	lokaal	5	1	6
3	5	-1	6	klei/leem	5	1	6
4	-1	-5	4	Klei/leem	0,02	0,02 **	200**
5	-5	-10	5	Fijn zand	5	1	5
6	-10	-19	9	Grof zand	50	20	<1
7	-19	-28	9		50	20	<1
8	-28	-37	9		50	20	<1
9	-37	-45	8		50	20	<1
10	-45	-46	1	Klei/leem	0,5	0,05	20
11	-46	-68	22	Grof zand	50	20	<1
12	-68	-90	22		50	20	<1

*In de omgeving van Lichthoven A, C en D en EDGE Eindhoven is gerekend met een waarde van 0,1 m/d en weerstand van 60 dagen omdat hier in het grondonderzoek ondiepe leemlagen zijn gevonden.

**In het model van Geofoxx is gerekend met 0,01 en 400 dagen, in het stationsgebied is 200 dagen een realistischere waarde (zie paragraaf 4.4).

4.3.3. Initiële grondwaterstanden en stijghoogtes

Voor de initiële stijghoogtes en grondwaterstanden zijn de peilbuizen gebruikt die ook door Geofoxx zijn gebruikt om initiële waardes uit af te lezen. Hierbij zijn de gemiddelde waardes voor de winter gebruikt omdat dit de maatgevende situatie is voor verhogingen van de grondwaterstand bij obstructie (wateroverlast). Voor iedere cel in het model is door middel van interpolatie een waarde bepaald. De interpolatiemethode is triangle-interpolation.

Langs de randen van het model zijn de stijghoogtes in laag 6 t/m 12 tevens als vaste stijghoogte (fixed head) als randvoorwaarde opgelegd.

4.3.4. Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater in het modelgebied is door middel van het Rivers-package in het model gezet. Het peil en de ligging van de watergangen zijn van Geofoxx ontvangen en met twee aanpassingen in het model overgenomen.

De eerste aanpassing betreft het Eindhovens kanaal dat niet is meegenomen in het MODFLOW-model. Dit is gedaan omdat het kanaal nagenoeg hydrologisch geïsoleerd is en daarmee niet in contact staat met het grondwater (bron: Onderzoek Grondwaterstromingspatroon Eindhoven centrum-noord, Grontmij, 2015).

De tweede aanpassing betreft de spoorsloot in het noordoosten van het modelgebied. Deze spoorsloot is ook niet meegenomen in het model omdat deze in de verkregen inputfiles een peil van 14 m had, terwijl dit volgens de AHN 4 eerder 15,5 m is. Tevens is de spoorsloot grotendeels een duiker die geen interactie heeft met het grondwater.

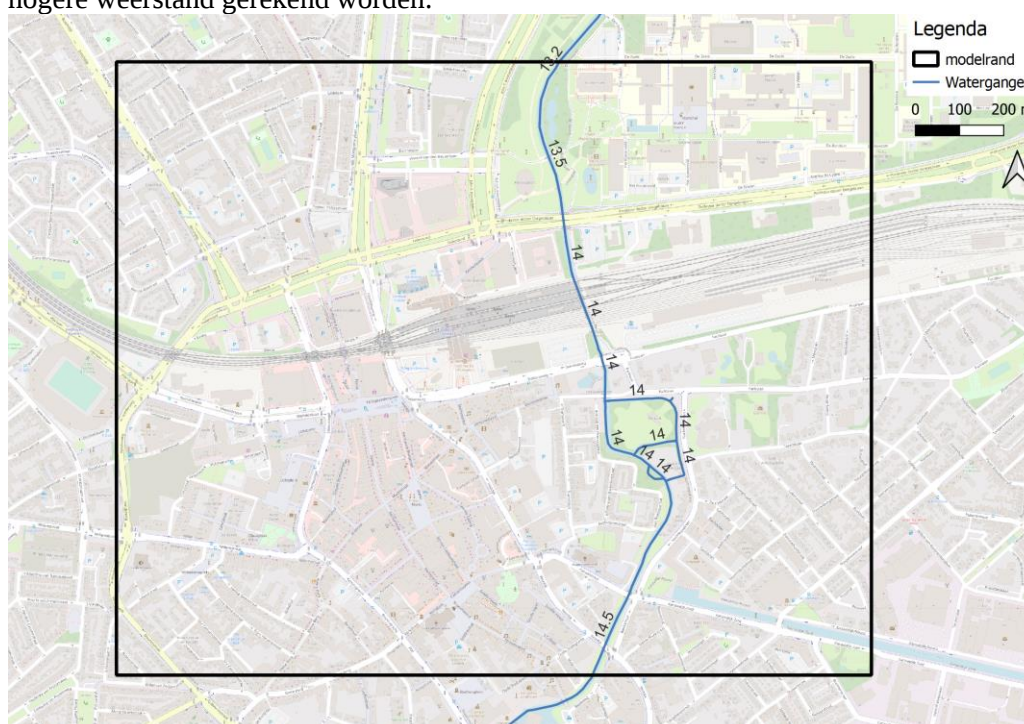
Voor het overige oppervlaktewater (Dommel-zijrivieren) is de weerstand (C) van de bodem berekend met volgende formule:

$$C = (0,2 \text{ (kz in m/d)} * \text{bodembreedte}) / 0,2 \text{ (dikte sliblaag)}$$

In Figuur 4 zijn de watergangen weergegeven die in het model zijn gebruikt.

Bij het toevoegen van de Gender in het model is voor de bodem geen sliblaag aangenomen gezien de Gender vooral een drainerende werking zal hebben. In plaats daarvan is uit het grondwaterzakboek (2016) de bodemweerstand van een drainerende sloot met regelmatige stroming in zand (1 dag) gebruikt.

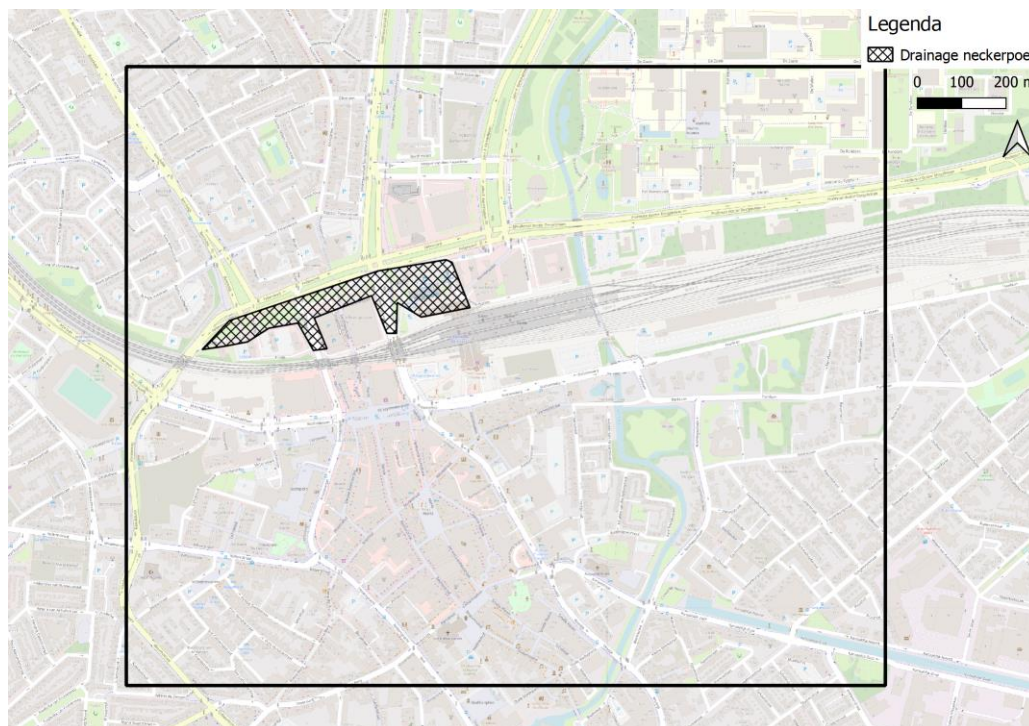
Afhankelijk van het type kademuren en de diepte van de kademuren kan dit wellicht hoger zijn. In een later stadium wordt hier verder naar gekeken en zal ook met een hogere weerstand gerekend worden.



Figuur 4: Watergangen en waterpeilen in het MODFLOW-model

4.3.5. Drainage

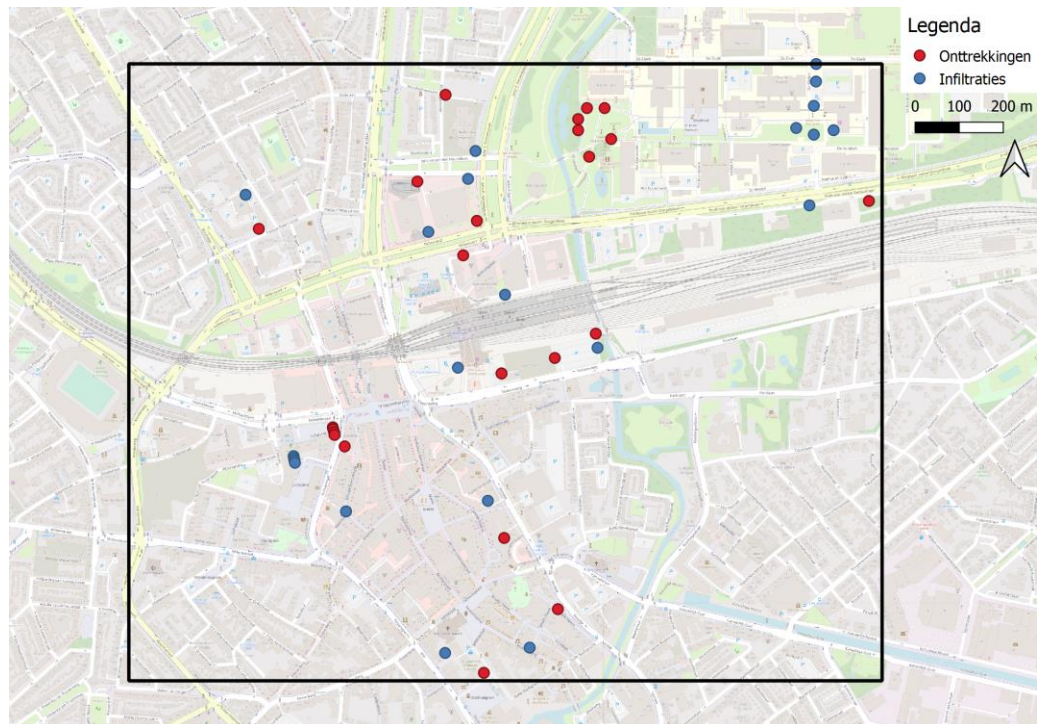
De drainage in het modelgebied (Neckerpoel ten noorden van station Eindhoven CS) is met de Drain-package in het model gezet. De contour van het gedraineerde gebied is ontvangen van Geofoxx en onveranderd overgenomen. Het peil van de drainage in het stationsgebied staat volgens de ontvangen gegevens vast op NAP +14,0 m. Dit peil komt echter niet goed overeen met de gemeten grondwaterstand (peilbuis B51G2568) in de deklaag ter plekke. Daarom is besloten dit peil op NAP +14,4 m vast te zetten waardoor metingen en model beter overeenkomen. In Figuur 5 is de ligging van de drainage in het modelgebied weergegeven.



Figuur 5: Drainage in het MODFLOW-model

4.3.6. Onttrekkingen en infiltraties (WKO's)

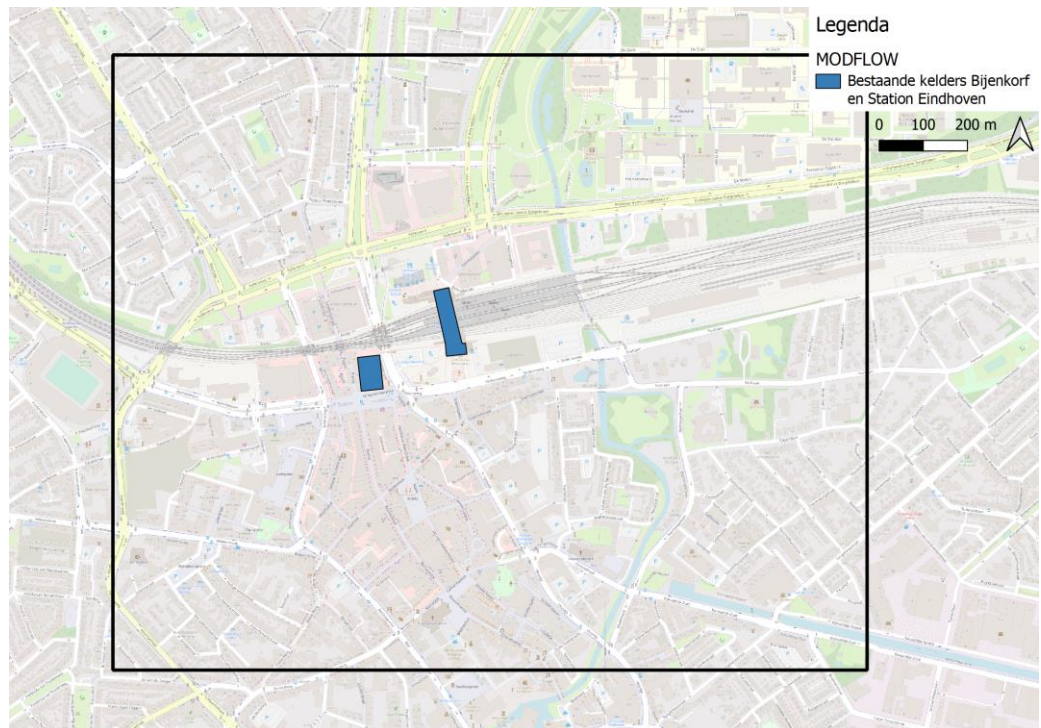
De onttrekkingen en infiltraties (voornamelijk WKO's) zijn met de Well-package in het model gezet. De locaties en debieten van de onttrekkingen/infiltraties hebben wij van Geofoxx verkregen en zijn zonder aanpassingen in het model overgenomen. In Figuur 6 zijn de onttrekkingen en infiltraties weergegeven. De WKO van het Student Hotel heeft een mono bron met een filter van NAP -10 tot -35 en een filter van -45 tot -60 m. De WKO's zijn onder winterbedrijf opgenomen in het model. De toekomstige bronnen van EDGE Eindhoven en Lichthoven A, C en D zijn niet in het model opgenomen.



Figuur 6: Onttrekkingen en infiltraties in het MODFLOW model.

4.3.7. Bestaande kelders Bijenkorf en station Eindhoven

In het model zijn twee grote bestaande kelders opgenomen in de directe omgeving van de projecten. Deze kelders zijn de parkeergarage onder de Bijenkorf ten westen van het projectgebied en de onderdoorgang onder het station Eindhoven. In Figuur 7 zijn de bestaande kelders weergegeven. Beide kelders zijn enkel in de bovenste laag van het model gezet.

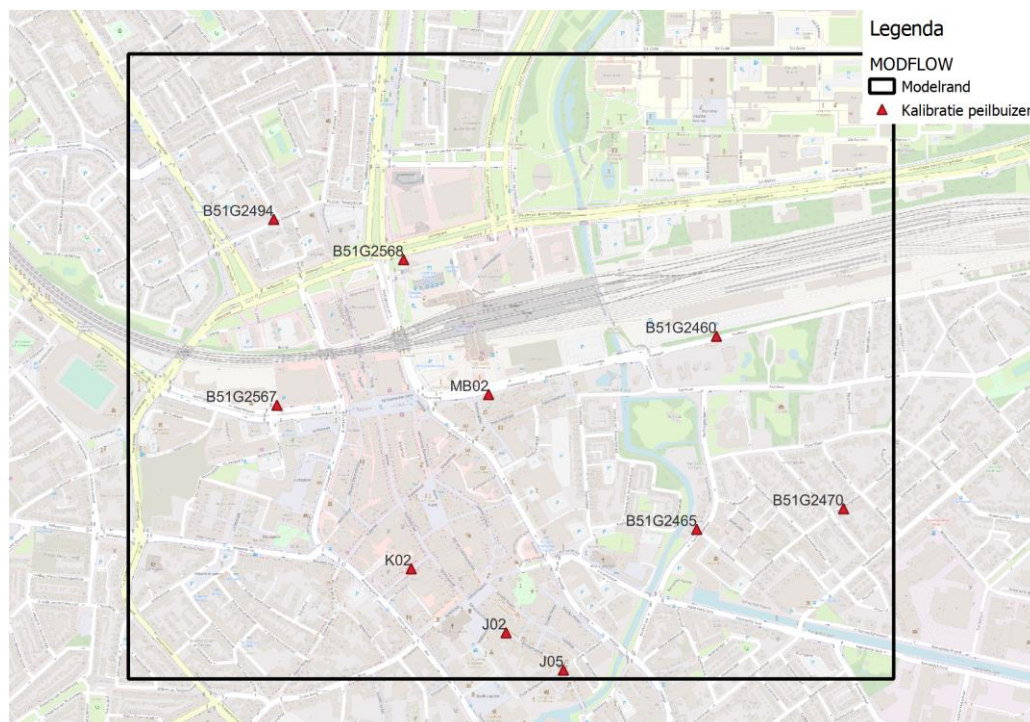


Figuur 7: bestaande kelders in het MODFLOW model.

4.4 Kalibratie

Om te toetsen hoe goed het model overeenkomt met gemeten waarden zijn 10 peilbuizen met een filter in de deklaag gekozen en zijn voor deze peilbuizen de gemiddelde wintergrondwaterstand (oktober t/m maart) van de laatste 5 jaar (soms minder dan 5 jaar wanneer minder lange tijdreeksen beschikbaar) berekend. De gegevens zijn verkregen via het portal van de gemeente Eindhoven (<https://grondwater.webscada.nl/eindhoven/>)

Uitzondering is peilbuis MB02: deze metingen zijn door ProRail verzameld in het kader van het onderzoek ten behoeve van de aanleg van de fietsenstalling. De locatie van de gebruikte peilbuizen zijn weergegeven in Figuur 8.



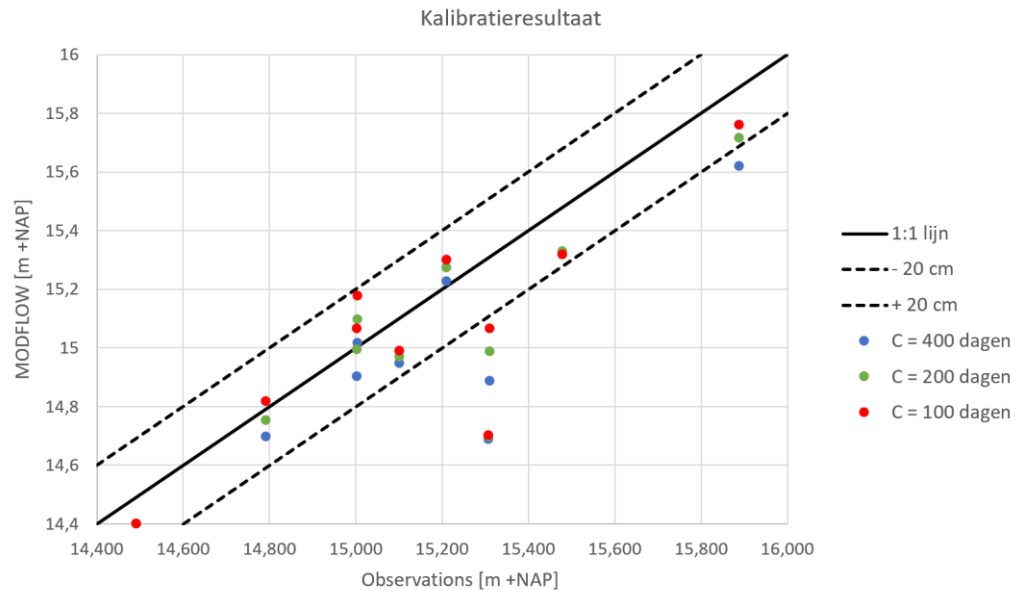
Figuur 8: Kalibratie peilbuizen.

In Tabel 7 zijn de gegevens van de peilbuizen weergegeven.

Tabel 7: Overzicht gebruikte kalibratie peilbuizen.

Peilbuis	X	Y	Gemiddelde grondwaterstand winter [m NAP]	Meetperiode
J05	161642	382990	15,00	03-2018 tot 09-2021
J02	161514	383073	15,21	03-2018 tot 09-2021
K02	161302	383216	15,48	03-2018 tot 09-2021
B51G2567	161002	383581	15,10	09-2016 tot 09-2021
B51G2568	161285	383906	14,49	09-2016 tot 09-2021
B51G2494	160995	383996	15,31	09-2016 tot 09-2021
B51G2470	162268	383350	15,89	09-2016 tot 09-2021
B51G2460	161983	383735	15,31	09-2016 tot 09-2021
B51G2465	161940	383304	14,79	09-2016 tot 09-2021
MB02	161475	383605	15,00	02-2020 tot 05-2021

Voor de weerstand van de eerste scheidende laag (laag 4 in het model) zijn meerdere waarden doorgerekend omdat in het grondonderzoek binnen het modelgebied vaak een minder dikke laag leem/klei aangetroffen wordt. Daarom is voor de weerstand een waarde van 400 dagen (Geofoxx model), 200 dagen en 100 dagen doorgerekend en vergeleken met de metingen van de peilbuizen in het modelgebied. In Figuur 9 is voor iedere peilbuis weergegeven hoe het model presteert ten opzichte van de verwachte grondwaterstand op die locatie.



Figuur 9: Kalibratieresultaat met een weerstand van 100, 200 en 400 dagen.

Over het algemeen komt het model op de meeste plekken goed overeen met de metingen van de 10 kalibratiepeilbuizen. Voor 2 peilbuizen is dit echter niet het geval. Ter plekke van peilbuis B51G2494 voorspelt het model een circa 60 cm lagere grondwaterstand dan in werkelijkheid gemeten wordt. Ter plekke van peilbuis B51G2460 voorspelt het model een 42 tot 24 cm lagere grondwaterstand dan gemeten wordt afhankelijk van de gebruikte weerstand van de eerste scheidende laag. De gemeten grondwaterstanden van de andere acht peilbuizen verschillen minder dan 20 cm met wat in het model is berekend.

Peilbuis B51G2494 en B51G2460 liggen beiden wat verder van het gebied met de ontwikkelingen daarin: peilbuis B51G2494 ligt ten noorden van het gedraineerde gebied, peilbuis B51G2460 ligt ten oosten van de Dommel. Het wordt als acceptabel beschouwd dat het model en de observaties van deze peilbuizen verschillen.

Bij een weerstand van 400 dagen lag de grondwaterstand voor vrijwel alle peilbuizen in het model te laag ten opzichte van de gemeten waarden, met een gemiddeld verschil tussen de observaties en de gemodelleerde waarde van 19,4 cm.

Bij een weerstand van 200 dagen gaat de grondwaterstand bij de meeste peilbuizen omhoog en komen de gemodelleerde waarden beter in de buurt van de gemeten waarden. Het gemiddelde verschil tussen het model en de observaties is bij een weerstand van 200 dagen nog maar 16,8 cm. Ook komt de grondwaterstand rondom de nieuwe ontwikkelingen hier het best overeen met observaties. Om deze reden is ervoor gekozen om het model te draaien met deze lagere weerstand van 200 dagen.

Bij een weerstand van 100 dagen wordt het gemiddelde verschil tussen model en observaties weer iets groter met 16,9 cm en is de grondwaterstand met name in het gebied waarin de kelders en wanden in de ondergrond komen te hoog ten opzichte van de waarnemingen.

5 Modelresultaten bemalingen

5.1 Uitgangspunten

Met de verzamelde gegevens uit de bemalingsrapporten en watertoetsen van de verschillende projecten is een worst-case scenario gecreëerd waarin alle bemalingen op hetzelfde moment plaats zouden vinden. De debieten van de bemalingen die in hoofdstuk 3 zijn genoemd, zijn afhankelijk van het type en de diepte van de wanden anders toegepast in het model. In Tabel 8 is weergegeven hoe de bemalingen in het model zijn toegepast. District-E en de fietsenstalling zullen door de diepe ondoorlatende wanden voornamelijk water van onderaf aantrekken waardoor dit debiet boven in het eerste watervoerende pakket is gesimuleerd. Lichthoven kavels A, C en D en EDGE Eindhoven hebben minder diepe damwanden waardoor het water zowel uit de deklaag als uit de diepere ondergrond toe zal stromen.

Tabel 8: Toegepaste bemaling in MODFLOW per ontwikkeling.

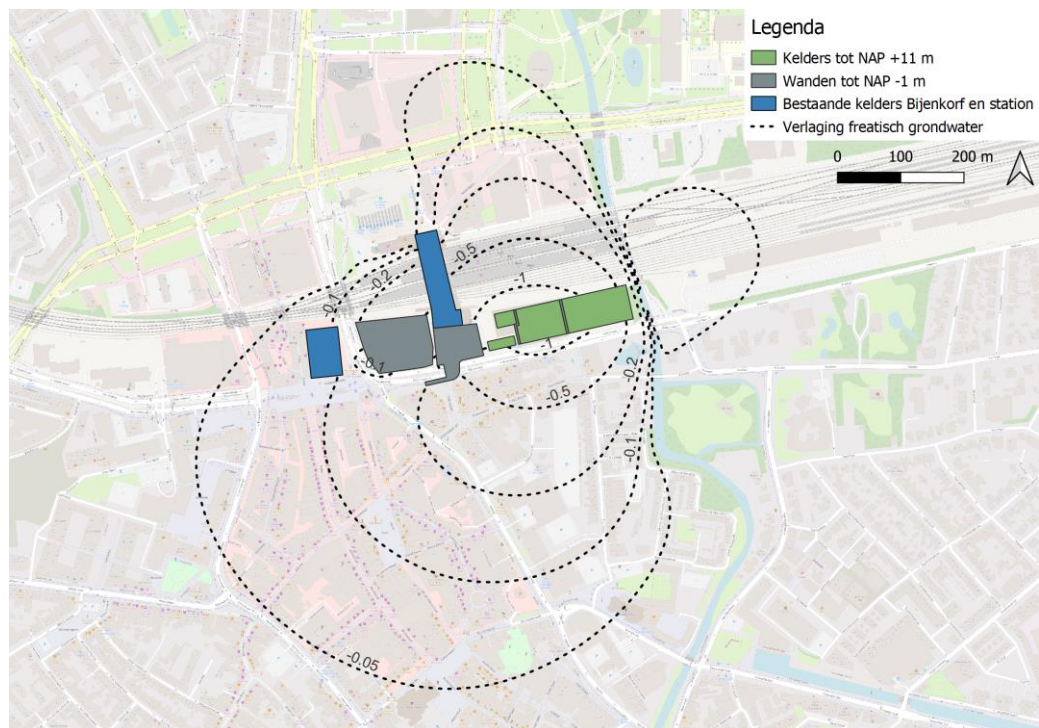
Ontwikkeling	Debiet [m ³ /u]	Toegepast in modellaag
District-E	34	5 (NAP -5 tot -10)
Fietsenkelder NS	23	5 (NAP -5 tot -10)
Lichthoven kavel A	5	3 (NAP +5 tot -1)
Lichthoven kavels C en D	7,3	3 (NAP +5 tot -1)
	22,7	5 (NAP -5 tot -10)
EDGE Eindhoven	11	3 (NAP +5 tot -1)
	34	5 (NAP -5 tot -10)

In dit worst-case scenario is aangenomen dat de Gender nog niet teruggebracht is en is een weerstand van 200 dagen gebruikt voor de eerste scheidende laag.

5.2 Verlaging grondwaterstand

De bemalingen resulteren gezamenlijk in de verlagingen van de grondwaterstand zoals weergegeven in Figuur 10. Hierbij is duidelijk te zien dat District-E en de fietsenkelder van de NS minder invloed hebben op het freatische grondwaterpeil doordat deze bouwkuipen met ondoorlatende en diepe CSM wanden worden uitgevoerd. Ook is het effect van de Dommel en de drainage ten noorden van station Eindhoven duidelijk zichtbaar. Hierbij is gerekend met een weerstand van de eerste scheidende laag van 200 dagen. Mogelijk hebben de bemalingen bij District-E en de fietsenkelder van station Eindhoven een iets groter effect op de freatische grondwaterstand dan uit de resultaten van het model blijkt vanwege de zandlaagjes die lokaal nog onder de CSM wanden lopen.

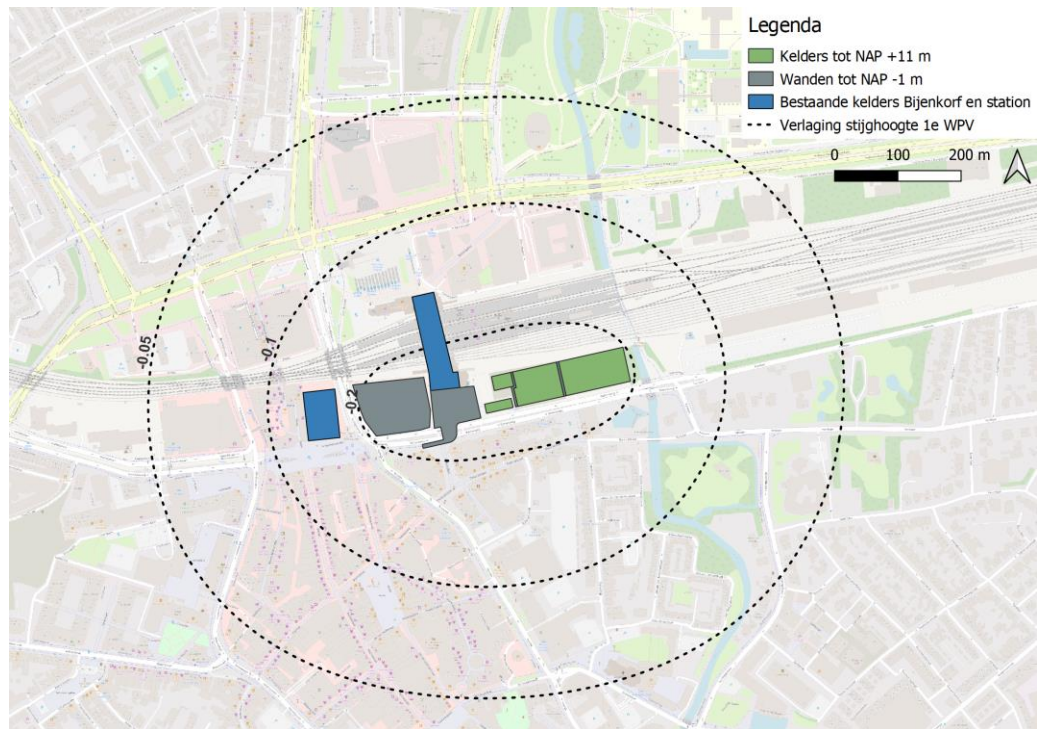
Op circa 50 meter afstand van de bouwkuipen is de verlaging maximaal 1,0 m. Op een afstand van circa 120 m van de bouwkuipen is de verlaging maximaal 0,5 m.



Figuur 10: Verlagingen grondwaterstand door gelijktijdige bemaling

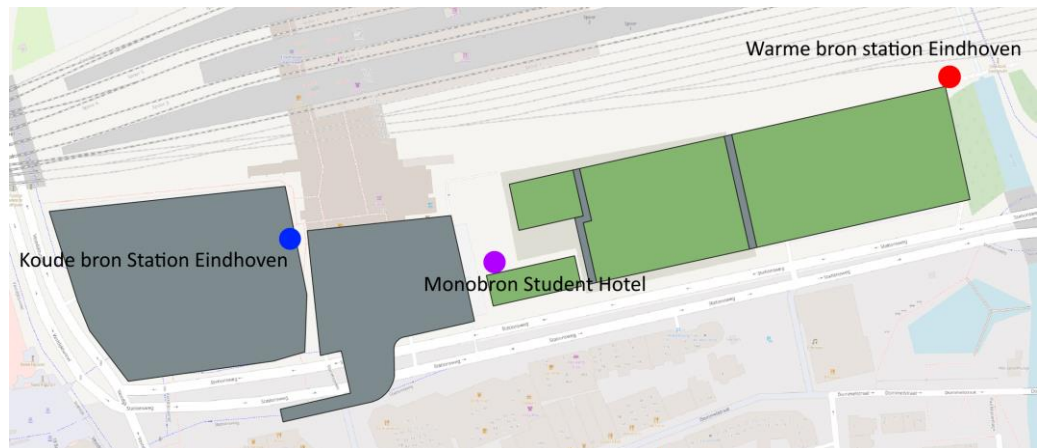
5.3 Verlaging stijghoogte

De bemalingen resulteren gezamenlijk in de verlagingen van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket zoals weergegeven in Figuur 11. De maximale verlaging is berekend op circa 0,25 m onder de bouwkuipen en circa 0,2 m direct naast de bouwkuipen. Door de goede doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket is de verlaging van de stijghoogte veel kleiner dan die van de freatische grondwaterstand. Verder is de invloed van de Dommel en de drainage ten noorden van het stationsgebied veel minder van invloed door de relatief hoge weerstand van de eerste scheidende laag van 200 dagen.



Figuur 11: Verlaging stijghoogte door gelijktijdige bemaling

De bemalingen voor de aanleg van de verschillende projecten hebben effect op 2 WKO systemen: WKO station Eindhoven en WKO student hotel. De bronnen zitten onder de eerste scheidende laag op een diepte van NAP -10 of -15 m tot -60 m. In Figuur 12 is de ligging van de WKO bronnen en ontwikkelingen weergegeven.



Figuur 12: WKO bronnen in het projectgebied

Het effect van de bemaling voor District-E op de koude bron van station Eindhoven is volgens een indicatieve berekening maximaal 8 m (verticale verplaatsing). Hierdoor kan de bemaling, in potentie, het thermisch rendement van het WKO systeem beïnvloeden. (*Hydrologische beschouwing bemaling parkeerkelder District E, Royal HaskoningDHV, 2019*).

Een maximale verplaatsing van dezelfde ordegrootte (wellicht iets kleiner door het kleinere debiet) bij de warme bron van station Eindhoven is te verwachten door de bemaling ten behoeve van de aanleg van EDGE Eindhoven gezien de vergelijkbare afstand tot de bron.

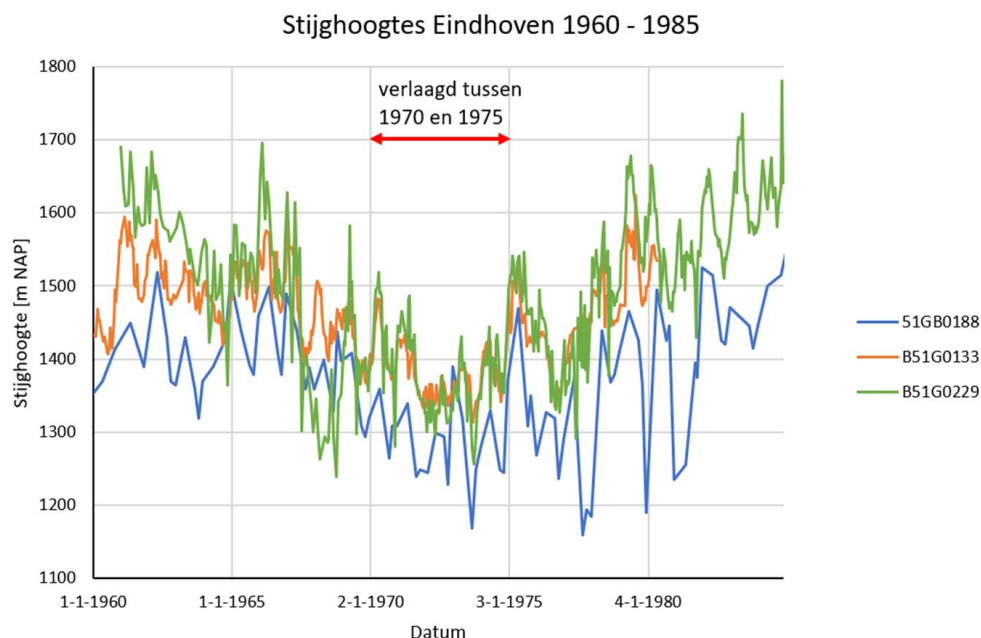
De bemaling ten behoeve van de aanleg van de fietsenstalling bij het station zal op zowel de koude bron van station Eindhoven als de monobron van het Student hotel een effect hebben dat maximaal grofweg half zo groot (4 m verticale verplaatsing) is als dat van District-E door het kleinere debiet en iets grotere afstand tot de bronnen.

De bemaling ten behoeve van Lichthoven A, C en D zal met name op de WKO van het Student hotel effect kunnen hebben.

De uiteindelijke beïnvloeding van de rendementen van de bronnen is afhankelijk van de lokale bodemopbouw waarbij met name de doorlatendheid van de scheidende laag boven de bronnen bepalend is voor de mate van beïnvloeding.

5.5 Zettingen

In het verleden hebben er in de omgeving van Eindhoven zeer grote onttrekkingen plaatsgevonden. Door deze onttrekkingen is het grondwater in het verleden langdurig meerdere meters verlaagd geweest. In Figuur 13 zijn drie peilbuizen uit DINOloket weergegeven waarin dit te zien is.



Figuur 13: Verlagen door onttrekkingen in het verleden

Door deze verlagingen in het verleden en de niet zettingsgevoelige ondergrond van zand met lokaal leemlagen worden maaiveldzettingen door bemaling niet verwacht.

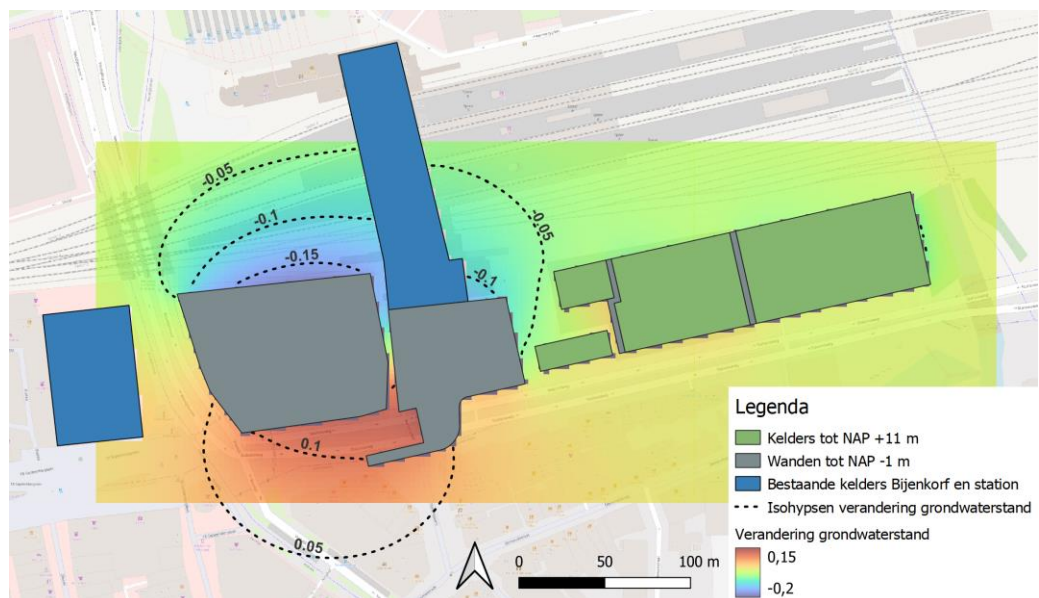
6 Modelresultaten grondwaterobstructie

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit het MODFLOW model met betrekking tot opstuwing van het grondwater toegelicht. Het gaat hier om een situatie die zal ontstaan nadat de werkzaamheden gereed zijn en de Gender nog niet (6.2) of al wel (6.3) is teruggebracht en er verder geen maatregelen zijn genomen.

6.2 Resultaten grondwaterobstructie zonder Gender

In Figuur 14 is de invloed van de kelders en ondergrondse wanden weergegeven zonder dat de Gender al is teruggebracht. Gezien de verschillende ontwikkelingen eerder zullen starten dan het terugbrengen van de Gender is deze situatie tijdelijk van toepassing. Hierbij zijn de grijze en groene cellen (kelders en wanden) in het model op inactief gezet waardoor deze als ondoorlatend zijn beschouwd.



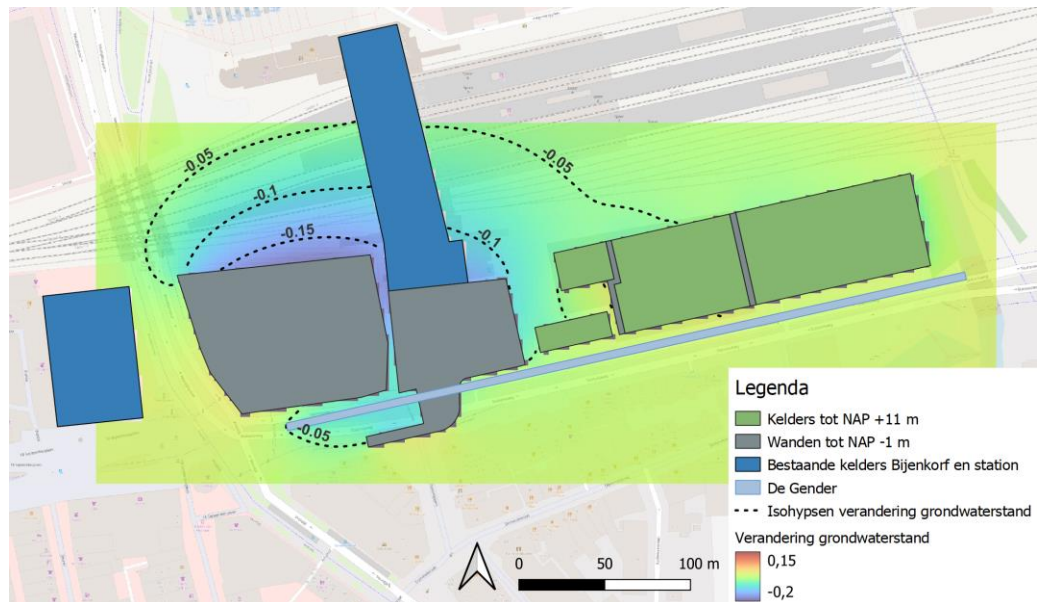
Figuur 14: Verschil grondwaterstand winter met kelders en ondergrondse wanden, zonder Gender

Uit de modelresultaten blijkt dat de grondwaterstand door de kelders, diepwanden en CSM wanden met name ten zuiden van District-E en de fietsenstalling tot meer dan 10 cm wordt verhoogd. Ook wordt ten noorden van District-E en de fietsenstalling de grondwaterstand tot maximaal 15 cm verlaagd. In het gebied waar de verlaging optreedt staan geen bomen die mogelijk last van deze verlaging zouden kunnen ondervinden.

De invloed van de diepe wanden tussen Lichthoven A, B, C en EDGE Eindhoven is kleiner omdat deze wanden niet dwars op de stroming van het grondwater staan. De minder diepe kelders hebben slechts een kleine invloed van maximaal 0,03 m.

6.3 Resultaten grondwaterobstructie met Gender

In deze paragraaf wordt de invloed van de kelders, wanden en de Gender in de permanente situatie omschreven aan de hand van de MODFLOW model resultaten. In Figuur 15 is de invloed van de kelders, wanden en de Gender op de grondwaterstand weergegeven.



Figuur 15: Verschil grondwaterstand winter met kelders en ondergrondse wanden, met Gender

Uit de modelresultaten blijkt dat de grondwaterstand door de kelders, CSM wanden en Gender nu vrijwel overal wordt verlaagd. Hoewel het uit de modelresultaten lijkt alsof de Gender enkel naast District-E en de Fietsenstalling draineert zal dit ook het geval zijn richting de oost kant van de Gender. In het model is een fixed head van 14,8 m aangenomen maar dit wordt mogelijk door stuwen richting de Dommel geleidelijk lager. Daarnaast neemt de drainerende werking van de Gender toe wanneer de grondwaterstand hoger is dan de gemiddelde wintergrondwaterstand (waarmee in dit model is gerekend).

De resultaten zijn behaald met een bodemweerstand van 1 dag voor een drainerende sloot met regelmatige stroming in zand (Grondwaterzakboekje, 2016). Deze situatie is geldig voor een open bodem en ondiepe L-wanden. Wanneer gebruik gemaakt wordt van diepere damwanden tot NAP +9 m zal de Gender nog steeds een drainerende werking hebben, maar kan deze door lokale leemlagen boven NAP +9 m wel lokaal worden verminderd. Uit indicatieve berekeningen in het MODFLOW model volgt dat bij een totale bodemweerstand van ca. 10 dagen de drainerende werking van de Gender ongeveer gelijk is aan de opstuwende werking van de CSM wanden. De L-wanden zijn hierdoor beduidend gunstiger voor de drainerende werking van de Gender.

7 Invloed op verontreinigingen

7.1 Inleiding

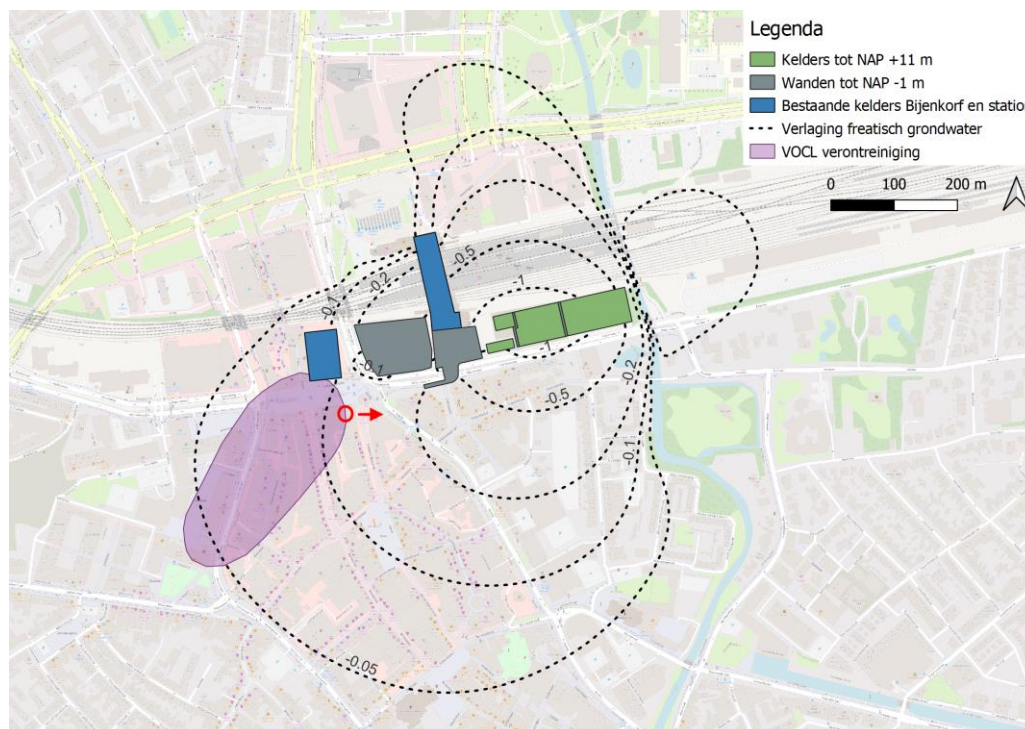
In dit hoofdstuk wordt een inschatting gemaakt van de verplaatsing van verontreinigingen aan de hand van de berekende grondwaterverplaatsing. Ook is gekeken naar het toekomstige effect van de Gender wanneer deze teruggebracht wordt in het projectgebied op de grote VOCL verontreiniging ter plaatse van de Witte Dame en het effect van bemalingen op de sanering die op dit moment uitgevoerd wordt.

7.2 Methodiek

Binnen de invloedssfeer van de bemalingen is een verontreiniging met vluchtige organochloorverbindingen (VOCL) in het grondwater van zowel deklaag als 1^e watervoerende pakket aanwezig. Verontreinigingen worden niet altijd met dezelfde snelheid getransporteerd als het grondwater zelf. Afhankelijk van de stof kan dit trager zijn. Vertraging van de transportsnelheid komt voor als gevolg van dispersie, verdunning en adsorptie. Deze fysische processen leiden tot een afname van de concentratie in toenemende afstand van de bron. Door biologische afbraak (van toepassing op organische verontreinigingen) kunnen de concentraties bovendien verder afnemen in de tijd. Door deze verschillende processen is het complex om een vertragingsfactor (verhouding tussen verplaatsing van het grondwater en de verplaatsing van een verontreiniging) te voorspellen. Op basis van het organisch - stofgehalte kan weliswaar een zogenaamde retardatiefactor worden afgeleid maar deze houdt alleen rekening met het adsorptieproces. Deze factor wordt gebruikt bij de berekening van de duur van grondwatersaneringen. Bij de verspreiding van verontreinigingen ten gevolge van natuurlijke grondwaterstroming spelen echter meer factoren een rol. Daarom is gezocht naar ervaringsgetallen. Voor de meest mobiele vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen wordt op basis van ervaringsgegevens een vertragingsfactor van 1 gehanteerd. De verplaatsing van de verontreiniging is vervolgens bepaald door de waterverplaatsing ter plaatse van de verontreiniging vast te stellen en te delen door de retardatiefactor. Dit is uitgevoerd voor zowel de deklaag (paragraaf 7.2) als het 1^e watervoerende pakket (paragraaf 7.3).

7.3 Verplaatsing verontreiniging deklaag

Ten zuidwesten van het stationsgebied ligt een VOCL-verontreiniging die zich zowel in de deklaag als in de bovenkant van het eerste watervoerende pakket bevindt. Aan de hand van de berekende verlagingen van de grondwaterstand is een inschatting gemaakt van de verplaatsing van deze verontreiniging. De verontreinigingscontour en de verlagingen van de grondwaterstand zijn weergegeven in Figuur 16.



Figuur 16: VOCL-verontreiniging De Witte Dame en grondwaterstandsverlaging.

De uitgangspunten waarmee een inschatting is gemaakt van de verplaatsing van de verontreiniging in de deklaag zijn weergegeven in Tabel 9. De verplaatsing is berekend voor het front van de verontreiniging.

Gradient:	0,1/120
K horizontaal:	5 m/d
Duur:	1 jaar
Porositeit:	0,33
Retardatiefactor:	1

Tabel 9: Uitgangspunten inschatting verplaatsing verontreiniging deklaag.

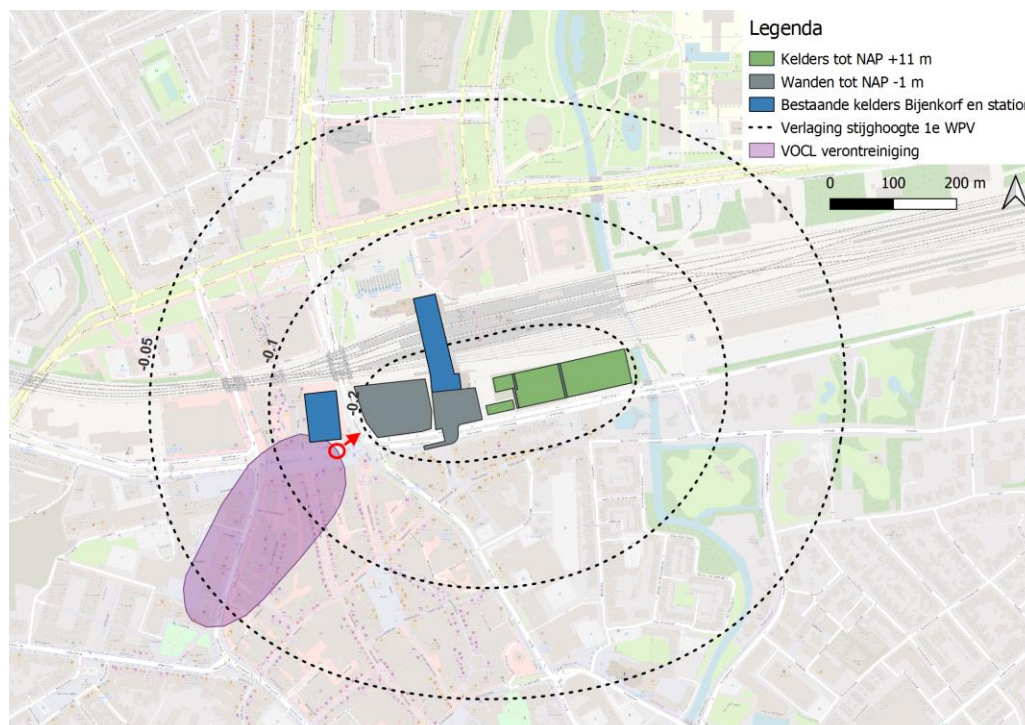
De berekening is als volgt gemaakt:

$$((0,1/120 * 5 * (1/0,33)) / 1) * 365 \approx 4 \text{ m}$$

Hieruit volgt een verplaatsing van ongeveer 4 m richting het oosten bovenop de natuurlijke achtergrondverplaatsing die in noordoostelijke richting is. Deze verplaatsing geldt voor het front van de verontreiniging (met rood schematisch aangegeven in Figuur 16). Dit valt binnen de nauwkeurigheid waarmee een verontreiniging is afgeperkt. Om deze reden wordt geen negatief effect van de bemalingen op deze verontreiniging verwacht. De verplaatsing in de deklaag is beperkt vanwege het gebruik van diepe en ondoorlatende wanden ter plaatse van District-E en de fietsenstalling van de NS.

De verontreinigingscontour en de verlagingen van de stijghoogte zijn weergegeven in Figuur 17.

7.4 Verplaatsing verontreiniging 1^e watervoerende pakket



Figuur 17: VOCL verontreiniging de Witte Dame en stijghoogteverlaging.

De uitgangspunten waarmee een inschatting is gemaakt van de verplaatsing van de verontreiniging in het 1^e watervoerende pakket zijn weergegeven in Tabel 10. De verplaatsing is berekend voor het front van de verontreiniging.

Gradient:	0,1/145
K horizontaal:	50 m/d
Duur:	1 jaar
Porositeit:	0,33
Retardatiefactor:	1

Tabel 10: Uitgangspunten inschatting verplaatsing verontreiniging.

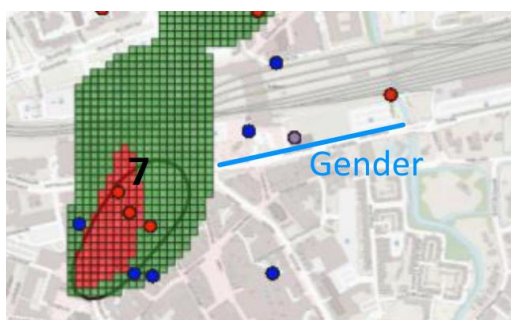
De berekening is als volgt gemaakt:

$$((0,1/145 * 50 * (1/0,33)) / 1) * 365 \approx 37 \text{ meter}$$

Hieruit volgt een verplaatsing van ongeveer 37 m richting het (noord)oosten bovenop de natuurlijke achtergrondverplaatsing die ook in noordoostelijke richting is. Deze verplaatsing geldt voor het front van de verontreiniging (met rood schematisch aangegeven in Figuur 17). De hogere doorlatendheid van de ondergrond heeft tot gevolg dat de extra verplaatsing in het 1^e watervoerende pakket beduidend groter is dan in de deklaag. Deze inschatting is naar verwachting te hoog omdat er van alle bemalingen uit is gegaan van een duur van 1 jaar en deze gelijktijdig zullen plaatsvinden. De meeste bemalingen zullen echter korter duren en de bemalingen vinden zeer waarschijnlijk niet tegelijk plaats. Hoewel de verplaatsing in het 1^e watervoerende pakket groter is dan in de deklaag gaat het hier om een veel kleiner deel van de verontreiniging die tot deze diepte is doorgedrongen. Onduidelijk is hierdoor of deze verplaatsing acceptabel is gezien lage hoeveelheid verontreiniging waarvoor deze verplaatsing van toepassing is.

7.5 Invloed Gender

De Gender zal een drainerende werking hebben in het stationsgebied wanneer deze wordt teruggebracht. Om deze reden zal de Gender water en mogelijk verontreinigingen naar zich toe trekken. Aan de hand van de resultaten uit het rapport Geohydrologische modelstudie centrumgebied e.o. te Eindhoven van Geofoxx (maart 2020) blijkt dat de pluim van de verontreiniging bij de Witte Dame zich in het worst case scenario over de komende 25 jaar tot net aan de westkant van de Gender zal verplaatsen (Figuur 18). Door de drainerende werking van de Gender is het hierom mogelijk dat er na enkele tientallen jaren langzaam VOCL verontreinigingen uit zullen spoelen in de Gender.



Figuur 18: Pluim verontreiniging en Gender

7.6 Invloed sanering Signify

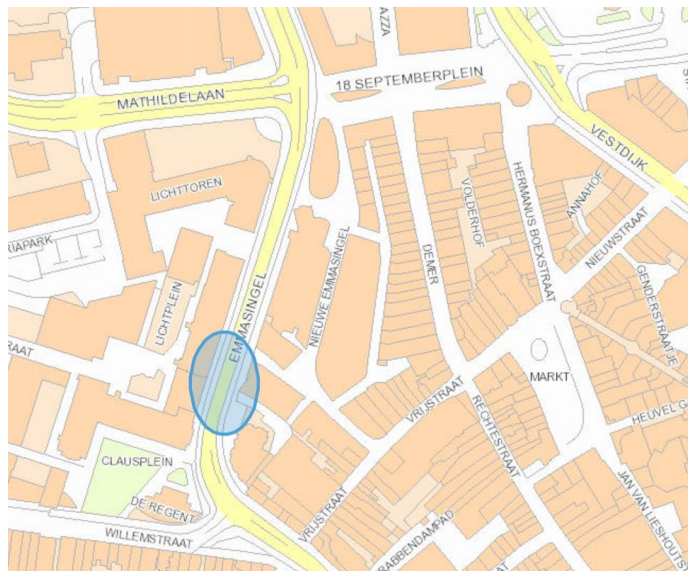
Ter hoogte van de bron van de VOCL-verontreiniging de Witte Dame zal Signify door middel van het injecteren van voedingsstoffen en bacteriën een sanering uitvoeren. Het injecteren zal plaatsvinden ter hoogte van de Emmasingel (Figuur 19) en tot een diepte van 20 m onder maaiveld waarmee de sanering zich nog volledig in de deklaag bevindt.

Aan de hand van de berekende verplaatsing in de deklaag in paragraaf 7.3 is een berekening gemaakt voor de verplaatsing van het grondwater ter hoogte van de sanering. Hierbij is enkel de gradiënt van de verlaging aangepast naar een half zo hoge waarde (uit model verkregen) als bij het front van de verontreiniging.

De berekening is als volgt gemaakt:

$$((0,1/240 * 5 * (1/0,33)) / 1) * 365 \approx 2 \text{ m}$$

Hieruit volgt een verplaatsing van de geïnjecteerde voedingsstoffen en bacteriën van circa 2 m bij het worst case scenario van alle bemalingen tegelijk gedurende 1 jaar.



Figuur 19: Locatie sanering Signify.

8 Maatregelen

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de mogelijke maatregelen besproken die genomen kunnen worden om de negatieve effecten van de verschillende ontwikkelingen te mitigeren of minimaliseren. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen

- de bouwfase waarin bemalingen worden uitgevoerd en de Gender nog niet in het projectgebied is teruggebracht, en
- de permanente fase waarin de bouwwerkzaamheden zijn afgerond, tijdelijke damwanden zijn getrokken en de Gender is teruggebracht.

8.2 Bouwfase

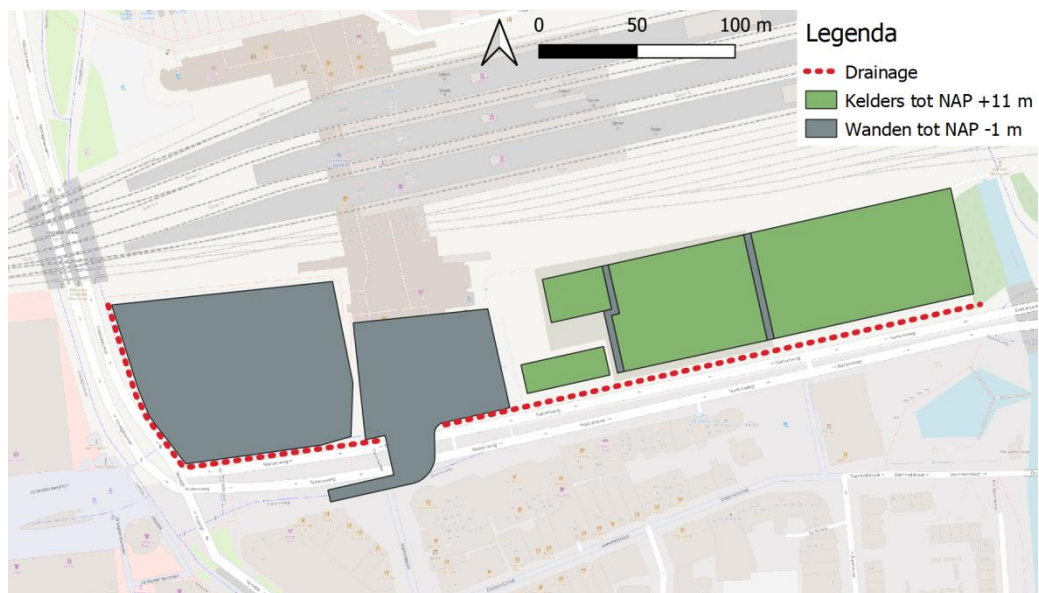
Met bouwfase wordt de periode tussen het zetten van de eerste damwanden tot het gereedkomen van de Gender bedoeld.

8.2.1. Bewatering

Als de bemalingen plaatsvinden tijdens een droge periode bestaat de mogelijkheid dat het grondwater dusdanig daalt dat bomen in de omgeving er niet goed meer bij kunnen. Er staan in de directe omgeving bomen langs de Stationsweg, de Vestdijktunnel en op de individuele projectgebieden, al worden de bomen op de projectgebieden mogelijk deels gekapt. Als meerdere bemalingen samen in een droge periode vallen kan overgegaan worden tot bewatering van deze bomen om het risico op verdrogen tegen te gaan.

8.2.2. Drainage

Zoals bij District-E al het voornemen is kan er drainage worden toegepast in de periode tussen het plaatsen van de damwanden van de verschillende projecten en de realisatie van de Gender. Het gaat hierbij om de westzijde en zuidzijde van het projectgebied zoals schematisch weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20: Locatie drainage tegen opstuwing grondwater

Door op de aangegeven locatie drainage aan te leggen op ca. NAP +15 m, (1 m -mv) wordt de grondwaterstand in de winter gelimiteerd maar wordt er in de zomer niet onnodig grondwater afgevoerd.

- 8.2.3. Retourbemaling** Retourbemaling wordt gebruikt om de verlaging van een bemaling te beperken door het opgepompte water terug te pompen in de ondergrond. Hierbij is de regel dat het opgepompte water teruggepompt moet worden in hetzelfde pakket als waar het vandaan komt. Dit is hier niet goed mogelijk door de grillige natuur van de deklaag. Ook in het eerste watervoerende pakket is het niet wenselijk om water te retourneren in de buurt van de WKO bronnen. Hierdoor zou het effect van de bemalingen op de WKO bronnen versterkt worden. Er kan worden geconcludeerd dat retourbemaling niet goed toe te passen is op deze locatie.
- 8.2.4. Schermbemaling** Een schermbemaling kan worden toegepast om de verplaatsing van een verontreiniging tegen te gaan. Gezien de totale verwachte verplaatsing van de VOCL verontreiniging maximaal ca. 4 meter bedraagt en zich in dichtbebouwd gebied bevindt is een schermbemaling een erg drastische en zeer lastig uit te voeren maatregel.
- 8.3 Permanente situatie** Met permanente situatie wordt het moment bedoeld dat de Gender is teruggebracht en de ontwikkelingen allemaal zijn afgerond.
- 8.3.1. De Gender** Hoewel het terugbrengen van de Gender misschien niet per se als maatregel kan worden gezien is het wel een ingreep in het gebied die de opstuwings van grondwater goed tegen kan gaan omdat de Gender direct ten zuiden van de kelders zal komen. Hierbij geldt hoe ondieper de wanden van de Gender hoe beter de drainerende werking in de praktijk zal zijn.
- 8.3.2. Drainage** Als de Gender niet of veel later teruggebracht wordt kan de tijdelijke drainage, die sowieso bij District-E en mogelijk bij andere projecten gaat worden geplaatst, worden aangehouden. Als dit niet wenselijk is vanwege het ruimtegebruik op de projectterreinen kan ook drainage gelegd worden waar nu de Gender gepland staat. Deze drainage zou dan op het peil van de Gender (NAP + 14,8 m) moeten komen en kan op de Dommel afwateren.
- 8.3.3. Aanleg doorlatende lagen** Zoals bij EDGE Eindhoven al gaat worden toegepast kunnen er onder de kelders van Lichthoven A, C en D ook doorlatende lagen (grof zand of gravel) worden aangelegd om de doorstroming onder de kelders te bevorderen. Deze maatregel kan niet worden toegepast bij de groutwanden van District-E of de Fietsenstalling van station Eindhoven.

9 Conclusies

Door de aanleg van de verschillende ondergrondse objecten treedt er zowel opstuwing als verlaging van de grondwaterstand op. De verhoging van de grondwaterstand is ten zuiden van District-E en de fietsenkelder NS met circa 0,10 m het hoogst. De verlaging van de grondwaterstand ten noorden van District-E en de fietsenkelder NS zal maximaal circa 0,15 m bedragen wanneer geen maatregelen worden genomen. Dit is meer dan de 0,05 m die het waterschap de Dommel en de gemeente Eindhoven als acceptabel beschouwen.

Om deze verhoging van het grondwater tegen te gaan kan drainage worden aangelegd aan de zuid- en westzijde van het gehele projectgebied. Bij de aanleg van District-E zal dit tijdens de uitvoering al worden gedaan, het wordt aangeraden om dat in ieder geval bij de aanleg van de fietsenkelder van station Eindhoven ook te doen.

Wanneer de Gender wordt teruggebracht met een peil van NAP +14,8 m, zal deze de verwachte verhoging van de grondwaterstand volledig compenseren en zelfs voor een verlaging zorgen ten zuiden van District-E en de fietsenkelder NS. Hierbij is gerekend met ondiepe L-wanden, diepere wanden kunnen door lokale leemlagen voor een slechtere drainerende werking zorgen. Het is hierom voor de drainerende werking van de Gender aan te raden L-wanden te gebruiken.

De opstuwing van het grondwater door de kelders van Lichthoven A, C en D en EDGE Eindhoven is berekend op minder dan 0,05 m. Mogelijk kan dit door slecht doorlatende leemlagen lokaal hoger zijn. Bij EDGE Eindhoven wordt een goed doorlatende laag van 0,2 m onder de kelder toegepast om de opstuwing van grondwater tegen te gaan. Dit kan mogelijk ook Bij Lichthoven A, C en D gedaan worden. De permanente diepwanden van Lichthoven C en D veroorzaken minimale opstuwing omdat deze parallel staan aan de stromingsrichting van het grondwater.

Naar verwachting worden de grondwaterstand en stijghoogte door een gelijktijdige bemaling van alle ontwikkelingen respectievelijk maximaal 1,4 m en 0,2 m verlaagd vlak naast de bouwkuipen. Hierdoor zal het front van de verontreiniging ter plaatse van de Witte Dame in de deklaag zo'n 4 m extra oostwaarts worden verplaatst. In het 1^e watervoerende pakket wordt een extra verplaatsing van 37 m verwacht. Deze berekening berust op worst-case scenario's van alle ontwikkelingen tegelijk en is hierdoor een overschatting. De bemalingen kunnen de werking van de WKO bronnen van station Eindhoven en het Student hotel mogelijk tijdelijk negatief beïnvloeden.

10 Referenties

- *Hydrologische beschouwing bemaling parkeerkelder District E, Royal HaskoningDHV, april 2019*
- *Eindhoven CS, haalbaarheid toepassing bemaling fietsenstalling, Movares, maart 2021*
- *Lichthoven Bouwdeel A aan het Stationsplein te Eindhoven, Inpijn Blokpoel, 11 december 2020*
- *Lichthoven blok C en D aan de Stationsweg te Eindhoven, Inpijn Blokpoel, 15 november 2021*
- *Kantoorgebouw EDGE bemalingsadvies te Eindhoven, MOS Grondmechanica, 2 december 2020*
- *watertoets Lichthoven fase 2 te Eindhoven, Royal HaskoningDHV, mei 2021*
- *Geohydrologische modelstudie centrumgebied e.o. te Eindhoven, Geofox, maart 2020*
- *Hydraulische toetsing Gender, Gemeente Eindhoven, Juli 2021*
- *Onderzoek Grondwaterstromingspatroon Eindhoven Centrum-Noord, Grondmij, juni 2015.*
- *Grondwaterzakboekje, 2016*

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Eindhoven

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 265 55 55

Ondertekenaar

Projectnummer MN002872

Kenmerk D80-GAL-KA-2100026

© 2021, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.