

ÉÉN PLAN VOOR STAD EN SNELWEG

m42stricht

Avenue2

Specialistisch Rapport Water
Dialoogronde IV 22 april 2009

de Groene Loper

Vanzelfsprekend



Specialistisch Rapport Water

doc. nr. AV409-000000-R8027

Datum 22 april 2009

Opdrachtgever

Projectbureau A2 Maastricht



Wijzigingentabel

Locatie	Beschrijving wijzigingen
Algemeen	- De toevoeging “met groutinjecties” is verwijderd. De essentie van de beheersmaatregel is het toepassen van een langere wand. Dan kan d.m.v. groutinjecties, maar er zijn meerdere mogelijkheden. Er is nu gekozen voor een meer oplossingsvrije omschrijving. - Afstemming met het specialistisch rapport Bouwtechniek en Bouwtijd: onder andere scenario A4 toegevoegd. - Tekstaanpassingen met name in paragrafen 2.5.1, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.5.4, 3.6.1, 3.6.2, 3.6.3, bijlage 4 5.2 en 5.3. - Er zijn in bijlage 3 2 nieuwe figuren toegevoegd behorend bij scenario A4, figuren B3-20 en B3-21. - Paragraaf 4.4.2 teksten rioleringsstelsel tunnel aangepast.
H1	Geen inhoudelijke wijzigingen.
H2	2.3.2. Aanscherping tekst beschermingsniveau waterkering. 2.5.1. Nadere beschrijving van het hevelstelsel om meer inzicht te geven in de werking ervan. - Er wordt een toelichting gegeven op de keuze om het grondwater niet naar de landgoederenzone af te voeren. 2.5.2. Aanpassing tekst ten aanzien van afstemming plan “de Geusselt”. 2.6.1 Toevoeging standpunt Avenue2 in zake verdrogingsbestrijding Landgoederenzone.
H3	3.5.3. Toevoeging retourbemaling 3.6.2. Beargumentering om aanlegfase met nieuw op te stellen Modflowmodel te berekenen. 3.6.3 Toevoeging opmerking over beheer en onderhoud. 3.7. Ook de grondwaterkwaliteit wordt gemonitord.
H4	4.2 Toevoeging verwijzing naar 4.4 voor uitwerking ontwerpvisie. 4.3.4. Toevoeging verwijzing naar bijlage 24.4.3 Onderbouwing van benodigde bergingscapaciteit toegevoegd. 4.4.4. Toevoeging opmerking over beheer en onderhoud 4.8.1. Verduidelijking tekst ten aanzien van klimaatverandering en neerslagtoename. 4.8.2 Verduidelijking tekst ten aanzien van synergievoordelen OAS-studie.
H5	Geen wijzigingen.
Bijlage 5	Toevoeging van beschrijving en voorbeeld van werking hevelstelsel.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanpak	7
1.2	Plan- en studiegebied	8
1.3	Leeswijzer	9
2	Ontwerpvisie waterhuishouding	10
2.1	Belangrijkste aandachtspunten en visie	11
2.2	Hoofdlijn van de ontwerpvisie	11
2.3	Huidige situatie	11
	Hoogteligging en geologie	11
	Studiegebied oppervlaktewater	12
	Studiegebied grondwater	12
2.4	Knelpunten huidige watersysteem	14
2.5	Visie op watersysteem tunnel en omgeving	15
	Handhaven huidige grondwaterstroming	15
	Creëren voldoende ruimte voor oppervlaktewater	18
	Versterken van de ecologie en leefbaarheid van het water	19
2.6	Toelichting op verschillende beleidsthema's	20
	Verdrogingsbestrijding	20
	Klimaatverandering	21
	KRW-doelstellingen	22
	Watertoets	22
3	Nadere uitwerking grondwater	24
3.1	Belangrijkste aandachtspunten	25
3.2	Analyse beschikbare model	25
	Scenario's	25
	Permanente situatie	25
	Lange termijn	26
	Aanlegfase	26
	Aanlegfase: compensatie en mitigatie van effecten	27
3.4	Toelichting resultaten: permanente situatie	28
	Berekening huidige situatie en situatie met tunnel zonder extra maatregelen	28
	Analyse van de berekeningen	29
	Berekeningen met compenserende en mitigerende maatregelen (scenario's P2 en P3)	29
	Conclusie permanente situatie	30
3.5	Aanlegfase	31
	Berekening referentiesituatie (2 jaar) en situatie met bemaling bouwkuip	31
	Analyse van de berekeningen	31
	Berekeningen met compenserende maatregelen (scenario's A2, A3 en A4)	32
	Conclusie aanlegsituatie	34
3.6	Aanbevelingen en opmerkingen	34
	Aanvullend onderzoek	34
	Opstellen nieuw model voor berekening aanlegfase	34
	Beheer en onderhoud gebruiksfases	35
3.7	Monitoring	35

4	Ontwerpvisie riolering	36
4.1	Belangrijkste aandachtspunten en visie	37
4.2	Hoofdlijn van de ontwerpvisie	37
4.3	Analyse van de huidige situatie	37
	Beschrijving huidige situatie	37
	Beschikbare gegevens: 'Rioolaanpassing ondertunneling A2' (bureau Kragten, 2006)	38
	Waterstromen plangebied	39
	Analyse effecten van het plan	39
4.4	Ontwerpvisie riolering	39
	Kruisen riolering met de tunnelbak	39
	Afvalwater tunnel	41
	Hemelwaterafvoer	41
	Beheer en onderhoud	42
4.5	Vergelijking ontwerpvisie met huidige situatie	43
4.6	Riolering in de aanlegfase	43
4.7	Extra maatregelen	43
4.8	Toekomstige ontwikkelingen	44
	Klimaatverandering	44
	Optimalisatiestudie afvalwatersysteem	45
	Stopzetten/reducen grondwaterwinningen en/of hoger Maaspeil	45
5	English Summary	46
Bijlage 1	Overzicht van beleid, de gestelde criteria en toetsing	
Bijlage 2	Fasering riolering	
Bijlage 3	Kaartmateriaal grondwater	
Bijlage 4	Grondwater: toepassing modelinstrumentarium	
Bijlage 5	Referentie van hevelconstructies	

Inleiding

1 Inleiding

In dit rapport gaan wij in dieper in op de visie van Avenue2 op oppervlaktewater, grondwater en riolering in relatie tot de ondertunneling van de A2 en de aanleg van de ontsluitingsweg naar de Beatrixhaven. Het plan van Avenue2 past niet alleen het huidige watersysteem aan de tunnel aan, maar zorgt op een aantal punten ook voor een verbetering van de huidige situatie.

Oppervlaktewater

Met het plan van Avenue2 verbetert de kwaliteit van het oppervlaktewater, doordat:

- Het aantal overstorten afneemt.
- De Geusseltvijver wordt losgekoppeld van de Tapgraaf waardoor er geen sprake meer zal zijn van een vuilwateroverstort op deze beek.
- Het plan geeft meer ruimte aan waterberging.
- Er wordt een nieuwe regenwaterbuffer ten noorden van de huidige regenwaterbuffer (ten westen van de snelweg) aangelegd.
- In de Landgoederenzone wordt de Kanjel ruimer gedimensioneerd en natuurvriendelijk ingericht waardoor de hydrologische werking van het watersysteem verbetert én het de beleving van het water wordt vergroot.
- Ter hoogte van de huidige Geusseltvijver/Wielerbaan zal door de aanleg van de nieuwe weg een moerrassige zone worden aangelegd. Die kan dienen als overstort voor vuil water.
- Er wordt een nieuwe rioleringssysteem (ringleiding) met extra bergingscapaciteit aangelegd rondom de tunnel. Dit biedt voldoende ruimte voor de opvang van het stedelijk water en optimale afkoppeling van het hemelwater in het plangebied.

Grondwater

Het plan van Avenue2 voorziet erin dat de grondwaterstand tijdens en na de aanleg van de tunnel niet verandert, zelfs niet bij onze gestapelde tunnel. Tijdens de bouw maken wij de wanden van de bouwkuip zoveel mogelijk waterdicht. Het grondwater dat moet worden weggepompt om de bouwkuip droog te krijgen, infiltreren wij weer op specifiek daarop onderzochte gekozen plekken in het grondwaterpakket. Het grondwaterpeil in de hydrologisch gevoelige Landgoederenzone blijft nagenoeg gelijk. Het grondwaterpeil rondom de bouwkuip zal niet leiden tot extra overlast. Nadat de tunnel is gebouwd, leiden wij het grondwater via hevels over de tunnel en brengen wij het benedenstrooms terug in het grondwatersysteem.

Riolering

De huidige riolering heeft geregeld te maken met overstorten van vuil water op bestaande watergangen; dit leidt tot overlast en is een ongewenste situatie. Ons plan voorziet in een oplossing voor dit probleem. Voorafgaand aan de bouw legt Avenue2 een ringleiding om de tunnel, zodat tijdens de bouw de riolering blijft functioneren en er extra capaciteit ontstaat. Die ringleiding blijft ook ná de bouw behouden. Waterstromen worden straks permanent gescheiden in vuil en schoon water. Schoon water (regenwater) wordt geïnfiltreerd. Dit leidt tot minder waterlast op het riool en dus minder overstorten en minder water. Bijkomend gevolg hiervan is dat het oppervlaktewatersysteem schoner wordt en het hele watersysteem natuurlijker zal functioneren. Ons ontwerp is robuust en er zal minder wateroverlast optreden.

1.1 Aanpak

Oppervlaktewater

Avenue2 heeft een analyse uitgevoerd naar de belangrijkste risico's van de bouw van de tunnel en wegen en de aanleg van de ontsluitingsweg Beatrixhaven voor de waterhuishouding. In dit rapport

doen wij verslag van deze analyse en beschrijven de maatregelen die wij voorstellen om te waarborgen dat zowel de oppervlaktewaterkwaliteit als -kwantiteit niet verslechtert, maar zelfs verbetert.

Grondwater

Voor de directe omgeving van de tunnel heeft Avenue2 het plan getoetst op opstuwning of verlaging van een gemiddelde hoogste/laagste grondwaterstand (GHG/GLG). Dit voor zowel de aanlegfase als de permanente situatie. Verder heeft Avenue2 de veranderingen onderzocht op het gebied van kwel en infiltratie en de eventuele wijzigingen van de grondwaterstanden aan de randen van de hydrologisch gevoelige (natuur)gebieden. Ten slotte hebben wij onderzoek gedaan naar mogelijke kwaliteitswijzigingen van het grondwater als gevolg van ons plan en onze aanlegwijze en constructie afgestemd op het voorkomen van negatieve effecten. Het grondwatersysteem wordt door deze aanpak niet negatief beïnvloed.

Riolering

Op basis van een analyse van de belangrijkste gevolgen van het plan voor de bestaande riolering en de functionaliteit van de nieuwe riolering op lange termijn heeft Avenue2 een ontwerpvisie opgesteld. In dit ontwerp heeft een optimalisatie plaatsgevonden waarin rekening wordt gehouden met alle regenwaterstromen.

1.2 Plangebied en studiegebied

De gevolgen van de ondertunneling van de A2 en de aanleg van de ontsluitingsweg naar de Beatrixhaven voor het watersysteem strekken zich over een groter gebied uit dan het gebied waarin de fysieke ingrepen plaatsvinden. Lokale ingrepen moeten altijd in relatie tot het omliggende water en rioleringssysteem worden gezien. Daarom is onderscheid gemaakt tussen het plangebied en het studiegebied.

Plangebied

Het plangebied is het gebied waarbinnen fysieke ingrepen in het kader van het project A2 Maastricht plaatsvinden. Dit gebied omvat globaal de A2 tussen knooppunt Kruisdonk en aansluiting Randwyck, de A79 tussen knooppunt Kruisdonk en aansluiting Bunde, de nieuwe aansluiting Beatrixhaven en de Viaductweg tussen de kruising met de A2 en de kruising met de Meerssenerweg. Figuur 1.1 geeft de begrenzing van het plangebied weer.

Studiegebied

Het studiegebied is het gebied waarvoor analyses van de effecten van ingrepen op het watersysteem worden gemaakt. Het studiegebied is groter dan het plangebied. De grootte van het te beschouwen studiegebied verschilt voor de aspecten oppervlaktewater, grondwater en riolering.

Voor oppervlaktewater beslaat het studiegebied uit het plangebied en de waterlopen Fontein, Tapgraaf, Kanjel en het Gelei.

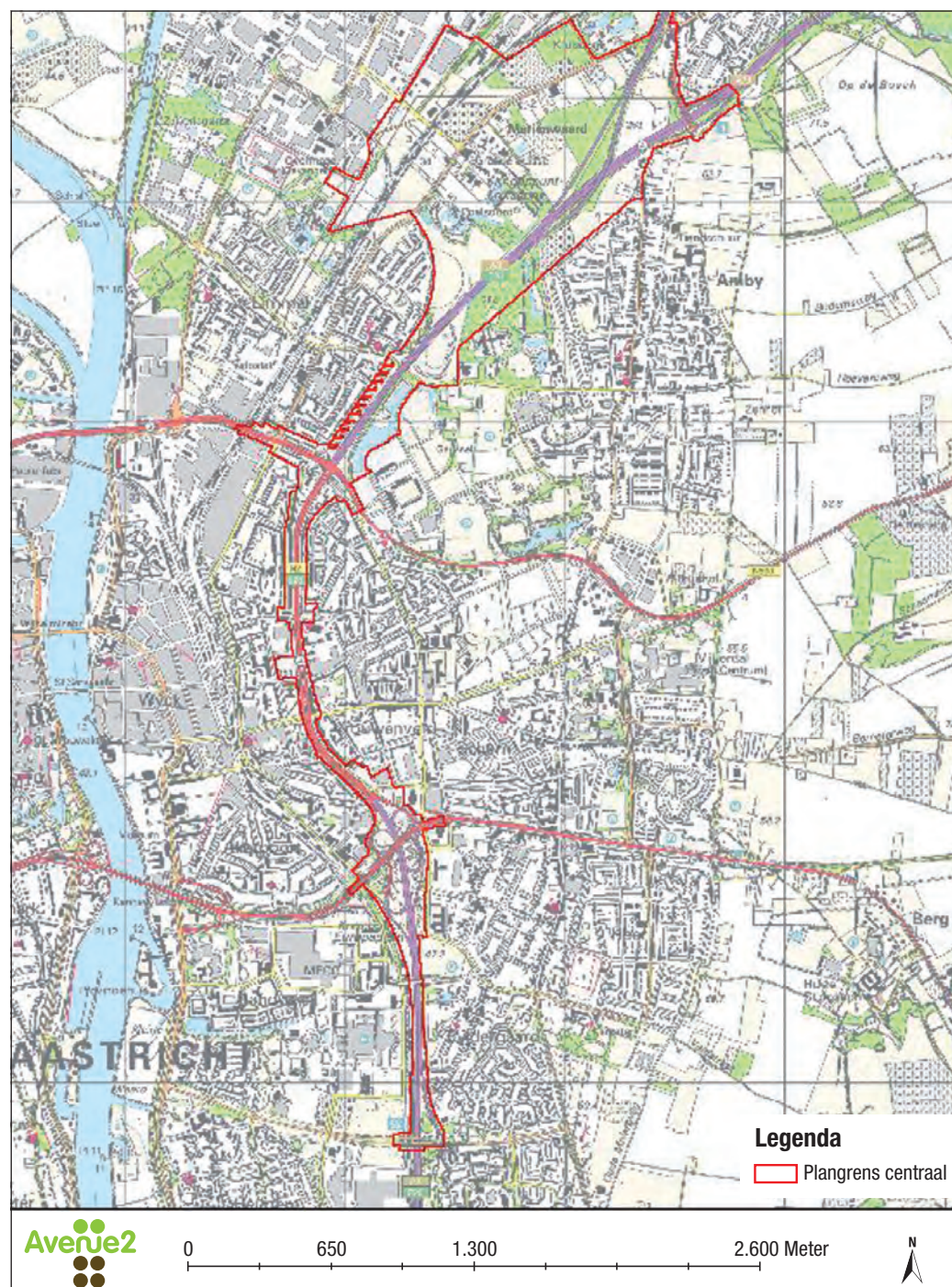
Voor grondwater bestaat het studiegebied uit het gebied dat in het grondwatermodel is opgenomen. Dit gebied is ruimschoots groter dan de oppervlakte waarover grondwatereffecten door de aanleg van de tunnel zijn te verwachten (o.a. Royal Haskoning, 2004).

Voor riolering bestaat het studiegebied uit de wijken: Sint Maartenspoort, Wijck, Wijckerpoort, Akerpoort (Heugemerveld), Ooster-maas(Wittevrouwenveld)/RWA Geusselt, Scharn en Amby.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport gaat Avenue2 eerst in op de hoofdlijnen voor de onderdelen oppervlaktewater, grondwater en riolering uit het Integraal Plan. Ook zet Avenue2 haar onderzoeksanpak uiteen. In hoofdstuk 2 volgt de ontwerpvisie voor de waterhuishouding en in hoofdstuk 3 een nadere uitwerking van het deelaspect grondwater. De ontwerpvisie riolering komt apart aan de orde in hoofdstuk 4. In de bijlagen gaat Avenue2 onder andere dieper in op de toepassing van het model-instrumentarium voor het deelaspect grondwater.

Figuur 1.1
Kaart plangebied



Ontwerpvisie waterhuis- houding



2 Ontwerpvisie waterhuishouding

2.1 Belangrijkste aandachtspunten en visie

Het oppervlaktewatersysteem wordt gekenmerkt door slechte waterkwaliteit en wateroverlast in natte situaties en watertekort in droge situaties. De natuurwaarde van het oppervlaktewater is beperkt, net als de belevingswaarde. Voor de grondwatersituatie zal de tunnel als barrière werken. Daarnaast vormen het grondwaterdebiet en de effecten van het tijdelijk onttrekken een uitdaging tijdens de bouwphase van de tunnel.

2.2 Hoofddijn van de ontwerpvisie waterhuishouding

De waterkwaliteit zal verbeteren door het aantal overstorten terug te brengen en vijvers e.d. los te koppelen van de watergangen. Problemen met de waterkwantiteit kenmerken zich door een tekort aan waterberging. Door ruimere dimensionering van de watergangen en natuurvriendelijke inrichting, zal hier een grote verbetering in plaatsvinden. De combinatie van maatregelen betekent een verbetering van de ecologische waarde van het oppervlaktewater. Verder stelt Avenue2 voor om de loop van de Kanjel meer door de landgoederenzone te laten lopen om de belevingswaarde te vergroten.

Wat betreft grondwater heffen wij de barrièrewerking van de tunnel zoveel mogelijk op door hevels over de tunnel aan te leggen. Het grondwater wordt bovenstrooms van de tunnel opgevangen, over de tunnel getransporteerd en weer in het watervoerend pakket geïnfiltreerd. Avenue2 kiest voor een droge bouwput bestaande uit een combinatie van damwanden, stempels en bemaling. Het bemalingsdebiet houden wij zo klein mogelijk. Bemalingswater wordt slim geïnfiltreerd om beïnvloeding van de grondwaterstand in de Landgoederenzone te voorkomen.

2.3 Huidige situatie

2.3.1 Hoogteligging en geologie

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte bij de huidige A2 varieert globaal tussen de NAP +46,00 m tot NAP +47,75 m. Bij aanleg is het terrein opgehoogd, waarschijnlijk om inundatie tijdens hoge Maasstanden te voorkomen. In de nabijheid van de huidige weg zijn de hoogteverschillen groot. Er komen lage maaiveldhoogten (NAP + 42,00 m) voor.

Geologie

De geologische opbouw van het Maasdal bestaat uit grove tot zeer grove grindafzettingen. Deze zijn afgezet op een dikke laag kalksteen of mergel. Het grind is afgedekt door de Betuwe-Formatie. Deze formatie bestaat uit meer fijnzandige en leemhoudende afzettingen. Het geheel is plaatselijk opgehoogd met opgebrachte grond en puinresten. De afzettingen vormen een drietal terrassen die in hoogte oostwaarts oplopen vanaf de Maas. De geprojecteerde Traverse A2 bevindt zich in het laagterras. Samen bereiken het midden- en laagste terras een breedte van ongeveer 2 km. De terrassen markeren de loop van de Maas door de tijden heen. Het terraslandschap wordt na circa 2 km oostwaarts vanaf de Maas verlaten. Hier stijgt het maaiveld snel tot boven NAP + 100m (Plateau van Margraten).

2.3.2 Studiegebied oppervlaktewater

De Maas

De Maas vormt de westelijke grens van het te beschouwen gebied. Het gemiddelde stuwpeil is circa NAP +44,05 m. De uitvoering van het Grensmaasproject en autonome ontwikkelingen zullen leiden tot een structurele daling van het Maaspeil ten noorden van Maastricht met 0,3 tot 0,5 m. Na uitvoering van het project zijn in principe alle gebieden die door kades worden omgeven beschermd tot een overstromingsniveau van 1/250 jaar. De Maas heeft over het algemeen een drainerende invloed op de regio. Bij hoge Maasafvoer kan de rivier tijdelijk infiltreren. Uit metingen¹ blijkt dat dit in het studiegebied leidt tot een verhoging van de grondwaterstand in de grindafzettingen (= freatisch grondwater). Ter hoogte van het tunneltracé is het effect beperkt.

Deelstroomgebied

Het studiegebied valt in het deelstroomgebied Sibbersloot/Voer/Jeker. Aan de noordzijde wordt dit begrensd door het deelstroomgebied Geul. De Geul stroomt in westelijke richting en mondt ten noorden van Borgharen uit in de Maas. Aan de noord- en westzijde van het plangebied ligt de Kanjelbeek. De Kanjel kruist het Julianakanaal door middel van een sifon (300 l/s) ter hoogte van Borgharen en mondt uit in de Maas.

Landgoederenzone

Het oppervlaktewater in de landgoederenzone (slotgrachten, vijvers en sloten) aan de noordkant van Maastricht staat in verbinding met de Kanjelbeek. De Kanjel werd van oudsher gevoed door een natuurlijk systeem van bronnen. Deze bronnen zijn grotendeels verdwenen door verdroging en toename van bebouwing. Een belangrijke oorzaak van de verdroging is de toename van grondwaterwinningen voor drinkwaterbereiding. De slotgrachten, vijvers en sloten in de landgoederenzone worden op peil gehouden door het water uit de Kanjel. Er vindt weinig doorstroming plaats.

Watergangen

Tapgraaf en Fontein, Kanjel en Gelei vormen het oppervlaktewatersysteem. Deze watergangen voeren overtollig hemelwater en water van riooloverstorten af naar de Maas. Figuur 2.1 geeft het oppervlaktewatersysteem weer. Het oppervlaktewatersysteem wordt voornamelijk gevoed vanuit de regenwatervijvers bij Amby en vanuit de Gelei. De Gelei is een kanaalsysteem dat water aanvoert vanuit de Geul. Het kan ook als waterafvoer gebruikt worden.

2.3.3 Studiegebied grondwater

De grondwaterstroming door de grind- en kalksteenlagen is noordwest gericht onder een verhang van circa 1:1500. De freatische gemiddelde grondwaterstand in het plangebied is gemiddeld NAP +44,00 m. De gemeten grondwaterstanden liggen over het algemeen niet meer dan 0,5 m boven dit gemiddelde. Dit is ongeveer 1,50 m beneden het maaiveld (Royal Haskoning, 2004). De gemodelleerde gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG/GLG) in het gebied staan in bijlage 3, figuur B3-1.

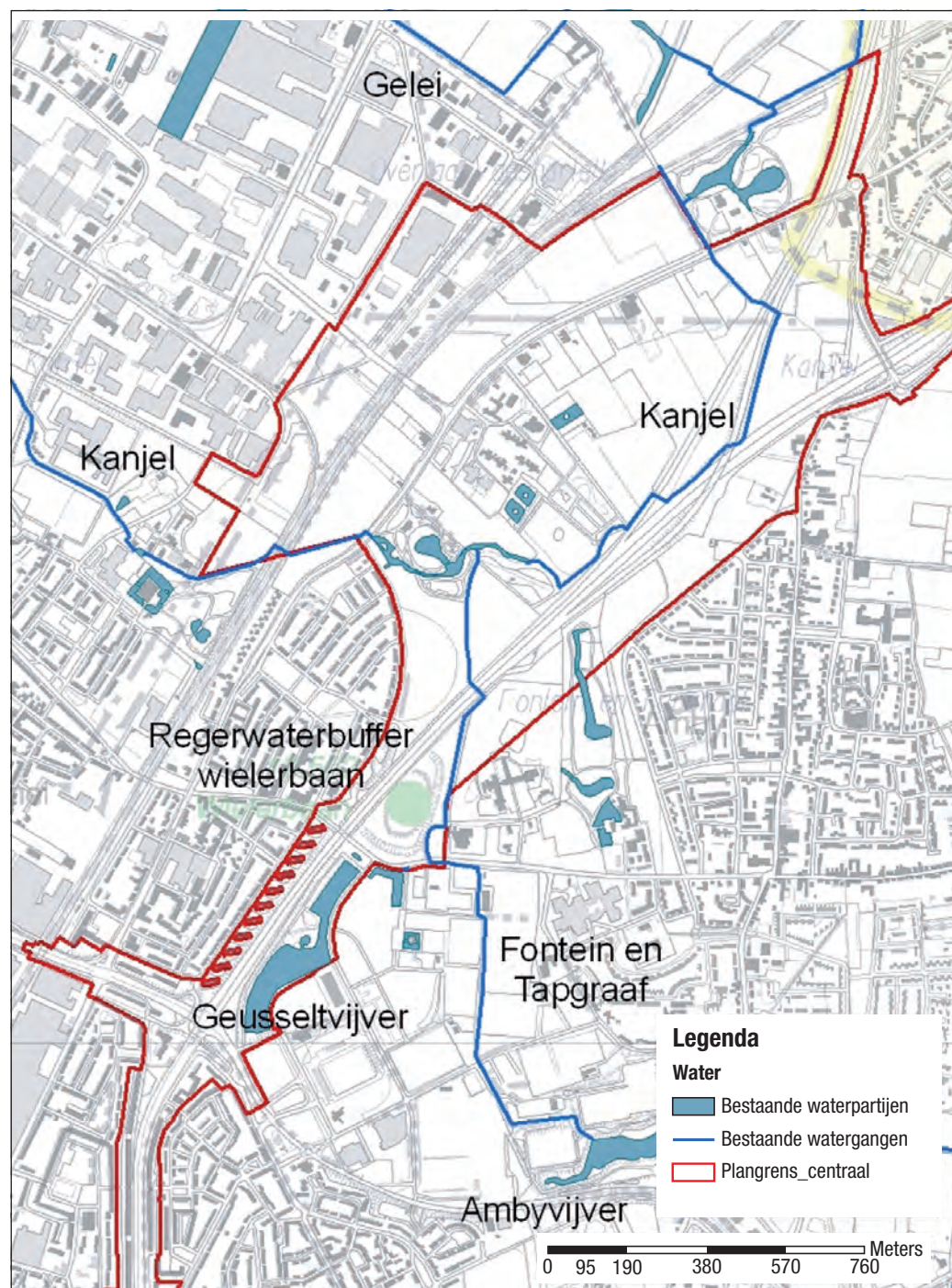
Eigenschappen grondlagen

Hieronder beschrijven wij de eigenschappen van de verschillende lagen in de ondergrond. Om betrouwbaar de effecten van en tijdens de aanleg te kunnen bepalen, is het cruciaal om deze eigenschappen goed in beeld te hebben. In de volgende fase is vervolgonderzoek noodzakelijk.

¹ Uit: Hydrologische optimalisatie Maastricht-Oost, Geodelft, november 2006

Grindlagen: Het doorlatend vermogen (kD) is groot. Over een strook van 2 km ten oosten van de Maas varieert de kD tussen de 4.000 à 8.000 m²/dag. Ter plaatse van de tunnel is de grindlaag tussen de 5 en 10 m dik.

Figuur 2.1
Kaart oppervlaktewater-
systeem



Kalksteen: In het kalksteenpakket wordt een grote hoeveelheid grondwater gewonnen voor drinkwaterbereiding. De natuurlijke grondwaterstroming wordt hierdoor sterk door beïnvloed. In vergelijking met het bovenliggende grind is kalksteen vele malen minder doorlatend. Toch moet de doorlatendheid van de kalksteen niet worden verwaarloosd. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen onverweerde en verweerde kalksteen. Onverweerde

kalksteen bezit een primaire doorlatendheid van één tot enkele meters per dag. Verweerde kalksteen kan een veel hogere doorlatendheid hebben. Hierin zitten vaak vuursteenlagen waarlangs oplossingsverschijnselen voorkomen. Daarnaast kan door spleten, scheuren en zogenaamde orgelpijpen zeer geconcentreerde grondwaterstroming optreden (secundaire doorlatendheid). De ligging van scheuren en breuken is vaak onbekend. Per afzetting kan de primaire doorlatendheid sterk verschillen. Uit waarnemingen leiden wij af dat de stijghoogte in de kalksteenformaties vergelijkbaar is met die in de grindlagen.

Grondwaterkwaliteit

In het gebied zijn meerdere bodemonderzoeken uitgevoerd waarbij de grondwaterkwaliteit is bepaald. Uit deze onderzoeken blijkt dat er op twee plaatsen sprake is van een grondwaterverontreiniging met vluchtige chloorkoolwaterstoffen (VOC):

- Nabij het Europaplein: Deze verontreiniging is (mede) een gevolg van een voormalige chemische wasserij aan de Heerderweg. De grondwaterverontreiniging strekt zich in ieder geval uit tot in het grindpakket. De omvang van de grondwaterverontreiniging is niet volledig bekend. Waarschijnlijk loopt deze stroomafwaarts over in andere grondwaterverontreinigingen.
- Nabij het Koningsplein: De bron van deze verontreiniging is niet bekend. De grondwaterverontreiniging strekt zich in ieder geval uit tot 7,5 m -mv.

De aanwezige diffuse grondverontreinigingen (voornamelijk zware metalen en PAK) hebben niet geleid tot verontreiniging van het grondwater.

2.4 Knelpunten huidige watersysteem

Oppervlaktewater

- Het hele bekensysteem van Tapgraaf, Fontein, Kanjel en Gelei heeft een slechte waterkwaliteit door regelmatige riooloverstorten.
- De sifon onder het Julianakanaal (300 l/s) beperkt de afvoercapaciteit van het hele bekensysteem. De kans op wateroverlast is in het hele systeem aanwezig.
- Verdroging en inlaat gebiedsvreemd water. De oorspronkelijke voeding vanuit het grondwater bestaat grotendeels niet meer. Door winning van grondwater voor drink- en proceswater is de grondwaterstand in de wijde omgeving van de landgoederenzone gedaald. In natte perioden wordt het watersysteem gevoed met hemelwater. Door de overstorten is dit hemelwater van wisselende kwaliteit. In droge perioden wordt water van matige kwaliteit via de Gelei aangevoerd uit de Geul.
- De slotgrachten, vijvers en sloten (hierna vijvers genoemd) bij de landgoederen maken onderdeel uit van het oppervlaktewatersysteem. De vijvers zijn eutroof en de ecologische waarde is beperkt.
- Een groot deel van de Kanjel loopt parallel aan de huidige snelweg en kent weinig uitstraling. De belevingswaarde van het water in de landgoederen is verre van optimaal.

Grondwater

- De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) ligt circa 1,50 m beneden het maaiveld. De tunnel zal als een barrière werken voor het grondwater. Hierdoor zal het grondwaterregime wijzigen. Een randvoorwaarde is dat er niet meer dan 0,2 m opstuwing of verlaging plaatsvindt (IGO 181). Het ontwerp is hierop gericht. Conform de voorschriften van Aanbesteder heeft Avenue2 veranderingen vergeleken op basis van de huidige grondwatersituatie, zoals bepaald met het aangeleverde Triwaco-model.
- Tijdens de aanleg van de tunnel zal grondwater onttrokken worden. Dit leidt tot verlagingen van de grondwaterstanden in de omgeving. In eerste instantie is gesteld dat tijdens de aanlegfase de grondwaterstand in het gebied rond de tunnel onder de naastgelegen onderkelderde

gebouwen niet meer dan 0,2 m mag wijzigen ten opzichte van de huidige situatie (IGO 227). Avenue2 heeft VTW06 ingediend met de vraag om geen ondergrens voor de bemaling anders dan de maximale verlaging van 0,05 m in hydrologisch gevoelige gebieden en een maximale opstuwung van 0,2 m onder onderkelderde gebouwen op te nemen. Het Projectbureau A2 heeft per brief (HB8319, d.d. 2 juli 2008) aangegeven VTW06 bespreekbaar te beschouwen.

- Door de opgeworpen barrière veranderen in de permanente situatie mogelijk de stromingsrichtingen en kwel- en infiltratiesituaties. Omdat de maximale verandering in de grondwaterstand 20 cm is, zijn deze wijzigingen minimaal.
- Door klimaatverandering zal de grondwatersituatie wijzigen in de toekomst. Daar waar mogelijk heeft Avenue2 dit in het ontwerp meegenomen door een berekening met extremen ($T=1250$) te maken voor de ontwerpgrondwaterstanden. De $T=1250$ extreme is eveneens door Royal Haskoning (2004) gehanteerd voor de ontwerpgrondwaterstanden voor de constructie en wordt in Nota van Inlichtingen 7 als eis LG-02 aangehaald (de tunnel dient beschikbaar te blijven bij een grondwaterstand met overschrijdingskans kleiner dan 1:1250 jaar). Besloten is daarom bij LG-02, het voorgaande onderzoek en de geleverde Triwaco-modellen aan te sluiten.
- Door eventuele stopzetting van de grondwaterwinningen Borgharen, de Tombe, IJzeren Kuilen en de Heer-Vroendaal zal de grondwatersituatie wijzigen. Met het Projectbureau A2 is afgesproken (8 april 2008) dat wij met de constructie van de tunnel rekening houden met eventuele stopzetting van de winningen na de realisatie. Extra opstuwung van grondwater tijdens de bouw doordat winningen worden stopgezet, worden niet tot de effecten van het project gerekend. Reden hiervoor is dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn van mogelijke stopzettingen.
- De grondwaterkwaliteit in het gebied kan tijdens de aanleg en in de permanente situatie beïnvloed worden. Door bemaling kunnen verontreinigingen aangetrokken worden.

2.5 Visie op watersysteem tunnel en omgeving

Avenue2 heeft het watersysteem in het plangebied, inclusief grondwater en riolering, zo ontworpen dat huidige knelpunten zo goed mogelijk worden opgelost en geen nieuwe knelpunten worden opgeworpen.

Avenue2 onderscheidt de volgende typen ingrepen, namelijk:

- huidige grondwaterstroming zoveel mogelijk handhaven;
- voldoende ruimte voor oppervlaktewater creëren (vergroten huidige bergingscapaciteit);
- versterken van de ecologie en beleefbaarheid van het water;
- schone en verontreinigde waterstromen (hemelwater en afvalwater) scheiden.

In de volgende paragrafen werken wij de eerste drie punten verder uit. Een nadere uitwerking van het laatste punt, scheiden van schone en verontreinigde waterstromen, staat in hoofdstuk 4. Dit hoofdstuk geeft een aparte ontwerpvisie op het rioleringsysteem.

2.5.1 Handhaven huidige grondwaterstroming

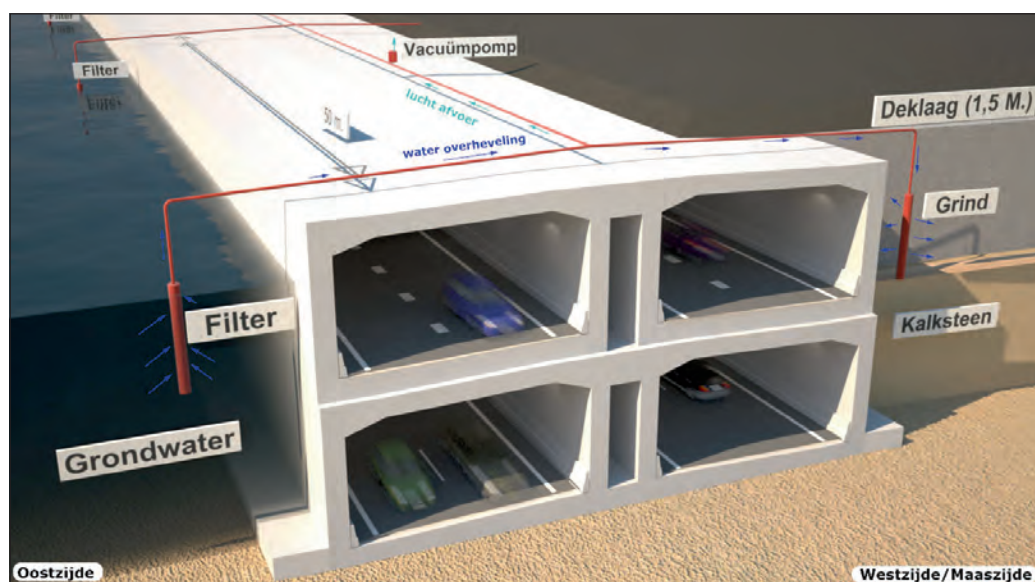
Permanente situatie

Over de tunnel leggen wij buizen (hevelconstructie) waar het grondwater doorheen geleid gaat worden. Hierdoor wordt de grondwater-stroming zo weinig mogelijk geblokkeerd in de permanente situatie. De hevelwerking wordt gewaarborgd door het aanbrengen van een vacuümpomp, die eventuele aanwezigheid van lucht in de hevelbuizen verwijdert en zorgt voor het opstarten van de stroming van het grondwater door de buizen. Opstuwung van het grondwater (GHG) aan de oostzijde (= bovenstroomse zijde) van de tunnel zal niet meer zijn dan 20 cm. Dit komt overeen

met de voorschriften van de Aanbesteder. Verlagen van de grondwaterstanden (GLG) aan de benedenstroomse zijde voldoen eveneens aan de gestelde eisen van maximaal 20 cm. Figuur 2.2 verbeeldt dit.

Avenue2 kiest bewust voor de hevelconstructie, omdat dit in onze ogen de meest duurzame methode voor het omgaan met een stijging van het grondwater is. In principe blijft de huidige situatie zo ongewijzigd. Het grondwater blijft stromen zoals het altijd deed. Afvoeren van grondwater naar elders (bijvoorbeeld de Landgoederenzone) vindt Avenue2 niet verstandig omdat de grondwaterkwaliteit in de stad, waar de tunnel komt, anders/slechter van kwaliteit is dan het oppervlakte water in de Landgoederenzone. Vermenging is dus negatief voor de waterkwaliteit en daarmee voor de ecologie. Of het grondwater in voldoende mate gezuiverd kan worden is hoogst onzeker. Bovendien vindt Avenue2 het verpompen van grondwater niet duurzaam.

Figuur 2.2
Schematische weergave
hevelsysteem



Aanleg van tunnel en de hevels

De aanlegmethode ten behoeve van de tunnel bestaat onder andere uit het aanbrengen van damwanden tot circa 20 m beneden maaiveld in cement-bentoniet sleuven.

Zolang de damwanden er staan, vindt geen doorstroming plaats en is over de volle hoogte van de damwand sprake van een obstakel. Alleen onderlangs (kalksteen) en langs de kopse kanten (grind en kalksteen) is stroming mogelijk. Nadat de damwanden zijn getrokken wordt of de cement-bentoniet wand op diverse plaatsen vervangen door grind waarbij de hevelconstructie tegen de tunnel aan zit of wordt de hevelconstructie buiten de sleuven geplaatst. Bovenlangs is dan grondwaterstroming mogelijk door de aangebrachte hevelconstructie. Het benodigde doorlaatvermogen van de constructie hebben wij met behulp van het Triwaco-model bepaald en bedraagt 200 m²/d. Deze berekening houdt geen rekening met de infiltratie van hemelwater in het infiltratieriool (zie hoofdstuk 4). Reden hiervoor is dat er geen exacte gegevens bekend zijn over de hoeveelheid te infiltreren water. Het voornemen is om dit in een latere fase te doen.

Bij het doorlaatvermogen van 200 m²/d bevindt de opstuwings/verlaging zich binnen de gestelde grenzen van 0,2 m ten opzichte van GHG/GLG. Hierbij zijn wij uitgegaan van een 'worst case'-situatie, waarbij de barrière in de permanente situatie over de volle lengte van de tunnel tot 30 m beneden maaiveld blijft zitten. Hierbij is de wand 10 m langer aangehouden dan zal worden toegepast.

Beschrijving hevelconstructie

Om de verandering van de grondwaterstand als gevolg van de aanleg van de tunnel te beperken tot maximaal de gestelde eis van 20 cm, wordt een hevelconstructie aangebracht. Het hevelsysteem bestaat uit meerdere grote filters (eventueel permeobuizen) aan de boven- en benedenstroomse zijde van de tunnel verbonden door meerdere buizen over de tunnel heen (zie figuur 2.3). De filters moeten het water draineren respectievelijk infiltreren en zijn voor een optimale werking door grind omhuld of in het grindpakket geplaatst. De filters bevinden zich onder GLG en buiten de cement-bentonietwanden. De hevels worden voorzien van een afpompsysteem om de doorstroming te garanderen in geval lucht in het systeem komt. De benodigde drainage en infiltratiecapaciteit en de benodigde transportcapaciteit van de doorvoerende buizen zijn, om binnen de gestelde eisen van grondwaterstandverandering te blijven, nauwkeurig doorgerekend (zie bijlage 4).

Voorwaarde voor het werken van de hevelconstructie is een verschil in grondwaterstand boven- en benedenstrooms van de tunnel. Aan deze voorwaarde wordt voldaan aangezien dit verschil in grondwaterstand als gevolg van de aanleg van de tunnel juist de reden is om een hevelconstructie aan te leggen. Om instandhouding van de stroming van grondwater door de hevelbuizen te waarborgen, is het van groot belang dat rekening wordt gehouden met eventuele aanwezigheid van lucht in het hevelsysteem en het eventueel dichtslibben van de filters door het neerslaan van in het grondwater opgeloste bestanddelen. Zoals eerder aangegeven, wordt met behulp van een vacuümpomp eventueel aanwezige lucht uit het hevelsysteem gehaald. Wanneer de stroming van grondwater door de buizen tot stilstand komt door de aanwezigheid van lucht, wordt deze stroming opnieuw op gang gebracht door de vacuümpomp. Het eventueel dichtslibben van de filters door het neerslaan van opgeloste bestanddelen is meegenomen in de berekening van het benodigd aantal filters en het filteroppervlak. Door het totaal aan filteroppervlak te overdimensioneren is er ook bij het dichtslibben van 93 % van het oppervlak aan filterspleten, nog voldoende capaciteit om de hevelwerking in stand te houden.

De snelheid waarmee de filters dichtslibben wordt echter laag ingeschat. Omdat de belasting (stroomsnelheid) van de filters zeer laag is, zal ook het eventueel dichtslibben langzaam gaan en zullen ook weinig evenwichtsverschuivingen (bijvoorbeeld kalk-koolzuur) te verwachten zijn. De overdimensionering van het hevelsysteem heeft naast de lage stroomsnelheid ook het voordeel dat bij situaties met extreem hoge grondwaterstanden voldoende capaciteit bestaat om ook in deze situatie de verandering van de grondwaterstand binnen de eis van 20 cm te houden. De frequentie waarmee de filters gereinigd dienen te worden is in eerste instantie 1x per 5 jaar.

Om te voorkomen dat tijdens de aanleg de grondwaterstandsverhoging groter is dan 0,2 m (immers de damwanden staan er dan nog en de hevel is nog niet aangebracht), hebben wij berekend hoeveel meter bouwkuip tegelijkertijd aanwezig mag zijn, zonder bemaling, ter-wijl de grondwaterstand binnen de gestelde eisen blijft. Dit bleek 600 meter te zijn. De maximale lengte van de verschuivende bouw-kuip (zie specialistisch rapport Bouwtechniek en Bouwtijd) waarmee gewerkt zal gaan worden is ca. 550 meter. Ook tijdens de aanleg wordt dus voldaan. Bovendien compenseren wij de opstuwing dan voor het grootste gedeelte van de tijd door de bemaling om de bouwkuip droog te houden.

Gevolg van deze keuzes is dat er in de permanente situatie geen extra ingrepen in de nabijheid van de tunnel gepleegd hoeven te worden (geen extra drainage of bemalingssystemen) om de grondwaterstand op niveau te houden. Wateroverlast als gevolg van grondwater zal in kelders en tuinen daardoor niet significant anders zijn dan nu al het geval is.

Bemaling

Grondwater in de aanlegfase van de tunnel vormt een tweede belangrijk aspect. Hier houden wij rekening mee in de maximale lengte van de bouwkuip (zie hiervoor bij 'Beschrijving hevelconstructie'). Bij de gekozen bouwwijze is echter ook bemaling nodig. In bijlage 4 gaan wij inhoudelijk in op het aspect bemaling. De effecten van bemaling beperken wij zoveel mogelijk door in eerste instantie retourbemaling toe te passen. Additioneel kunnen eventueel de wanden verlengd worden. Secundaire doorlatendheid beheersen wij door middel van grondinjectie. Hiermee wordt het gebied waar een verlaging van de grondwaterstand optreedt aanzienlijk verkleind. De hydrologisch gevoelige natuurgebieden houden daardoor hun huidige grondwaterstand. De effecten van bemaling beschrijven wij in hoofdstuk 3 van dit rapport.

Nader onderzoek nodig

Geofysische en aanvullende (geo)hydrologische proeven zullen meer duidelijkheid brengen in de doorlatendheden (secundair en primair) van de kalksteen. Zowel over de lengte van het tracé, als in de diepte. Deze worden tijdens de volgende fase uitgevoerd. Met de resultaten kunnen de benodigde maatregelen nader gedetailleerd worden.

Grondwaterkwaliteit

Het retourneren van verontreinigd grondwater zal zo veel mogelijk binnen de bestaande grondwaterverontreiniging gebeuren. Daarbij zullen wij aanwezige kansen om de afbraak van de verontreiniging te stimuleren gebruiken.

2.5.2 Creëren voldoende ruimte voor oppervlaktewater

Tapgraaf/Fontein

In de huidige situatie hebben Tapgraaf en Fontein onvoldoende bergingsmogelijkheden. Om aan deze problemen tegemoet te komen, is in het plan 'de Geusselt' een vergroting van de Geusseltvijver voorgesteld. Dit is gecombineerd met het loskoppelen van de Geusseltvijver van Tapgraaf/Fontein.

In de planvorming van Avenue2 is afstemming gezocht met het plan Geusselpark. Door de nieuwe ligging van de A2 geven wij in onze plannen de Geusseltvijver anders vorm dan in de huidige situatie. De vijver komt voor een deel te liggen ten oosten van de snelweg en voor een deel wordt de vijver gecompenseerd als plas-draszone aan weerszijden van de A2. De functionaliteit en capaciteit van de huidige vijver blijven daarmee gehandhaafd. De plas-draszone zal de meeste tijd een moerasachtige zone vormen. Alleen in perioden van hoge neerslagintensiteit overstroomt de buffer. Deze vormt dan een tijdelijke waterberging van het water van Tapgraaf/Fontein (daar Kanjel geheten).

Plas-draszone

Een deel van de benodigde ruimtecompensatie van de huidige Geusseltvijver hebben wij gezocht ten oosten van de voormalige 'wielerbaan'. Dit gebied maakt onderdeel uit van de Ecologische hoofdstructuur (EHS) en wordt ingericht als natuurgebied. Daarom richten wij dit deel van de buffer zodanig in dat hiervan slechts minimaal gebruikt gemaakt gaat worden (als moeraszone met een drempel tussen de Geusseltvijver en de moeraszone). Onder normale omstandigheden wordt de laagte in het terrein gevoed door grondwater. Het huidige beheer door begrazing door koeien blijft gehandhaafd.

Geusseltvijver en plan 'de Geusselt'

In het plan 'de Geusselt' is een grotere bergingvijver opgenomen dan wij binnen de plangrenzen kunnen realiseren. Hiervoor is de fysieke ruimte, doordat er een asverschuiving van de A2 plaatsvindt, te beperkt. Ons plan voorziet er echter in dat er minder overstortcapaciteit nodig is door de extra berging in de ringleiding. Hierdoor neemt de noodzaak aan een grotere bergingsvijver af. Bij de verdere uitwerking zullen wij een en ander cijfermatig onderbouwen.

Landgoederenzone

Door het afkoppelen van schoon hemelwater (zie paragraaf 4.3.3) en het loskoppelen van de Geusseltvijver van de beken worden de afvoerpieken kleiner. Daarnaast willen wij het profiel van de Kanjel ruimer dimensioneren en natuurvriendelijk inrichten om op die wijze meer waterberging te scheppen (en de ecologie te versterken). De verblijftijd van het water in het bekensysteem wordt vergroot. Dit heeft als extra voordeel dat er in droge perioden minder gebiedsvreemd water ingelaten hoeft te worden.

2.5.3 Versterken van de ecologie en leefbaarheid van het water

Ecologie en leefbaarheid van het water vormen momenteel een knelpunt. Vanwege de geplande ingreep moeten in ieder geval mitigerende maatregelen getroffen worden ten behoeve van natuur. Behalve mitigeren vindt Avenue2 dat er kansen liggen om de ruimtelijke kwaliteit van het gebied te versterken. Daarom verlegt Avenue2 de loop van de Kanjel door de landgoederenzone. De beek wordt natuurvriendelijk ingericht en ruimer gedimensioneerd. Gecombineerd met een verbetering van de waterkwaliteit (zie hoofdstuk 4) wordt de belevingswaarde van het water vergroot. Avenue2 stemt de ligging van het nieuwe beektracé af op de cultuurhistorische situatie.

Wij leggen duikers aan onder de snelweg en onder de aansluiting Beatrixhaven. Hiermee houden wij rekening met de migratie van watergebonden fauna. Harde bodems zijn niet toegestaan en daarom brengen wij duikerelementen aan met een overdiepte van 0,3 m. De duikers voeren wij zoveel mogelijk uit als ecoduiker, zodat ook oevergebonden fauna kan passeren. Meer informatie hierover staat in het Specialistische Rapport Natuur.

Beeld van de verlegde Kanjel

Door de omleiding ontstaat een meanderende beek met hoge (steilranden) en lage oevers. De beek kronkelt door een afwisselend landschap van bos, open plekken, vijvers en poelen. Wij stellen voor om daar waar mogelijk de vijvers los te koppelen van het beekstelsel. Hierdoor worden zij, naast door grondwater, gevoed door hemelwater. Dit ondersteunt de ecologische kwaliteit van de vijvers.

Om te voorkomen dat de waterpeilen te ver uitzakken, maken wij inlaatwerken. Om de ecologische kwaliteit zo veel mogelijk te versterken, is het verstandig nader te onderzoeken wanneer de peilen te laag komen te staan voor andere functies. Bijvoorbeeld fundering van de gebouwen en bomen. Alleen als er schadelijke gevolgen aan andere functies optreden, kan gebiedsvreemd water ingelaten worden.

Figuur 2.3
Beeld van toekomstige
Kanjel



2.6 Toelichting op verschillende beleidsthema's

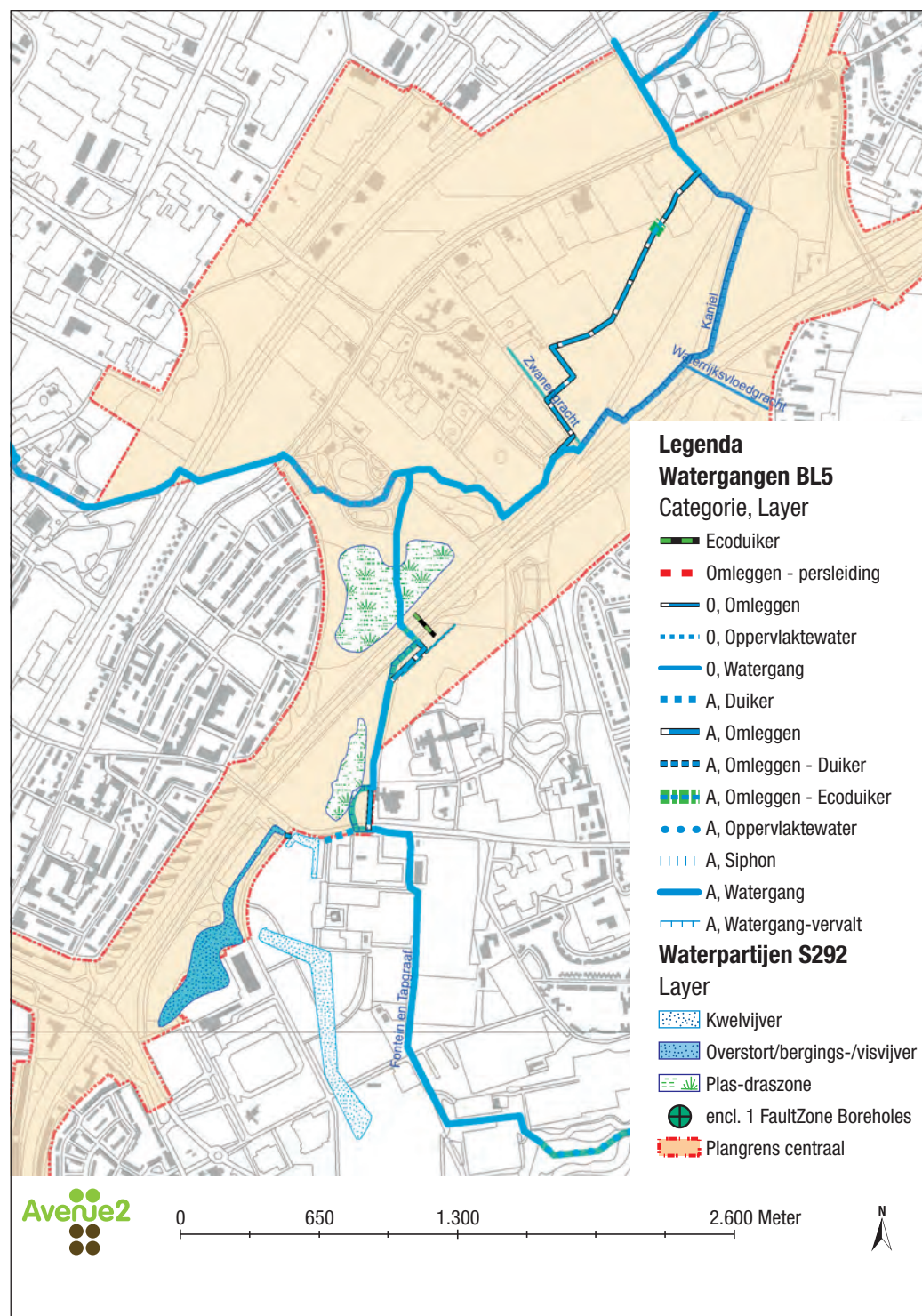
2.6.1 Verdrogingsbestrijding

De landgoederenzone is van oudsher een gebied dat gevoed wordt door het uittredend grondwater (bronnengebied). In de loop van de afgelopen eeuw is de grondwaterstand gedaald. Dit komt door grondwaterwinningen in de omgeving. Het gebied is daardoor nu verdroogd. Het beleid van de verschillende overheden is erop gericht de huidige grondwaterwinningen te verminderen om daarmee de natuurlijke grondwaterstand te herstellen. De ingrepen in het watersysteem van de landgoederenzone (verbeteren waterkwaliteit, water langer vasthouden en ecologisch inrichten van de oevers) zullen een deel van de gevolgen van verdroging verminderen en de natuurwaarden versterken. Uit berekening blijkt dat de aanleg van de tunnel een iets hogere grondwaterstand geeft. Dit zal eveneens een positief effect hebben op de ecologie.

Als Avenue2 kiezen we er expliciet niet voor om overtollig grond- en hemelwater uit het plangebied naar de Landgoederenzone te brengen. Hier liggen de volgende redenen aan ten grondslag:

- Onze oplossing met een hevel over de tunnel zorgt ervoor dat we geen overtollig grondwater hebben.
- Gebiedsvreemd water heeft een negatief ecologisch effect. De ecologie in de Landgoederenzone is gebaat bij kalk- en ijzerrijk grondwater (kwel), niet bij extra regenwater.
- Om extra water vanuit het plangebied naar de Landgoederenzone te brengen is pompen altijd noodzakelijk, wij achten deze oplossing daarom niet duurzaam.

Figuur 2.4
Kaart nieuwe
oppervlaktesysteem



2.6.2 Klimaatverandering

Door klimaatverandering worden nattere winters en drogere zomers verwacht. In de zomerperiode worden meer intensieve buien verwacht. Hierdoor zullen de afvoerpieken toenemen, terwijl perioden van watertekort eveneens zullen toenemen. Wij spelen hier zo goed mogelijk op in door het oppervlaktewatersysteem robuuster te maken (afkoppelen, meer berging, et cetera). Wat betreft wijzigingen in het grondwaterregime als gevolg van klimaatverandering hebben wij berekeningen gemaakt met extremen ($T=1250$).

2.6.3 KRW-doelstellingen

Het watersysteem moet schoon en gezond zijn en voldoen aan de doelstellingen voor de Kader-richtlijn water. Met ons plan voeren wij een groot aantal verbeteringen in het watersysteem door. Deze verbeteringen passen goed in de KRW-filosofie. Hieronder valt:

- afkoppelen;
- terugdringen riooloverstorten;
- meer waterberging en daardoor meer natuurlijke zuivering van het water;
- terugdringen inlaat gebiedvreemd water;
- natuurlijke inrichting.

Het resultaat van deze ingrepen is een veel schoner, gezonder en robuuster watersysteem.

2.6.4 Watertoets

Watertoets is een procesinstrument dat inhoudt dat de waterbeheerders van begin af aan betrokken zijn bij het ruimtelijk proces. Ingrepen moeten conform de eisen van de waterbeheerders ontworpen worden. Als dit niet mogelijk is, moeten hiervoor beargumenteerde, mitigerende maatregelen worden voorgesteld. In deze fase van de planvorming is het niet mogelijk overleg te voeren met de waterbeheerders. Daarom heeft het waterschap haar uitgangspunten in een beleidsbrief kenbaar gemaakt. Het ontwerp komt hier aan tegemoet. In de volgende fase van planvorming zal Avenue2 in overleg treden met de waterbeheerders en een ander nader uitwerken.



Nadere uitwerking grondwater

3 Nadere uitwerking grondwater

3.1 Belangrijkste aandachtspunten grondwater

Met de ingrepen die Avenue2 voorstelt, blijft de grondwaterstanden na aanleg van de tunnel nagenoeg gelijk aan die in de huidige situatie. De ingrepen die wij tijdens de aanleg van de tunnel plegen, zijn voldoende om zowel de tunnel aan te kunnen leggen als de grondwaterstanden buiten de bouwkuip vergelijkbaar te houden met de huidige situatie. Verstoringen in het grondwatersysteem worden geminimaliseerd. Tijdens de bouw is het stromingspatroon anders dan nu. Wij stellen nader onderzoek voor om de fysieke eigenschappen van de ondergrond, zoals opbouw en primaire en secundaire doorlatendheden, in meer detail te kunnen bepalen. Met de resultaten van dit onderzoek hopen wij meer detailinformatie te kunnen leveren over bouwkuipdieptes en -groottes, fasering, et cetera. Ook zullen een aantal onzekerheden over de uitkomsten van de modelleringen kleiner worden en verwachten wij de risico's beter inzichtelijk te kunnen maken.

3.2 Analyse beschikbare model

Het Projectbureau A2 Maastricht heeft het Triwaco-model van 'Grondwatermodelonderzoek en bepaling ontwerpstiijghoogten A2-tunneltraverse Maastricht' (Royal Haskoning 2004) beschikbaar gesteld. Het betreft een regionaal model. Dit model geeft, vooral voor het kalksteenpakket dat hoort tot de formatie van Maastricht, weinig onderscheid in doorlatendheid in de diepte. Diverse literatuurbronnen geven echter aan dat dit pakket niet uniform is. Omdat Avenue2 gekozen heeft voor een constructiewijze mét bemaling, is het van groot belang betrouwbare doorlatendheden in de modellering te gebruiken. Dit geldt voor de kalksteenlaag, de bovenliggende grindlaag en de overgang tussen de kalksteen en grindlaag. Ook de verhouding tussen de horizontale en verticale doorlatendheid is essentieel. Onder andere bovenstaande aspecten hebben wij nader gespecificeerd op basis van literatuuronderzoek, een gevoeligheidsanalyse en een vergelijking met de bouwputbemaling van Mosae Forum (gegevens van ARCADIS). De gevonden waarden hebben wij verdisconteerd in het bestaande model in de weerstand (C) en het doorlaatvermogen (kD). Een uitgebreide beschrijving en onderbouwing hiervan is te vinden in bijlage 4.

3.3 Scenario's

Om te bepalen of Avenue2 tijdens de aanlegfase en in de permanente situatie met tunnel voldoet aan de eisen voor het grondwater, hebben wij onderstaande scenario's gedefinieerd en doorgerekend. In bijlage 4 geven wij een uitgebreide toelichting op de aanpassingen die wij voor het berekenen van de verschillende scenario's in het model hebben gedaan.

3.3.1 Permanente situatie

De aanleg van de tunnel veroorzaakt een blokkade voor de grondwaterstroming. Dit heeft effect op de grondwaterstand en de grondwaterstroming in de omgeving. Door de onderstaande scenario's te berekenen, krijgen wij inzicht in de grootte van deze effecten.

Tabel 3.1
Permanente situatie met tunnel

Opzet berekening	Toelichting
Scenario P0: huidige situatie • berekenen huidige situatie; • bepalen GHG/GLG en kwel/inzijging voor periode 1990-2000.	Referentie voor effectbeoordeling (basismodel Triwaco, Haskoning, 2004).
Scenario P1: situatie met tunnel • berekening situatie met tunnel; • bepalen GHG/GLG en kwel/inzijging voor periode 1990-2000.	De dikte van de overgebleven kalksteenlaag onder de tunnel is bepaald. Het doorlaatvermogen van dit pakket is berekend, aangepast op variaties in de diepte en op de horizontaal (op basis van de gevoeligheidsanalyse als omschreven in paragraaf 3.2 en toegelicht in bijlage 4). Het doorlaatvermogen van de grondlagen die geheel door de tunnel worden afgesloten (deklaag en grindlaag), zijn op nul gezet.
Scenario P2: situatie met tunnel, hevel en maximaal 0,2 m verandering grondwaterstand • berekening situatie met tunnel en hevelconstructie²; • barrière tot 30 m beneden maaiveld³; • bepalen GHG/GLG en kwel/inzijging voor periode 1990-2000.	De dikte van de overgebleven kalksteenlaag onder de tunnel is bepaald. Het doorlaatvermogen van dit pakket is berekend, aangepast op variaties in de diepte en op de horizontaal (op basis van de gevoeligheidsanalyse als omschreven in paragraaf 3.2 en toegelicht in bijlage 4). Cement-bentonietresten vormen een blijvende barrière. Uit iteratieberekeningen blijkt dat een doorlaatvermogen van 200 m ² /d nodig te zijn om binnen de maximaal toegestane verlaging/verhoging van 0,2 m van de GHG/GLG te blijven. De onderbouwing van dit doorlaatvermogen en functioneren van de hevel geven wij in bijlage 4.

3.3.2 Lange termijn

Om de constructie van de tunnel voldoende robuust te ontwerpen voor de langere termijn is de 1:1250-jaarssituatie doorgerekend. Hierbij kiezen wij voor de maatgevende versie van de 1:1250-jaarssituatie, waarbij neerslag bepalend is (Royal Haskoning, 2004).

3.3.3 Aanlegfase

De bouwmethode die Avenue2 heeft gekozen maakt bronbemaling noodzakelijk. Uitgangspunten voor de grondwaterberekeningen tijdens de aanleg zijn dat de bouwkuip over een maximale lengte van 500 m en voor een maximale periode van circa 2 jaar zal bestaan. Omdat 'de bouwtrein' verplaatst, zijn de grondwaterberekeningen met deze randvoorwaarden een overschatting van de effecten. Ook zal in de tijd niet altijd 500 m in bedrijf zijn, maar kan er sprake zijn van meerdere bouwputten. Dit zou tot een onderschatting kunnen leiden.

De bemaling lengte in de tunneltrein bedraagt ca. 350 m (zie specialistisch rapport Bouwtechniek en Bouwtijd). De berekende 500 m bemalen lengte vormt daarmee een conservatieve benadering. In de vervolgfase werken wij de fasering in de bouw en de grondwatereffecten daarvan nader uit. De berekeningen gebaseerd op onderstaande scenario's A0 en A1 geven een goed eerste inzicht in de orde grootte van gevolgen van de bronbemaling voor het grondwater in de omgeving.

² Om de hevel boven de tunnel in het model te simuleren, hebben wij een doorlaatvermogen toegekend aan een nieuw ingebracht laag in de tunnel.

³ Deze zijn niet te verwijderen na aanleg, dus daar moet rekening mee gehouden worden in de permanente situatie.

Tabel 3.2
Permanente situatie met
tunnel, 1:1250-jaars
scenario

Opzet berekening	Toelichting
Scenario P3: 1:1250 • berekening gebeurtenis met herhalingstijd van T-1250 jaar; • situatie met tunnel en hevelconstructie, zonder WML-winningen⁴.	Als scenario 2 met extreme gebeurtenis (T=1250 jaar).

Tabel 3.3
Aanlegfase

Opzet berekening	Toelichting
Bemalingsscenario A0: huidige situatie • berekening huidige situatie; • bepalen grondwaterstand voor periode 1990-1991⁵.	Referentie voor effectbeoordeling.
Bemalingsscenario A1: met bemaling bouwkuip • berekening situatie met bemaling bouwkuip; • bepalen verlaging van de grondwaterstand voor de periode 1990-1991⁵.	Voor het bepalen van de verlaging van de grondwaterstand tijdens de aanlegfase is een niet-stationaire berekening uitgevoerd met het aangepaste Triwaco-model. De uitkomsten zijn vergeleken met de grondwaterstand in de autonome situatie. Aan het bestaande Triwaco-model is drainage toegevoegd ter plaatse van de bouwputbemaling (30 m +NAP). De damwanden reiken tot 27,5 m +NAP (dit is ongeveer 20 m beneden maaiveld).

3.3.4 Aanlegfase: compensatie en mitigatie van effecten

Om tijdens de aanlegfase het onttrekkingdebiet en de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving te beperken, onderzoeken wij de effecten van retourbemaling en langere wanden in de scenario's A2, A3 en A4.

De bouwmethode die we toepassen bestaat uit korte wanden (20 m) in combinatie met retourbemaling, scenario A4. Scenario's A2 en A3 geven inzicht in andere of aanvullende mitigerende maatregelen.

Tabel 3.4
Doorgerekende scenario's voor de beoordeling van de effecten van de bouwputbemaling op het grondwater in de aanlegfase

Scenario	Aanpassingen + uitleg
Bemalingsscenario A2: bemaling bouwkuip en lange wanden • berekening situatie met bemaling bouwkuip en dieper doorzetten van damwanden; • bepalen grondwaterstand voor periode 1990-1991.	Voor het bepalen van de verlaging van de grondwaterstand tijdens de aanlegfase is een niet-stationaire berekening uitgevoerd met het aangepaste Triwaco-model. Aan het bestaande Triwaco-model is drainage toegevoegd ter plaatse van de bouwputbemaling (30 m +NAP). Als mitigerende maatregel hebben wij de wanden doorgezet tot 15,5 m +NAP (= 30 m beneden maaiveld).

⁴ Scenario 3 hebben wij opgesteld en doorgerekend om de ontwerpgrondwaterstand te bepalen in geval van extreme klimaatverandering en het beëindigen van de drinkwaterwinningen. Deze ontwerpgrondwaterstand is gebruikt om de tunnelconstructie voldoende robuust te ontwerpen.

⁵ Aangezien over een maximale periode van twee jaar 500 meter bouwkuip bemalen zal gaan worden, is de rekenperiode 1990-2000 (permanente situatie) ingekort. De keuze voor 1990-1991 is een keuze voor een relatief 'worst case' scenario. Deze jaren waren relatief droog (neerslaggegevens meteorostation Maastricht (KNMI)). De verlaging van de grondwaterstand is echter zo groot dat de keuze voor een nat of droog jaar niet significant uitmaakt.

Scenario	Aanpassingen + uitleg
Bemalingsscenario A3: bemaling bouwkuip en lange damwanden, inclusief retourbemaling • berekening situatie met bemaling bouwkuip, het dieper doorzetten van wanden en het toepassen van retourbemaling; • bepalen grondwaterstand voor periode 1990-1991.	Gelijk aan bemalingsscenario 2. Toevoeging van retourbemaling⁶ ten noorden en ten oosten van de bemaling (binnen de plangrenzen).
Bemalingsscenario A4: bemaling bouwkuip en korte damwanden, inclusief retourbemaling • berekening situatie met bemaling bouwkuip, het toepassen van korte wanden en het toepassen van retourbemaling; • bepalen grondwaterstand voor periode 1990-1991.	Gelijk aan bemalingsscenario 1. Toevoeging van retourbemaling⁶ ten noorden en ten oosten van de bemaling (binnen de plangrenzen).

3.4 Toelichting resultaten: permanente situatie

3.4.1 Berekening huidige situatie en situatie met tunnel zonder extra maatregelen

Scenario P0

Het beeld van de referentiesituatie hebben wij weergegeven in figuren B3-1 en B3-2 in bijlage 3.

Scenario P1

GHG/GLG: De aanleg van de tunnel veroorzaakt een opstuwing van het grondwater van maximaal 36 cm bovenstrooms van de tunnel (oostzijde). In de hydrologisch gevoelige (natuur)gebieden (zie Ecohydrologische atlas Limburg) treedt een verhoging van de grondwaterstand op van maximaal 10 cm. Benedenstrooms van de tunnel treedt een verlaging op van maximaal 20 cm. De figuren B3-3 en B3-4 in bijlage 3 geven de veranderingen in grondwaterstand weer. Deze opstuwing/verlaging wordt vooral veroorzaakt door het afsluiten van de goeddoorlatende grindlaag. In mindere mate wordt de opstuwing/verlaging veroorzaakt door het afsluiten van een deel van de kalksteen laag. Het debiet dat door de grindlaag stroomt, is aanzienlijk. Dit komt door de grote doorlatendheid van dit pakket. Afsluiten van deze laag heeft daarom relatief grote gevolgen voor de grondwaterstand en -stroming in de omgeving van het tunneltracé.

Kwel/inzijging: De aanleg van de tunnel heeft bovenstrooms een toename van de kwel tot gevolg met maximaal 12 mm/dag. Ook in de landgoederenzone, ten noorden van het tunneltracé, neemt de kwelstroom toe. Afname van de kwel treedt alleen op benedenstrooms in de Maas met maximaal 3 mm/dag. De veranderingen in kwel hebben wij weergegeven in de figuren B3-5 en B3-6 in bijlage 3.

⁶ Er is uitgegaan van 75% retourbemaling ten opzichte van de hoeveelheid opgepompt water.

3.4.2 Analyse van de berekeningen

GLG/GHG: Zonder nadere maatregelen veroorzaakt de aanleg van de tunnel een opstuwing van maximaal 36 cm bovenstrooms en een verlaging van maximaal 20 cm benedenstrooms. Dit komt niet overeen met de eis van het Projectbureau A2 Maastricht dat de GLG/GHG niet meer dan 20 cm lager of hoger mag zijn.

Kwel/inzijing: Door de lage ligging van het tunneltracé ten opzichte van het Plateau van Margraten is de omgeving van het plangebied hydrologisch gevoelig. Ondanks dat de landgoederenzone verdroogd is, speelt kwel hier een belangrijke rol. De kwelstroom is een voorwaarde voor het voortbestaan van de natte natuurdoeltypen die hier voorkomen. De aanleg van de tunnel heeft bovenstrooms een toename van de kwel tot gevolg met maximaal 12 mm/dag (vijver bij Geusselt). Ook in de landgoederenzone, ten noorden van het tunnel-tracé, neemt de kwelstroom toe. Afname van de kwel treedt alleen benedenstrooms op in de Maas met maximaal 3 mm/dag. De locaties waar een behoorlijke toename van de kwel is, vormen mogelijk een knelpunt bij de afvoer van kwelwater uit het gebied. Op basis van deze toename van de kwel hebben wij daarom de toename aan debiet geschat. Het betreft enkele l/s (gemiddeld circa 6 mm kwel * circa 10 ha² = 600 m³/d = 7 l/s). Deze toename is klein en vormt geen probleem voor de waterafvoer. Het draagt zelfs bij aan een verbetering van de waterkwaliteit in de Geusseltvijver. In de landgoederenzone wordt door een toename van de kwel de verdroging een stukje minder. Onze conclusie is dat de ligging van de tunnel geen knelpunt vormt voor het evenwicht in grondwatersysteem en leidt tot een lichte verbetering in de landgoederenzone en in de Geusseltvijver.

Hydrologisch gevoelige (natuur)gebieden: De hydrologisch gevoelige natuurgebieden waar de grondwaterstand invloed op heeft, liggen allen bovenstrooms van de tunnel. Hier treedt alleen een verhoging van de grondwaterstand op tot maximaal 10 cm en geen verlaging. De aanleg van de tunnel vormt voor de hydrologisch gevoelige gebieden geen knelpunt.

De kwaliteit van het grondwater mag niet verslechteren door het project A2 Maastricht: Avenue2 zorgt er voor dat de grondwatersituatie na aanleg van de tunnel vergelijkbaar is met de huidige situatie. Daarom zal de kwaliteit van het grondwater niet verslechteren. Tijdens de aanleg van de tunnel is sprake van onttrekking. Dit heeft invloed op de grondwaterkwaliteit. Meer hierover in paragraaf 3.5.2.

3.4.3 Berekeningen met compenserende en mitigerende maatregelen (scenario's P2 en P3)

Scenario met hevel en maximaal 0,2 m verandering van grondwaterstand (scenario P2)
GLG/GHG: Zonder maatregelen is de verhoging van de grondwaterstand ten oosten van de tunnel te groot. Daarom legt Avenue2 een hevelconstructie aan over de tunnel. Met deze constructie zorgen wij ervoor dat de grondwatersituatie zoveel mogelijk gelijk blijft met de huidige situatie. Om de dimensionering van de hevels te bepalen heeft Avenue2 een berekening uitgevoerd met als uitgangspunt een maximale verhoging van de grondwaterstand van 20 cm aan de stroomopwaartse zijde van de tunnel. Het doorlaatvermogen van de buizenconstructie over de tunnel moet hierbij minimaal 200 m²/d bedragen. Bij deze berekening is de maximale verlaging van de grondwaterstand benedenstrooms 13 cm. Het beeld van dit scenario hebben wij weergegeven in de figuren B3-7 en B3-8 in bijlage 3.

⁷ Orde grootte oppervlak en gemiddelde kwel geschat op basis van de 4 kwellocaties in bijlage 3

In de figuren B3-17 en B3-18 geven wij het stromingspatroon (richting en snelheid) in de omgeving van de tunnel weer voor de huidige situatie en voor de eindsituatie met tunnel en hevel. Uit deze figuren blijkt dat de richting van de grondwaterstroming ten oosten van de tunnel van noordwestelijk naar noordelijk verschuift. Aan het noordelijke uiteinde van de tunnel verandert de stroming van noordwestelijk richting naar een stroming om de tunnel heen. Aan het zuidelijke uiteinde van de tunnel verandert de stroming van westelijke richting ook naar een stroming om de tunnel heen. De stromingssnelheid neemt aan beide uiteinden toe met circa 2 m/d (van 1 à 3 tot 3 à 5 m/d). Ten westen van de tunnel verandert de stromingsrichting en -snelheid niet noemenswaardig. Bovenstaande genoemde veranderingen in grondwaterstroming hebben geen gevolgen voor de kwaliteit van het grondwater. De functionaliteit van het grondwatersysteem blijft gehandhaafd.

Kwel/infiltratie: Figuur B3-9 in bijlage 3 geeft het kwel- en infiltratiebeeld dat hoort bij scenario P2. Stroomopwaarts van de tunnel treedt plaatselijk een toename van de kwel op tot maximaal 7 mm/d. Benedenstrooms van de tunnel, bij de Maas, neemt de kwel af met maximaal 1 mm/dag. De toename van de kwel stroomopwaarts van de tunnel met hevelconstructie is maximaal 0,4 mm/d. De afname van de kwel ter hoogte van de Maas is maximaal 0,2 mm/d. De kwel en infiltratieveranderingen zijn ten opzichte van scenario P1 significant kleiner geworden. De toename van de afvoer uit het gebied verkleint daarmee ook. Dit scenario geeft net als scenario P1 geen knelpunten, maar juist een kleine vermindering van de verdroging.

Hydrologisch gevoelige (natuur)gebieden: Scenario P2 schetst een situatie waarbij in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden verhogingen van de grondwaterstand optreden van maximaal 10 cm. Verlagen van de grondwaterstand treden in de natuurgebieden niet op. Ook voor de natuur is er dus geen sprake van een knelpunt.

Grondwaterkwaliteit: Uit de verwoording bij veranderingen in kwel en infiltratie blijkt dat de grondwaterfluxen in het gebied nauwelijks veranderen. Hierdoor wijzigt de grondwaterkwaliteit in de permanente situatie nauwelijks. Uit de berekeningen van het stromingspatroon en snelheid van het grondwater voor en na de aanleg, blijkt dat de stroomsnelheid van het grondwater ter plaatse van het Koningsplein afneemt. Dit heeft een positief effect op de daar aanwezige grondwaterverontreiniging in de zin dat de verspreidingssnelheid afneemt. In de omgeving van de Heerderweg is er lokaal sprake van een toename van de stromingssnelheid van het grondwater. Dit is zeer lokaal het geval. Verwacht wordt dat door de eerder uitgevoerde bemaling en de daardoor reeds verwijderde/aangetrokken verontreiniging er netto geen negatief effect zal zijn. Eerder zal er een zodanige concentratieafname hebben plaatsgevonden dat de uiteindelijke verspreiding door het project (op termijn) minder zal zijn dan in de autonome situatie. Uiteindelijk heeft het project hiermee een positief effect op de grondwaterverontreiniging met vluchtige chloorkoolwaterstoffen.

1:1250-jaars scenario (scenario P3)

GLG/GHG: Dit scenario berekent ten oosten van de tunnel grondwaterstanden van 45,8 m +NAP in het noorden tot 46,9 m +NAP in het zuiden. Ten westen van het tracé berekenen wij grondwaterstanden van 45,6 m +NAP in het noorden tot 46,8 m +NAP in het zuiden. De grondwaterstanden geven wij weer in figuur B3-10 in bijlage 3.

3.4.4 Conclusie permanente situatie

Het onderzoek toont aan dat op basis van de beschikbare gegevens de hevelconstructie van Avenue2 een goede oplossing is om de bestaande grondwatersituatie zo goed mogelijk te handhaven en omgevingseffecten te minimaliseren. Avenue2 is zich ervan bewust dat nader onderzoek

gewenst is naar met name de fysieke eigenschappen van de ondergrond. Toelichting hierop geven wij in paragraaf 3.6.

3.5 Aanlegfase

3.5.1 Berekening referentiesituatie (2 jaar) en situatie met bemaling bouwkuip

Scenario A0:

Dit scenario geeft het beeld van de referentie grondwaterstanden. Het is een berekening van huidige situatie zonder bemalen.

Bronbemaling gedurende 2 jaar (scenario A1).

De veranderingen in grondwaterstand geven wij weer in de figuren B3-11 en B3-12 in bijlage 3 en in tabel 3.5. Op dag 50 van de bemaling treedt een verlaging van de grondwaterstand op van circa 2 m direct naast de bouwput. Op 30 m vanaf de bouwput is de verlaging circa 1 m. Op 350 m vanaf de bouwput is de verlaging circa 0,5 m. De 5 cm verlagingcontour ligt maximaal op circa 2.000 m vanaf de bouwput.

Aan het eind van de aanlegfase, na circa 2 jaar, treedt een verlaging van de grondwaterstand op van circa 2 m direct naast de bouwput. Op 30 m vanaf de bouwput van circa 1 m. En op maximaal 1.500 m vanaf de bouwput van circa 0,5 m. De 5 cm verlagingcontour ligt maximaal op 4.500 m vanaf de bouwput. Het bemalingsdebiet bedraagt circa 1.200 m³/u bij de start van de bemaling. Dit loopt terug tot 1.000 m³/u aan het eind van 2 jaar bemaling. Als maximale verlaging zien wij de verlaging van de grondwaterstand na 2 jaar. Wij gaan er hierbij vanuit dat de aanleg maximaal 2 jaar duurt.

Tabel 3.5
Verlagingen scenario A1

Verlaging in m ->	Na 50 dagen	Na 2 jaar
Afstand		
Naast bouwput	2	2
Op 30 m van bouwput	1	1
Op 350 m van bouwput	0.5	
Op 1500 m van bouwput		0,5
Op 2000 m van bouwput	0.05	
Op 4500 m van bouwput		0.05

3.5.2 Analyse van de berekeningen

GLG/GHG: Er is geen sprake van een opstuwing van meer dan 0,2 m. Daarom ontstaat geen knelpunt ten aanzien van deze eis. In de onderkelderde gebouwen wordt tijdelijk een grotere verlaging van de grondwaterstand toegestaan (zie onder knelpunten grondwater, paragraaf 2.3).

Kwel/inzijging: Tijdens de bemaling vindt zonder mitigerende maatregelen een vermindering van de kwel plaats in de landgoederenzone. Zonder mitigerende maatregelen vormt dit een knelpunt.

Hydrologisch gevoelige natuurgebieden: Zonder mitigerende maatregelen wordt een debiet onttrokken van circa 1.000 - 1.200 m³/u en ontstaat een verlaging van de grondwaterstand van

circa 2 m direct buiten de bouwput tot circa 50 cm in het dichtstbijzijnde hydrologisch gevoelige natuurgebied. De bemaling tijdens de aanlegfase vormt voor de hydrologisch gevoelige natuurgebieden een knelpunt.

Grondwaterkwaliteit: De grondwaterkwaliteit wordt tijdens de aanlegfase door de bemaling beïnvloed. Tijdens aanleg van de tunnel is enige verspreiding niet te voorkomen. Primair wordt er echter grondwater onttrokken. De grondwaterverontreiniging ter plaatse van het Europaplein wordt verplaatst richting de bouwput en wellicht onttrokken door de onttrekkingsfilters. In plaats van een knelpunt vormt deze beïnvloeding ook een kans om de grondwaterverontreiniging te saneren. De tijdens de aanleg uit te voeren bemaling en infiltratie heeft direct sanerend/beheersend effect op de grondwaterverontreinigingen. Dit betekent dat er geen verslechtering van de grondwaterkwaliteit plaatsvindt. Bij de definitieve keuze van onttrekkings- en retourputten zal rekening gehouden worden met de aanwezige grondwaterverontreiniging.

3.5.3 | Berekningen met compenserende maatregelen (scenario's A2, A3 en A4)

Bemaling bouwkuip en lange wanden (scenario A2).

In bemalingsscenario A2 hebben wij het model doorgerekend met bemaling en het toepassen van langere wanden tot 30 m beneden maaiveld. De grondwaterstand hebben wij bepaald op dag 50 van de bemalingsperiode en na een periode van 2 jaar. De veranderingen in grondwaterstand zijn weergegeven in figuur B3-13 en B3-14 in bijlage 3 en in tabel 3.6.

Op dag 50 van de bemaling treedt een verlaging van de grondwaterstand op van circa 50 cm direct naast de bouwput. Op 500 m vanaf de bouwput is de verlaging circa 20 cm. De 5 cm verlagingsscontour ligt maximaal op circa 2.000 m vanaf de bouwput. De verlaging van de grondwaterstand na 2 jaar zien wij als de maximale verlaging. De duur van de aanleg zal immers niet meer zijn dan 2 jaar. Aan het eind van de bemalingsperiode treedt een verlaging van de grondwaterstand op van circa 50 cm direct naast de bouwput. Op 2.000 m vanaf de bouwput is dit 20 cm. De 5 cm verlagingsscontour ligt maximaal op circa 4.000 m vanaf de bouwput. Het bemalingsdebiet bedraagt circa 350 m³/u bij de start van de bemaling. Deze loopt terug tot circa 300 m³/u aan het einde van de 2 jaar bemaling.

Tabel 3.6
Verlagingen scenario A2

Verlaging in m ->	Na 50 dagen	Na 2 jaar
Afstand		
Naast bouwput	0.5	0.5
Op 50 m van bouwput	0.2	
Op 2000 m van bouwput	0.05	0.2
Op 4000 m van bouwput		0.05

Bemaling van de bouwkuip, lange wanden en retourbemaling (scenario A3).

Zie de figuren B3-15 en B3-16 in bijlage 3 en tabel 3.7. De grootte van de verlaging van de grondwaterstand is gedurende de bemaling vrijwel gelijk. Direct naast de bouwput treedt een verlaging van de grondwaterstand op van circa 50 cm. Op 750 m ten westen van de bouwput is de verlaging maximaal 5 cm. Ten oosten van de bemaling ligt de 5 cm verlagingsscontour op maximaal 500 m vanaf de bouwput. De verhoging die lokaal in de infiltratieputten optreedt, is op dag 50 nog maximaal 60 cm (binnen plangrens, niet bij gebouwen). Aan het einde van de bemaling is deze verhoging maximaal 20 cm. De verlaging van de grondwaterstand in noordelijke en oostelijke richting wordt begrensd door de retourbemaling en in westelijke richting door de Maas.

De retourbemaling voorkomt verlaging van de grondwaterstand in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden. Door gebruik te maken van retourbemaling neemt het bemalingsdebiet toe ten opzichte van scenario A2. Deze toename is afhankelijk van de locatie en de diepte van de retourbemaling. Voor de in de figuren B3-15 en B3-16 weergegeven locaties van de retourbemaling wordt een toename van het bemalingsdebiet berekend van circa 15 %.

Tabel 3.7
Verlagingen scenario A3

Verlaging in m ->	Na 50 dagen	Na 2 jaar
Afstand		
Naast bouwput	0.5	0.5
Op 500 m van bouwput (oostkant)	0.05	0.05
Op 750 m van bouwput (westkant)	0.05	0.05

In figuur B3-19 geven wij het stromingspatroon (richting en snelheid) in de omgeving van de bouwput weer. Wij merken op dat de berekening van de aanlegssituatie sterk vereenvoudigd is.

Wij zijn namelijk uitgegaan van een bouwkuip van 500 m lengte die op dezelfde plaats continu bemalen wordt. Bemaling van dit tunnelsegment van 500 m is echter een momentopname. In werkelijkheid verschuift de bemaling gedurende de aanlegfase. Dit leidt tot een overschatting van de berekende verlagingen van de grondwaterstand. Ook kan er sprake zijn van meerdere bouwputten, wat kan leiden tot een onderschatting van de berekende effecten. De grootste stroomsnelheden komen voor in de gebieden tussen de retourbemaling en de bouwput in. De stroomsnelheid loopt hier op tot maximaal 500 m/d. De grondwaterstroming ten noorden van de bouwput en ten oosten van de bouwput is ter plaatse van de retourbemaling van de bouwput af gericht. Tot op circa 200 m afstand vanaf de bouwput komen stroomsnelheden voor van 10 tot 50 m/d. Verder van de bouwput af is de stroomsnelheid kleiner dan 10 m/d.

Bemaling van de bouwkuip, lange wanden en retourbemaling (scenario A4).

Zie de figuren B3-20 en B3-21 in bijlage 3 en tabel 3.8. De grootte van de verlaging van de grondwaterstand is gedurende de bemaling vrijwel gelijk. Direct naast de bouwput treedt aan de oostzijde een verlaging van de grondwaterstand op van circa 50 cm en ligt de 5 cm verlagingscontour op maximaal 500 m vanaf de bouwput. Ten westen zijn de verlagingen groter. Direct naast de bouwput treedt een verlaging op van ca. 0,5 à 1 m. Op 750 m ten westen van de bouwput is de verlaging nog maximaal 5 cm.

In de berekening is geen retourbemaling voorzien aan de westzijde van de bouwput. Duidelijk is wel dat als deze toegepast wordt de verlagingen aan de westzijde zeer sterk gereduceerd zullen worden.

De verhoging die lokaal in de infiltratieputten optreedt, is op dag 50 nog maximaal 60 cm (binnen plangrens, niet bij gebouwen). Aan het einde van de bemaling is deze verhoging maximaal 20 cm. De verlaging van de grondwaterstand in noordelijke en oostelijke richting wordt begrensd door de retourbemaling en in westelijke richting door de Maas. De retourbemaling voorkomt verlaging van de grondwaterstand in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden. Door gebruik te maken van retourbemaling neemt het bemalingsdebiet toe ten opzichte van scenario A2. Deze toename is afhankelijk van de locatie en de diepte van de retourbemaling. Voor de in de figuren B3-20 en B3-21 weergegeven locaties van de retourbemaling wordt een toename van het bemalingsdebiet berekend van circa 15 %. De debieten komen orde grootte overeen met de debieten van scenario A1.

Tabel 3.8
Verlagingen scenario A4

Verlaging in m ->	Na 50 dagen	Na 2 jaar
Afstand		
Naast bouwput (oost)	0.5	0.5
Op 500 m van bouwput (oost)	0.05	
Op 750 m van bouwput (oost)	<0005	0,2
Op 2000 m van bouwput (oost)	0	0,05
Op 750 m van bouwput (west)	0.05	0.05

3.5.4 Conclusie aanlegsituatie

Het type bouwput dat wij toepassen voldoet aan de eisen die gesteld worden met betrekking tot de opstuwing generiek en de verlaging ter plaatse van de geohydrologische gebieden. Ook de kwel en infiltratieveranderingen leiden niet tot knelpunten.

De bemaling is van invloed op de grondwaterverontreiniging ter hoogte van het Europaplein. Tijdens het bemalen verplaatsen wij deze verontreiniging richting de bemalingsput en vervolgens onttrekken wij deze. Het uitgangspunt van de Aanbesteder is dat de verontreiniging niet verslechterd. Doordat wij retourbemaling toepassen, is dit niet het geval. Daarnaast zal Avenue2 van aanwezige kansen gebruikmaken om de afbraak van de verontreiniging te stimuleren.

De berekeningen geven als resultaat dat bemaling met retourbemaling een haalbare optie is. De exacte invulling van de posities van de retourbemaling dient nog nader te worden vastgesteld. De hiervoor benodigde detailanalyses zullen in de volgende fase worden uitgewerkt.

3.6 Aanbevelingen en opmerkingen

3.6.1 Aanvullend onderzoek

De parameters van de ondergrond in de berekeningen in dit rapport hebben wij gebaseerd op literatuur, een gevoeligheidsanalyse en ijkings aan eerdere projecten in de omgeving. Naast dit onderzoek, vinden wij het noodzakelijk uitgebreid geofysisch onderzoek en (geo)hydrologische proeven uit te voeren in de kalksteen om meer inzicht te krijgen in de primaire en secundaire doorlatendheid. In de volgende fase zal dit uitgevoerd gaan worden.

Met aanvullend onderzoek wordt het risico op eventuele problemen bij de aanleg teruggebracht. Locaties met bijvoorbeeld hoge doorlatendheden worden inzichtelijk gemaakt, maar ook de doorlatendheid in de diepte is een aspect dat nog van grote invloed kan zijn. De resultaten zullen een betere onderbouwing kennen. Op basis van de proeven kunnen de dimensies van de bouwkuip, de aanlegwijze en de mitigerende en compenserende maatregelen bijgesteld worden. De bouwmethode die we toepassen (de tunneltrein, zie SR Bouw-techniek en Bouwtijd) is gericht op de risicobeheersing van de doorlatendheid van de bodem. Doordat telkenmale een compartiment van ca. 30x32 m aanvullend drooggezet wordt kunnen eventuele tegenvallers direct opgevangen worden door middel van mitigerende maatregelen in het betreffende compartiment en blijft de beïnvloeding van het bouwproces en de omgeving beperkt.

3.6.2 Opstellen nieuw model voor berekening aanlegfase

Het bestaande Triwacomodel blijkt om een aantal redenen niet geschikt te zijn om de aanlegfase nauwkeurig door te rekenen.

- Ten eerste is het model een regionaal geohydrologisch model, waarbij voor de geohydrologische parameters uit wordt gegaan van gemiddelde waarden. Omdat het juist voor het bemalen van de bouwput van groot belang is om de geohydrologische bodemopbouw op lokaal niveau te modelleren, dient een meer nauwkeurig model gebruikt te worden.
- Ten tweede is door de schematisatie in watervoerende pakketten en scheidende lagen het niet mogelijk om de verticale doorlatendheid van de watervoerende pakketten te modelleren.
- Ten derde is het niet mogelijk om in Triwace een damwand te schematiseren.

In onderliggend onderzoek is door ons gebruik gemaakt van een Modflowmodel voor het berekenen van het debiet in de aanlegfase. Omdat het Triwacomodel echter het voorgeschreven verificatiemodel is, zijn met Triwaco de effecten van de bemaling berekend. In de volgende fase zal met een Modflowmodel naast het Triwacomodel gewerkt worden. Verschillende zaken zullen in detail worden gemodelleerd. Wij noemen onder andere variabele bouwkuipdieptes, nauwkeurige bouwkuipgroottes en faseringen. Voor het modelleren van de bodemopbouw wordt gebruik gemaakt van de resultaten van het geofysisch en geohydrologisch onderzoek.

3.6.3 Beheer en onderhoud gebruiksfase

Voor het blijvend goed functioneren van het hevelsysteem is periodiek onderhoud van pompen en filters noodzakelijk. Zowel de pompen als de filters kunnen relatief eenvoudig vanaf maaiveld worden onderhouden via putten. Zoals eerder al aangegeven is er sprake van een robuust ontwerp (zie ook paragraaf 2.5.1).

3.7 Monitoring

Monitoring is een belangrijk aspect binnen het uitvoeringstraject en daarna. Wij monitoren de grondwaterstanden tijdens de aanleg met peilbuizen om aan te tonen dat aan de eisen wordt voldaan of dat aanpassingen aan de uitvoeringswijze nodig zijn. Ook moet de hoeveelheid retourbemaling hierop worden afgesteld.

Door de grondwaterstanden in de permanente situatie te meten, tonen wij aan dat de hevel voldoende werkt en blijft werken. De werking van de hevel controleren wij daarnaast door het meten van het drukniveau binnen de hevelbuizen. Zodra deze druk onder het grensniveau zakt, wordt een signaal gegeven (onderhoudsaannemer). De aanleg van het hevelsysteem gebeurt zorgvuldig. Om lekkages en daarmee het aanzuigen van valse lucht te voorkomen zullen buizen uit 1 stuk worden toegepast. De koppelingen naar het filter zullen bereikbaar zijn, zodat een onverhoopte lekkage ter plaatse verholpen kan worden. De beïnvloeding van de grondwaterstand in de eindsituatie meten wij eveneens met behulp van peilbuizen. Door boven- en benedenstrooms van de tunnel peilbuizen te plaatsen, wordt het verschil in stijghoogte aan weerszijden van de tunnel gemeten. Door ruim voor de aanvang van de bouwwerkzaamheden te starten met de monitoring, kunnen de meetwaarden in de eindsituatie worden vergeleken met de huidige situatie. Vergelijking van stijghoogtes dient te gebeuren op basis van de meetreeksen waarbij, door de korte meetperiode, de GHG en GLG benaderd worden. Ook kan vergeleken worden met de rekenresultaten uit het model en bestaande meetreeksen in de omgeving.

Naast het monitoren van de stijghoogte worden ook peilbuizen geplaatst om de grondwaterkwaliteit te meten. In de omgeving van de grondwaterverontreinigingen kan op deze manier eventuele verplaatsing gemonitord worden. In de vervolgfase wordt een monitoringsplan opgesteld.

Ontwerpvisie riolering

4 Ontwerpvisie riolering

4.1 Belangrijkste aandachtspunten en visie

De belangrijkste aandachtspunten voor de plansituatie riolering zijn:

- handhaven rioolafvoer bestaande panden en realiseren afvoer toekomstig vastgoed en verharding;
- minimaal handhaven van de huidige berging- en afvoercapaciteit;
- zoveel mogelijk scheiden van schoon en verontreinigd afvalwater.

4.2 Hoofdpijn van de ontwerpvisie

Het rioolontwerp van Avenue2 is gebaseerd op drie kernprincipes:

- realiseren van een robuust (afval)watersysteem;
- treffen van toekomstgerichte maatregelen;
- scheiden van schone en verontreinigde waterstromen (duurzaam).

Ons ontwerp bestaat uit de aanleg van een vuilwater- en een schoonwaterleiding rond de tunnel (twee leidingen aan beide zijden volgend aan de tunnel met verbindingen aan de uiteinden). Deze vormen twee 'ringleidingen'. Wij kiezen voor dit ontwerp om zoveel mogelijk maatwerkoplossingen te voorkomen tijdens de aanlegfase. Daarnaast biedt de ringleiding een aantal voordelen om bestaande problemen (voor een deel) op te lossen. De ringleiding biedt een vergroting van de statische berging en zal het aantal 'water op straat' situaties en overstorten terugdringen. De tweede ringleiding is bedoeld om schoon water af te koppelen van het gemengd systeem. Daarmee wordt schoon hemelwater niet meer naar de zuiveringsinstallatie getransporteerd.

In paragraaf 4.4 is onze ontwerpvisie nader uitgewerkt.

4.3 Analyse van de huidige situatie

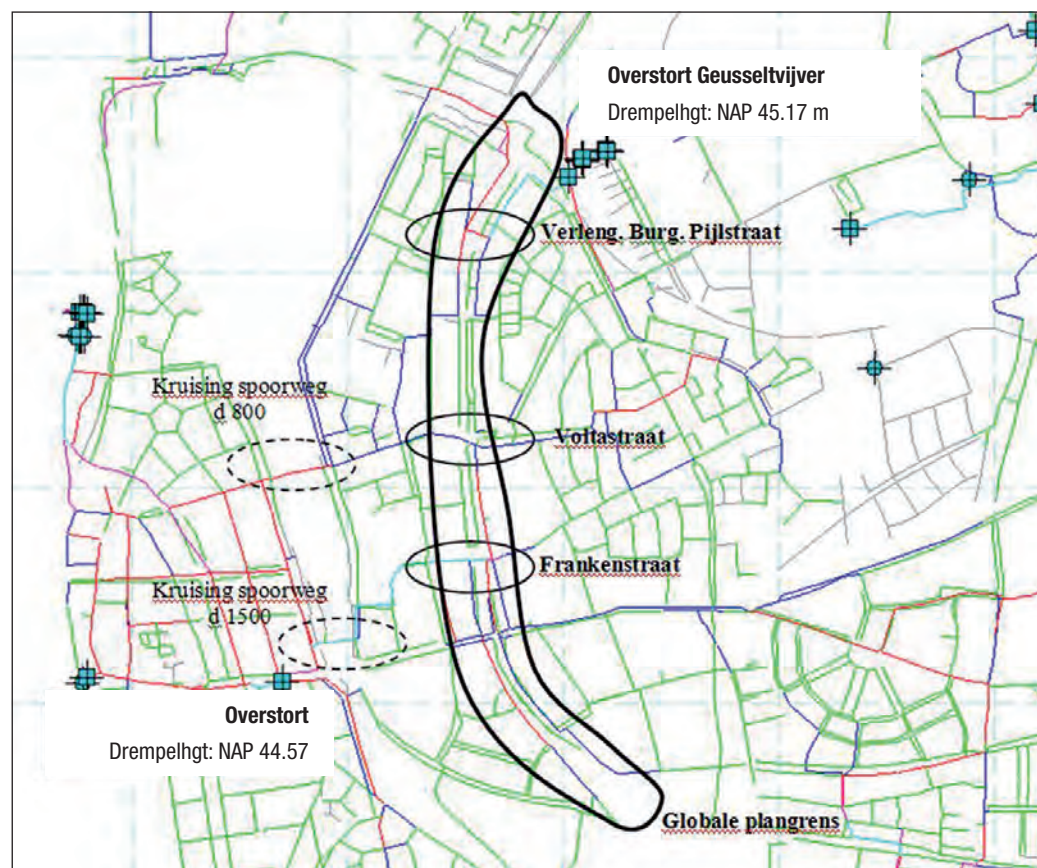
4.3.1 Beschrijving huidige situatie

Het studiegebied bestaat uit de wijken: Sint Maartenspoort, Wijck, Wijckerpoort, Akerpoort (Heugemerveld), Oostermaas (Wittevrouwen-veld)/RWA Geusselt, Scharn en Amby. Deze gebieden hebben een aangesloten verhard oppervlak van ruim 90 ha. Het rioolstelsel bestaat nagenoeg volledig uit gemengde riolering ('Rioolaanpassing ondertunneling A2', bureau Kragten, 2006). Onder droogweerstandigheden voert het stelsel onder vrijerval af in noordwestelijke richting naar de rioolwaterzuivering Limmel (rwzi). In de huidige situatie heeft de rwzi een beperkte capaciteit. Bij hevige neerslag functioneren de verbindingsriolen onder de spoorlijn als knijpriolen (zie figuur 4.1). Hierdoor ontstaat opstuwning en vindt afvoer voornamelijk plaats vanuit de noordelijke helft van het plangebied naar de overstort aan de Geusseltvijver. Deze overstorten veroorzaken problemen voor de waterkwaliteit. Vanuit de zuidelijke helft van het plangebied vindt afstroming plaats naar de zuidwestelijk gelegen overstort.

Behalve onder de spoorlijn bevinden zich ook onder de huidige A2 belangrijke verbindingsleidingen (kruisingen). In de huidige situatie wordt het afvalwater opgevangen in verzamelriolen. Deze kruisen de A2 op vier plaatsen (zie ook in onderstaand figuur 4.1):

- Kasteel Erensteinstraat (buiten tunneltracé; niet weergegeven in figuur 4.1);
- verlengde van de Burgemeester Pijlstraat;
- Voltastraat;
- Frankenstraat.

Figuur 4.1
overzicht riolering omge-
ving tunneltracé (kleuren
zijn een indicatie van
verschillende leidingdia-
meters)



4.3.2 Beschikbare gegevens: 'Rioolaanpassing ondertunneling A2' (bureau Kragten, 2006)

De studie 'Rioolaanpassing ondertunneling A2' (Kragten, 2006) geeft een analyse van het milieu-technisch en hydraulisch functioneren van het rioolstel.

Het milieutechnisch functioneren van het rioolstelsel voldoet niet aan de basisinspanning. Dit is het gevolg van een te geringe statische berging. De stelselberging en de capaciteit van de aanwezige randvoorzieningen worden niet volledig benut. Dit komt doordat de noodoverlaten een lager drempelniveau hebben dan de randvoorzieningen. De noodoverlaten liggen buiten het plangebied. De hoogste overstortvolumen treden op bij de overstorten Waterpoortje (Maas; buiten plangebied) en Geusselt (Geusseltvijver; binnen plangebied).

Verder voldoet het hydraulisch functioneren van het rioolstelsel niet aan de normen. Dit leidt tot diverse 'water op straat' situaties (gehanteerde neerslagintensiteit 90 l/s ha) verspreid over de aangrenzende rioleringsgebieden. Binnen de tracégrenzen treden 'water op straat' situaties vooral op bij de kruising met de Scharnerweg. De grootste hydraulische knelpunten bevinden zich echter buiten de tracégrenzen in de omgeving van de Aartshertogenlaan.

De rapportage beschrijft een viertal varianten voor het toekomstige rioolstelsel na realisatie van de tunnel. Deze zijn:

- variant 1: twee kruisingen over tunnelbak;
- variant 2: parallelriolen ten oosten en ten westen van de tunnelbak;
- variant 3: parallelriool oostzijde tunnelbak en transportriool naar RWZI;
- variant 4: twee kruisingen onder tunnelbak en gemalen.

4.3.3 Waterstromen plangebied

Binnen het plangebied onderscheiden wij drie typen waterstromen:

- huishoudelijk afvalwater (woningen en bedrijven);
- schoon afstromend hemelwater (daken en laagbelaste wegen en pleinen);
- verontreinigd afstromend hemelwater (wegen met hoge verkeersintensiteit).

In de huidige situatie worden de diverse waterstromen nagenoeg volledig ingezameld in het gemengde riool en getransporteerd naar de rwzi. Dit betekent dat ook het schone hemelwater wordt gezuiverd.

4.3.4 Analyse effecten van het plan

De tunnel doorsnijdt de bestaande riolering op drie punten en is daarmee het meest ingrijpend voor de riolering. De verbinding Kasteel Erensteinstraat ligt binnen de plangrens, maar buiten het tunneltracé. Deze kruising zal tijdelijk omgelegd worden om het nieuwe weg-tracé aan te leggen. Een bijzondere voorziening, zoals wij voor de andere drie kruisingen ontwerpen, is niet nodig.

De overige maatregelen vinden voornamelijk plaats aan de oppervlakte en zijn wat betreft riolering inpasbaar. Zo ligt er in het plangebied in totaal circa 9.450 m rioolleidingen (zie bijlage 2). Deze leidingen moeten worden verwijderd en/of herplaatst door de werkzaamheden. De rioolleidingen variëren van huisaansluitingen tot leidingen met een maximale diameter van 3 m. De nieuwe bebouwing en bovengrondse infrastructuur moeten in de toekomst eveneens worden aangesloten op de riolering en/of op een ontwateringsvoorziening.

4.4 Ontwerpvisie riolering

4.4.1 Kruisen riolering met de tunnelbak

Om het rioolwater van de oostzijde naar de westzijde van de tunnelbak te transporteren, legt Avenue2 een ringleiding (zie figuur 4.2). Hiermee handhaven wij de functionaliteit van het huidige stelsel. Wij leggen parallel aan beide zijden van de tunnel twee rioolbuizen aan met tussenverbindingen bij beide tunnelmonden. Deze constructie dient als een robuust alternatief voor de drie verbindingsriolen die in de huidige situatie de A2 kruisen. De droogweerafvoer (DWA) voeren wij af met behulp van pompen. Voor hemelwaterafvoersituaties (hwa) vindt afvoer plaats onder vrij verval. Door een juiste dimensionering van de ringleiding wordt de waterspiegel in de rioolleidingen lager dan in de huidige situatie. Dit houdt in dat de afvoer verbetert en er minder 'water op straat' situaties zullen ontstaan. De ringleiding biedt tevens de mogelijkheid om extra bergingscapaciteit te realiseren. Hierdoor neemt de vuillast van het rioolstelsel af.

De modelberekeningen die in de volgende fase van het ontwerp gedaan worden, zullen duidelijk maken of noodoverlaten nodig zijn. Omdat de tunnel ondiep ligt, zullen wij hiervoor maatwerkoplossingen moeten zoeken.

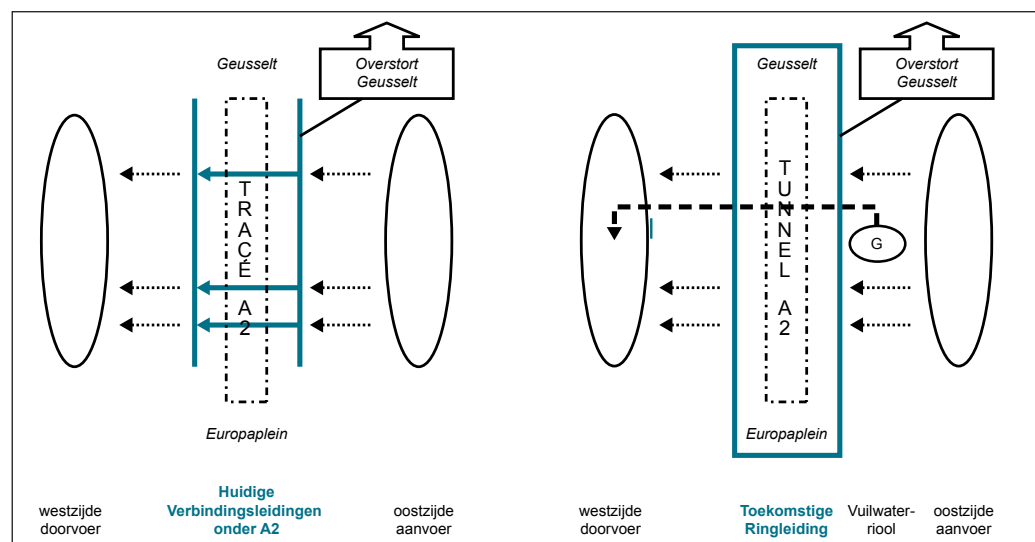
Vanwege de diepteligging van de bestaande rioolstructuur is het niet mogelijk om de droogweerafvoer uit de oostelijk gelegen woonwijken onder vrij verval te handhaven. De droogweerafvoer verzamelen wij in de ringleiding op een centrale locatie en vervolgens verpompen wij het naar de westzijde. Bij de dimensionering van de pompcapaciteit houden wij rekening met het legen van het oostelijke deel van de ringleiding.

Tabel 4.1
Typen waterstromen
binnen plangebied
en verwerkingswijze
volgens de ontwerpvisie
riolering

Type	Waterstroom	Classificatie	Voorziening
Woningen/bedrijven	Huishoudelijk en bedrijfsmatig afvalwater	Verontreinigd	Gemengde riolering
A2: traject Kruisdonk – Geusselt	Afstromend wegwater ⁸	Verontreinigd	Naar bermsloot
Tunnel A2	Instromend hemelwater tunnelmonden + proceswater (bluswater, reiniging, etc.)	Verontreinigd	Inzameling in verbeterd gescheiden rioolstelsel en verpompen naar nabijgelegen gemengde riolering en infiltratieriool
A2: traject tunnelmond-Europaplein	Afstromend wegwater	Verontreinigd	Naar bermsloot
Boulevard	Afstromend water autorijbanen boulevard (maximaal 10.000 mvt/etm).	Verontreinigd	Gemengde riolering
Boulevard	Afstromend water centraal voet/fietspad boulevard	Schoon	Direct naar aan grenzende groenvoorziening
Vastgoed	Afstromend dakwater	Schoon	Infiltratieriool
Boulevard	Afstromend hemelwater trottoirs	Schoon	Infiltratieriool
Bestaande verhardingen	Hoogbelaste wegen/terreinen uitlogende daken	Verontreinigd	Handhaven op gemengd stelsel
Bestaande verhardingen	Laagbelaste wegen/terreinen en daken	Schoon	Bij voorkeur aansluiten op hemelwaterafvoerriool (hwa-riool). Indien niet mogelijk handhaven op gemengd stelsel

⁸ Binnen stedelijk gebied voert Avenue2 wegwater af naar gemengd riool. Buiten stedelijk gebied (ongerioleerd gebied) voeren wij wegwater af naar een bermsloot, van waaruit het wegzakt.

Figuur 4.2
Principe huidige (verbindingsleidingen) en toekomstige (ringleiding) rioleringsituatie



Onze ontwerpvisie sluit gedeeltelijk aan bij de varianten 'Parallelriolen ten oosten en westen van de tunnelbak' en 'Twee kruisingen over de tunnelbak' uit de studie 'Rioloaanpassing ondertunneling A2' (bureau Kragten, 2006). Belangrijk verschil tussen de varianten van bureau Kragten en onze visie is de scheiding van schone en verontreinigde waterstromen.

4.4.2 Afvalwater tunnel

Het hemelwater dat in de toeritten opgevangen wordt stroomt via een rioolstelsel in de tunnel naar de waterkelder in de tunnel. Vanuit deze waterkelder wordt het water de tunnel uitgepompt. Het waterbergende systeem in de tunnel dient gedimensioneerd te worden op een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van 250 jaar.

De gevraagde bergingscapaciteit voert Avenue2 uit volgens het principe van een verbeterd gescheiden systeem. De eerste 2 tot 4 mm afstromend regenwater in de toeritten vangen wij op in een vuilwaterkelder en verpompen wij naar het gemengde riool. Hiervoor beschikt het gemengde riool over voldoende hydraulische en bergingscapaciteit. Het resterende schone hemelwater uit de tunnel wordt verpompt naar het infiltratieriool en geïnfiltreerd in de bodem. Vooral nog gaan wij uit van een pompcapaciteit van 300 m³/h in beide tunnelmonden. De lozingspunten maken wij ter plaatse van beide tunnelmonden.

4.4.3 Hemelwaterafvoer

Het schone hemelwater van de daken van het nieuwe vastgoed en de trottoirs voeren wij af via straatkolken en/of lijngoten naar het infiltratieriool (zie figuur 4.3). Vanuit het infiltratieriool wordt het in het grondwaterpakket geïnfiltreerd. Om een robuust en toekomstbestendig hemelwatersysteem te maken, leggen wij dit infiltratieriool eveneens als ringleiding. Het afstromende hemelwater van het voet- en fietspad midden op de nieuwe avenue voeren wij bovengronds af naar de aangrenzende groenstroken. Dit water infiltreert ter plaatse.

In totaal wordt op deze manier 51.000 m² verhard oppervlak afgekoppeld. Dit betekent een afkoppelperscentage van 84% ten opzichte van het huidige aaneengesloten verhard oppervlak (zie paragraaf 4.4).

Het Projectbureau A2 Maastricht eist een bergingscapaciteit van 31 mm (T=25) voor hemelwatervoorzieningen. Dit betekent een bergingsvolume van 1.600 m³ (31 mm x 51.000 m²). Aan weer-

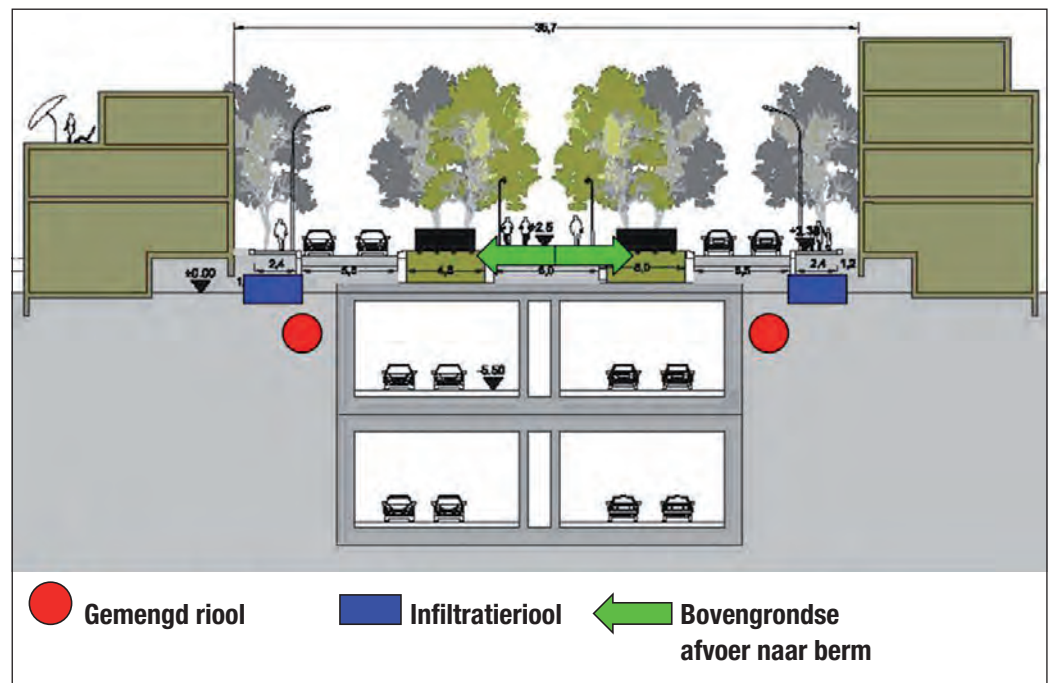
zijden van de weg is 1.700 m trottoir, de bergingsopgave is $0,47 \text{ m}^3/\text{m}^1$. Om hieraan tegemoet te komen, leggen wij een grindcunet aan omringd met geotextiel. In het grindcunet brengen wij een infiltratierioolleiding aan.

Het aanbrengen van een infiltratieriool binnen een grindcunet heeft een aantal voordelen. Door de leiding kan het afstromende hemelwater gelijkmatig over het infiltratieoppervlak (cunet) worden verspreid. Om uit te sluiten dat tijdens een extreme neerslaggebeurtenis ($T=100$) geen wateroverlast optreedt in het plangebied, wordt de infiltratieleiding van een lozingspunt op het oppervlakte-water voorzien. In uitzonderlijke gevallen kunnen wij eveneens een lozingspunt naar de gemengde riolering realiseren. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid adviseert Avenue2 dit alleen te doen wanneer er geen andere keuze is.

De ledigingstijd van de voorziening is gering door het grote infiltratieoppervlak, de goede doorlatendheid van de bodem en de aanwezigheid van (nood)uitlaten. Hierdoor zal de bergingscapaciteit weer beschikbaar zijn voor de volgende neerslaggebeurtenis.

Het geotextiel rond het grindcunet voorkomt vermindering van de infiltratiecapaciteit door dicht-slibbing. De infiltratieleiding kan bovendien op een traditionele manier of met een speciale spuitkop worden gereinigd. Door de combinatie van geotextiel en het infiltratieriool ontstaat een goed beheerbare en toekomstbestendige hemelwatervoorziening.

Figuur 4.3
Dwarsprofiel stedelijk watersysteem



De maximale aanlegdiepte van het grindcunet is de gemiddelde hoogste grondwaterstand van NAP + 45,1 m. De benodigde hoeveelheid grind onttrekken wij aan de grindstroom die vrijkomt bij de ontgraving van het tunneltracé.

4.4.4

Beheer en onderhoud

Voor het blijvend goed functioneren van alle systemen, zoals de pompen van de pompkelder, de infiltratievoorzieningen en bodempassages, is periodiek onderhoud noodzakelijk. Dit houdt in dat alle te onderhouden systemen toegankelijk dienen te zijn.

4.5 Vergelijking ontwerpvisie met huidige situatie

In tabel 4.2 geven wij de arealen verhard oppervlak binnen de plangrens weer. Hieruit blijkt dat in vergelijking met de huidige situatie een afkoppelpercentage wordt bereikt van maar liefst 84%. Dit vormt een belangrijke verbetering van de waterkwaliteit en het vermindert het aantal 'water op straat'-situaties. Door het afkoppelen en de toename van de leidinglengte als gevolg van de aanleg van de ringleiding, neemt de statische berging toe.

Tabel 4.2
Vergelijking verharding-
situatie huidige en toe-
komstige situatie binnen
plangrens

	Gemengd		Infiltratie		Toename groen	
	(m2)	%	(m2)	%	(m2)	%
Huidig	149.000	100%	0	0%	nvt	
Infra	130.000					
Bebouwing	19.000					
Toekomstig	24.000	16%	67.000	46%	58.000	38%
Weg	24.000					
Midden fiets/voetpad			16.000			
Trottoirs			14.000			
Vastgoed			37.000			
Toename groen					58.000	

4.6 Riolering in de aanlegfase

Het rioolstelsel binnen en in de omgeving van het plangebied bestaat nagenoeg volledig uit gemengde riolering. Voor de aanleg van de tunnel wordt in totaal ongeveer 10 km rioolleiding binnen de plangrenzen verwijderd (zie figuur 2.1. in bijlage 2). Hieronder bevinden zich de drie kruisingen met de huidige A2.

Zowel in de eind- als in de aanlegfase eist de aanbesteder dat de functionaliteit van de huidige gemengde riolering gehandhaafd blijft. Avenue2 waarborgt dit door een gemengd riool in de vorm van een ringleiding aan te leggen in combinatie met het verpompen van de droogweerafvoer. De ringleiding is voor de afvoer tijdens regenwateromstandigheden. Deze ringleiding (of delen daarvan) wordt voorafgaand aan de bouwwerkzaamheden voor de tunnel aangelegd. Bijlage 2 geeft de beoogde fasering van de aanleg van de ringleiding weer.

Daarnaast koppelt Avenue2 zoveel mogelijk hemelwater af. Dit infiltreren wij via een afzonderlijk infiltratieriool. Dit infiltratieriool (in de vorm van een ringleiding) wordt gelijk met de ringleiding voor het gemengd riool aangelegd. De fasering hiervan loopt dan ook parallel (zie bijlage 2).

4.7 Extra maatregelen

Avenue2 adviseert enkele maatregelen die kunnen leiden tot een toename van de bergingscapaciteit van het rioolstelsel. Deze maatregelen liggen buiten de opdracht en zijn niet verder door ons uitgewerkt. De geadviseerde maatregelen hebben wij beschreven in tabel 4.3. Ze staan weergegeven in volgorde van doelmatigheid.

Tabel 4.3

Geadviseerde maatregelen boven de wettelijke verplichtingen en/of beleidsdoelstellingen

	Maatregel	Effect	Waardering	Kosten
A.	Afkoppelen verhardingen buiten het plangebied via voorgenomen infiltratievoorziening.	Bijdrage aan realiseren basisinspanning.	Hoog gemeente (gem) en waterschap (ws)	Matig
B	Overdimensioneren van te verleggen/vervangen gemengde riolering, waardoor extra bergingscapaciteit wordt gecreëerd.	Bijdrage aan realiseren basisinspanning.	Hoog (gem. en ws)	Matig
C.	Overdimensioneren van voorgenomen infiltratievoorzieningen met het oog op toekomstige afkoppelprojecten.	Vooruitlopend op evt. toekomstige ombouw rioolstelsel.	Redelijk/Hoog (gem.)	Matig
D.	Aanleggen randvoorziening ter plaatse van de gemengde overstort 'de Geusselt'.	Bijdrage aan realiseren basisinspanning.	Hoog (gem. en ws)	Hoog
E.	Afvoeren huishoudelijk afvalwater nieuwbouw via afzonderlijke dwa-leidingen in plaats van aansluiten op gemengde riolering.	Vooruitlopend op evt. toekomstige ombouw rioolstelsel.	Redelijk (gem.)	Matig

4.8 Toekomstige ontwikkelingen

In de omgeving van het plangebied kunnen een aantal toekomstige ontwikkelingen plaatsvinden die van invloed zijn op het stedelijk (afval)watersysteem. Deze beschrijven wij in de volgende paragrafen.

4.8.1 Klimaatverandering

Het huidige stedelijke watersysteem is gedimensioneerd op de huidige neerslagintensiteit en -volume. Als hierin door klimaatverandering wijzigingen optreden, voldoet het functioneren van het stedelijke watersysteem mogelijk niet meer aan de normen. Omdat wij zowel het gemengde riool als de infiltratievoorzieningen voorzien van (nood)uitlaten, zal een verandering van het neerslagpatroon niet leiden tot wateroverlast en/of schade binnen het studiegebied. De verhoogde overstortfrequentie veroorzaakt wel een hogere belasting van het milieu en het ontvangende oppervlaktewatersysteem. Hiervoor kunnen mitigerende maatregelen worden getroffen, zoals bijvoorbeeld het ruim dimensioneren van de ringleidingen. Hiermee wordt extra bergingscapaciteit in het stelsel gerealiseerd, waardoor de overstortfrequenties niet toenemen bij verandering van het neerslagpatroon.

4.8.2 Optimalisatiestudie afvalwatersysteem

Op korte termijn voeren de waterbeheerder en de gemeente een OAS-studie uit. Hierin onderzoeken beide partijen hoe het rioolstelsel en de afvalwaterzuivering gezamenlijk maatschappelijk optimaal functioneren. Dit kan betekenen dat vereiste maatregelen aan de zuivering effectiever kunnen worden opgelost in het rioolstelsel of andersom. Als blijkt dat maatregelen in het rioolstelsel nodig zijn, loont het om te onderzoeken of er synergievoordelen zijn te halen door de ontwerpvisie riolering te combineren met maatregelen zoals voorgesteld in de OAS. Hierbij valt te denken aan het realiseren van extra berging in het stelsel of het beter benutten van de bestaande berging. De structuur van het rioolontwerp van Avenue2 kan echter niet gewijzigd worden.

4.8.3 Stopzetten/reduceren grondwaterwinningen en/of hoger Maaspeil

Het stopzetten of reduceren van grondwaterwinningen en/of veranderingen in het oppervlaktewaterpeil hebben consequenties voor de grondwaterstand. Als de riolering beneden de grondwaterstand ligt, kan het (lekke) riool drainerend werken. Hierdoor wordt meer water naar de zuivering getransporteerd en is minder berging- en afvoercapaciteit beschikbaar. Als vanuit rioolinspecties lekke riolen bekend zijn binnen het plangebied, kan Avenue2 deze indien gewenst vervangen in combinatie met voorziene werkzaamheden.

English Summary

5 Water

This report has been issued by Avenue2 within the context of Stage four of the Competitive Dialogue procurement procedure for the A2 Maastricht project. Avenue2 is a Joint Venture of Ballast Nedam Property Development, Ballast Nedam Infrastructure, Strukton Bouw en Vastgoed and Strukton Civiel. Consultants to Avenue2 are among others ARCADIS Nederland, West 8 and DGMR.

In this report Avenue2 first addresses in headlines the planning components surface water, ground water and sewage systems as included in the Integral Plan. Its site investigations and studies are being explained. It describes the themes (a) surface water: the quality of surface water will be improved and inundations will be less frequent (b) ground water levels will not change during and after construction of the tunnel because of the special constructions designed and (c) the capacity of the sewage system will be enlarged and precipitation will infiltrate in the soil, thus creating a more robust and sustainable situation.

Chapter 2 includes the design vision for the water management, and in the third Chapter more particularly ground water aspects are dealt with. The design vision for the sewage system follows in Chapter 4. In the attachments Avenue2 focuses on the application of the various modeling means on the ground water subject.

Bijlage

Bijlage 1 Overzicht van beleid, de gestelde criteria en toetsing

Criteria en beleid	Toetsing
• Oppervlaktewater voldoen aan KRW-doelstellingen in 2015.	De huidige toestand van het oppervlaktewatersysteem is niet goed. Met het plan voor de landgoederenzone en het oppervlaktewatersysteem worden een groot aantal verbeteringen in het watersysteem doorgevoerd die buitengewoon goed passen in het KRW-gedachte (afkoppelen, terugdringen riooloverstorten, meer waterberging en daardoor meer natuurlijke zuivering van het water, terugdringen inlaat gebiedvreemd water, natuurlijke inrichting). Precieze toetsing is momenteel niet mogelijk omdat de precieze KRW-doelstellingen van het gebied niet bekend zijn.
• Waterschap moet ontheffing van de 'Keur van het Waterschap Roer en Overmaas' verlenen voor werken aan de Kanjel en Gelei.	Het ontwerp voldoet aan de criteria die het waterschap gesteld heeft. Er is geen reden om weigering van de ontheffing te veronderstellen.
• Dimensionering van de bergingsvoorziening (afgekoppeld hemelwater) moet een capaciteit hebben van minimaal een T=25 neerslagvolume (31mm, 45min). 24 uur na afloop moet de bergingsvoorziening weer beschikbaar zijn.	Hemelwater van het vastgoed en de trottoirs wordt opvangen in een infiltratieriool. Water dat valt op wandel en fietspad in het midden van de avenue wordt via de bermen geïnfiltreerd. Een bergingsvoorziening zoals bedoeld, wordt niet aangelegd.
• Doorlopen Watertoetsproces is verplicht.	Watertoets is een procesinstrument dat inhoudt in dat de waterbeheerders van begin af aan betrokken zijn bij het ruimtelijk proces. Ingrepen moeten conform de eisen van de waterbeheerders ontworpen worden. Als dit niet mogelijk is, moeten hiervoor beargumenteerde, mitigerende maatregelen worden voorgesteld. In deze fase van de planvorming is het niet mogelijk overleg te voeren met de waterbeheerders. Daarom heeft het Waterschap haar uitgangspunten in een beleidsbrief kenbaar gemaakt. Het ontwerp komt hier zo goed mogelijk aan tegemoet. Afwijkingen op de uitgangspunten worden in het specialistisch rapport water beargumenteerd en alternatieve oplossingen worden gepresenteerd. In de volgende fase van planvorming zal Avenue2 in overleg treden met de waterbeheerders.

Criteria en beleid	Toetsing
De waterhuishouding moet voldoen aan het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime.	Uitgangspunt voor de grondwaterstand is dat in de definitieve fase de grondwaterstand in de omgeving van de tunnel niet meer dan 20 cm daalt of opstuwt. In de landgoederenzone moet een ongewijzigde grondwaterstand nagestreefd worden en mag de grondwaterstand maximaal 5 cm dalen. Deze criteria zijn bepalend geweest voor het ontwerp.
Het waterschap wil aan weerszijden van beken 5 meter ruimte beschikbaar te houden voor toekomstige inrichtingsprojecten.	Hiermee is rekening gehouden in het ruimtelijk ontwerp.
Het oppervlaktewatersysteem vormt een samenhangend geheel. Nieuwe ecologische barrières worden voorkomen en oude knelpunten worden in combinatie met andere werkzaamheden opgelost.	De ecologische waarde van het oppervlaktewatersysteem wordt versterkt. Bestaande knelpunten worden opgelost.
In de toekomst zal meer verhard oppervlak vanuit de bestaande woonwijken worden afgekoppeld, waardoor een groter bergend vermogen in oppervlaktewater benodigd is (m.n. Geusseltvijver en de regenwaterbuffer Amby Zuid).	Uitgangspunt in de planvorming is dat het bergend vermogen van de Geusseltvijver en regenwaterbuffer Amby Zuid hetzelfde blijven.
De regenwaterbuffer Amby is onderdeel van het hoofdafvoersysteem en functioneert op dit moment niet goed. Het is gewenst om de buffer los te koppelen met behoud van een afvoermogelijkheid op de Fontein en Trapgraaf.	De regenwaterbuffer Amby vervalt en wordt gecompenseerd aan de westzijde van de snelweg. De buffer wordt gekoppeld aan het bekensysteem. Riooloverstorten blijven op de Geusseltvijver plaatsvinden, zij het minder frequent. De Geusseltvijver wordt losgekoppeld van het bekensysteem. Combinatie van deze maatregelen maakt dat de regenwaterbuffer daadwerkelijk zal functioneren als regenwaterbuffer en in normale afvoersituaties een moerassige laagte in het terrein is.
Grondwateronttrekkingen en lozingen zijn vergunningsplichtig (provincie Limburg en ontvanger van het grondwater).	Door te voldoen aan de gestelde criteria van Projectbureau A2 Maastricht, zullen vergunningen naar verwachting afgegeven worden.
Werkzaamheden in grondwaterbeschermingsgebieden zijn vergunningsplichtig (provincie Limburg).	Door te voldoen aan de gestelde criteria van Projectbureau A2 Maastricht, zullen vergunningen naar verwachting afgegeven worden.

Criteria en beleid	Toetsing
De opstuwing/verlaging van een gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG/GLG) in het gebied rond de tunnel mag in de naastgelegen, onderkelderde gebouwen maximaal 0,2 m bedragen.	Aanlegfase: criterium is gewijzigd in: opstuwing mag niet meer zijn dan 0,2 m. D.m.v. voorgestelde bouwmethode wordt hieraan voldaan. Definitieve fase: door de hevelconstructie is de verstoring van het grondwatersysteem minimaal. Aan deze eis wordt voldaan.
Grondwaterstandverlaging nabij hydrologisch gevoelige natuurgebieden (Ecohydrologische Atlas van Limburg, 1997) mag niet meer dan 0,05 m modelonnauwkeurigheid bedragen. Dit zijn eveneens grondwaterbeschermingsgebieden.	Aanlegfase: d.m.v. voorgestelde bouwmethode en infiltratie onttrokken grondwater wordt hieraan voldaan. Definitieve fase: door de hevelconstructie is de verstoring van het grondwatersysteem minimaal. Aan deze eis wordt voldaan.
Verandering van kwel en/of infiltratie mag het evenwicht in het grondwatersysteem niet verstoren.	Aanlegfase: d.m.v. voorgestelde bouwmethode en infiltratie onttrokken grondwater wordt hieraan voldaan. Definitieve fase: door de hevelconstructie is de verstoring van het grondwatersysteem minimaal. Aan deze eis wordt voldaan.
Kwaliteit van het grondwater mag niet verslechteren.	Er vindt geen verslechtering van de grondwaterkwaliteit plaats. De tijdens de aanleg uit te voeren bemaling en infiltratie heeft zelfs een sanerend/beheersend effect op de grondwaterverontreinigingen.
Het creëren/wijzigen van nieuwe lozingspunten uit gemengde en/of verbeterd gescheiden riolering zijn vergunningplichtig (wvo vergunning, waterschap).	Door te voldoen aan de gestelde criteria van Projectbureau A2 Maastricht, zullen vergunningen naar verwachting afgegeven worden.
Waterschap en gemeente hanteren het uitgangspunt dat schoon hemelwater en afvalwater worden gescheiden.	Schoon hemelwater en afvalwater (inclusief weg en tunnel) worden gescheiden.
Door het Projectbureau A2 Maastricht is voorgeschreven dat de functionaliteit van het bestaande rioleringsysteem dient te worden gehandhaafd. De drukhoogte in de aangesloten leidingen moet op hetzelfde niveau worden gehandhaafd.	Door de aanleg van ringleiding gemengd riool en dwa-gemaal wordt hieraan voldaan.

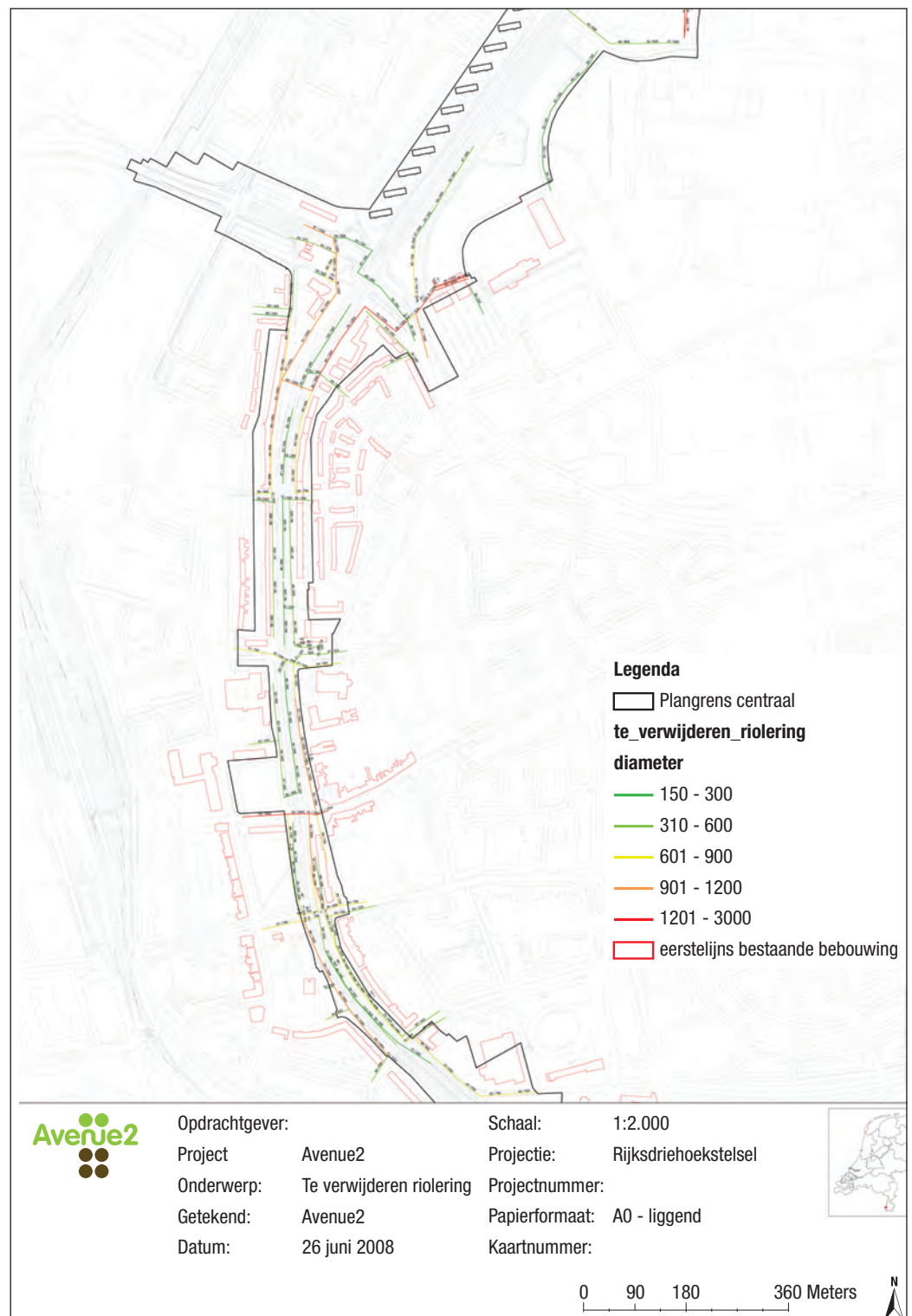
Criteria en beleid	Toetsing
• Er moet voldaan worden aan de zorgplicht riolering.	Door bestaande rioolaansluitingen te handhaven en nieuwe bebouwing aan te sluiten wordt hieraan voldaan.
• Rekening houden met afvoer van tunnelwater en afstromend regenwater en de effecten hiervan op het oppervlaktewater berekenen.	Door het aanleggen van een verbeterd gescheiden stelsel (vgs) in de tunnel. Vuilwatercomponent wordt afgevoerd naar het gemengd riool. Schoonwatercomponent wordt afgevoerd naar een infiltratieriool.
• Dimensies van nieuwe voorzieningen moeten gebaseerd worden op T=25, met een doorkijk naar T=100.	T=25 berging realiseren in infiltratievoorziening. Lozingspunten realiseren naar oppervlaktewater voor T=100.
• Robuustheid van retentievoorziening uitdrukken in ledigingstijd.	Ledigingstijd is minimaal door groot infiltratieoppervlak en aanwezige lozingspunten.
• Door middel van de voorkeurstabel afkoppelen heeft het waterschap richtlijnen gesteld ten aanzien van potentieel af te koppelen verhardingen en zuiverende voorzieningen (o.a. afstromend wegwater).	Schoonwater wordt afgekoppeld.
• De gemeente streeft er naar om 20% van het bestaande verharde oppervlak en ten minste 80% van het verharde oppervlak bij nieuwbouwlocaties af te koppelen en daarbij zoveel mogelijk te infiltreren.	Het afkoppelpercentage voor nieuw te bebouwen gebied is berekend op 84%. Verder vindt er een toename van statische berging plaats in de ringleiding.
• Beperken overstortfrequentie van gemengd riool.	Door afkoppelen en aanleg ringleiding neemt wateraanvoer af en de interne berging toe. Overstortingen zullen minder frequent voorkomen.
• Vergroten buffercapaciteit gemengd riool.	Toename statische berging door aanleg ringleiding.



Bijlage

Bijlage 2 Fasering riolering

Figuur B2-1
Overzichtskaart van de
te verwijderen en te
verplaatsen riolering

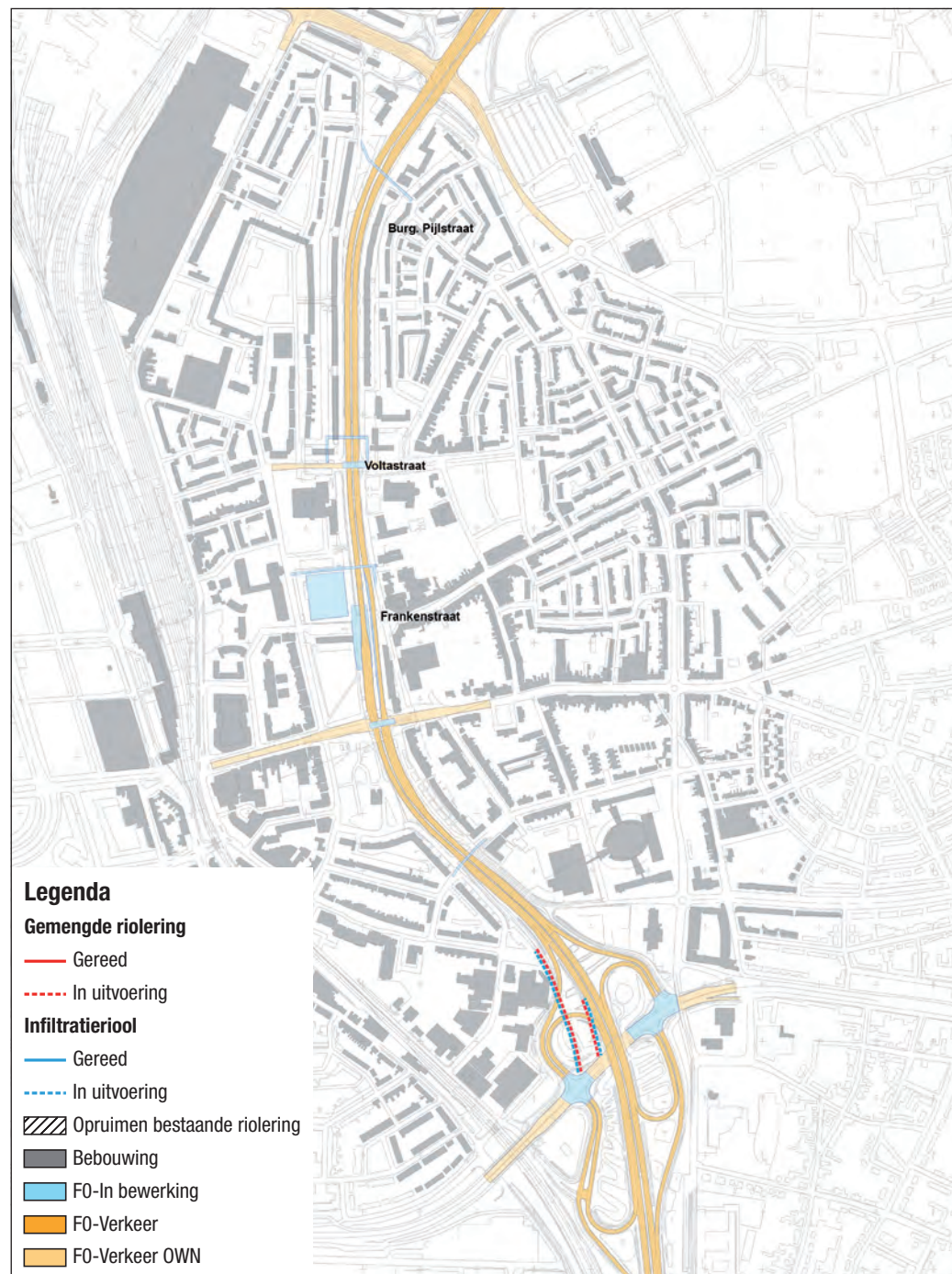


Fase 0

Voorafgaand aan het realiseren van de bouwkuip in de omgeving van het knooppunt Europaplein legt Avenue2 een zuidelijk gedeelte van beide ringleidingen aan (figuur B2-2).

Om de verkeerstroom niet te hinderen tijdens de aanleg van de rioolleidingen kan Avenue2 een aantal leidingen realiseren door middel van boringen/persingen.

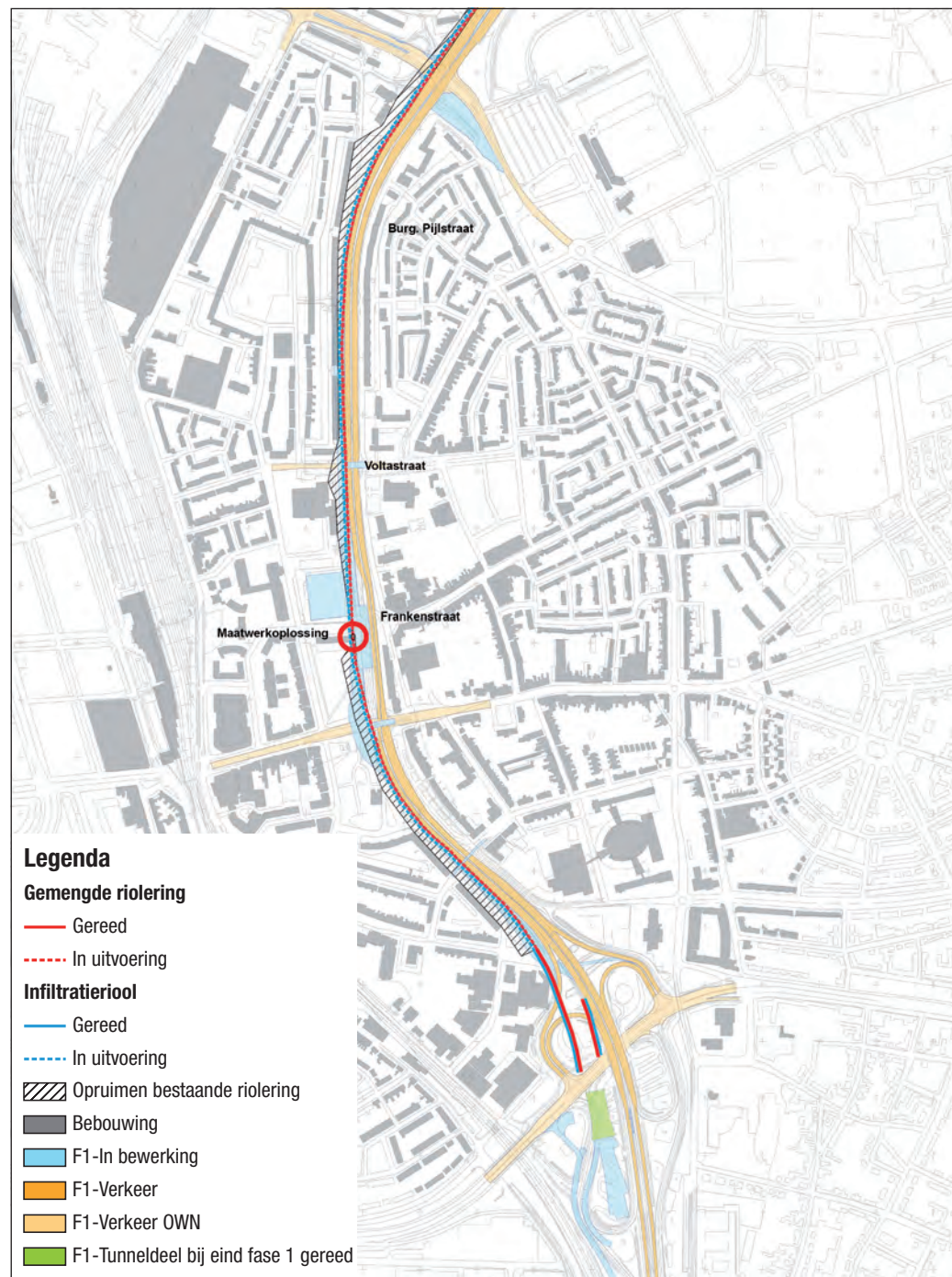
Figuur B2-2
Riolering fase 0



Fase 1

Gedurende fase 1 functioneren alle oorspronkelijke rioolverbindingen nog. In deze fase realiseert Avenue2 nagenoeg de gehele westelijke rioolleiding (figuur B2-3), zodat deze in fase 2 kan dienen voor de doorvoer van het vrijkomende afvalwater. Tijdens fase 1 pakt Avenue2 eveneens de riolering aan bij de Viaductweg/Meerssenerweg. Direct na de aanleg van de nieuwe leidingen verwijdert Avenue2 gedurende alle fasen de bestaande leidingen.

Figuur B2-3
Riolering fase 1



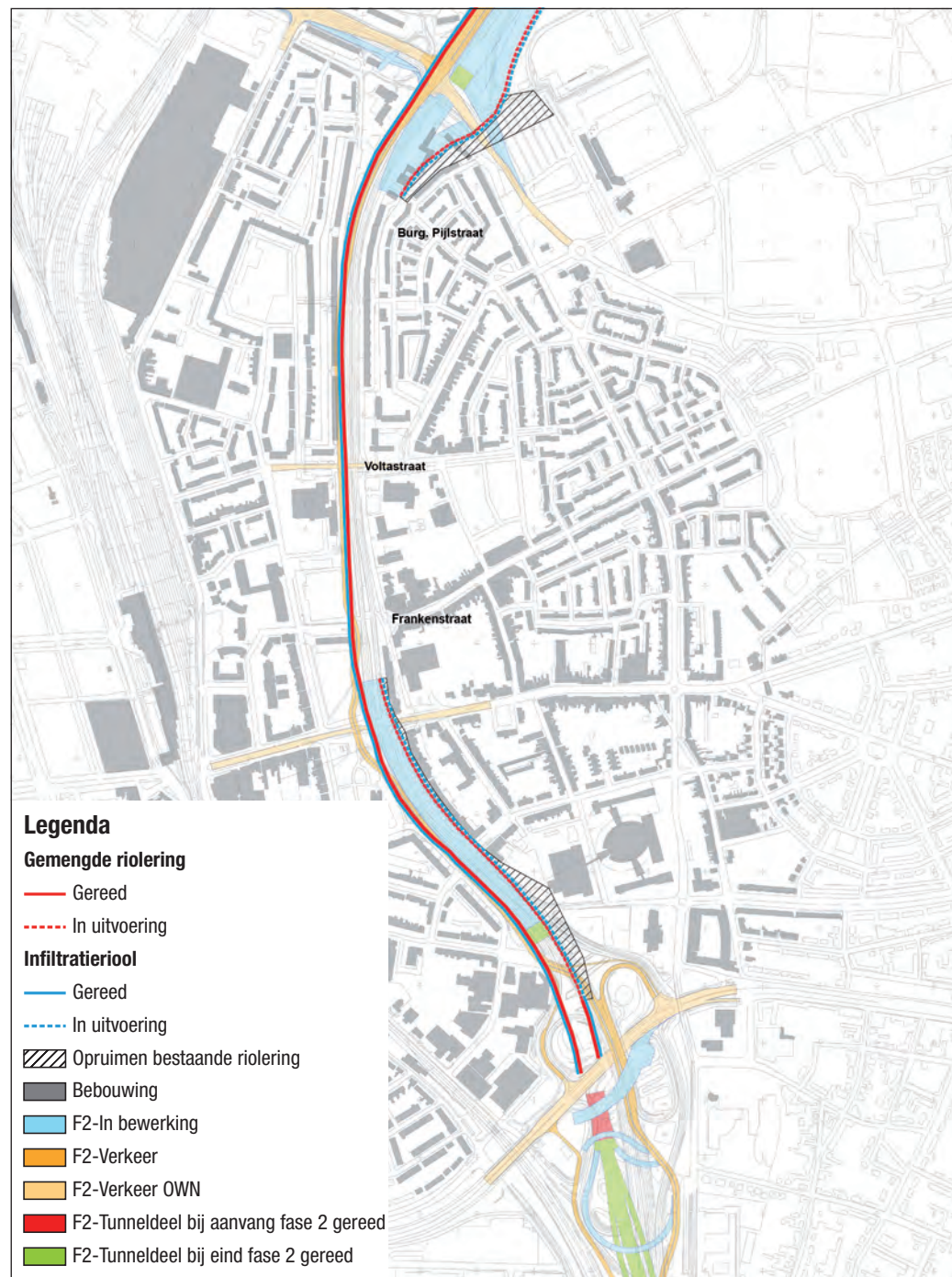
De nieuw gerealiseerde leidingen blijven ook in de eindfase gehandhaafd. Een uitzondering hierop vormen de leidingen ter plaatse van de ANWB-flat. Vanwege ruimtegebrek is hier een tijdelijke maatwerkoplossing noodzakelijk (figuur B2-6). Voor de overige trajecten is tijdens de aanleg- en eindfase voldoende ruimte beschikbaar.

Naast de doorvoer van de hemelwaterafvoer van de gemengde riolering dient de westelijke (gemengde) rioolleiding tijdens de volgende aanlegfasen eveneens voor de afvoer van het (verontreinigde) wegwater van de tijdelijke A2. Bij het dimensioneren van de leidingdiameters is de afvoer van het wegwater een aandachtspunt.

Fase 2

Tijdens fase 2 realiseert Avenue2 grote trajecten van de oostelijke zijde van beide ringstructuren (figuur B2-4). Aan de oostelijke zijde grenst de bouwkuip op bepaalde trajecten direct aan particuliere percelen. In deze gevallen is het onvermijdelijk dat de riool- en infiltratieleiding tijdelijk in particuliere grond worden gerealiseerd. Direct na het verwijderen van de damwanden kunnen de betreffende leidingen naar de definitieve locatie in openbare grond worden verlegd.

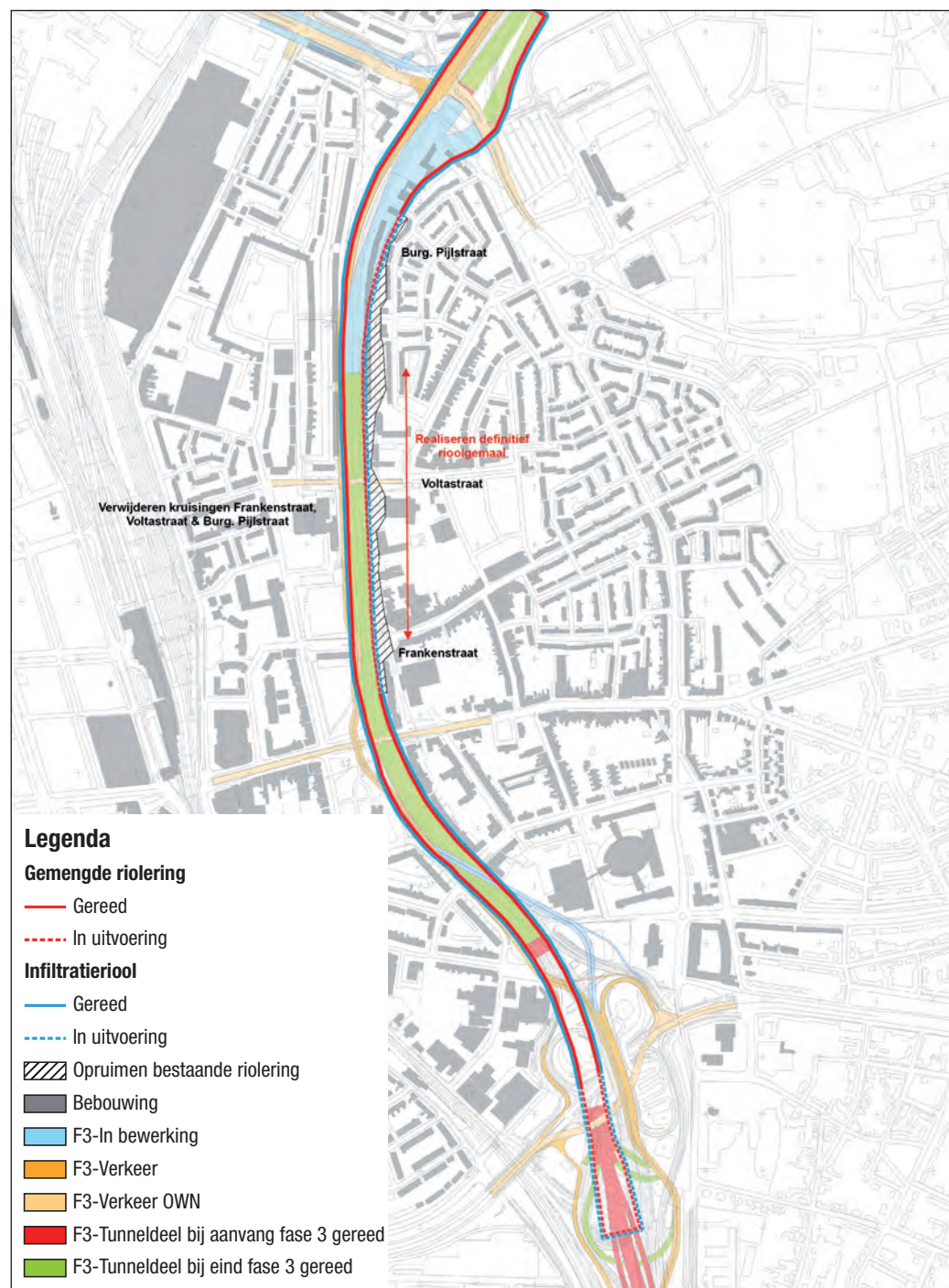
Figuur B2-4
Riolering fase 2



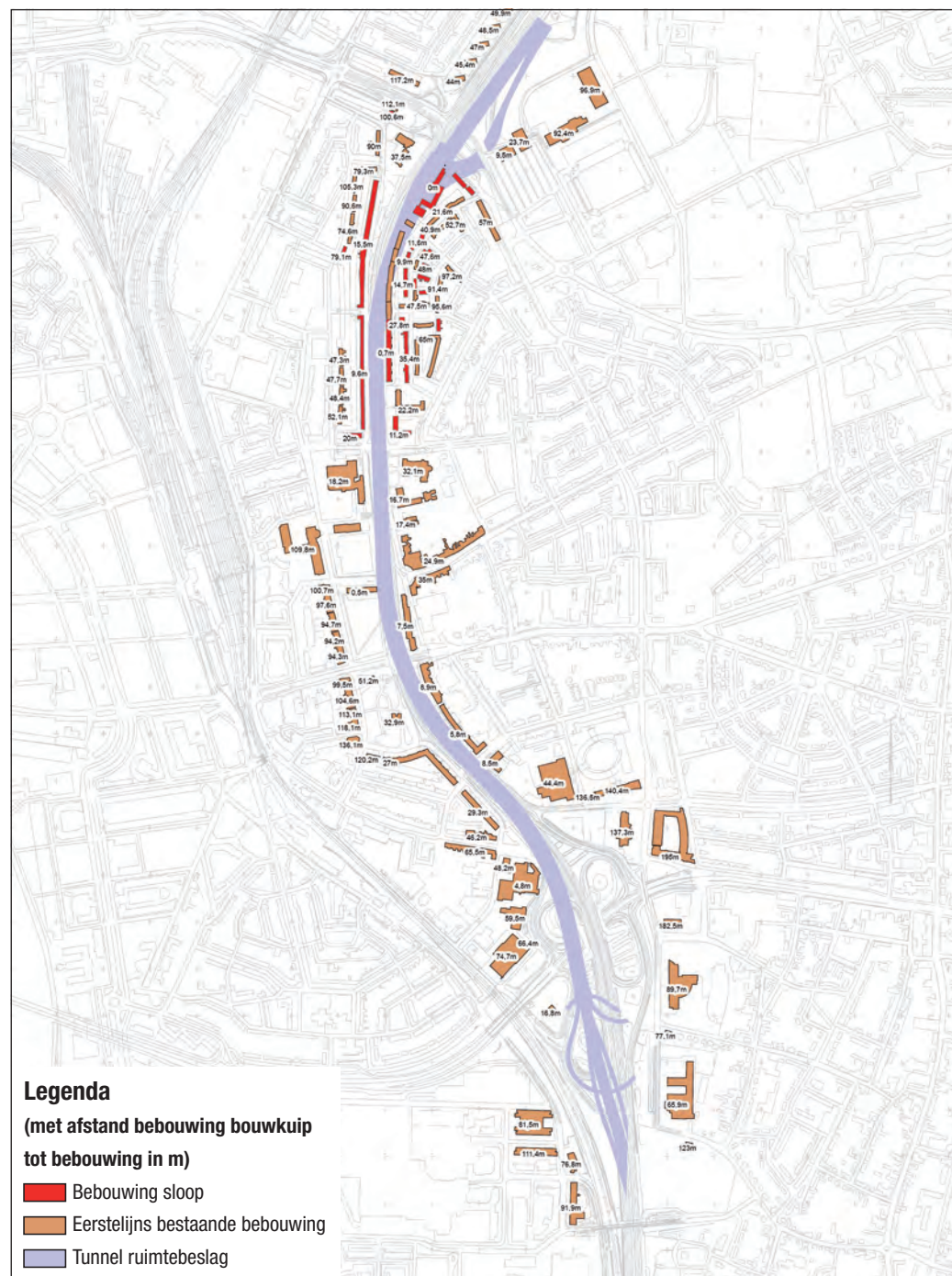
Fase 3

In fase 3 verbindt Avenue2 de oostelijke leidingen met elkaar. Tevens voltooiën wij de ringstructuur aan de zuidzijde (figuur B2-5). De bouwtrain is inmiddels zo ver gevorderd dat de rioolkruisingen worden doorsneden onder de Frankenstraat, Voltastraat en het verlengde van de Burgemeester Pijlstraat. Nadat Avenue2 een sluitende ringstructuur heeft gerealiseerd kunnen de kruisende

Figuur B2-5
Riolering fase 3



Figuur B2-6
Afstanden huidige be-
bouwing tot bouwkuip

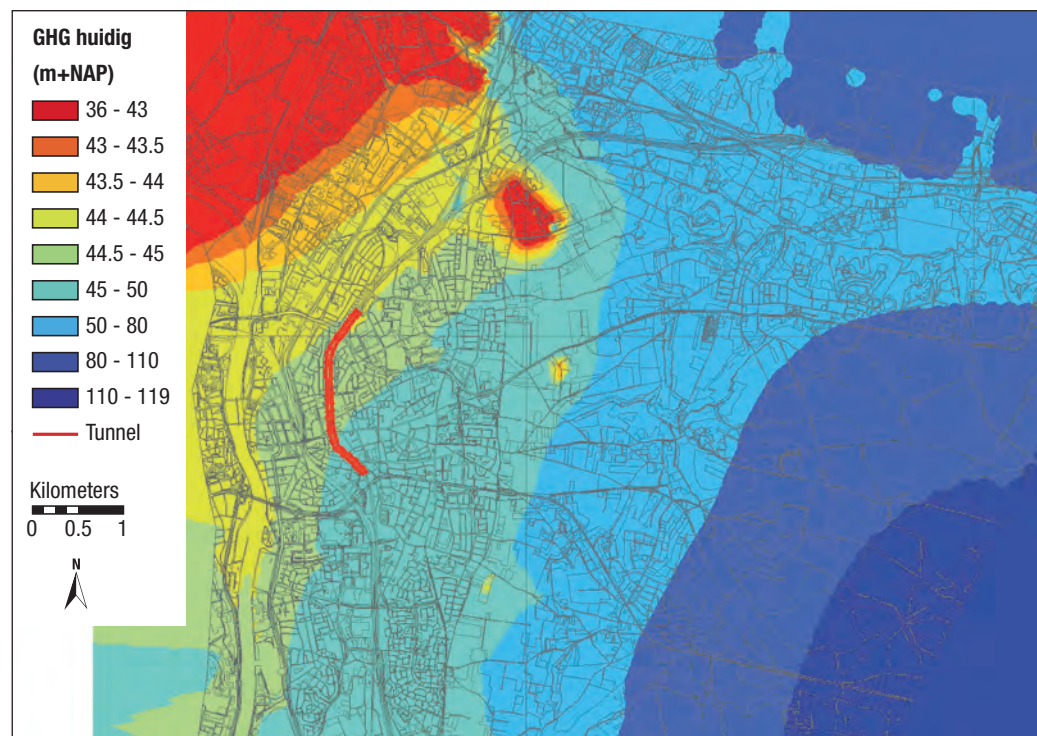


Bijlage

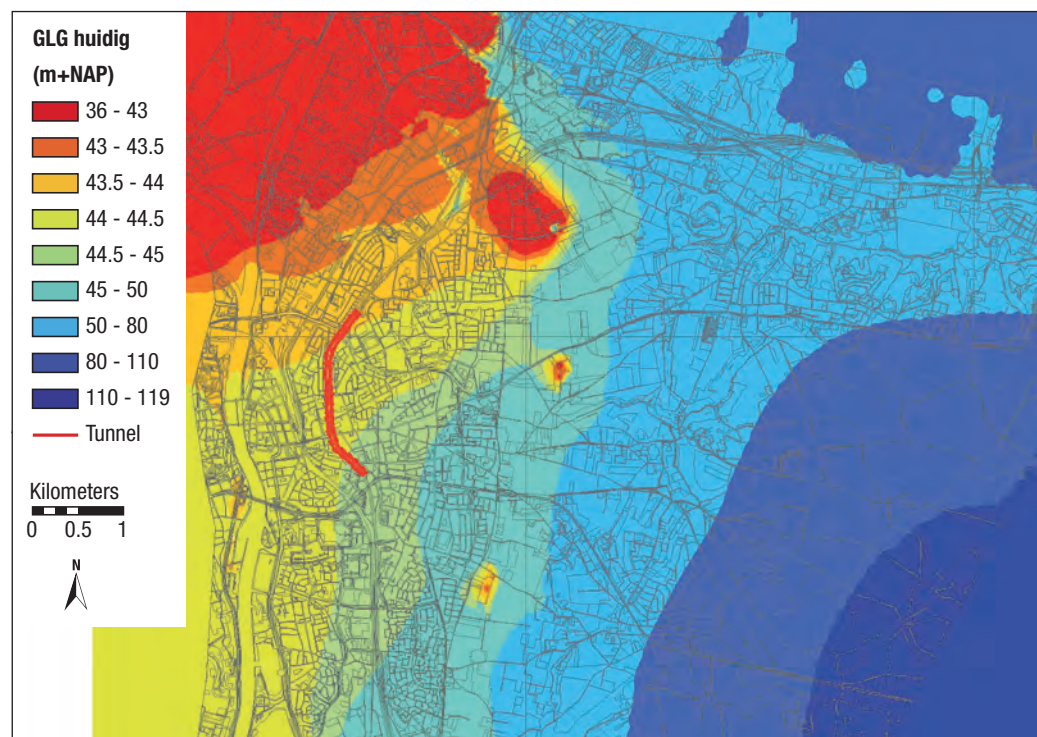
Bijlage 3 Kaartmateriaal grondwater

Gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand huidige situatie

Figuur B3-1
Gemiddeld hoogste
grondwaterstand huidige
situatie op basis van
Triwaco-model, scenario
P0

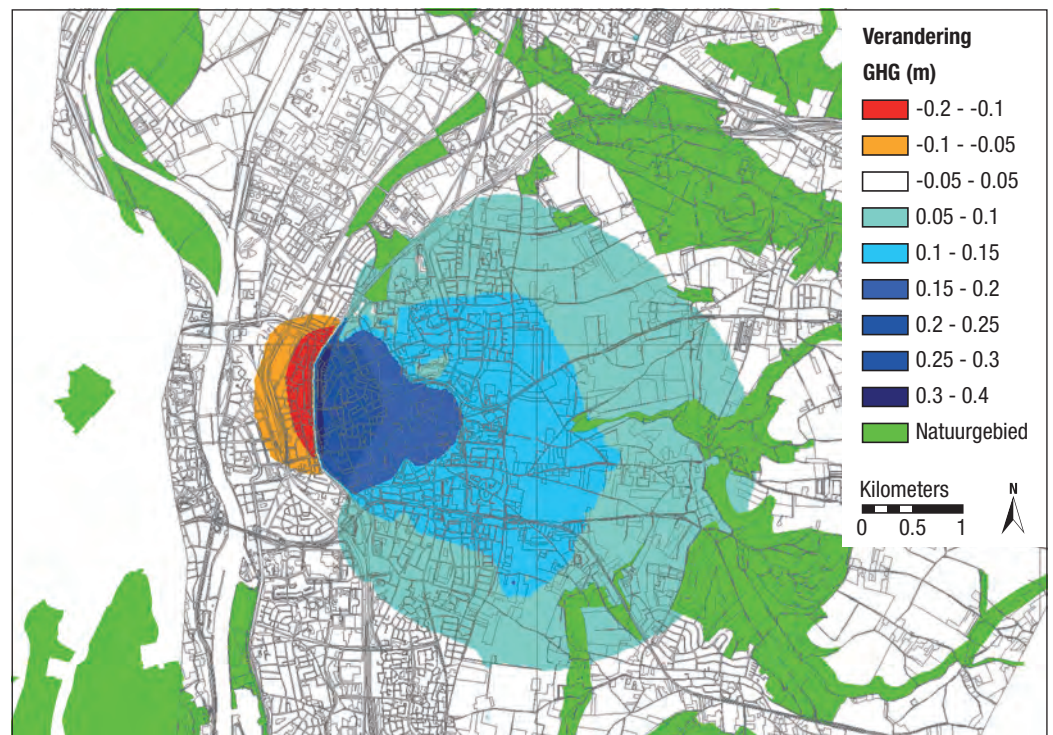


Figuur B3-2
Gemiddeld laagste
grondwaterstand huidige
situatie op basis van
Triwaco-model, scenario
P0

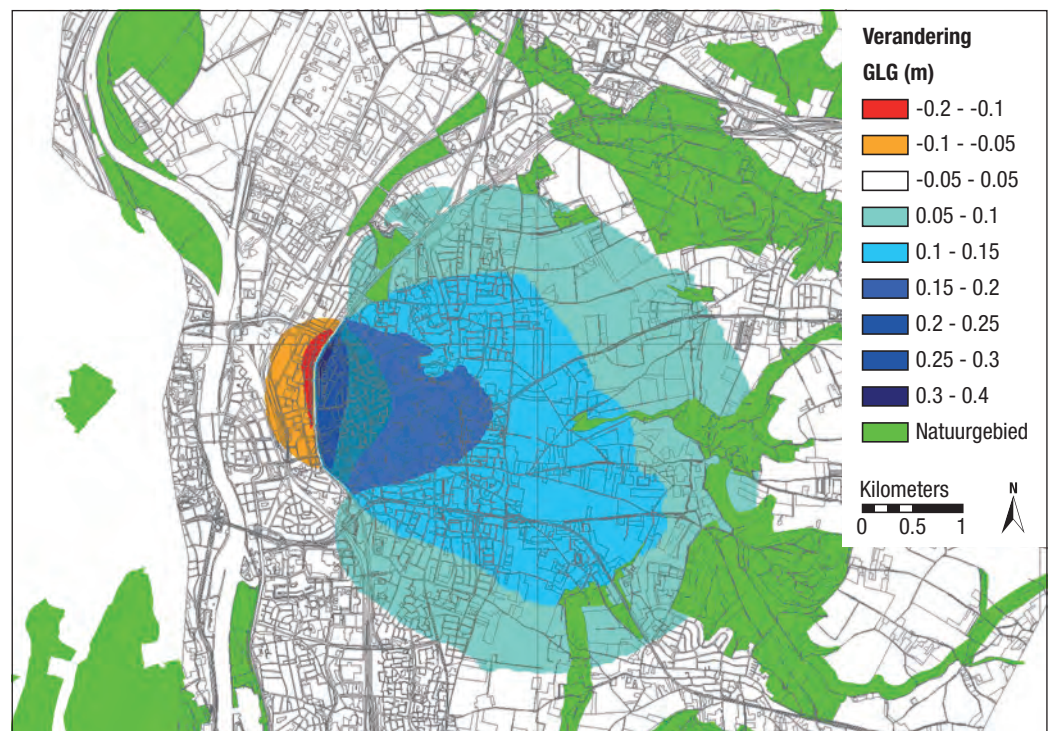


Veranderingen in grondwaterstand zonder mitigerende maatregelen

Figuur B3-3
Verandering gemiddeld
hoogste grondwaterstand
in scenario P1

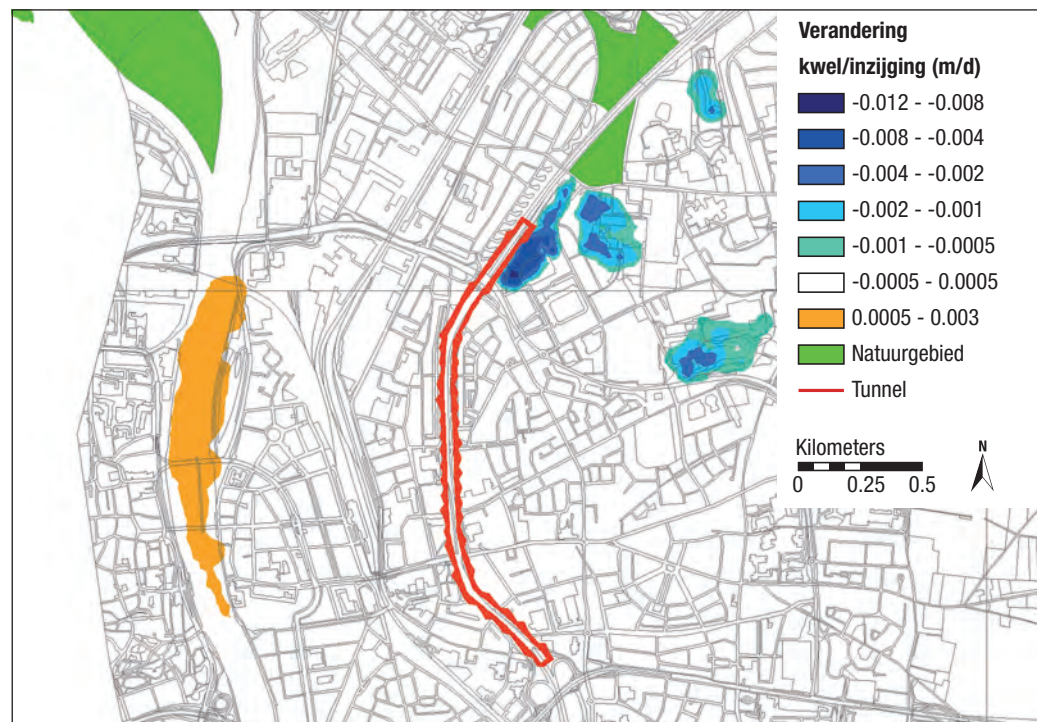


Figuur B3
Verandering gemiddeld
laagste grondwaterstand
in scenario P1



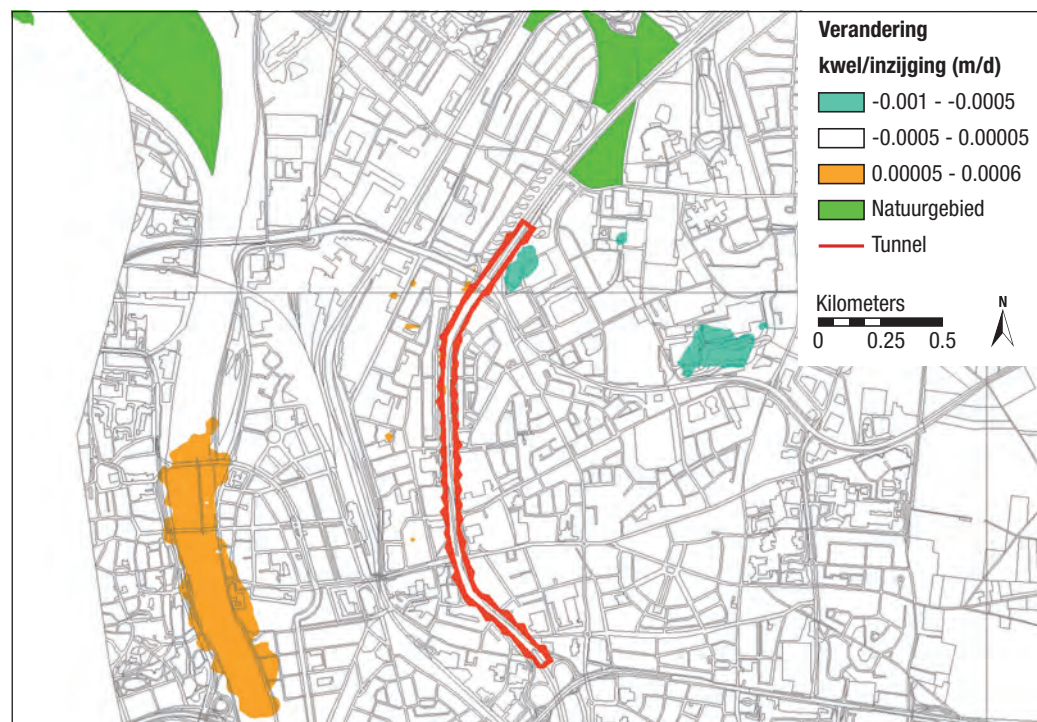
Veranderingen in kwel/inzijing zonder mitigerende maatregelen

Figuur B3-5
Verandering kwel/inzijing (m/d) voor GHG-scenario P1 t.o.v. GHG huidige situatie



+ toename inzijing/afname kwel (m/d)
- toename kwel/afname inzijing (m/d)

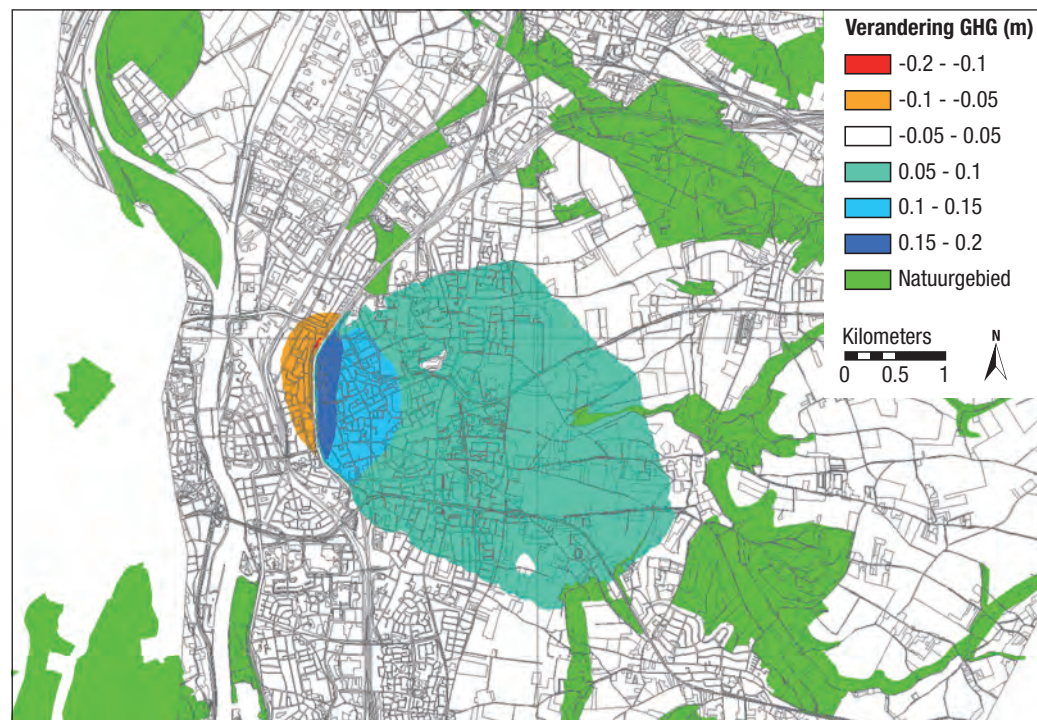
Figuur B3-6
Verandering kwel/inzijing (m/d) voor GLG-scenario P1 t.o.v. GLG huidige situatie



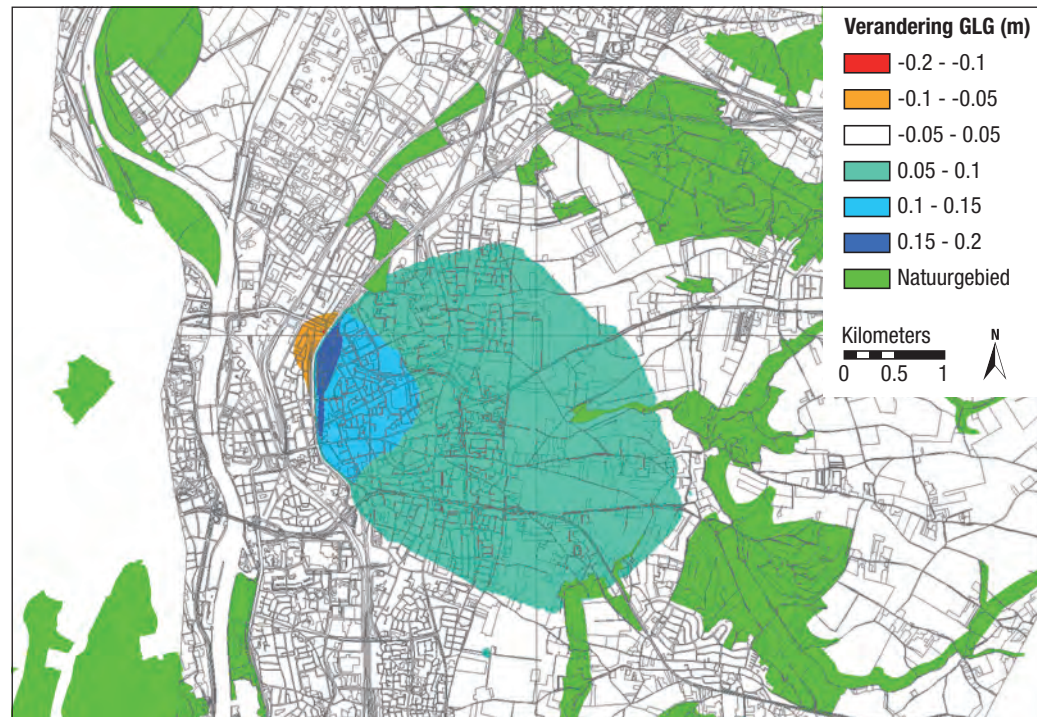
+ toename inzijing/afname kwel (m/d)
- toename kwel/afname inzijing (m/d)

Veranderingen in grondwaterstand in situatie met tunnel en buizensysteem

Figuur B3-7
Verandering gemiddeld
hoogste grondwaterstand
in scenario P2



Figuur B3-8
Verandering gemiddeld
laagste grondwaterstand
in scenario P2



Veranderingen in kwel/inzijing in situatie met tunnel en buizensysteem

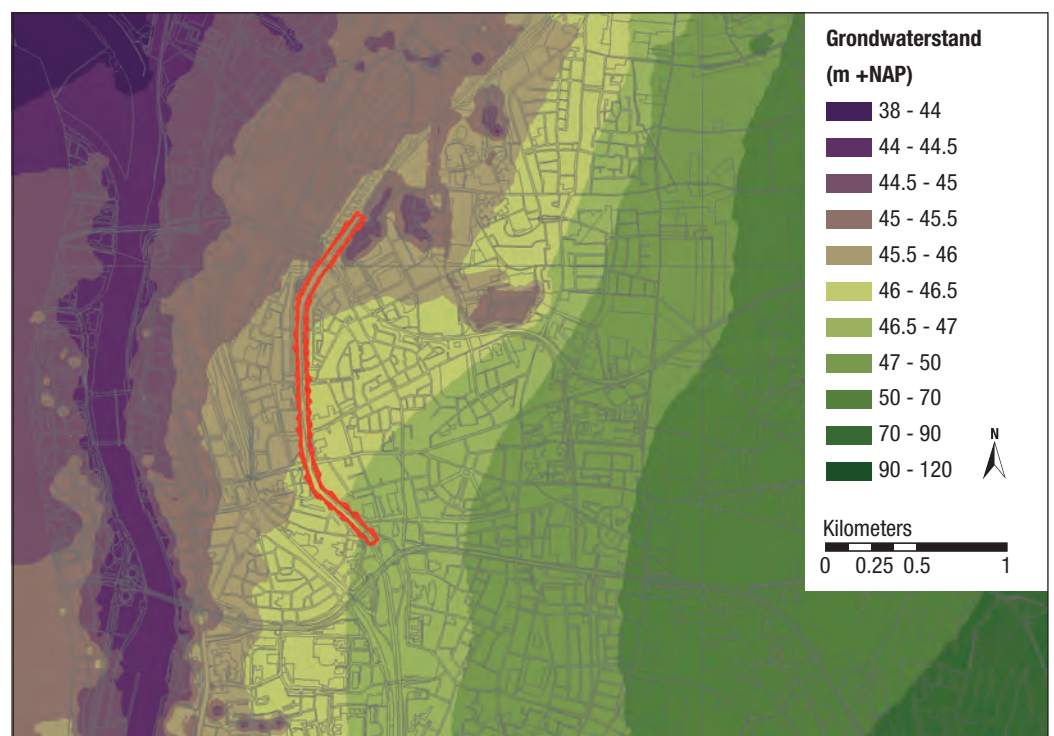
Figuur B3-9
Verandering kwel/inzijing (m/d) voor GHG-scenario P2 t.o.v. GHG huidige situatie



+ toename inzijing/afname kwel (m/d)
- toename kwel/ afname inzijing (m/d)

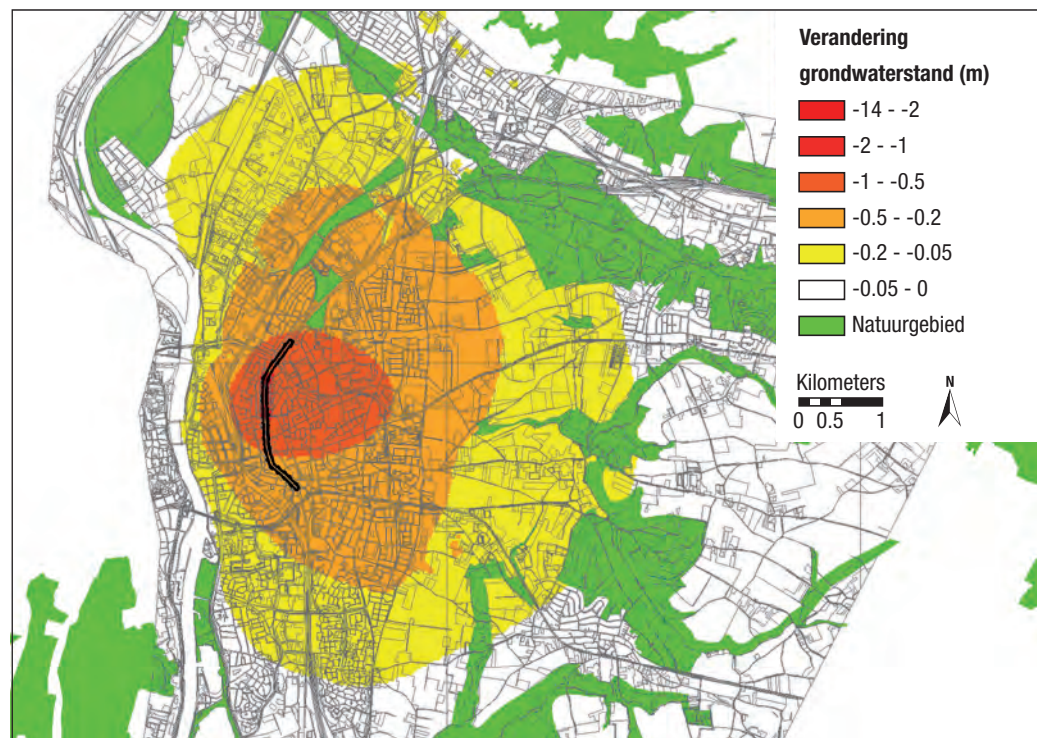
Ontwerpgrondwaterstand: 1:1250 -jaarssituatie

Figuur B3-10
Grondwaterstand in 1:1250-jaarssituatie zonder WML-onttrekkingen, scenario P3

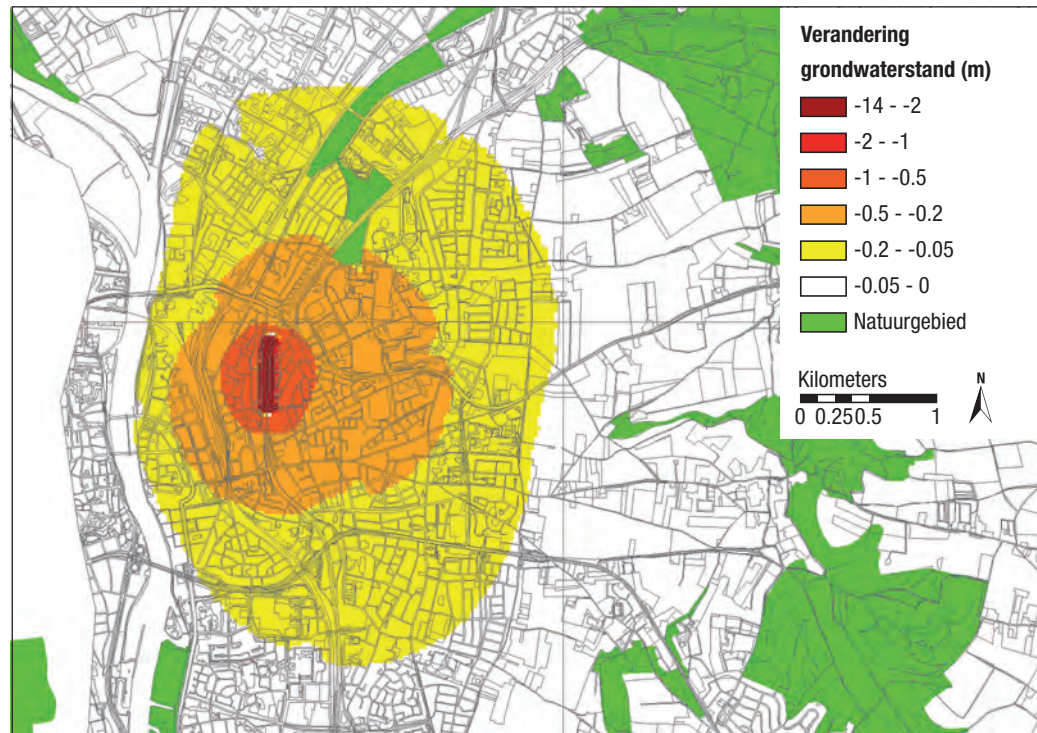


Veranderingen grondwaterstand tijdens aanlegfase met bemaling

Figuur B3-11
Maximale verandering
grondwaterstand na 2
jaar bemaling, scenario
A1



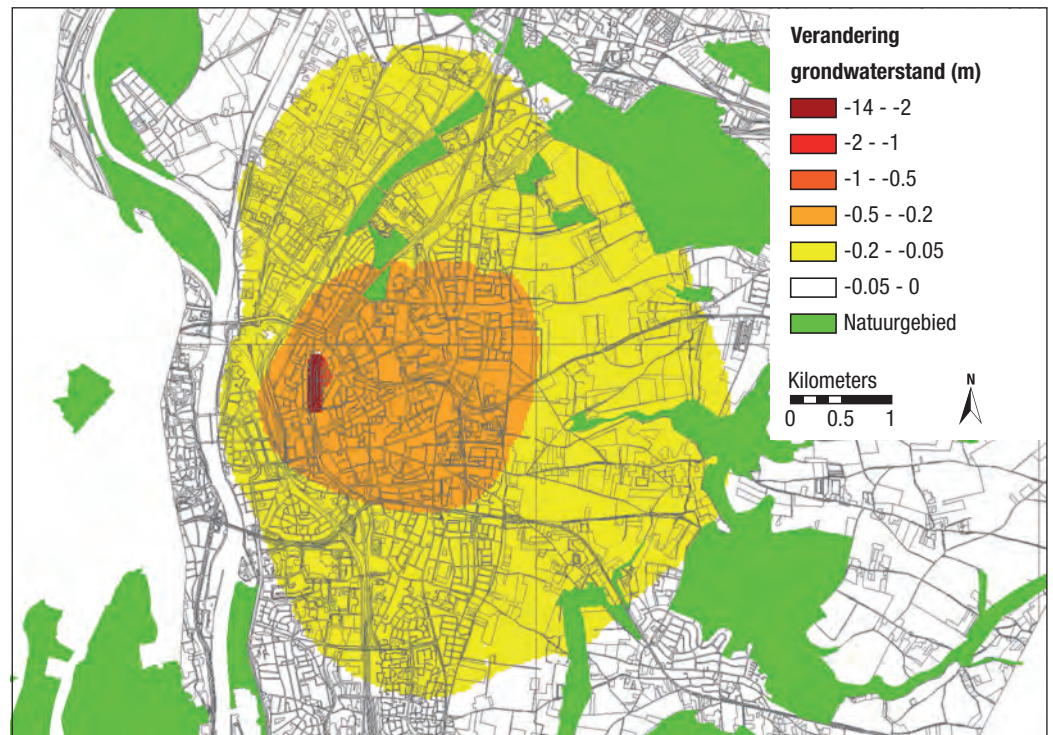
Figuur B3-12
Verandering grondwa-
terstand na 50 dagen
bemaling, scenario A1



Veranderingen grondwaterstand tijdens de aanleg met bemaling en gedeeltelijke afsluiting onderkant bouwput

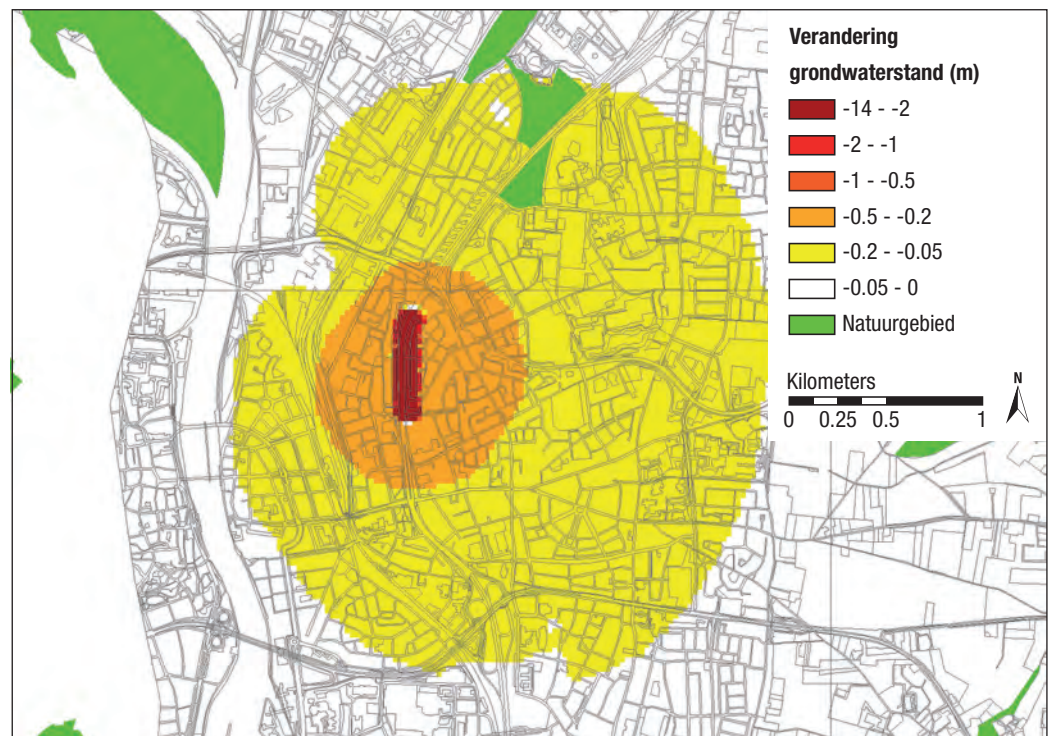
Figuur B3-13

Maximale verandering
grondwaterstand na 2
jaar bemaling, scenario
A2



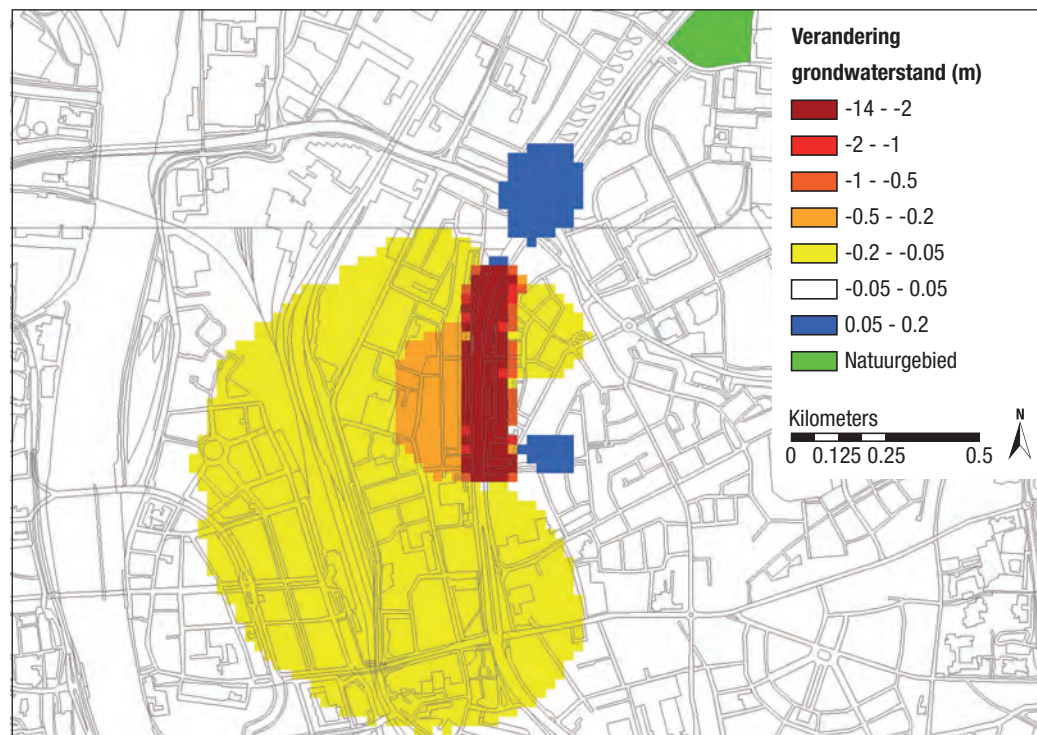
Figuur B3-14

Verandering grondwa-
terstand na 50 dagen
bemaling, scenario A2

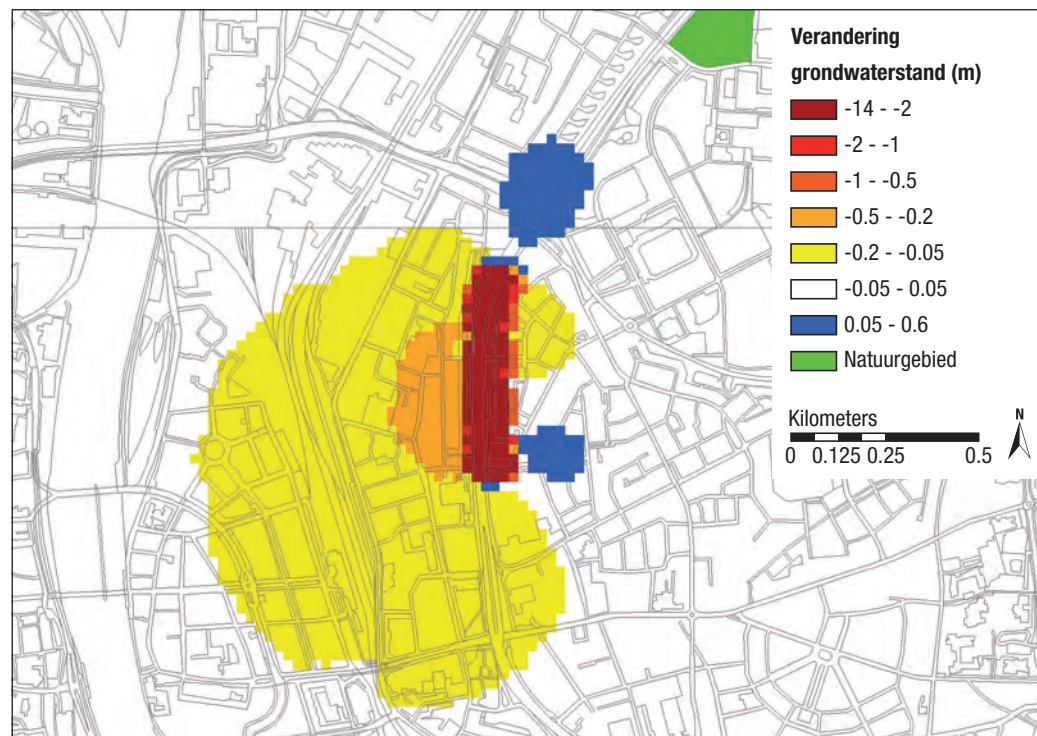


Veranderingen grondwaterstand tijdens de aanleg met bemaling, retour-bemaling en gedeeltelijke afsluiting onderkant bouwput

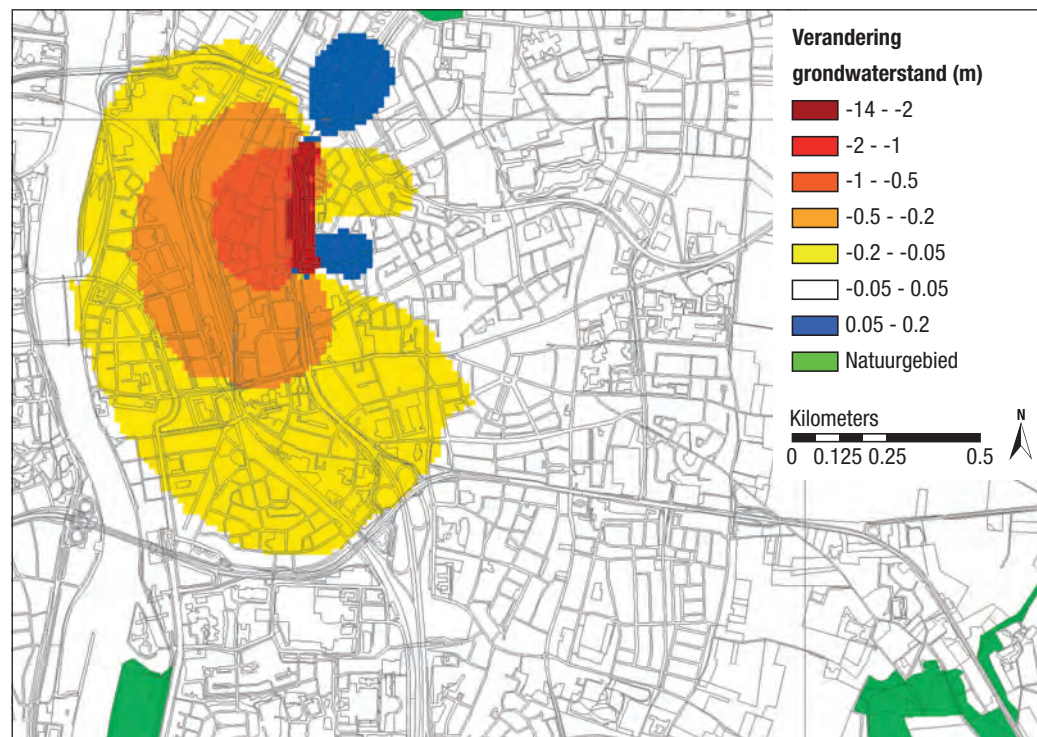
Figuur B3-15
Maximale verandering
grondwaterstand na
2 jaar bemaling,
scenario A3



Figuur B3-16
Verandering grondwa-
terstand na 50 dagen
bemaling,
scenario A3



Figuur B3-17
Verandering
grondwaterstand na
50 dagen bemaling,
scenario A4

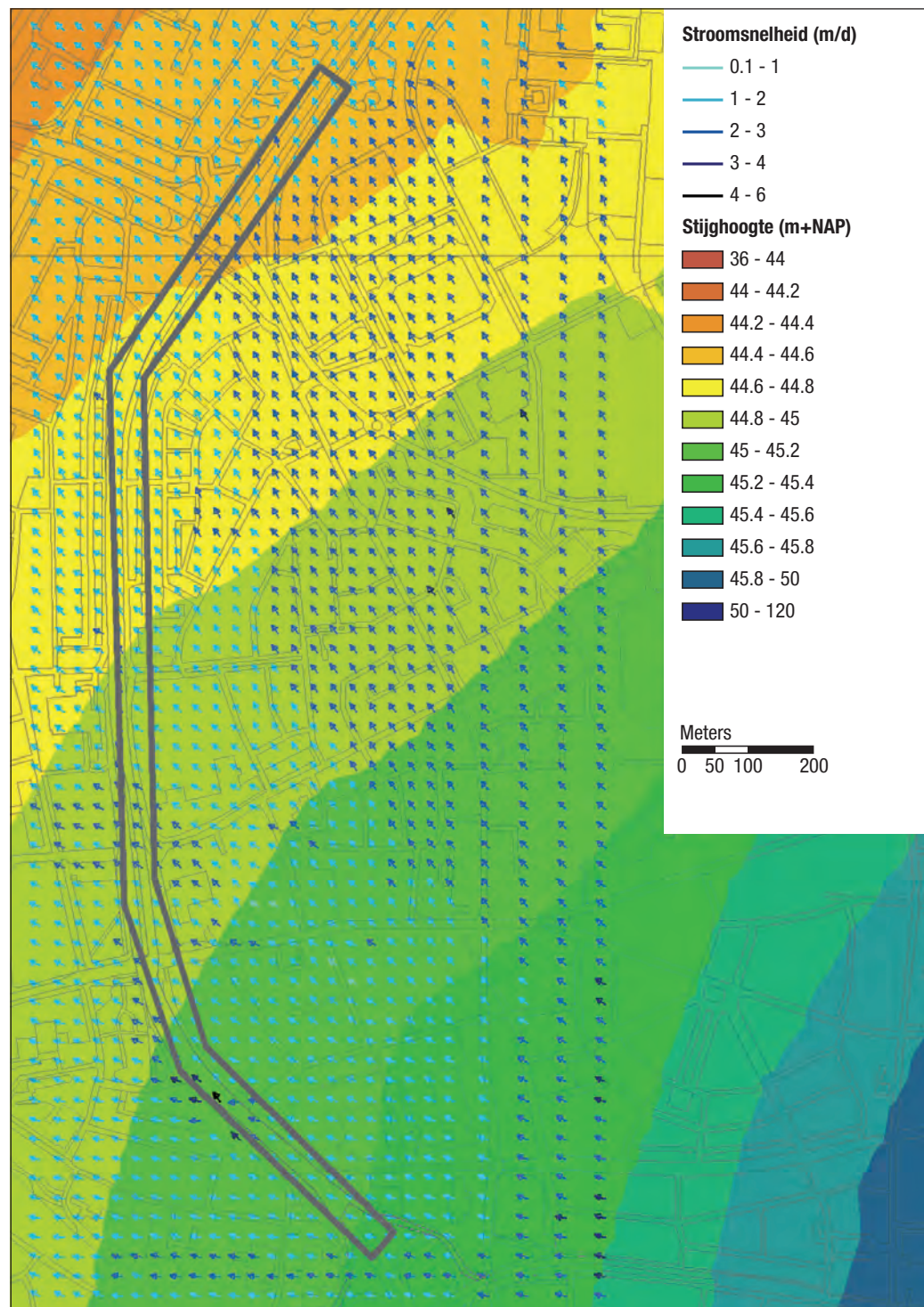


Figuur B3-18
Verandering
grondwaterstand na
2 jaar bemaling,
scenario A4

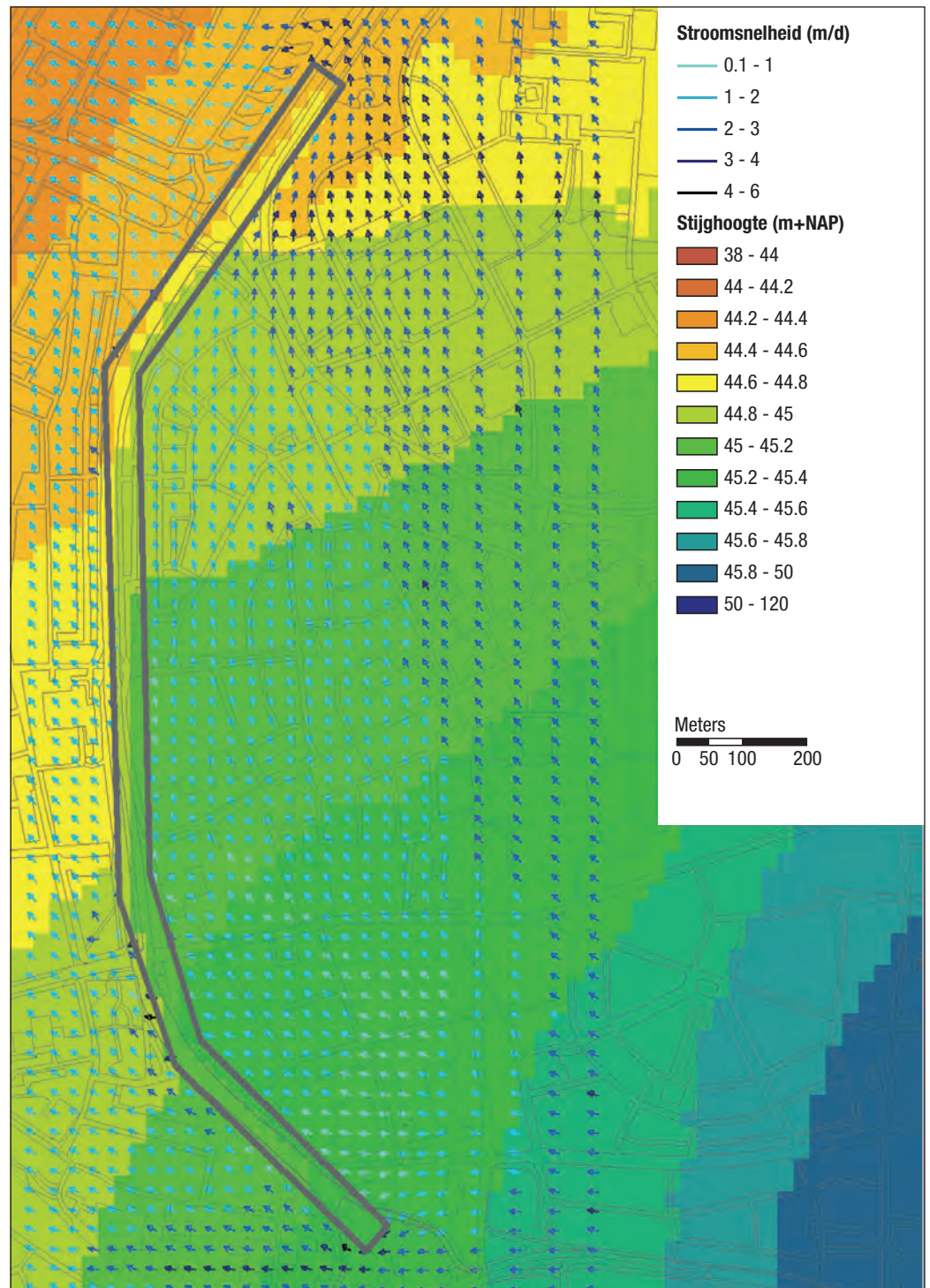


Stromingspatronen (richting en snelheid) in de omgeving van de tunnel

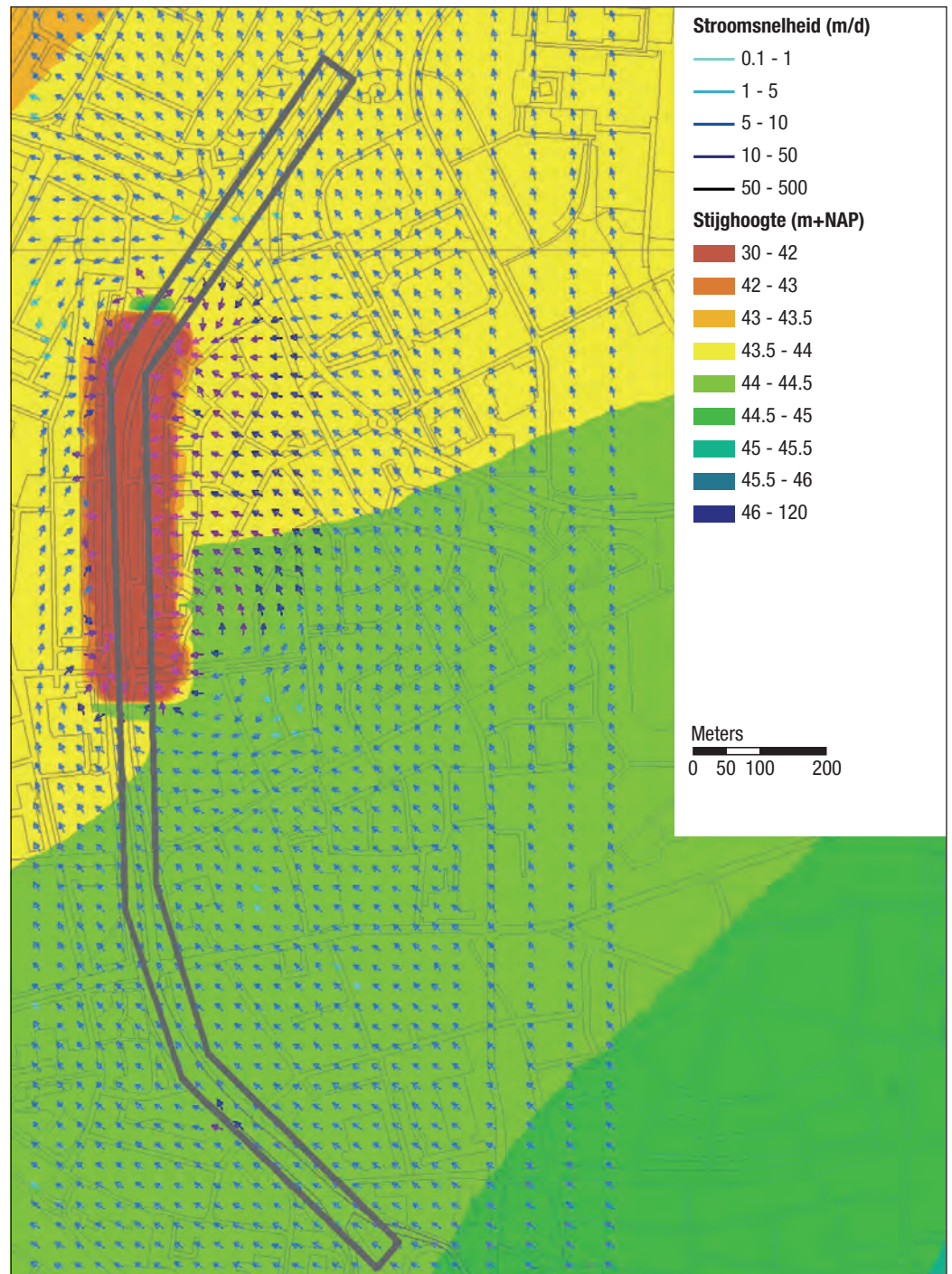
Figuur B3-19
Stroomsnelheid en
stroomrichting van
grondwater in 1 e water-
voerende pakket (GHG) in
de situatie



Figuur B3-20
Stroomsnelheid en
stroomrichting van
grondwater in 1e water-
voerende pakket (GHG) in
eindsituatie met hevel



Figuur B3-21
Stroomsnelheid en
stroomrichting van
grondwater in 1e
watervoerende pakket
(GHG) aan het einde van
twee jaar bemaling en
retourbemaling





Bijlage

Bijlage 4 Grondwater: toepassing modelinstrumentarium

1	Doelstelling bijlage 4	78
2	Het Triwaco-model	78
2.1	Beschrijving grondwatermodel	78
	Geohydrologische schematisatie	78
	Oppervlaktewater	79
	IJking door Royal Haskoning	79
2.2	Beperkingen van het Triwaco-model (2004)	79
	Doorlatendheid in de diepte	79
	Doorlatendheid in de verticaal	80
	Verticale doorlatendheid in de software	80
	Schaalgrootte	80
3	Aanpassingen aan parameters en model	80
3.1	Doorlatendheid formatie van Maastricht	80
	Bodemopbouw bestaande Triwaco-model 2004	80
	Primaire en secundaire doorlatendheid	81
	Verticale en horizontale spreiding van de secundaire doorlatendheid	81
	Aanpassing doorlatendheid in model	81
	Literatuuronderzoek doorlatendheid	82
	Toelichting primaire en secundaire doorlatendheid	83
	Toelichting op modelleren van verticale spreiding van de doorlatendheid	84
3.2	Uitvoering gevoeligheidsanalyse	84
	Werkwijze	84
	Scenario's en resultaten	86
	Analyse resultaten	87
3.3	IJking door middel van Modelleren bemaling Mosae Forum	88
	Werkwijze ijking met gegevens Mosae Forum	88
3.4	Conclusies gevoeligheidsanalyse	89
4	Doorwerking naar scenarioberekeningen	90
4.1	Onderbouwing scenarioberekeningen voor de permanente situatie	90
	Scenario's	90
	Modelaanpassingen per scenario	91
4.2	Onderbouwing werking hevelconstructie	92
	Toelichting constructie	92
	Beschrijving rekenmethode hevel	93
	Doorgerekende scenario's	94
	Conclusie berekeningen hevel	99
5	Onderbouwing scenarioberekeningen aanlegfase	99
5.1	Aanvullend gebruik Modflow	100
5.2	Toepassing Modflow-instrumentarium	100
5.3	Scenarioberekeningen in Triwaco	104

1 Doelstelling bijlage 4

De grondwatertoetsing moet volgens opgaaf plaatsvinden op basis van een door de aanbesteder verstrekt grondwatermodel. Dit model is in 2004 opgesteld door Haskoning (Triwaco). Avenue2 meent dat een aantal aanvullingen op en aanpassingen aan het model nodig zijn voor de berekeningen van de verschillende situaties tijdens de bouw (aanlegfase) en na de bouw (permanente situatie). In hoofdstuk 3 van dit Specialistisch Rapport beschrijven wij de resultaten van de berekeningen, analyseren wij deze en trekken wij conclusies. In deze bijlage gaan wij nader in op de aanpassingen en aanvullingen. Ook onderbouwen wij waarom dit noodzakelijk is. Wij beschrijven concreet de doorgerekende scenario's en gewijzigde parameters bij de scenario's. De uiteindelijke resultaten/effekten hebben wij weergegeven in hoofdstuk 3.

2 Het Triwaco-model

Onderstaand volgt een korte beschrijving van het Triwaco-model, gebaseerd op het rapport 'Grondwatermodelonderzoek en bepaling ontwerpstiighoogten A2-tunneltraverse Maastricht' (Royal Haskoning, 2004).

2.1 Beschrijving grondwatermodel

In Triwaco is een grondwatermodel opgezet dat het complete onderzoeksgebied omvat. Dit gebied is ruimschoots groter dan de oppervlakte waarover grondwatereffekten zijn te verwachten (Haskoning, 2004). De westelijke modelrand ligt direct ten westen van de Maas en is gemodelleerd als een dichte rand waarover geen stroming plaatsvindt. Aan de oostzijde wordt het model begrensd door de waterscheiding op het plateau van Margraten en is de rand gemodelleerd als een dichte rand waarover geen stroming plaatsvindt. Ook de noordelijke en zuidelijke modelranden die op circa 3,5 km ten noorden en ten zuiden van het tunneltracé zijn gekozen, zijn gemodelleerd als een dichte rand. De knooppuntafstand varieert van 10 tot 15 m ter hoogte van het tunneltracé, 35 m in een zone van 200 m aan weerszijden van het tunneltracé tot 200 m in de periferie van het modelgebied.

2.1.2 Geohydrologische schematisatie

Met het modelinstrumentarium Triwaco wordt de geohydrologie geschematiseerd in watervoerende pakketten en in scheidende lagen. Hieraan wordt respectievelijk een doorlaatvermogen (m^2/d) en een weerstand (dagen) toegekend. In de watervoerende pakketten wordt voornamelijk horizontale stroming verondersteld. In de scheidende lagen wordt hoofdzakelijk verticale stroming verondersteld. Binnen het onderzoeksgebied komt een deklaag voor en drie watervoerende pakketten.

Deklaag

De deklaag wordt gemodelleerd als twee lagen: een watervoerende deklaag (horizontale stroming) die van het onderliggende eerste watervoerende pakket wordt gescheiden door een scheidende deklaag (verticale weerstand).

Eerste watervoerende pakket

Het eerste watervoerende pakket bestaat uit een goeddoorlatend grindpakket (kD oplopend tot 6.000 à 8.000 m^2/d) behorende tot de formaties van Veghel, Sterksel en Kreftenheye. Dit pakket wordt van het tweede watervoerende pakket gescheiden door een fictieve scheidende laag. Hierin is de weerstand van de onderliggende laag verdisconteerd (11 tot 111 dagen ter plaatse van tunneltracé).

Tweede watervoerende pakket

Het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door de relatief goed doorlatende kalksteenpakketten van de Formaties van Houthem en Maastricht (kD van 100 tot 600 m²/d).

Derde watervoerende pakket

Het derde watervoerende pakket wordt gevormd door de minder goed doorlatende kalksteenformatie van Gulpen (kD van maximaal enkele tientallen m²/d).

2.1.3 **Oppervlaktewater**

Het zomerbed van de Maas snijdt volledig in het grindpakket in en staat in direct contact met het onderliggende kalksteenpakket. De Maas vormt hiermee een harde hydrologische rand. Dit wil zeggen dat de grondwatereffecten ten gevolge van de tunnel niet doorwerken tot het gebied ten westen van de Maas. De oevers en het winterbed van de Maas zijn gemodelleerd als een topsysteem waarbij het maaiveldniveau als drainagebasis wordt genomen. De hydraulische weerstand van de rivierbodem is bijzonder laag (enkele dagen) door de inbedding in het grindpakket. Ook de peilen van de beken en de waterstanden van de Maas vormen een randvoorwaarde voor het grondwatermodel. De drainageweerstand van de beken bedraagt 2 à 5 dagen. De infiltratieweerstand van de kleinere beken is oneindig hoog ingesteld. Voor de Geul is uitgegaan van een infiltratieweerstand van 10 à 15 dagen.

2.1.4 **Ijking door Royal Haskoning**

De stationaire ijking heeft plaatsgevonden aan de hand van de gemeten stijghoogten over de periode augustus 1997 tot augustus 1998. De niet-stationaire ijking is uitgegaan van de gemeten stijghoogte in de periode 1990 tot en met 2000. De afwijkingen in de stationaire ijking bedragen voor respectievelijk het grind- en het kalksteenpakket gemiddeld (absoluut) 24 cm en 43 cm. De maximale absolute afwijkingen voor de beide pakketten bedragen respectievelijk 79 cm en 109 cm. Uit de niet-stationaire ijking volgt dat de grondwaterstanden ter hoogte van het tunneltracé zeer goed worden gesimuleerd. Voor het laagterras ten westen van de tunnel worden minder goede ijkingresultaten gehaald. De effecten van Maaspieken en grondwaterwinningen op de grondwaterstand blijken moeilijk te simuleren. De grondwaterstanden ter plaatse van het laagterras ten noordwesten van het tunneltracé worden redelijk tot goed gesimuleerd. Hier blijkt het echter ook lastig om de reactie op Maaspieken goed te simuleren. Hoewel de berekende grondwaterstanden op het middenteras systematisch iets te hoog zijn, wordt het verloop van de grondwaterstand hier zeer redelijk gesimuleerd.

2.2 **Beperkingen van het Triwaco-model (2004)**

Aan het Triwaco-model kleven een aantal beperkingen. Hieronder beschrijven wij deze beperkingen. De manier waarop wij omgaan met de gevolgen van deze beperkingen staat in hoofdstuk 3 van deze bijlage.

2.2.1 **Doorlatendheid in de diepte**

De doorlatendheid van het kalksteenpakket neemt volgens vele literatuurbronnen af met de diepte (zie paragraaf 3.1.5 van deze bijlage). In het verstrekte model is de gehele formatie van Maastricht echter als één laag gemodelleerd. Avenue2 meent dat dit geen reële weergave van de werkelijkheid is. Daardoor zijn de optredende effecten minder betrouwbaar weer te geven. Avenue2 heeft extra onderzoek uitgevoerd naar de doorlatendheid van de kalksteen in de vorm van literatuuronderzoek en een gevoeligheidsanalyse.

2.2.2 Doorlatendheid in de verticaal

Omdat Avenue2 bronbemaling toepast, is de verticale doorlatendheid een belangrijke parameter. Enerzijds om het waterbezwaar goed te kunnen inschatten. Anderzijds om de effecten goed inzichtelijk te maken. Het geleverde Triwaco-model geeft bij het A2 -tracé zeer variabele weerstanden. De onderbouwing van deze zeer belangrijke parameter ontbreekt echter. Om beter inzicht te krijgen in de weerstand die wordt ondervonden door het grondwater vanuit de kalksteen naar de bouwkuip, heeft Avenue2 een ijking uitgevoerd met de gegevens van de bouwkuip van Mosae Forum.

2.2.3 Verticale doorlatendheid in de software

Triwaco gaat uit van schematisatie van de ondergrond naar watervoerende en scheidende lagen. Hierbij kan aan de watervoerende lagen geen verticale doorlatendheid worden toegekend. Hierdoor is het niet mogelijk om de weg die grondwater aflegt in de verticale richting op een directe manier te simuleren bij scenario's met variabele damwandlengtes. Ook het simuleren van damwanden zelf is lastig. Dit kan alleen op een indirecte manier: door het doorlaatvermogen ter plaatse van de damwanden op 0 te zetten en het doorlaatvermogen van de overgebleven laag onder de damwanden kleiner te maken.

2.2.4 Schaalgrootte

Door het bestaande Triwaco-model als verificatiemethode voor te schrijven (door het Projectbureau A2 Maastricht) staat ook de schaal waarop de modellering plaatsvindt, vast. In dit geval betreft het een regionaal model. In de permanente situatie worden door Avenue2 echter maatregelen voorgesteld die op lokale schaal moeten worden doorgerekend. Bij de onderbouwing van de maatregelen komt deze schaalproblematiek aan de orde (bij de onderbouwing van de werking van de hevels, paragraaf 4.2 van deze bijlage). Avenue2 heeft een oplossing gezocht door met een lokaal model aan te tonen dat de constructie werkt en vervolgens de optredende effecten te tonen in het vrijgegeven Triwaco-model.

3 Aanpassingen aan parameters en model

3.1 Doorlatendheid formatie van Maastricht

Hieronder lichten wij de resultaten van het literatuuronderzoek, de gevoeligheidsanalyse en de ijking aan een bestaande bemaling (Mosae Forum) nader toe.

3.1.1 Bodemopbouw bestaande Triwaco-model 2004

In het oorspronkelijke Triwaco-model (Haskoning, 2004) is voor het kalksteenpakket van de Formatie van Maastricht/Houthem één laag gebruikt. Omdat de Formatie van Houthem niet voorkomt in de nabijheid van het tunneltracé, spreken wij verder alleen over de Formatie van Maastricht.

Ter plaatse van het tunneltracé varieert het doorlaatvermogen van dit pakket van 400 tot 500 m²/d. De verticale weerstand van het kalksteenpakket is verdisconteerd in de weerstandswaarde van een hierboven gemodelleerde fictieve weerstandbiedende laag. De waarde van deze weerstand varieert tussen 11 en 111 dagen. In tabel B4-1 geven wij de schematisering weer van de bodemopbouw ter plaatse van het tunneltracé volgens het Triwaco-model.

Tabel B4-1
Geohydrologische
bodempopbouw ter plaatse
van het tunneltracé
volgens het Triwaco-model

Diepte (m t.o.v. NAP)		Doorlaat-ver- mogen (m ² /d)	Weerstand (dagen)		Formatie
45,5 tot 47,5	Deklaag	10 (k = 5 m/d)		löss/rivierklei	Holoceen
-			22		
38 tot 45,5	1e wvp	5.000 tot 7.000 (k = 250 tot 1500 m/d)		grind	Veghel, Sterksel, Kreftenheye
-			11 of 111		
-10 à -20 tot 38	2e wvp	400 tot 500 (k = 8 tot 9 m/d)		kalksteen	Maastricht
-			1,1		
85 à -65 tot -10 à -20	Geohydrologi- sche Basis / 3e wvp	26 tot 30 (k = 0,5 m/d)		kalksteen	Gulpen

3.1.2 Primaire en secundaire doorlatendheid

De kalksteenlaag waarin de tunnel wordt aangelegd en waarin grondwateronttrekking wordt toegepast, bevat naast de primaire doorlatendheid tevens secundaire doorlatendheid. De primaire doorlatendheid is afhankelijk van de primaire porositeit (volume fractie poriënruimte) en de mate van verbinding tussen de poriën. Secundaire doorlatendheid treedt op als langs breuken, zoals diaklazen en barsten (hierna met de verzamelnaam breuken aangeduid), kalksteen oplost door het circulerende grondwater. Op deze manier ontstaan spleten die kunnen uitgroeien tot holtes met een diameter van enkele meters. Ter plaatse van Margraten bijvoorbeeld zijn op deze manier oplossingsverschijnselen ontstaan die tot 15 m beneden de bovenkant van de kalksteen voorkomen.

3.1.3 Verticale en horizontale spreiding van de secundaire doorlatendheid

De secundaire doorlatendheid door breuken neemt met de diepte af. Dit omdat de breuken door het gewicht van de bovenliggende laag dicht worden gedrukt (bron o.a.: 'Ground water in hard rocks', UNESCO, 1984). De secundaire doorlatendheid wordt daarom voornamelijk in het bovenste deel van de kalksteen verwacht. Op grotere diepte is de secundaire porositeit beperkt door de grotere druk. Horizontaal kan de doorlatendheid op lokale schaal grote verschillen vertonen. Op plaatsen waar secundaire doorlatendheid voorkomt, is de doorlatendheid veel groter dan in de tussenliggende gebieden. Door bijvoorbeeld geofysisch onderzoek kan de horizontale spreiding van secundaire doorlatendheid bepaald worden.

3.1.4 Aanpassing doorlatendheid in model

Avenue2 heeft de formatie van Maastricht modelmatig in twee lagen opgedeeld. Hiermee kunnen wij meer in detail de afname van de doorlatendheid in de diepte in het model brengen. Een verdere deling van het pakket is niet haalbaar, omdat meer gedetailleerde informatie over doorlatendheid ontbreekt (concrete lokale meetgegevens). Het voorgenomen nader onderzoek zal meer inzicht geven. Voor deze fase van Avenue2 hebben wij gebruik gemaakt van een gevoeligheidsanalyse. Avenue2 ijkt het aangepaste model bij het tunnel-tracé aan de in het oorspronkelijke Triwaco-

model gemodelleerde grondwaterstanden. Hierbij nemen wij aan dat de berekende grondwaterstanden van het Triwaco-model een goede representatie vormen van de werkelijke situatie. Het model is immers gekalibreerd en vrijgegeven voor het project. Vervolgens ikt Avenue2 het model op een lokale schaal door de bouwputbemaling Mosae Forum te modelleren. Hier zijn goede gegevens van bekend voor een vergelijk.

3.1.5 Literatuuronderzoek doorlatendheid

Op basis van de verschillende bronnen wordt ervan uitgegaan dat de doorlatendheid van de kalksteen binnen de volgende bandbreedtes ligt:

- Formatie van Maastricht: 0,2 tot 15 m/d;
- Formatie van Gulpen: 0,2 tot 2 m/d.

In bovenstaande ranges is bij de hoge waarden waarschijnlijk de secundaire doorlatendheid verdisconteerd. De lokaal voorkomende zeer grote secundaire doorlatendheid wordt op het schaalniveau van bijvoorbeeld pompproeven samen met de veel lagere primaire doorlatendheid gemiddeld. Hierdoor komt deze gemiddelde waarde veel lager uit dan de secundaire doorlatendheid.

Een aantal bronnen waarop de range aan doorlatendheden/k-waarden is gebaseerd, staan in tabel B4-2:

Tabel B4-2
Geraadpleegde
literatuurbronnen

Bronnen	Informatie
• Grondwatermodelonderzoek en bepaling ontwerpstiighoogten A2Tunneltraverse Maastricht, november 2004, Royal Haskoning.	Parameterwaarden zijn opgenomen in tabel 3.1. Bronmodel is Grensmaasmodel (zie onder).
• Hydrologische optimalisatie Maastricht oost, Inventarisatie en streefbeeld, november 2006, WL Delft/Geodelft.	Pagina 9/10 van de rapportage k van de kalksteen: • Formatie van Gulpen 1m/d; • Formatie van Maastricht en Houthem 6-9 m/d.
• Geotechnisch en geohydrologisch basisrapport betreffende traverse tunnel A2 te Maastricht, april 1998, Fugro.	Doorlaatvermogen (k) op basis van literatuur k van de kalksteen 4 - 15m/d (afhankelijk van de spleten). • Afnemend in de diepte. kD voor een groter gebied (afhankelijk van 10 - 100 m²/d).
• Tunnelbouw	Pagina 4 van de reportage
• Tunnelbouw door Limburgs grind en kalksteen, artikel oktober 2004, Has-koning.	Pagina 49 van de rapportage Gemiddelde k van de kalksteen: 2,5m/d.
• Geohydrologisch onderzoek Schiffers food B.V. Hoensbroek, mei 1991, Broks.	Pagina 4 van de rapportage • Kalksteenpakket bij Schiffers Food 1 m/d tot maximaal 5 m/d. Kalksteenpakket een kD van 10 - 25 m²/d pompproef en putproef gedaan. • Formatie van tongeren + kalksteen pakketten eronder een c waarde van 1250 d.
• Traverse A2 Maastricht uitwerking Lugeontesten, maart 2008, Geodelft.	Tabel 3.2 in de rapportage (betrouwbare) k waarden tussen 0,2 en 2,6 m/d.

Bronnen	Informatie
Regis II, Limburg in concept.	Afgeleide k waarde op basis van een kD-waarde van 690 m²/d en een dikte van 20m Maastricht op circa 80 m Gulpen, resulteert dit in een gemiddelde k waarde van 7 m/d voor de twee formaties samen.
Uit de Grondwaterkaart van Nederland, Maastricht 61F, H.	Uit proefbemaling St. Pietersberg: - Formatie van gulpen: k = 1 m/d. Uit pompproeven Caberg/Geulle /Borgharen: - Formatie van Maastricht/Houthem: k = 6 à 9 m/d; - Formatie van Maastricht gemiddeld: 7 tot 8 m/d. Uit metingen aan monsters (Stiboka): - Formatie van Maastricht: k = 0,5 tot 6 m/d. Door Dienst Grondwaterverkenning worden de volgende waarden gebruikt: - Formatie van Maastricht/Houthem: k = 4 tot 15 m/d; - Formatie van Gulpen/Vaals: k = 0,25 tot 2 m/d.
Informatie bestaande winningen in het gebied verstrekt door PBA2.	- KNP Meerssen: informatie doorlatendheden ontbreekt (Hoofdstuk 8 van de rapportage: uitwerking pompproef). Er worden doorlatendheden genoemd in tabel 7.2 in de rapportage maar de bijbehorende dwarsdoorsnede ontbreekt. - N.V. Koninklijke Sphinx: doorlatendheid kalksteen 5-15 m/d bovenin met snelle afname naar beneden toe. Op 20 à 30 m min maaiveld nog circa 0,05 m/d. Er wordt wel bij gemeld dat deze gegevens niet op metingen zijn gebaseerd en speculatief zijn. - N.V. Vereenigde glasfabrieken: Formatie van Houthem/ Maastricht heeft een doorlatendheid van 6-9 m/d. Gulpen heeft een doorlatendheid van 1 m/d gebaseerd op niet nader gedefinieerde pompproeven.

3.1.6 Toelichting primaire en secundaire doorlatendheid

Bij het modelleren van de grondwaterstroming wordt uitgegaan van gemiddelde waarden van de doorlatendheid. Hierdoor is het lokaal voorkomen van een veel grotere doorlatendheid door secundaire doorlatendheid niet terug te vinden in deze gemiddelde waarden. De range van doorlatendheden, zoals genoemd in paragraaf 3.1.5 van deze bijlage bevat gemiddelde waarden van de doorlatendheid. In dit stadium van planvorming is geen onderzoek gedaan naar de spreiding van breuken in de kalksteen bij het tunneltracé. Daarom is het voorlopig niet mogelijk om op een hoger detailniveau te modelleren. Avenue2 adviseert om dit onderzoek alsnog uit te voeren om meer zekerheid over de variatie van secundaire doorlatendheid (in de horizontaal) te krijgen.

3.1.7 Toelichting op modelleren van verticale spreiding van de doorlatendheid

De bouwkuip reikt tot in de tweede watervoerende modellaag. Deze bestaat uit de Formatie van Maastricht. Omdat de bovenste meters van dit kalksteenpakket meer doorlatend zijn dan het onderste deel, wordt dit pakket in het model opgedeeld in twee lagen. Deze deling is van belang voor het beter simuleren van de grondwateronttrekking. Hierbij is het onttrekken uit de bovenste of de onderste laag en de diepte binnen de deellagen van grote invloed op het berekende debiet en de berekende veranderingen van de grondwaterstanden. De deling is ook van groot belang voor het inschatten van de barrièrewerking die afhankelijk is van het resterende doorlaatvermogen van de niet geblokkeerde kalksteen. Het kalksteenpakket van de Formatie van Maastricht is bij het tunneltracé 50 à 60 m dik (Triwaco-model). Er wordt van uitgegaan dat de bovenste 25 m van deze kalksteen meer doorlatend is door secundaire doorlatendheid. Deze dikte is gebaseerd op:

- De waarnemingen ter plaatse van de Rootgroeve. Hier lopen oplossingsverschijnselen door secundaire doorlatendheid tot circa 15 m beneden de bovenkant van de kalksteen door.
- Talloze studies (o.a. 'Ground water in hard rocks', UNESCO, 1984). Hieruit blijkt dat secundaire doorlatendheid exponentieel afneemt met de diepte. Op grotere diepte is de secundaire porositeit beperkt door de grotere druk.

De oplossingsverschijnselen in de Rootgroeve liggen boven grondwaterniveau. Bij de kalksteen op het tunneltracé is dit niet het geval. Oplossingsverschijnselen zijn echter niet uit te sluiten. Op basis van de Rootgroeve en de literatuur schatten wij in, dat als wij rekening houden met oplossingsverschijnselen tot circa 25 m diep, dat wij van een 'worst case' situatie uitgaan.

3.2 Uitvoering gevoeligheidsanalyse

3.2.1 Werkwijze

Om de keuze uit de verschillende waarden voor de doorlatendheid te onderbouwen, voert Avenue2 een gevoeligheidsanalyse uit.

Stap 1:

Als eerste stap rekenen wij het model door met verschillende ordegroottes aan doorlatendheden voor de twee deellagen. Hierbij varieert de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid (anisotropie) van de bovenste deellaag tussen 1:1 en 1:10 (orde van grootte, 10:1 en 1:100 is te extreem). Voor de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid van de onderste deellaag gaan wij voorlopig uit van 1:5 (Domenico & Schwartz, 1998). Voor de bovenste laag wordt voor deze verhouding in eerste instantie al wel een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Dit omdat de grotere kans op aanwezigheid van secundaire doorlatendheid in de bovenste laag een grotere mate van onzekerheid in deze verhouding met zich meebrengt. Deze laag staat daarbij in directer contact met de bouwkuip. Als uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid van de bovenste laag behoorlijk afwijkt van de verhouding 1:5, dan zullen wij ook voor de onderste laag een gevoeligheidsanalyse uitvoeren. In het vervolg zal blijken dat het model niet erg gevoelig is voor de anisotropie van de bovenste laag. Deze mag variëren tussen 1:10 en 1:1 (tabel B4-5). Uit paragraaf 3.1.7 blijkt zelfs dat de aangehouden verhouding van 1:5 voor de onderste laag zeer aannemelijk is. Het verder betrekken van deze factor in de gevoeligheidsanalyse (meer scenario's) is daarom niet nodig.

Voor de horizontale doorlatendheid van de bovenste deellaag worden waarden gebruikt van 1, 10 en 100 m/d. Voor de horizontale doorlatendheid van de onderste deellaag worden waarden

gebruikt van 0,1, 1 en 10 m/d. Met 0,1, 1, 10 en 100 wordt wederom in ordes van groottes gerekend. Hierbij wordt dus op basis van de verschillende bronnen (zie tabel B4-2) uitgegaan van een horizontale doorlatendheid van de bovenste en onderste laag die respectievelijk in de maximale range 1 – 100 m/d en 0,1 - 10 m/d ligt.

Stap 2

Vervolgens hebben wij de nieuw berekende grondwaterstanden met de grondwaterstanden uit het oorspronkelijke Triwaco-model vergeleken. Hierbij gaan wij er vanuit dat de Triwaco-resultaten een goede representatie vormen van de werkelijke situatie. Uit deze berekeningen volgt een combinatie van doorlatendheden en weerstanden. De verticale weerstand wordt berekend als de reciproke van de verticale doorlatendheid van de onderliggende kalksteenlaag, vermenigvuldigd met de dikte van deze onderliggende kalksteenlaag. Hiermee simuleren wij ter plaatse van de tunnel vergelijkbare stijghoogtes/ grondwaterstanden als in het oorspronkelijke model voor de huidige situatie.

De gevoeligheidsanalyse hebben wij verder verfijnd en geoptimaliseerd door de best gevonden parameterwaarden met kleine stappen aan te passen en het model met deze waarden door te rekenen.

Voor de doorlatendheid van de Formatie van Gulpen hebben wij gebruik gemaakt van de waarde uit het oorspronkelijke Triwaco-model. Ten behoeve van het modelleren van de bouwputbemaling menen wij dat een gevoeligheidsanalyse van de parameterwaarden van de Formatie van Gulpen niet nodig is. Dit baseren wij op het feit dat deze formatie relatief diep is gelegen. Daardoor heeft de formatie een relatief klein aandeel in de grondwaterstroming rondom de tunnel die relatief ondiep steekt. Daarnaast is het aandeel beperkt door de beperkte doorlatendheid van deze formatie in relatie tot de hoge doorlatendheden van de lagen erboven.

Onderstaand (tabel B4-3) geven wij schematisch weer in welke delen van het model parameterwaarden zijn gewijzigd.

Tabel B4-3
Opbouw model bij deling tweede watervoerende pakket (wvp). In het gearceerde deel worden verschillende waarden gebruikt

Diepte (m t.o.v. NAP)		Doorlaatvermogen (m ² /d)	Weerstand (dagen)		Forma-tie
45,5 tot 47,5	Deklaag	10		löss/rivierklei	Holoceen
-			22		
38 tot 45,5	1e wvp	5.000 tot 7.000		grind	Veghel, Sterksel, Kreften-heye
-					
13 tot 38	Tweede wvp a			kalksteen	Maastricht
-10 à -20 tot 13	Tweede wvp b			kalksteen	Maastricht
			1,1		
-85 à -65 tot -10 à -20	Geohydrologi-sche Basis / 3e wvp	26 tot 30		kalksteen	Gulpen

3.2.2 Scenario's en resultaten

In deze paragraaf behandelen wij de verschillende scenario's binnen de gevoeligheidsanalyse en de resultaten.

De verschillende scenario's zijn tot stand gekomen op basis van onderstaande punten:

- Doorlatendheid (k) van de bovenste laag (tweede watervoerende pakket (wvp a in tabel B4-3) varieert van 100, 10 en 1 m/d (drie mogelijke combinaties).
- Voor elk van de hierboven gegeven doorlatendheden hebben wij de verticale weerstand van de bovenste laag berekend op basis van de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid van 1:1 en 1:10 (zes mogelijke combinaties).
- De hierboven genoemde combinaties van de bovenste laag hebben wij gecombineerd met de doorlatendheid van de onderste laag (tweede wvp b) van 10, 1 en 0,1 m/d (achttien mogelijke combinaties).
- Voor elk van de hierboven genoemde combinaties hebben wij de verticale weerstand van de onderstaande laag berekend op basis van de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid van 1:5 (Domenico & Schwartz, 1998).

In tabel B4-4 hebben wij een selectie opgenomen van de berekende scenario's en resultaten (laatste rij tabel B4-4). Van de scenario's met een k van de bovenste laag van 1 en 100 m/d hebben wij alleen de scenario's met de best scorende modelresultaten opgenomen (scenario's 1 en 8). De berekende verschillen in grondwaterstand (gws) vinden plaats ter hoogte van de tunnel.

Tabel B4-4
Rekenresultaten

Scenario's	1	2	3	4	5	6	7	8
c boven (dagen)	2,5	2,5	2,5	2,5	25	25	25	2,5
Anisotropie	1:10	1:1	1:1	1:1	1:10	1:10	1:10	1:1
k boven (m/d)	100	10	10	10	10	10	10	1
c onder (dagen)	1400	14	140	1400	14	140	1400	140
Anisotropie	1:5	1:5	1:5	1:5	1:5	1:5	1:5	1:5
k onder (m/d)	0,1	10	1	0,1	10	1	0,1	1
Vershil gws in omgeving tunnel (m)	+0,17 tot +0,25	+0,03 tot +0,07	-0,02 tot -0,05	-0,03 tot -0,07	+0,03 tot +0,05	-0,02 tot -0,06	-0,04 tot -0,08	-0,13 tot -0,20

3.2.3 Analyse resultaten

Uit het doorrekenen van de bovenstaand genoemde scenario's blijkt het volgende:

- Voor de bovenste laag geeft alleen orde grootte $k = 10$ goede overeenkomstige modelresultaten (scenario's 2 t/m 7).
- Of de verhouding k- verticaal/ k- horizontaal hierbij 1:1 of 1:10 is, heeft weinig invloed op de modelresultaten.
- Voor de onderste laag blijkt dat waarden tussen $k = 1$ en $k = 10$ goede modelresultaten geven.
- Voor de verhouding k- verticaal/ k- horizontaal van de onderste laag wordt hier uitgegaan van 1:5 (Domenico & Schwartz, 1998).

Het doorlaatvermogen van het kalksteenpakket ter plaatse van het tunneltracé ligt tussen 270 en 530 m²/d (kD boven 25x10 + kD on-der 28x1 of 28x10). Hierbij bedraagt het doorlaatvermogen van de bovenste 25 m 250 m²/d. De range van het doorlaatvermogen van 270 - 530 ligt in dezelfde orde van grootte als het doorlaatvermogen van hetzelfde kalksteenpakket in het oorspronkelijke Triwaco-model: 400 tot 500 m²/d. Alleen de verdeling van de doorlatendheid over de diepte is significant anders.

De ongevoeligheid van de modelresultaten voor de weerstand van de bovenste laag kan worden verklaard door de relatief kleine hoeveelheid aan verticale stroming ten opzichte van de horizontale stroming. Bij grondwateronttrekking is de verticale stromingscomponent relatief een stuk groter. Verwacht wordt dat in dat geval de modelresultaten aanzienlijk gevoeliger zullen zijn voor de weerstand van de bovenste laag van de kalksteen. Dit onderschrijft nog een keer de noodzaak van de ijking met de gegevens van Mosae Forum (paragraaf 3.3 van deze bijlage).

Door de gevonden parameterwaarden met stappen van één aan te passen en het model met deze waarden door te rekenen, vind een verfijning van de gevoeligheidsanalyse plaats. Hiermee komen wij tot een meer nauwkeurige combinatie van parameterwaarden. Het beste modelresultaat wordt berekend wanneer voor de k van de bovenkant van de kalksteen een waarde van 9 m/d wordt genomen en voor de k van de onderkant van de kalksteen een waarde van 5 m/d. In deze combinatie is de verhouding k- verticaal/ k- horizontaal voor zowel de bovenste als de onderste laag 1:5. Tabel B4-5 geeft de parameterwaarden van de beste combinatie weer, samen met de bandbreedtes waarbinnen de parameterwaarden verwacht worden. Dit op basis van de gevoeligheidsanalyse.

Tabel B4-5

Beste resultaat band-
breedtes en parameter-
waarden

	Bandbreedte	Beste resultaat
c boven (dagen)	2,5 tot 32	14
Anisotropie	1:1 tot 1:10	1:5
k boven (m/d)	8 tot 10	9
c onder (dagen)	14 tot 140	28
Anisotropie	1:5	1:5
k onder (m/d)	1 tot 10	5
Verskil gws in omgeving tunnel (m)		-0,01 tot 0,01

3.3 IJking door middel van Modellerings bemaling Mosae Forum

Voor het verder ijken van de verhouding verticale en horizontale doorlatendheid (anisotropie) maken wij gebruik van een bemaling die in het verleden in de kalksteen ten westen van de Maas heeft plaatsgevonden. Dit betreft de bouwputbemaling voor de aanleg van de parkeergarage Mosae Forum. Van deze bemaling (waar ook door ARCADIS aan is gewerkt) zijn de debiet- en verlagingsgegevens beschikbaar. Hierdoor kunnen de parameterwaarden van het model door ijking aan het debiet gekalibreerd worden. Voor deze kalibratie maken wij gebruik van het Microfem-model. Dit model van Royal Haskoning is naast het Triwaco-model aangeleverd door het Projectbureau A2 Maastricht. Net als Triwaco is Microfem een eindig elementenmodel met onderscheid naar watervoerende en scheidende lagen. Omdat de knooppunten in Microfem relatief eenvoudig te verplaatsen zijn, is gekozen voor dit model om de bouwputbemaling te simuleren. Door het verplaatsen van de knooppunten is het mogelijk om de precieze bouwputafmetingen te simuleren.

3.3.1 Werkwijze ijking met gegevens Mosae Forum

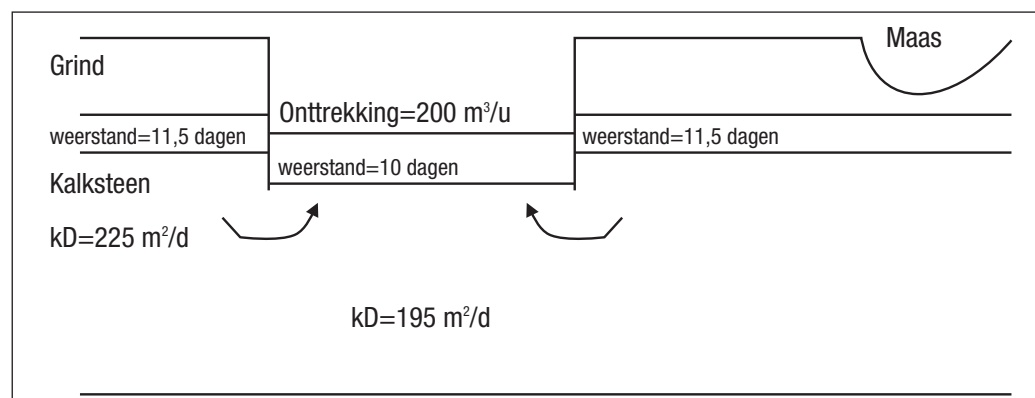
In het modeldeel ten westen van de Maas is op de plaats van de parkeergarage Mosae Forum een bemaling gesimuleerd met als uitgangspunten:

- bouwputafmetingen: 80 x 125 m;
- maaiveldniveau: NAP + 48,0 m;
- ontgravingsniveau: NAP + 34,50 m;
- natuurlijke grondwaterstand (GWS): NAP + 43 m;
- hoogte bovenkant kalksteen: NAP + 37 tot + 35 m;
- diepwanden rond de bouwput, onderkant van de diepwand ligt op NAP + 32,5 m;
- bemaling door middel van horizontale bemaling in kalksteen (gegraven sleuven opgevuld met drains in grindkoffer);
- waterbezwaar bemaling: 200 m³/uur (gemiddeld).

Bij deze berekening zijn wij er vanuit gegaan dat gemiddeld 3,5 m $((37 + 35)/2) - 32,5$ van het bovenste goeddoorlatende kalksteenpakket (25m) is afgesloten door de damwanden. Figuur B4-1 geeft de situatie weer.

Wanneer de bemaling Mosae Forum berekend wordt met een verticale weerstand van 10 dagen, wordt een onttrekkingsdebiet berekend die gelijk is aan het gemeten debiet van 200 m³/u. Hiermee is de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid 1:4,1 (zie toelichting bij tabel B4-6). De combinatie van parameterwaarden die het beste modelresultaat geeft (bij de tunnel) geven wij in onderstaande tabel weer.

Figuur B4-1
Situatietekening bouw-
putbemaling Mosae
Forum



Tabel B4-6
Optimalisatie 'beste
resultaat' aan de hand
van Mosae Forum

	Definitieve combinatie
c boven (dagen)	11,5*
Anisotropie	1:4
k boven (m/d)	9
c onder (dagen)	28
Anisotropie	1:5
k onder (m/d)	5
Vershil gws tunnel (m)	-0,01 tot +0,01

*K horizontaal = 9 m/d K vertikaal 9/4,1=2,2 m/d C = D/K= 25/2,2 = 11,5

De parameterwaarden uit figuur B4-6 zijn als volgt berekend:

- kD van bovenste laag buiten bouwput: $9 \cdot 25 = 225 \text{ m}^2/\text{d}$;
- kD van bovenste laag ter plaatse van de bouwput: $9 \cdot 21,5 (= 25-3,5) = 195 \text{ m}^2/\text{d}$;
- weerstand van bovenste laag buiten bouwput: $1 / (9/4,1) \cdot 25 = 11,5$;
- weerstand van bovenste laag ter plaatse van de bouwput: $1 / (9/4,1) \cdot 21,5 = 10$.

De parameterwaarden van de onderliggende lagen zijn ongewijzigd ten opzichte van de waarden zoals geleverd in het Triwaco-model. Alleen hebben wij aanpassingen aan de kalksteen van Maastricht gedaan, zoals beschreven in paragraaf 3.2.3 van deze bijlage.

Voor de verhouding verticale/horizontale doorlatendheid van de onderste laag van de Formatie van Maastricht was in eerste instantie gekozen voor de in de literatuur gevonden verhouding 1:5. Voor deze verhouding zou alleen een gevoeligheidsanalyse gedaan worden als deze behoorlijk afwijkt van de verhouding die voor de bovenste laag wordt gevonden in de gevoeligheidsanalyse. Aangezien de gevonden verhouding van 1:4,1 in de bovenste laag dichtbij 1:5 ligt, zien wij af van een aanvullende gevoeligheidsanalyse. Op basis van de resultaten zien wij de verhouding 1:5 en de vergelijkbare waarde van de bovenste laag als een goede schatting voor de onderste laag.

3.4 Conclusies gevoeligheidsanalyse

Voor het modelleren van de effecten, die door de bouwputbemaling en de aanleg van de tunnel zullen plaatsvinden, is het nodig om de verdeling van de secundaire doorlatendheid in de diepte in meer detail te modelleren. Ook moet de verhouding tussen de horizontale en verticale doorlatendheid meer onderbouwd in het model worden opgenomen. Alleen dan kunnen de lokale effecten tijdens en na aanleg van de tunnel voldoende betrouwbaar berekend worden. In het oorspronke-

lijke regionale Triwaco-model ontbreken deze elementen en dit model moet daarom aangepast worden.

Uit de modelberekeningen blijkt opdeling van de Formatie van Maastricht in twee lagen met verschillende doorlatendheden goede resultaten te geven. De hoeveelheid aan mogelijke k-waarden hebben wij met een gevoeligheidsanalyse teruggebracht tot binnen een beperkte bandbreedte. De k van de bovenste 25 m ligt tussen de 8 en de 10 m/d. De k van de onderste laag ligt tussen de 1 en de 10 m/d. De beste resultaten worden berekend wanneer voor de doorlatendheid van de bovenste laag (25 m) en de onderste laag (28 m) een doorlatendheid wordt gebruikt van respectievelijk 9 en 5 m/d. Aan de hand van het modelleren van een in het verleden uitgevoerde bemaling in de kalksteen hebben wij een waarde gevonden voor de verticale doorlatendheid van de bovenste laag. Door ijking aan het debiet hebben wij voor deze doorlatendheid een waarde van 2,2 m/d gevonden (= weerstand van 11,5 dagen). De gevonden parameterwaarden vallen binnen de op literatuur gebaseerde ranges en geven een beter onderbouwde indicatie van de verticale variatie van de doorlatendheid met de diepte aan dan het bestaande Triwaco-model.

In het oorspronkelijke Triwaco-model is voor de totale dikte van de Formatie van Maastricht een waarde van 8 tot 9 m/d voor de doorlatendheid gevonden. Ter plaatse van het tunneltracé geeft het oorspronkelijke Triwaco-model een waarde van de weerstand van de Formatie van Maastricht van wisselend 11 en 111 dagen. De regionale situatie wordt door het oorspronkelijke Triwaco-model goed gesimuleerd. Voor het modelleren van de bouwputbemaling en aanleg van de tunnel kunnen de gebruikte parameterwaarden echter leiden tot over- en onderschattingen van het onttrekkingsdebiet en veranderingen van de grondwaterstand.

4 Doorwerking naar scenarioberekeningen

Voor het berekenen van de verschillende scenario's rekenen wij uiteindelijk wel weer met één laag voor de Formatie van Maastricht. De opsplitsing naar twee lagen leidt in het regionale model op grote afstand van de tunnel tot afwijkingen. Op lokale schaal is het echter een natuurgetrouwere benadering. Aangezien wel met het regionale model geverifieerd dient te worden, passen wij de resultaten (gevonden parameterwaarden) van de gevoeligheidsanalyse alleen lokaal toe. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse gebruiken wij bij deze berekeningen om een goede inschatting te kunnen maken van de te gebruiken kD-waarde voor de kalksteen onder de tunnel, als een deel van deze laag geblokkeerd wordt door de aan te leggen tunnel. Op deze manier kan worden gesimuleerd dat bij het afsluiten van het bovenste deel van de Formatie van Maastricht het best doorlatende deel van deze formatie wordt afgesloten. Wij verminderen niet eenvoudig lineair de kD met de dikte. Het doorlaatvermogen neemt dus bovenin sneller af dan onderin. De afname van de doorlatendheid is ook voor de resultaten van de berekeningen voor de aanlegfase van groot belang.

4.1 Onderbouwing scenarioberekeningen voor de permanente situatie

4.1.1 Scenario's

Om het effect van de tunnel op de grondwaterstanden in de eindsituatie te bepalen, hebben wij de volgende scenario's berekend:

1. Niet-stationaire periode van 1990 tot 2001 met tunnel, waarna de GHG en GLG worden vergeleken met de huidige situatie.
2. Niet-stationaire periode van 1990 tot 2001 met tunnel en met een hevelconstructie, waarna de GHG en GLG worden vergeleken met de huidige situatie.

3. Voor het bepalen van de ontwerpgrondwaterstanden van de tunnelconstructie hebben wij het volgende scenario doorgerekend:
4. Niet stationaire periode met de T=1250-neerslagsituatie met tunnel en hevelconstructie en stopzetting van de drinkwaterwinningen.

4.1.2 Modelaanpassingen per scenario

De kD-waarde van de Formatie van Maastricht ter plaatse van de tunnel wordt berekend door de kD-waarde van de overgebleven bovenste laag en de onderste laag bij elkaar op te tellen. De kD-waarde van de bovenste laag berekenen wij door de dikte van het deel dat zich beneden de onderkant van de tunnel bevindt (25m min tunneldeel in de kalksteenlaag) te vermenigvuldigen met de bijbehorende k-waarde. De kD van de onderste laag blijft onveranderd. De kD-waarde van de grindlaag en de deklaag worden ter plaatse van de tunnel op nul gezet.

Onderstaand beschrijven wij per scenario welke verdere aanpassingen aan het model zijn gedaan.

Scenario P1

Ter plaatse van het tunneltracé worden de parameterwaarden als volgt aan de geohydrologische lagen toegekend (gemiddeld):

	Westen	Tunneltracé	Oosten
kD deklaag	10	0	10
c (dagen)	22	0	22
kD grindlaag	6.000	0	6.000
c (dagen)	111/11	1.000.000*	111/11
kD Maastricht	500	162,5	500
c (dagen)	1	1	1
kD Gulpen	28	28	28

*Weerstand is op 1.000.000 dagen gehouden. Dit simuleert een oneindig grote weerstand voor de onderkant van de tunnel.

Scenario P2

Ter plaatse van het tunneltracé kennen wij de parameterwaarden als volgt toe aan de geohydrologische lagen (gemiddeld):

	Westen	Tunneltracé	Oosten
kD deklaag	10	0	10
c (dagen)	22	0	22
kD grindlaag	6.000	200 (hevel)	6.000
c (dagen)	111/11	1.000.000	111/11
kD Maastricht	500	162,5	500
c (dagen)	1	1	1
kD Gulpen	28	28	28

Op basis van de maximale toegestane veranderingen in de grondwaterstand door barrièrewerking hebben wij de kD-waarde voor de hevel bepaald. Als de hevel voldoet aan een kD van 200 m²/d blijven de effecten binnen de eisen.

Scenario P3

Scenario P3 is met dezelfde geohydrologische parameters gesimuleerd als scenario P2. Er is verder gebruik gemaakt van een andere neerslagtijdreeks (T=1250). Daarnaast zijn de grondwaterwinningen uitgezet.

4.2 Onderbouwing werking hevelconstructie

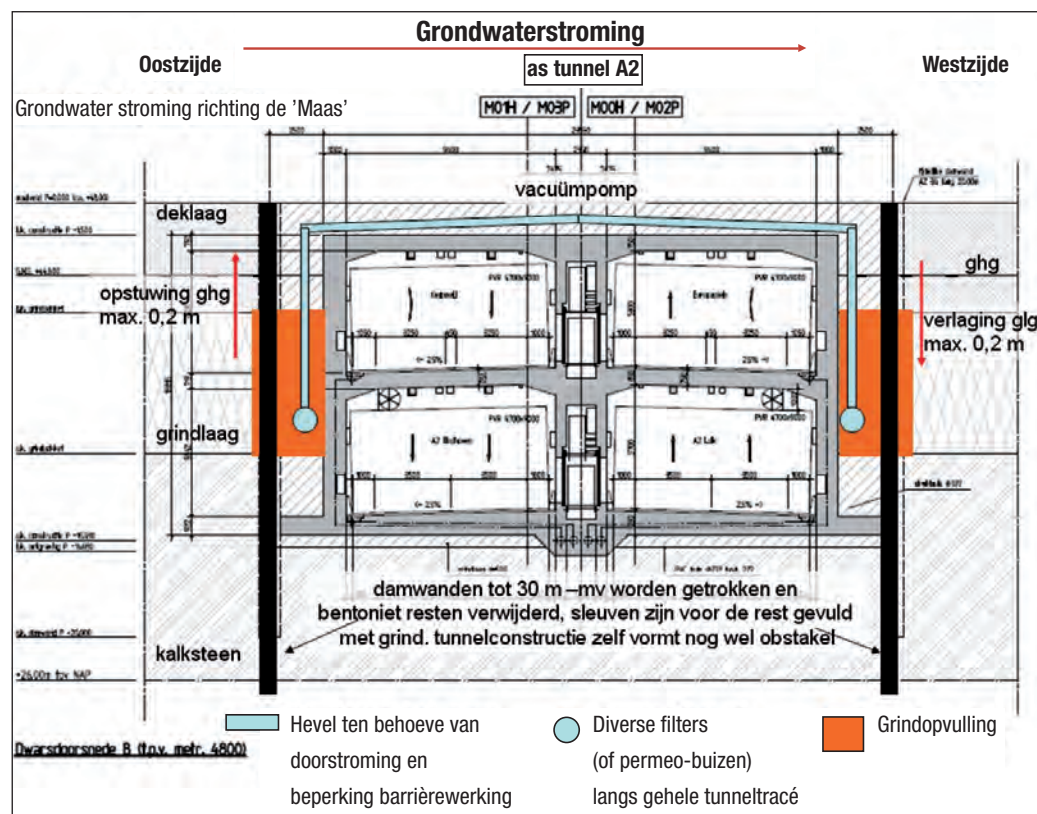
4.2.1 Toelichting constructie

Over de tunnel heen legt Avenue2 buizen (hevelconstructie) waar het grondwater doorheen geleid gaat worden. Hierdoor wordt de grondwaterstroming zo weinig mogelijk geblokkeerd in de permanente situatie.

Deze hevelconstructie is in Nederland al eerder toegepast (zie voor referenties bijlage 5).

Het buizensysteem bestaat uit meerdere grote roestvrijstalen filters (eventueel parallelle permeo-buizen) aan de boven en benedenstroomse zijde van de tunnel, verbonden door meerdere haakse buizen. De filters moeten het water draineren respectievelijk infiltreren en zijn voor een optimale werking door grind omhuld of in het grindpakket geplaatst. De filters worden onder GLG geplaatst. Avenue2 voorziet de hevels van een afpompsysteem om de doorstroming te garanderen in geval lucht in het systeem komt. Figuur B4-2 illustreert de constructie.

Figuur B4-2
Hevelconstructie



Avenue2 heeft nog geen keuze gemaakt tussen het aanbrengen van langsdrainage/hevelfilters in combinatie met hevels binnen de bouwkuip of het aanbrengen van alleen hevelfilters buiten de bouwkuip die na verwijderen van de damwanden worden verbonden. Indien de oplossing binnen de bouwkuip wordt toegepast, dan dienen restanten van de bentoniet in de sleuf te worden verwijderd (verticaal boren) en vervangen door grind.

Het risico van schade aan de buizenconstructie door wortelingroei wordt meegenomen bij het afwegen van de materiaalkeuze. De grondwaterstroming naar de onttrekkingsfilters toe en van de infiltratiefilters af vindt plaats in de verzadigde zone. Hier vindt geen wortelgroei plaats.

4.2.2 Beschrijving rekenmethode hevel

Om binnen de gestelde eisen van grondwaterstandsverandering te blijven, zijn doorvoerende buizen nodig. Om hiervan de drainage- en infiltratiecapaciteit en de transportcapaciteit te bepalen, wordt de constructie in eerste instantie doorgerekend met een lokaal gedetailleerd Modflow-model. Het aangeleverde regionale Triwaco model is voor deze berekeningen minder geschikt (zie 2.2 van deze bijlage). Naast de schaalgrootte speelt ook hier het knelpunt van opsplitsen in lagen met horizontale doorlatendheden en verticale weerstanden een rol. Met een hevelconstructie die zowel horizontaal als verticaal door de verschillende lagen gaat, is niet op een directe manier te rekenen in Triwaco. Met Modflow wordt het benodigde debiet per buis en het potentiaalverschil over de buis berekend. Deze rekenresultaten gebruiken wij vervolgens om de grootte en de doorlatendheid van de filters te berekenen.

Om de opstuwing te verminderen, moet de weerstand op de volgende punten zo klein mogelijk worden gemaakt:

- van grindpakket naar de filters;
- het binnenstromen van de filters;

- van het drainagefilter door het buizensysteem naar het infiltratiefilter;
- het uitstromen vanuit de filters;
- van het infiltratiefilter naar het grindpakket.

Voor de modelberekeningen gaan wij uit van een verwaarloosbare weerstand voor het doorstromen van de hevelbuis ($k = 1$ miljoen m/d). Aan de filters is een doorlatendheid van 1.000 m/d toegekend. Het filtermateriaal is hierbij 1 mm dik. Bij deze doorlatendheid treedt door de hevel een debiet op dat voldoende is om de gewenste beperking van de opstuwing te bereiken. Vervolgens maken wij een inschatting van de benodigde filterafstand om de gewenste maximale opstuwing te bereiken. Uit de modelberekeningen volgt het debiet dat door de hevelbuizen stroomt en het verhang dat vanaf het bovenstroomse filter tot aan het benedenstroomse filter wordt overbrugd. Op basis van dit debiet en verhang bepalen wij vervolgens met aanvullende hydraulische berekeningen (paragraaf 4.2.3, na scenario 3) wat de benodigde filterlengte moet zijn en welk soort filter de benodigde doorlatendheid heeft.

De berekeningen hebben wij uitgevoerd in een Modflow-model met de volgende uitgangspunten:

- modelgebied: $200 * 200$ m;
- celgrootte: $0,5 * 0,5$ m;
- geohydrologische schematisatie afgeleid van het Triwaco-model;
 - Deklaag: k -horizontaal = 5 m/d, k -verticaal = 0,1 m/d.
 - Grindlaag: k -horizontaal = 600 m/d, k -verticaal = 600 m/d.
 - Geohydrologische basis. Omdat de opstuwing voornamelijk wordt veroorzaakt door het blokkeren van de grindlaag, is het weglaten van de kalksteenlaag toegestaan.
- oostelijke modelrand: vast debiet van $3 \text{ m}^2/\text{d}$ en $600 \text{ m}^3/\text{d}$ voor totale modelrand. Bij dit debiet ontstaat dezelfde opstuwing door de barrièrewerking als in Triwaco;
- westelijke modelrand: vaste stijghoogte van 44,75 m +NAP (gemiddelde waarde van de GHG op 100 m ten westen van het tunnel-tracé).

Om de hevelconstructie met voldoende nauwkeurigheid te kunnen doorrekenen, hebben wij gekozen voor een celgrootte van 0,5 m. Gevolg hiervan is dat de modelgrootte klein gehouden moet worden om het model hanteerbaar te houden. Daarom hebben wij gekozen voor een grootte van 200 bij 200 m. De ondergrond beneden de grindlaag hebben wij weggelaten.

4.2.3 Doorgerekende scenario's

Achtereenvolgend hebben wij de volgende scenario's berekend.

Scenario 1

In scenario 1 hebben wij de referentiesituatie berekend waarin de huidige situatie zonder tunnel is gemodelleerd. De grondwaterstand aan de westrand bedraagt 44,75 m +NAP. De grondwaterstand aan de oostrand bedraagt 44,9 m +NAP. Het verloop van de grondwaterstand tussen de randen in is een rechte lijn. Dit stijghoogte verschil van 15 cm over 200 m is groter dan het verschil van de in Triwaco berekende stijghoogte (10 cm). Dit grotere verschil bleek nodig te zijn om in scenario 2 een vergelijkbare opstuwing te krijgen als in het Triwaco-model. Omdat voor de hevelberekeningen een kleiner modelgebied wordt gebruikt, modelleren wij ook een kleinere tunnellengte.

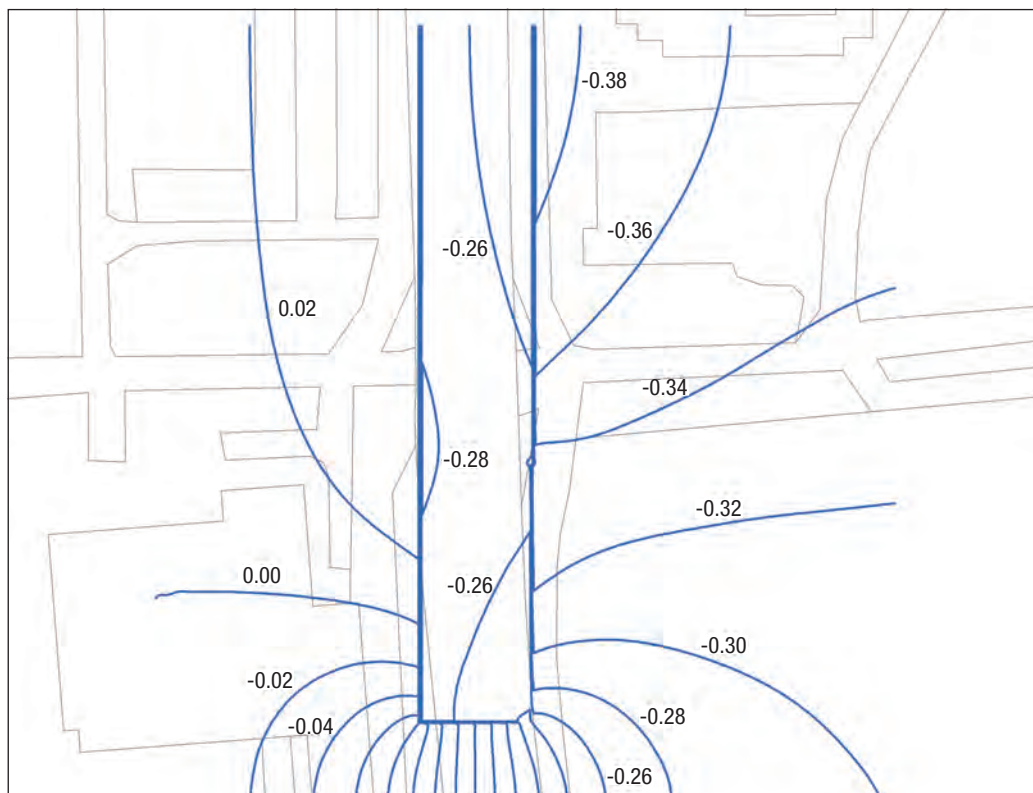
Om toch dezelfde opstuwing te berekenen als in het Triwaco-model (het gaat immers om de opstuwing), hebben wij ter compensatie een groter stijghoogteverschil gemodelleerd.

Scenario 2

In scenario 2 hebben wij de situatie doorgerekend, inclusief de tunnel. De tunnel sluit hierbij de complete grindlaag af over een lengte van 180 m. Ten zuiden van de tunnel resteert 20 m aan grindpakket. Omdat naast de grindlaag alleen de deklaag is gemodelleerd, zal bij complete afsluiting van de grindlaag een veel te grote opstuwing ontstaan. In werkelijkheid gaat het grootste deel van het debiet langs de noord en zuidkant van de tunnel en deels eronderdoor. In het model hebben wij daarom aan de zuidkant van de tunnel een gebied opengelaten.

De opstuwing bedraagt maximaal 38 cm, de verlaging maximaal 3 cm. Deze verlaging is minder dan de in het Triwaco-model berekende verlaging. Dit wordt veroorzaakt door de korte afstand van het tunneltracé tot de westrand waarop een vaste stijghoogte geldt. Deze onderschatting van de verlaging heeft tot gevolg dat ook het verhang dat over de hevelconstructie bestaat wordt onderschat. De berekeningen aan de benodigde filtergrootte en capaciteit van de hevelconstructie zien wij daarom als de berekening van de 'worst case' situatie, waarin het verhang minimaal is. Wanneer in werkelijkheid namelijk een groter verhang optreedt, zal een groter debiet door de hevel ontstaan en de opstuwing nog minder worden.

Figuur B4-3
Verlaging van de
grondwaterstand door de
aanleg van de tunnel



Scenario 3

In scenario 3 is de situatie doorgerekend, inclusief de tunnel en de hevelconstructie.

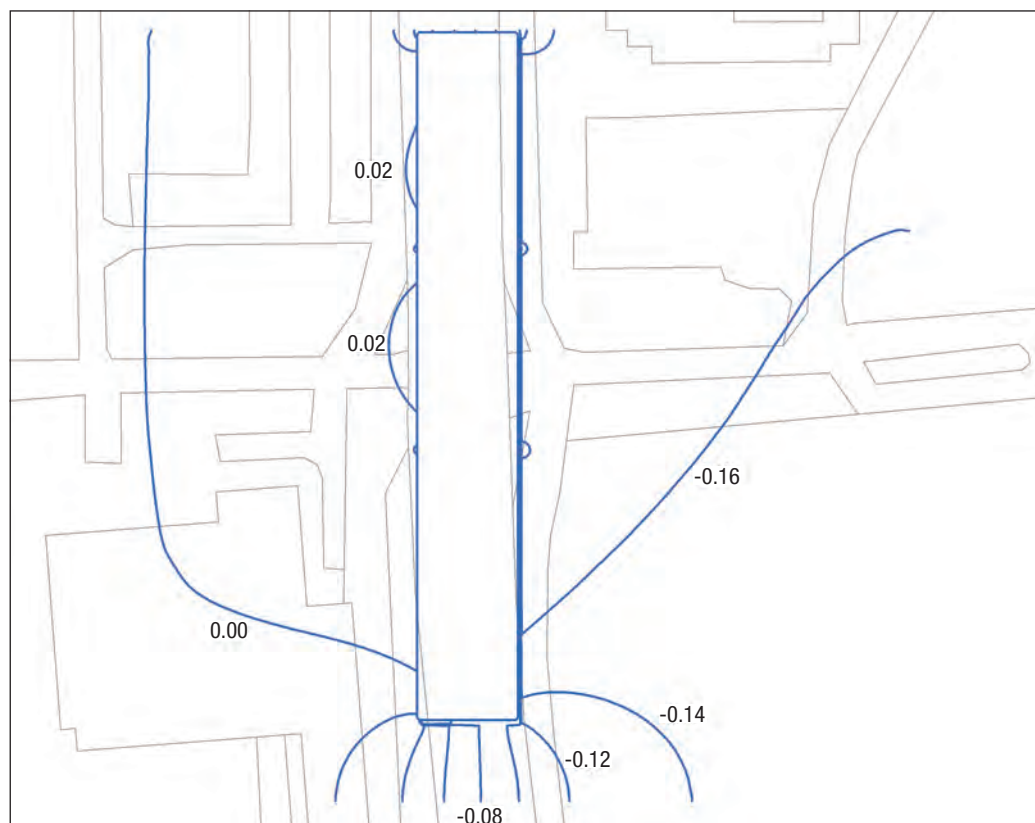
Voor de hevelconstructie gelden de volgende uitgangspunten:

- afmeting van de filters: 0,5 * 0,5 * 0,5 m;
- afmeting van de buizen: 30 * 0,5 * 0,5 m.

Uit de berekeningen blijkt dat een filterafstand van 50 m voldoende is om te opstuwing minder dan 20 cm te laten zijn. De opstuwing bedraagt maximaal 18 cm. De verlaging is maximaal 3 cm. In figuur B4-3 hebben wij de verhogings- en verlagingcontouren weergegeven. De verlaging geven wij weer met een + teken, de verhoging met een – teken. In de figuren B4-3 en B4-4 geven wij respectievelijk het verticale en het horizontale stromingspatroon weer.

De stroomsnelheid door de hevel bedraagt circa 300 m/d. Het debiet bij een hevelbuis van 0,5 bij 0,5 m bedraagt dan $300 * 0,5 * 0,5 = 75 \text{ m}^3/\text{d}$ of $3 \text{ m}^3/\text{u}$. Het verhang dat vanaf de buitenkant van de bovenstroomse filter tot aan de buitenkant van het benedenstroomse filter wordt overbrugd, is 15 cm. Dit verschil in stijghoogte dat vanaf de buitenkant van de bovenstroomse filter tot aan de buitenkant van het benedenstroomse filter wordt overbrugd, is 15 cm. Dit verschil is kleiner dan het totaal aan opstuwung (18 cm) en verlaging (3 cm) uit Triwaco. Een deel van het stijghoogteverschil bevindt zich namelijk in de eerste 10 m vanaf de filters. In dit gebied stroomt grondwater vanuit een relatief groot oppervlak naar een veel kleiner oppervlak ter grootte van het filter. Hierdoor ontstaat een stijghoogteverschil.

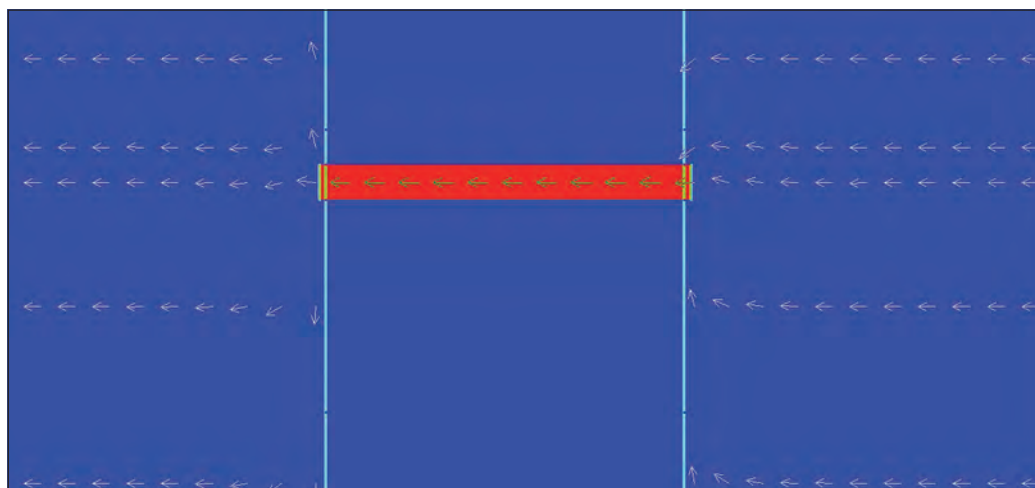
Figuur B4-4
Verlaging van de
grondwaterstand door de
aanleg van de tunnel en
de hevelconstructie



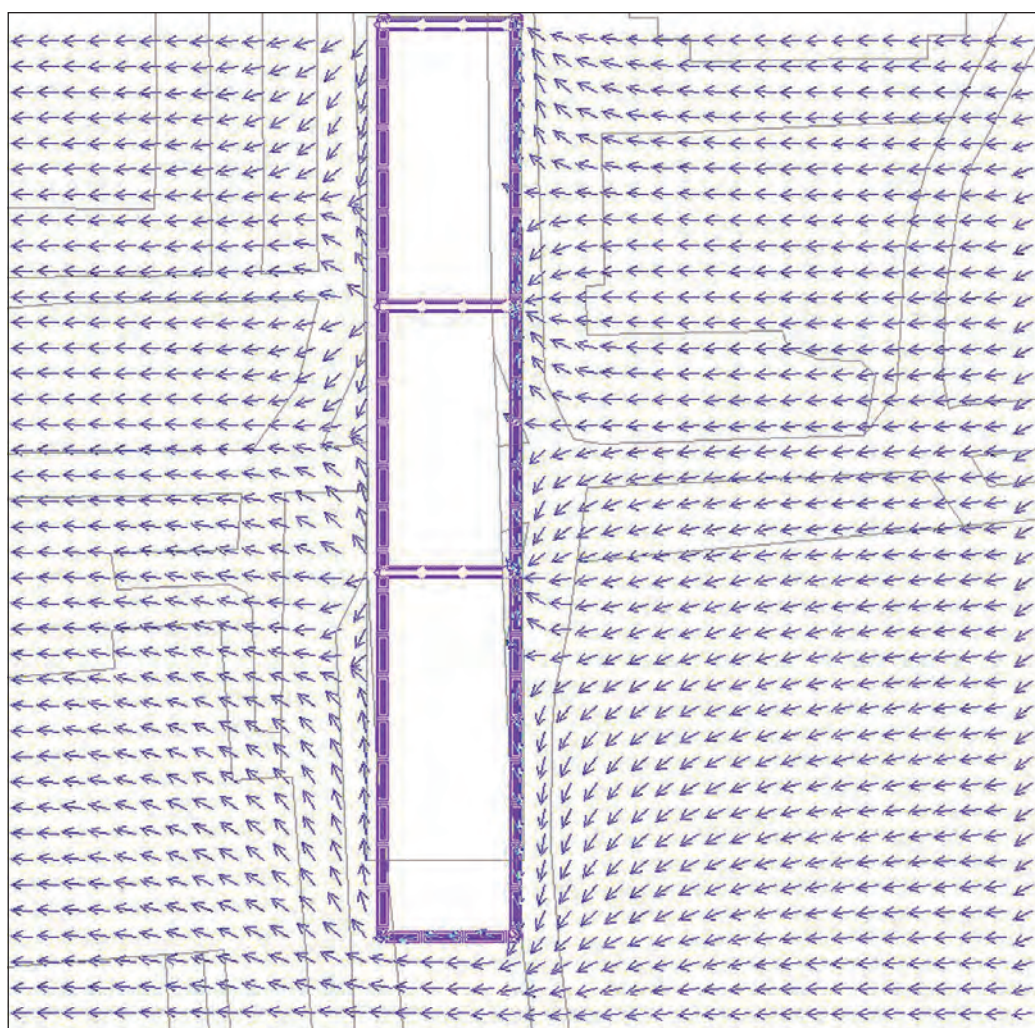
Op basis van het debiet van $3 \text{ m}^3/\text{u}$ en het verhang van 15 cm bepalen wij met hydraulische berekeningen wat de benodigde filterlengte moet zijn en welk soort filter de benodigde doorlatendheid heeft. Figuur B4-7 geeft een schematisatie van het hevelontwerp.

Voor het kiezen van de soort filter maken wij gebruik een beschrijving van filters van de leverancier 'Johnson screens'. Er wordt gekozen voor filters die geschikt zijn voor zowel grindpakketten als kalksteen. Het filtertype is: slot screen, stainless steel, slots $5 * 30 \text{ mm}$. Dit zijn filters met rechthoekige gaten met een open oppervlak van 10 tot 20%. Uitgaande van de ligging van de filters in een grindpakket kiezen wij voor een grootte van de gaten van 30 bij 5 mm. Wij gaan ervan uit dat het merendeel van het grind hier niet doorheen kan.

Figuur B4-5
Dwarsdoorsnede van de
tunnelconstructie met
hevel



Figuur B4-6
Horizontaal stromings-
patroon



Uitgaande van een debiet van 3 m³/u berekenen wij met behulp van iteratie het bijbehorende filteroppervlak en de bijbehorende stroomsnelheid door de filterspleten. Hiervoor gebruiken wij de volgende formule:

$v = Q / (2\pi r \cdot l \cdot \text{open oppervlak})$, of: stroomsnelheid = debiet / (pi * diameter * lengte * open oppervlak).

Hieruit volgt:

Open oppervlak	15%
diameter	300 mm
lengte	3 m
filter oppervlak	2,83 m ²
debiet	3 m ³ /h per filter
stroomsnelheid, schoon, d.w.z. zonder dichtslibben	0,0020 m/s

Omdat het dichtslibben van de filters een risico zou kunnen zijn, is berekend of het hevelsysteem nog steeds voldoet wanneer een groot deel van het filteroppervlak dichtslibt. De stroomsnelheid (0,0020, zoals genoemd in de tabel) is zo laag, dat een grote mate van vervuiling van de filters een verwaarloosbaar effect heeft op het debiet dat door de filters stroomt. Om precies te weten tot bij welke vervuiling het filtersysteem blijft werken, is een berekening gemaakt.

Als wij meenemen dat een deel van de spleten dichtslibt en uitgaan van maximaal 93% aan oppervlak aan spleten dat dichtgeslibd is, berekenen wij een stroomsnelheid (vuil, d.w.z. met dichtslibben) door de filterspleten van 0,03 m/s. Volgens opgave van de fabrikant zouden de filters bij deze stroomsnelheid nog steeds moeten functioneren en voldoet het debiet nog steeds aan 3 m³/u.

Het dichtslibben heeft wel een kleine toename van de stijghoogte tot gevolg. Het stijghoogteverschil aan weerszijden van de filtermantel berekenen wij als volgt:

$$\Delta H = \zeta * v^2 / 2g, \text{ of: stijghoogteverschil} = \kappa_i * \text{stroomsnelheid}^2 / 2 * \text{versnelling}.$$

κ_i is hierbij de weerstandswaarde bij maximale vervuiling (-). Het toenemende stijghoogteverschil bedraagt 0,14 mm bij 0,03 m/s aan stroomsnelheid. Dit is echter een verwaarloosbare hoeveelheid. Dus bij 93% verstopping wordt nog steeds aan de eisen ten aanzien van opstuwning en verlaging voldaan. Bij minder verstopping wordt het stijghoogteverschil dus gunstiger.

De stroomsnelheid door de buizen berekenen wij als volgt:

$$v = Q / (\pi / 4 * d^2), \text{ of: stroomsnelheid} = \text{debiet} / (\pi / 4 * \text{diameter}^2).$$

Hieruit volgt voor de stroomsnelheid een waarde van 0,11 m/s.

Het stijghoogteverschil van haalbuis tot haalbuis berekenen wij als volgt:

$$\Delta H = l * Re / 10, \text{ of: stijghoogteverschil} = \text{lengte aan buizen} * \text{stromingsweerstand (Reynolds)} / 10.$$

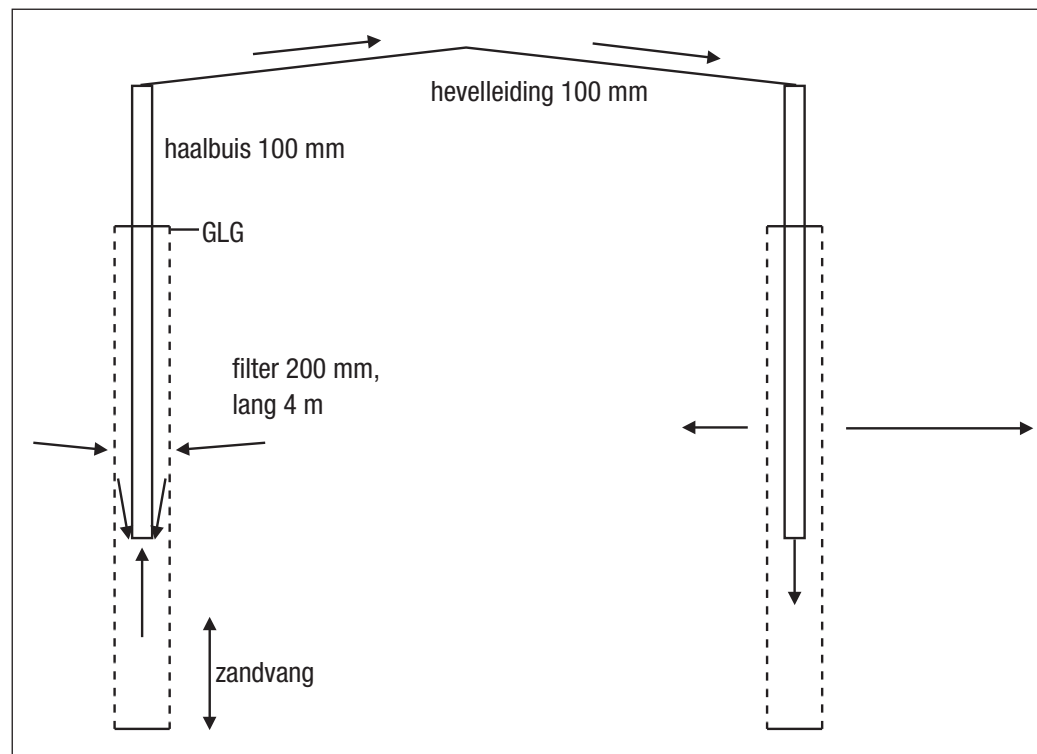
Hieruit volgt een stijghoogteverschil van 1,25 cm. Het totale stijghoogteverschil over twee filters en de tussenliggende buizen bedraagt 1,28 cm.

Voor het verwijderen van de kleinste deeltjes brengt Avenue2 een zandvang aan. De stroomsnelheid beneden de haalbuis is zo langzaam dat de kleinste deeltjes bezinken en terecht komen in de zandvang.

4.2.4 Conclusies berekeningen hevel

De hevelconstructie heeft meer dan voldoende capaciteit om de opstuwing bovenstrooms en de verlaging benedenstrooms te beperken. De filterafstand van 50 m kan eventueel groter gemaakt worden zonder dat de maximale opstuwing/verlaging van 20 cm overschreden wordt. In dat geval is het mogelijk dat de buizen en filters dan groter gemaakt moeten worden. Wanneer ook de kosten van de constructie meegenomen worden, maken wij een optimalisatie tussen de filterafstand en de grootte van de buizen en de filters.

Figuur B4-7
Hevelontwerp



5 Onderbouwing scenarioberekeningen aanlegfase

Om het debiet van de bouwputbemaling en de veranderingen in grondwaterstand door deze bemaling te bepalen, berekenen wij de volgende scenario's.

- A1 niet-stationaire berekening van de bouwputbemaling zonder mitigerende maatregelen (damwanden tot circa 20 m –mv);
- A2 niet-stationaire berekening van de bouwputbemaling met het dieper doorzetten van de wanden tot 30 m –mv;
- A3 niet-stationaire berekening van de bouwputbemaling met het dieper doorzetten van de wanden en met retourbemaling.
- A4 niet stationaire berekening van de bouwputbemaling met korte damwanden en retourbemaling.

Onderstaand beschrijven wij de manier waarop wij het Triwaco-model aangepast hebben om de scenario's te kunnen berekenen. De beperkingen die het Triwaco-model heeft zijn al aangegeven in hoofdstuk 2 van deze bijlage.

5.1 Aanvullend gebruik Modflow

Doordat het niet mogelijk is verticale doorlatendheid toe te kennen aan het Triwaco-model en doordat damwanden lastig te simuleren zijn, maken wij aanvullend gebruik van Modflow voor het simuleren van de bemaling. Modflow biedt de mogelijkheid om verticale doorlatendheid toe te kennen aan zowel de watervoerende als de slecht doorlatende lagen.

Wij proberen tijdens de bemaling door het dieper doorzetten van de damwanden, het debiet te beperken. Het is daarbij belangrijk om de langere weg die grondwater moet afleggen om onder de damwanden richting de bouwput te stromen, te kunnen simuleren in een model. Dit is op directe wijze alleen mogelijk in een model dat rekent met verticale doorlatendheid. In Triwaco kan dit alleen indirect, door het veranderen van de weerstand. De mate waarin deze weerstand moet worden veranderd is echter lastig te bepalen. Wij hebben daarom gekozen voor een ijking aan de hand van Modflow.

Omdat de effecten van de bemaling met het Triwaco-model moeten worden berekend (voorgeschreven verificatiemodel), voeren wij het door het Modflow-instrumentarium bepaalde debiet in het Triwaco-model in. In Triwaco voeren wij een waarde in voor de weerstand tussen de kalksteen en de bouwput, waarbij het in Modflow bepaalde debiet ook in Triwaco wordt berekend. Deze weerstand is als het ware gekalibreerd en vertegenwoordigt dus de totale weerstand die de grondwaterstroming richting de bouwput ondervindt onder de damwanden door.

5.2 Toepassing Modflow-instrumentarium

Het Modflow-softwarepakket bestaat uit een aantal modules waarmee stijghoogtes, stroomsnelheden en stroombanen kunnen worden berekend. De Modflow-software wordt aangestuurd vanuit de gebruikersschil 'Groundwater Vistas versie 5'.

Voor de bouw van het Modflow-model gebruiken wij de geohydrologische modelopbouw van Triwaco. De horizontale doorlatendheid wordt berekend door het doorlaatvermogen te delen door de dikte van de lagen. De verticale doorlatendheid van de Formatie van Maastricht wordt bepaald op basis van de in hoofdstuk 3 van deze bijlage berekende verhouding tussen de horizontale en de verticale doorlatendheid. De verticale doorlatendheid van de overige modellagen is bepaald aan de hand van de weerstand die in het Triwaco-model aan de weerstandbiedende lagen is toegekend. De westelijke modelrand bestaat uit de Maas, aan de oostelijke modelrand is een vaste stijghoogte gegeven. Het peil van de Maas en de stijghoogte aan de oostrand is overgenomen uit het stationaire Triwaco-model. Vanwege de voornamelijk westelijk gerichte stroming van het grondwater wordt aan de noord- en zuidrand geen vaste stijghoogte toegekend, maar wordt deze stijghoogte berekend.

Tabel B4-7 geeft de opbouw van de geohydrologie in het tunneltracé schematisch weer.

Voor het goed kunnen berekenen van de bemaling (het debiet) is een volledige vertaling van het Triwaco-model naar Modflow niet nodig. Daarom hebben wij de volgende vereenvoudigingen toegepast:

- gebiedsdekkende grondwateraanvulling bedraagt 1 mm/d;
- grootte van het modelgebied bedraagt 2.400 * 2.400 m;
- overige onttrekkingen worden weggelaten.

Tabel B4-7
Geohydrologische
bodempopbouw van het
Modflow-model in het
tunneltracé

Diepte (m t.o.v. NAP)		k-horizon- taal (m/d)	K-verticaal (m/d)		Formatie
45,5 tot 47,5	Deklaag	2 tot 6	0,1 tot 0,3	löss/rivierklei	Holocene
38 tot 45,5	1e wvp	250 tot 1500	250 tot 1500	grind	Veghel, Sterksel, Kreftenheye
13 tot 38	2e wvp (boven)	8 tot 9	2	kalksteen	Maastricht
10 à -20 tot 13	2e wvp (onder)	4 tot 5	1	kalksteen	Maastricht
-85 à -65 tot -10 à -20	Geohydrologi- sche Basis / 3e wvp	0,5	0,5	kalksteen	Gulpen

Voor het bepalen van het debiet wordt een duur van 50 dagen als voldoende lang gezien. Hierdoor is het invloedsgebied relatief klein. Wij hebben daarom voor een kleiner modelgebied gekozen dan het oorspronkelijke Triwaco-model. De grote drinkwaterwinningen vallen hiermee buiten het modelgebied. De overige kleinere grondwaterwinningen zijn ten opzichte van de bouwputbemaling veel kleiner. Deze laten wij uit het model. Voor de grondwateraanvulling is een gebiedsdekkende waarde van 1 mm/d genomen. Het meer gedetailleerd modelleren van deze grondwateraanvulling achten wij in dit vereenvoudigde model niet nodig.

Berekening scenario A1

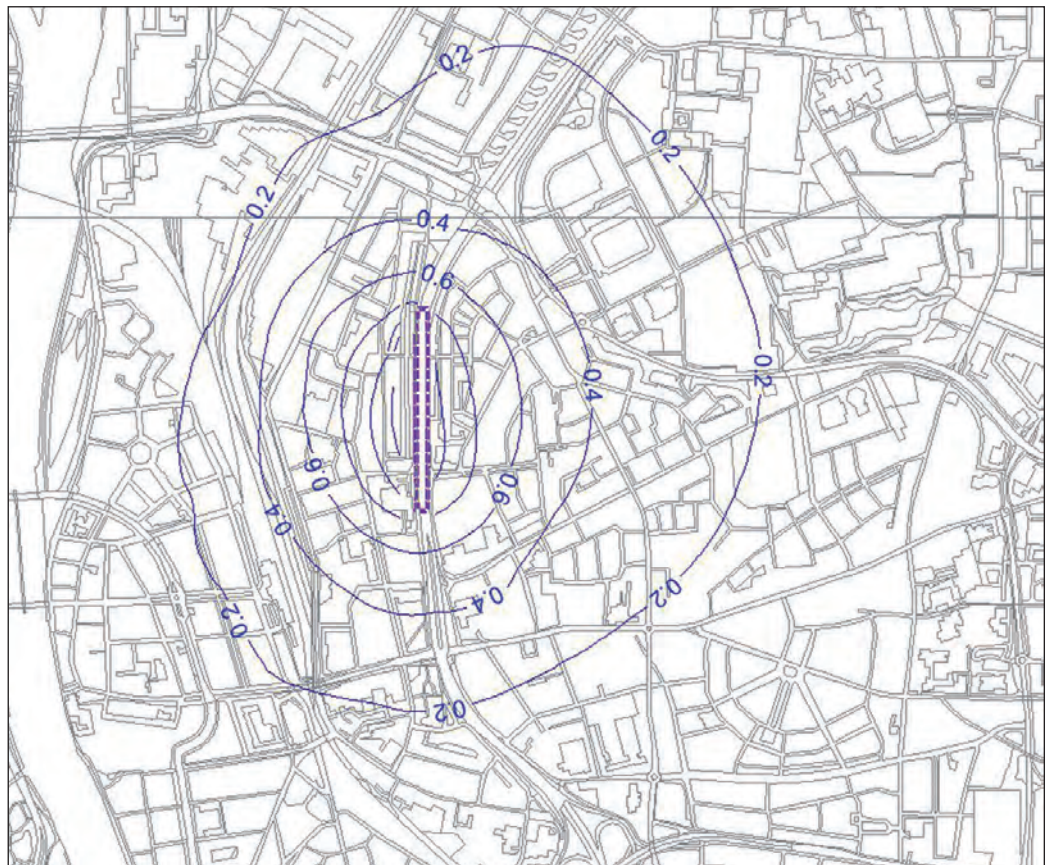
Voor het berekenen van scenario A1 gelden de volgende uitgangspunten:

- breedte bouwput is 28 m;
- lengte bouwput is 500 m;
- onderkant bouwput is 30,5 m +NAP;
- onderkant damwand is 27,5 m +NAP;
- gewenste grondwaterstand: 30 m +NAP;
- open bemaling.

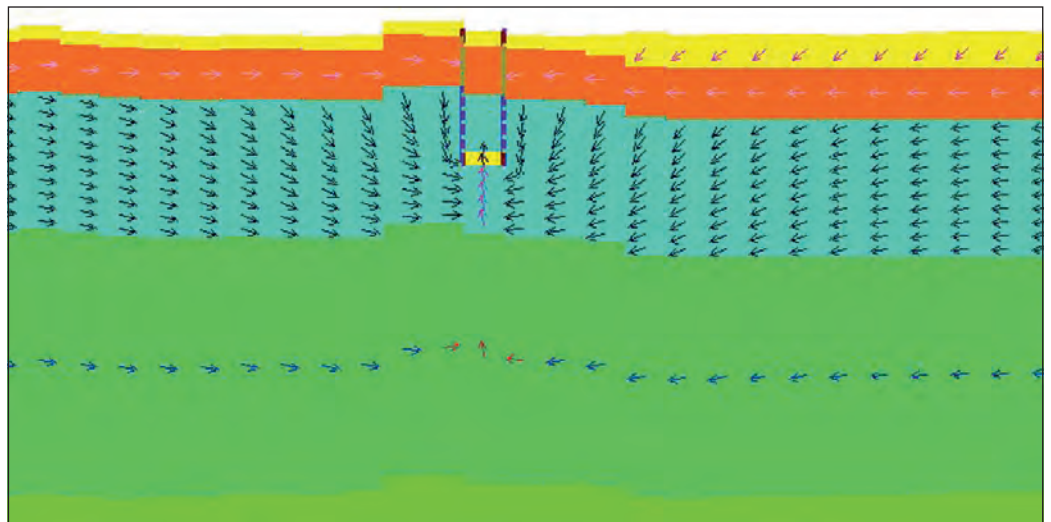
De onttrekking in de bouwput wordt gesimuleerd met drains. Hierbij kennen wij aan de bouwput-bodem een vaste stijghoogte toe van 30 m +NAP.

Uit de berekening van scenario 1 volgt een onttrekkingsdebiet van 1.100 m³/u op dag 50 van de bemaling. In figuur B4-8 geven wij de verlaging van de grondwaterstand die op dag 50 optreedt weer. Figuur B4-9 geeft een dwarsdoorsnede weer van de gemodelleerde bemaling.

Figuur B4-8
Verlaging grondwaterstand op dag 50 van de bemaling



Figuur B4-9
Dwarsdoorsnede van gemodelleerde bemaling



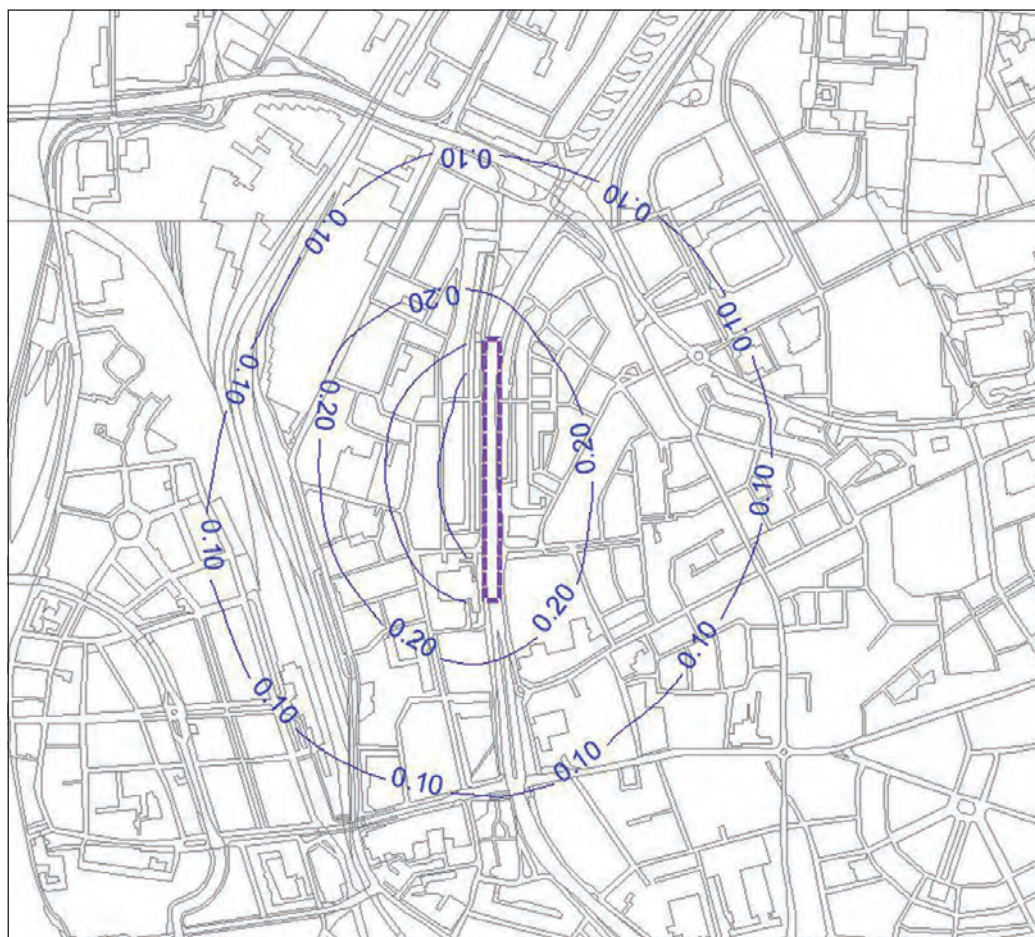
Berekening scenario A2

Ten opzichte van scenario A1 hebben wij het volgende uitgangspunt aangepast:

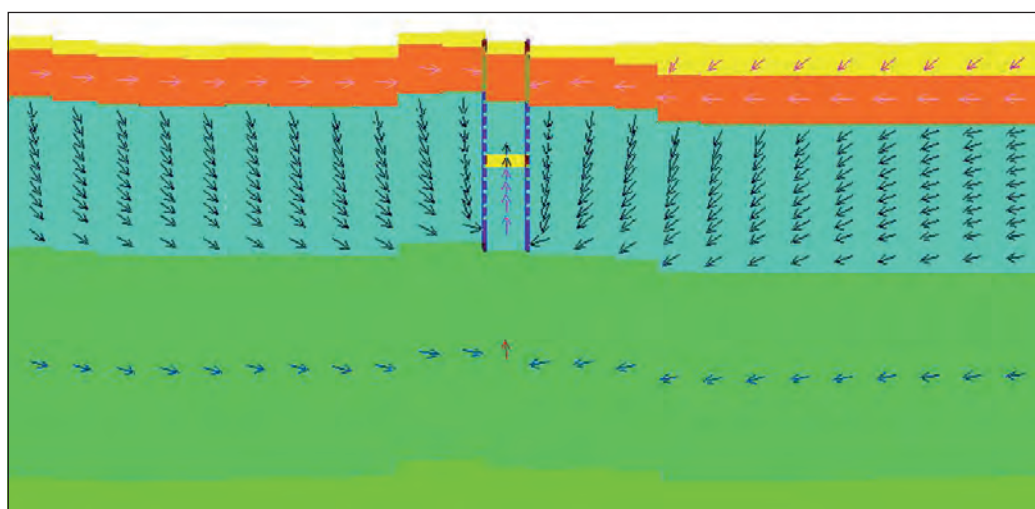
- onderkant damwand is 15,5 m +NAP.

Uit de berekening van scenario A2 volgt een onttrekkingsdebiet van 350 m³/u op dag 50 van de bemaling. Figuur B4-10 verbeeldt de verlaging van de grondwaterstand die op dag 50 optreedt. Figuur B4-11 geeft een dwarsdoorsnede van de gemodelleerde bemaling.

Figuur B4-10
Verlaging grondwaterstand op dag 50 van de bemaling



Figuur B4-11
Dwarsdoorsnede van gemodelleerde bemaling



Berekening scenario A3

In scenario A3 kan met dezelfde geohydrologische parameters worden gesimuleerd als in scenario A2. Voor het simuleren van de retourbemaling is het alleen nodig om infiltratiefilters in het model te plaatsen. Omdat wij de geohydrologische parameters niet hoeven aan te passen, is het niet nodig om dit scenario eerst in Modflow te simuleren. Aan het Triwaco-model waarmee scenario A2 is berekend, hebben wij retourbemaling toegevoegd in de grindlaag.

Berekening scenario A4

In scenario A4 kan met dezelfde geohydrologische parameters worden gesimuleerd als in scenario A1. Voor het simuleren van de retourbemaling is het dan alleen nodig om infiltratiefilters in het model te plaatsen, de geohydrologische behoeven niet te worden aangepast. Doordat de geohydrologische parameters niet behoeven te worden aangepast, behoeft dit scenario niet eerst in Modflow te worden gesimuleerd. Aan het Triwaco-model waarmee scenario 1 is berekend, hebben we retourbemaling toegevoegd in de grindlaag.

5.3 Scenarioberekeningen in Triwaco

Onderstaand geven wij nogmaals kort een beschrijving van de wijze waarop de parameterwaarden in Triwaco bepaald zijn. Vervolgens beschrijven wij per scenario hoe de bemaling wordt gesimuleerd.

De kD-waarde van de Formatie van Maastricht ter plaatse van de bouwput berekenen wij door de kD-waarde van de overgebleven bovenste laag en de onderste laag bij elkaar op te tellen. De kD-waarde van de bovenste laag berekenen wij door de dikte van het deel dat zich beneden de onderkant van de damwand bevindt (25 m min damwanddeel in de kalksteenlaag) te vermenigvuldigen met de bijbehorende k-waarde. De kD van de onderste laag blijft onveranderd. De tunneldiepte en diepte van de onttrekking blijven namelijk boven deze diepte.

De verticale weerstand van de kalksteenlaag onder de bouwput vinden wij door middel van iteratie aan de hand van het in de in paragraaf 5.2 van deze bijlage berekende bemalingsdebiet in Modflow. Door ter plaatse van de bemaling verschillende waarden voor de weerstand te gebruiken en te berekenen wat het bijbehorende debiet is, hebben wij de juiste waarde voor de weerstand gevonden.

Scenario A1

Voor de bouwput hebben wij de volgende randvoorwaarden ingevoerd:

- breedte bouwput is 28 m;
- lengte bouwput is 500 m;
- onderkant bouwput is 30,5 m +NAP;
- open bemaling (de onttrekking in de bouwput wordt gesimuleerd met drains, waarbij aan de bouwputbodem een vaste stijghoogte van 30 m +NAP wordt toegekend);
- de diepte van de damwanden is verdisconteerd in de weerstand van de fictieve laag boven het kalksteenpakket op basis van de resultaten in Modflow.

Ter plaatse van het tunneltracé worden de parameterwaarden aan de geohydrologische lagen toegekend (gemiddeld) als opgenomen in tabel B4-8:

Tabel B4-8
Parameterwaarden

	Westen	Tunneltracé	Oosten
kD deklaag	10	0	10
c (dagen)	22	0	22
kD grindlaag	6.000	0	6.000
c (dagen)	1	0	1
Fictieve laag		Onttrekking	
c (dagen)	14,5	11	14,5
kD Maastricht	500	270,5	500
c (dagen)	1	1	1
kD Gulpen	28		

De kD-waarde van de bovenste kalksteenlaag ter plaatse van de bouwput is als volgt berekend:
 $9 * 14,5 (= 25-10,5) = 130,5 \text{ m}^2/\text{d}$.

De kD-waarde van de Formatie van Maastricht direct buiten het tunneltracé houdt de waarde die in het oorspronkelijke model was opgenomen: gemiddeld $500 \text{ m}^2/\text{d}$, minimaal $400 \text{ m}^2/\text{d}$ en maximaal $520 \text{ m}^2/\text{d}$.

Scenario A2

Voor scenario 2 blijven de bouwputdimensies hetzelfde als voor scenario 1. De langere damwanden worden zoals uitgelegd verdisconteerd in de weerstand van de fictieve laag boven de kalksteen op basis van de resultaten in Modflow.

Ter plaatse van het tunneltracé worden de parameterwaarden aan de geohydrologische lagen toegekend als opgenomen in tabel B4-9 (gemiddeld):

Tabel B4-9

	Westen	Tunneltracé	Oosten
kD deklaag	10	0	10
c (dagen)	22	0	22
kD grindlaag	6.000	0	6.000
c (dagen)	1	0	1
Fictieve laag		Onttrekking	
c (dagen)	14,5	24	14,5
kD Maastricht	500	162,5	500
c (dagen)	1	1	1
kD Gulpen		28	

De kD-waarde van de bovenste kalksteenlaag ter plaatse van de bouwput is als volgt berekend:
 $9 * 2,5 (= 25-22,5) = 22,5 \text{ m}^2/\text{d}$.

Duidelijk wordt dat de afname van het doorlaatvermogen significant is en dit ook in de resultaten (waterbezwaar) zichtbaar wordt. Dit onderschrijft het belang van het uitvoeren van aanvullend geofysisch onderzoek en (geo)hydrologische proeven waarbij ook de afname van de doorlatendheid in de diepte dient te worden gemeten. Voor een goede keuze en dimensionering van de benodigde maatregelen om het waterbezwaar te beperken dienen deze onderzoeken in de volgende fase van het project worden uitgevoerd.

Scenario A3

Scenario A3 wordt met dezelfde geohydrologische parameters gesimuleerd als scenario 2. Voor het simuleren van de retourbemaling hoeven alleen infiltratiefilters in het model geplaatst te worden. Deze zijn in de grindlaag geplaatst met een totaal debiet van 75% van wat er aan water onttrokken wordt.

Scenario A4

Scenario A4 wordt met dezelfde geohydrologische parameters gesimuleerd als scenario A1. Voor het simuleren van de retourbemaling behoeven alleen infiltratiefilters in het model geplaatst te worden. Deze zijn in de grindlaag geplaatst met een totaal debiet van 75% van wat er aan water onttrokken wordt. De waarde 75% is aangehouden voor de berekeningen en betreft een conservatieve aanname vanuit het oogpunt van het treffen van een beheersmaatregel. De verwachting is dat meer dan 75% en wellicht tot 100% retourbemalen kan worden. In de volgende fase zal dit uit detailanalyses moeten volgen.



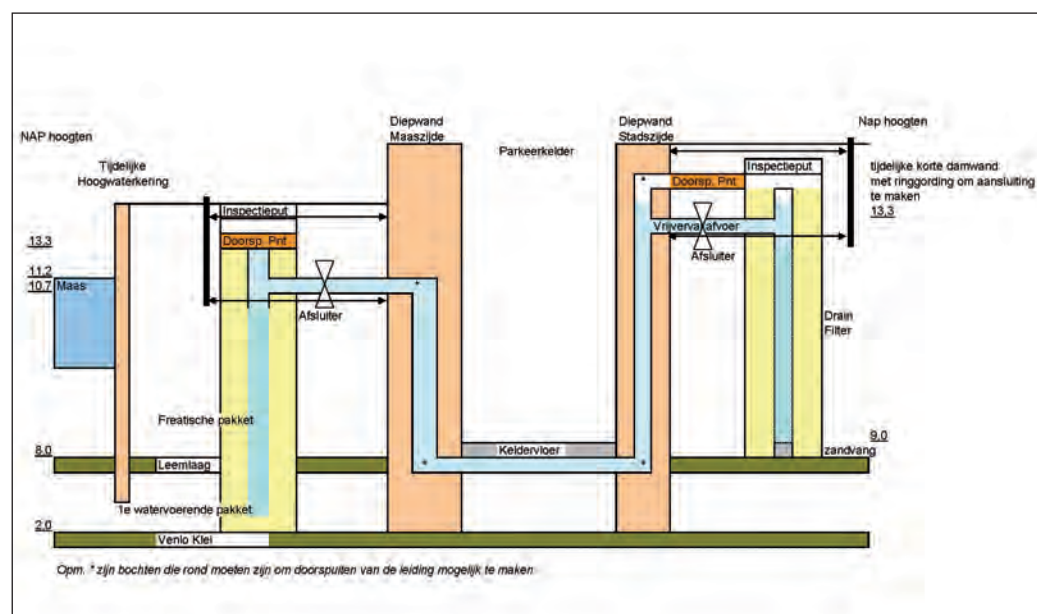
Bijlage

Bijlage 5 Referentie van hevelconstructies

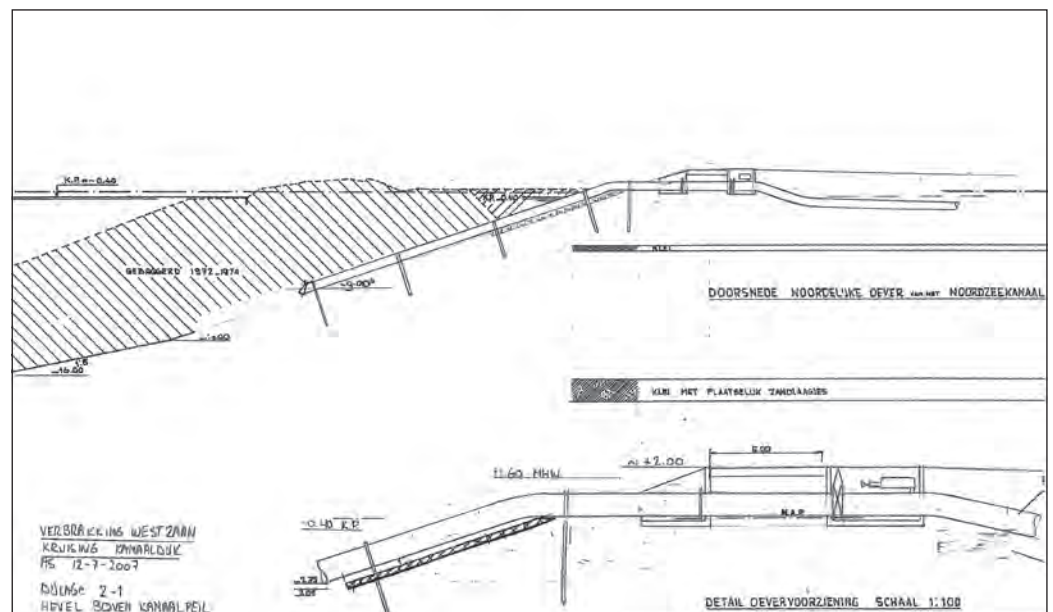
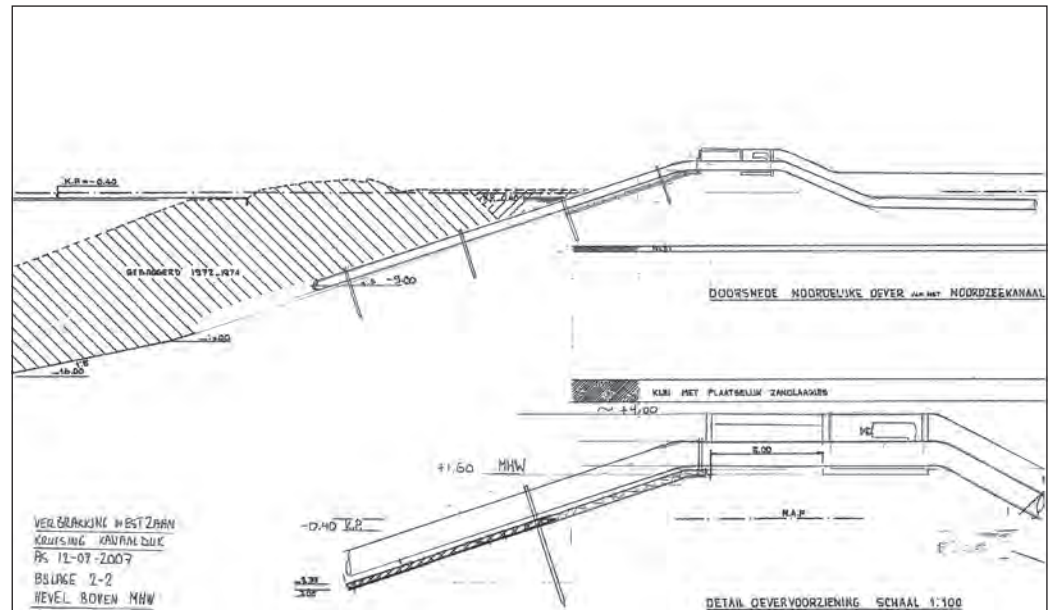
In deze bijlage zijn drie referenties opgenomen van hevelconstructies die elders in Nederland zijn toegepast. Om de werking van een hevel verder toe te lichten is een deel van de studie "Review of relief wells and siphons to reduce groundwater pressures and water levels in discharge areas to manage salinity" van de CSIRO te Australië (2003) opgenomen.

1. Aan de Maasboulevard in Venlo is een buizensysteem geïnstalleerd met dezelfde functie als voor de A2 tunnel namelijk de effecten van een civiele blokkade in de grondwaterstroming opheffen door grondwater van de ene naar de andere zijde te brengen. In Venlo gaat het om een systeem onder een parkeergarage door in plaats van over de constructie heen (zoals voorgesteld voor de A2). Het principe van de hevel is echter hetzelfde. Het idee is destijds door Geodelft ontwikkeld en door ARCADIS uitgewerkt tot een ontwerp.

De sifonconstructie in Venlo is als referentie gebruikt omdat de principes die aan de werking van deze constructie ten grondslag liggen dezelfde principes zijn als die ten grondslag liggen aan de geplande hevelconstructie in Maastricht. Beide constructies werken namelijk alleen zolang er een stijghoogteverschil aan weerszijden van de constructies bestaat en het dichtslibben van de filters met een aanvaardbare snelheid optreedt. Dat het water in de ene constructie bovenlangs gaat en in de andere onderlangs is niet van belang voor deze principes.



2. De tweede referentie betreft een hevelconstructie die brak water onderuit het Noordzeekanaal haalt en over een afstand van 900 meter transporteert naar de Westzaner polder om die te laten verbrakken. Het systeem is ook uitgevoerd met een vacuümsysteem zoals bedacht voor de A2 tunnel.



3. Uit "Review of relief wells and siphons to reduce groundwater pressures and water levels in discharge areas to manage salinity" CSIRO, Australie (2003).

3.2 Siphons

3.2.1 Description

A siphon is a closed conduit which passively (i.e. no power input) conveys liquid from a point of higher hydraulic head to one of lower head after raising it to a higher intermediate elevation which is at sub-atmospheric conditions (negative pressures). In other words, a

Review of Relief Wells and Siphon Wells

siphon is essentially a passive vacuum pump. A siphon has a maximum theoretical lift of 10.2 m (equivalent to atmospheric pressure); however, it has a maximum practical lift of 8.3 m due to the vapor pressure of water and friction head loss.

3.2.2 Siphon Principles (Gibson, 1952)

In its simplest form this consists of an inverted U-tube (Figures 1.1 and 2), both legs being full of water, and the flow is generally calculated by equating the total head producing flow, i.e. the head due to the unbalanced column of water $A_2 - Z_{C_2}$, or the difference of heads in the two reservoirs, to the sum of the frictional and other losses in the pipe and of the velocity head produced (see Appendix 1).

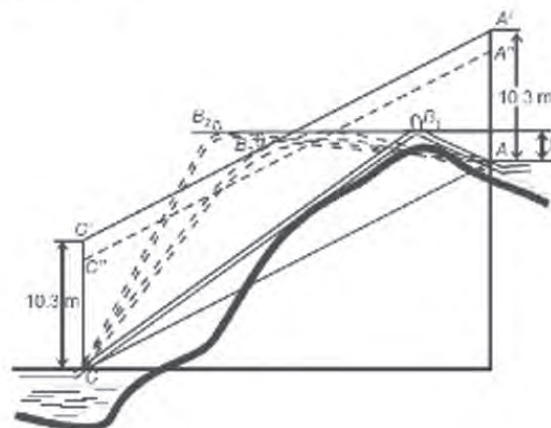


Figure 2 Siphon principles details

3.2.3 Siphon Performance (Edwards, 1984)

To analyse the performance of a siphon, it is assumed to be elementary in design and to flow full. These assumptions allow the application of the Bernoulli equation to flow from the upper reservoir to the exit end of the pipeline.

$$h = f \frac{L V^2}{D 2g} \text{ where}$$

h = the difference between the upper reservoir
and the lower reservoir or exit end of conduit

f = friction constant for conduit material

L = length of conduit

D = diameter of conduit

V = velocity of fluid

g = gravitational constant

(Equation 1)

The velocity and thus quantity of flow can be calculated from Equation 1. As the summit (minimum) pressure decreases, dissolved gases present in natural water come out of solution

and help form intermittent discontinuities as the pressure approaches a true vacuum. A break in the siphoning action occurs at a point less than the theoretical limit as the summit pressure continues to decrease. Writing the Bernoulli equation from the upper reservoir to the summit, we can determine the pressure at the summit using atmospheric pressure as datum.

$$O = \frac{V^2}{g} \frac{P_s}{Y} \quad h_s = f \frac{L_s}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{where}$$

$$\frac{P_s}{Y} = \text{pressure at summit} \quad (\text{Equation 2})$$

h_s = the difference between the upper reservoir and the summit

L_s = length of conduit from upper reservoir to summit

Trial application of these equations to a hypothetical system (Figure 2) pointed out several design considerations:

- System flow would decrease as h decreased due to drawdown in the well. Equilibrium would occur at the drawdown yielding the system flow capacity.
- Losses due to pipeline length and configuration could be minimised by oversizing pipeline in relation to anticipated flow and selecting low friction pipeline materials. More the losses are minimised, the closer h_s approached P_s/Y , resulting in increased siphoning efficiency.

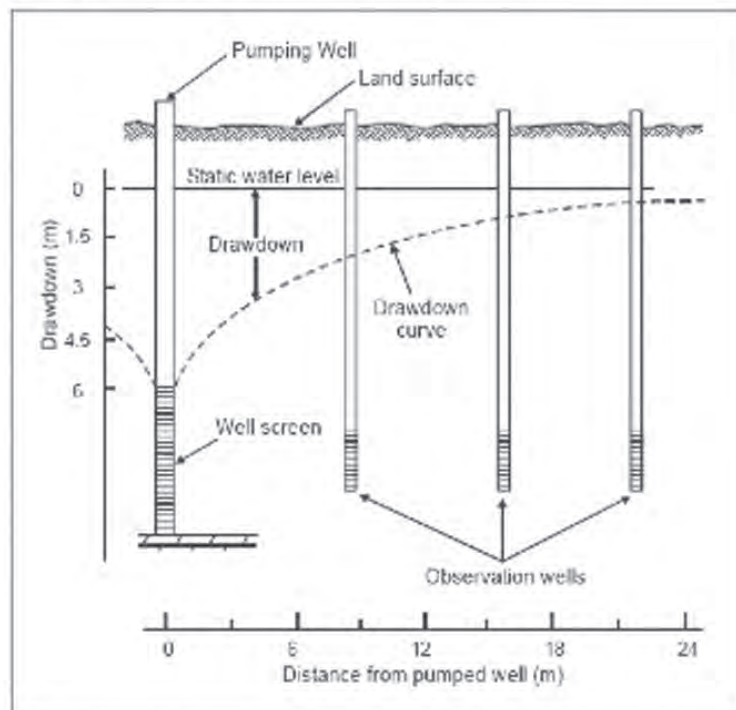


Figure 3 Extent of cone of depression as monitored in observation wells

Review of Relief Wells and Siphon Wells

3.2.4 Siphon operation

Siphons require priming (initial filling of line) to initiate flow. After priming, the siphon will passively convey liquid from the point of higher hydraulic head to the one of lower head indefinitely so long as the head differential is maintained and the prime is not lost.

Accumulation of air can break the siphon; however, this can be avoided by employing the following:

- Use of submerged inlets and outlets to prevent air from being drawn into the siphon line
- Maintenance of full flow in the siphon line through the removal of gases from the siphon line, which degas within the siphon line due to the sub-atmospheric pressures.

One or both of the following methods may be utilised to maintain full siphon flow:

- Maintenance of the minimum flushing velocity required to transport gases, which have degassed from the liquid, out the end of the siphon.
- Use of air chambers at the siphon crest to remove gases, which have degassed from the liquid, from the siphon. Use of air chambers renders the system less than entirely passive, since the chambers require periodic recharging.

Management of gas within the siphon line is considered to be of utmost importance in the maintenance of siphon flow. Siphon line gas management requires control of gas bubble transport, accumulation, and agglomeration and elimination of gas bubble entrapment. Gas bubble transport, accumulation, agglomeration, and entrapment are controlled by fluid flow velocity, gas buoyancy, siphon line grades and inside diameter discontinuities (i.e. fittings). Gas bubble transport in the upward leg of the siphon line is facilitated by higher fluid flow velocities, a continuous upward siphon line grade (no localised high points), and the minimisation or elimination of fittings which produce discontinuities in the inside diameter of the siphon line. The continuous upward grade and elimination of such fittings promotes buoyancy transport in the same direction as fluid flow and eliminates the accumulation, agglomeration and entrapment of gas bubbles in the upward leg of the siphon line. The fluid flow velocity in the upward leg is not as critical as it is in the downward leg of the siphon line, and the upward leg fluid flow velocity should be balanced against minimisation of head loss to maximize overall flow rates.

The direction of gas bubble transport, if any, in the siphon line downward leg is determined by whether transport due to fluid flow velocity or gas buoyancy is dominant. Fluid flow velocity tends to cause the gas bubbles to move downward in the downward leg of the siphon line towards the end of line. Gas buoyancy tends to cause the gas bubbles to move upward in the downward leg of the siphon line towards the siphon crest.

In order to utilise the minimum flushing velocity to maintain full flow in the siphon line downward leg, the fluid flow velocity must be dominant in the downward leg. That is, the fluid flow velocity must be greater than the required minimum. Additionally a continuous, downward, siphon line, grade (i.e. no localised high points) and the minimisation or elimination of fittings which produce discontinuities in the inside diameter of the siphon line, is necessary. The continuous downward grade and elimination of such fittings eliminates the

accumulation, agglomeration and entrapment of gas bubbles in the downward leg of the siphon line.

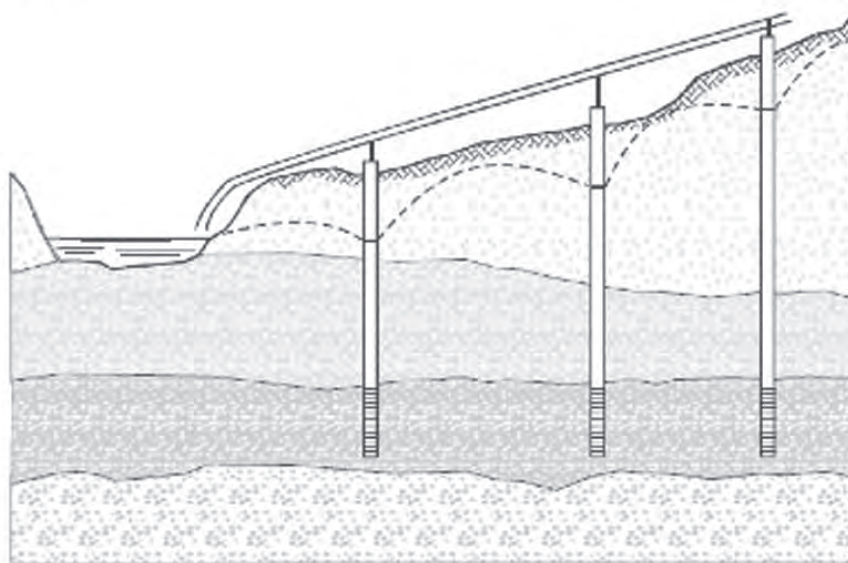


Figure 4 Several siphon wells can operate along a discharge area to reduce water levels and increase the area of maximum drawdown

4. APPROPRIATE DESIGN PRINCIPLES OF RELIEF AND SIPHON WELLS

4.1 Basic Considerations

4.1.1 Hydrogeological Investigations

The design of a relief or siphon well system should be preceded by thorough field and geologic studies. Sufficient data should be collated to define geomorphology, soils, the depth, thickness and physical characteristics of the prospective aquifers, as well as the thickness and physical characteristics of the top soil layers upstream and downstream of the proposed site. Particular attention should be given to the presence of carriers like buried channels and barriers like dykes and veins. High exit gradients and concentrations of seepage which may occur adjacent to clay-filled swales or channels will often govern the location of individual relief wells.

4.1.2 Aquifer Permeability

Preliminary estimates of aquifer permeability can be made from a simple pumping test to be conducted at the site or in case of sedimentary formations from correlations with grain size. The pumping test well should fully penetrate the aquifer, and a well flow meter should be used to determine the variations in horizontal permeability with depth.

4.1.3 Anisotropic Conditions

Analytical methods for computing seepage through a permeable sedimentary deposit are based on the assumption that the permeability of the deposit is isotropic. However, natural soil deposits are stratified to some degree, and the average permeability parallel to the planes of stratification is greater than the permeability perpendicular to these planes. Thus, the soil deposit actually possesses anisotropic permeability. To make a mathematical analysis of the seepage through an anisotropic deposit, the dimensions of the deposit must be transformed so that the permeability is isotropic. Each permeable stratum of the deposit must be separately transformed into isotropic conditions. In general, the simplest procedure is to transform the vertical dimensions with the horizontal dimensions unchanged.

4.1.4 Chemical Composition of Groundwaters

Some groundwaters are highly corrosive with respect to elements of a pressure relief well or may contain dissolved minerals or carbonates that could in time cause clogging and reduce efficiency of the well. The chemical composition of the groundwater, including river or dam waters, should be determined as part of the design investigation. The chemical composition of groundwater is a major factor in the chemical and biological contamination of well screens and filter packs.

4.1.5 Indicators of Corrosive and Incrusting Waters

- Indicators of Corrosive Water
 - i) A pH less than 7
 - ii) Dissolved oxygen in excess of 2 ppmb

Review of Relief Wells and Siphon Wells

- iii) Hydrogen sulfide (H_2S) in excess of 1 ppm detected by a rotten egg odor
- iv) Total dissolved solids in excess of 1,000 ppm indicates an ability to conduct electric current great enough to cause serious electrolytic corrosion
- v) Carbon dioxide (CO_2) in excess of 50 ppm
- vi) Chlorides (Cl) in excess of 500 ppm
- Indicators of Incrusting Water
 - i) A pH greater than 7
 - ii) Total iron (Fe) in excess of 2 ppm
 - iii) Total manganese (MN) in excess of 1 ppm in conjunction with a high pH and the presence of oxygen
 - iv) Total carbonate hardness in excess of 300 ppm

APPENDIX I: SIPHON PRINCIPLES (after GIBSON, 1952)

In its simplest form this consists of an inverted U-tube (Figure 1.1), both legs being full of water, and the flow is generally calculated by equating the total head producing flow, i.e., the head due to the unbalanced column of water $Z_A - Z_C$, or the difference of heads in the two reservoirs, to the sum of the frictional and other losses in the pipe and of the velocity head produced.

Thus $Z_A - Z_C = \text{loss at entrance and exit}$

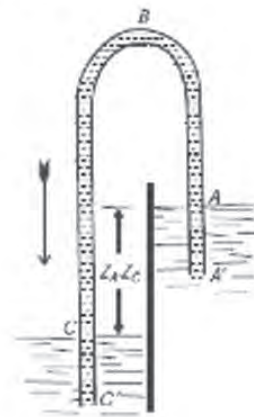


Figure 1.1

This may be seen by considering the flow along each leg of the siphon separately.

Along $A'B$, we have

$$Z_A - Z_C = \frac{v^2}{2g} \left\{ 1 + \frac{f l}{m} + K \right\} = \text{loss at exit} + \text{friction loss} + \text{loss at entrance.}$$

l being the total length of the siphon $A'B'C'$

EXAMPLE

$$\text{If } \begin{cases} Z_A - Z_C = 15\text{m} \\ l = 300\text{m} \\ Z_B - Z_A = 3\text{m} \end{cases}$$

$$l_1 > \frac{300 \times 7.2}{15} = 144\text{m}$$

or the outlet leg will not run full if the inlet leg is more than 144 m in length.

Appendix J

With a longer inlet and shorter outlet the flow up the inlet will not be able to keep pace with that down the outlet and this will then run only partly full. Also the velocity up the inlet will not now be so great as with a shorter inlet, so that the discharge will be less. Evidently, then, the position of the apex of the siphon has a great influence on the discharge.

With a shorter inlet and a longer outlet, the total length being the same, the discharge will be unaltered, but the siphon will have the advantage of working under a greater absolute pressure at the apex, and is therefore less likely to be affected by air leakage at the joints.

In practice it is necessary to place an air chamber at the highest point of the siphon, into which air gradually accumulates during its working. This air is then removed at frequent intervals, either by some form of air pump, or by means of a steam ejector.

Where the siphon discharges into the atmosphere, any failure of the outlet leg to run full, by admitting air to the apex at once breaks the vacuum and stops the flow.

Figure I.2 shows the hydraulic gradient for a siphon, the straight line $A C$ being the gradient line. In drawing this, the only losses taken into account have been those due to friction. If a second line $A' C'$ be drawn parallel to and at a vertical distance from $A C$ equal to the barometric height, the distance of the siphon below $A' C'$ will give the absolute pressure at any point. In the sketch, siphons $A B_1 C$, $A B_3 C$, and $A B_2 C$ are shown connecting A and C , all rising to the same height h , above the surface at A . Here, although B_2 is not nearly 10.2 m above A , an absolute vacuum would be attained before reaching B_2 and the siphon will consequently not work. A comparison of 1 and 3 shows that there is a greater pressure in the air vessel at B_1 than at B_3 , and the siphon 1 will thus run longer without removal of air from this chamber than will 3. Leakage at joints is not likely to have so serious an effect as with 3. Where a regulating valve is to be used on a siphon, this should always be placed on the outlet leg.

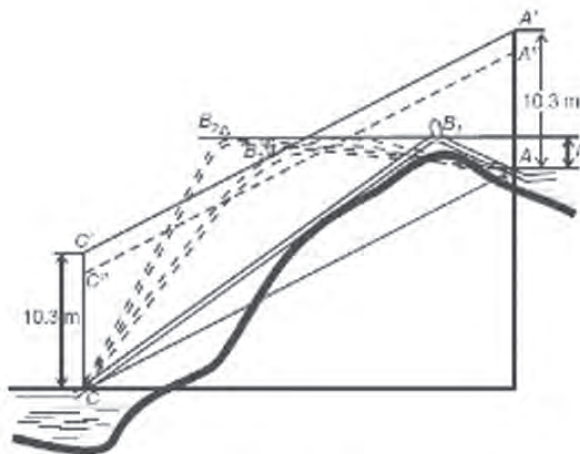


Figure I.2







Projectorganisatie A2 Maastricht
bestaat uit Rijkswaterstaat, Provincie
Limburg, Gemeente Maastricht en
Gemeente Meerssen.



Rijkswaterstaat

provincie limburg



Gemeente



Maastricht



Sfeervol Meerssen



Dit project wordt medegefinancierd door
de EU – Fonds voor Trans Europese Netwerken.

Slechts de mening van de auteur wordt
weergegeven: de Europese Commissie is niet
aansprakelijk voor het gebruik dat eventueel
wordt gemaakt van de in de publicatie
opgenomen informatie.