



PROVINCIE :: UTRECHT



## Colofon

Titel:	Deelrapport Geohydrologische modellering Amersfoort
Auteur:	GeoDelft
Datum:	Mei 2001
Vrijgave:	ir. K.R. Weytingh
Projectnummer:	D9913
Opdrachtgever:	SKB
Project:	Reactief ijzerschermb
Projectnummer opdrachtgever:	sv224
Consortium:	Heijmans Milieutechniek (penvoerder) The Three Engineers GeoDelft Universiteit Twente CSG Eemkwartier Gemeente Amersfoort Provincie Utrecht



---

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Studie van het gebied</b>	<b>2</b>
2.1	Hydrogeologische setting	2
2.2	Bodemopbouw	2
2.3	Hydrologie	3
<b>3</b>	<b>Opzet geohydrologisch model</b>	<b>4</b>
3.1	Modelkeuze	4
3.2	Grid	4
3.3	Randvoorwaarden	4
3.4	Bodemopbouw	5
3.5	Seizoensinvloed	7
<b>4</b>	<b>Modelberekeningen stap 1</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Kalibratie grondwatermodel</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Modelberekeningen stap 2</b>	<b>15</b>
6.1	Variant 1	15
6.2	Variant 2	18
<b>7</b>	<b>Vertaling naar de praktijk</b>	<b>21</b>
<b>Bijlage 1: Resultaten geohydrologisch model</b>		



# 1 Inleiding

Net als voor (vrijwel) alle in situ saneringstechnieken is de geohydrologische modellering bij reactieve barrières cruciaal voor een goed ontwerp. Eigenlijk stelt een scherm geen specifieke eisen aan de modellering. Het bijzondere is wellicht de introductie van een "vreemd" geohydrologisch object. Een goed doorlatende actieve zone, wellicht in combinatie met een funnel of een gate (respectievelijk erg slecht of erg goed doorlatend). De modellering van een scherm is maatwerk. Daar staat tegenover dat het eigenlijk maar één keer per locatie hoeft te worden uitgevoerd. Een goed ontwerp is dermate robuust dat het ongevoelig is voor de meeste wijzigingen in de omgeving.

Kenmerk van een funnel and gate is dat de verontreiniging alleen stroomafwaarts wordt afgevangen. De verontreiniging is dus niet geheel omsloten. Dit hoeft ook niet, maar stelt uiteraard wel nauwere eisen aan het geohydrologisch model dat gebruikt wordt bij het ontwerp van het systeem. In deze rapportage wordt daar dan ook verder op ingegaan. Voor de modellering is het van belang een aantal variabelen, en de variaties hierin, nauwkeurig in kaart te brengen. Deze variabelen zijn:

- opbouw grondlagen
- doorlatendheden van de diverse grondlagen
- stromingsprofielen en – richtingen
- locatie van de verontreiniging en vorm van de pluim

Daarnaast spelen een tweetal locatiespecifieke zaken een rol:

- bestaande en toekomstige ruimtelijke inrichting
- herstel en onderhoudsmogelijkheden van het systeem



## 2 Studie van het gebied

### 2.1 Hydrogeologische setting

Het gebied behoort morfologisch gezien tot de Gelderse Vallei. De Gelderse Vallei wordt begrensd door de stuwheuvelds van het Gooi, de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe.

De onderkant van het tweede watervoerende pakket ter plaatse wordt gevormd door de Formaties van Enschede, Sterksel en Harderwijk. In het Onder- en Midden-Pleistoceen werden deze sedimenten afgezet door de Rijn, Maas en rivieren van oostelijke origine. Deze sedimenten bestaan uit grove grindhoudende zanden met plaatselijke inschakelingen van fijne zanden en lichte kleien.

Oprukkend landijs heeft de Gelderse Vallei uitgeschuurd en de omringende stuwwallen gevormd ten tijde van het Saalien (Kwartair). Het materiaal dat uit het landijs vrij kwam en in de Gelderse Vallei sedimenteerde, behoort tot de Formatie van Drente. Deze formatie vormt het bovenste gedeelte van het tweede watervoerende pakket en bestaat uit lacustroglaciale kleien en fijne zanden.

Het tweede watervoerende pakket wordt aan de bovenkant begrensd door een dikke mariene kleilaag. Deze kleilaag wordt gevormd door de Eem Formatie. Deze formatie werd gevormd nadat het landijs uit het Saalien zich had teruggetrokken en de zee door een zeespiegelstijging het glaciële bekken van de Gelderse Vallei binnendrong.

Het eerste watervoerend pakket wordt gevormd door de Formatie van Twente. Deze periglaciële sedimenten zijn gevormd in het Weichselien, toen het landijs het gebied niet bereikte. De sedimenten bestaan uit soms lemige fijne tot matig grove zanden, afgewisseld met veen- of leemlagen.

De bovenliggende deklaag wordt gevormd door de Westland Formatie. Deze (peri)mariene sedimenten zijn afgezet in het warmere Holoceen. De sedimenten bestaan uit klei en veen, doorsneden met fijnzandige geulen.

### 2.2 Bodemopbouw

Binnen het CSG clustergebied te Amersfoort is de bodemopbouw globaal zoals aangegeven in tabel 1.

Tabel 1: Bodemopbouw CSG te Amersfoort

Diepte (m –mv)	Omschrijving	
0 – 3	zandlaag, matig fijn zand	deklaag
3 – 4	Veenlaag	scheidende laag
4 – 7	zandlaag, matig fijn tot grof zand	eerste watervoerende pakket
7 – 8	veenlaag met leemlenzen	eerste watervoerende pakket
8 – 13	zandlaag, matig fijn zand	eerste watervoerende pakket
13 – 15	veen-/leemlaag	scheidende laag
15 – 19	Kleilaag	scheidende laag, Eemklei
19 – 125	Zandlaag	tweede watervoerende pakket

De Eemklei wicht ten zuiden van het CSG gebied uit, ter plaatse van het oost-west traject van de spoorlijn.



---

## 2.3 Hydrologie

Het belangrijkste oppervlaktewater element in het CSG clustergebied is de Eem. De stand van de Eem fluctueert van  $-0.1$  m NAP in de zomer tot  $-0.3$  m NAP in de winter. De natuurlijke grondwaterstromingssituatie in het CSG clustergebied wordt bepaald door de omringende hoger gelegen gebieden (Utrechtse Heuvelrug en Veluwe). Het regenwater dat daar infiltreert stroomt naar het lagere gelegen CSG clustergebied. De Eem fungeert ter plekke als drain in het eerste watervoerend pakket.

De grondwaterstroming in het tweede watervoerend pakket is naar het noordoosten gericht met een geschatte grondwatersnelheid ter plaatse van de ijzerwand van ca 14 m/j. Dit is gebaseerd op het rapport "Dimensionering grondwatersanering", opgesteld door DHV in september 1997.

De Eemklei wigt ten zuiden van het CSG clustergebied uit. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket in de zuidelijke zone van het gebied heeft daardoor de neiging om naar het tweede watervoerend pakket de infiltreren. Er treedt daar een zuidelijke grondwaterstroming op, door de infiltratie in de zuidelijke zone. In de rest van het gebied is de grondwaterstroming globaal noordoostelijk gericht, door de drainerende werking van de Eem. De geschatte grondwatersnelheid ter plaatse van de ijzerwand is ca 75 m/j. Dit is gebaseerd op het rapport "Dimensionering grondwatersanering", opgesteld door DHV in september 1997. Door de vele activiteiten die zich afspelen en zich afgespeeld hebben in het gebied, kan de grondwaterstromingsrichting in het eerste watervoerende pakket lokaal afwijken.



## 3 Opzet geohydrologisch model

### 3.1 Modelkeuze

De modellering is uitgevoerd met MODFLOW en MODPATH onder Groundwater Modelling System (GMS) v3.0. MODFLOW en MODPATH zijn beiden veel gebruikte en geaccepteerde modellen, die volgens een studie van het US Army Corps van Engineers, "Design Guidance for Application of Permeable Barriers to Remediate Dissolved Chlorinated Solvents" uitgevoerd in 1997, prima in staat zijn permeabele barrières zoals een ijzerscherm te modelleren. MODFLOW wordt gebruikt om de grondwaterstroming te modelleren, MODPATH voor de stroombaanberekeningen.

### 3.2 Grid

Diverse ontwerpen van het ijzerscherm moeten beoordeeld worden, met diverse breedtes, lengtes en dieptes. Daarom is het van belang dat het grid dat gebruikt wordt voldoende fijn is ter plaatse van de wand. Hiertoe is een zone gedefinieerd waarbinnen de ijzerwand geplaatst moet gaan worden. Daarbij is uitgegaan van:

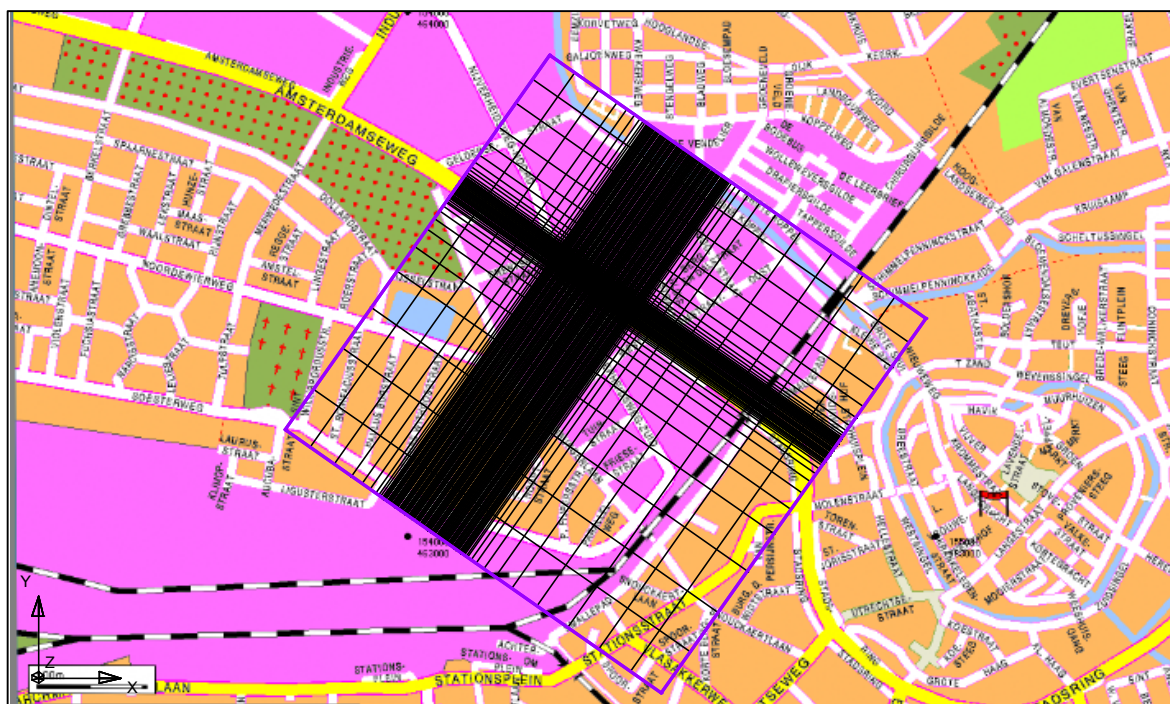
- Globale situering in projectplan op basis bestaand grondwatermodel. (DHV, 1997)
- Afspraak met bedrijven aan de noordzijde van de Amsterdamseweg dat het ijzerscherm niet verder komt dan de middenberm van de Amsterdamseweg.
- Toekomstig tracé van kabels, leidingen en riolering.
- Maximale lengte van het scherm van 230 m
- Situering eventuele 'zijvleugels' in de Drentse straat en Groningerstraat

Er is gekozen voor een variabel grid dat, ter plaatse van het gebied waarin de ijzerwand geplaatst wordt, een horizontale gridcel afmeting heeft van 1 bij 1 m. Verder van de locatie af is i.v.m. rekensnelheid en geheugencapaciteit een grover grid gekozen. Aan de randen is de maximale gridcel afmeting 100 bij 100 m. De verticale afmetingen van de gridcellen moet voldoende klein zijn om ondergrondse constructies (b.v. parkeergarages) en verschillende dieptes van de funnel and gate te kunnen simuleren. Een gridcel afmeting van 1 m in de vertikaal wordt gebruikt in het eerste watervoerende pakket.

### 3.3 Randvoorwaarden

Het model wordt in het noordoosten begrensd door de Eem. De waterscheiding in het eerste watervoerend pakket, veroorzaakt door het ontbreken van de Eemklei in het zuiden, vormt de zuidwest grens. Het ijzerscherm zal naar verwachting deze waterscheiding niet beïnvloeden. De zuidoost en noordwest kanten staan ongeveer loodrecht op de grondwaterstroming in het eerste watervoerend pakket. Deze grenzen zijn zo gekozen dat de onttrekking t.b.v. de spoortunnel en de huidige en de toekomstige (sanerings)onttrekkingen en infiltraties, die in het CSG gebied zijn gepland, in het model opgenomen kunnen worden. Het modelgebied en het rekengrid zijn afgebeeld in figuur 1. Vaste stijghoogte aan de zuidrand van het model in de bovenste laag van het eerste watervoerende pakket: +3.0 m NAP. Vaste stijghoogten aan de randen van het model in het tweede watervoerende pakket. Deze stijghoogten zijn gebaseerd op TNO kaarten en het DHV model uit 1997. Onttrekking t.b.v. de spoortunnel, gesitueerd in de bovenste laag van het eerste watervoerende pakket met een debiet van 281 m<sup>3</sup>/d.

De Eem wordt in het model geschematiseerd als een zone met een zeer hoge hydraulische conductiviteit (1000 m/d). Aan deze zone wordt een vast peil opgelegd van 0.3 m +NAP (gemiddelde van zomer- en winterpeil). De diepte van de Eem: tot boven de tweede veenlaag (ca. 7 m –mv.). De neerslag wordt in de tijd en over het gebied constant verondersteld. Een waarde van 200 mm/jaar wordt in eerste instantie gebruikt, deze waarde is representatief voor een stedelijk gebied met verharding en een rioolstelsel.



Figuur 1: Modelgebied en rekengrid

### 3.4 Bodemopbouw

In tabel 2 staan de bodemopbouw, (model)laagopbouw en hydraulische parameters van het modelgebied. Deze parameters zijn gebaseerd op het DHV model uit 1997.

Tabel 2: Bodemopbouw modelgebied

Pakket	Modellaag	Dikte (m)	Hor. cond. (m/d)	Vert. cond. (m/d)
Freatische deklaag	1	3	1	0.3
Veenlaag 1	2	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Bovenste laag 1e watervoerende pakket	3	1	6.7	2.2
	4	1	6.7	2.2
	5	1	6.7	2.2
Veenlaag 2	6	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Onderste laag 1e watervoerende pakket	7	1	9	3
	8	1	9	3
	9	1	9	3
	10	1	9	3
	11	1	9	3
Kleilaag (Eemklei)	12	4	$1.14 \cdot 10^{-3}$	$1.14 \cdot 10^{-3}$
2e watervoerend pakket	13	100	60	20

#### Freatische deklaag

Er is overwogen om de freatische laag in het model te verfijnen. Dit om het risico van overstroming te bepalen, wanneer de wand niet tot op maaiveld afgewerkt wordt. Om de volgende redenen is dit niet gedaan:

- Er treden model-technische problemen op met het droogvallen van cellen in het model.
- Er zijn geen recente grondwaterstandmetingen bekend om te kalibreren.
- Exacte weerstanden van de eerste veenlaag zijn niet bekend.
- Water dat eventueel over de damwand zal stromen is naar verwachting niet vervuild, daar er sprake is van een natuurlijke infiltratiesituatie van water naar het eerste watervoerend pakket (peilbuisgegevens 1997, Actief II).
- Het plaatsen van het ijzerscherm zal de opstuwing van het freatisch grondwater verhogen, waardoor de natuurlijke infiltratiesituatie versterkt. De opstuwing in het eerste watervoerende pakket is het primaire effect.



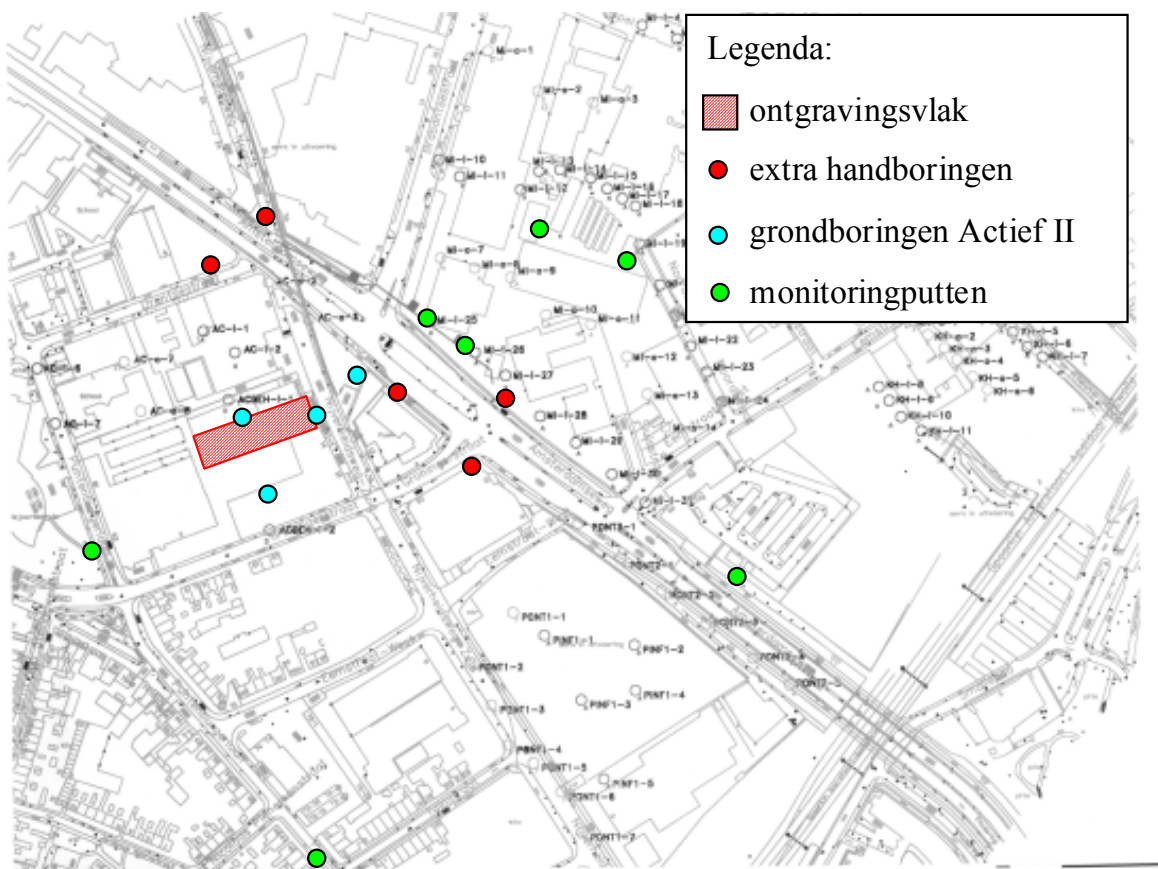
Opstuwung van het freatisch grondwater is deels het effect van opstuwung in het eerste watervoerend pakket en additioneel door het plaatsn van de wand in het freatisch pakket. De aanwezigheid van de eerste veenlaag versterkt het additionele effect.

- Het model, zonder opdeling van de freatische laag, kan de opbollung van de grondwaterstand, veroorzaakt door een wand afgewerkt tot op maaiveld, simuleren. De exacte hoeveelheid die eventueel over de wand stroomt volgt niet uit deze schematisatie, in tegenstelling tot de schematisatie waarin de freatische laag wordt verfijnd. Om het risico van overstromung te bepalen moet de opbollung in de freatische laag bekend zijn. Wanneer de opbollung groter is dan de diepte waarop afgewerkt wordt treedt overstromung op. Het model zonder verfijning in de freatische laag kan dit voorspellen.

### Aanwezigheid veenlaag

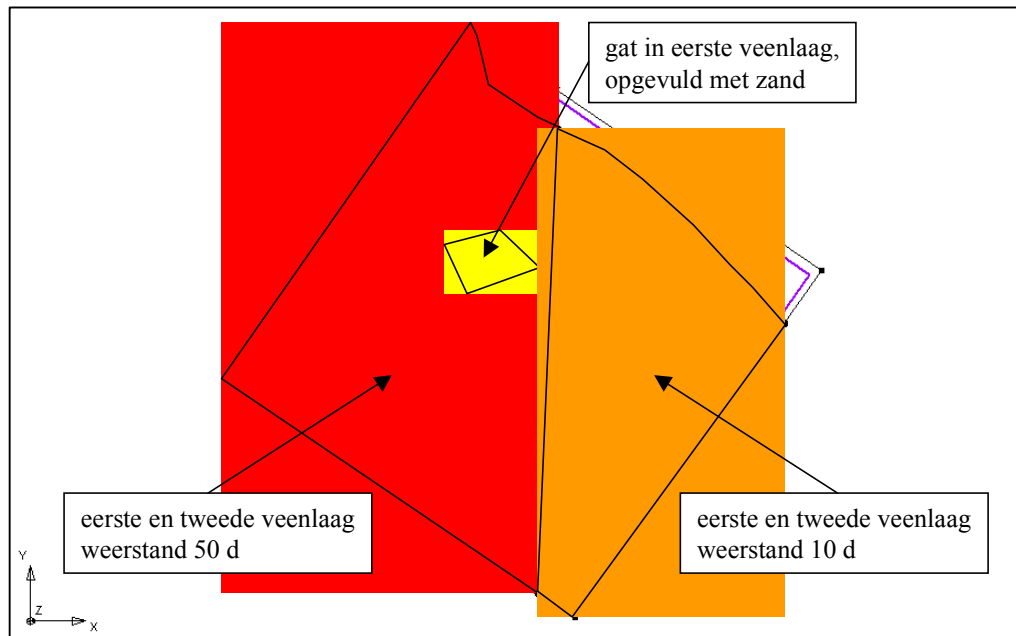
De eerste veenlaag wordt in het noordoosten van het CSG-gebied dunner en minder veenhoudend. Rond de toekomstige locatie van het ijzerscherm is de eerste veenlaag ongeveer 75 cm dik. De veenlaag begint daar op ongeveer 3.5 m –mv. De tweede veenlaag toont een zelfde beeld: in het noordoosten is de laag dun en matig veenhoudend. Rond de toekomstige locatie van het ijzerscherm is de tweede veenlaag ruim 1 m dik. De tweede veenlaag begint daar op ongeveer 7.5 m –mv.

Om een beter beeld te krijgen van de diepte en dikte van de eerste veenlaag rond het toekomstige ijzerscherm zijn vijf aanvullende boringen geplaatst (zie figuur 2). Uit deze boringen blijkt dat in vier boringen een eerste veenlaag wordt aangetroffen van minimaal 0,5 m dik. In de noordoostelijke extra boring wordt een dunnere veenlaag van 0,2 m aangetroffen. De diepte waarop de veenlaag aangetroffen wordt varieert van 2 tot 3 m –mv. De grondwaterstand bij de extra boringen is ongeveer 1,8 tot 2,0 m –mv. T.b.v. de grondsanerung op de locatie Actief II is het brongebied ontgraven. Ter plaatse is de eerste veenlaag dus niet aanwezig. In het model zullen de eerste en tweede veenlaag gemodelleerd worden met een laag van 1 m dik, die in weerstand naar het noordoosten afneemt.





De veenlagen in het modelgebied zijn niet overal even sterk aanwezig. In het model zijn daarom twee gebieden gedefinieerd: een westelijk gebied met een weerstand van 50 d voor beide veenlagen en een oostelijk gebied met een weerstand van 10 d voor beide lagen. Verder is er ter plaatse van Actief II een gat in de bovenste veenlaag gemodelleerd, veroorzaakt door ontgravingen ter plekke als gevolg van de grondsanering. In het model is aangenomen dat het gat gevuld wordt met zand, met een doorlatendheid van 5 m/d in horizontale en 1.7 m/d in verticale richting. Figuur 3 laat deze verschillende zones zien.



Figuur 3: Zones met verschillende doorlatendheid.

### 3.5 Seizoensinvloed

Om de werking van het ijzerscherm gedurende het gehele jaar te waarborgen, zijn een zomer- en wintersituatie gemodelleerd. In deze simulaties is de grondwateraanvulling gevarieerd. Het peil van de Eem ter plekke van het model is constant gehouden (naar aanleiding van gegevens van het waterschap Vallei & Eem). Het bepalen van de grondwateraanvulling in een stedelijk gebied blijkt in de praktijk zeer moeilijk, daar deze afhangt van een groot aantal factoren (zoals verdamping, verharding, riolering, e.d.). In de literatuur is hier geen algemeen bruikbare waarde voor bekend. Op basis van een aantal verslagen behorende bij de meeting "Water in Urban Areas" en andere projecten is een inschatting van de grondwateraanvulling in de verschillende seizoenen gemaakt (zie tabel 3).

Tabel 3: Parameters seizoensinvloed

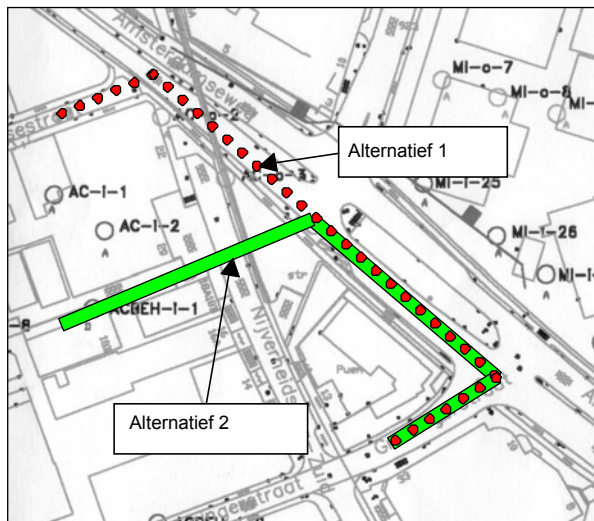
Parameter	Winter	Zomer
Neerslag (mm/j)	880	770
Rioolafvoer	30% van neerslag	30% van neerslag
Verdamping (mm/j)	60	460
Netto aanvulling (mm/j)	560	80

Deze waarden zijn gebruikt voor een semi-stationaire modelbenadering. Merk hierbij op dat deze situaties worst-case scenario's zijn. In werkelijkheid komen deze zomer- en wintersituaties over een beperkte periode voor, het effect van een andere grondwateraanvulling wordt gedempt en wordt vertraagd doorgegeven. Het model rekent echter met een constante lage of hoge grondwateraanvulling.

## 4 Modelberekeningen stap 1

In eerste instantie zijn er twee varianten uitgewerkt. Naast een ijzerscherm parallel aan de Amsterdamseweg en met 'vleugels' in de Drentsestraat en Groningerstraat is er een tweede ontwerp met vleugels in de toekomstige Verlengde Brabantsestraat. De twee ontwerpen staan weergegeven in figuur 4. Alternatief 2 heeft als voordeel dat er een kleiner gebied ingevangen wordt, en er dus een kleiner debiet door de gates gerealiseerd wordt.

Allereerst is de natuurlijke grondwaterstroming gesimuleerd. Bijlagen 1.1 en 1.2 laten de isohypsen van de natuurlijke grondwaterstroming zien. Uit deze bijlagen blijkt dat de grondwaterstroming in het freatische pakket en de lagen van het eerste watervoerende pakket noordoostelijk gericht is. De Eem heeft een drainerende functie voor deze pakketten en levert een noord-oostelijke stromingscomponent, de onttrekking levert voor het oostelijk gelegen gebied een oostelijke stromingscomponent. De stroming in het tweede watervoerende pakket wordt geheel bepaald door de vaste stijghoogtes aan de randen van het model en is noordelijk gericht. In de freatische laag heerst een infiltratiesituatie naar de bovenste laag van het eerste watervoerende pakket. Water in de bovenste laag van het eerste watervoerende pakket infiltreert in de onderste laag. De onderste laag van het eerste watervoerende pakket en het tweede watervoerende pakket zijn van elkaar gescheiden door de sterk weerstand biedende (3500 d) Eemklei. In het zuiden van het modelgebied heerst een infiltratiesituatie van de onderste laag in het eerste watervoerende pakket naar het tweede watervoerende pakket, in het noorden een kwelsituatie.



Figuur 4: Locatie alternatieven ijzerscherm

Vervolgens is variant 1 van het ijzerscherm in het model doorgerekend. Het ijzerscherm is gemodelleerd als een barrière met een weerstand van 1000 d. Bijlagen 1.3 en 1.4 laten de isohypsen en opbolling van de gewijzigde grondwaterstroming zien. De plaatsing van het ijzerscherm zorgt voor een opbolling vóór het ijzerscherm en een verlaging achter het scherm. Variant 1 zorgt voor een maximale opbolling van ongeveer 0.55 m in het freatische pakket. Gebaseerd op het model van de natuurlijke stroming en de invangbreedte van het scherm, krijgt variant 1 60 m<sup>3</sup>/d te verwerken (Let op: ongekalibreerd model!). Dit is een maat voor het maximaal te verwerken debiet.

Variant 2 van het ijzerscherm is vervolgens in het model geplaatst. Het ijzerscherm is wederom gemodelleerd als een barrière met een weerstand van 1000 d. Bijlagen 1.5 en 1.6 laten de isohypsen en opbolling van de gewijzigde grondwaterstroming zien. Variant 2 zorgt voor een maximale opbolling van ongeveer 0.50 m in het freatische pakket. Het debiet dat variant 2 te verwerken zou krijgen bedraagt volgens het model ongeveer 36 m<sup>3</sup>/d (Let op: ongekalibreerd model!). Deze waarde is ook gebaseerd op het model van de natuurlijke stroming en de invangbreedte van het scherm, en is dus ook een maat voor het maximaal te verwerken debiet.

De maximale opbolling is vrijwel identiek voor beide varianten, terwijl het te verwerken debiet voor variant 2 lager is dan voor variant 1. Voor het ijzerschermontwerp is het enerzijds wenselijk het te verwerken debiet te minimaliseren en anderzijds de drukgradiënt over de wand te maximaliseren. In dit kader verdient variant 2 de voorkeur.

Voor variant 2 zijn stroombaanberekeningen uitgevoerd. Er zijn deeltjes geplaatst in het midden van de twee lagen in het eerste watervoerende pakket. Een aantal deeltjes is op de C-contour van de verontreiniging geplaatst en een aantal op de A-contour.



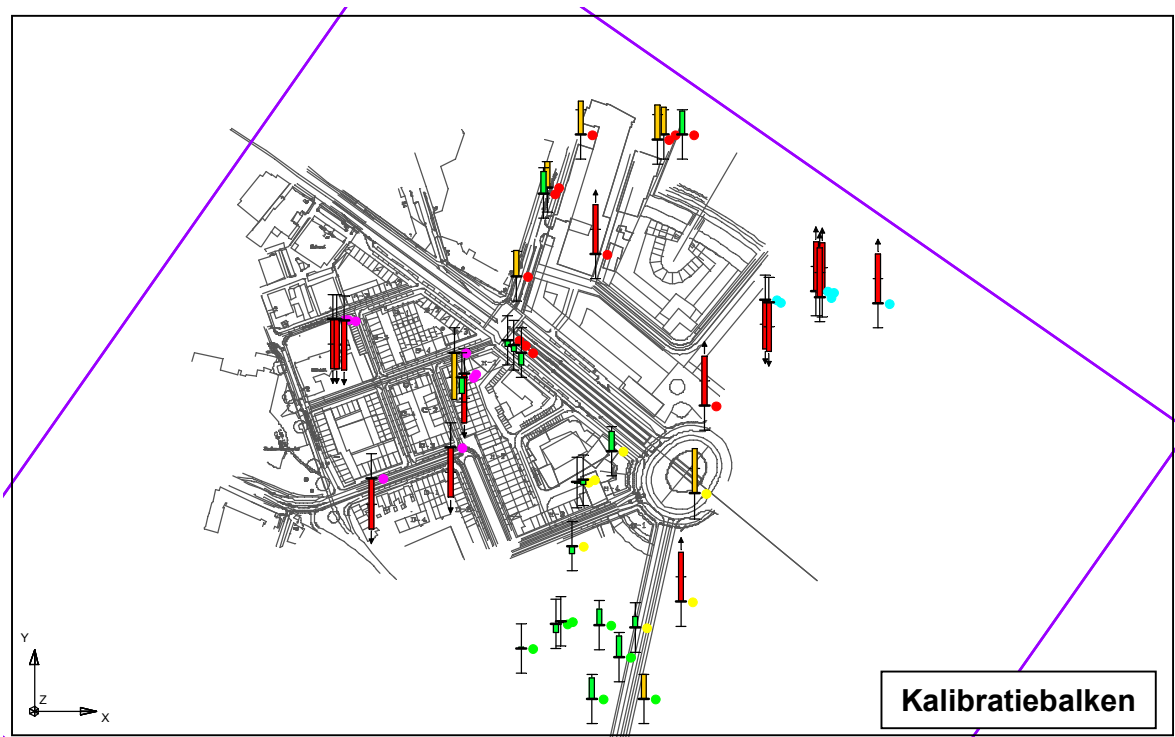
Verder zijn er in de westelijke en oostelijke hoekpunten van de wand onttrekkingen over het gehele eerste watervoerende pakket geplaatst, om regelbare (debiet) waterdoorgangen te simuleren. Bijlagen 1.7 en 1.8 laten de stroombanen zien, bij een reeks van totaal debieten door de waterdoorgangen: 36, 18, 9, en 4.5 m<sup>3</sup>/d. In de situatie waar 36 m<sup>3</sup>/d onttrokken wordt stromen alle deeltjes door de waterdoorgangen. In deze situatie wordt het gehele te verwerken debiet onttrokken. Wanneer de helft van het te verwerken debiet onttrokken wordt (18 m<sup>3</sup>/d) stroomt een deel van de deeltjes die gestart zijn in de meest noordwestelijke startlocatie op de A-contour langs het ijzerscherm. In de situatie waar 9 m<sup>3</sup>/d onttrokken wordt, stromen deeltjes in de noordwestelijke en zuidoostelijke startlocaties op de A-contour langs het ijzerscherm. De deeltjes startend op de C-contour stromen in de bovengenoemde situaties wél naar de onttrekkingen. Echter in de situatie waar 4.5 m<sup>3</sup>/d onttrokken wordt stromen enkele deeltjes afkomstig van de zuidelijke startlocaties op de C-contour langs het scherm.

In de toekomst zal rond de locatie een saneringssysteem gaan functioneren. Dit systeem is in het model ingevoerd, volgens de specificaties van Heijmans Milieutechniek. Bijlagen 1.9 en 1.10 tonen de isohypsen in het freatisch pakket en de lagen van het eerste watervoerende pakket als gevolg van de infiltratie en onttrekking. De isohypsen laten een sterk beïnvloed stromingspatroon zien. Ter plekke van de ijzerwand een verlaging in grondwaterstand van 0.4 m in de lagen boven de Eemklei. De grondwaterstroming heeft ter plekke van de toekomstige ijzerwand een meer noordelijke richting dan in de natuurlijke situatie, daarbuiten is de richting minder eenduidig. Om het effect van het saneringssysteem op het functioneren van de ijzerwand te bepalen zijn de situaties met een debiet van 36 en 4.5 m<sup>3</sup>/d doorgerekend. Bijlage 1.11 toont de stroombanen. In de situatie waar een debiet van 36 m<sup>3</sup>/d wordt doorgelaten eindigen een aantal deeltjes, afkomstig van de westelijke kant op de A-contour, in een nabijgelegen onttrekkingsfilter. De situaties waarin 4.5 m<sup>3</sup>/d wordt onttrokken toont behalve bovengenoemd effect ook het effect dat een aantal deeltjes, afkomstig van de zuidelijke en oostelijke kant op de A- en C-contour, terechtkomen in een oostelijke gelegen onttrekkingsfilter. In beide situaties stromen er dus minder deeltjes door de ijzerwand, dan in de natuurlijke situatie. Het effect is echter beperkt.

## 5 Kalibratie grondwatermodel

Het grondwaterstromingsmodel is gekalibreerd met behulp van stijghoogtegegevens uit juli 1997 en juni 2000. De stijghoogtes uit juni 2000 zijn afkomstig van nieuw geplaatste peilbuizen. Het model met de oorspronkelijke parameters is eerst bestudeerd.

Het model met de oorspronkelijke parameters is eerst bestudeerd. Figuur 5 laat een locatieoverzicht zien met de plaatsen waar stijghoogten gemeten zijn. Naast de locaties is een kalibratie balkje afgebeeld. Dit balkje heeft al naar gelang de berekende en gemeten stijghoogtes overeenkomen, de kleur groen, oranje of rood. Een groene balk impliceert dat de berekende stijghoogte binnen een marge van 25 cm van de gemeten stijghoogte ligt. Een oranje balk betekent dat de berekende stijghoogte binnen een marge van 25 tot 50 cm van de gemeten stijghoogte ligt. Een rode balk wil zeggen dat de berekende stijghoogte meer dan 50 cm van de gemeten stijghoogte afwijkt. Uit figuur 2.1 blijkt dat in het gebied ten zuidwesten van het ijzerscherp hogere stijghoogtes gemeten worden dan dat het model voorspelt. Verder worden in het gebied ten oosten van de locatie lagere stijghoogtes gemeten dan voorspeld. De modelvoorspellingen in het centrale gebied rond het ijzerscherp zijn op de meeste plaatsen binnen 25 cm nauwkeurig.



Figuur 5: kalibratie oorspronkelijk model

In het algemeen kunnen we stellen dat de metingen uit 1997 minder representatief voor de huidige situatie zijn dan de metingen in de nieuw geplaatste peilbuizen. In de periode van 1997 tot heden zijn diverse saneringswerkzaamheden uitgevoerd. Welke saneringen werkzaam zijn geweest gedurende de meetperiode van juni 1997 is niet exact meer te achterhalen. Daarom is er bij de calibratie vooral aandacht besteed aan de recente metingen uit juni 2000.

In een poging om de voorspellingen van het model in het westelijke gebied passend te krijgen is de stadsplattegrond van Amersfoort bestudeerd. Deze stadsplattegrond laat een vijverpartij zien ter plaatse van de Dollardstraat (behorend bij het bejaardenhuis). Deze vijver is vervolgens in het model opgenomen als een vast-peil-randvoorwaarde. Exacte gegevens over het waterpeil zijn niet bekend, maar er is een peil aangenomen van 0.5 m beneden maaiveld (3.5 m +NAP). Dit heeft een aanzienlijke verhoging van berekende stijghoogtes in het westelijke deel van het model tot gevolg, wat beter past met de gemeten stijghoogtes.



Vervolgens zijn een aantal bodemparameters gekalibreerd met het kalibratieprogramma PEST (Parameter Estimation). Het programma PEST voert een automatische kalibratie uit van variabelen binnen bepaalde grenzen, die door de gebruiker opgegeven dienen te worden. Het modelgebied is in drie gebieden verdeeld: een westelijke zone (met oorspronkelijk te lage stijghoogten), een midden zone en een oostelijke zone (met oorspronkelijk te hoge stijghoogten). Per zone zijn variabelen gedefinieerd. Tabel 4 geeft een overzicht van de parameters die gekalibreerd zijn (de variabelen), de grenzen waarbinnen kalibratie heeft plaatsgevonden en de resulterende waarde voor de parameter na kalibratie.

Tabel 4: Kalibratieparameters

Parameter	Minimum	Maximum	Resultaat na kalibratie		
			West	Midden	Oost
Hor. doorlatendheid bovenste laag 1e wvp	4 m/d	10 m/d	10 m/d	4 m/d	4 m/d
Hor. doorlatendheid onderste laag 1e wvp	7 m/d	20 m/d	20 m/d	7 m/d	20 m/d

Zoals te zien in tabel 4, zijn alleen de doorlatendheden van het eerste watervoerende pakket gekalibreerd. De freatische laag is buiten beschouwing gelaten, omdat de invloed van deze laag op het totale systeem relatief gering is. De weerstand van de veenlagen is eveneens constant verondersteld, een door boringen verkregen beeld wijst in deze richting.

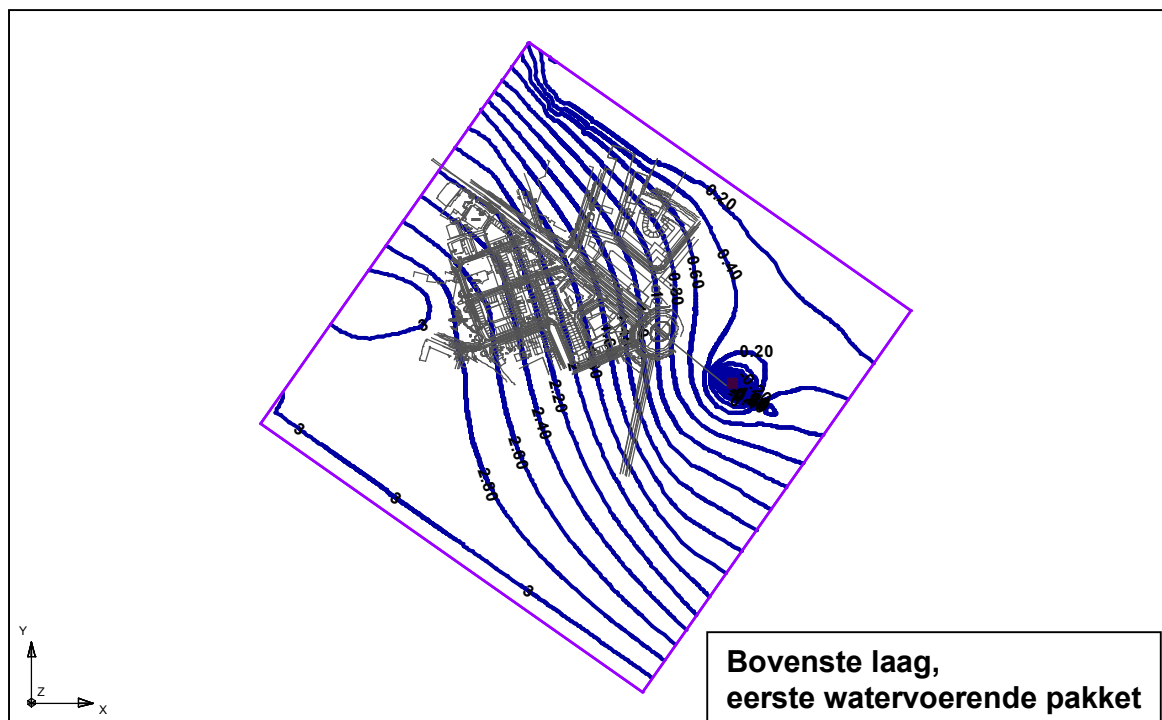
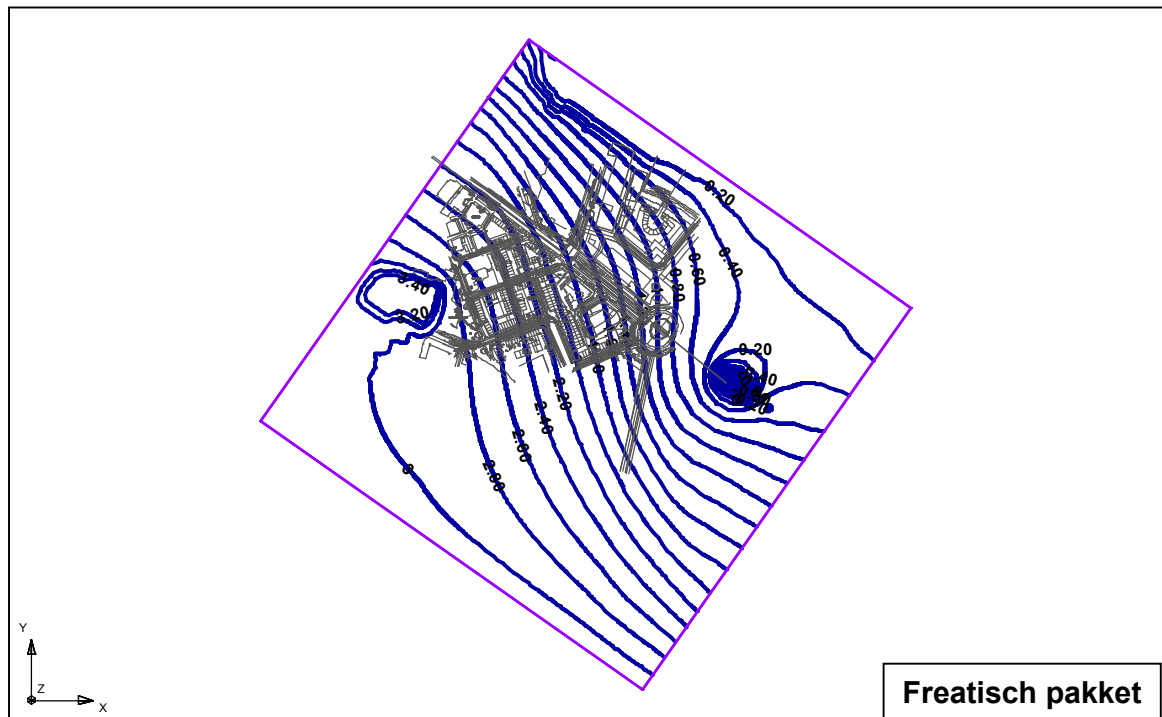
De weerstand van de Eemklei is constant verondersteld evenals de doorlatendheid van het tweede watervoerende pakket. Tabel 5 toont alle modelparameters, zoals ze in het gekalibreerde model zijn gebruikt.

Tabel 5: modelparameters van het gekalibreerde model.

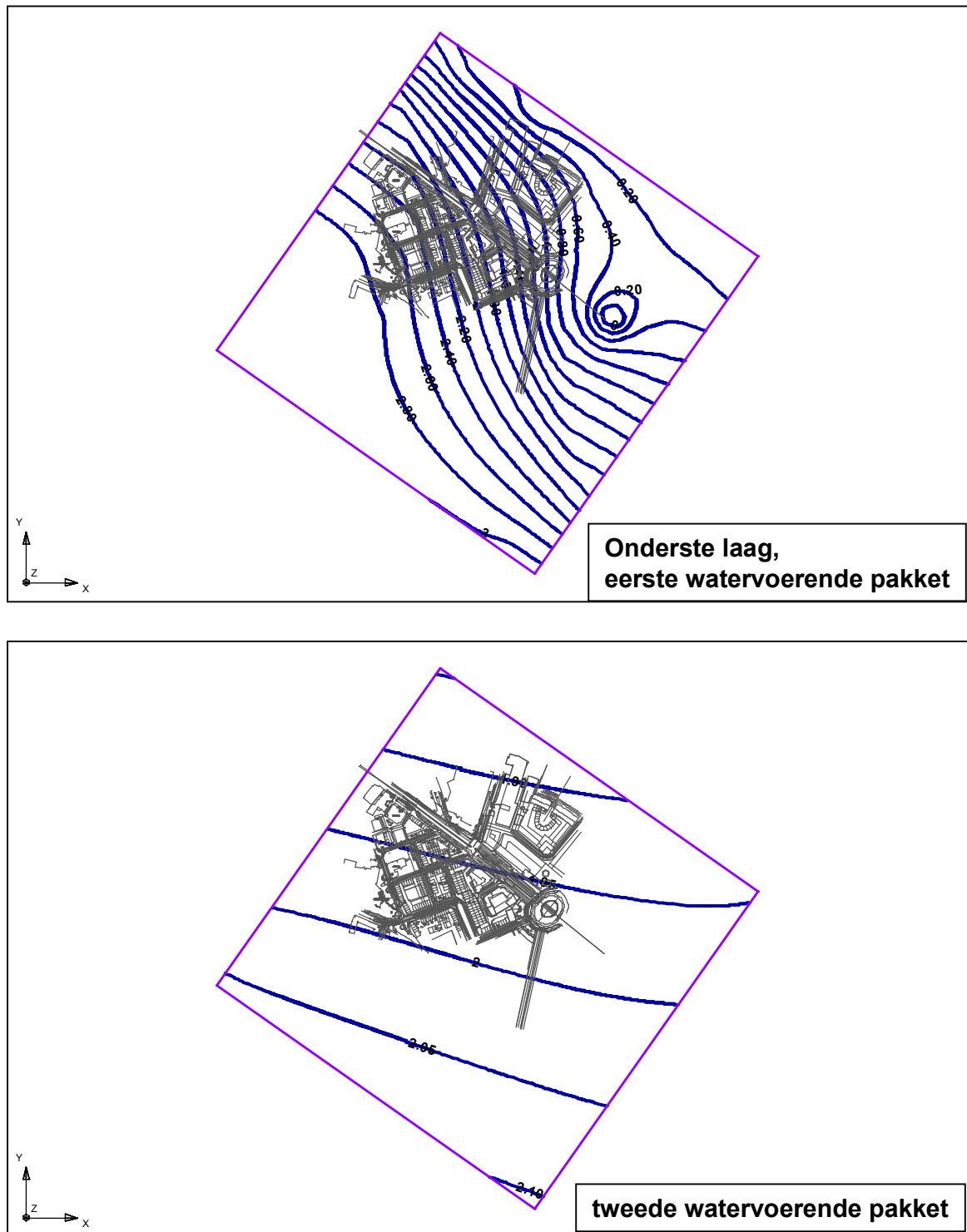
Laag	Hor. doorlatendh. (m/d)			Vert. doorlatendh. (m/d)		
	West	Midden	Oost	West	Midden	Oost
Freatisch	1	1	1	0.33	0.33	0.33
Eerste veenlaag	0.02	5 <sup>*1</sup>	0.1	0.02	5 <sup>*1</sup>	0.1
Bovenste laag, eerste wvp	10	4	4	3.33	1.33	1.33
Tweede veenlaag	0.02	<sup>*1</sup>	0.1	0.02	<sup>*1</sup>	0.1
Onderste laag, eerste wvp	20	7	20	6.67	2.33	6.67
Eemklei	1.1*10 <sup>-3</sup>	1.1*10 <sup>-3</sup>	1.1*10 <sup>-3</sup>	1.1*10 <sup>-3</sup>	1.1*10 <sup>-3</sup>	1.1*10 <sup>-3</sup>
Tweede wvp	60	60	60	20	20	20

<sup>\*1</sup>: De veenlaag is in twee delen opgedeeld, een westelijk en oostelijk deel. Ter plaatse van het ijzerscherp is de bovenste veenlaag ontgraven en aangevuld met zand (hor. en vert. doorlatendh. 5 m/d).

De resultaten van de kalibratie zijn te zien in figuur 6 t/m 8. Figuur 6 en 7 tonen de isohypsen van het gekalibreerde model in de verschillende lagen. Figuur 8 toont de plattegrond van het gebied met de kalibratiebalken.

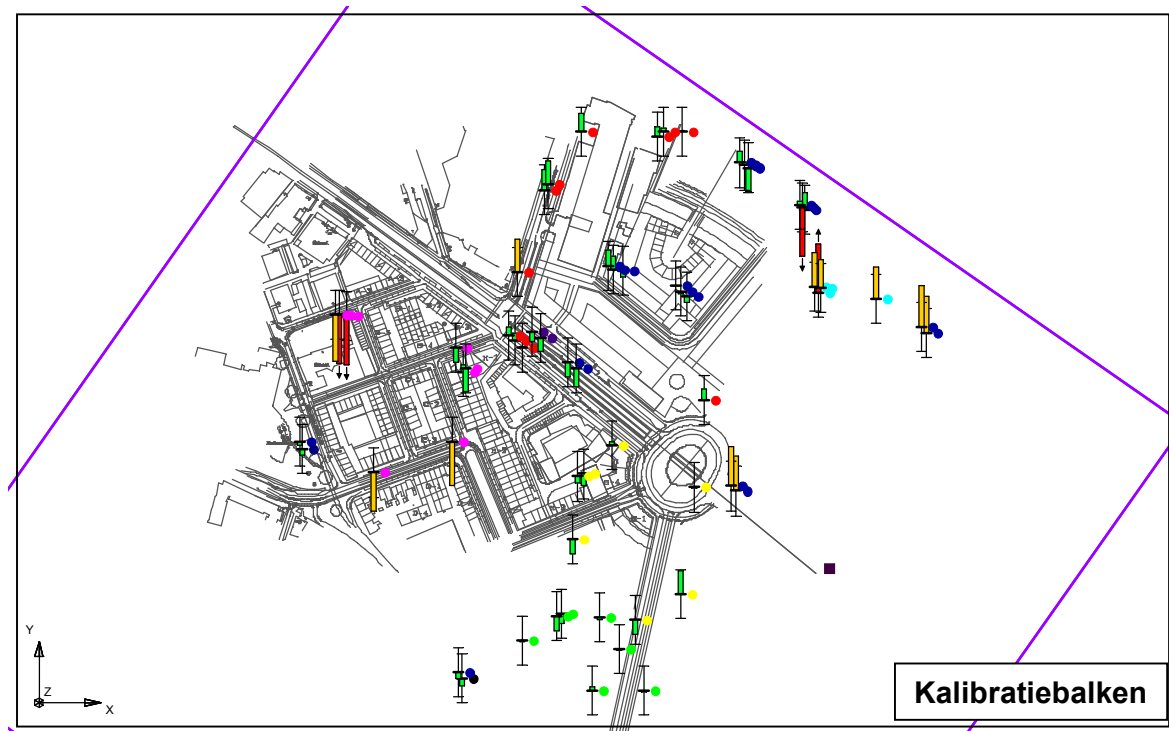


Figuur 6: Isohypsens gekalibreerd model



Figuur 7: Isohypsen gekalibreerd model





Figuur 8: Kalibratie aangepast model

Uit figuur 8 blijkt dat op de meeste punten de gemeten stijghoogte met de berekende stijghoogte overeenkomt. Op een aantal plaatsen is dat niet het geval. In het gebied ten westen van het ijzerscherm tonen de metingen uit 1997 een hogere stijghoogte dan berekend. De gemeten stijghoogte in de recent geplaatste peilbuis in dat gebied komt echter wel overeen met de berekende stijghoogte. Deze recente peilbuis wordt als maatgevend verondersteld. Ook is in een aantal peilbuizen in het noordoosten dichtbij de Eem zowel in de recente als oudere peilbuizen een lagere stijghoogte gemeten dan berekend. Dit komt wellicht door saneringswerkzaamheden (onttrekkingen) in dit gebied ten tijde van de peilingen, die plaatselijk de grondwaterstand verlaagd hebben. Deze sanering is echter niet in het model opgenomen en niet van belang voor de modellering van het grondwater rondom het ijzerscherm. Er kan geconcludeerd worden dat de verschillen tussen de gemeten en berekende stijghoogten rondom de toekomstige locatie van het ijzerscherm gering zijn (kleiner dan 25 cm) en dat de gemodelleerde grondwaterstroming ter plaatse van het scherm representatief voor de veldsituatie is.

## 6 Modelberekeningen stap 2

In verband met de ontwikkelingen ten aanzien van de ruimtelijke inrichting (kabels en leidingen) zijn twee nieuwe varianten geselecteerd (zie figuur 9). Deze twee varianten zijn verder uitgewerkt.



Figuur 9: Aangepaste varianten ijzerscherm (links variant 1, rechts variant 2)

Uitgangspunt is een zo laag mogelijk debiet door de ijzerwand. De verontreiniging mag echter niet om het scherm stromen. Om dit te waarborgen moet het ijzerscherm in het model blijven functioneren in een aantal scenario's:

- gemiddelde seizoensituatie
- zomer situatie
- winter situatie
- grootschalig grondwatersaneringssysteem aan
- parkeergarage ter plaatse van de ijzerwand (7 m -mv) en damwand (13 m -mv) ten zuidoosten van de ijzerwand.

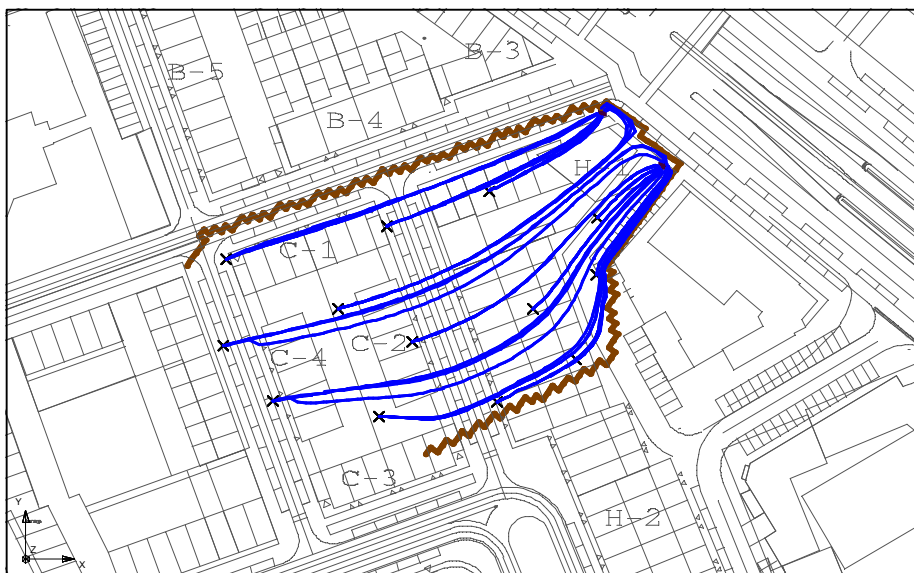
### 6.1 Variant 1

Een ijzerscherm met een debiet van  $15 \text{ m}^3/\text{d}$  door de gates van de wand, functioneert volgens het model in alle bovengenoemde gevallen. Dit is gecontroleerd d.m.v. stroombaanberekeningen. In de modellering is gerekend met een weerstand van 1000 d voor de wand.

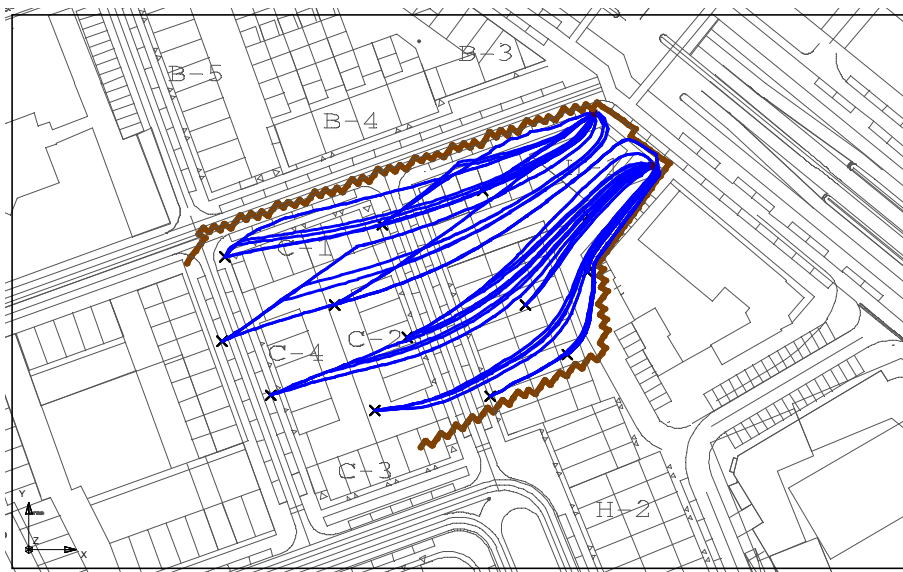
Figuur 10 toont de stroombanen bij het ijzerscherm in een gemiddelde seizoensituatie, figuur 11 in de zomersituatie en figuur 12 in de wintersituatie. Figuur 13 toont het functioneren van het ijzerscherm ten tijde dat een grootschalig saneringssysteem actief is. Figuur 14 tenslotte toont de situatie met een parkeergarage ter plaatse van de ijzerwand en een damwand ten zuidoosten van het ijzerscherm.



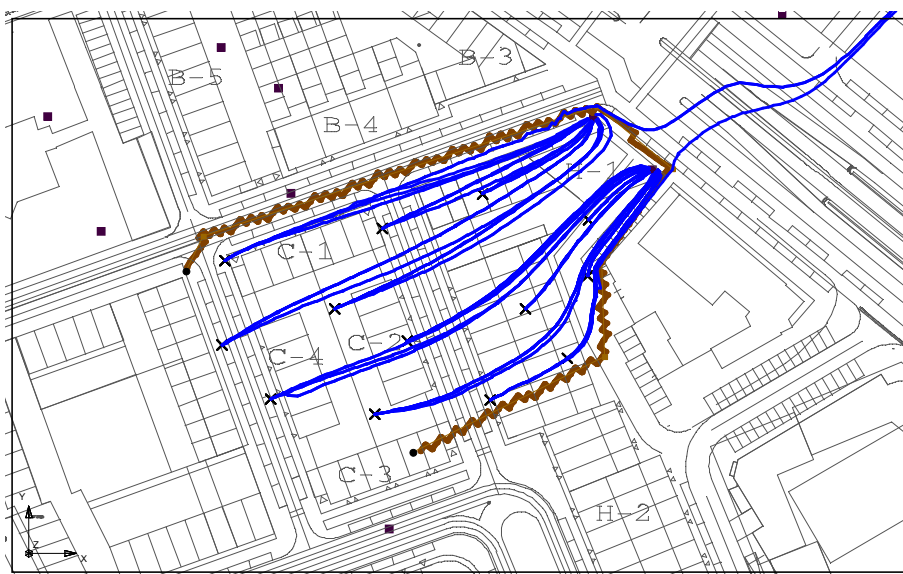
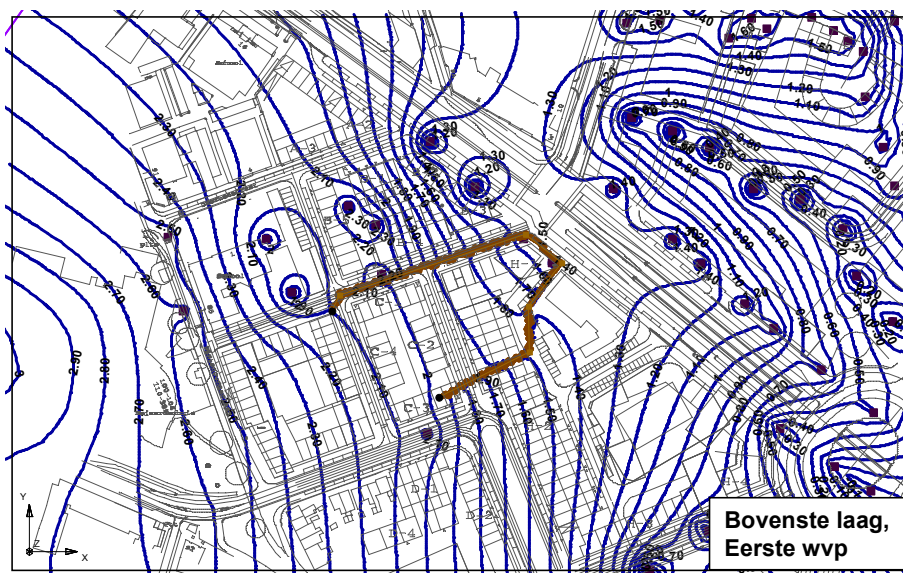
Figuur 10: Gemiddelde seizoenssituatie



Figuur 11: Zomersituatie

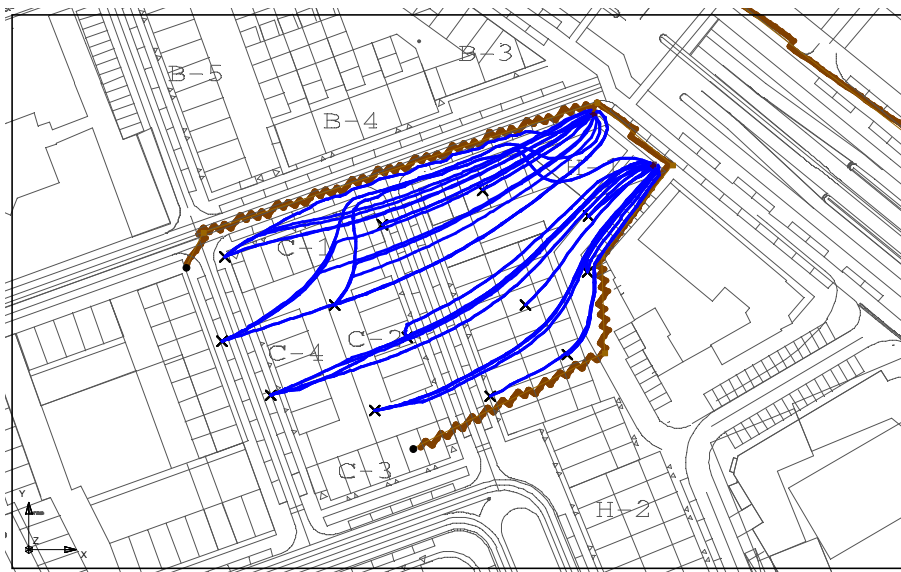


Figuur 12: Wintersituatie



Figuur 13: Grondwatersanering aan





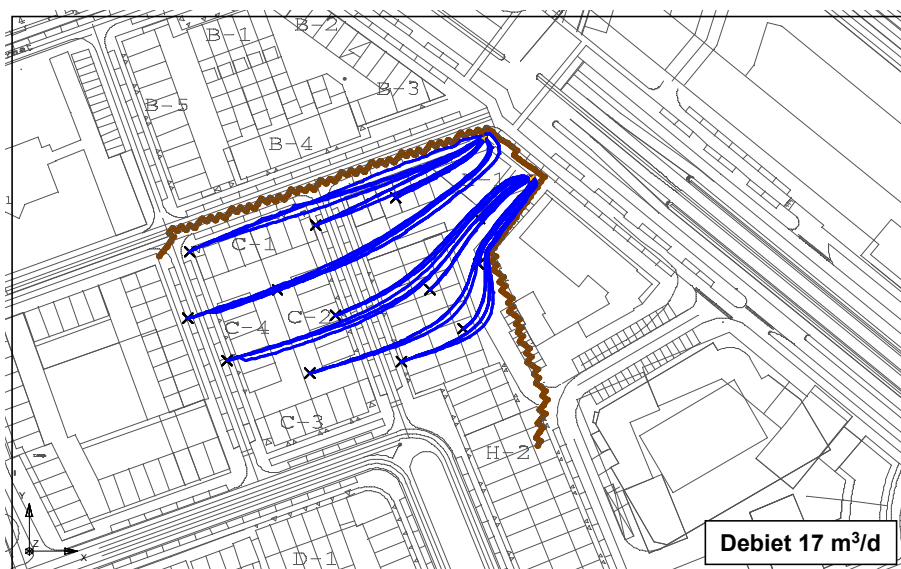
Figuur 14: Parkeergarage en damwand

## 6.2 Variant 2

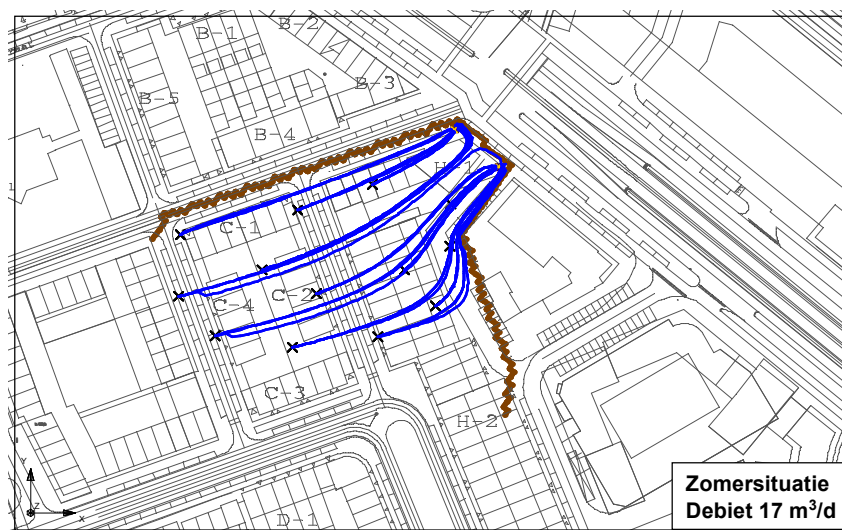
Voor de tweede voorkeursvariant zijn de stroombanen vanuit de verontreinigingscontouren getekend voor een aantal situaties:

- gemiddelde seizoenssituatie (figuur 15)
- zomersituatie (figuur 16)
- wintersituatie (figuur 17)
- situatie met een parkeergarage en damwand (figuur 18)
- situatie met een grootschalig saneringssysteem (figuur 19)

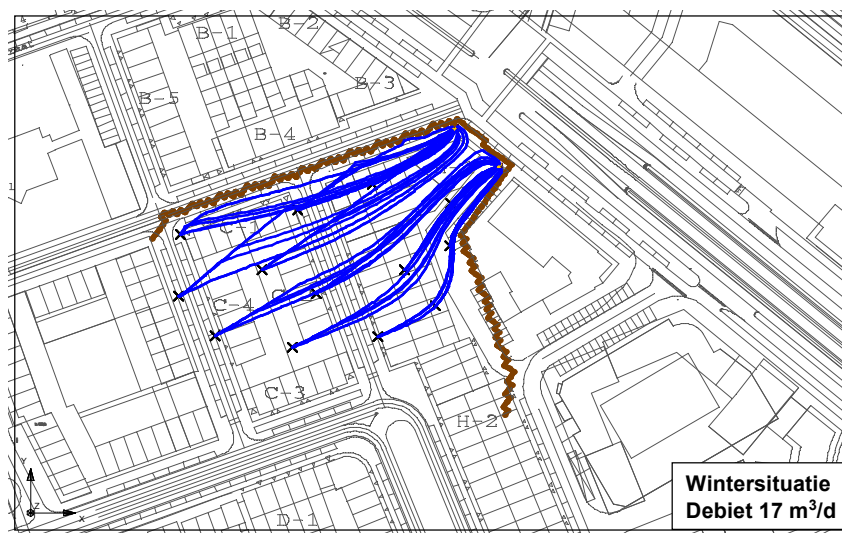
De scherm lengte van de tweede voorkeursvariant is 239 m, dit is 11 m korter dan de eerste voorkeursvariant. Echter het minimale debiet waarbij het scherm goed functioneert is 1/3 hoger dan bij de eerste voorkeursvariant: 20 m<sup>3</sup>/d i.p.v. 15 m<sup>3</sup>/d. Een andere bijkomstigheid is dat de configuratie van de tweede voorkeursvariant gevoeliger is voor afwijkingen in grondwaterstromingsrichting.



Figuur 15: Gemiddelde seizoenssituatie



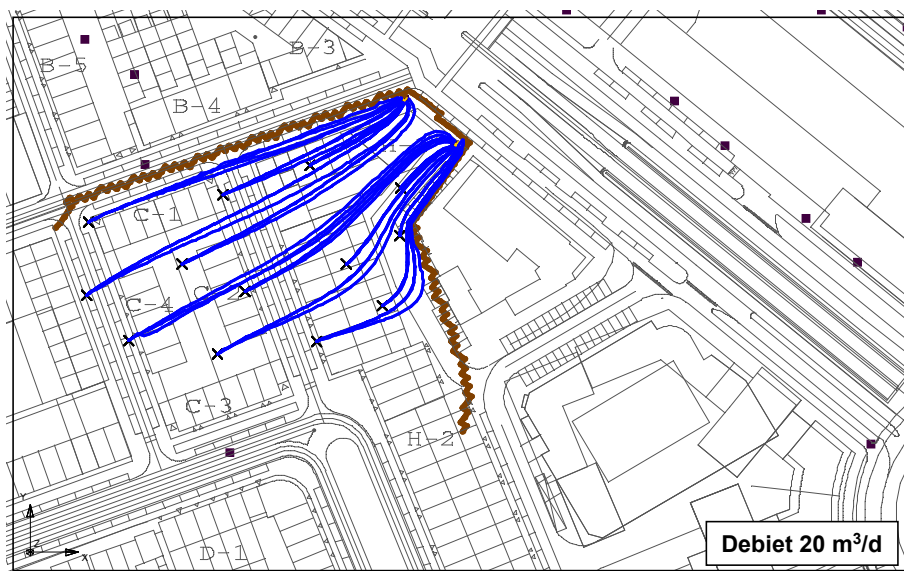
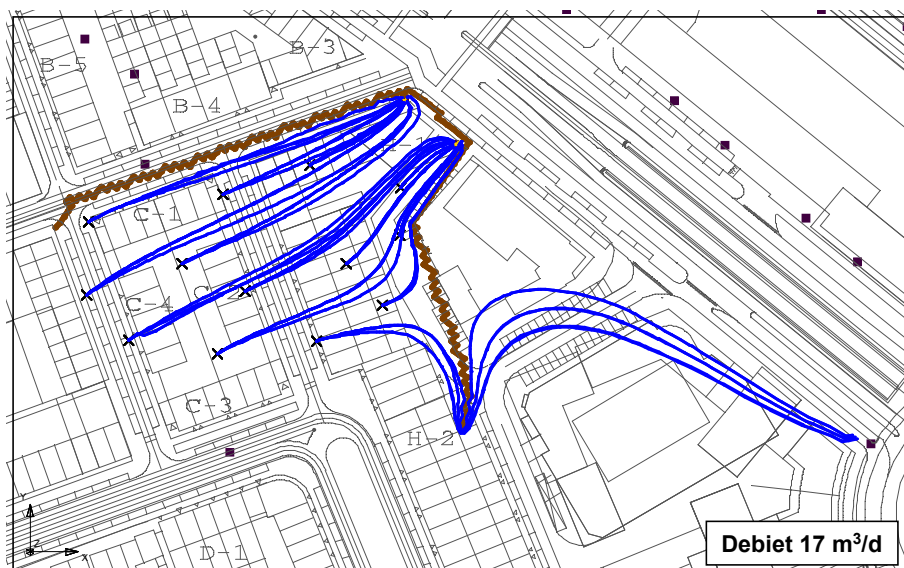
Figuur 16: Zomersituatie



Figuur 17: Wintersituatie



Figuur 18: Parkeergarage en damwand

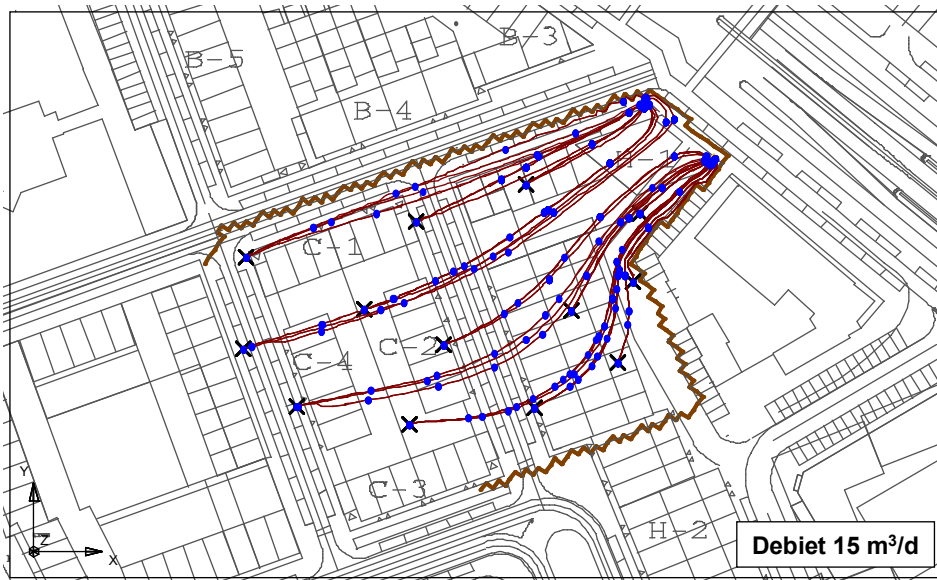


Figuur 19: Grondwatersanering aan



## 7 Vertaling naar de praktijk

Er is gekozen voor een damwand in de vorm van een "funnel". De exacte locatie van het scherm is na veel overleg vastgesteld. Een permanent scherm vraagt namelijk nogal wat van de gebruikers van de locatie. De wand mag, zelfs gedeeltelijk, niet meer worden verwijderd of beschadigd. De wand moet daarom op publiek terrein worden geplaatst en zo min mogelijk kabels en leidingen en kelders kruisen. De ligging van het definitieve scherm is weergegeven in figuur 20. Om al het verontreinigde grondwater uit de bronzone af te vangen wordt 15 m<sup>3</sup>/dag water onttrokken in de funnel.



Figuur 20: Ligging van het scherm en grondwaterstroombanen in de eindsituatie

Vanwege de tijdelijke omlegging van de Amsterdamseweg kan de 'oostelijke poot' van de funnel pas over circa drie jaar aangelegd worden. Om in deze periode te kunnen voldoen aan de isolatie doelstelling worden er aan deze zijde bij de funnel twee extra onttrekkingsputten (elk 2,5 m<sup>3</sup>/d) geplaatst. Met een totale onttrekking van 20 m<sup>3</sup>/dag wordt het grondwater ook in deze situatie voldoende ingevangen (zie figuur 21).

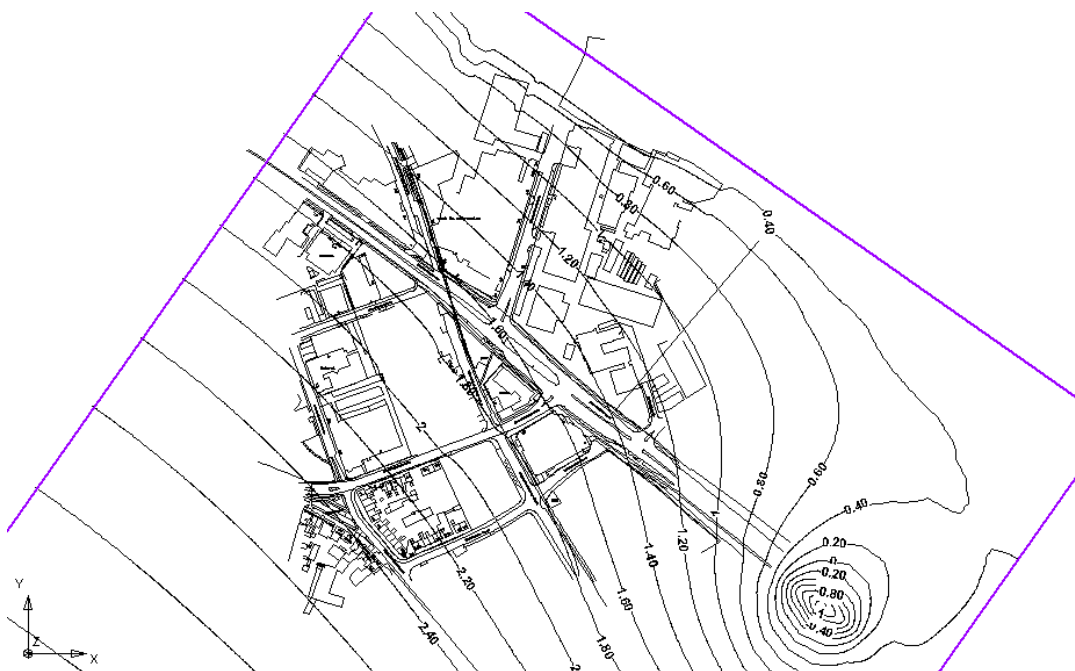


Figuur 21: Scherm gedurende omlegging Amsterdamseweg

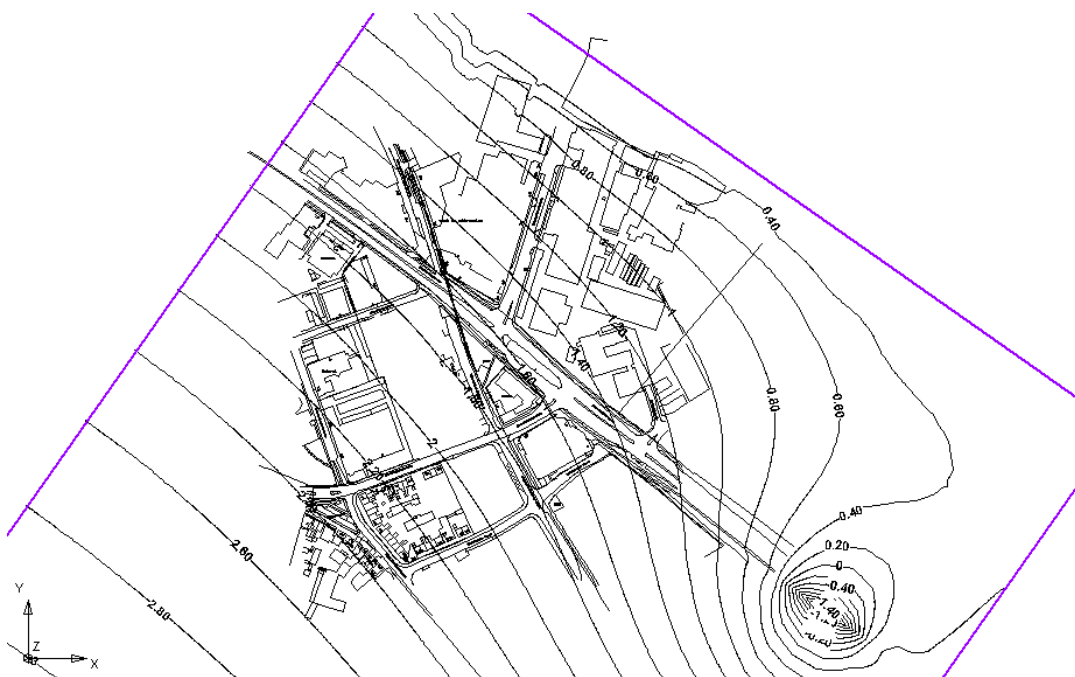


---

## **Bijlage 1: Resultaten geohydrologisch model**



Freatische laag



Bovenste laag, eerste watervoerende pakket



Postbus 69, 2600 AB Delft  
Nederland

Telefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21

Datum.  
2000-08-29

Get.  
Goos

**IJzerscherp Amersfoort**

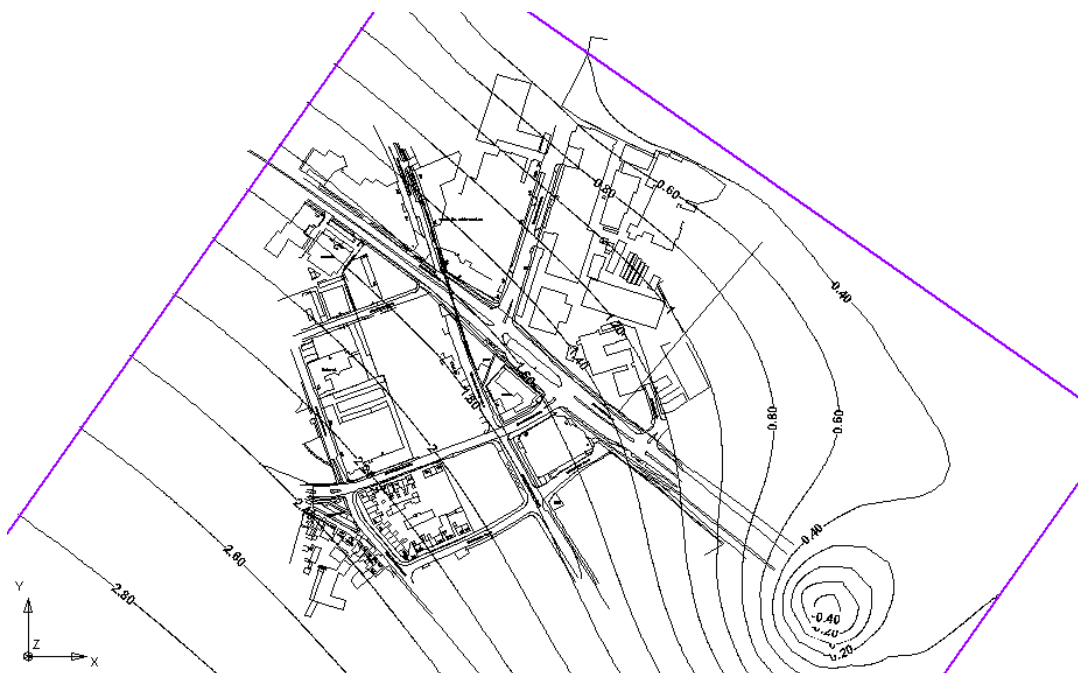
Isohypsen natuurlijke situatie

CO - 392580

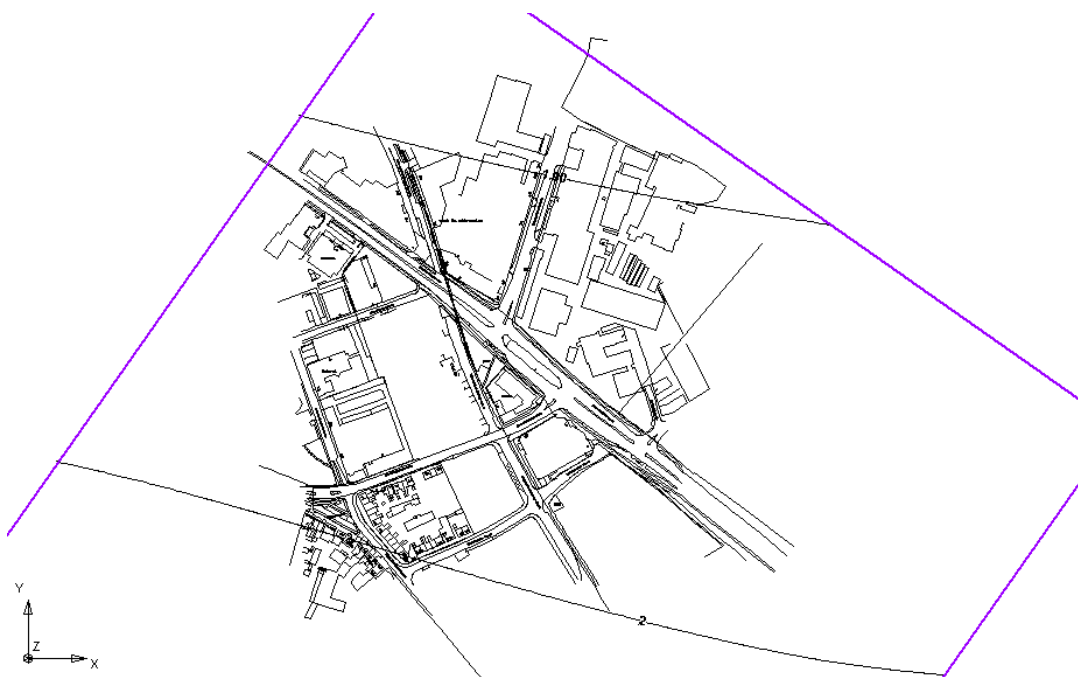
Get.

BIJL. .1.1

Form.  
A4



Onderste laag, eerste watervoerende pakket



Tweede watervoerende pakket

Postbus 69, 2600 AB Delft  
NederlandTelefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21Datum.  
2000-08-29Get.  
Goos**IJzerscherp Amersfoort**

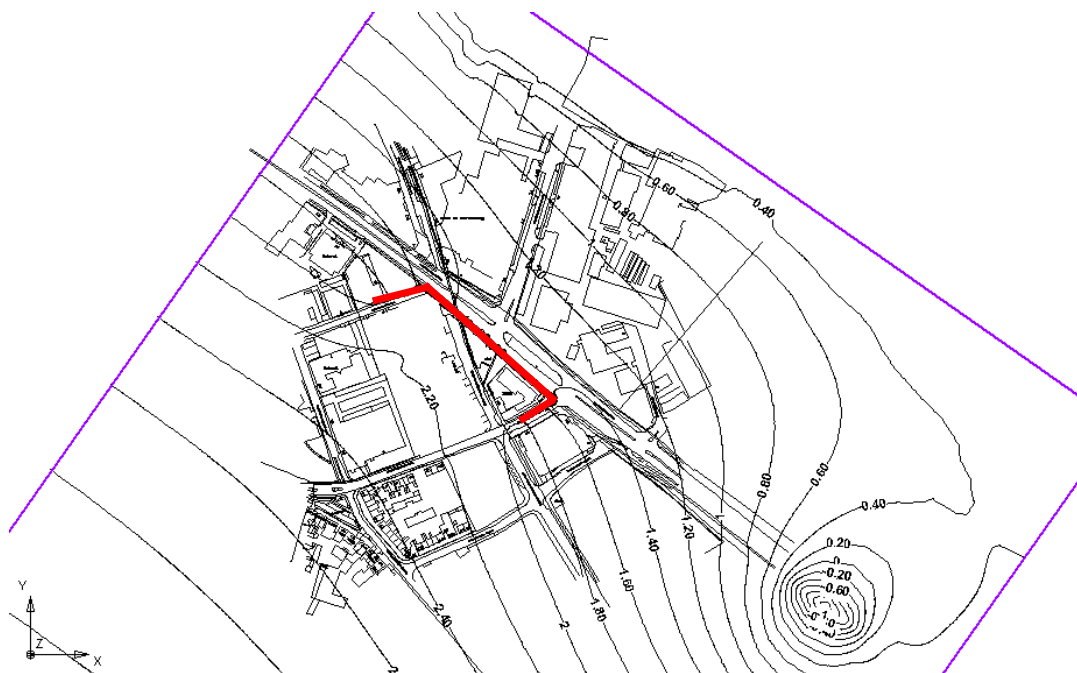
Isohysen natuurlijke situatie

CO - 392580

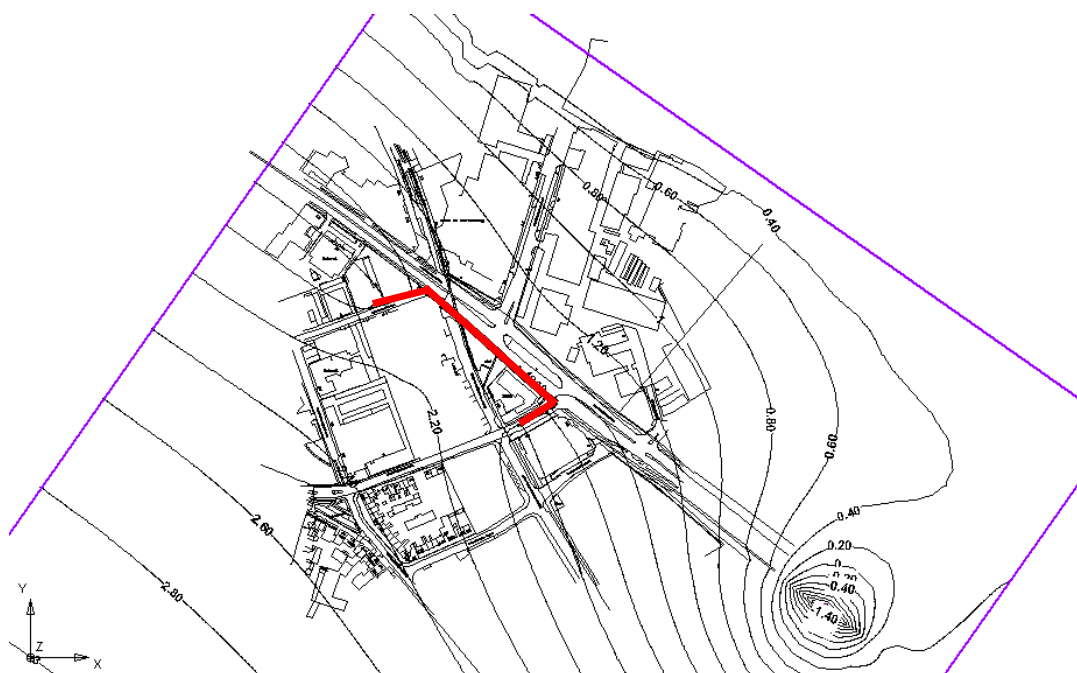
Get.

BIJL. 2.2

Form.  
A4



Freatische laag



Bovenste laag, eerste watervoerende pakket



Postbus 69, 2600 AB Delft  
Nederland

Telefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21

Datum.  
2000-08-29

Get.  
Goos

**IJzerscherm Amersfoort**

Isohypsen variant 1

CO - 392580

Get.

BIJL. 3.3

Form.  
A4



Onderste laag, eerste watervoerende pakket



Freatisch pakket, opbolling

Postbus 69, 2600 AB Delft  
NederlandTelefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21Datum.  
2000-08-29Get.  
Goos

Ijzerscherm Amersfoort

Isohypsens variant 1

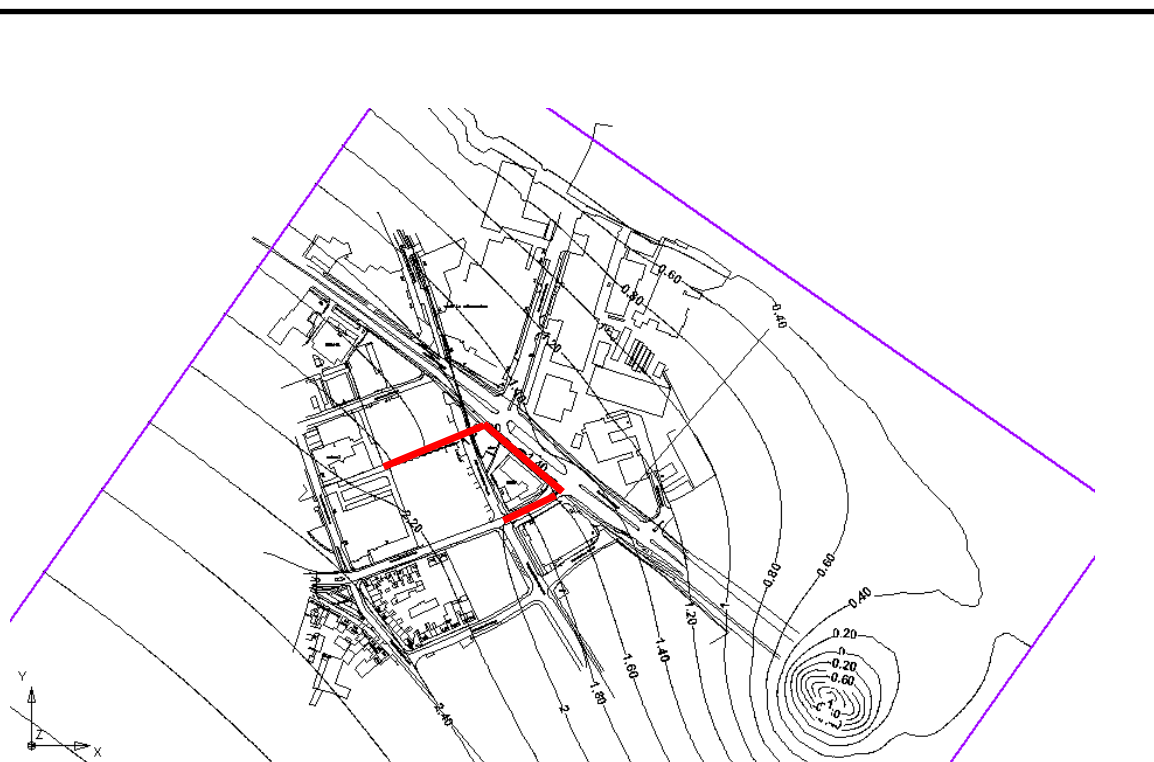
CO - 392580

Get.

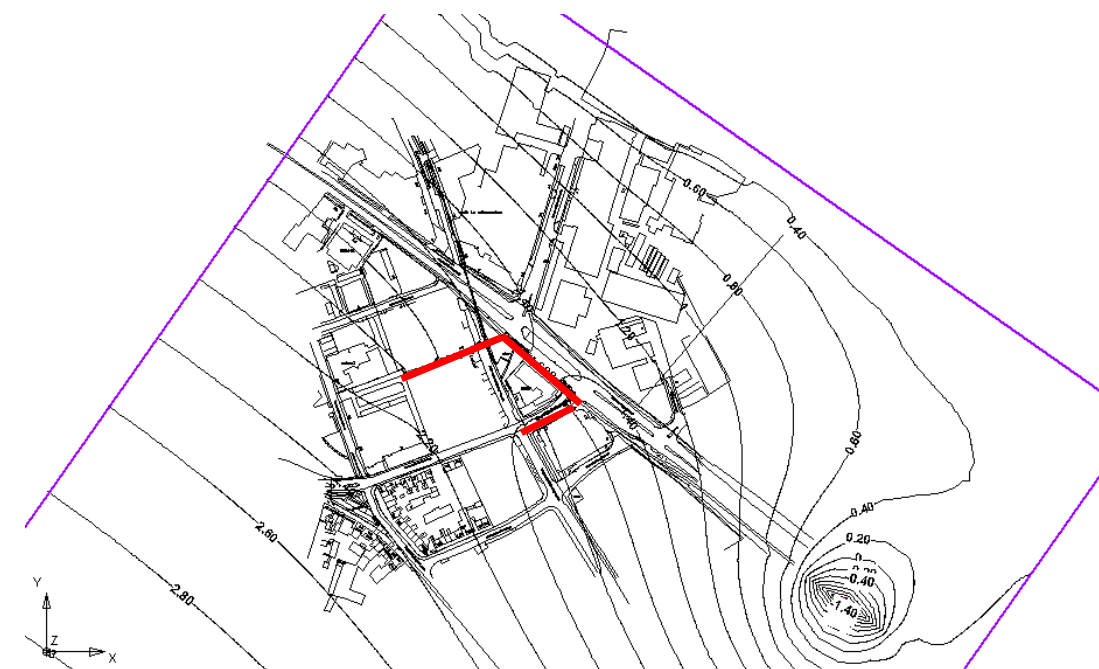
BIJL. 4.4

Form.  
A4





Freatische laag



Bovenste laag, eerste watervoerende pakket



Postbus 69, 2600 AB Delft  
Nederland

Telefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21

Datum.  
2000-08-29

Get.  
Goos

**IJzerscherm Amersfoort**

Isohypsens variant 2

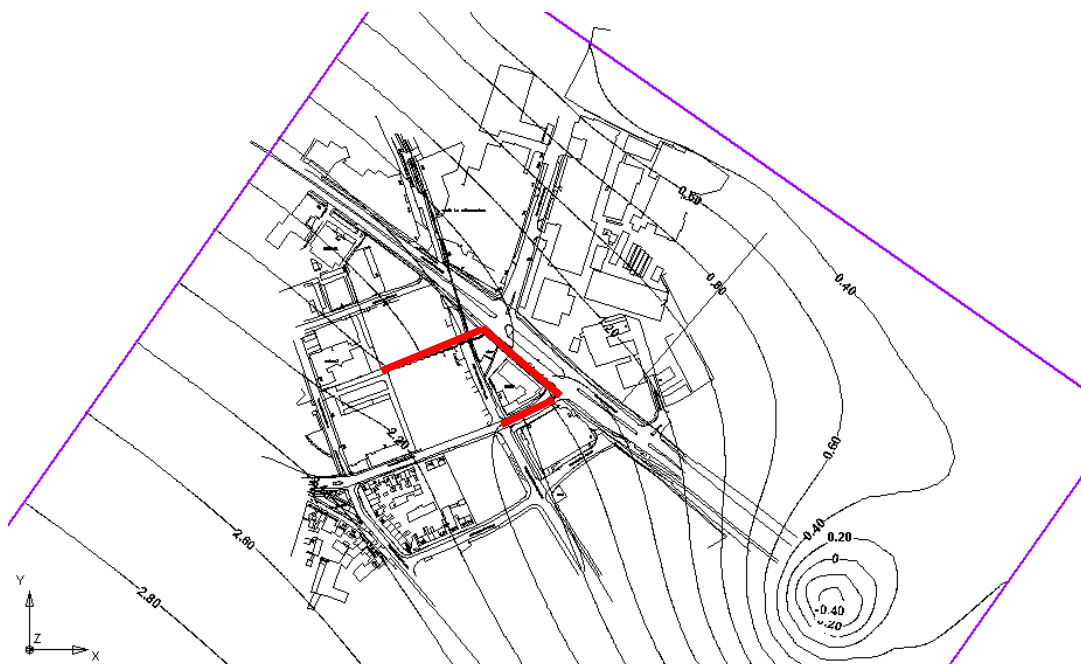
CO - 392580

Get.

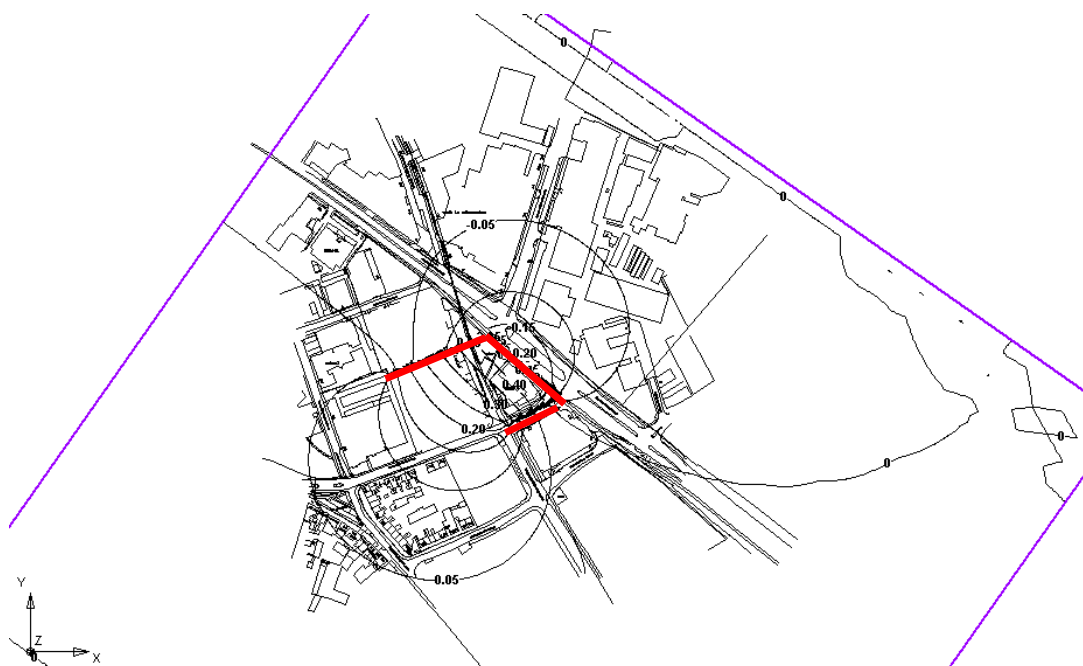
BIJL. 5.5

Form.  
A4





Onderste laag, eerste watervoerende pakket



Freatisch pakket, opbolling

Postbus 69, 2600 AB Delft  
NederlandTelefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21Datum.  
2000-08-29Get.  
Goos**IJzerscherm Amersfoort**

Isohyphen en opbolling variant 2

CO - 392580

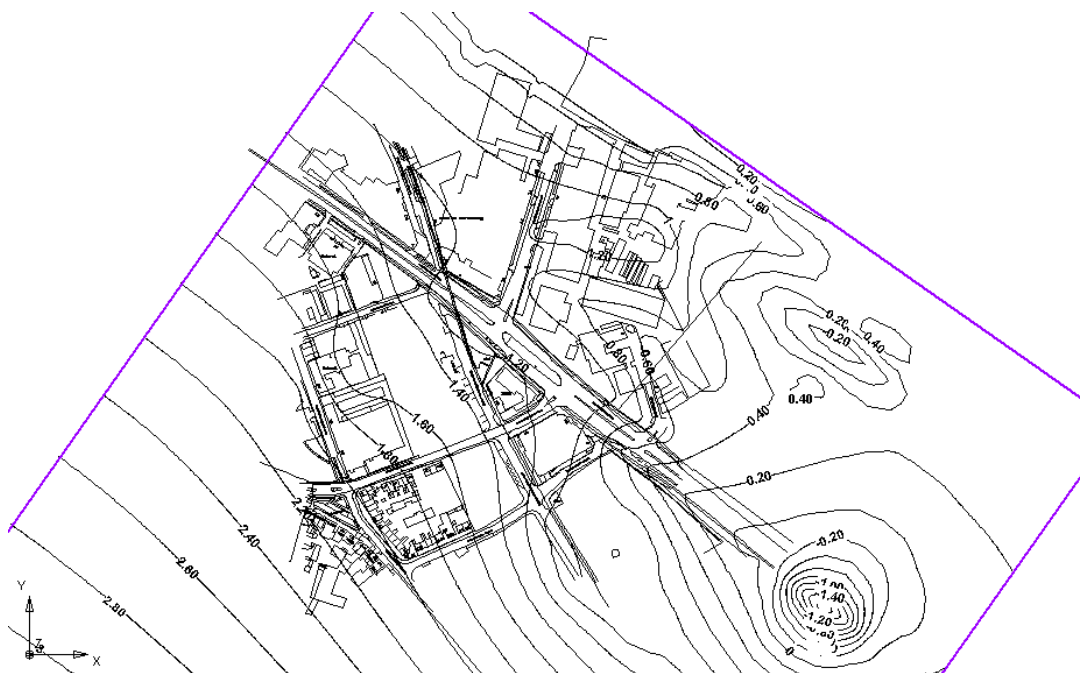
Get.

BIJL. 6.6

Form.  
A4







Freatische laag



Bovenste laag, eerste watervoerende pakket

Postbus 69, 2600 AB Delft  
NederlandTelefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21Datum.  
2000-08-29Get.  
Goos**IJzerschermer Amersfoort**  
Isohyphen saneringssysteem

CO - 392580

Get.

BIJL. 9.9

Form.  
A4



Onderste laag, eerste watervoerende pakket

Postbus 69, 2600 AB Delft  
NederlandTelefoon (015) 2 69 35 00  
Telefax (015) 2 61 08 21Datum.  
2000-08-29Get.  
Goos**IJzerscherm Amersfoort**  
Isohysen saneringssysteem

CO - 392580

Get.

BIJL. 1010

Form.  
A4



