

# **Geohydrologisch onderzoek MER Rijnboog**

**21 september 2010**



---

# **Geohydrologisch onderzoek MER Rijnboog**

**Bijlage bij het MER**



## Verantwoording

<b>Titel</b>	Geohydrologisch onderzoek MER Rijnboog
<b>Opdrachtgever</b>	Gemeente Arnhem, dienst Stadsontwikkeling
<b>Projectleider</b>	Marcel Boerefijn
<b>Auteur(s)</b>	Marcel Boerefijn, Marc Steenvoorden en Janna v.d. Meer
<b>Projectnummer</b>	4735112
<b>Aantal pagina's</b>	34 (exclusief bijlagen)
<b>Datum</b>	21 september 2010
<b>Handtekening</b>	

1.0  


## Colofon

Tauw bv  
afdeling Ruimte  
Handelskade 11  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
Telefoon (0570) 69 99 11  
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Kenmerk R003-4735112MPB-erp-V03-NL

---

---

## Inhoud

<b>Verantwoording en colofon .....</b>	<b>5</b>
<b>0 Samenvatting .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>11</b>
1.1 Aanleiding .....	11
1.2 Doel .....	11
1.3 De gevolgde werkwijze .....	11
1.4 Leeswijzer .....	11
<b>2 Huidige situatie .....</b>	<b>13</b>
2.1 Inleiding .....	13
2.2 Bodemopbouw .....	13
2.3 Doorlatendheid .....	16
2.4 Grondwaterstanden .....	16
2.5 Waterstanden Nederrijn .....	18
<b>3 Grondwatermodel .....</b>	<b>21</b>
3.1 Inleiding .....	21
3.2 Veluwe model .....	21
3.3 Aanpassingen .....	21
3.4 Modelresultaten .....	22
<b>4 Effecten van ondergrondse parkeergarages .....</b>	<b>27</b>
4.1 Inleiding .....	27
4.2 Resultaten .....	27
4.2.1 Onderzoeksvariant .....	27
4.2.2 Masterplanalternatief .....	27
4.3 Mitigerende maatregelen en evaluatie .....	34

**Bijlage(n)**

1. Ligging onderzoekslocatie
2. Locatie grondboringen
3. Gemeten grondwaterstanden
4. Detaillering Veluwe model
5. Modelresultaten huidige situatie
6. Huidige grondwateroverlast



---

## 0 Samenvatting

### **Doel en afperking**

Dit rapport is een bijlage bij het MER Rijnboog en beschrijft de effecten van de voorgenomen realisatie van ondergrondse parkeergarages op het grondwatersysteem.

### **Werkwijze**

Voor het berekenen van de effecten op het grondwatersysteem is gebruikt gemaakt van een grondwatermodel van de Veluwe en omgeving. Dit model is opgezet door TNO en is voor grondwaterstudies op en rond de Veluwe het best beschikbare model. Specifiek ten behoeve van het MER is het Rijnboog-gebied met meer detail in het model geïmplementeerd. Een belangrijk onderdeel hierbij is de vergelijking van berekende modeluitkomsten met gemeten grondwaterstanden. Hieruit blijkt dat het model goed geschikt is voor dit onderzoek.

### **Effecten van parkeergarages**

In Rijnboog zijn diverse parkeergarages gepland. Deze ondergrondse constructies kunnen een effect hebben op het grondwatersysteem omdat de doorstroming van het grondwater wordt beperkt. Uit de modelberekeningen blijkt dat aan de noordzijde van de parkeergarages een opstuwing van maximaal circa 1 decimeter wordt verwacht. Bij extreem hoogwater op de Rijn keert de grondwaterstroming tijdelijk om, en veroorzaken de kelders kortstondig een grondwaterstandverlaging van circa 0,05 m aan de noordzijde van de garages. Deze verlaging is ten opzichte van een situatie met extreem hoogwater maar zonder parkeergarages. Aan de zuidzijde van de garages is sprake van effecten kleiner dan 0,05 m. De effecten nabij de garages zullen naar verwachting niet leiden tot afgeleide effecten op bijvoorbeeld omliggende bebouwing en infrastructuur.

### **Mitigerende maatregelen**

De effecten van de parkeergarages op het grondwater zijn klein. Door het aanbrengen van drainage rondom een ondergrondse constructie kan indien gewenst een verdere effectreductie worden bereikt.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De beoogde ontwikkelingen in het Rijnbooggebied kunnen een effect hebben op de grondwaterstand in de stad Arnhem. In bijlage 1 is de regionale ligging van de onderzoekslocatie weergegeven.

## 1.2 Doel

Het doel van het geohydrologisch onderzoek is het voorspellen van de relevante geohydrologische effecten van de ondergrondse parkeergarages in het kader van het MER.

## 1.3 De gevolgde werkwijze

De effecten zijn doorgerekend met een aangepaste versie van het grondwatermodel van de Veluwe. Dit Veluwe-model is opgesteld door NITG-TNO en is voor grondwaterstudies op en rond de Veluwe het best beschikbare model. Specifiek ten behoeve van het MER is het projectgebied met meer detail in het model geïmplementeerd. Met het aangepaste model zijn de hydrologische effecten van de varianten en het masterplanalternatief doorgerekend (hoofdstuk 4).

## 1.4 Leeswijzer

Dit document betreft een technisch achtergrondrapport dat onderdeel is van het MER Rijnboog. Als eerste is in hoofdstuk 2 de geohydrologische schematisatie beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft het toegepaste grondwatermodel. In hoofdstuk 4 komen de resultaten van de modelberekeningen aan de orde.



## 2 Huidige situatie

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de huidige geohydrologische situatie beschreven. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende literatuurbronnen:

1. Aelmans, ing. F.G., Grondwaterkaart van Nederland, Arnhem-west, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft, juli 1981
2. Cornelissen, C.M.L. en Van Doorn, drs. T.H.M., Digitale grondwaterkaart van Nederland, Grondwatergegevens à la Carte. Beschrijving van de gegenereerde digitale gegevens uit het REGIS project voor de provincie Gelderland, TNO-rapportage NITG 02-161-B/ GW 03-10.081, d.d. 2003
3. Gegevens uit het Dinoloket van TNO-NITG (boorprofielen, sonderingen en grondwaterstanden)

Voor de beschrijving van de geohydrologie is onderscheid gemaakt in regionaal en lokaal. De regionale beschrijving betreft globaal het gebied dat is weergegeven in bijlage 1. De lokale beschrijving richt zich specifiek op het Rijnboog projectgebied.

### 2.2 Bodemopbouw

In tabel 2.1 is de bodemopbouw van het studiegebied (regionale situatie) en het projectgebied geschematiseerd weergegeven. De regionale beschrijving van de bodem is gebaseerd op basis van de gegevens van de Grondwaterkaart van Nederland (literatuur 1 en 2). In de beschrijving van de regionale situatie is aanvullend gebruik gemaakt van bodemgegevens uit het Dinoloket van TNO-NITG. De beschrijving van de bodemopbouw van het projectgebied is gebaseerd op basis van de lokaal geplaatste sonderingen (literatuur 4) en op basis van de boringen uit het Dinoloket van TNO-NITG, die in het projectgebied liggen.

In bijlage 2 zijn enkele dwarsprofielen, inclusief een overzichtstekening met de ligging van de dwarsprofielen, uit de digitale Grondwaterkaart van Nederland weergegeven (literatuur 2). In deze bijlage is tevens een overzichtstekening opgenomen met hierop weergegeven de boringen uit het Dinoloket van TNO-NITG.

Tabel 2.1 Geschematiseerde regionale en lokale bodemopbouw

Regionaal (studiegebied)			Lokaal (projectgebied)	
Diepte (m -mv)	Samenstelling	Geohydrologische eenheid	Diepte (m -mv)	Samenstelling
0,0- 0,0 à 3,0	Klei, slibhoudend zand en leem	Bovenlaag ( <i>Betuwe Formatie</i> )	0,0 - 4,0 à 10	Zand, leem en plaatselijk kleilagen
0,0 à 3,0 - 25,0	Matig grof tot zeergrof, grindhoudend zand	Eerste watervoerende pakket ( <i>Formaties van Kreftenheije en Drenthe</i> )	4,0 à 7,5 - 25,0	Zand, meet plaatselijk ingeschakelde dunne kleilagen
25,0 - 25,0 à 40,0	Fijn zand (leem) en klei	Eerste scheidende laag ( <i>Formatie van Kedichem</i> )	25,0 - 25,0 à 40,0	Fijn zand (leem) en klei
>25,0 à 35,0	Grof zand	Tweede watervoerende pakket ( <i>Formatie van Harderwijk</i> )	>25,0 à 35,0	Grof zand

Hieronder volgt allereerst een beschrijving van de regionale bodemopbouw. Aan het eind van deze paragraaf wordt specifiek ingegaan op de lokale bodemopbouw.

Het centrum van Arnhem ligt op de overgang van het gestuwde gebied van de Veluwe en het lager gelegen rivierengebied. Hiermee ligt de locatie eveneens op de overgang van het gebied zonder deklaag (gestuwd gebied) en het gebied met deklaag (rivierengebied).

### Bovenste bodemlaag

Uit de bodemopbouwgegevens van het Dinoloket blijkt dat de verbreidingsgrens van de deklaag (dat wil zeggen: het wel of niet aanwezig zijn van een deklaag) op korte afstand ten noorden van de Nederrijn ligt. Ter plaatse van het plangebied varieert de samenstelling van de bovenste bodemlaag sterk en kan bestaan uit, al dan niet een afwisseling van: klei, veen, fijn zand en leem.

**Eerste watervoerende pakket en eerste scheidende laag**

Het bovenste watervoerend pakket bestaat uit matig grof tot zeer grof zand met grindige bijmengingen<sup>1</sup>. Uit de meeste geselecteerde, diepe boringen van TNO-NITG blijkt dat vanaf circa 27 m -mv tot op een diepte van 45 m -mv een dunne scheidende laag voorkomt (meestal 1 tot 10 meter dik), bestaande uit klei of leem. De diepte van de eerste scheidende laag is niet eenduidig vast te stellen: plaatselijk begint deze zich op circa 27 m -mv, soms op 42 m -mv, echter meestal op circa 37 / 38 m -mv. Een enkele keer is de eerste scheidende laag afwezig.

Op basis van de dwarsprofielen uit bijlage 2 blijkt dat ter plaatse van het projectgebied de eerste scheidende laag aanwezig is op een diepte van circa 25 à 30 m -mv. Richting het noorden / Veluwe wordt de eerste scheidende laag dunner en vanaf de overgang van het rivierengebied naar de hoger gelegen Veluwe ontbreekt deze laag. Dan vormen het eerste en tweede watervoerende pakket één geheel.

**Tweede watervoerende pakket en tweede scheidende laag**

Het tweede watervoerende pakket heeft eenzelfde samenstelling als het eerste watervoerende pakket.

De tweede scheidende laag is op basis van de beschikbare gegevens over het algemeen moeilijker te herkennen dan de eerste scheidende laag. Indien de tweede scheidende laag voorkomt, komt deze voor op een diepte variërend van 60 tot 95 m -mv. Uit bijlage 2 blijkt dat dit tevens de derde scheidende laag kan betreffen. De tweede en derde scheidende laag komen boven elkaar voor, zonder tussenliggend derde watervoerende pakket. Dit is het geval in het projectgebied.

Richting het Veluwemassief is te zien dat de tweede en derde scheidende laag dieper in de ondergrond voorkomen, te weten tot circa 100 m -mv.

**Geohydrologische basis**

Onder de tweede en derde scheidende laag bevindt zich plaatselijk nog een dun derde watervoerend pakket. De basis van het gehele pakket bevindt zich op circa 100 à 150 m -mv.

---

<sup>1</sup> Het betreft een zogenaamd freatisch watervoerendpakket omdat er boven het pakket geen aaneengesloten klei of veenlagen voorkomen

### **Lokale detaillering**

Ter plaatse van de Rodenburgstraat zijn een 14-tal sonderingen geplaatst. De sonderingen zijn evenwijdig aan de Nederrijn geplaatst. Uit de sondeergrafieken volgt dat geen duidelijk uitgesproken deklaag aanwezig is. Plaatselijk zijn dunne kleilagen aanwezig (circa 0,5 m), echter voor het grootste gedeelte bestaat de bovenste bodemlaag uit leem of fijn zand met een siltige bijmenging. De dikte van de deklaag, indien aanwezig, varieert sterk. Hetzelfde beeld volgt ook uit de boringen van TNO-NITG die in het projectgebied voorkomen. Onder de bovenste bodemlaag bevindt zich een zandpakket.

Een uitzondering hierop betreft het zuidwesten van het projectgebied (nabij de Mandelabrug). Hier is een 2 meter dikke deklaag aanwezig, bestaande uit klei. Onder deklaag bevindt zich een zandpakket, met verspreid over het gehele pakket, ingeschakelde dunne kleilagen.

### **2.3 Doorlatendheid**

Uit de Grondwaterkaart van Nederland (literatuur 1) blijkt dat het doorlaatvermogen (kD-waarde) van het eerste watervoerende pakket circa 1.000 m<sup>2</sup>/dag bedraagt. Daaruit kan een k-waarde van het pakket worden afgeleid van circa 40 à 50 m/dag. Het tweede watervoerende pakket heeft een kD-waarde van circa 3.000 m<sup>2</sup>/dag.

### **2.4 Grondwaterstanden**

#### **Regionaal (studiegebied)**

De stijghoogte van het eerste watervoerende pakket bedraagt ter plaatse van het projectgebied circa NAP +9 à 11,5 m (literatuur 1 en 2). De gemeten grondwaterstanden en stijghoogten van het eerste en tweede watervoerende pakket zijn opgenomen in bijlage 3.

De stromingsrichting van het grondwater is in het eerste en tweede watervoerende pakket zuidelijk gericht. Het grondwater stroomt vanaf de stuwwal richting de Nederrijn. De isohypsen liggen erg dichtbij elkaar. Door het grote verhang in de stijghoogte, dat hier optreedt, in combinatie met de grote doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket, is de stromingsnelheid hoog (meer dan 50 m/jaar).

De vorm van het isohypsenpatroon van het tweede watervoerende pakket is ter plaatse van het projectgebied gelijk aan die van het eerste watervoerende pakket, echter de stijghoogten liggen ongeveer een halve meter lager dan in het eerste watervoerende pakket. Dit betekent dat op de onderzoekslocatie sprake is van een infiltratiesituatie.



**Lokaal (projectgebied)**

Ter bepaling van de lokale grondwaterstanden en stijghoogten en de fluctuatie hierin zijn gegevens hiervan opgevraagd uit het Dinoloket van TNO-NITG. In bijlage 3 is een overzichtstekening opgenomen met de ligging van de geselecteerde peilbuizen, die in de omgeving van het centrum van Arnhem voorkomen. Tevens zijn in bijlage 3 de grafieken opgenomen van alle in de overzichtstekening weergegeven peilbuizen. Voor de grondwaterstanden en of stijghoogten is gekozen voor de gegevens vanaf 1990.

Uit de grafieken van bijlage 3 blijkt dat in de peilbuizen in de buurt van de onderzoekslocatie (peilbuizen B40B0147, B40B0148 en B40B0150) maximale grondwaterstanden zijn gemeten van circa +10,9 à 11,2 m NAP. De gemiddelde grondwaterstand bedroeg in de periode na 1990 circa +9,0 m NAP en de laagste grondwaterstand circa +7,5 à 7,8 m NAP.

Uit het globale beeld van de grondwaterstanden van de geselecteerde peilbuizen valt af te leiden dat de grondwaterstanden van noord naar zuid aflopen. Dit komt overeen met het regionale beeld. Over een afstand van circa 1,5 km is het verval in de grondwaterstand circa 1,5 meter. Ter hoogte van het centrum van Arnhem, net ten zuiden van het spoor, bedragen de maximale en de minimale grondwaterstanden respectievelijk +11,2 en +8,8 m NAP en ten zuiden van de Nederrijn bedragen deze respectievelijk +10,2 en +7,4 m NAP.

**Grondwateroverlast**

Bijlage 6 bevat een overzicht van wijken / gebieden waar op lokale schaal grondwateroverlast voorkomt. Eén van deze gebieden grenst aan het Rijnboogproject. Dit is van belang bij het bepalen van de effecten van de voorgenomen activiteit (zie hoofdstuk 4).

Ter plaatse van de geselecteerde peilbuizen in het gebied stijgt de grondwaterstand niet hoger dan 0,90 m minus maaiveld en voldoet daarmee aan de algemeen gehanteerde ontwateringsnorm<sup>2</sup> (zie tabel 2.2). De berekende grondwaterstanden voor de huidige situatie (zie bijlage 5) en de maaiveldhoogte in het gebied wijzen erop dat in het gehele projectgebied aan de ontwateringsnorm wordt voldaan. De grondwateroverlast heeft dus een lokaal karakter en kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door een lokale slecht doorlatende laag of een wat slechtere bouwtechnische staat van de betreffende woningen (bijvoorbeeld lekke kelders). Het is bekend dat deze slecht doorlatende lagen in en rond het centrum van Arnhem voorkomen.

---

<sup>2</sup> Als ontwateringsnorm voor bebouwing wordt veelal gehanteerd dat de grondwaterstand enkele dagen per jaar mag stijgen tot minder dan 0,7 meter minus maaiveld. Uit tabel 2.2 blijkt dat ter plaatse van de peilbuizen de maximale grondwaterstand in een periode van 10 jaar nooit hoger komt dan 0,91 minus maaiveld

**Tabel 2.2 Maximale grondwaterstand en ontwatering de gemiddeld hoogste grondwaterstand voor een drietal peilbuizen in het projectgebied (zie bijlage 3 voor de ligging van de peilbuizen)**

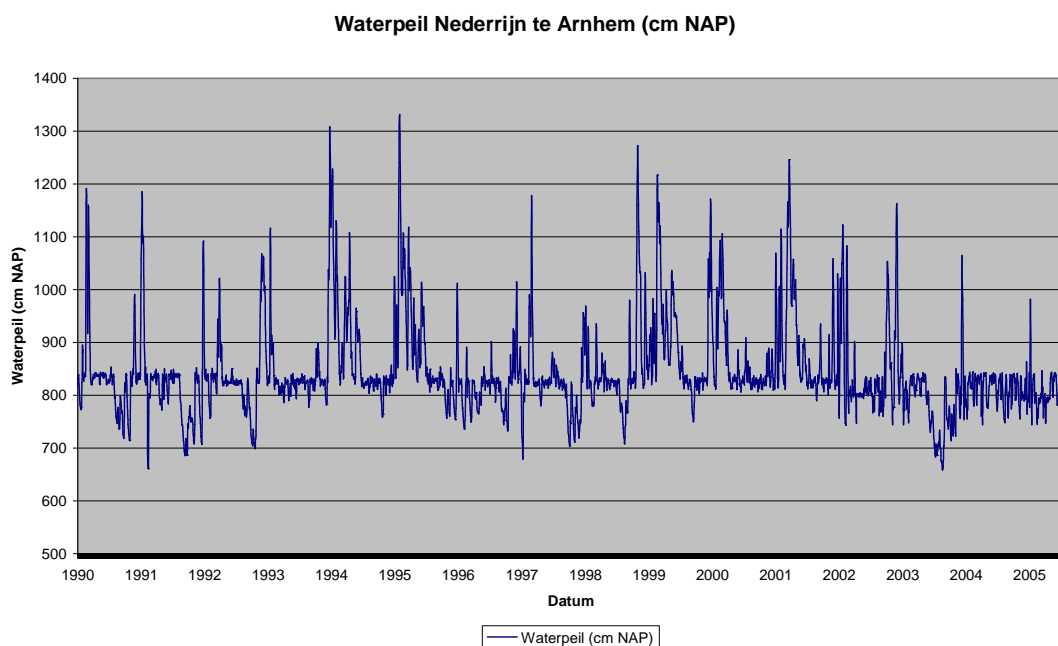
Peilbuis	Maximale grondwaterstand (1990-2000)
B40B0147	2,06 m minus maaiveld
B40B0148	1,94 m minus maaiveld
B40B0150	0,91 m minus maaiveld

## 2.5 Waterstanden Nederrijn

In figuur 2.1 zijn de waterstanden in de periode van 1990 tot en met 2005 van de Nederrijn opgenomen. De reeks van 1990 tot en met 2001 is de gemeten waterstanden bij de stad Arnhem. De reeks van 2002 tot en met 2005 betreft de gemeten waterstanden van de Nederrijn stroomopwaarts van Driel (vanaf 2002 zijn bij Arnhem geen gegevens bekend). De gegevens van Driel zijn gecorrigeerd voor het optredende verval van circa 0,1 m, dat optreedt tussen Driel<sup>3</sup> en Arnhem.

Uit figuur 2.1 blijkt dat grote pieken in de waterstanden zijn gemeten. De hoogste waterstanden zijn gemeten in de natte jaren 1994 (NAP +13,2 m), 1995 (NAP +13,4 m) en 1998 (NAP +12,7 m). De gemiddelde langjarige waterstand van de Nederrijn bij Arnhem bedraagt circa NAP +8,26 m. In 2003 is de laagste rivierwaterstand gemeten (NAP + 6,6 m).

<sup>3</sup> Het betreft het meetpunt 'Driel Boven'




---

**Figuur 2.1** gemeten waterstanden in Rijn nabij Arnhem

---

### Relatie waterstanden en grondwaterstanden

Uit bovenstaande blijkt dat de Nederrijn bij een gemiddelde en lage rivierwaterstand drainerend werkt op de grondwaterstanden in de omgeving. Bij hoge rivierwaterstanden is sprake van een infiltrerende werking.

Uit de grafieken van bijlagen 3 is te zien dat de grondwaterstanden van de peilbuizen, die dicht bij de Nederrijn aanwezig zijn, reageren op de waterstanden van de Nederrijn.



## 3 Grondwatermodel

### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de grondwatermodellering. In paragraaf 3.2 wordt het Veluwe model beschreven. De doorgevoerde aanpassingen aan dit Veluwe model worden beschreven in paragraaf 3.3. De modelresultaten inclusief een beoordeling van de betrouwbaarheid van het model zijn opgenomen in paragraaf 3.4.

### 3.2 Veluwe model

Als basismodel voor de grondwatermodellering is gebruik gemaakt van het bestaande, niet-stationaire, gekalibreerde grondwatermodel van de Veluwe. Het model houdt rekening met de anisotropie in de bodem, die in dit geval een belangrijk aspect is. Dit Veluwe-model is opgesteld door TNO en is voor grondwaterstudies op en rond de Veluwe het best beschikbare model. Het model is gemaakt voor de periode 1954 t/m 2000 en omvat de gehele Veluwe en de omliggende regio's. Het model bestaat uit vierkante modelcellen van 250 bij 250 meter.

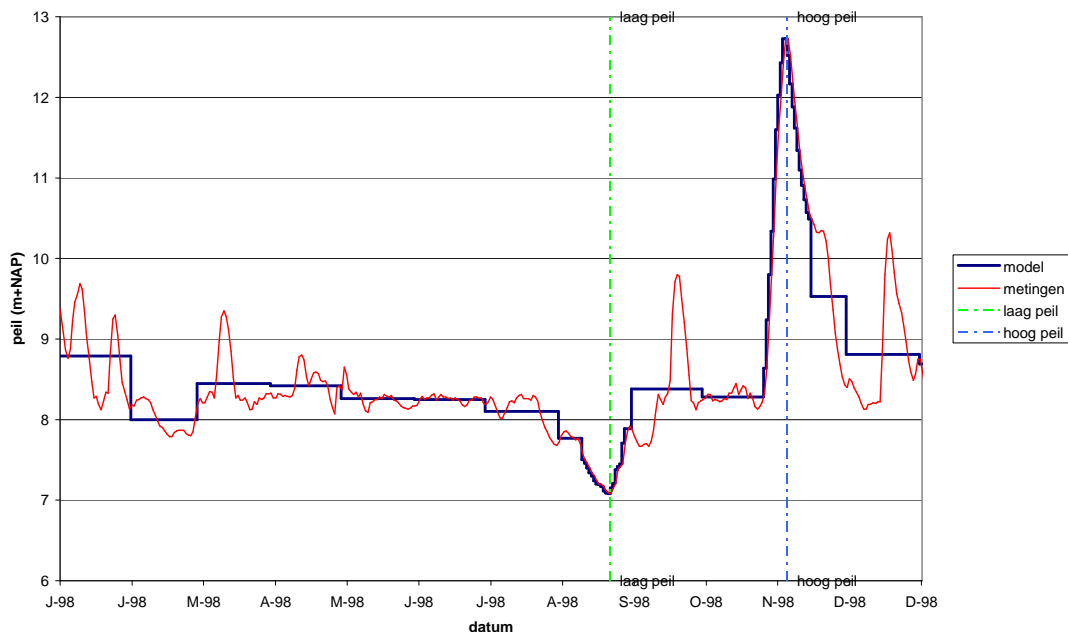
Het grondwatermodel is opgebouwd uit 5 modellagen, waarvan de bovenste 3 betrekking hebben op het eerste watervoerende pakket. Het totale doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket bedraagt 900 a 1000 m<sup>2</sup>/d. De dikte van het watervoerend pakket bedraagt 20 tot 40 m. Het model is tijdsafhankelijk voor de periode 1950 tot 2000 voor wat het neerslagoverschot (maandcijfers) en grondwateronttrekkingen (jaarcijfers) betreft. Het oppervlaktewatersysteem is echter ingebracht met een constant peil. De oorspronkelijke modelresolutie bedraagt 250x250 m<sup>2</sup>. Het model is gekalibreerd op basis van langjarige tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden.

### 3.3 Aanpassingen

De doelstelling van de modellering is het inzichtelijk maken van de te verwachten effecten van de ondergrondse parkeergarages op het grondwatersysteem. Omdat de Rijn een kleine bodemweerstand heeft (modelwaarde: 2 dagen) zijn de effecten op de grondwaterstand vooral afhankelijk van het peil in de Rijn. Bij hoge Rijnstanden heeft de rivier een infiltrerende werking, bij lage Rijnstanden juist een drainerende werking. Om te toetsen of het model deze effecten goed berekend is ervoor gekozen om de berekende grondwaterstanden bij de lage Rijnstand van 22 augustus 1998 en de hoge Rijnstand van 5 november 1998 te vergelijken met de gemeten grondwaterstanden. Daarnaast kunnen langjarige fluctuaties van het neerslagoverschot op de Veluwe enige invloed hebben op de grootte van de effecten, maar deze worden van ondergeschikt belang geacht.

Om het model geschikt te maken zijn de volgende aanpassingen verricht (zie bijlage 4):

- uitsnede vanuit het Veluwemodel gemaakt van 30x30 km<sup>2</sup>
- Instationaire rekenperiode gereduceerd tot 1990-2000
- Verfijning van de rekenstappen van 1 maand tot stappen van 1 dag rond 22 augustus en 5 november 1998
- Ruimtelijke verfijning van het rekengrid van 250x250 m<sup>2</sup> tot 25x25 m<sup>2</sup> in de omgeving van de parkeergarages nabij de Nederrijn
- Inbrengen van het tijdsafhankelijke verloop van het Rijnpeil op basis van dagcijfers van de peilschaal bij Arnhem voor de periode 1990-2000. De wijze waarop de fluctuatie van het Rijnpeil in het model is gebracht, is geïllustreerd in figuur 3.1



**Figuur 3.1 Modelling tijdsafhankelijke verloop van het peil in de Rijn in 1998**

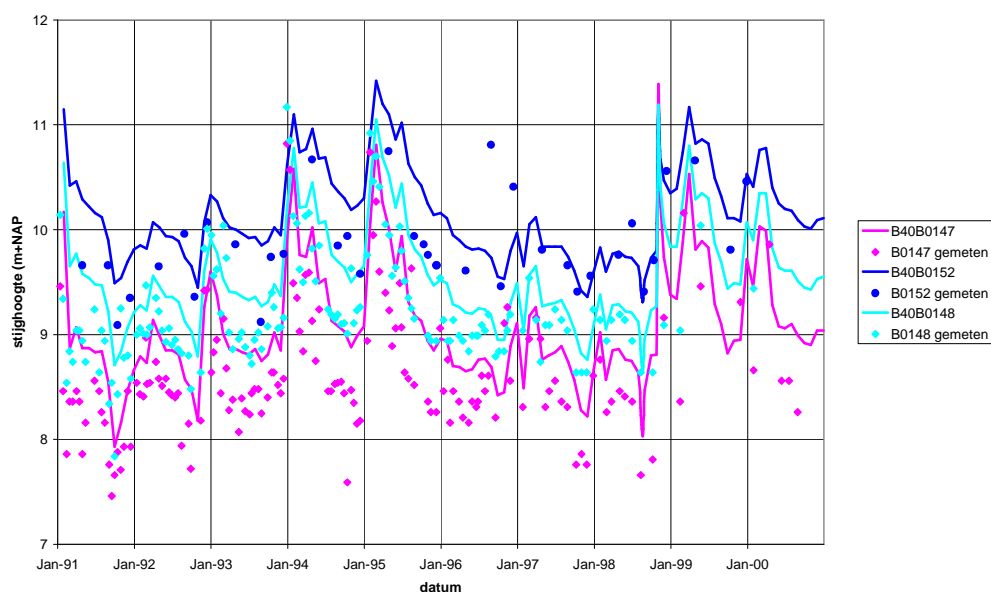
Per tijdstap is het gemiddelde Rijnpeil bepaald. In de aanloop naar de laag- en hoogwatersituaties is de tijdstap (geleidelijk) gereduceerd van één maand naar één dag, zodat het grondwaterstandsverloop voldoende nauwkeurig kan worden gesimuleerd.

### 3.4 Modelresultaten

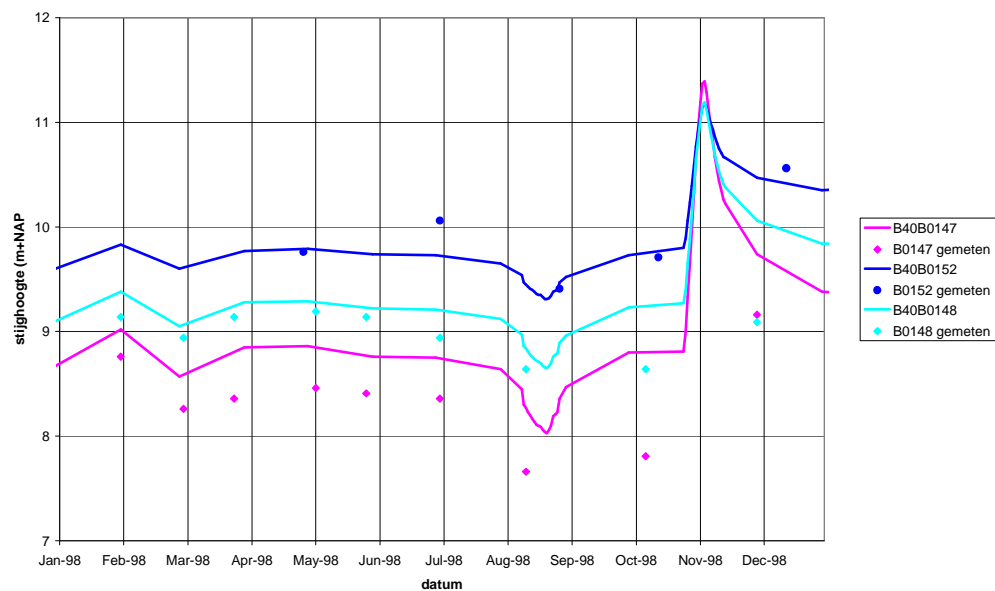
Om de modelnauwkeurigheid te toetsen, is het berekende stijghoogteverloop vergeleken met gemeten grondwaterstanden. Hiervoor zijn peilbuizen geselecteerd welke voldoen aan de volgende criteria:

- *Nabij de Nederrijn*: de Nederrijn heeft een sterke invloed op de grondwaterstand
- *Loodrecht op de Rijn*. De invloed van de ondergrondse parkeergarages is mede afhankelijk van de afstand tot de Rijn
- *Voldoende lange meetreeks*. Alleen met een voldoende lange meetreeks kan een goede vergelijking tussen gemeten en berekende standen plaatsvinden

Op basis hiervan zijn de peilbuizen 147, 148 en 152 geselecteerd (zie bijlage 5). Het resultaat voor deze peilbuizen is weergegeven in figuur 3.2 en figuur 3.3. Daarnaast bevat tabel 3.1 een statistisch overzicht van de verschillen tussen de berekende grondwaterstanden.



**Figuur 3.2** Vergelijking modelresultaten met gemeten grondwaterstanden



**Figuur 3.3** Vergelijking modelresultaten met gemeten grondwaterstanden in 1998

**Tabel 3.1** Overzicht van het verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstanden

Peilbuis	Gemiddelde stand			Dynamiek / fluctuatie <sup>4</sup>		
	Gemeten (m+NAP)	Berekend (m+NAP)	Vershil (m)	Gemeten (m)	Berekend (m)	Vershil (m)
147	8.61	9.15	+0.54	3.36	3.46	+0.10
	(st.dev=0,58 m)					
148	9.21	9.60	+0.39	3.33	2.54	-0.79
	(st.dev=0,50 m)					
152	9.84	10.14	+0.30	1.72	2.11	+0.39
	(st.dev=0,50 m)					
gemiddeld			+0,41			-0,10 m

<sup>4</sup> Onder dynamiek wordt verstaan: het verschil tussen de hoogte en de laagste gemeten/berekende grondwaterstand gedurende de beschouwde periode (1991-2000)



Uit een uitgevoerde analyse blijkt dat het model goed geschikt is voor het berekenen van de effecten van de voorgenomen activiteit ten behoeve van het MER. Een toelichting op deze conclusie volgt hieronder:

- *Dynamiek/fluctuatie*: Uit figuur 3.2 en 3.3 blijkt dat het model de fluctuatie van de grondwaterstanden, als gevolg van neerslag / verdamping en variatie in Rijnpeilen, over het algemeen goed berekend. Dit beeld wordt bevestigd door de laatste kolom van tabel 3.1. Hieruit blijkt dat het (gemiddelde) verschil tussen de berekende en gemeten dynamiek/fluctuatie slechts 0,10 m is
- *Grondwaterstanden*. Voor elke van de drie beschouwde peilbuizen geldt dat het gemiddelde verschil tussen berekende en gemeten standen kleiner is dan de standaarddeviatie van de meetreeks (vergelijk kolom 2 en kolom 4 van tabel 3.1). Dit betekent dat er weliswaar enige afwijking is tussen berekende en gemeten standen (gemiddeld 0,41 m) maar dat deze afwijking (relatief) gering is in vergelijking met de natuurlijke fluctuatie van de grondwaterstand (zie tevens kader 1)

**Kader 1            standaarddeviatie**

De standaarddeviatie is een statistische maat voor de spreiding in een dataset. Als grondwaterstanden sterk fluctueren, bijvoorbeeld tussen NAP +8 m en NAP + 12 m dan is sprake van een grote standaarddeviatie. Als grondwaterstanden weinig fluctueren, bijvoorbeeld tussen NAP +9,5 m en NAP +10,5 m, dan is sprake van een kleine standaarddeviatie. Peilbuis 148 heeft een gemiddelde grondwaterstand van 9,21 m en een standaarddeviatie van 0,5 m. Dit betekent dat 68 % van de gemeten grondwaterstanden liggen tussen  $(9,21-0,5=)$  NAP +8,71 m en  $(9,21+0,5=)$  NAP +9,71 m. Als de afwijking tussen de berekende grondwaterstand en de gemeten grondwaterstand minder is dan de standaarddeviatie van de gemeten grondwaterstand dan wordt aangenomen dat er sprake is van een goed modelresultaat omdat de afwijking relatief gering is.

Om een indruk te geven van het verloop van de grondwaterstand, is het ruimtelijke stijghoogtepatroon op 22 augustus en 5 november 1998 weergegeven in bijlage 5. Uit de figuren blijkt dat de Rijn bij lage peilen een drainerende werking heeft. Bij hoogwater is echter enige tijd sprake van een infiltrerende werking, waardoor de grondwaterstand plaatselijk wordt opgestuwd.



## 4 Effecten van ondergrondse parkeergarages

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de effecten van een situatie met ondergrondse parkeergarages vergeleken met de referentiesituatie. De referentiesituatie is de (toekomstige) situatie waarbij geen rekening is gehouden met de voorgenomen activiteit. Voor het onderdeel geohydrologie komt de referentiesituatie overeen met de huidige situatie. Het toegepaste Veluwemodel omvat de periode tot 2000 en dus niet de (extreem) laagwaterperiode 2003. Voor het berekenen van de effecten is daarom besloten de Rivierwaterstanden in de droge periode van 1998 te vervangen door de rivierwaterstanden van de droge periode van 2003. Dit betekent dat de berekende effecten worden vergeleken met:

- Een hoogwatergolf: november 1998
- Een periode met laag water: zomer van 2003

### 4.2 Resultaten

#### Inleiding

In het plangebied worden diverse ondergrondse parkeergarages gerealiseerd. Deze paragraaf beschrijft de effecten van deze constructies op het grondwatersysteem.

#### 4.2.1 Onderzoeksvariant

Bij de onderzoeksvariant is het effect van de destijds geplande parkeergarages doorgerekend. Dit resulteert in een effect van maximaal circa 0,05 m. Bij lage en normale Rijnwaterstanden betreft het een stijging van de noordzijde van de garages. Deze stijging wordt veroorzaakt door een (geringe) blokkade van de noord-zuid gerichte grondwaterstroming naar de Rijn. Bij (extreem) hoog water in de Rijn wordt de waterstroming vanuit de Rijn naar de binnenstad geblokkeerd door de parkeergarages en treedt er een verlaging op aan de Noordzijde van de parkeergarages van eveneens orde grootte 0,05 m.

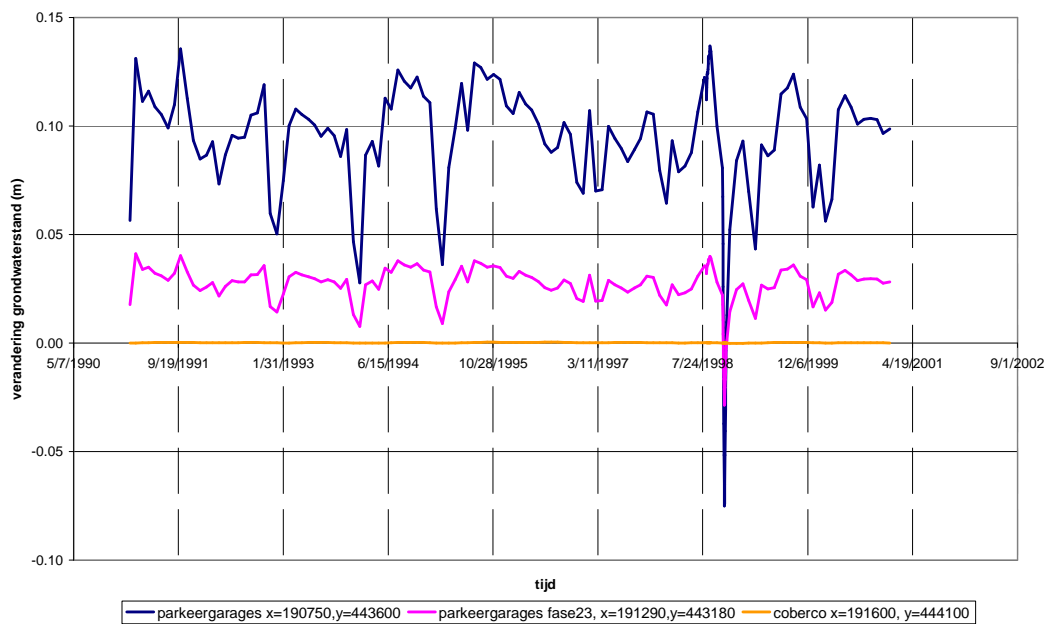
#### 4.2.2 Masterplanalternatief

Om een indicatie van de maximaal te verwachten effecten te krijgen zijn de geplande garages gesimuleerd in het grondwatermodel. Hierbij zijn twee modellen doorgerekend:

- *Huidige situatie*: het betreft de huidige situatie inclusief de volgende ondergrondse constructies met hun diepten:
  - parkeergarages ter plaatse van het station (20 m -mv)
  - Bartokkwartier (4 m -mv)
  - P-garage (4 m -mv)
  - Stadhuis (4 m -mv)
  - Musiskwartier (4 m -mv)
  - Stads kantoor (4 m -mv)

- Toekomstige situatie:* het betreft de geplande parkeergarages Rijnboog en Rijnboog fase 2 en 3. De effecten van de ondergrondse constructies zijn in het model gebracht door lokaal het doorlaatvermogen te reduceren. Afhankelijk van de hoogte van het maaiveld is de diepte van de constructie ten opzichte van NAP vastgesteld. Op basis van deze diepte is de diepteligging van de constructie in het hydrologische model bepaald. Voor de modellagen welke volledig worden doorsneden is ter plaatse het doorlaatvermogen op 0 gesteld. Voor de modellagen welke gedeeltelijk worden doorsneden is de fractie van de diepteligging voor die modellaag bepaald. Het doorlaatvermogen is vervolgens naar rato gereduceerd

Met het model is het grondwaterstandsverloop direct ten noorden van de garages berekend. Door dit verloop te vergelijken met de huidige situatie is de tijdsafhankelijke verandering van de grondwaterstand bepaald. Dit verloop is weergegeven in figuur 4.1 voor 3 locaties. De locaties (waarvan de coördinaten in de grafiek zijn aangegeven) zijn gekozen direct ten noorden van de geplande constructies



**Figuur 4.1** Berekende verandering van de grondwaterstand aan noordzijde garages

Uit de figuur blijkt dat aan de noordzijde van de kelders (parkeergarage Rijnboog) een opstuwung van maximaal circa 1 decimeter kan worden verwacht. Bij extreem hoogwater op de Rijn keert de grondwaterstroming tijdelijk om, en veroorzaken de kelders kortstondig een geringe grondwaterstandverlaging (circa 0,05 m) aan de noordzijde. Bij hoogwater wordt de infiltratie van water vanuit de Rijn namelijk enigszins belemmert door de parkeergarages waardoor er noordelijk van de garages sprake is van een verlaging van de grondwaterstand ten opzichte van een situatie met hoogwater maar zonder parkeergarages. Ten opzichte van een situatie met een gemiddeld waterpeil leiden de parkeergarages én het hoge water natuurlijk wel tot een stijging van de grondwaterstand<sup>5</sup>.

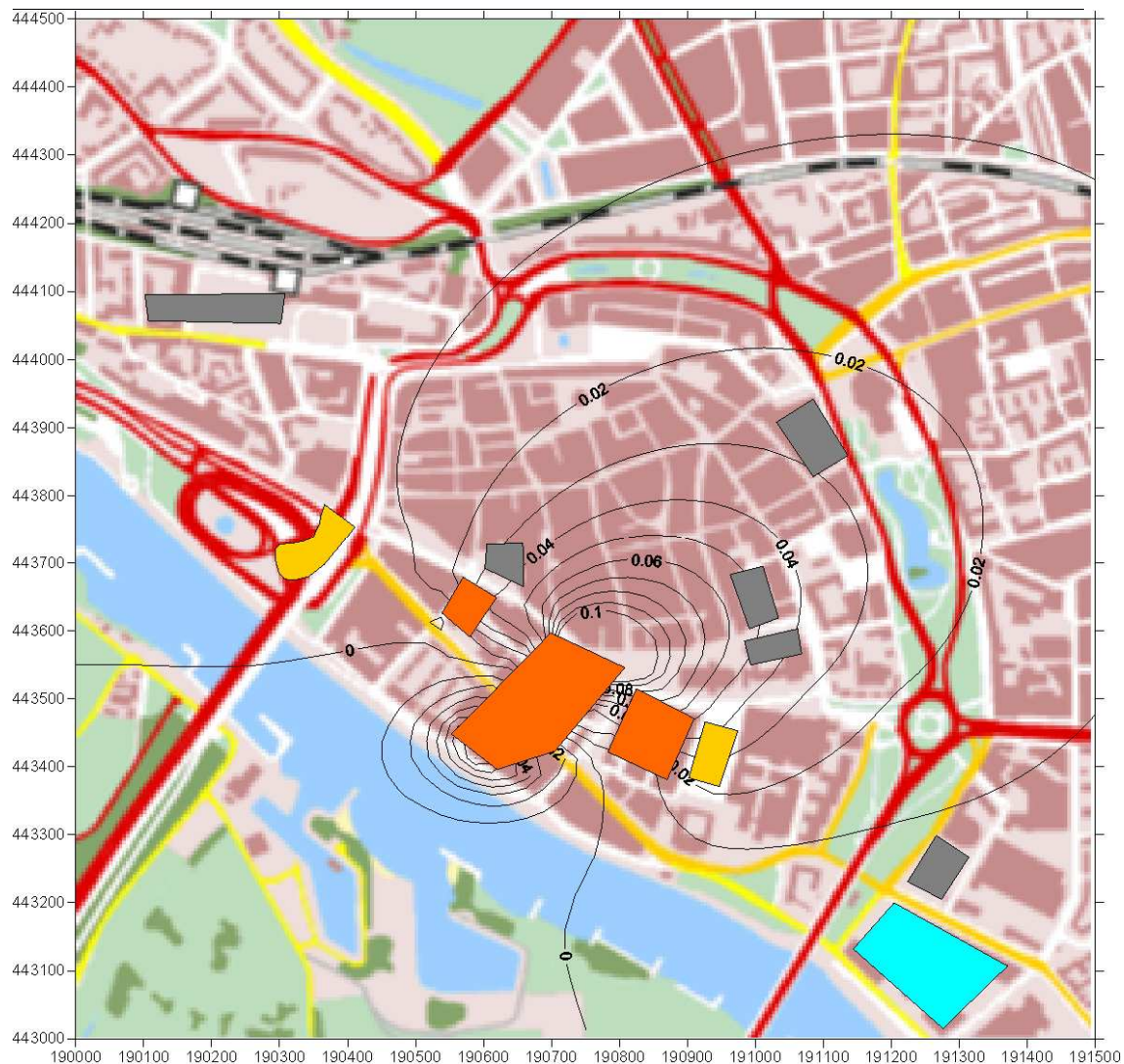
In figuur 4.2 en figuur 4.3 zijn de ruimtelijke patronen van de grondwaterstandverandering bij hoogwater (november 1998) en laagwater (situatie 2003) weergegeven. De veranderingen van de grondwaterstand zijn gepresenteerd voor de parkeergarages Rijnboog (oranje polygoenen). Voor parkeergarages Rijnboog fase 23 (okergele polygoenen) worden kleinere veranderingen berekend (figuur 4.4 en figuur 4.5).

#### **Effecten tijdens de realisatiefase**

Tijdens de realisatiefase kunnen de effecten op het grondwatersysteem (iets) groter zijn dan in de uiteindelijke situatie. Bijvoorbeeld omdat stalen damwanden worden toegepast die dieper reiken dan de garage. Dit kan resulteren in een stijging van de grondwaterstand van naar verwachting maximaal circa 0,05 - 0,15 m. De exacte omvang van deze stijging hangt ondermeer af van de diepte van eventuele damwanden en het aantal garages dat gelijktijdig wordt gerealiseerd. Daarnaast kunnen bijvoorbeeld ook bemalingen een tijdelijk effect hebben op de grondwaterstand. Het bepalen van deze effecten valt buiten de scope van deze studie.

---

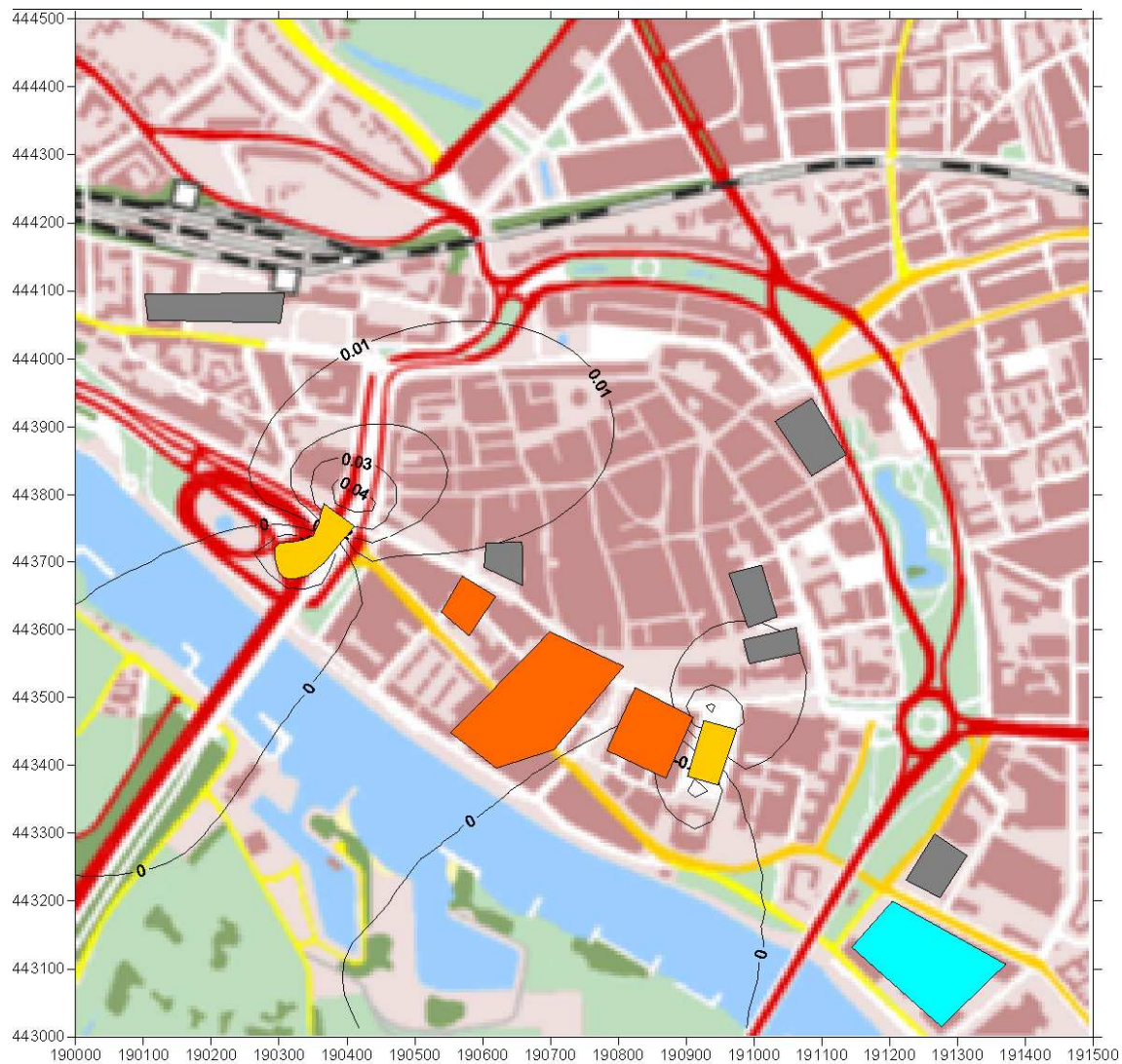
<sup>5</sup> Dit effect is hier niet in beeld berekend omdat het twee wezenlijk verschillende situaties betreft (gemiddeld rivier vs. hoogwater die niet relevant zijn voor de effecten voor het MER)



**Figuur 4.2 Grondwaterstandsverandering bij een laagwatersituatie bij realisatie van de parkeergarages bij Rijnboog-fase1 (2003, Oranje = Parkeergarages Rijnboog fase 1, geel = Rijnboogparkeergarages fase 2/3, blauw = Cobercparkeergarage, grijs = bestaande ondergrondse bouwwerken)**

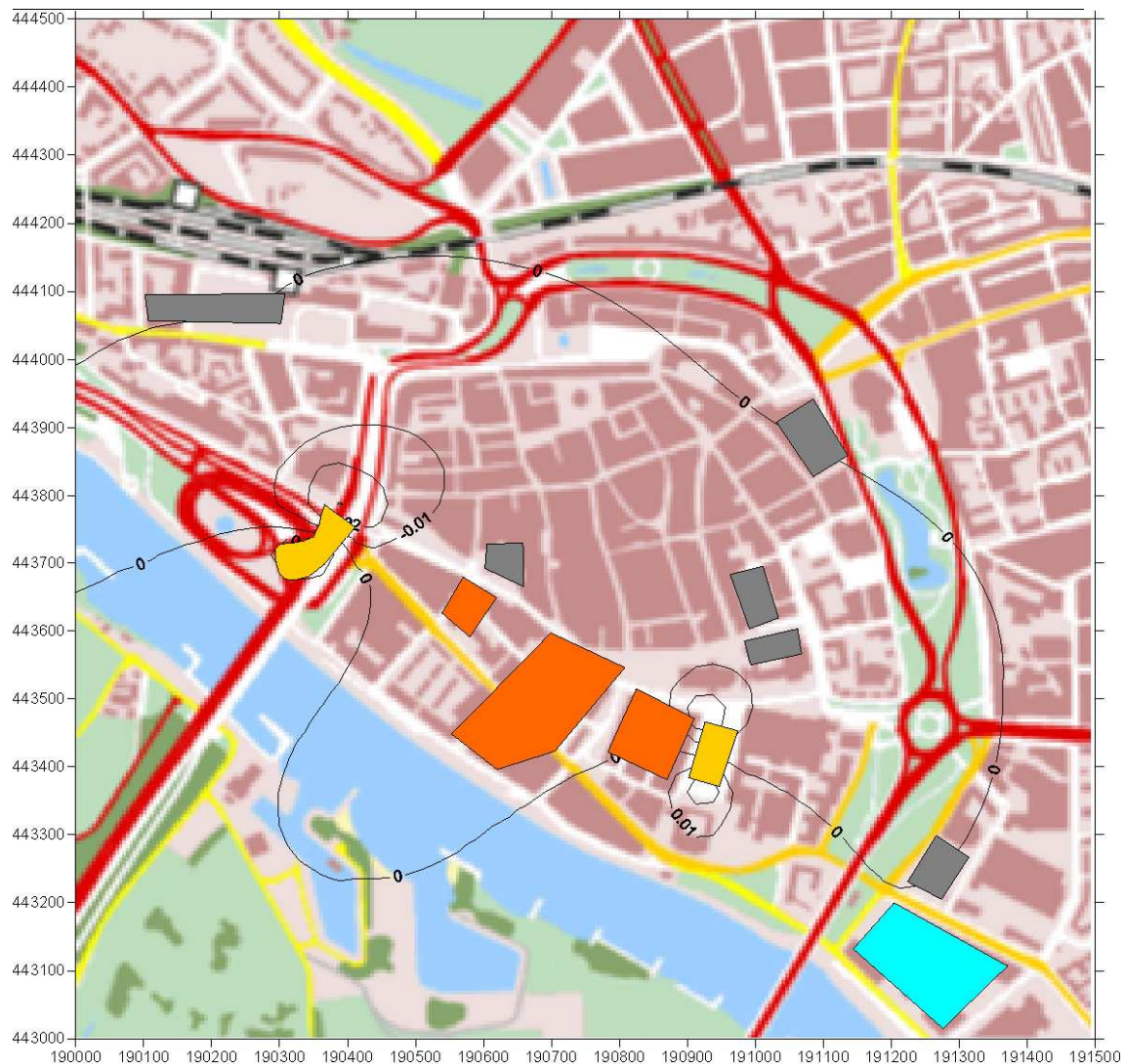


**Figuur 4.3 Grondwaterstandsverandering bij een hoogwatersituatie bij realisatie van de parkeergarages bij Rijnboog-fase1 (situatie november 1998, Oranje = Parkeergarages Rijnboog fase 1, geel = Rijnboogparkeergarages fase 2/3, blauw = Cobercparkeergarage, grijs = bestaande ondergrondse bouwwerken)**



**Figuur 4.4 Grondwaterstandsverandering bij een laagwatersituatie bij realisatie van de parkeergarages Rijnboog-fase2&3 (2003, Oranje = Parkeergarages Rijnboog fase 1, geel = Rijnboogparkeergarages fase 2/3, blauw = Cobercoperkeergarage, grijs = bestaande ondergrondse bouwwerken)**





**Figuur 4.5 Grondwaterstandsverandering bij een hoogwatersituatie bij realisatie van de parkeergarages Rijnboog-fase2&3 (november 1998, Oranje = Parkeergarages Rijnboog fase 1, geel = Rijnboogparkeergarages fase 2/3, blauw = Cobercoperparkeergarage, grijs = bestaande ondergrondse bouwwerken)**

### **4.3 Mitigerende maatregelen en evaluatie**

De optredende effecten nabij de ondergrondse parkeergarages zijn gering. Indien gewenst dan kunnen deze effecten verder worden beperkt door het aanbrengen van drainage rondom de ondergrondse constructies<sup>6</sup>. Hierdoor treedt nivellering van de grondwaterstand op.

#### **Evaluatie modeluitkomsten**

Voor het berekenen van de effecten van de alternatieven is gebruik gemaakt van een verfijnd grondwatermodel. Desondanks kunnen de werkelijke effecten in de praktijk iets kleiner of juist iets groter zijn dan de berekende effecten. Dit komt bijvoorbeeld door een lokaal afwijkende bodemopbouw of een langdurigere hoog- of laagwatergolf dan doorgerekend. Daarom wordt aanbevolen om bij de detaillering van de maatregelen een zekere veiligheidsmarge in te bouwen en de werkelijke effecten te monitoren na uitvoering van de maatregelen.

---

<sup>6</sup> Deze drainage wordt niet aangesloten op het riool maar rondom de ondergrondse constructie gelegd. De drains hebben een drainerende werking aan de zijde met een hoge grondwaterstand en een infiltrerende werking aan de zijde met een lage grondwaterstand

# Bijlage

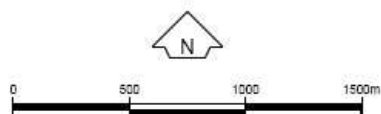
**1**

Ligging onderzoekslocatie





© Topografische Dienst Nederland, Emmen



Oopdrachtgever Gemeente Arnhem	Schaal 1 : 25.000	Status Definitief
Project D-4402043-Geohydrologisch Onderzoek	Formaat A4-Portrait	Projectnummer 4412839
Onderdeel Regionale ligging van de onderzoekslocatie	Dat. 27.9.2005 13:11 Getek. TDA	Tekeningnummer 0
	Geç. Jhm	



**Tauw**

Postbus 133  
7400 AC Deventer  
Tel. (0570) 666611  
Fax (0570) 666666



# Bijlage

## 2

Locatie grondboringen





# Ligging boringen TNO-NITG





# Bijlage

## 3

### Gemeten grondwaterstanden

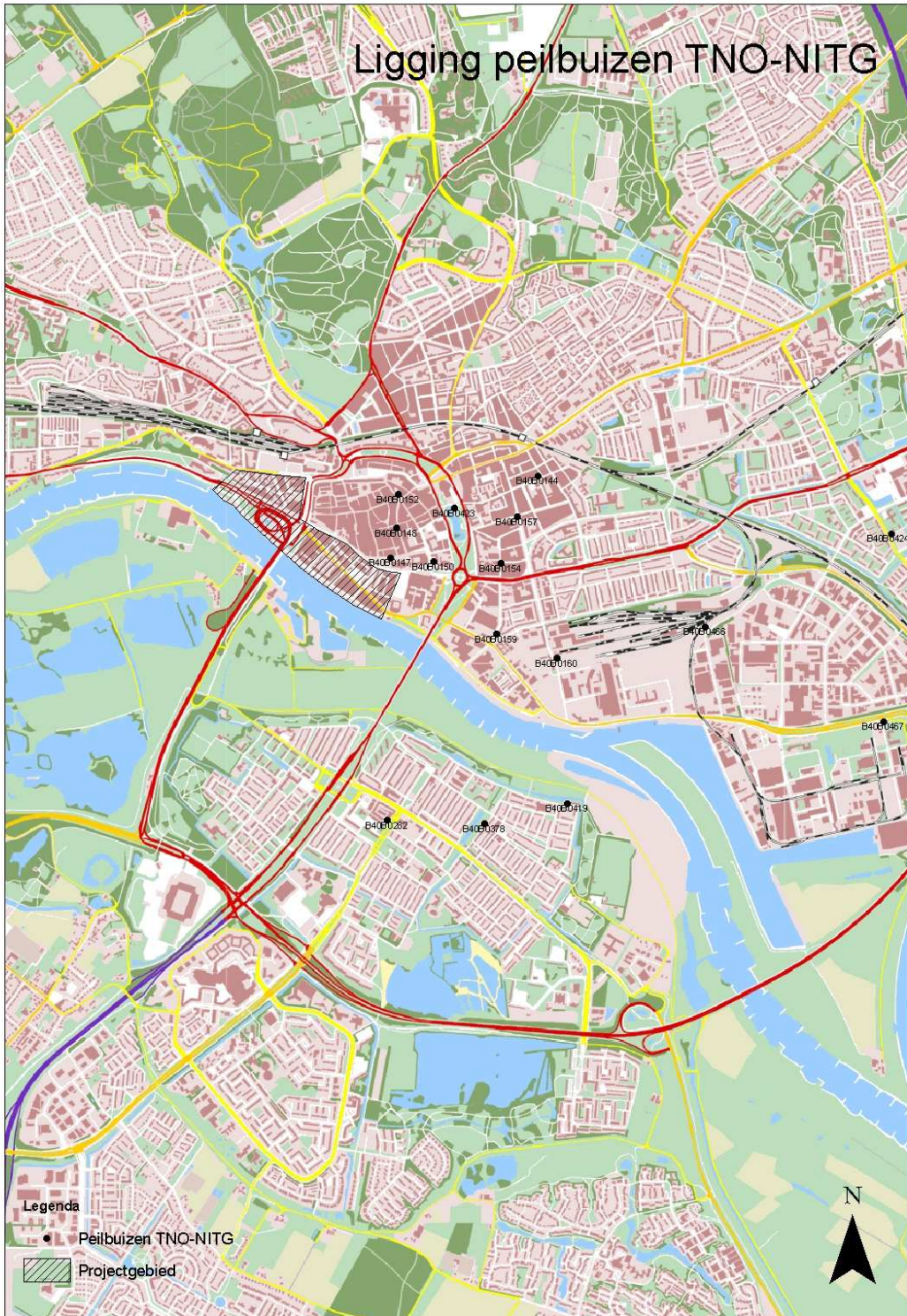
Deze bijlage bevat de gemeten grondwaterstanden ter plaatse van vijftien peilbuizen nabij het projectgebied voor de periode 1990-2000<sup>7</sup>.

---

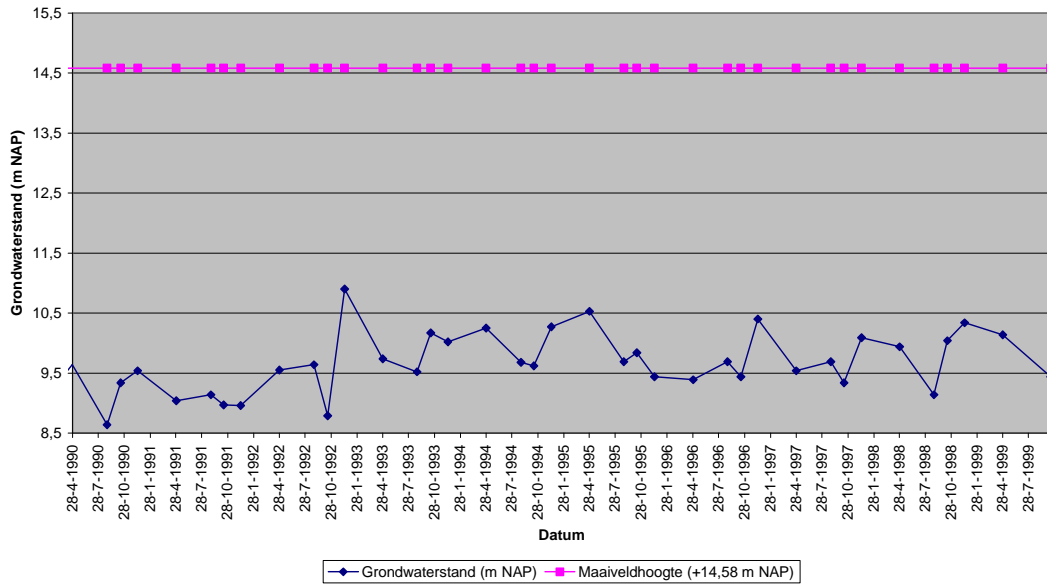
<sup>7</sup> Als de metingen later beginnen dan 1990 (bv. 1997) dan waren eerdere metingen niet beschikbaar. Daarnaast is in enkele gevallen is een wat langere periode weergegeven, bijvoorbeeld tot 2004



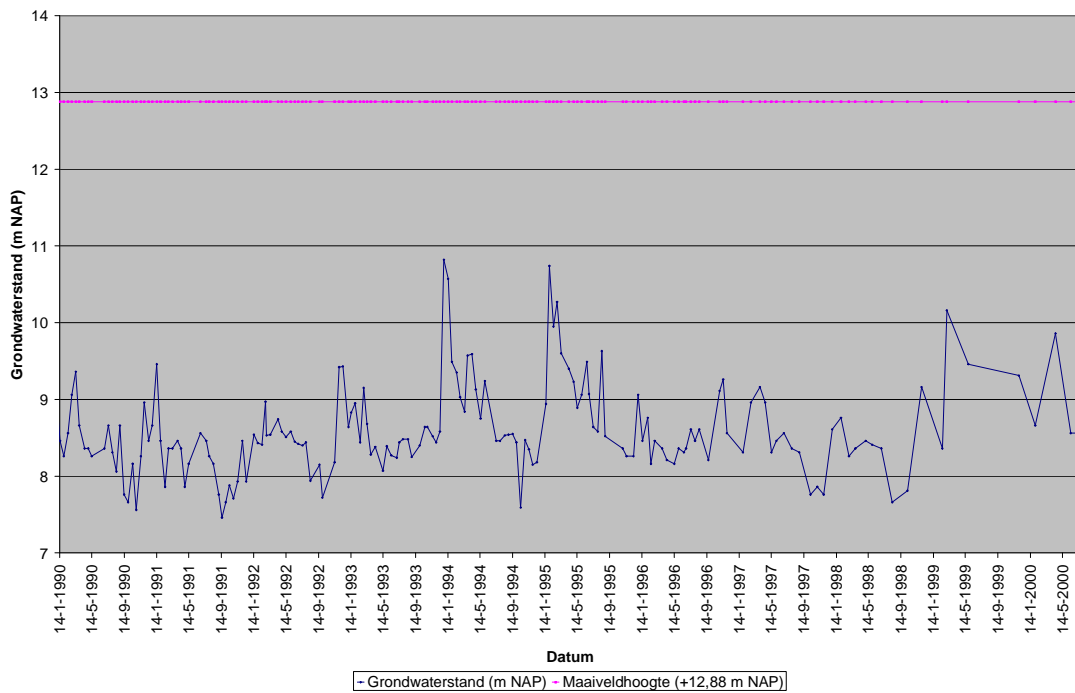
# Ligging peilbuizen TNO-NITG



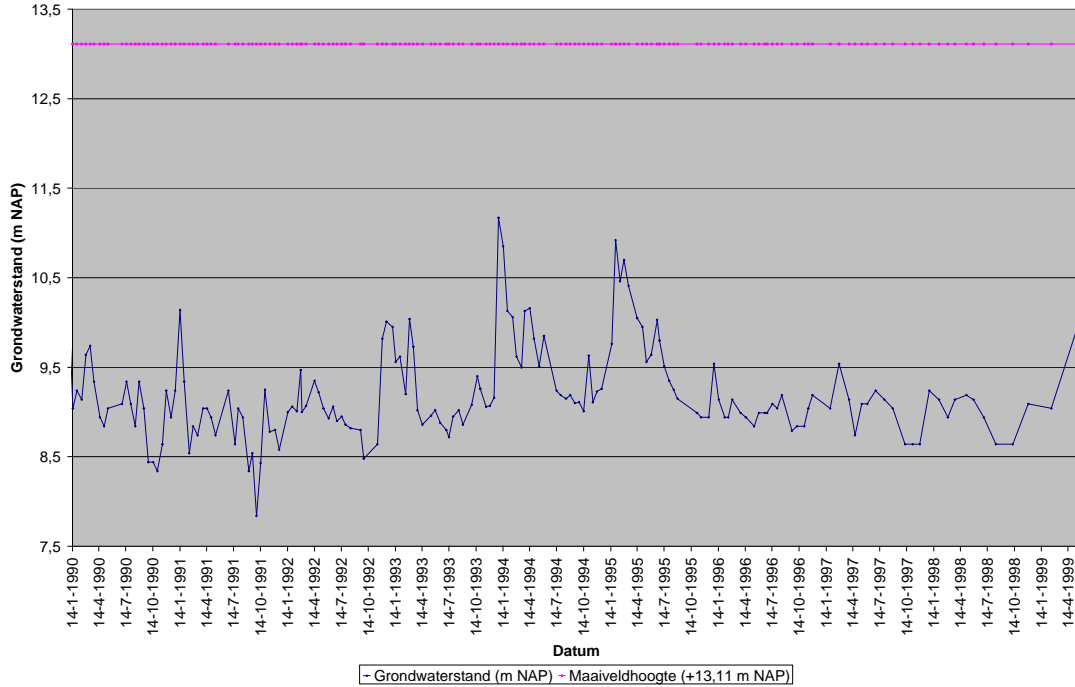
Grondwaterstanden pb B40B0144 TNO-NITG (filterstelling: 9,0 - 21,0 m -mv)



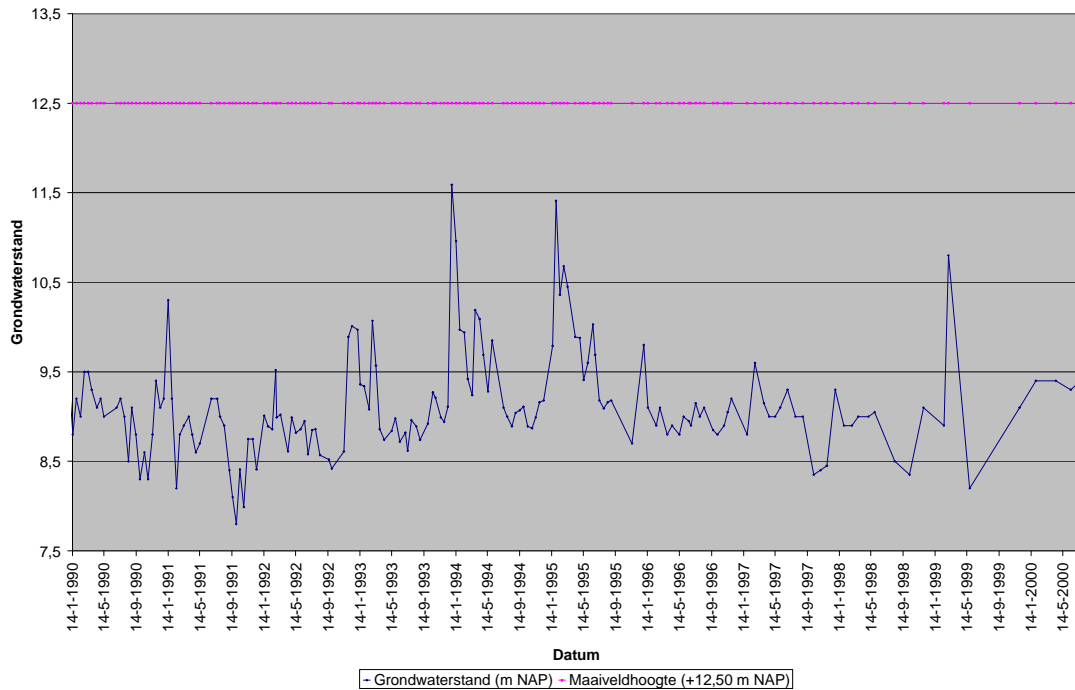
Grondwaterstanden pb B40B0147 TNO-NITG (filterstelling: 7,4 - 19,4 m -mv)



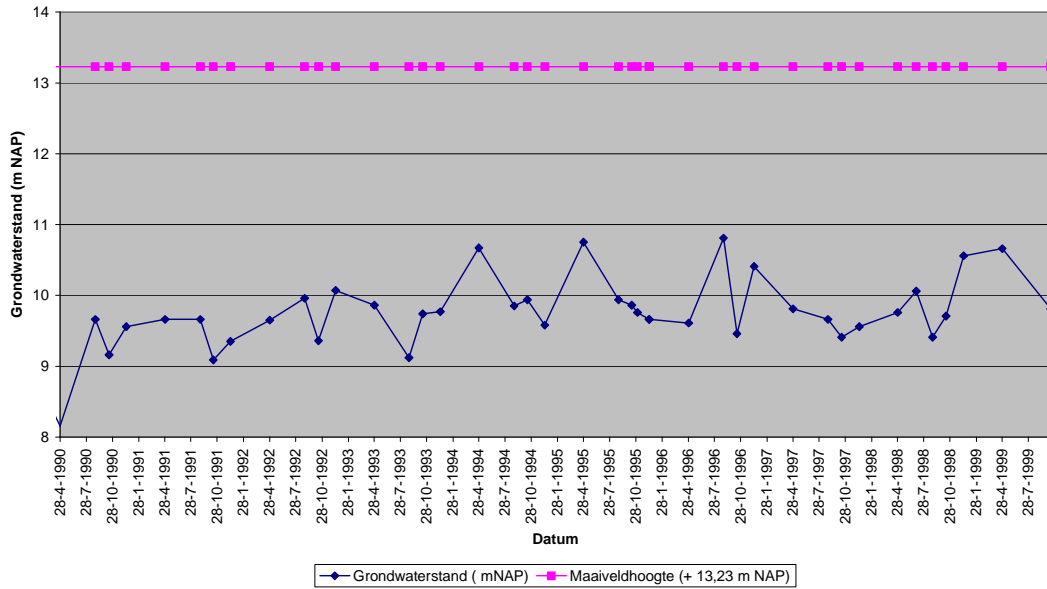
Grondwaterstanden pb B40B0148 TNO-NITG (filterstelling: 7,0 - 20,0 m -mv)



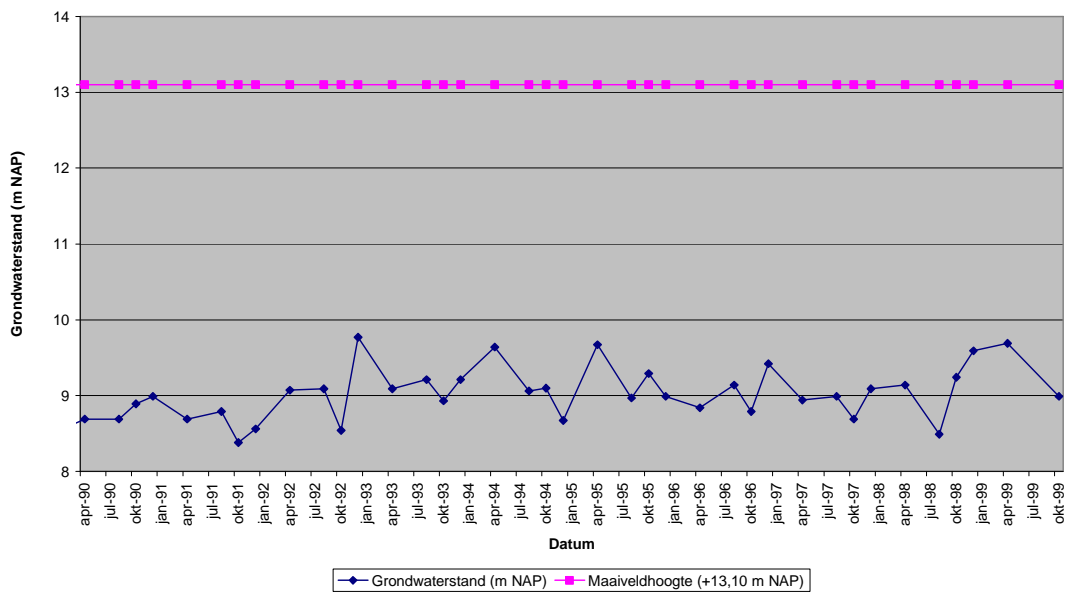
Grondwaterstand pb B40B0150 TNO-NITG (filterstelling: 8,0 - 20,0 m -mv)



Grondwaterstanden pb B40B0152 TNO-NITG (filterstelling: 8,0 - 20,0 m -mv)

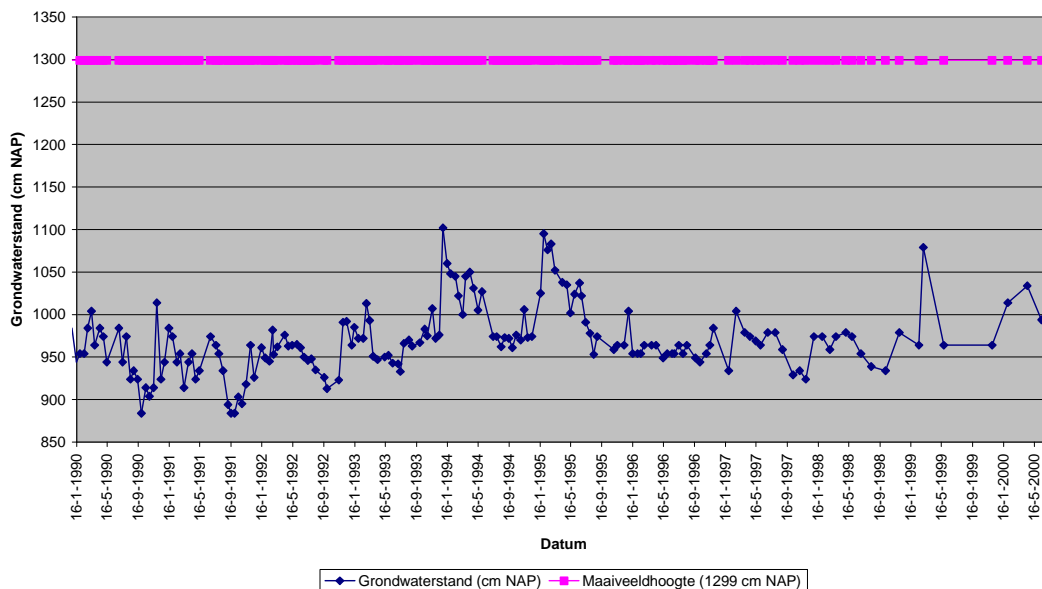


Grondwaterstanden pb B40B0154 TNO-NITG (filterstelling: 8,0-20,0 m -mv)

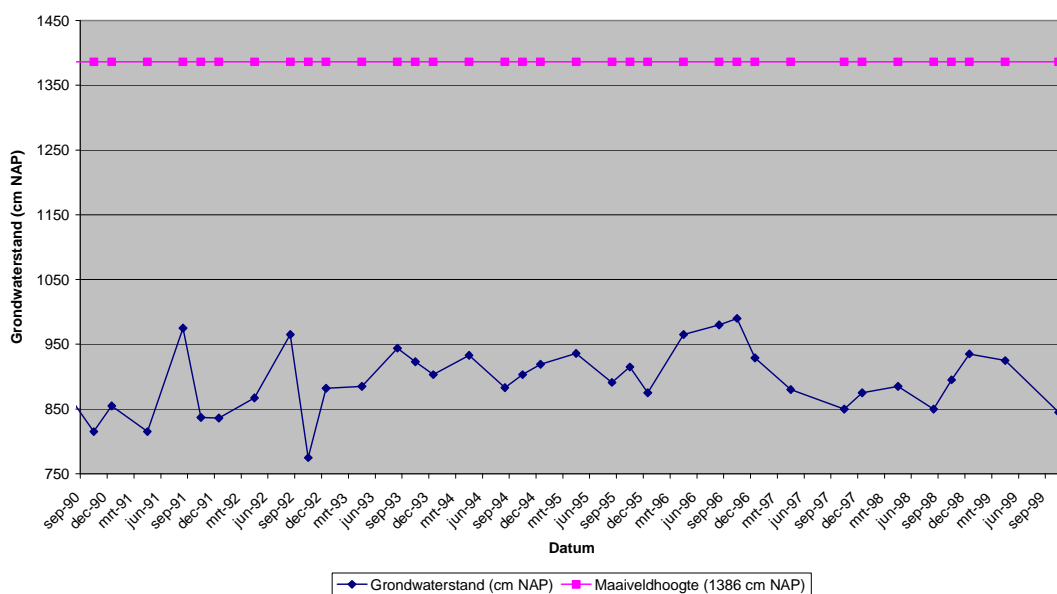




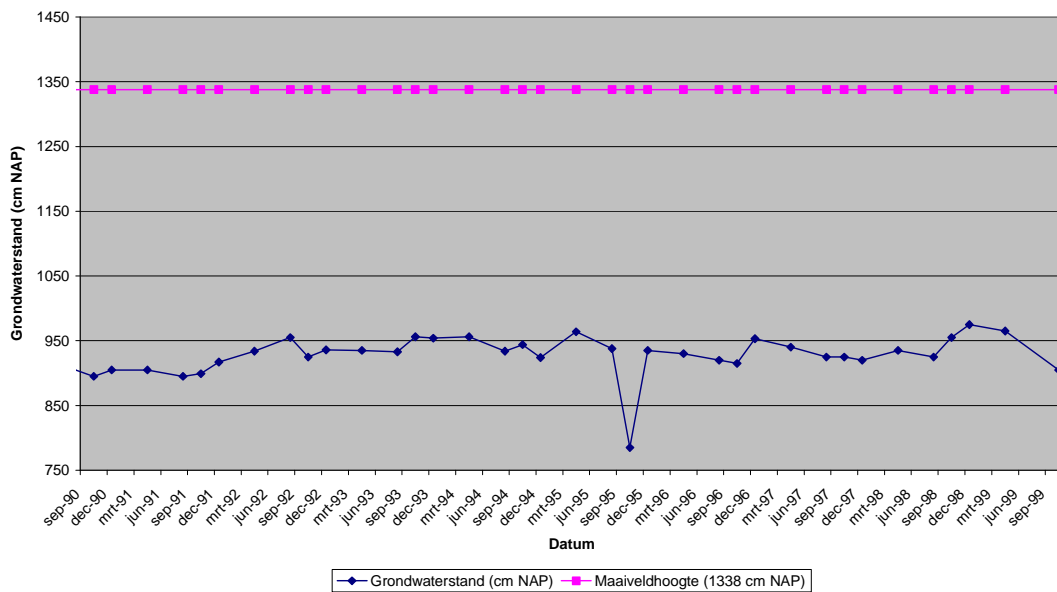
Grondwaterstanden pb B40B0157 TNO-NITG (filterstelling: 9,0-21,0 m -mv)



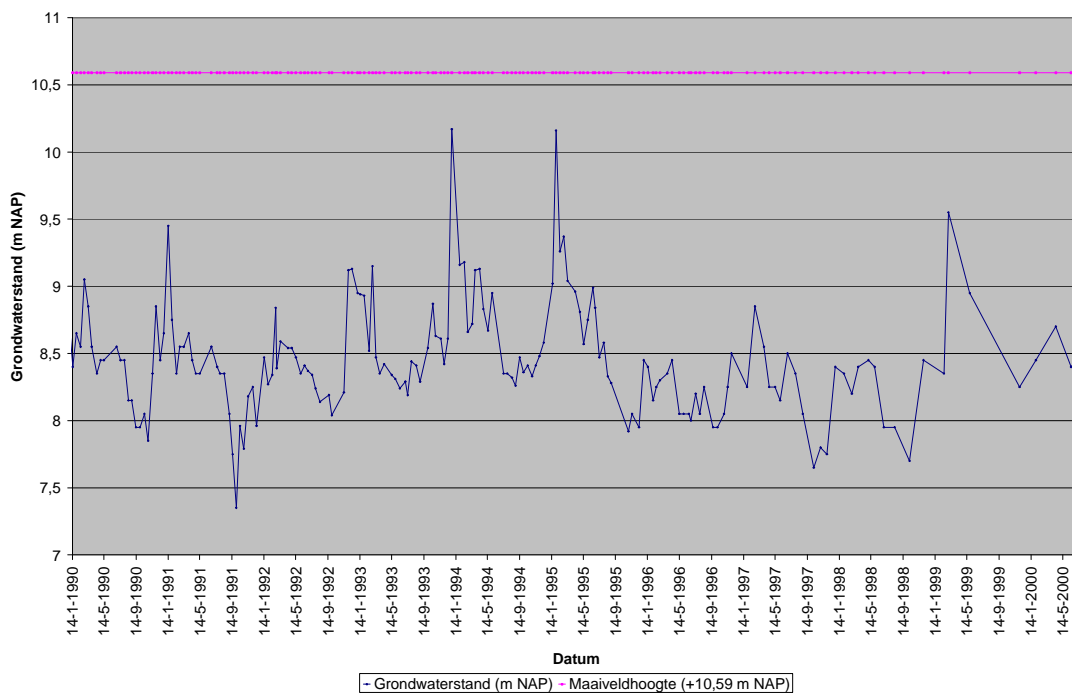
Grondwaterstanden pb B40B0159 TNO-NITG (filterstelling: 8,0-20,0 m -mv)



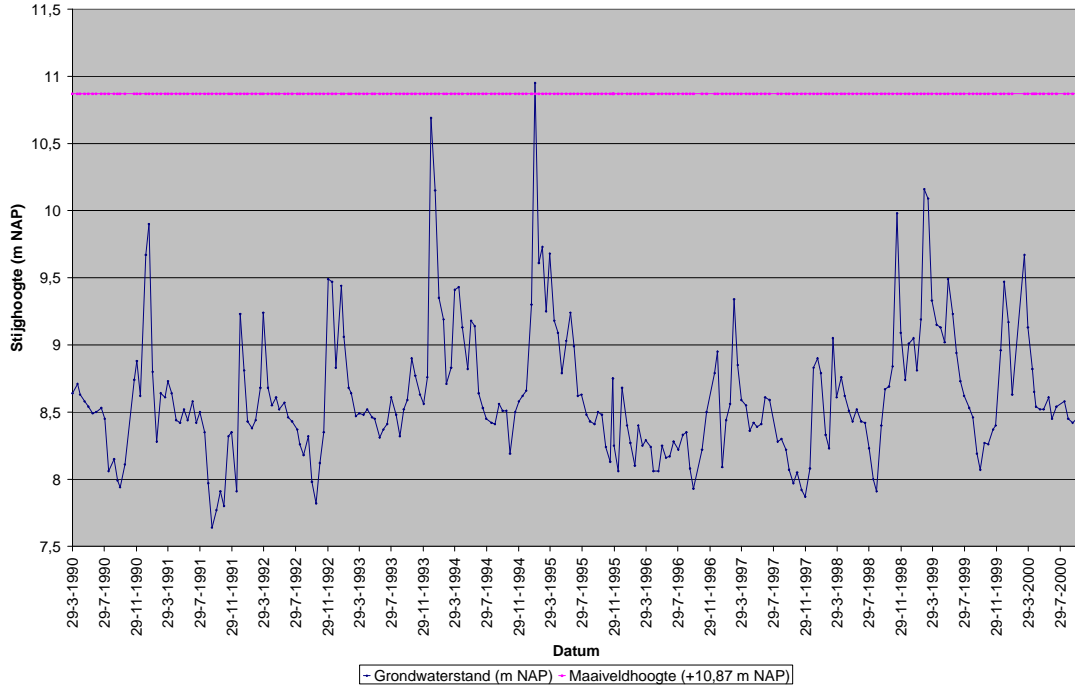
Grondwaterstanden pb B40B-160 TNO-NITG (filterstelling: 8,0-20,0 m -mv)



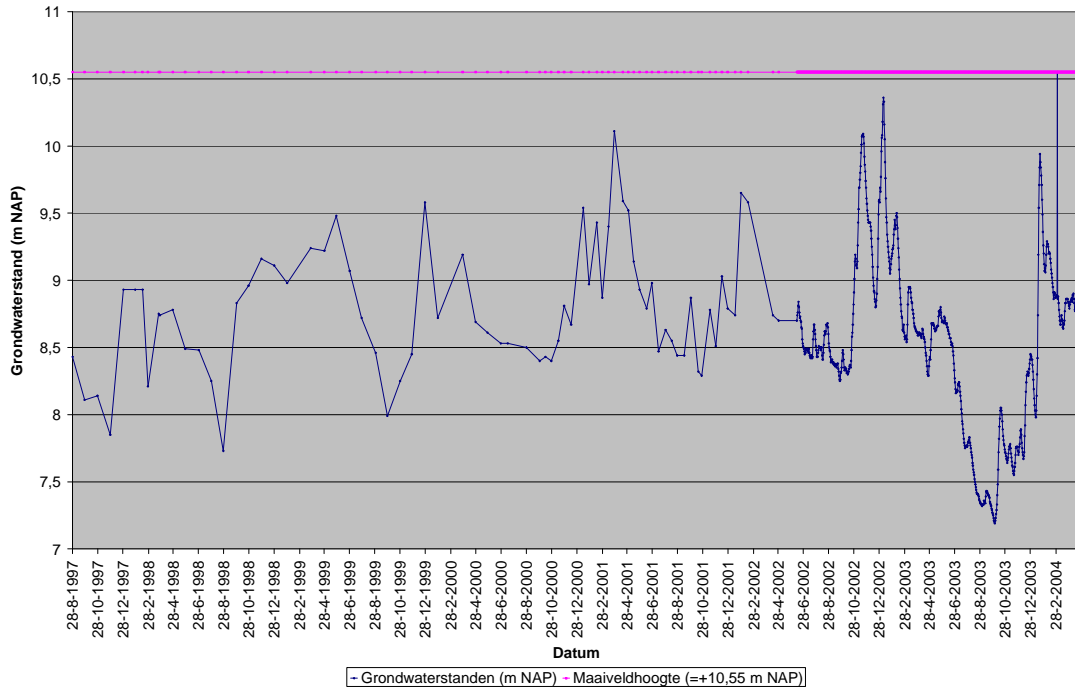
Grondwaterstanden pb B40B0282 TNO-NITG (filterstelling: 45,5-63,0 m -mv)



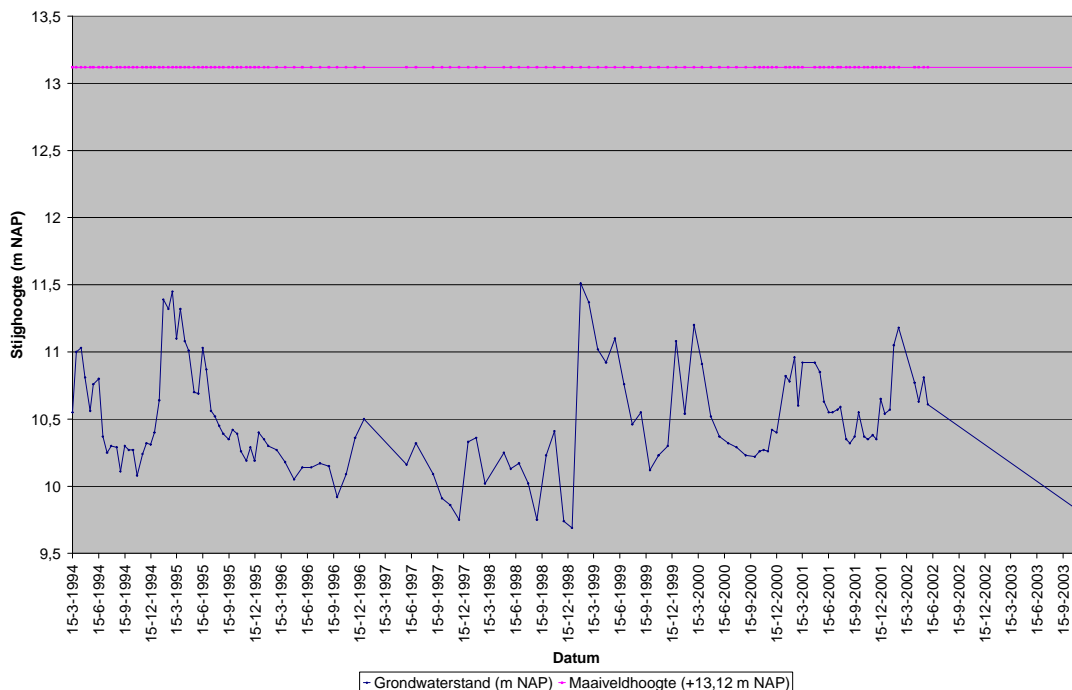
Stijghoogten pb B40B0378 TNO-NITG (filterstelling: 79,0-81,0 m -mv)



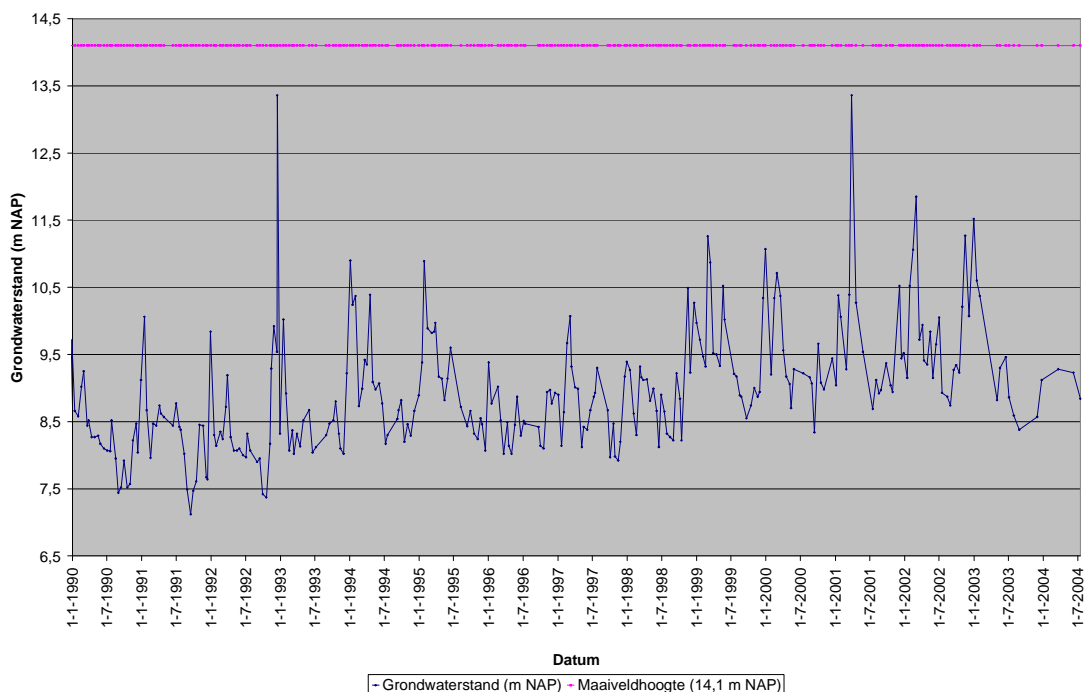
Grondwaterstanden pb B40B0419 TNO-NITG (filterstelling: 12,0-14,0 m -mv)



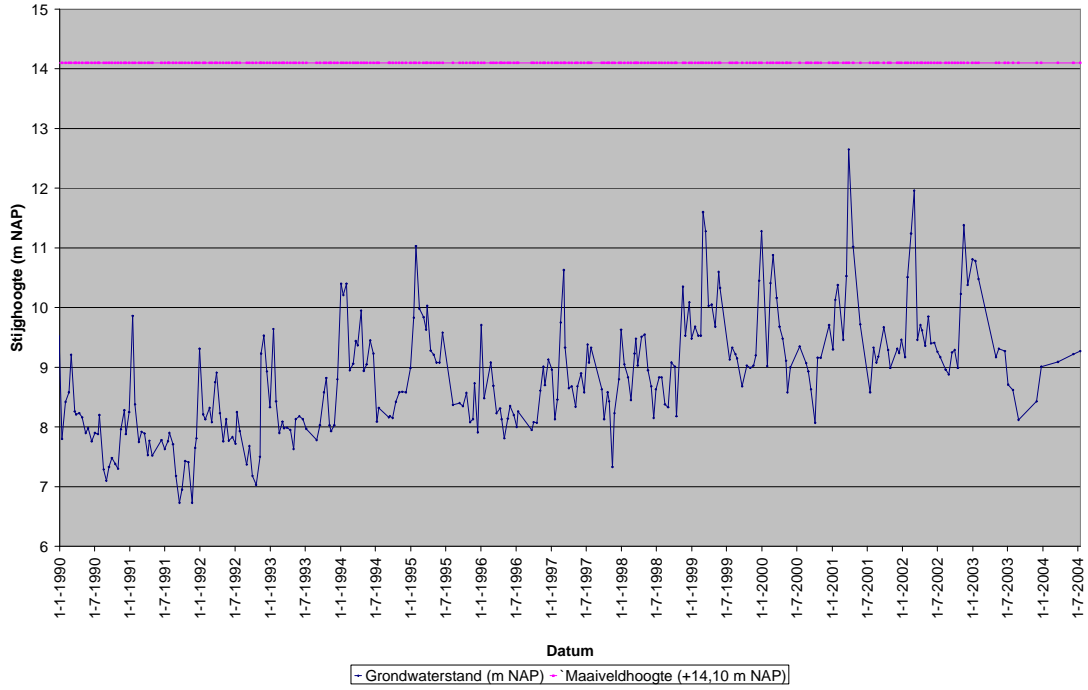
Grondwaterstand pb B40BP0423 TNO-NITG (filterstelling: 27,0-29,0 m -mv)



Grondwaterstanden pb B40B0466 TNO-NITG (filterstelling 43,5-44,5 m -mv)



Grondwaterstand pb B40B0467 TNO-NITG (filterstelling: 47,0-48,0 m -mv)





# Bijlage

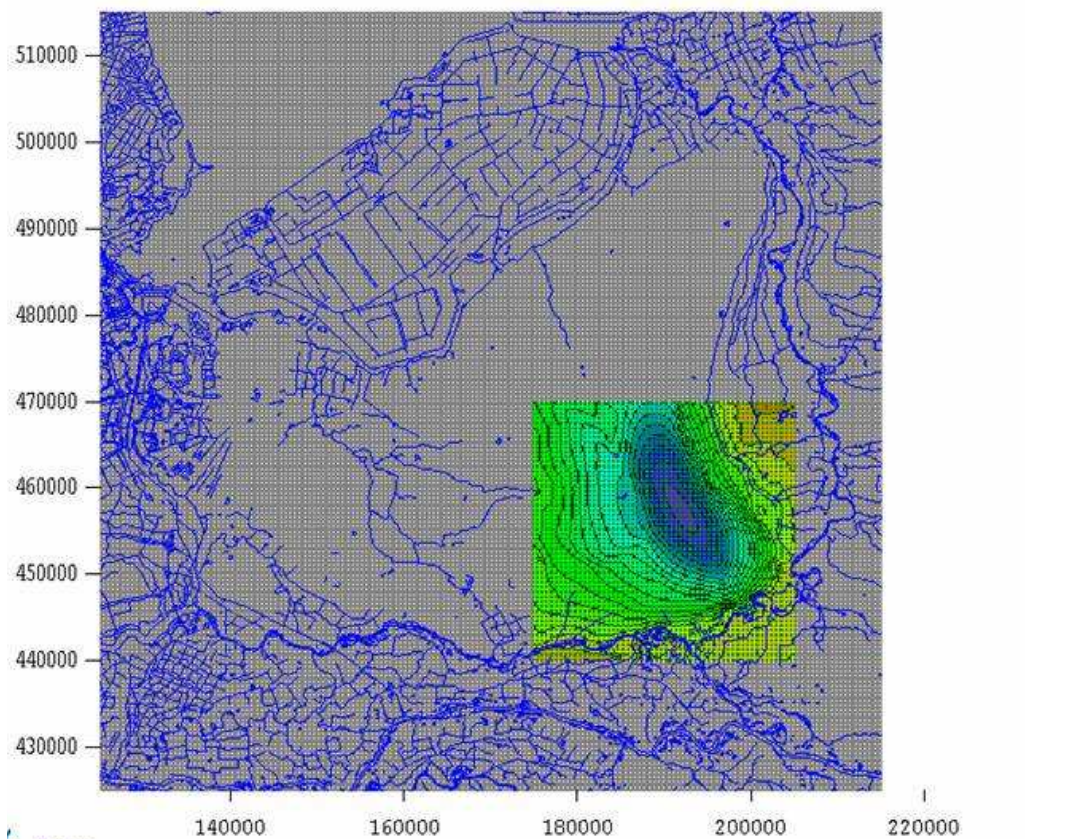
## 4

Detaillering Veluwe model





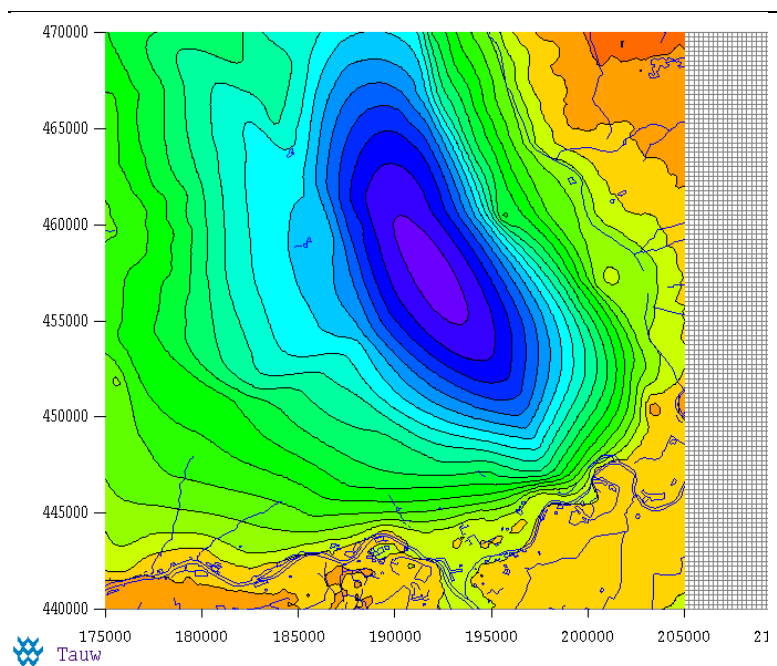
De totale omvang van het Veluwe model is weergegeven in figuur b4.1. De uitsnede is met kleur weergegeven.



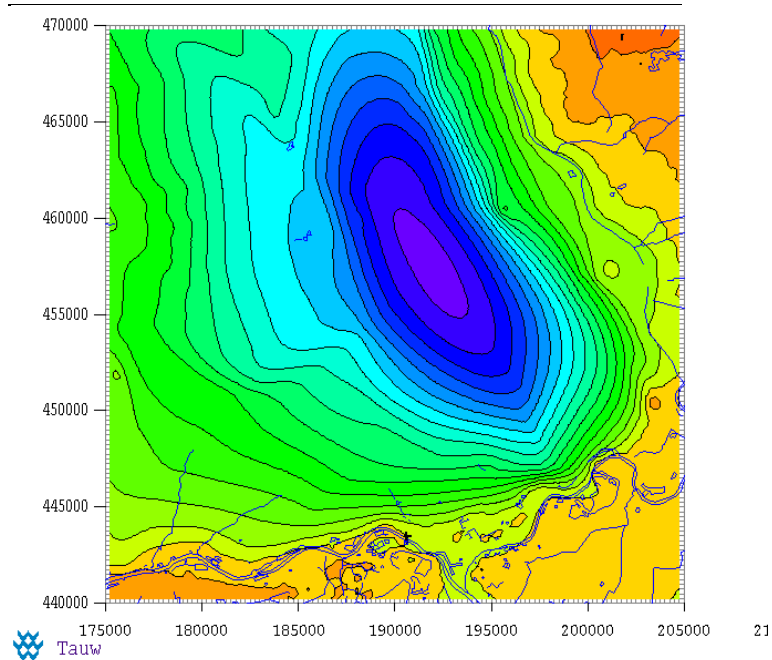
**Figuur b4.1 Het Veluwe model (grijze ondergrond) met de uitsnede ten behoeve van dit MER (gekleurde ondergrond)**

---

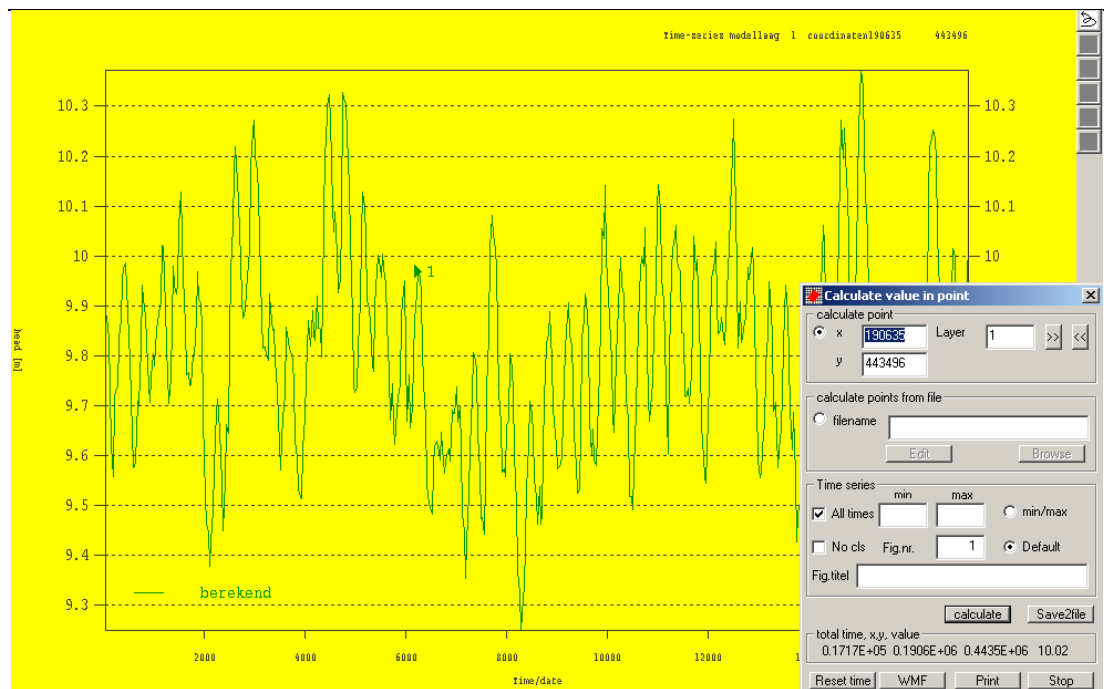
Uit een vergelijking van figuur b4.2 met figuur b4.3 en van figuur b4.4 met figuur b4.5 blijkt dat de uitkomsten van het uitsnede model overeenkomen met de uitkomsten van het Veluwe model. Dit betekent dat het uitsnede-model een goede basis is voor de effectvoorspelling voor het MER.



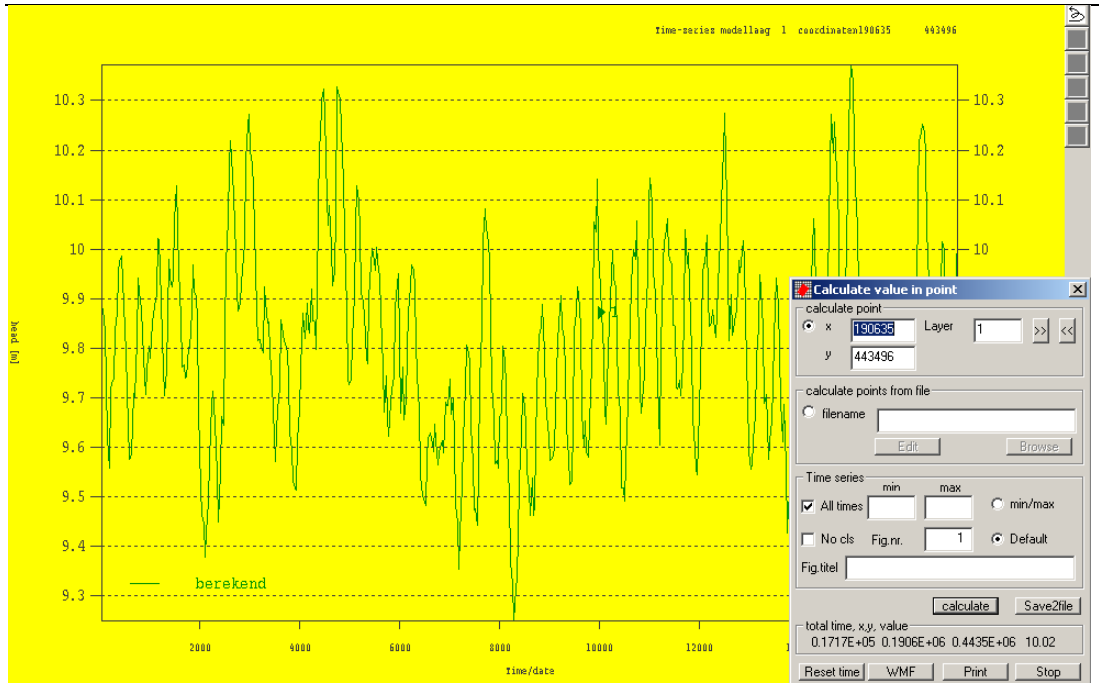
**Figuur b4.2** Berekende grondwaterstanden met het Veluwe model



**Figuur b4.3** Berekende grondwaterstanden met het uitsnede model



**Figuur b4.4** Berekend verloop van de grondwaterstand bij Rijnboog met het Veluwe model



Figuur b4.5 Berekend verloop van de grondwaterstand bij Rijnboog met het uitsnede model



**Figuur b4.6** Situering peilbuizen in het centrum van Arnhem



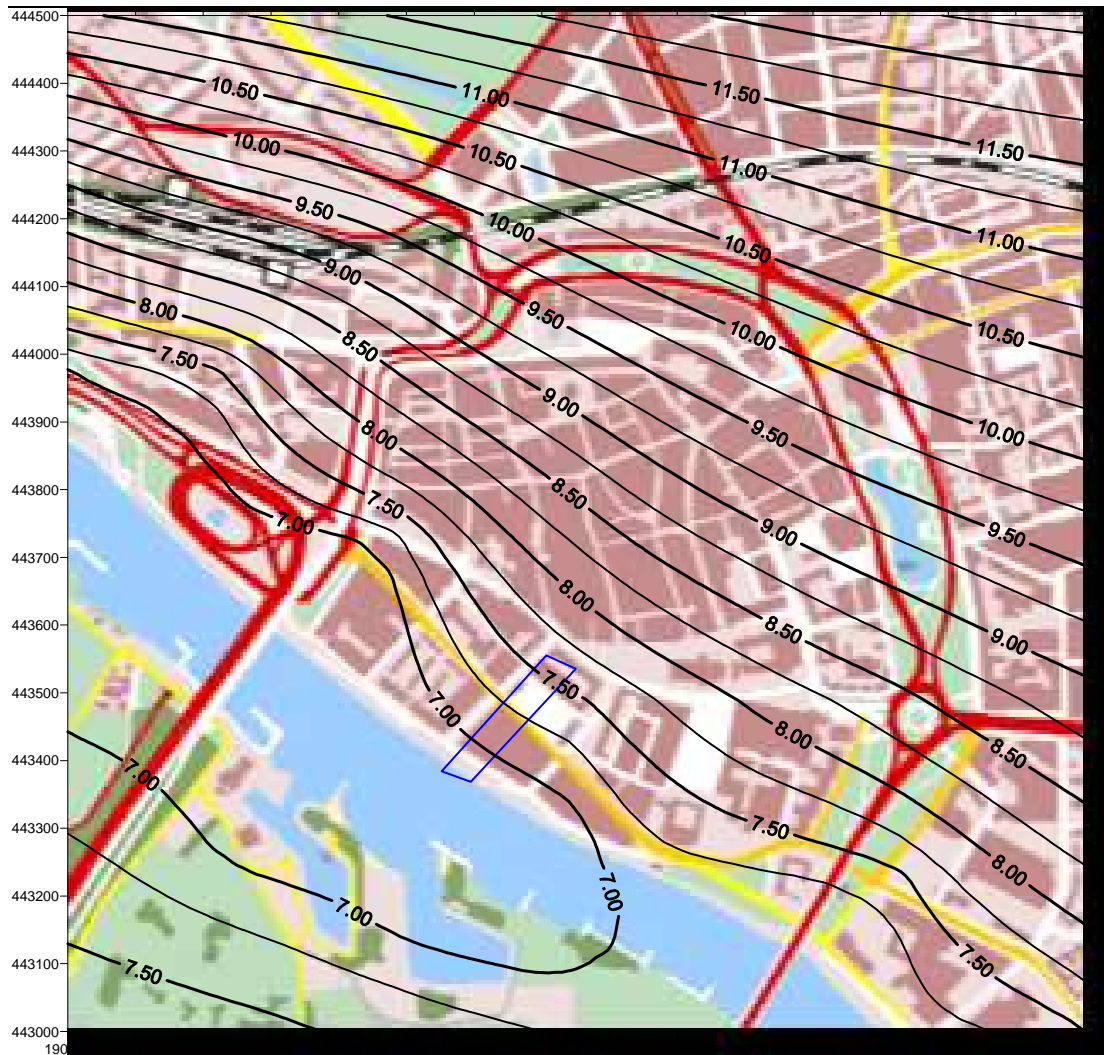
# Bijlage

## 5

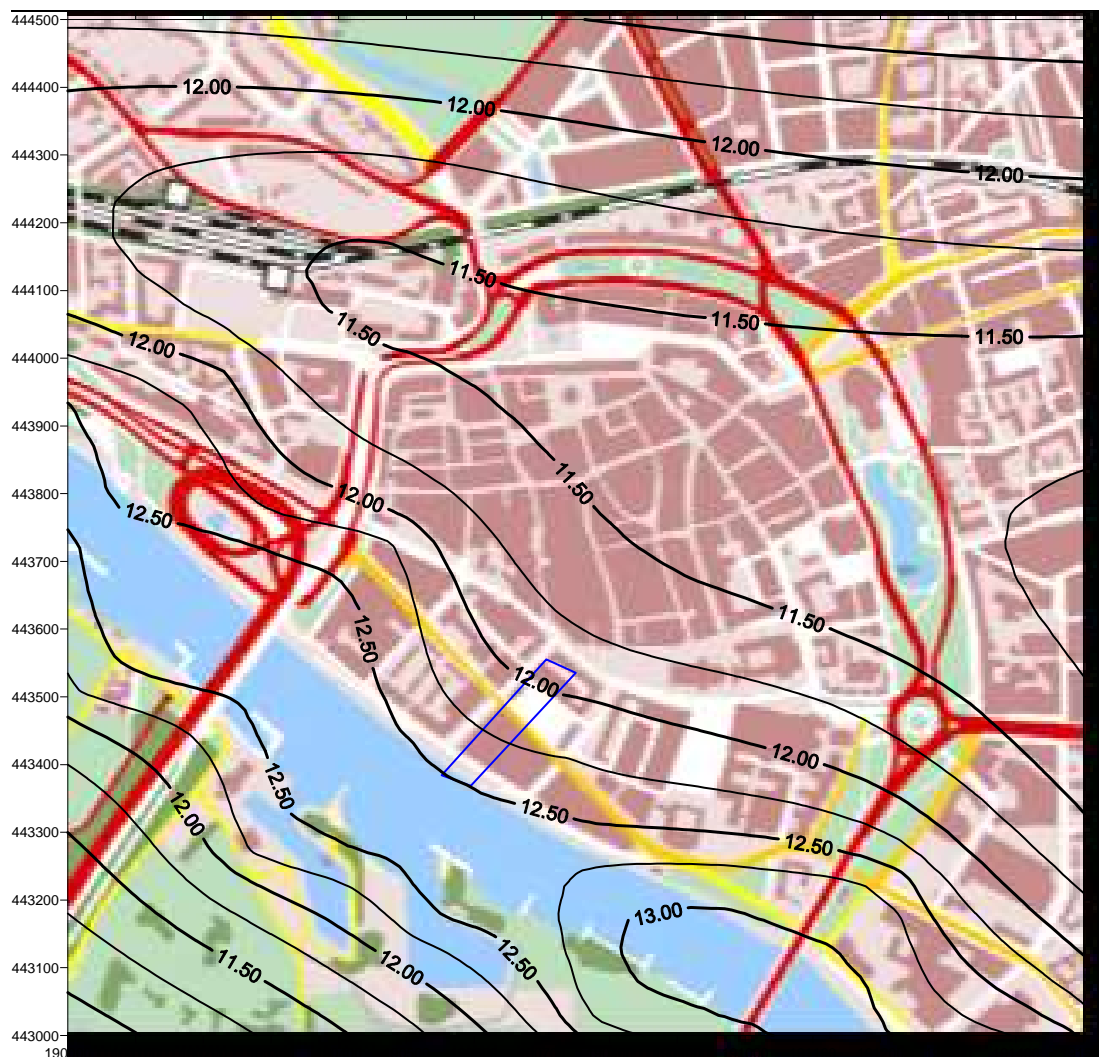
Modelresultaten huidige situatie







**Figuur b5.1** Stijghoogtepatroon bij laag peil op de Rijn (2003)



**Figuur b5.2 Stijghoogtepatroon bij hoog water op de Rijn (5 november 1998)**

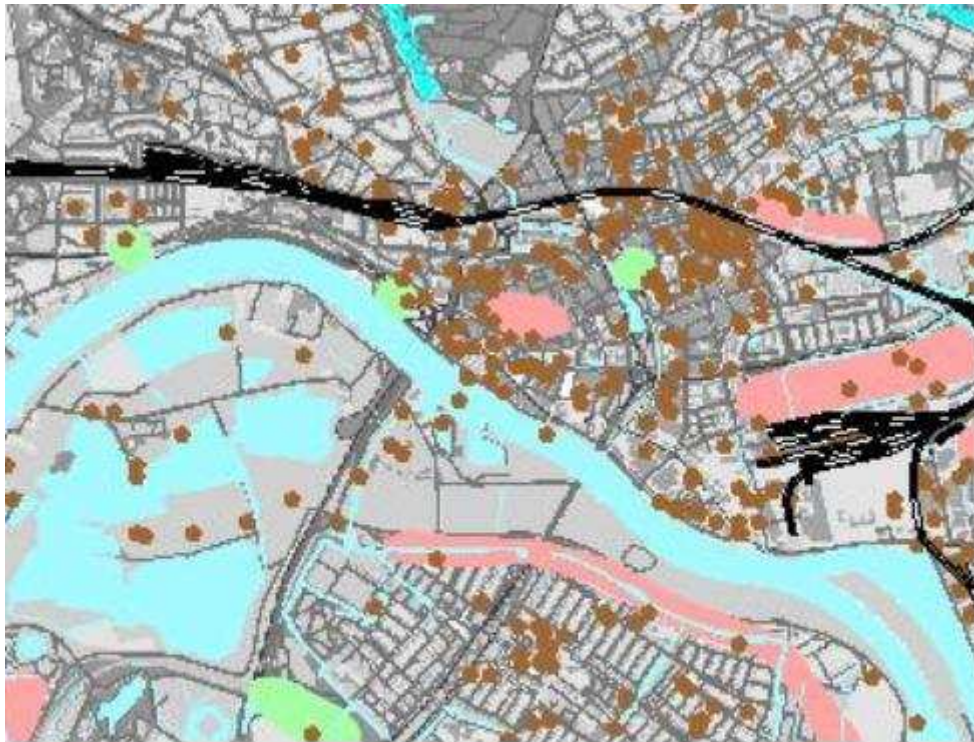
# Bijlage

## 6

### Huidige grondwateroverlast

Deze bijlage bevat een overzichtskaart welke heeft gediend als input voor het waterplan.





- grondwateroverlast
- rioolwateroverlast
- bodemverontreiniging

- waterlopen en open water
- spoor
- wegen

