

SV-060  
Grondwaterkwaliteitskaarten  
Hengelo

Fase 3  
Eindrapport

drs. P. Schipper (Grontmij Advies & Techniek bv)  
drs. M. Vissers (Universiteit Utrecht, Fysische geografie)

juli 2003

Gouda, SKB

### **Auteursrechten**

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

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo", juli 2003, SKB, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

### **Copyrights**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of SKB.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Groundwater quality maps in Hengelo ", July 2003, SKB, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

SKB and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and SKB hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of SKB and/or the contributors.

**Titel rapport**

Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo

Fase 3

Eindrapport

**SKB rapportnummer**

SV-060

**Project rapportnummer**

SV-060

---

**Auteur(s)**

drs. P.N.M. Schipper

drs. M. Vissers

**Aantal bladzijden****Rapport:** 63**Bijlagen:** 47

---

**Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)**

Grontmij Advies &amp; Techniek bv (drs. P.N.M. Schipper, tel. 030 – 6344877)

Universiteit Utrecht, Fysische geografie (drs. M. Vissers)

Vitens (ir. J.H. Hoogendoorn)

Waterschap Regge &amp; Dinkel (ing. T.J. Voskamp)

Provincie Overijssel (ir. I. Oosterkamp)

Gemeente Hengelo (ing. A. Kristen)

---

**Uitgever**

SKB, Gouda

---

**Samenvatting**

Informatie en kennis over de grondwaterkwaliteit is in Nederland sterk versnipperd. De actoren willen dat de toegang en uitwisseling hiervan verbeteren en hebben de indruk dat door de gegevens te bundelen, betere informatie wordt verkregen in de vorm van grondwaterkwaliteitskaarten. Om deze vragen te beantwoorden en concrete ervaring op te doen op regionale schaal, is een database opgezet waarin de data van de grondwaterkwaliteit, afkomstig van verschillende meetnetten en gegevensbronnen, zonder verlies aan informatie, is gebundeld. Hieraan is (proces)kennis toegevoegd over de grondwaterstroming en het landgebruik van herkomst. Dit vergoot het inzicht in de grondwaterkwaliteit. Met de gebundelde database zijn diverse grondwaterkwaliteitskaarten gemaakt. De gebruiksmogelijkheden hiervan zijn in een werksessie verkend. Vooral de regionale achtergrondgehalten lijken een duidelijke meerwaarde te geven. Om na te gaan of hiermee besluiten beter of sneller kunnen worden genomen, dienen de onderzoeksresultaten over een langere termijn te worden geëvalueerd. Het bundelen van datasets van de grondwaterkwaliteit heeft een duidelijke meerwaarde maar is nu erg arbeidsintensief. Het verdient daarom aanbeveling om eerst na te gaan hoe in de toekomst hoe de gegevens (datasets) beter op elkaar kunnen worden afgestemd alvorens tot fysieke bundeling over te gaan.

---

**Trefwoorden****Gecontroleerde termen:**

analysepakketten, grondwaterkwaliteit, grondwatermodel, meetnetten, stroming

**Vrije trefwoorden:**

bollenkaarten, box-whisker-plots, databases, grondwatersystemen, histogrammen, landgebruik

---

**Titel project**

Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo

**Projectleiding**

Grontmij (drs. P.N.M. Schipper, 030 6344877)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

**Report title**  
Groundwater quality maps in Hengelo

**SKB report number**  
SV-060

Phase: 3  
Final report

**Project report number**  
SV-060

---

**Author(s)**  
drs. P.N.M. Schipper  
drs. M. Vissers

**Number of pages**  
**Report:** 63  
**Appendices:** 47

---

**Executive organisation(s) (Consortium)**  
Grontmij Advies & Techniek bv (drs. P.N.M. Schipper, tel. 030 – 6344877)  
Universiteit Utrecht, Fysische geografie (drs. M. Vissers)  
Vitens (ir. J.H. Hoogendoorn)  
Waterschap Regge & Dinkel (ing. T.J. Voskamp)  
Provincie Overijssel (ir. I. Oosterkamp)  
Gemeente Hengelo (ing. A. Kristen)

---

**Publisher**  
SKB, Gouda

---

**Abstract**

Information and knowledge concerning groundwater quality in the Netherlands is highly fragmented. The parties involved wish to improve the access to and the exchange of this information, and have the impression that better information is obtained in the form of groundwater quality maps if this data can be clustered. In order to answer these questions and gain concrete experience at a regional level, a database has been set up which clusters data on groundwater quality from various measurement networks and data sources without losing information. (Process) knowledge on groundwater flows and the land use of their origin has been added. This increases insight into groundwater quality. The clustered database has been used to draw up various groundwater quality maps. The user options were examined during a work session. Particularly the regional background levels seem to provide clear added value. In order to ascertain whether this enables better or faster decision making, the research results need to be evaluated over a longer period of time. The clustering of groundwater quality datasets clearly has added value, but is now very labour intensive. We therefore recommend that it first be ascertained how the data (datasets) can be better attuned to one another before progressing to physical clustering.

---

**Keywords**

**Controlled terms:**  
analysis packages, flow, groundwater model,  
groundwater quality measurement networks,

**Uncontrolled terms**  
box-whisker-plots, databases,  
groundwater systems,  
histograms maps, land usage

---

**Project title**  
Groundwater quality maps in Hengelo

**Projectmanagement**  
Grontmij (drs. P.N.M. Schipper,  
030 6344877)

---

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands  
Netherlands Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer (SKB)



## INHOUD

		SAMENVATTING.....	V
		SUMMARY.....	IX
Hoofdstuk	1	INLEIDING .....	1
	1.1	Achtergrond en aanleiding .....	1
	1.2	Doelstelling .....	1
	1.3	Aanpak op hoofdlijnen.....	1
	1.4	Stappenplan.....	2
	1.5	Projectteam en communicatie.....	3
	1.6	Leeswijzer .....	3
Hoofdstuk	2	GEBIEDSBESCHRIJVING .....	4
	2.1	Inleiding.....	4
	2.2	Studiegebied .....	4
	2.3	Topografie en landgebruik .....	5
	2.4	Genese en geologie .....	6
	2.5	Grondwaterstroming en onttrekkingen .....	7
	2.6	Oppervlaktewater .....	8
Hoofdstuk	3	DATA GRONDWATERKWALITEIT.....	9
	3.1	Inleiding.....	9
	3.2	Data-analyse.....	9
	3.3	Beschikbare data .....	10
	3.4	Aantal en ligging waarnemingslocaties .....	12
	3.5	Overlap chemische parameters .....	17
	3.6	Opzet gebundelde database .....	17
	3.7	Evaluatie .....	21
Hoofdstuk	4	EERSTE OPZET GRONDWATERKWALITEITSKAARTEN.....	23
	4.1	Algemeen.....	23
	4.2	Histogrammen grondwaterkwaliteit .....	23
	4.3	Box-Whisker plots .....	27
	4.4	Bollenkaarten .....	29
Hoofdstuk	5	GENEREREN PROCESKENNIS .....	33
	5.1	Inleiding.....	33
	5.2	Methode stroombaanberekeningen .....	33
	5.3	Kwel en infiltratie.....	33
	5.4	Leeftijd en afgelegde weg grondwater .....	35
	5.5	Grondwatersystemen .....	37
	5.6	Landgebruik .....	38
	5.7	Hydrochemisch milieu .....	38
Hoofdstuk	6	TOEPASSEN PROCESKENNIS .....	41
	6.1	Inleiding.....	41
	6.2	Toegevoegde indicatoren proceskennis.....	41
	6.3	Indeling in grondwatertypen .....	44
	6.4	Gemiddelde concentraties grondwatertypen.....	47
	6.5	Achtergrondgehalten grondwatertypen .....	48
	6.6	Grondwaterkwaliteitskaarten met proceskennis.....	50

Hoofdstuk	7	WERKSESSIE.....	53
	7.1	Inleiding.....	53
	7.2	Case 1, ruwwaterkwaliteit stedelijke grondwaterwinning.....	53
	7.3	Case 2, Beoordeling metingen NAVOS .....	54
	7.4	Case 3, Beoordeling arseen- en nikkelgehalten Gemeente .....	55
	7.5	Evaluatie werksessie .....	55
Hoofdstuk	8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	57
	8.1	Conclusies .....	57
	8.2	Aanbevelingen .....	60
		LITERATUUR .....	62
Bijlage	A	SELECTIE KAARTEN A4-FORMAAT	
Bijlage	B	BESCHRIJVING GRONDWATERMODEL	
Bijlage	C	ACHTERGRONDINFORMATIE WERKSESSIE	

## SAMENVATTING

### Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo

#### Algemeen

De grondwaterkwaliteit vormt een belangrijk aspect bij besluiten rond milieu, water- en bodembeheer en ruimtelijke ordening. Uit de definitiestudie “Knelpunten besluitvorming rondom de grondwaterkwaliteit” Grontmij, 2002, kwam naar voren dat informatie en kennis over de grondwaterkwaliteit sterk is versnipperd en dat de voornaamste wens van actoren is dat de toegang en uitwisseling van de grondwaterkwaliteitsgegevens verbetert. Ook bestaat de indruk dat met gebundelde meetgegevens betere informatie kan worden verkregen in de vorm van grondwaterkwaliteitskaarten. Grontmij heeft daarom het initiatief genomen voor een vervolgonderzoek op de definitiestudie en hiervoor het basisprojectplan SV-060 fase 3 “Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo” opgesteld. De belangrijkste onderzoeksvragen van dit vervolgonderzoek zijn:

- Hoe en met welke inspanning kan data van de grondwaterkwaliteit gebundeld en toegankelijk gemaakt worden?
- Hoe sluiten grondwaterkwaliteitskaarten van de gebundelde meetgegevens aan op de informatiebehoefte en hoe neemt de betrouwbaarheid toe door het inbrengen van proceskennis?
- Wat zijn de gebruiksmogelijkheden van de resultaten van het onderzoek en kunnen besluiten hiermee in de praktijk verbeteren of sneller verlopen?

De Stichting Kennisontwikkeling en Kennistransfer Bodem (SKB) heeft op basis van het basisprojectplan opdracht verleend. Het onderzoek SV-060 fase 3 is aldus binnen het kader van het SKB uitgevoerd door Grontmij en de Universiteit Utrecht (UU), in samenwerking (consortiumverband) met de Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO, thans Vitens), de provincie Overijssel, de Gemeente Hengelo en het waterschap Regge & Dinkel. De resultaten van dit onderzoek worden in het onderhavige rapport beschreven.

#### Bundelen data

Voor het onderzoek is een studiegebied van 16 bij 18 km beschouwd rondom het stedelijk gebied van Hengelo. Aangevangen is met het verzamelen van de beschikbare digitale data over de grondwaterkwaliteit binnen de provincie Overijssel, namelijk de data van het Landelijk en Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG en PMG), NAVOS (Nazorg Voormalige Stortplaatsen), de WMO en DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond). Door de gemeente Hengelo zijn lopende het onderzoek alle grondwaterkwaliteitsgegevens van bodemonderzoeken opgenomen in hun BIS (Bodem Informatie Systeem). Ook deze gegevens zijn verzameld.

Met de verzamelde data is voor het studiegebied een nieuwe gebundelde database opgezet in Access. De hoofdelementen zijn opgenomen in een datasheet-tabel en de sporenmetalen en organische microverontreinigingen (omiven) in een lijndatabase. De unieke sleutelvariabele is een unieke combinatie van coördinaat en filterdiepte en niet, zoals gebruikelijk, de putnaam. Voor de analyses is een datum vereist.

De gebundelde database omvat binnen het studiegebied 1.208 grondwatermonsters voor 1.058 meetlocaties, met 4.032 chemische analyses van hoofdelementen en 8.070 chemische analyses van sporenelementen. Dit aantal zou ruim twee maal zo groot zijn indien alle metingen binnen het BIS worden meegerekend waarvoor geen coördinaten beschikbaar zijn. Voor de gehele Provincie bevat de gebundelde database ruim 20.000 grondwatermonsters voor ruim 4.000 meetpunten, met circa 195.000 chemische analyses van hoofdelementen en circa 73.000 chemische analyses van sporenelementen.

De afzonderlijke datasets zijn door de opgezette structuur zonder verlies aan informatie gebundeld. Doordat Access eenvoudig gekoppeld is aan ArcView en eenvoudig geëxporteerd kan worden naar een Excel-bestand, is de gebundelde database voor een breed publiek toegankelijk. De meeste meetlocaties betreffen de ad-hoc metingen van bodemonderzoeken die in het BIS van de Gemeente zijn opgenomen. Eigenlijk waren van het BIS de gegevens van bijna twee maal zoveel meetlocaties beschikbaar, maar hiervan ontbraken de coördinaten.

Door het bundelen van de data ontstaat per chemische parameter meer inzicht, omdat de verzamelde meetnetten elkaar qua analysepakket deels overlappen. Met overlap wordt bedoeld, dat per stof (chemische parameter) meerdere meetgegevens in de gebundelde dataset aanwezig zijn dan in één van de afzonderlijke datasets. Zo bevatten alle beschouwde datasets analysegegevens van zware metalen en bevatten drie datasets meetgegevens van omiven. Indien een stof in slechts één dataset zou zijn opgenomen, ontstaat voor die stof met de gebundelde dataset niet direct meer inzicht.

Het bundelen van deze data vereist behoorlijk wat tijd; in de orde van enkele weken (fulltime) werk voor een adviseur die goed kan werken met de genoemde programma's en los van de benodigde tijd voor het verkrijgen van de gegevens. Een deel van deze tijd is nodig voor het aanvullen of bewerken van de aangeleverde data, vooral omdat op onderdelen de benodigde informatie ontbreekt (bijvoorbeeld coördinaat, filterdiepte of datum) en de verzamelde gegevensbronnen verschillen qua format en structuur. Dit laatste met name ten aanzien van de codering van de meetpunten en de wijze waarop metingen beneden detectielimieten zijn aangegeven. Daarnaast is voor het bundelen de naamgeving van geanalyseerde stoffen complex en niet eenduidig, waardoor specifieke chemische kennis nodig is om de gegevens te bundelen. Met name voor organische componenten zal in het algemeen veel werk moeten worden verricht om een bundeling tot stand te brengen.

### **Proceskennis**

Om proceskennis te verkrijgen is een gedetailleerd grondwatermodel opgezet met het programma MODFLOW. Eerst is gewerkt met een modelresolutie van 100 bij 100 m, maar later is voor de definitieve versie een kleinere modelresolutie aangehouden, namelijk 50 bij 50 m. Om goede ijkresultaten met gemeten grondwaterstanden te verkrijgen, zijn zo nauwkeurig mogelijk de digitale gegevens over het oppervlaktewater in het model verwerkt en is bij de interpretatie van de geologische eenheden kritisch gelet op het uitwiggan van scheidende lagen. Op basis van de calibratieresultaten en de waterbalansen, is het model geschikt geacht om de grondwaterstroming op het gewenste regionale niveau voldoende betrouwbaar te kunnen berekenen.

Grondwatersystemen of grondwaterstromingsstelsels zijn deelsystemen van watersystemen en omvatten een infiltratiegebied en één of meerdere exfiltratie- of kwelgebieden. Inzicht in de grondwatersystemen kan een belangrijke ondersteuning geven voor het bepalen van lokale achtergrondgehalten, de afperking van diffuse- en punt-verontreinigingen, de opties voor sanering ervan en gebiedsgericht beleid om waardevolle wateren (beken) zo schoon mogelijk te maken ("waterparels").

Met het gecalibreerde model zijn diverse stroombaanberekeningen uitgevoerd. Ook zijn enkele specifieke programma's gemaakt om de output van de stroombaanberekeningen te verwerken. Met de stroombaanberekeningen en hiermee uitgevoerde bewerkingen is de grondwaterstroming uitgebreid in beeld gebracht. De berekende stroombanen geven een goed inzicht in de kwel- en infiltratiepatronen, de herkomst en leeftijd van het grondwater en de begrenzing van grondwatersystemen. De grondwaterstroming wordt gekenmerkt door het voorkomen van vrij ondiepe grondwatersystemen met relatief korte verblijftijden. Gebleken is dat binnen het studiegebied enkele tientallen stromingsstelsels kunnen worden onderscheiden. Deze zijn veel kleiner dan de

stromingsstelsels die in eerdere studies voor hetzelfde gebied zijn bepaald. Al het (regen)water dat binnen de hier onderscheiden grondwatersystemen infiltreert, komt binnen hetzelfde stromingsstelsel tot exfiltratie, hetzij in natuurlijke beken, kunstmatige drainage of grondwateronttrekkingen. Het diepe grondwater onder Hengelo wordt gevoed door enkele zeer kleine infiltratiegebieden.

Naast de grondwaterstroming is informatie verzameld over het landgebruik en het hydrochemische milieu. Voor het landgebruik zijn naast de digitale landgebruikskaart (LGN3) diverse historische kaarten van Twente (series van omstreeks 1890, 1910, 1930, 1960 en heden) op de Universiteit bestudeerd. Omdat de levensduur van het grondwater in de regio vrij kort is (enkele decennia's), kon voor het bepalen van de herkomst in de meeste gebieden worden volstaan met de kaarten van het huidige landgebruik. Het hydrochemische milieu kan in het algemeen binnen korte afstanden vrij abrupt veranderen. In het grootste deel van het studiegebied wordt kalkrijk een daarmee gebufferd grondwater aangetroffen. Meestal is dit grondwater vrij ondiep anaëroob (gereduceerd) en bevat het daardoor geen nitraat. Alleen ten oosten van Hengelo komt een gebied voor met een relatief dik zandpakket dat niet door klei of organisch materiaal wordt afgedekt, waardoor het grondwater hier tot grotere diepte aëroob en ongebufferd is. Omdat binnen het studiegebied maar weinig grondwatermonsters geschikt zijn om het hydrochemische milieu uit af te kunnen leiden, kunnen de onderscheiden hydrochemische milieus niet duidelijk worden begrensd.

#### *Grondwaterkwaliteitskaarten*

Op regionale schaal (het studiegebied) zijn bollenkaarten gemaakt waarop de concentraties van een stof zijn weergegeven (één stof per kaart). Dit geeft inzicht in de ruimtelijke spreiding. Voor de omiven is een aparte combinatiekaart ontwikkeld waarop per meetlocatie is aangegeven of de halve interventiewaarde voor één of meer stoffen wordt overschreden.

Verder zijn histogrammen gemaakt en Box-Whisker-plots. Deze geven een goed beeld van de spreiding en verdeling in de concentraties en blijken goed te kunnen dienen als onderbouwing voor een achtergrondgehalte. Als referentie zijn ook steeds Box-Whisker-plots gemaakt voor de dataset die binnen Overijssel ligt, maar buiten het studiegebied. Dit betreft een groot deel van de meetlocaties van het LMG, PMG, WMO, DINO en NAVOS.

Om de betrouwbaarheid van de grondwaterkwaliteitskaarten te vergroten, is de proceskennis benut om groepen van grondwatermonsters te onderscheiden die qua samenstelling en verontreinigingsgraad duidelijk van elkaar verschillen. De indicatoren landgebruik van herkomst, ouderdom, lengte afgelegde weg en stromingsstelsel zijn met behulp van uitgebreide stroombaanberekeningen toegevoegd aan de gebundelde database. Gebleken is dat groepen hier het beste kunnen worden onderscheiden op basis van het landgebruik in combinatie met de lengte van de afgelegde weg van het bemonsterde grondwater. Dit is schematisch weergegeven in figuur S1.

Op deze wijze zijn tien groepen onderscheiden: vijf landgebruikstypen (bos, stedelijk, industrie, landbouw en overig) en per landgebruik lokaal (afgelegde weg < 60 m) en ver (afstand > 60 m).

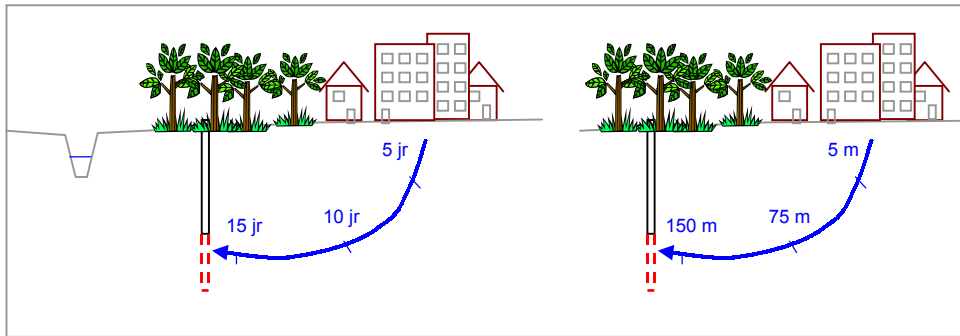


Fig. S1. Schematische weergave indicatoren grondwaterstroming: landgebruik van herkomst (hier stedelijk), leeftijd (ruim vijftien jaar) en afgelegde weg (hier ruim 150 m).

Doordat hier wordt beschikt over de gebundelde data, kan de grondwaterkwaliteit van de onderscheiden groepen redelijk betrouwbaar worden bepaald. Dat wil zeggen dat per chemische parameter vaak voldoende monsters beschikbaar zijn (> 15) om statistische uitspraken te kunnen doen, bijvoorbeeld over het gemiddelde en 90-percentielwaarde. Voor de belangrijkste landgebruikseenheden en chemische parameters zijn vaak ruim honderd meetpunten met analyses beschikbaar.

### Gebruiksmogelijkheden

De gebruiksmogelijkheden van de gebundelde database en grondwaterkwaliteitskaarten zijn verkend door middel van een plenaire werksessie. Door de betrokken instanties zijn case-studies voor de werksessie aangedragen om zo de grondwaterkwaliteitskaarten, database en toegevoegde proceskennis te testen. Iedere case is apart behandeld door een groep van drie personen. De afzonderlijke resultaten zijn geëvalueerd aan de hand van een korte presentatie van elke groep.

Tijdens de werksessie is geconcludeerd dat met de verkregen inzichten diverse besluiten over de grondwaterkwaliteit in de praktijk sneller kunnen verlopen en met name beter kunnen worden onderbouwd. Dit met name door het verkregen inzicht in de regionale achtergrondconcentraties van zware metalen en het ruimtelijk overzicht in de aanwezigheid van omiven. Dit inzicht kan (dagelijkse) besluiten verbeteren over nieuwe bodemonderzoeken, terugsaneerwaarden, de beoordeling van oude stortplaatsen, de risicobeoordeling voor het aantrekken van verontreinigingen met een stedelijke grondwaterwinning en de beoordeling van lozingen van bemalingswater. Vooral de 90-percentielwaarden en histogrammen zijn nuttig bevonden als indicatie voor regionale achtergrondgehalten en de gecombineerde kaart met omiven om risico's voor het aantrekken van verontreinigingen te kunnen voorspellen. Tijdens de werksessie is ook nagegaan of nieuwe meetlocaties beter kunnen worden beoordeeld als men snel inzicht heeft in de herkomst en de afgelegde weg van het bemonsterde grondwater. Dit blijkt mogelijk met de voor dit onderzoek opgezette afstand-diepte kaarten.

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn conclusies geformuleerd en aanbevelingen gedaan voor de opzet van chemische databases, het bundelen van grondwaterkwaliteitsgegevens, het verkrijgen van inzicht in de grondwaterstroming, het benutten van proceskennis en verder onderzoek.

## SUMMARY

### Groundwater quality maps in Hengelo

#### General / Introduction

Groundwater quality is an important aspect for decisions about the environment, water and soil management and spatial planning. The definition study "Bottlenecks decision-making about groundwater quality" ("Knelpunten besluitvorming rondom de grondwaterkwaliteit", Grontmij 2002), showed that information and knowledge about groundwater quality is highly divided. The most important wish of actors was the improvement of access to and exchange of groundwater quality data. Moreover, it is likely that with combined measurement data better information could be obtained in the form of groundwater quality maps. This is why Grontmij made a proposal for further research, SV-060 phase 3 "Groundwater quality maps of Hengelo (Province of Overijssel, The Netherlands)" (Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo). The main research questions are:

- How and with which effort could data of groundwater quality be combined and made accessible?
- How do groundwater quality maps of combined measurement data meet the information need and how will the reliability improve by the input of process knowledge?
- How could the results of this research be used and will it improve or fasten decision-making?

The Dutch 'Stichting Kennisontwikkeling en Kennistransfer Bodem (SKB)' gave the assignment. Within the framework of SKB, Grontmij and the University of Utrecht (UU), in co-operation with Water Company 'Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO)', the province of Overijssel, the municipality of Hengelo and the water board Regge en Dinkel carried out this research.

#### Combining data

Subject of study was an area of 288 km<sup>2</sup> around the urban part of Hengelo. The research started with the collection of available digital data on the groundwater quality in the province of Overijssel, more specifically data of the National and Provincial Monitoring Network Groundwater Quality (in Dutch abbreviated as LMG and PMG), NAVOS ('Nazorg Voormalige Stortplaatsen'), the water company WMO and DINO (Data and Information Dutch Underground). The municipality of Hengelo inserted all groundwater quality data of soil studies in their Soil Information System (Bodem Informatie Systeem, BIS). These data were used in this research as well.

For the study area, a new combined database in Access was made with the collected data. The main elements were inserted in a data sheet table. Trace metals and organic micro-pollutants were inserted in a line-database. The unique key variable is a unique combination of co-ordinate and filter depth, as opposed to the usual drain name. A date is needed for the analyses.

The combined database is filled with 1,208 groundwater samples of 1,058 locations within the study area, with 4,032 chemical analyses of main elements and 8,070 chemical analyses of trace elements. If all measurements in the BIS of which no co-ordinates are known, would also have been taken into account, the numbers would have been twice as high. For the entire Province, the combined database contains more than 20,000 groundwater samples of more than 4,000 locations, with about 195,000 chemical analyses of main elements and about 73,000 chemical analyses of trace elements.

Combination of the individual data sets took place without loss of information. It is easy to couple data in Access with ArcView or export data to an Excel-file. Therefore, the combined database is accessible to a large public.

By combining data, more insight on each chemical parameter arises, because the measuring networks overlap each other in terms of analyses package. This means that in the combined database, for each substance (chemical parameter), more data are available than in each individual data set. For example, all data sets contained analyses information on heavy metals; only three data sets contained information on organic micro-pollutants. If only one data set would contain a specific parameter, than the combined data set would not give more insight on that parameter.

Combining all data takes quite some time: several weeks for a consultant who is well acquainted with the computer programmes. Completion and manipulation of data takes much time, especially because information is often incomplete or because the information sources have a different structure and format. Differences in structure concern mainly encoding of measuring points and the way in which measurements below the detection limit are registered. Moreover, the naming of analysed organic substances is complex and ambiguous. Therefore specific chemical knowledge is required to combine the different data on these substances.

### **Process knowledge / Knowledge of processes**

To obtain process knowledge, a detailed groundwater model was made with the computer program MODFLOW. At start a model resolution of 100 to 100 m was used, which was changed into 50 to 50 m in the ultimate version. To obtain good references with measured groundwater levels, digital data about surface water were converted into the model as detailed as possible. Also, much attention was paid to the wedging out of separating layers in the interpretation of geological units. On the basis of calibration results and water balances, it was concluded that the model was suitable to give a sufficiently reliable calculation of the groundwater flow at the chosen regional scale.

Groundwater systems are parts of water systems and include an infiltration area and one or more seepage areas. Insight in groundwater systems could provide important support in detecting local background concentrations, for the marking out of point- and non-point pollution, the alternatives for decontamination and area-oriented policy to clean up valuable water bodies (brooks).

With the calibrated model, several flow path calculations were made. Also, some specific programmes were build to convert the output of the calculations. By means of the flow path calculations and conversions, a detailed picture of the groundwater flow was given. The calculated flow paths give good insight in the seepage and infiltration patterns, the origin and age of the groundwater and the boundaries of groundwatersystems. The groundwater flow is characterised by the existence of relatively shallow groundwater systems with relatively short travel times. The study area contains dozens of flow systems. These are much smaller than the flow systems that were defined in earlier studies for the same area. All (rain) water infiltrating in the individual groundwater systems, exfiltrates within the same flow system; whether in natural brooks, artificial drainage or groundwater withdrawals. Some very small infiltration areas feed the deep groundwater below Hengelo.

Information was gathered not only about groundwater flow, but also about land use and the hydro-chemical environment. Besides the digital land use map (LGN3), also some historical maps of the Twente-region (series of about 1890, 1910, 1930, 1960 and present) at the University of Utrecht were studied. In most areas, the maps of recent land use were sufficient to determine the origin of the groundwater, because the life span of groundwater in the region is relatively short (a few decades). The hydro-chemical environment can change abruptly within a short distance. In the biggest part of the study area, calcareous buffered groundwater is present. Mostly this groundwater contains no nitrate because it is relatively shallow anoxic (reduced). Only east of Hengelo, an area with a relatively thick sand package can be found. There, up to great depth, the groundwater is aerobic and non-buffered, because this sand package is not covered by clay or



organic matter. Because in the study area only few groundwater samples were suited to deriving the hydro-chemical environment, the hydro-chemical environments could not be clearly limited.

#### Groundwater quality maps

At regional scale (i.e. the study area), maps were made with the concentrations of a substance (one substance each map). This gives insight in the spatial distribution. For the organic micro-pollutants, a combined map was developed. For each measuring point, it was pointed out whether the intervention value of one or more substances was exceeded or not. Moreover, histograms and Box-Whisker-plots were made. They give a good picture of the distribution of concentrations. Also, they are suitable as foundation for a background concentration. As a reference, Box-Whisker-plots were also made for the data set outside the study area but inside the Province of Overijssel. This data set contains many measuring locations from the datasets of LMG, PMG, WMO, DINO and NAVOS.

To improve the reliability of the groundwater quality maps, process knowledge was used to distinguish groups of groundwater samples with clear differences in composition and pollution degree. The indicators “land use at origin”, “age”, “length covered path”, and “flow system” were added to the combined database by means of elaborate flow path calculations. It turned out that the groups could best be distinguished on the basis of land use in combination with the length of the covered path of the sampled groundwater. See figure S1 for a schematic picture.

Ten groups were distinguished; five land use types (forest, urban, industry, agriculture and other) and for each type of land use a distinction in ‘local’ (covered path < 60 m) and ‘far’ (covered path > 60 m).

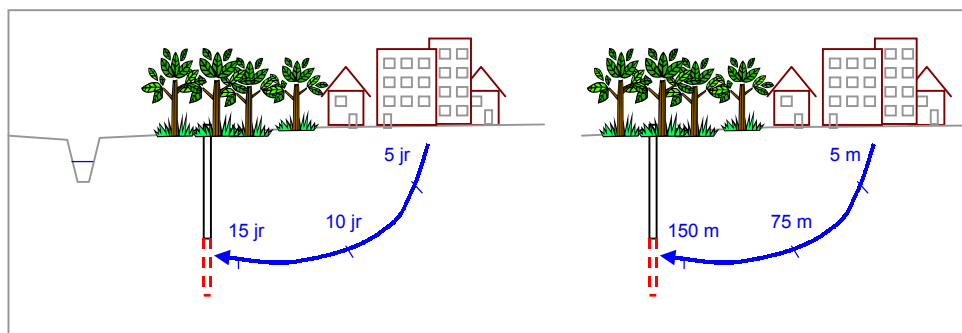


Fig. S1. Schematic picture of indicators for groundwater flow: land use at origin (here: urban), age (here: fifteen years) and covered path (here: 150 m).

Because of the combined data, the groundwater quality of the different groups could be determined relatively reliable. This means that for each chemical parameter enough samples (> 15) are available for statistic statements, for example about the mean and the 90-percentile value. Often more than hundred measuring points with analyses are available for the most important land use units and chemical parameters.

#### Possibilities for use

In a plenary meeting the possibilities for use of the combined data base and groundwater quality maps were explored. The organisations involved provided case studies to test the groundwater quality maps, database and added process knowledge. Each case was addressed by a group of three persons. The results were evaluated after a short presentation of each group.

It was concluded that with the insight gained, decision-making about groundwater quality could be accelerated and could be better founded. This was mainly a result of the improved insight in regional background concentrations of heavy metals and the spatial overview of the abundance of organic micro-pollutants. This insight may improve (daily) decisions about new soil studies, decontamination values, assessment of old dumps, risk assessment of attracting pollution with urban groundwater withdrawals and the assessment of discharges of drain water. The 90-percentile values and the histograms were useful as indication for regional background concentration. The combined map of organic micro-pollutants was useful to predict the risks of attracting pollution. During the meeting it was discussed whether new measuring points could be better judged if one would have a quick insight in the origin and covered path of the sampled groundwater. This turned out to be possible with the distance-depth maps.

Conclusions and recommendations were formulated about the structure of chemical databases, combining groundwater quality data, gaining insight in groundwater flow, the use of process knowledge and further research.

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

#### 1.1 Achtergrond en aanleiding

Om knelpunten over de besluitvorming rondom de grondwaterkwaliteit te onderzoeken is in opdracht van het SKB de Definitiestudie “Knelpunten besluitvorming rondom de grondwaterkwaliteit” uitgevoerd (kenmerk SV-060). Hieruit kwam naar voren dat de diverse actoren (provincie Overijssel, WMO, gemeente Hengelo, waterschap Regge & Dinkel) belang hechten aan de grondwaterkwaliteit en vinden dat dit aspect nadrukkelijk meegenomen moet worden in diverse besluiten over het milieu, waterbeheer en ruimtelijke ordening. In de huidige situatie is informatie en kennis over de grondwaterkwaliteit echter sterk versnipperd. De actoren willen dat de toegang en uitwisseling van grondwaterkwaliteitsgegevens (data) verbeterd wordt. Ook bestaat de indruk dat met gebundelde meetgegevens betere informatie kan worden verkregen in de vorm van grondwaterkwaliteitskaarten om hiermee diverse besluiten sneller of beter onderbouwd te laten verlopen.

Een belangrijk knelpunt is dat er geen aangewezen instantie is die verantwoordelijk is voor het bundelen en beter toegankelijk maken van grondwaterkwaliteitsgegevens. Een ander knelpunt is dat de afzonderlijke instanties vaak niet weten welke meetgegevens en informatie aanwezig zijn bij een andere instantie. Een ander knelpunt is dat de huidige grondwaterkwaliteitskaarten voor veel mogelijke gebruiksdoeleinden te grof en onbetrouwbaar zijn.

Grontmij heeft daarom het initiatief genomen voor de vervolgstudie SV-060 fase 3 “Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo”. Hiervoor is een projectplan opgesteld (Grontmij 2001). Dit plan wordt gezien als een vervolg op de definitiestudie en is in samenwerking met de WMO, Provincie, Waterschap, Gemeente en Universiteit Utrecht opgesteld. Na goedkeuring van het projectplan door SKB in juli 2001, is het plan verder uitgewerkt tot een basisprojectplan (SV-060 fase 3 “Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo”, Grontmij 2001).

#### 1.2 Doelstelling

In de studie wordt nagegaan hoe grondwaterkwaliteitsgegevens beter toegankelijk kunnen worden gemaakt en hoe met deze data en overige informatiebronnen meer kennis kan worden verkregen in de vorm van grondwaterkwaliteitskaarten. De specifieke doelen van de studie zijn om:

- na te gaan hoe en met welke inspanning *data gebundeld* en *toegankelijk* kan worden gemaakt;
- een methodiek te ontwikkelen voor het maken van *grondwaterkwaliteitskaarten* met gebundelde meetgegevens en overige informatiebronnen. De onderzoeksvraag hierbij is hoe de kaarten kunnen aansluiten op de gewenste informatie en hoe de betrouwbaarheid toeneemt door gebruik te maken van gebundelde meetgegevens en het inbrengen van proceskennis;
- te onderzoeken wat de *gebruiksmogelijkheden* van de resultaten zijn in de praktijk en na te gaan of besluiten hiermee kunnen verbeteren / versnellen.

#### 1.3 Aanpak op hoofdlijnen

In de studie zijn in en rondom Hengelo alle beschikbare gegevens over de grondwaterkwaliteit verzameld van monitoringssystemen en ad hoc-verzamelde meetgegevens. Deze gegevens zijn gebundeld in een database en daarmee toegankelijk gemaakt. Vervolgens zijn met deze gegevens voor Hengelo en omgeving verschillende grondwaterkwaliteitskaarten gemaakt en is proceskennis ingebracht, met name ten aanzien van de grondwaterstroming. Hiertoe is een

grondwatermodel gemaakt en is software ontwikkeld om specifieke informatie over de grondwaterstroming in beeld te brengen. Het gebruik van de grondwaterkwaliteitskaarten en proceskennis is getoetst tijdens een afsluitende werksessie.

#### 1.4 **Stappenplan**

Voor het onderzoek zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. Data-analyse; welke data is nodig voor de gewenste kaarten;
2. Verzamelen en bundelen data;
3. Presentatie informatie verzamelde data en eerste opzet grondwaterkwaliteitskaarten;
4. Inventarisatie gebiedsgegevens en genereren proceskennis;
5. Toepassen proceskennis en tweede opzet grondwaterkwaliteitskaarten;
6. Verkennen gebruiksmogelijkheden onderzoeksresultaten;
7. Evaluatie.

##### 1-3: Dataverzameling, bundeling, analyse en presentatie

Bilateraal is nagegaan welke data en aansluitende kaarten het meest gewenst zijn bij de verschillende actoren. In combinatie met het verzamelen van provinciale gegevens zijn in een gebied ruim rondom de stad Hengelo (16 x 18 km) alle beschikbare gegevens verzameld over de grondwaterkwaliteit. Deze gegevens zijn gebundeld en na screening samengevoegd in een nieuwe database. De kwaliteitsgegevens zijn, *zonder toevoeging van proceskennis*, bestudeerd en gepresenteerd in de vorm van eenvoudige grondwaterkwaliteitskaarten (bollenkaarten).

##### 4: Inventarisatie gebiedsgegevens en genereren proceskennis

Voor het gebied zijn de gegevens over de geologie, geohydrologie en landgebruik verzameld. Om adequate kennis te verkrijgen over de grondwaterstroming, is een driedimensionaal grondwatermodel opgezet. De meeste van de verzamelde gebiedsgegevens zijn hierin verwerkt. Met het grondwatermodel zijn diverse stroombaanberekeningen uitgevoerd. Hiermee is transparant inzicht verkregen in kwel- en infiltratiegebieden, hydrologische systemen, grondwaterstromingsstelsels, ouderdom en afgelegde weg van het grondwater.

De te onderscheiden hydrochemische milieus zijn bepaald aan de hand van de verzamelde kwaliteitsgegevens. Het historisch landgebruik is globaal afgeleid van diverse topografische kaarten van verschillende ouderdom.

##### 5: Toepassen proceskennis en tweede opzet grondwaterkwaliteitskaarten

Iedere meting van de grondwaterkwaliteit is in ieder geval representatief voor het grondwater dat tijdens de monsternamming uit een peilbuisfilter is gepompt. Voor de interpretatie van de metingen ligt het voor de hand om na te gaan wat voor grondwater er is bemonsterd, met name ten aanzien van de ouderdom (vanaf infiltratie), de afgelegde weg door de bodem en het landgebruik op de plaats waar het grondwater is geïnfiltreerd. Om deze proceskennis te genereren, zijn voor elk peilbuisfilter (waarvan kwaliteitsgegevens zijn verzameld) de stroombanen met het grondwatermodel teruggerekend.

Met deze aan de chemische database toegevoegde proceskennis zijn groepen met een kenmerkende grondwaterkwaliteit onderscheiden. De onderscheiden groepen zijn in beeld gebracht door de statistische kenmerken te berekenen en kaarten met proceskennis te maken waaruit de onderscheiden groepen kunnen worden afgelezen.

##### 6-7: Verkennen gebruiksmogelijkheden onderzoeksresultaten en evaluatie

Om de gebruiksmogelijkheden van de onderzoeksresultaten te verkennen, zijn diverse cases door de actoren aangedragen. Voor deze cases zijn met het grondwatermodel en gebundelde databases verkennende berekeningen en ruimtelijke analyses verricht. Vervolgens zijn deze ca-

ses aan de hand van een werksessie met de projectgroep doorgenomen. Tijdens het afsluitende overleg zijn de resultaten en cases geëvalueerd.

### 1.5 Projectteam en communicatie

Het onderzoek is uitgevoerd door Grontmij en de Universiteit Utrecht en begeleid door de overige leden van het consortium, namelijk de gemeente Hengelo, provincie Overijssel, WMO (thans Vitens), waterschap Regge en Dinkel en het SKB. De projectleiding en het penvoerderschap zijn door Grontmij verzorgd. Voor het onderzoek is een projectgroep samengesteld met de volgende personen:

drs. P. Schipper	Grontmij Advies & Techniek bv
drs. M. Vissers	Universiteit Utrecht
dr. P. van Gaans	Universiteit Utrecht
dr. M. van der Perk	Universiteit Utrecht
ir. J.H. Hoogendoorn	Vitens
ir. I. Oosterkamp	Provincie Overijssel
ing. A. Kristen	Gemeente Hengelo
ir. R. van de Velde	Gemeente Hengelo
ir. G. Eugelink	Waterschap Regge & Dinkel
ing. T.J. Voskamp	Waterschap Regge & Dinkel
drs. R.H.W. van Vegchel	SKB

Naast plenaire besprekingen met deze projectgroep is bilateraal overleg gevoerd om de kennisbehoefte en wensen met betrekking tot de grondwaterkwaliteitskaarten helder te krijgen. Tijdens een afsluitende werksessie met de projectgroep is geëvalueerd wat de gebruiksmogelijkheden van de onderzoeksresultaten zijn en hoe besluiten hiermee beter of sneller verlopen.

### 1.6 Leeswijzer

In het onderhavige rapport zijn de onderzoeksresultaten beschreven. In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het studiegebied en in hoofdstuk 3 de verzameling en bundeling van de grondwaterkwaliteitsgegevens. De eerste opzet van de grondwaterkwaliteitskaarten staat beschreven in hoofdstuk 4. De proceskennis wordt in hoofdstuk 5 behandeld en de hiermee gedane indeling in grondwatertypen en bijbehorende kaarten en statistieken in hoofdstuk 6. De resultaten van de werksessie zijn opgenomen in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 staan de conclusies en aanbevelingen geformuleerd. De gebruikte literatuurbronnen zijn aangegeven in hoofdstuk 9.

In bijlage A zijn diverse grondwaterkwaliteitskaarten op A4-formaat afgebeeld. Het voor deze studie opgezette grondwatermodel staat beschreven in bijlage B. De achtergrondinformatie over de werksessie is opgenomen in bijlage C.

## HOOFDSTUK 2

### GEBIEDSBESCHRIJVING

#### 2.1 Inleiding

De studie is gericht op het gebied van Hengelo en omgeving. Daarom wordt eerst een korte beschrijving gegeven van het studiegebied (begrenzing, topografie, geologie en hydrologie). Nader informatie over de geohydrologische aspecten zijn opgenomen in bijlage B.

#### 2.2 Studiegebied

Het doel van de studie is om in en rondom het stedelijk gebied van Hengelo inzicht te verkrijgen in de grondwaterkwaliteit en proceskennis. Om de grondwaterstroming te kunnen bepalen vanaf herkomst tot exfiltratie, zijn de grenzen van het voor deze studie opgezette grondwatermodel vrij ruim rondom Hengelo genomen. Deze grenzen zijn weergegeven in figuur 1. Hierbinnen zijn de grondwaterkwaliteitsgegevens verzameld.

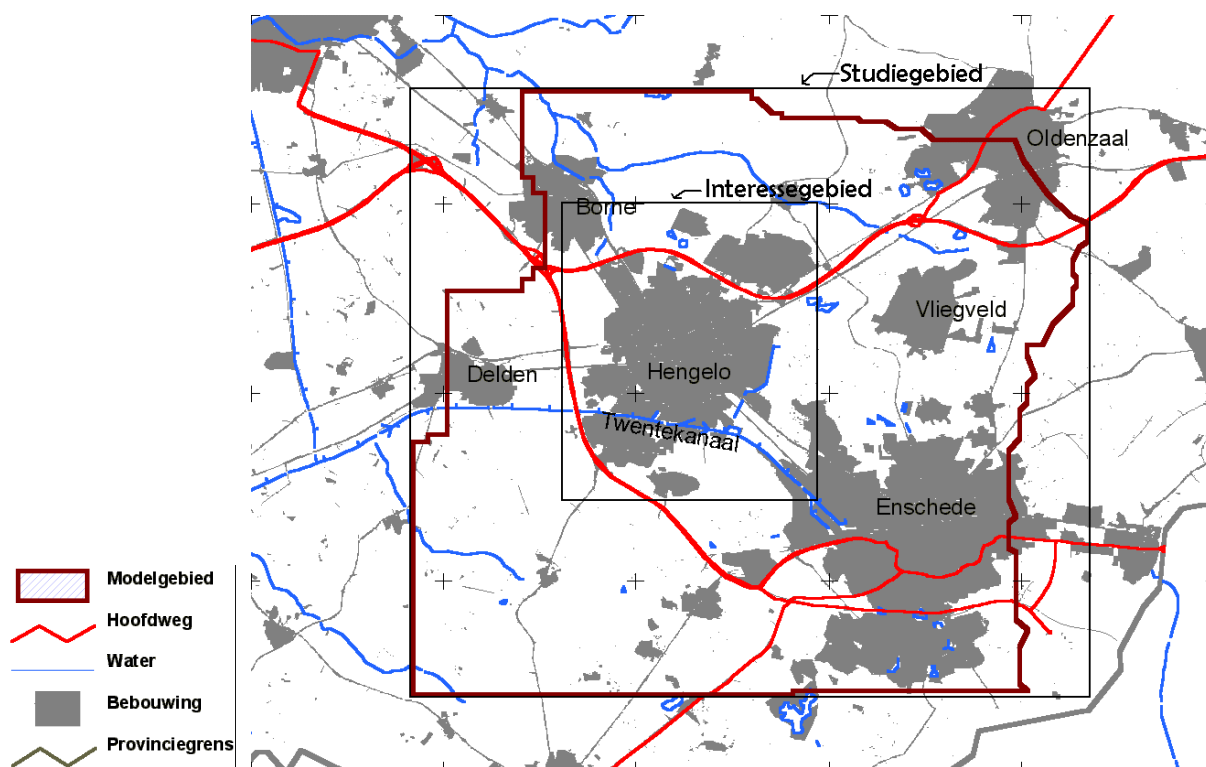


Fig. 1. Grenzen studiegebied, grondwatermodel en interessegebied Hengelo.

De begrenzing is zodanig gekozen dat Hengelo globaal in het centrum ligt en de oost- en westgrenzen ongeveer overeenkomen met waterscheidingen. Het studiegebied beslaat een oppervlak van 18 bij 16 kilometer en omvat het gebied tussen de x-coördinaten 244 - 262.000 en tussen de y-coördinaten 467 - 483.000. Het modelgebied is iets kleiner omdat de waterscheiding aan de oostzijde en noordwestzijde binnen het studiegebied valt.



### 2.3 Topografie en landgebruik

Het landgebruik is weergegeven in figuur 2. Het studiegebied beslaat ten oosten van Hengelo grotendeels de “steden” Enschede en Oldenzaal en ten westen van Hengelo de “steden” Borne en Delden. Het landgebruik in het studiegebied is dus voor een belangrijk deel stedelijk. Een klein deel bestaat uit bos en heide en het grootste deel uit landelijk (landbouw)gebied.

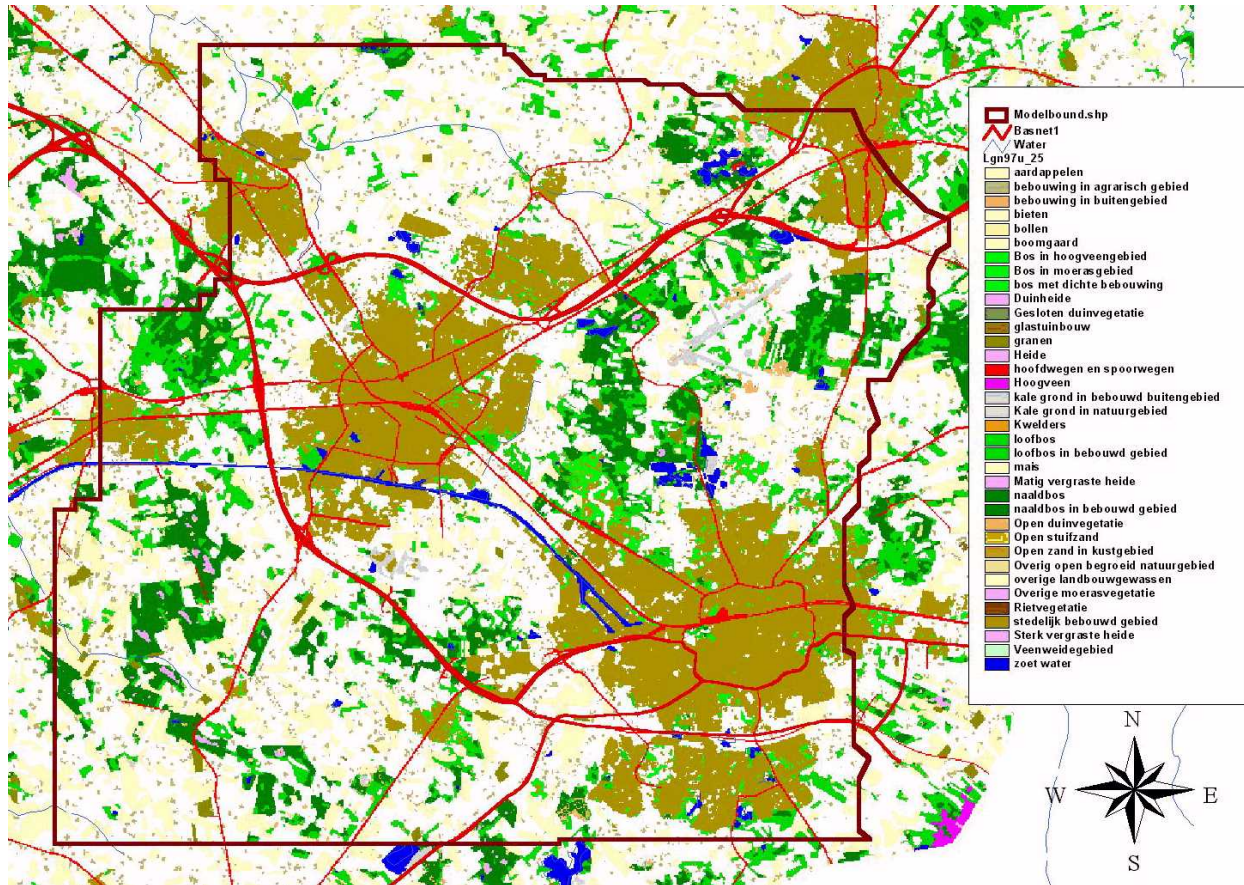


Fig. 2. Landgebruik.

Hengelo is in de 19e eeuw ontstaan in het natte "bekken van Hengelo". Tegelijk met de aanleg van de spoorlijn en het Twentekanaal en de start van industriële winningen van grondwater, is de stad uitgebreid. Bij de stadsuitbreiding zijn enkele beken, de belangrijkste vorm van drainage, gedempt.

Het studiegebied kent een vrij sterk reliëf. Het oosten van het studiegebied omvat de hoge delen van de stuwwal(len) tussen Oldenzaal en Enschede. Het maaiveld is hier circa NAP +50 à +70 m en daalt vanaf de stuwwal vrij sterk tot circa NAP +14 m. In vlakkere delen is de gradiënt van het maaiveld ongeveer 1,5 meter/km. De maaiveldhoogten zijn weergegeven in figuur 3.

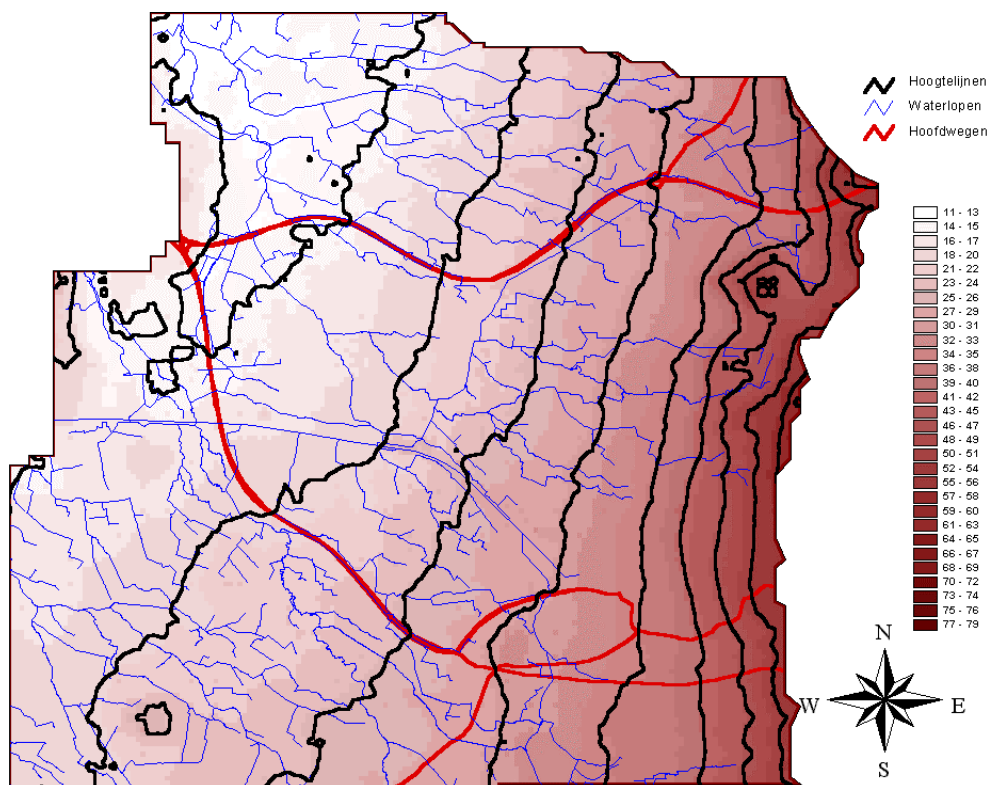


Fig. 3. Maaveldhoogten.

## 2.4 Genese en geologie

In figuur 4 is een kenmerkende geologische dwarsdoorsnede weergegeven. Het profiel is overgenomen uit de Geologische kaart van Enschede-west.

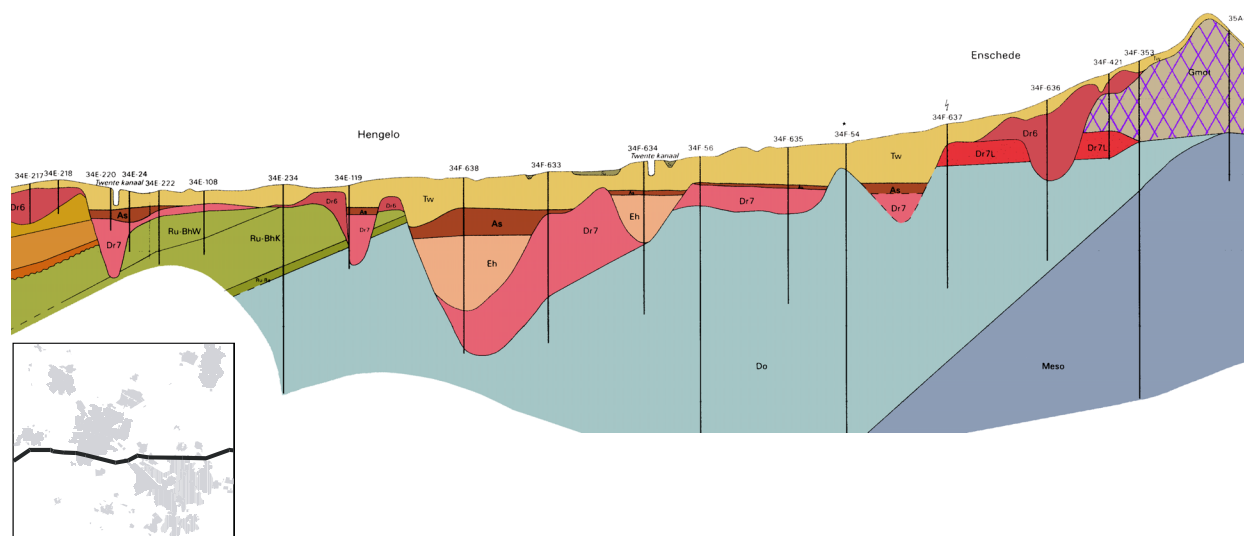


Fig. 4. Geologie van profiel A-A' en de ligging in het studiegebied [RGD, 1993].

De naar het westen uitgebreide “Dongen-formatie” (Do) bestaat uit mariene afzettingen van klei, fijn zand en zandsteen en vormt de hydrologische basis van het grondwatersysteem, samen met de onderliggende mesozoïsche afzettingen. Ook de stuwwal (Gmo) Oldenzaal-Enschede is slecht waterdoorlatend, hetgeen de grondwaterbeweging sterk beïnvloed. Aan de voet van de stuwwal liggen grindige vroeg-pleistocene rivierafzettingen van de formatie van Enschede (Dr7L).



Hieruit wordt op diverse plaatsen grondwater onttrokken (onder andere Grolsch). De volgende periode in het Pleistoceen omvat de ijstijden, waarin gedurende de Salien-ijstijd landijs ook Nederland bedekte. De oude gestuwde afzettingen zijn afgedekt met grondmorene (grindhoudend lemig zand en zandige leem, soms grof zand, Dr6). Ook zijn er fluvioglaciale (Dr7) en lacustroglaciale afzettingen (Dr8) te vinden. Ondiep bevinden zich periglaciale afzettingen van de formatie van Twente (Tw). Onderin bestaan deze uit fluvioglaciale zanden en kleien en boven uit eolische dekzanden (fijn zand). Gedurende het Holoceen (laatste 10.000 jaar na de ijstijd) zijn lokaal enkele beekafzettingen afgezet.

De grondwaterstroming vindt vooral plaats in het watervoerende (goed waterdoorlatende) zandpakket. De totale dikte van het watervoerend pakket is weergegeven in figuur 5. In het studiegebied loopt dus de stuwwal uit in het "bekken van Hengelo", waarvan de basis ligt op 15-20 m - NAP, en welke wordt gekenmerkt door een oost-west gericht stelsel van ruggen en laagten, waarin zich het afwateringssysteem van de heuvelrug Oldenzaal-Enschede uit de laatste ijstijd weerspiegelt. De "hoogte van Delden", gelegen in het westen van het studiegebied, is een kleine kern van gestuwde afzettingen [RGD, 1993], later bedekt door de Twente-formatie, en wordt daarom ook wel "begraven stuwwal" genoemd.

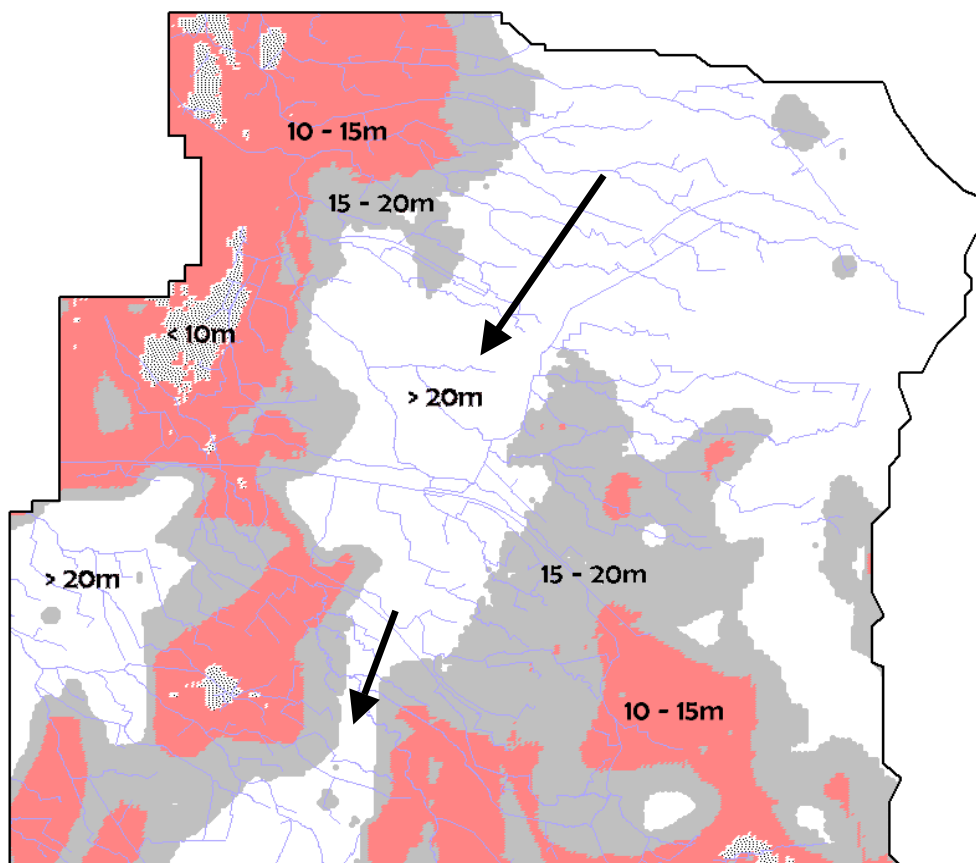


Fig. 5. Dikte watervoerend pakket. Met pijlen is de rivierstroming in het oude "bekken van Hengelo" aangegeven.

## 2.5 Grondwaterstroming en onttrekkingen

De hoogste delen van de stuwwal tussen Oldenzaal en Enschede vormen een natuurlijke waterscheiding. Het grondwater stroomt vanaf deze waterscheiding in westelijke richting. Door het reliëf is een hoge stijghoogtegradiënt aanwezig. In het westen vormt de "hoogte van Delden" ook vrijwel een waterscheiding, mede omdat de totale dikte zandig pakket ten oosten van de voet

van deze hoogte minder dan drie meter is en dus zeer weinig grondwater deze grens overschrijdt.

Door de hoge stijghoogtegradiënt en de in veel gebieden ondiep aanwezige slecht waterdoorlatende bodemlagen, komt lokaal op een aantal plaatsen wateroverlast in de vorm van hoge grondwaterstanden voor. Dit treedt vooral op in gebieden waar het ondiepe zandpakket de bovenstroomse neerslag onvoldoende kan afvoeren door de geringe zanddikte of het voorkomen van onderliggende slechtdoorlatende bodemlagen.

In het gebied zijn een aantal grondwaterwinningen voor de drinkwaterbereiding. Dit zijn de pompstations Hengelo, Hasselo, Enschede, Losser en Oldenzaal. Deze laatste is in 2001 stopgezet. Grote industriële onttrekkingen zijn die van Grolsch en Texoprint. In Enschede zijn diverse relatief kleine grondwateronttrekkingen aanwezig (De Volkswoning) die specifiek zijn ingesteld om grondwateroverlast in de stad te voorkomen.

## 2.6 Oppervlaktewater

Het gebied wordt gekenmerkt door een dicht stelsel van beken. Deze doorsnijden in de veelal natuurlijke beekdalen het gebied van oost naar west. In enkele natte gebieden heeft de mens aanvullende drainagesystemen aangelegd, zodat ook in deze gebieden bewoning en landbouw mogelijk werd. De ligging van de watergangen is tezamen met het maaiveldverloop weergegeven in figuur 3.

De beken vormen het belangrijkste deel van de drainage. De drainageafvoer van deze beken wordt grofweg geschat op 2/3 tot 3/4 van de totale drainage [TNO-DGV, 1992]. Dit is vanuit landschappelijk en historisch perspectief ook logisch, beken zijn immers vanzelf ontstaan om overtollig water af te voeren en zijn historisch gezien de "enige vorm van drainage". Door menselijk ingrijpen in Enschede en Hengelo is de drainerende werking van beken tenietgedaan en is op een aantal plaatsen grondwateroverlast ontstaan. In deze gebieden en gebieden met sloten is dus extra drainage (of onttrekkingen van grondwater) boven op de "beekdrainage" noodzakelijk om grondwateroverlast te voorkomen.

Ook is in het gebied oppervlaktewater aanwezig in de vorm van vijvers, zandwinplassen, meren en drinkwateropslaggebieden. Vooral "Het Hulsbeek", ten westen van Oldenzaal en een grote grintkuil ten zuiden van Tweekelo zijn van belang omdat ze worden gevoed door grondwater en in natte perioden vrij afwateren naar benedenstroomse beken.

## HOOFDSTUK 3

### DATA GRONDWATERKWALITEIT

#### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van het verzamelen en bundelen van meetgegevens van de grondwaterkwaliteit. De data-analyse wordt behandeld in paragraaf 3.2. De beschikbare data en gebruikte meetnetten worden behandeld in paragraaf 3.3. In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de ligging en het aantal van de verzamelde meetpunten en in paragraaf 3.5 de gemeten chemische parameters. De opzet en resultaten van de gebundelde database staan beschreven in paragraaf 3.6.

#### 3.2 Data-analyse

Aan de hand van interviews en bilateraal overleg is nagegaan, welke specifieke kennisbehoefte de actoren hebben in en rondom Hengelo. Deze kennisbehoefte is in eerste instantie belangrijk in verband met de te verzamelen gegevens. In tweede instantie is deze kennisbehoefte het vertrekpunt geweest voor de werksessie (hoofdstuk 7).

##### *Kennisbehoefte Vitens*

Voor Vitens is het relevant om inzicht te hebben in de grondwaterkwaliteit in en rondom Hengelo, omdat ze een keuze willen maken tussen vier (mogelijke) onttrekkingslocaties voor een stedelijke grondwaterwinning. Het is hierbij van belang om de ruwwaterkwaliteit te kunnen inschatten voor elk van de vier zoeklocaties. Zowel de macrosamenstelling als de eventuele aanwezigheid van microverontreinigingen zijn bepalend voor de noodzakelijke behandeling van het ruwwater en daarmee de dimensionering van de waterzuivering. De kennisbehoefte is derhalve wat de verwachte grondwaterkwaliteit is in het intrekgebied (of globaal de 10 jaars-reistijdzone) met betrekking tot de macroparameters en microverontreinigingen die bepalend zijn voor de zuivering. Verwacht wordt dat de macroparameters voor de vier locaties weinig zullen verschillen. Wel wordt vanwege het stedelijke karakter verwacht dat de organische microverontreinigingen significante verschillen kunnen geven in de nodige zuivering.

##### *Kennisbehoefte Gemeente*

De probleemstelling voor de Gemeente ten aanzien van de grondwaterkwaliteit is dat er geen uniforme beoordeling voor oriënterende onderzoeken (kan) plaatsvindt(en). Met name als er verhoogde gehalten aan zware metalen zijn gemeten, heeft men te weinig kennis over de grondwaterkwaliteit om uniform te beslissen of aanvullende metingen moeten worden verricht en of de locatie aangemerkt dient te worden als verontreinigd met zware metalen. Verder heeft de Gemeente de indruk dat in bepaalde wijken structureel verhoogde gehalten zware metalen worden gemeten, maar kan dit niet goed onderbouwen. Dit betreft met name arseen, nikkel en zink. Om gebiedsspecifieke achtergrondgehalten te kunnen bepalen, heeft de Gemeente behoefte aan een ruimtelijk inzicht van de concentraties van zware metalen. Ook is inzicht gewenst in macroparameters, die van invloed zijn op de (mogelijkheden van) natuurlijke afbraak van organische microverontreinigingen. Dit betreft vooral parameters als stikstof (nitraat en ammonium), ijzer, sulfaat en de pH.

##### *Kennisbehoefte Provincie*

In het gebied van Hengelo zijn diverse grondwaterverontreinigingen aanwezig. De Provincie heeft voor het beoordelen of uitvoeren van grondwatersaneringen behoefte aan inzicht in de concentraties van verontreinigingen in de regio (Hengelo en omgeving), vooral om achtergrond-

concentraties en gebiedsspecifieke terugsaneerwaarden vast te stellen. Ook zijn over de hele provincie verspreid oude stortplaatsen aanwezig, waarin in het kader van de nazorg (NAVOS) grondwaterkwaliteitsgegevens in de directe nabijheid van de oude stortplaatsen worden verzameld. Inzicht in achtergrondconcentraties bevordert de beoordeling van deze monitoring.

Voor evaluatie en sturing van het milieubeleid heeft de Provincie behoefte aan inzicht in de grondwaterkwaliteit, met betrekking tot de parameters die representatief zijn voor de milieuthema's verzuring, vermisting en verdroging. In principe wordt in deze behoefte voorzien door het hiervoor opgezette Provinciale Meetnet Grondwaterkwaliteit.

#### *Kennisbehoefte waterschap Regge & Dinkel*

Het Waterschap heeft behoefte aan inzicht in de grondwaterkwaliteit, omdat uitspoelend en opkwellend grondwater voor het ontvangende oppervlaktewater een belangrijke diffuse verontreinigingsbron kan vormen. Dit speelt met name in beken of beeklopen waar een zo goed mogelijke waterkwaliteit wordt nagestreefd voor de natuur. De ondiepe uitspoeling van nitraat en fosfaat, of hieraan mogelijk gerelateerde stoffen als sulfaat, ijzer, arseen en zink speelt vooral in landbouwgebieden een rol. In en rondom Hengelo is inzicht in de grondwaterkwaliteit vooral gewenst voor bemalingen waarbij op het oppervlaktewater wordt geloosd. Hierbij zijn naast organische microverontreinigingen vooral nutriënten en zuurstofvragende stoffen van belang.

### 3.3 Beschikbare data

Grondwaterkwaliteitsgegevens worden door verschillende instanties en voor verschillende doeleinden gebruikt. De voor deze studie beschikbare grondwaterkwaliteitsgegevens zijn aangegeven in tabel 1.

Tabel 1. Beschikbare data meetnetten grondwaterkwaliteit Overijssel.

meetnet	beherende instantie	doel meetnet
LMG / PMG*	RIVM, Provincie	- monitoring landelijk en provinciaal milieubeleid - landelijk en provinciaal beeld
WMO	WMO	- voorspellen ruwwaterkwaliteit - signaleren verontreinigingen
NAVOS	Provincie	- monitoring oude stortplaatsen
DINO	TNO-NITG	- opslag en toegankelijkheid gegevens over de Ned. Ondergrond
BIS	Gemeente Hengelo	- Gemeentedekkend beeld bodemkwaliteit m.b.t. toetsing en actief bodembeheer

\* Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit en Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit

Deze gegevens zijn digitaal voor deze studie opgevraagd aan de verschillende beherende instanties. De databases van het meetnet BIS en NAVOS zijn zeer recent opgezet (begin 2002). Van de overige meetnetten zijn reeds zo'n tien jaar geleden de databases operationeel. In het navolgende worden de meetnetten kort beschreven.

#### LMG/PMG

Het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) is in opdracht van het voormalige Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne door het RIVM ingericht. In 1978 werd met de inrichting begonnen; deze was in 1984 voltooid. Het LMG bestaat uit circa 400 waarnemingslocaties (peilbuislocaties) met waarnemingsfilters op globaal 10, 15 en 25 m-mv. De waarnemingslocaties liggen verspreid over het gehele land en zijn evenredig verspreid over de provincies. De locaties zijn "random" gekozen, maar in principe zijn geen waarnemingsfilters geplaatst in de nabijheid van lokale verontreinigingsbronnen.

In de provincie Overijssel is omstreeks 1993, evenals in de overige provincies, het LMG uitgebreid met een Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit. Het aantal meetlocaties is in Overijssel hiermee ongeveer verdubbeld. Op de bijgeplaatste waarnemingslocaties is een diepte-interval toegevoegd op circa 5 m-mv. In totaal bevat het PMG in Overijssel 67 waarnemingslocaties en 207 filters. De helft hiervan behoort aldus ook tot het LMG. Het PMG wordt in principe beheerd door de Provincie, maar de bemonstering, analyse en data-verwerking zijn uitbesteed aan het RIVM.

De gemeten chemische parameters van het LMG en PMG zijn de pH, EGV, macrosamenstelling (hoofd-kat- en anionen) en de zware en sporenmatalen. De doelstelling van het meetnet wordt als volgt omschreven:

- Vaststellen grondwaterkwaliteit in relatie tot de milieuthema's verzuring, vermesting en verspreiding (LMG én PMG);
- Opsporen trends in de grondwaterkwaliteit (LMG én PMG);
- Het beoordelen van de huidige grondwaterkwaliteit op basis van homogene gebiedsindeling en vergelijking met de Nederlandse situatie (aanvullend doel PMG).

Van de meetlocaties is het landgebruik en het bodemtype geregistreerd. Ook is een code aangegeven voor de geohydrologische eenheid waarin een filter is geplaatst. Bij de verwerking en evaluatierapportages is, voor zover bekend, geen informatie benut over de herkomst van het grondwater (kwel / infiltratie) of de hydrochemische milieus. Ook is de ouderdom van het water niet bekend, alhoewel hiertoe wel tritiummetingen zijn gepland.

In 1998 is door de Provincie een evaluatie van het meetnet uitgevoerd. Hierbij is geconcludeerd dat met het meetnet de milieuthema's verzuring en vermesting goed worden gemonitord, maar dat verspreiding moeilijk met het meetnet is te monitoren omdat een deel van de metalen afkomstig is uit het sediment door verzuring. Aanbevolen is om geen nieuwe waarnemingslocaties of filters bij te plaatsen, de ondiepe filters jaarlijks te bemonsteren, de diepe filter eenmaal per vier jaar en eenmalig tritium te meten om de ouderdom van het grondwater te schatten.

### Vitens

Door Vitens wordt het grondwater rondom de winningen gemonitord om de volgende redenen:

- Tijdige signalering van verslechtering van de kwaliteit, om maatregelen (interceptie, aanpassen zuivering en dergelijke) te kunnen nemen;
- Ondersteunen stimuleringsbeleid om emissies naar de bodem te beperken;
- Ten behoeve van algemene beleidsinformatie (maatschappelijke functie).

Tot op heden wordt vooral het bestaande peilbuizenmeetnet bemonsterd, dat aanvankelijk bedoeld was voor de monitoring van de grondwaterkwantiteit. Periodiek worden hieruit door Vitens monsters genomen welke worden geanalyseerd op globaal hetzelfde anorganische analysepakket als het LMG/PMG. Daarnaast worden organische microverontreinigende stoffen gemeten (omiven), ter plaatse van verdachte of bekende bodemverontreinigingsgevallen binnen de intrekgebieden.

Door middel van hydrochemische systeemanalyses worden deze meetgegevens geïnterpreteerd en ruimtelijk uitgewerkt per grondwaterbeschermingsgebied. Verder worden in opdracht van Vitens door RIVM of Kiwa bestrijdingsmiddelen gemeten op (peilbuis)locaties waar vanwege het bodemgebruik deze middelen kunnen worden verwacht.

Momenteel worden de meetnetten voor de duurzaam geachte drinkwaterwinningen (dit is het merendeel) geoptimaliseerd of opnieuw ontworpen. Naar verwachting zal het totale meetnet van Vitens hiermee aanzienlijk worden uitgebreid. Ook bij de andere Waterleidingbedrijven worden in

het algemeen de kwaliteitsmeetnetten opnieuw ontworpen of geoptimaliseerd, waarbij het aantal waarnemingslocaties flink wordt uitgebreid. Deze uitbreiding hangt nauw samen met het recent ingenomen beleidsstandpunt van het VEWIN, dat voor iedere duurzaam geachte grondwaterwinning een grondwaterkwaliteitsmeetnet voor moet worden geïnstalleerd.

### DINO

DINO is in principe geen meetnet, maar alleen een database waarin gegevens over de grondwaterkwaliteit worden opgeslagen. De algemene doelstelling van DINO is om informatie over de Nederlandse ondergrond op te slaan in een algemeen toegankelijke database. DINO wordt beheerd door TNO-NITG. Dit wordt gefinancierd door het Ministerie van Economische zaken.

In DINO (voorheen OLGA) ligt het accent sterk op de verzameling van zoveel mogelijk betrouwbare informatie over de bodemopbouw, grondwaterstanden en geohydrologische rekenparameters (kD- en c-waarden). Aanvankelijk zijn wel diverse digitaal beschikbare gegevens over de grondwaterkwaliteit in DINO opgenomen, maar hiervoor is geen duidelijke strategie of beleid uitgezet. In de huidige situatie is het in DINO zo dat vrij veel oude meetgegevens in DINO zijn opgenomen, welke niet behoren tot de kwaliteitsmeetnetten van waterleidingbedrijven of het LMG of PMG. Deze gegevens betreffen vaak ad-hoc opgenomen chemische gegevens van projecten, zoals vergunningaanvragen voor industriële onttrekkingen.

De gegevens van het LMG en PMG zijn alleen in DINO opgenomen in die provincies waar TNO-NITG deze ook daadwerkelijk beheert. Dit is bijvoorbeeld het geval in Noord-Brabant. Momenteel worden met het RIVM gesprekken gevoerd over het beheer van het LMG en de PMG's. De opname van andere kwaliteitsgegevens (van waterleidingbedrijven, Navos, ondiepe meetnet bodemkwaliteit en andere) is momenteel niet aan de orde.

Het is aldus niet uitgekristalliseerd welke meetnetten in de toekomst in DINO worden opgeslagen. Wel wordt ernaar gestreefd om voor de op te nemen gegevens in ieder geval aan te geven uit welk meetnet het komt en er een kwaliteitslabel aan te hangen op basis van informatie over de bemonsteringswijze (bijvoorbeeld wel/niet aangezuurd), betrouwbaarheid analyse (certificering laboratorium, ionenbalans), eigenaar van een systeem.

### BIS

Recent is door de gemeente Hengelo een digitaal BIS operationeel geworden, waarin ook de grondwaterkwaliteitsgegevens zijn opgeslagen. De opgenomen meetlocaties liggen alle binnen de gemeentegrens van Hengelo. Binnen de bebouwde kom van Hengelo is een zeer groot aantal meetlocaties (ruim 1900!) in het BIS opgenomen. Van zo'n 40% zijn hierin de coördinaten aangegeven. Meestal bevatten de meetgegevens alleen zware metalen en omiven. Opvallend is dat de pH en EGV niet in de database zijn opgenomen, terwijl aangenomen mag worden dat deze wel (in het veld) zijn bepaald.

## **3.4 Aantal en ligging waarnemingslocaties**

Het aantal waarnemingslocaties (peilbuizen) en het aantal waarnemingsfilters (peilbuisfilters) in Overijssel en het studiegebied zijn weergegeven in figuur 6 en 7. In Overijssel zijn zonder het BIS meegerekend ruim 1500 waarnemingslocaties waar de grondwaterkwaliteit is bepaald. De meeste van deze meetlocaties behoren tot het meetnet van de WMO en NAVOS. De locaties die in DINO zijn opgeslagen betreffen vaak oude meetgegevens (vóór 1980).

De meeste waarnemingsfilters van het LMG/PMG hebben op één meetlocatie een aantal waarnemingsfilters op meerdere diepten. Dit geldt ook voor de meetlocaties van de WMO en NAVOS, maar dan voor een beperkt aantal.

Binnen het studiegebied zijn in totaal bijna 1.000 locaties waar de grondwaterkwaliteit is bepaald en waarvan coördinaten bekend zijn. Een groot deel hiervan betreffen metingen die zijn opgenomen in het BIS en deze hebben meestal één waarnemingsfilter per locatie.

De ligging van de waarnemingslocaties is weergegeven in figuur 8 en 9. De locaties van LMG/PMG zijn evenredig over de Provincie verdeeld. Die van de WMO zijn geconcentreerd in een soms vrij grote straal rondom de winningen. De locaties van NAVOS zijn in de directe omgeving van de oude stortplaatsen, terwijl de data van DINO beperkt is tot midden-Twente en het zuiden van Salland. De data in het BIS is beperkt tot de gemeentegrens. Het merendeel hiervan ligt in het stedelijk gebied, maar er zijn ook diverse meetlocaties in het buitengebied van de Gemeente.

De dieptes van de waarnemingsfilters zijn weergegeven in tabel 2. De meetfilters die zijn opgenomen in het PMG, LMG, WMO en DINO liggen overwegend op 10 tot 25 -mv. De data uit NAVOS en BIS zijn overwegend afkomstig van ondiepere meetfilters (ondieper dan 10 m-mv).

Tabel 2. Overzicht diepteniveaus waarnemingsfilters.

meetnet	aantal locaties	filtertraject (m-mv)				onbekend
		<5	5-10	10-25	> 25	
PMG/LMG	4	2	2	5	0	
WMO	14	1	1	11	3	
DINO ná 1980	17	2	2	8	5	7
DINO vóór 1980	86	4	9	58	34	12
NAVOS	127	129	15	1	0	
BIS	718	631	41	48	0	

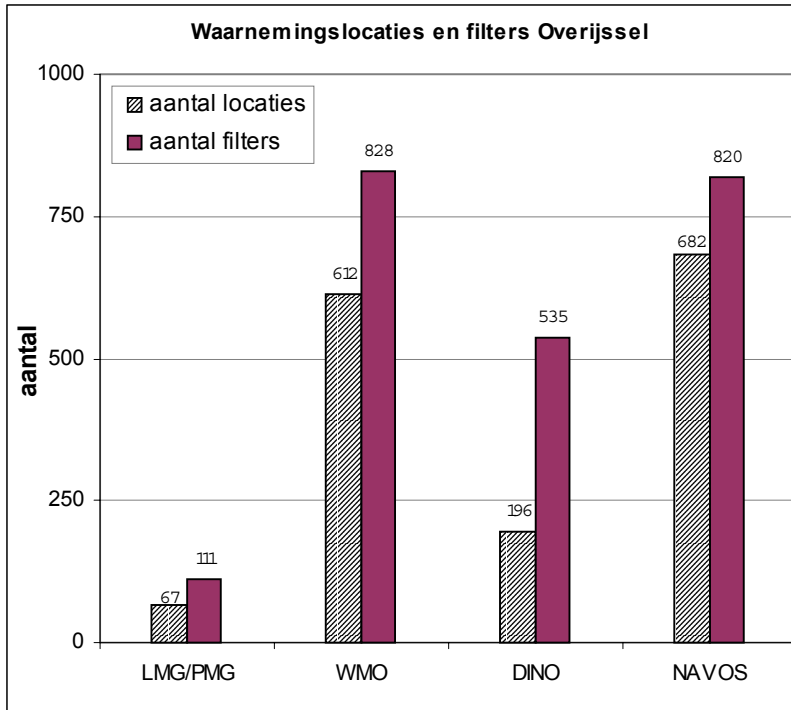


Fig. 6. Aantal waarnemingslocaties en filters binnen Overijssel.

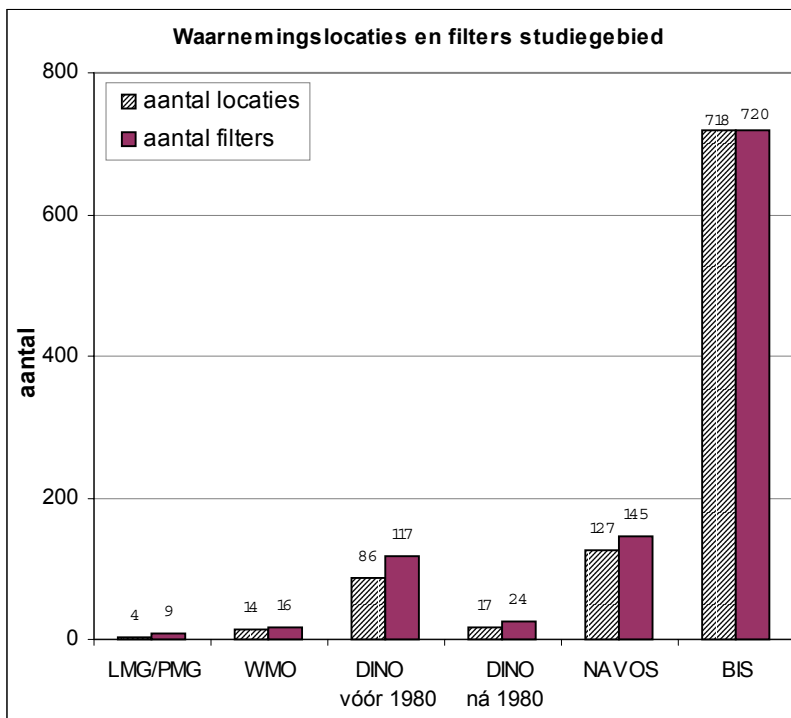


Fig. 7. Aantal waarnemingslocaties en filters binnen het studiegebied.



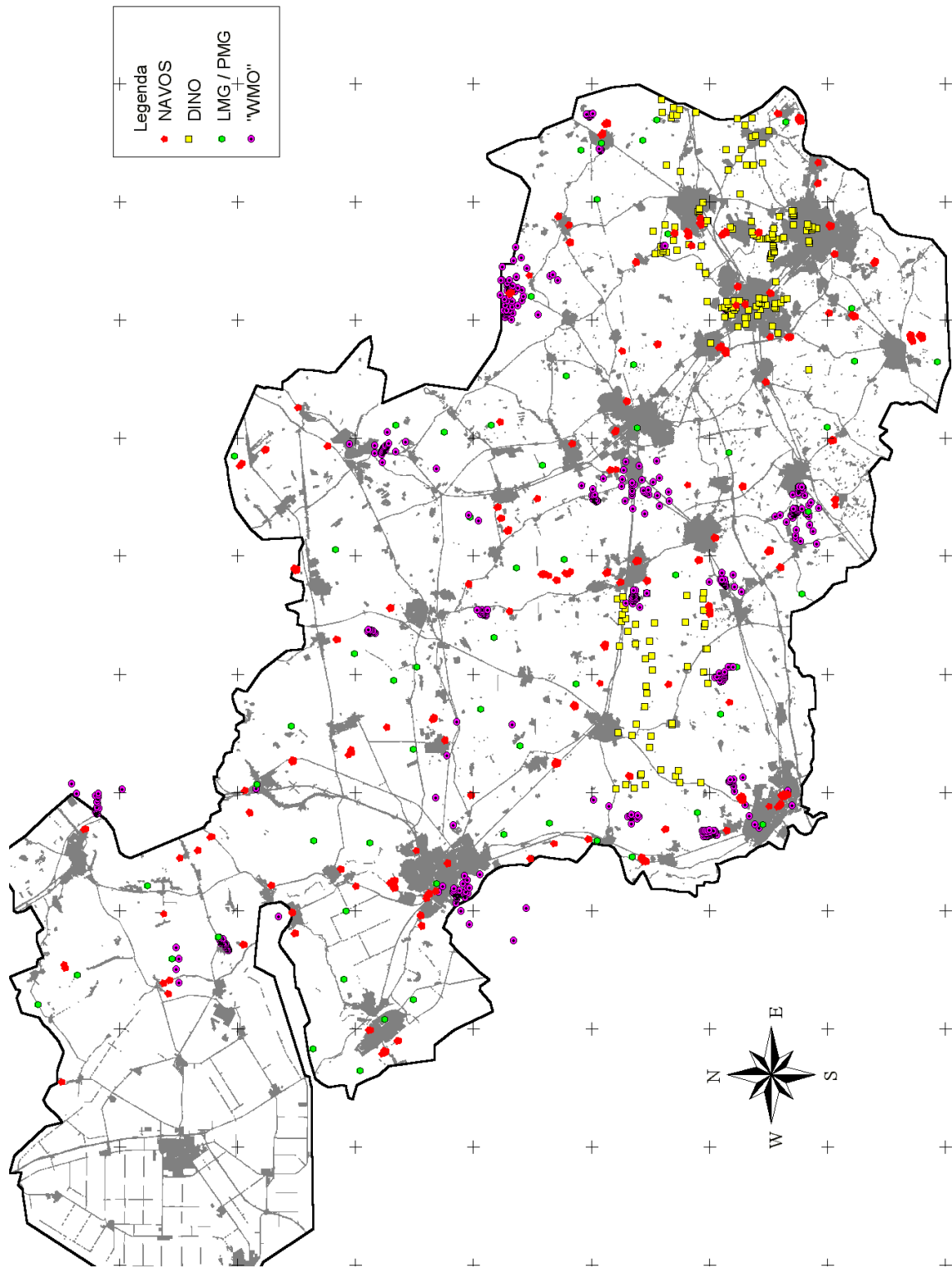


Fig. 8. Ligging waarnemingslocaties grondwaterkwaliteit Overijssel.

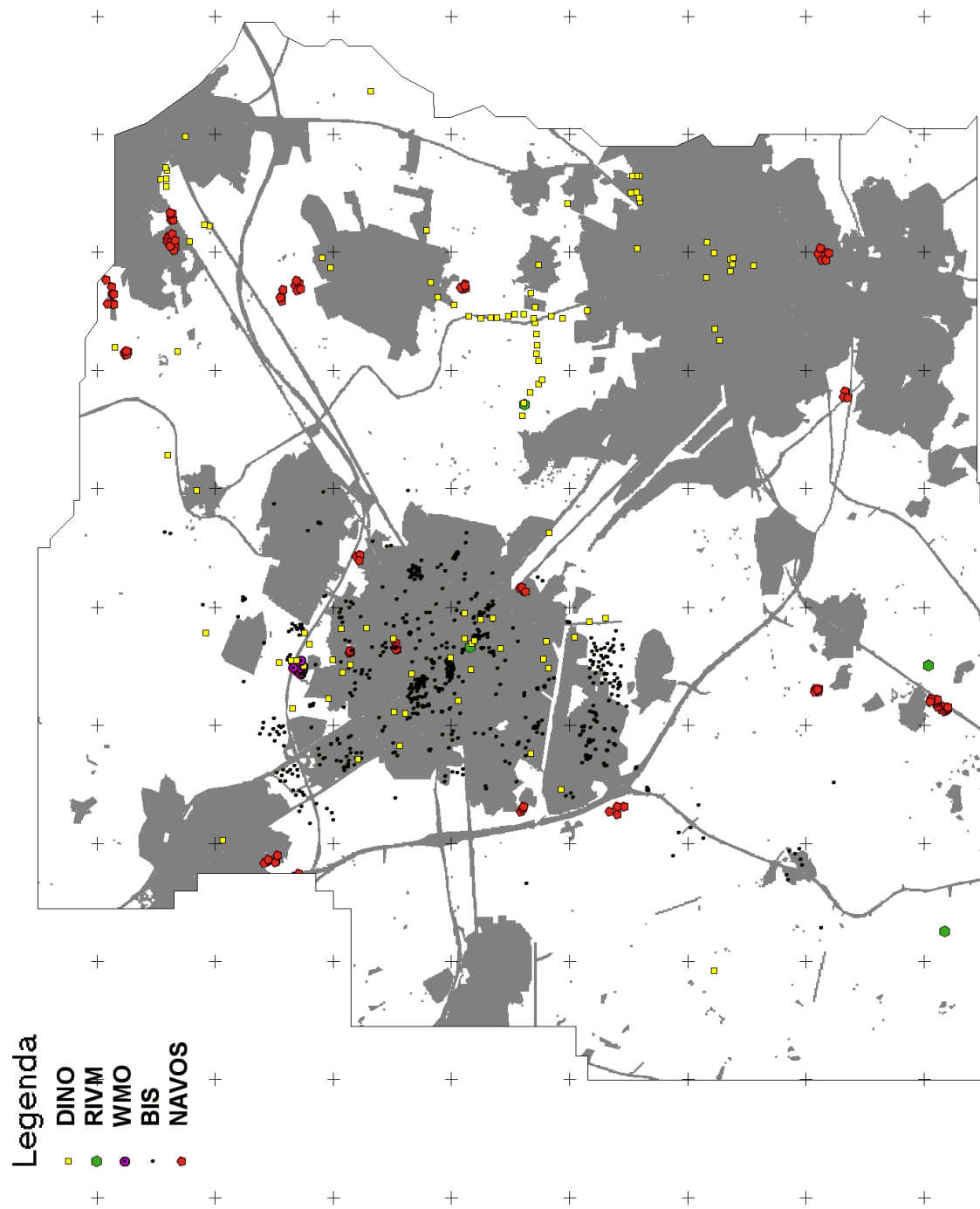


Fig. 9. Ligging waarnemingslocaties grondwaterkwaliteit studiegebied Hengelo.

### 3.5 Overlap chemische parameters

In hoeverre de data van de verschillende meetnetten elkaar kunnen aanvullen, hangt sterk af van welke chemische parameters hierin zijn opgenomen. Daarom is nagegaan welke parameters in de beschikbare databases van de verschillende meetnetten zijn opgenomen. Het resultaat van deze analyse is weergegeven in figuur 10.

meetnet	pH egv doc			kationen					anionen					redox		spore & zware metalen										omives						
				Ca	Mg	Na	NH4	K	Cl	HCO3	SO4	P(o)	NO3	Fe	Mn	Al	Ba	B	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn	olie	xyl	voel	fen	pak	eox
PMG/LMG	a	a	h	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	s	a	a	a		a	h	a	a						
WMO	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a*	a	a	a	a	a	a	a	a		a	a	h	a	a	a	a	a	a	a
DINO >1983	a	a	i	a	a	a	h	i	a	a	a	h	a*	a	a	s	i	i	s	s	s		h	h		h						
DINO < 1975	h	h		a	a	a	h		a	a	a	s	a*	a	a																	
NAVOS							n-kj		a		a																a	a	a			h
BIS																											h	h	h	h	h	h

legenda:

a	vrijwel bij elke meting
h	in ca. helft v/d metingen
s	soms gemeten (< 25 %)
i	incidenteel gemeten (<5 %)

Fig. 10. Overzicht analysepakketten meetnetten grondwaterkwaliteit.

Uit figuur 11 kan direct worden afgelezen dat de overlap tussen de databases (meetnetten) van PMG/LMG, WMO en DINO groot is. Met overlap wordt bedoeld dat de beschouwde datasets chemische gegevens bevatten van dezelfde stofgroepen. Ook is er een grote overlap tussen WMO, BIS en NAVOS, waarbij deze laatste ook een geringe overlap heeft met DINO en LMG/PMG.

Door deze overlappen kan voor de macro- en anorganische componenten een meerwaarde worden verwacht wanneer de data van LMG/PMG, WMO, DINO en NAVOS worden gebundeld. Voor de omiven kan een meerwaarde worden verwacht wanneer de data van de WMO, NAVOS en BIS worden gebundeld.

Opgemerkt wordt dat diverse achtergrondinformatie in de chemische databases is opgenomen, zoals "landgebruik", "WVPcode", "gemeente", "projectnummer", etcetera. Dergelijke gegevens kunnen echter veelal worden afgeleid uit andere bestanden en zijn vaak aan verandering onderhevig, waardoor het nut wordt betwijfeld om deze gegevens op te nemen in chemische databases.

### 3.6 Opzet gebundelde database

In het voorgaande is beschreven welke gegevens over de grondwaterkwaliteit beschikbaar zijn voor deze studie. Om deze digitale informatie te bundelen is een nieuwe database opgezet in Access en ArcView. Beide programma's worden bij vrijwel elk van de belanghebbende instanties gebruikt (Provincies, Waterschappen, waterleidingbedrijven etcetera). Bovendien kan op eenvoudige wijze de data worden geëxporteerd naar een gemakkelijk in te lezen Excel-bestand.

#### Doelstelling database

Het "bundelen van kennis en data" bestaat niet alleen uit het koppelen van verschillende bestanden in een geïntegreerde database, maar omvat ook het "interpretabel" maken van de data,

om de volgende bewerkingen te kunnen doen:

- Omgaan met detectielimieten en streef/interventiewaarden;
- Exporteren naar GIS / statistisch programma voor interpretatie;
- Vergelijken van verschillende gebieden, bijvoorbeeld lokaal/regionaal;
- Het binnen dit project toepassen van de data om grondwaterkwaliteitskaarten te maken.

#### *Opzet nieuwe database*

Voor deze studie is een nieuwe database opgezet voor de grondwaterkwaliteit in de gehele provincie Overijssel. Hierin zijn de gegevens van de WMO, RIVM (LMG/PMG), DINO en NAVOS samengebracht. De gegevens van het BIS-Hengelo zijn alleen opgenomen in een uitsnede van deze database voor het studiegebied. Hiertoe is het BIS omgezet naar een aparte database met eenzelfde structuur als de nieuwe gebundelde database.

De opgezette structuur van de nieuwe database voldoet aan de volgende voorwaarden:

- Geen data dubbel (er kunnen fouten ontstaan doordat slechts één van de velden wordt “verbeterd”;
- Geen data die kan worden gemaakt uit andere velden (bijvoorbeeld Gemeente en Provincie);
- Alle data moet uit de database kunnen worden gehaald;
- De data moet op elke gewenste manier uit de database kunnen worden gehaald.

Op basis van de beschikbare data, is een structuur gekozen waarbij de database is opgebouwd uit de volgende vier tabellen:

- a) Puttentabel;
- b) Hoofdelementen-datasheettabel;
- c) Sporenelementen-rijentabel;
- d) Organische componenten-rijentabel.

De belangrijkste redenen voor deze opzet zijn:

- Door de gekozen opzet wordt de opslagruimte optimaal benut; de minder voorkomende analyses zitten in rijentabellen, en de vaak gemeten hoofdelementen in een datasheettabel;
- De sporenelementen en organische verbindingen kunnen gemakkelijk getoetst worden aan normen en zijn gemakkelijk te bewerken voor bijvoorbeeld detectielimieten en lognormalisatie. De “hoofdelementen-tabel” blijft door de opzet in rijen overzichtelijk;
- De drie analysetabellen hoeven zelden gezamenlijk geïnterpreteerd te worden, maar kunnen wel op een eenvoudige manier gekoppeld worden;
- Er kan eenvoudig een “cut-off”-waarde voor detectielimieten worden gedefinieerd.

#### a) Puttentabel

De puttentabel heeft het formaat zoals aangegeven in figuur 11.

Samengevat bevat de tabel dus de coördinaten, filterdiepte en nummer, database van herkomst, oorspronkelijk meetnet- en nummer, TNO-nummer, plaats/locatie, maaiveldhoogte en installatiejaar. De plaatsnaam is nog wat onduidelijk gedefinieerd, in het LMG/PMG is deze goed opgenomen, maar voor bijvoorbeeld WMO is hier de naam van de onttrekking waarom de put ligt genomen (dus meer “locatie”). Verder is het provincieveld benut om putten binnen het studiegebied te onderscheiden (aangegeven met “Hen”).

Wells : Table				
	Field Name	Data Type		
▶	ID	AutoNumber	Long Integer	Koppelveld
🔑	XCOOR	Number	Long Integer	RDS (m)
🔑	YCOOR	Number	Long Integer	RDS (m)
🔑	BF	Number	Single	Bovenkant Filter (m) +NAP
🔑	OF	Number	Single	Onderkant Filter (m) +NAP
	FIL	Number	Integer	Filternummer
	DB	Text	4	Database (RIVM, NAVOS, DINO, WMO)
	EXT	Text	10	Oorspronkelijk Meetnet
	EXTput	Text	16	Putnummer
	TNOput	Text	10	TNO-Putnummer
	PLAATS	Text	55	Plaatsnaam
	PROV	Text	3	Provincie
	MVmNAP	Number	Single	Maaiveld (m) +NAP
	IJ	Number	Integer	InstallatieJaar

Fig. 11. Formaat (velden) "Puttentabel" gebundelde database.

#### b) Hoofdelemententabel

In tabel 3 zijn van de meetnetten van WMO, DINO en LMG/PMG het aantal analyses weergegeven. Van arseen zijn bijvoorbeeld 4578 analyses verzameld, los van het feit of de meting onder of boven een detectielimiet is geweest. De parameters zijn gerangschikt naar het aantal metingen. Eox is een voorbeeld van een vaak gemeten organische component.

Tabel 3. Overzicht aantal beschikbare analyses meetnetten WMO, DINO, LMG/PMG.

parameter	aantal analyses	parameter	aantal analyses	parameter	aantal analyses	parameter	aantal analyses
cl	16661	k	10710	as	4578	sio2	749
ec	16542	mg	9959	cu	4402	b	721
nh4	15309	mn	6901	doc	4196	eox	674
pH <sub>veld</sub>	15197	no2	5210	cr	2283	hco3v	508
fe	14869	zn	5034	pb	2055	kmno4	435
no3	11486	o1	5020	ba	1905	toc	345
po4	11355	Temp	4989	ptot	1832	tg	94
ca	11336	ni	4785	sh	1188	lb	5
na	11230	al	4739	sr	1148	EH	0
so4	11059	cd	4600	pHlab	966	F, Hg	0

Van de in totaal 18649 analyses is bijvoorbeeld 15197 maal een pH gemeten. Overige hoofdelementen zijn over het algemeen ook in ruim de helft van de gevallen geanalyseerd. Er is voor een "datasheettabel" (ID's en waarden in rijen en kolommen) gekozen voor deze elementen om de volgende redenen:

- aanlevering van dergelijke data geschiedt over het algemeen in deze vorm;
- er hoeft geen "cut-off" waarde gedefinieerd te worden; hoofdelementen;
- hebben over het algemeen geen last van detectielimieten;
- doordat het grootste deel van de stoffen geanalyseerd is, is deze vorm het meest ruimtebesparend.

#### c) Sporenelemententabel en organische componententabel

De veel voorkomende sporenelementen (As, Cu, Ni, Zn, Cd, Al) zijn ongeveer 5000 maal geanalyseerd. Bovenstaande redenen om voor een datasheettabel te kiezen voor hoofdelementen, gelden in omgekeerde vorm om voor sporenelementen en organische componenten een lijsttabel te kiezen.

Aldus is voor sporenelementen en organische componenten gekozen voor een lijndatabase, waarmee eenvoudiger aan normen getoetst kan worden en kan worden omgegaan met detectielimieten en lognormalisatie. In een dergelijke analysetabel staan:

- Een kolom die verwijst naar de analyse (Koppeling naar monster);
- Een kolom die verwijst naar het gemeten element (Koppeling naar Element);
- Een kolom met het analyseresultaat.

Als koppelnummer naar de elementtabel wordt het atoomnummer van het betreffende element aangehouden. Voor overige componenten een getal groter dan 100, voor organische componenten moet nog een standaard worden gevonden en worden voorlopig de WMO-nummers aangehouden, vanwege de zeer complete tabel met componenten.

De opgezette structuur van de hoofdelementtabel is weergegeven in figuur 12 en die voor de sporen- en organische componententabel in figuur 13.

ID	jr	Datum	DP	pHv	ec	ca	cl	doc	fe	hco3	k	mg	mn	nh4	no2	no3	na	ptot	po4	so4	sio2	o1	Temp
1	1993	10-6-93	<input type="checkbox"/>		98		86																
1	1995	2-8-95	<input type="checkbox"/>		138		52																
2	1993	10-6-93	<input type="checkbox"/>		82		78																
2	1995	2-8-95	<input type="checkbox"/>		74		71																
3	1993	10-6-93	<input type="checkbox"/>		96		86																
3	1995	2-8-95	<input type="checkbox"/>		80		80																
4	1995	1-8-95	<input type="checkbox"/>		62		20																
4	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		61		20																
4	1996	10-1-96	<input type="checkbox"/>	6.8	62	110	19	5.2	23	438	2.5	11	1.4	4.3	0.5	12		0.08	5		0.5		
4	1997	24-2-97	<input type="checkbox"/>	7.85	61	120	20	5.8	18	436	1.8	8.1	0.75	4.2	0.5	11		0.1	6	10	0.5	10	
5	1995	1-8-95	<input type="checkbox"/>		63		22																
5	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		61		22																
5	1996	10-1-96	<input type="checkbox"/>	6.7	62	120	21	6.1	14	407	1.4	6.9	0.55	4	0.5	12		0.08	5		0.8		
5	1997	24-2-97	<input type="checkbox"/>	8.1	61	120	24	6	16	432	1.4	7	0.5	4	0.5	12		0.1	6	11	0.5	10.5	
6	1995	1-8-95	<input type="checkbox"/>		61		18																
6	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		61		22																
6	1996	10-1-96	<input type="checkbox"/>	6.75	60	110	17	5.3	17	401	1.4	6.8	0.7	4.3	0.5	11		0.07	5		1.5		
6	1997	24-2-97	<input type="checkbox"/>	8.4	59	120	20	6.8	15	430	1.5	7.1	0.47	4.1	0.5	11		0.1	5	11	3.3	10.5	
7	1995	1-8-95	<input type="checkbox"/>		61		18																
7	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		59		18																
7	1996	10-1-96	<input type="checkbox"/>	6.65	61	110	17	5.3	13	406	1.7	7.4	0.5	3.4	0.5	11		0.08	5		1.7		
7	1997	24-2-97	<input type="checkbox"/>	6.95	60	120	17	6.3	14	437	1.8	7.7	0.45	3.9	0.5	11		0.1	5	11	0.5	10.5	
8	1995	1-8-95	<input type="checkbox"/>		60		15																
8	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		57		15																
17	1995	14-9-95	<input type="checkbox"/>		96		125																

Fig. 12. Hoofdelementtabel uit de Overijsseldatabase.

ID	Datum	Param	waarde
370	5-2-99	1203	6.39
370	5-2-99	1216	209
370	5-2-99	1225	63
370	5-2-99	1226	47
370	5-2-99	1257	16
370	5-2-99	1258	2.2
370	5-2-99	1260	89
370	5-2-99	1262	6.7
370	5-2-99	1265	2.5
370	5-2-99	1305	2
370	5-2-99	1312	0.02
370	5-2-99	1314	0.5
370	5-2-99	1321	0.06
370	5-2-99	1400	14
370	5-2-99	1405	0.44
370	5-2-99	1410	5

Geanalyseerd	Stof Oms	Eenheid W	Groep	S	I
110	Cr	UG/L	Sporen	2.5	30
112	Ag	UG/KG	Sporen	0.0008	40
120	Ni	UG/L	Sporen	2.1	75
125	Cu	UG/L	Sporen	1.3	75
130	Zn	UG/L	Sporen	24	800
135	As	UG/L	Sporen	7.2	60
150	Cd	UG/L	Sporen	0.06	6
170	Hg	UG/L	Sporen	0.01	0.3
180	Pb	UG/L	Sporen	1.7	75
190	Mn	UG/L	Sporen		
215	CN (CYANIDE,ALS VRIJ ION)	UG/L	Overig	5	1500
220	CN (CYANIDE,TOTAAL COMPLEX)	UG/L	Overig	10	1500
240	SULFAAT	UG/L	Macro	150	
243	AMMONIUMVERBINDINGEN	UG/L	Macro	2	
244	NITRAAT	UG/L	Macro	25	50
245	CHLORIDEN	UG/L	Macro	100	
305	BENZEEN	UG/L	Overig	4	30
310	ETHYLBENZEEN	UG/L	Overig	0.2	150

Fig. 13a en b. Sporen- en organische verbindingentabellen. In 13a ( links) refereert het nummer van het element naar het nummer in 13b ( rechts), waarin het putnummer en de datum de koppelvelden vormen en "waarde" het analyseresultaat.

De resulterende gebundelde database omvat binnen het studiegebied 1.208 grondwatermonsters voor 1.058 meetlocaties, met 4.032 chemische analyses van hoofdelementen en 8.070 chemische analyses van sporenelementen. Voor de gehele Provincie bevat de gebundelde database ruim 20.000 grondwatermonsters voor ruim 4.000 meetpunten, met circa 195.000 chemische analyses van hoofdelementen en circa 73.000 chemische analyses van sporenelementen. Het aantal monsters binnen het studiegebied zou ruim twee maal zo groot zijn, indien alle metingen binnen het BIS worden meegerekend, waarvoor geen coördinaten beschikbaar zijn. Deze gegevens zijn al wel opgenomen in de gebundelde database.

### 3.7 Evaluatie

In het studiegebied zijn de gebiedskenmerken geïnventariseerd en de kennisbehoefte van de actoren in beeld gebracht. Het studiegebied heeft een sterk stedelijk karakter. Het grondwater stroomt vanaf de stuwwal in het oosten met een steil verhang naar het westen en treedt uit in de talrijke beekdalen die het gebied doorsnijden. De stroming vindt vooral plaats in het watervoerend pakket, dat op de stuwwal en nabij Delden erg dun is en in het bekken van Hengelo een dikte heeft van circa 10 tot 30 m. Op deze diepe (NAP –15 à –30 m) is ook de hydrologische basis. Dit in tegenstelling tot midden- en west-Nederland, waar in het algemeen de hydrologische basis veel dieper ligt (dieper dan NAP –100 m) en de bodem tot deze diepte vaak bestaat uit een aaneenschakeling van dikke watervoerende pakketten en scheidende lagen.

Er is voor diverse belangen een uiteenlopende behoefte aan kennis (inzicht) in verschillende aspecten van de grondwaterkwaliteit. Inzicht is vooral gewenst in de concentraties van zware metalen (achtergrondgehalten), de macroparameters, zoals nitraat, sulfaat, ijzer en organische microverontreinigingen. Bij het verzamelen van de gegevens is daarom geen selectie van stoffen gemaakt, maar zijn alle beschikbare meetgegevens van de grondwaterkwaliteit verzameld en gebundeld.

In het studiegebied zijn zeer veel locaties (peilbuisfilters) waar grondwaterkwaliteitsgegevens zijn verzameld. Voor een groot deel zijn dit ad-hoc metingen voor bodemonderzoeken die lopende de studie in het BIS van de Gemeente zijn verwerkt. Ook de kwaliteitsgegevens die uit DINO zijn verzameld, betreffen vaak ad-hoc metingen die voor (vaak oude) uiteenlopende projecten in DINO zijn opgenomen. In feite worden alleen met de drie meetnetten (PMG, Vitens en NAVOS) regelmatig metingen verricht voor een specifiek doel en op vaste monitoringslocaties. Opvallend is hierbij het grote aantal peilbuizen van NAVOS.

De meeste overlap in de verzamelde meetgegevens bestaat voor de zware metalen. Opvallend is dat de pH en geleidbaarheid (EGV) in principe altijd worden gemeten, maar dat de meetresultaten hiervan niet zijn (of waren) opgenomen in de digitale bestanden van NAVOS en het BIS. Wellicht komt dit doordat deze handmatig bij de rapportages worden verwerkt omdat ze in tegenstelling tot de andere chemische parameters in het veld worden gemeten. In het BIS ontbraken van een groot aantal meetpunten de coördinaten.

Ten opzichte van de overige gebieden in Overijssel zijn hier relatief weinig meetlocaties van de WMO beschikbaar. Hierdoor is het aantal monsterlocaties met een complete analyse van de hoofdelementen (de belangrijkste ionen en redoxparameters, ook wel aangeduid als macroparameters) relatief gering. Juist dergelijke analyses geven inzicht in het hydrochemisch milieu en kunnen op de ionenbalans en redox-state worden gecontroleerd (kwaliteitsborging). Over het geheel genomen zijn in het studiegebied daarom ook erg weinig meetpunten met meetgegevens van zowel de hoofdelementen als de zware metalen én organische microverontreinigingen.

De database is opgezet op een manier geschikt voor interpretatie vanuit statistisch en spatio-temporeel oogpunt en de toetsing aan (wettelijke) normen. De puttentabel vereist de aanwezig-

heid van coördinaten en filterdiepten en een analyse vereist een datum om in de database te kunnen worden opgenomen. Het in een lijndatabase opnemen van de sporenelementen en organische stoffen vereenvoudigt de bewerking, transformaties, omgang met detectie-limieten en het toetsen aan normen. Afgezien van problemen van consistentie (bijvoorbeeld komt het voor dat er meerdere filterdiepten voor hetzelfde filter zijn aangegeven) en van incomplete data (geen coördinaat, filterdiepte, of datum), past alle data goed in het nieuwe formaat en kunnen gegevens goed geïntegreerd worden. De unieke sleutelvariabele is in de gecombineerde database niet meer de putnaam; dit is onmogelijk gezien de verscheidenheid aan data. De sleutelvariabele bestaat nu uit een unieke combinatie van coördinaat en filterdiepte, terwijl de analyses gekoppeld zijn aan een datum.

Er zijn enkele eenvoudige verbeteringen denkbaar om de digitale datasets van de verschillende meetnetten beter op elkaar aan te laten sluiten waardoor ze gemakkelijker kunnen worden gebundeld. Hoewel het voor de hand ligt, dient hierbij aandacht te worden besteed aan de digitale verwerking van de zuurgraad en geleidbaarheid; het komt (nog) vaak voor dat deze in de digitale datasets ontbreken, terwijl deze parameters samen met de redoxcondities uiterst bepalend zijn voor het gedrag van stoffen in het grondwater. Een ander punt waarop eenvoudig de aansluiting kan worden verbeterd, is het maken van uniforme afspraken over de digitale registratie van monstercodes en detectielimieten. Voor alle systemen geldt echter dat de datum, coördinaten en diepte onontbeerlijk zijn om analysegegevens bruikbaar te kunnen laten zijn. Bij bundeling blijkt het grootste probleem de naamgeving van geanalyseerde stoffen te zijn, waardoor chemische kennis met betrekking tot naamgeving nodig is om de gegevens te bundelen, en met name voor organische componenten zeer veel werk moet worden verricht om een bundeling tot stand te brengen. Ook is er geen eenduidigheid in de zogenaamde “unieke velden”, waardoor het “eenduidig bundelen” problematisch wordt. De grootste investering voor het bundelen van data zit dus niet in het “fysiek bundelen”, maar in het “vertalen” van de gegevens naar elkaar toe.



## EERSTE OPZET GRONDWATERKWALITEITSKAARTEN

### 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de ruwe grondwaterkwaliteitsgegevens van de gebundelde database gepresenteerd in de vorm van histogrammen, Box-Whisker plots en bollenkaarten. De histogrammen en box-plots geven informatie over de frequentieverdeling van de gemeten concentraties. De bollenkaarten geven informatie over de ruimtelijke verdeling van de concentraties.

Bij de interpretatie dient te worden bedacht dat bij deze eerste opzet nadrukkelijk geen proceskennis is toegevoegd. Dit betekent concreet dat geen informatie is toegevoegd over de herkomst, ouderdom en doorstroomde hydrochemische milieus. Mede daarom is in de figuren en kaarten ook (nog) geen onderscheid gemaakt tussen de ouderdom van de analyses, de diepteniveaus van de waarnemingsfilters en de ligging in een kwel- of infiltratiegebied.

### 4.2 Histogrammen grondwaterkwaliteit

Om een beter idee te krijgen van de verzamelde data, zijn eerst een serie histogrammen van anorganische en organische microverontreinigingen gemaakt. Met behulp van histogrammen kan men op basis van de concentratieverdeling een indruk krijgen over de processen die zich afspelen, en die een rol spelen in de interpretatie. In figuur 14 is het histogram van Nikkel weergegeven, met daarin de begrippen die een rol spelen bij de interpretatie hiervan.

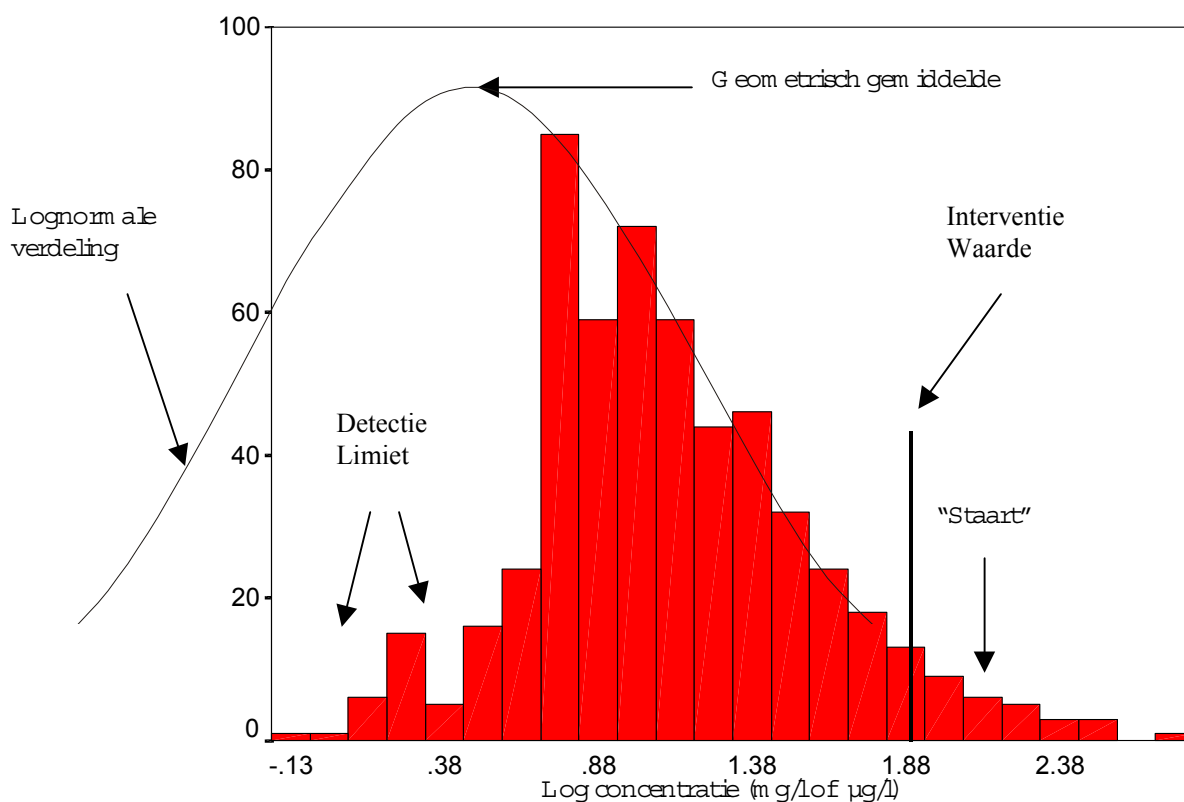
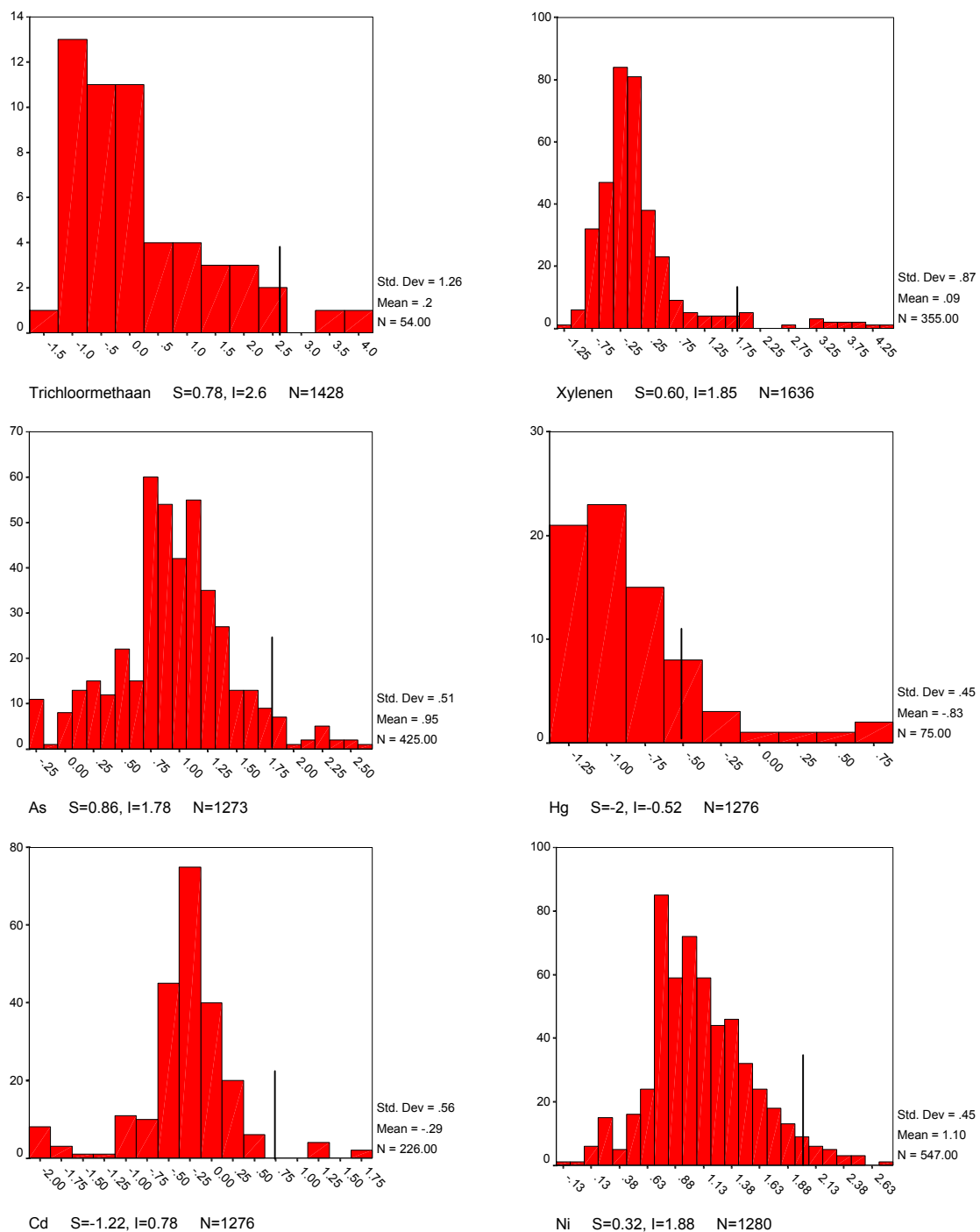


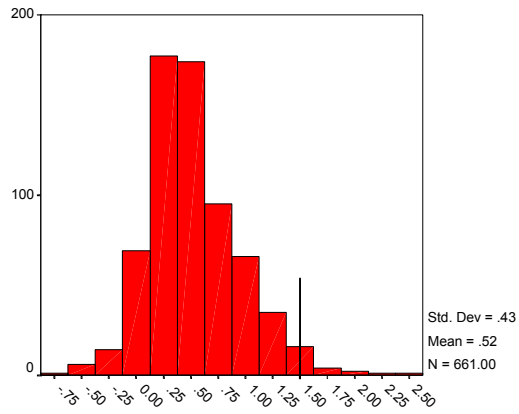
Fig. 14. Voorbeeldhistogram van Nikkel met begrippen.

De histogrammen van de overige componenten zijn weergegeven in figuur 15. Hierin zijn de volgende kenmerken opvallend:

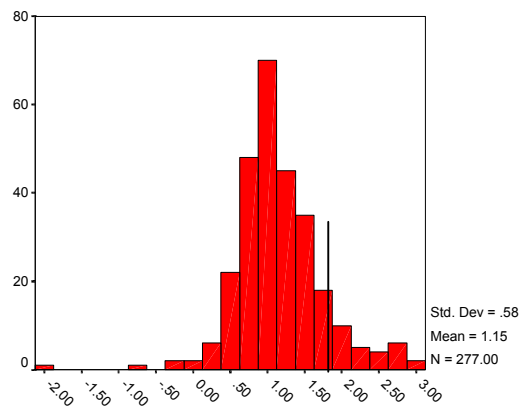
- de lange staart (=onnatuurlijke verdeling) van Benzeen, Ethylbenzeen, Fenolen, Tolueen, Naftaleen, Trichlooretheen en Xylenen, wijzend op zeer grote spreiding in aangetroffen concentraties, en soms zeer hoge concentraties;
- invloed van detectielimiet bij bijna alle componenten, doordat (zie figuur 14) er aan de linkerkant een deel van het histogram “ontbreekt”;
- interventiewaarden dichtbij het “midden” van het histogram, wijzend op sterk verhoogde achtergrondconcentraties, grote diffuse verontreinigingen of te strenge normen (bijvoorbeeld kwik en 1,2 Dichlooretheen).

Figuur 15 Histogrammen (vervolg op volgende pagina's).

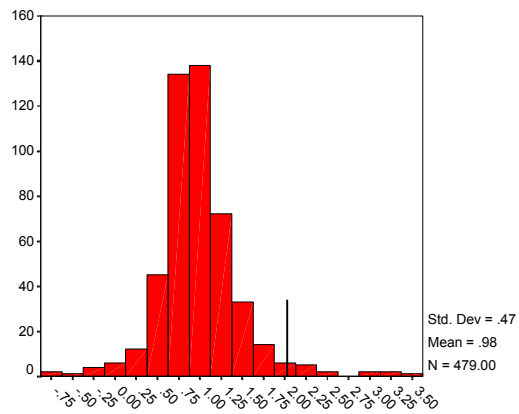




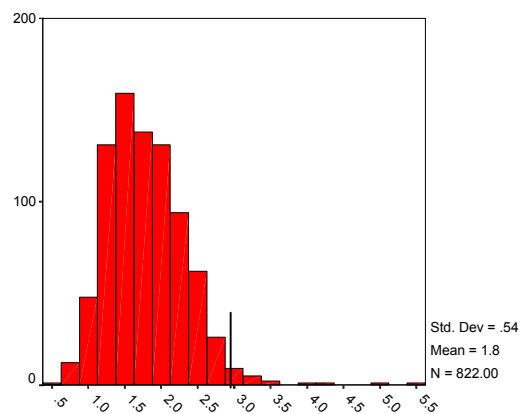
Cr S=0.40, I=1.48 N=1280



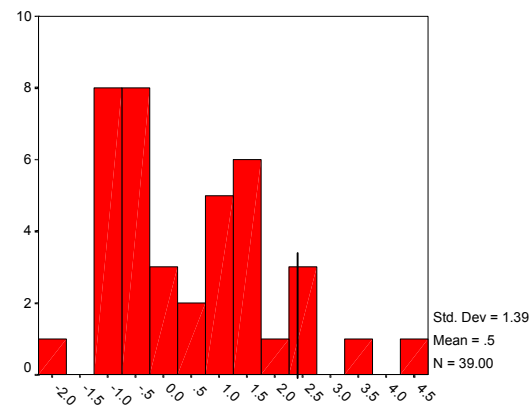
Pb S=0.23, I=1.88 N=1274



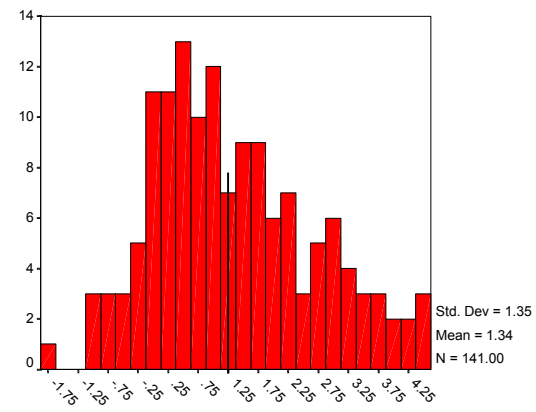
Cu S=0.11, I=1.88 N=1284



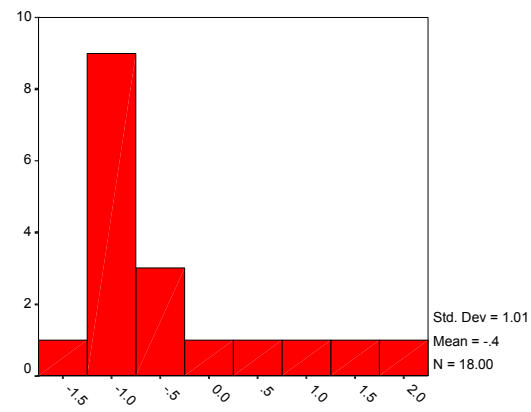
Zn S=1.38, I=2.90 N=1332



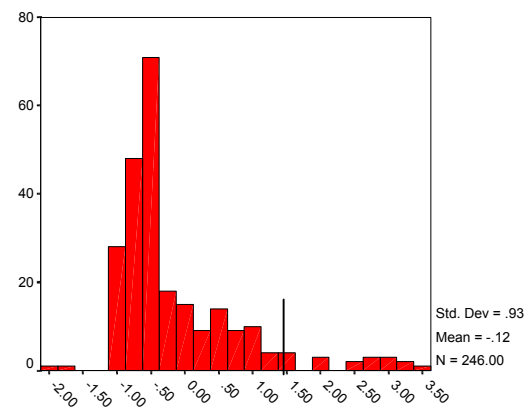
1,1,1-Trichloorethaan S=1.32, I=2.48 N=1376



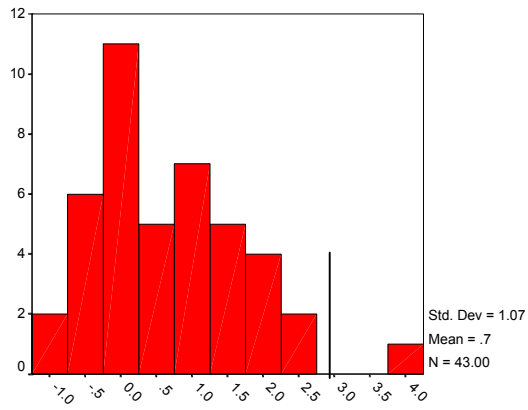
1,2-Dichlooretheen (Cis en Trans) S=I=1.3 N=1147



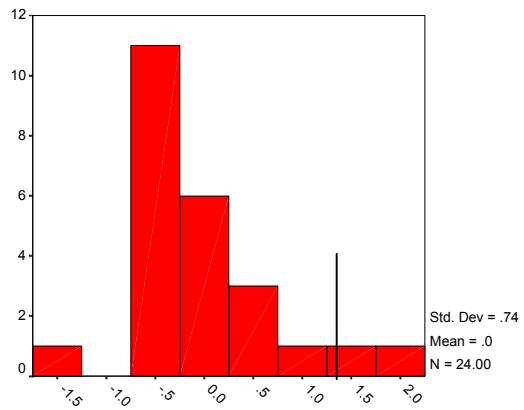
1,1,2-Trichloorethaan S=-, I=- N=1311



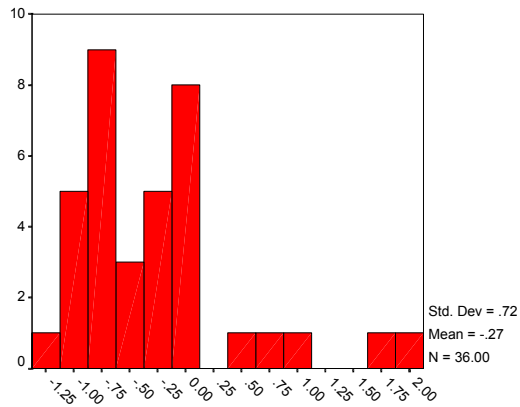
Benzeen S=0.6, I=1.48 N=1642



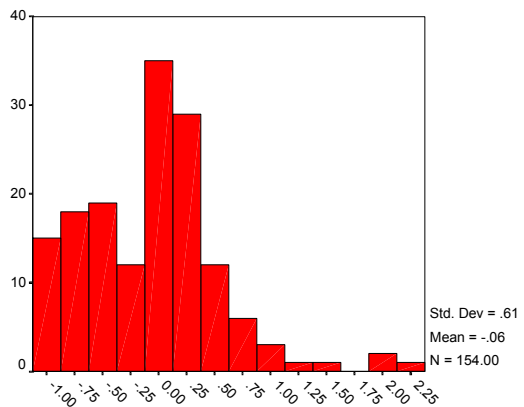
1,1-Dichloorethaan S=0.85, I=2.95 N=1078



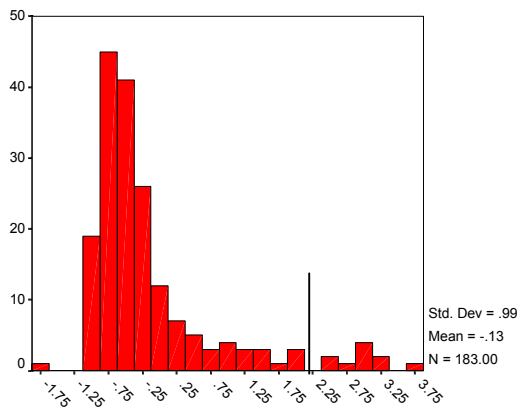
Dichloormethaan S=2.3, I=3 N=1097



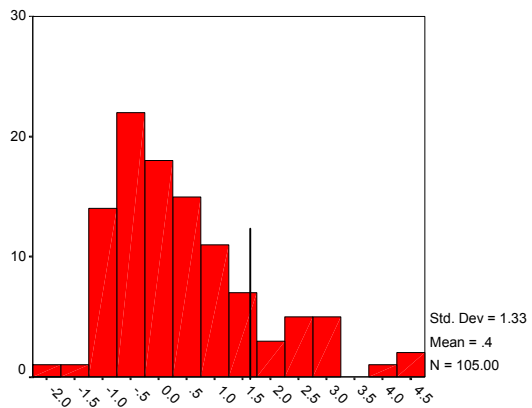
1,2-Dich N=1078



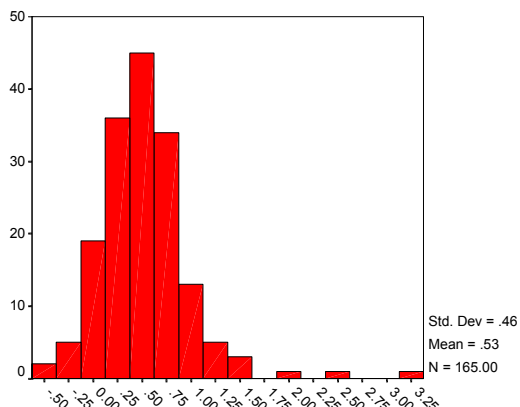
EOX N=1073



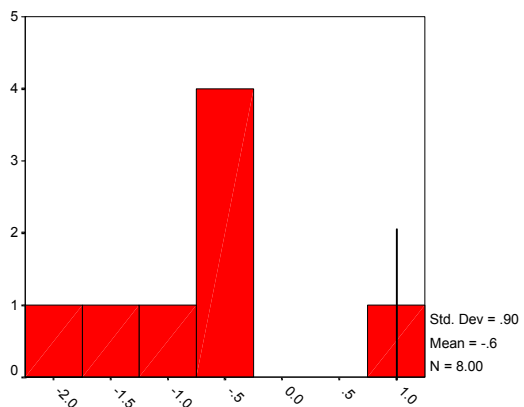
Ethylbenzeen S=-0.7, I=2.18 N=1636



Tetrachlooretheen S=0.48, I=1.6 N=1440



Fenolen N=941



Tetrachloormethaan S=1, I=1 N=1351

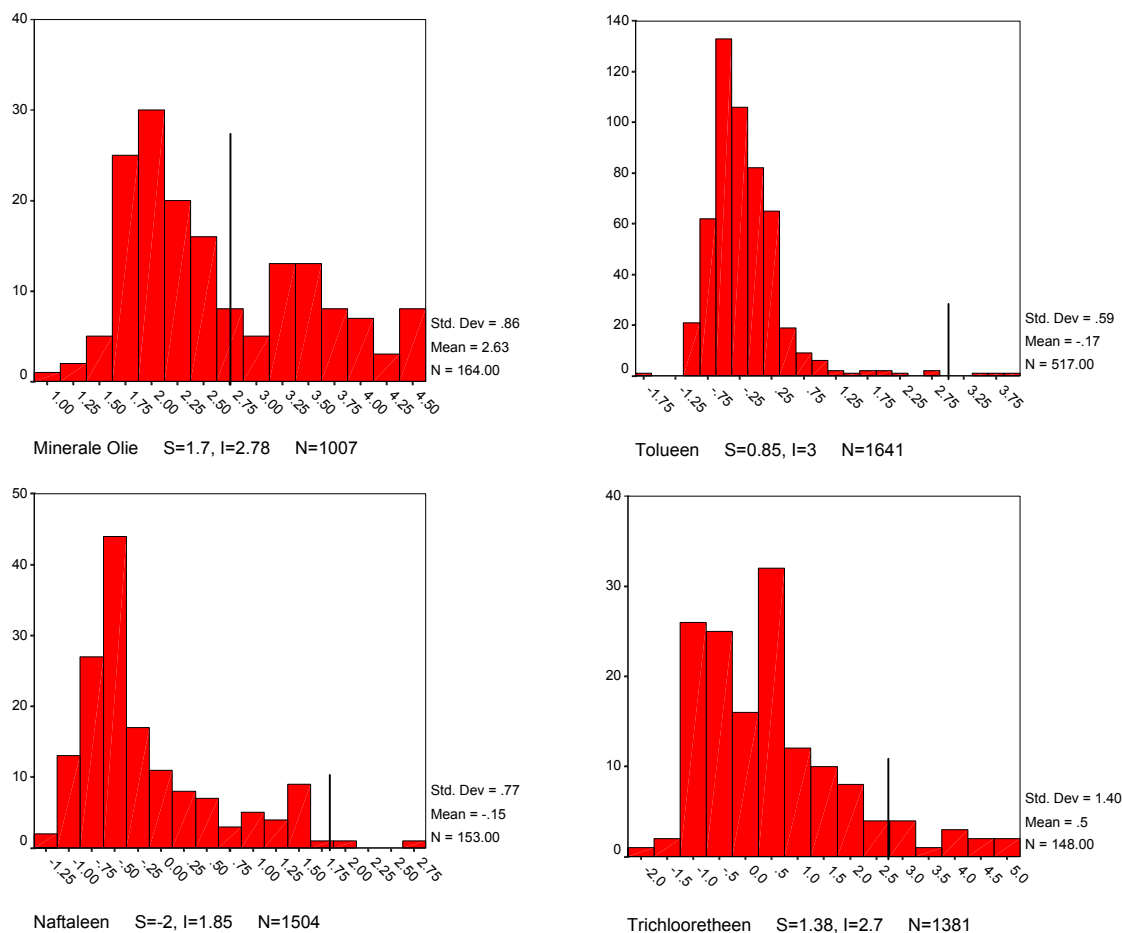


Fig. 15. Histogrammen.

### 4.3 Box-Whisker plots

In aanvulling op de histogrammen zijn Box-Whisker plots gemaakt om snel overzicht te hebben van de meest voorkomende concentraties en om na te gaan hoe de concentraties binnen het studiegebied zich verhouden tot die van de provincie Overijssel. Hiertoe zijn de datasets binnen en buiten het studiegebied opgesplitst. Het resultaat is weergegeven in figuur 16.

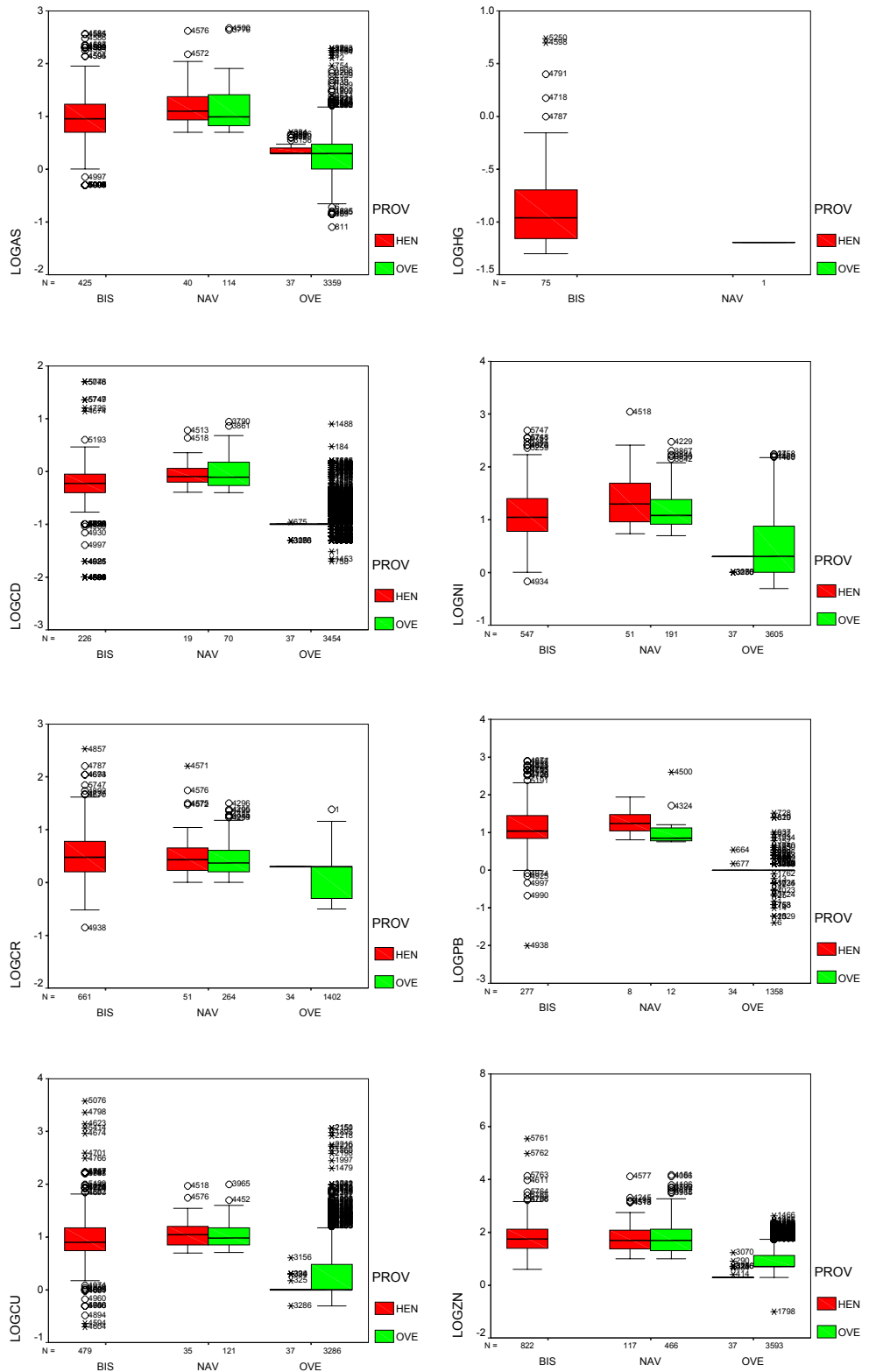
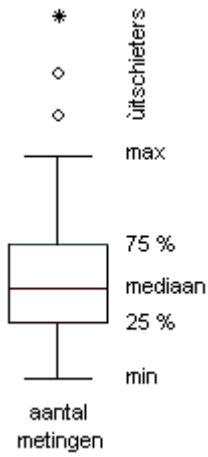


Fig. 16. Box-Whisker plots grondwaterkwaliteit.

#### 4.4 Bollenkaarten

Hieronder is van een aantal stoffen een “bollenkaart” weergegeven. Bollenkaarten geven de data ongeïnterpreteerd weer en zijn dus zeer objectief. Naast elke bollenkaart is kort samengevat de interpretatie weergegeven.

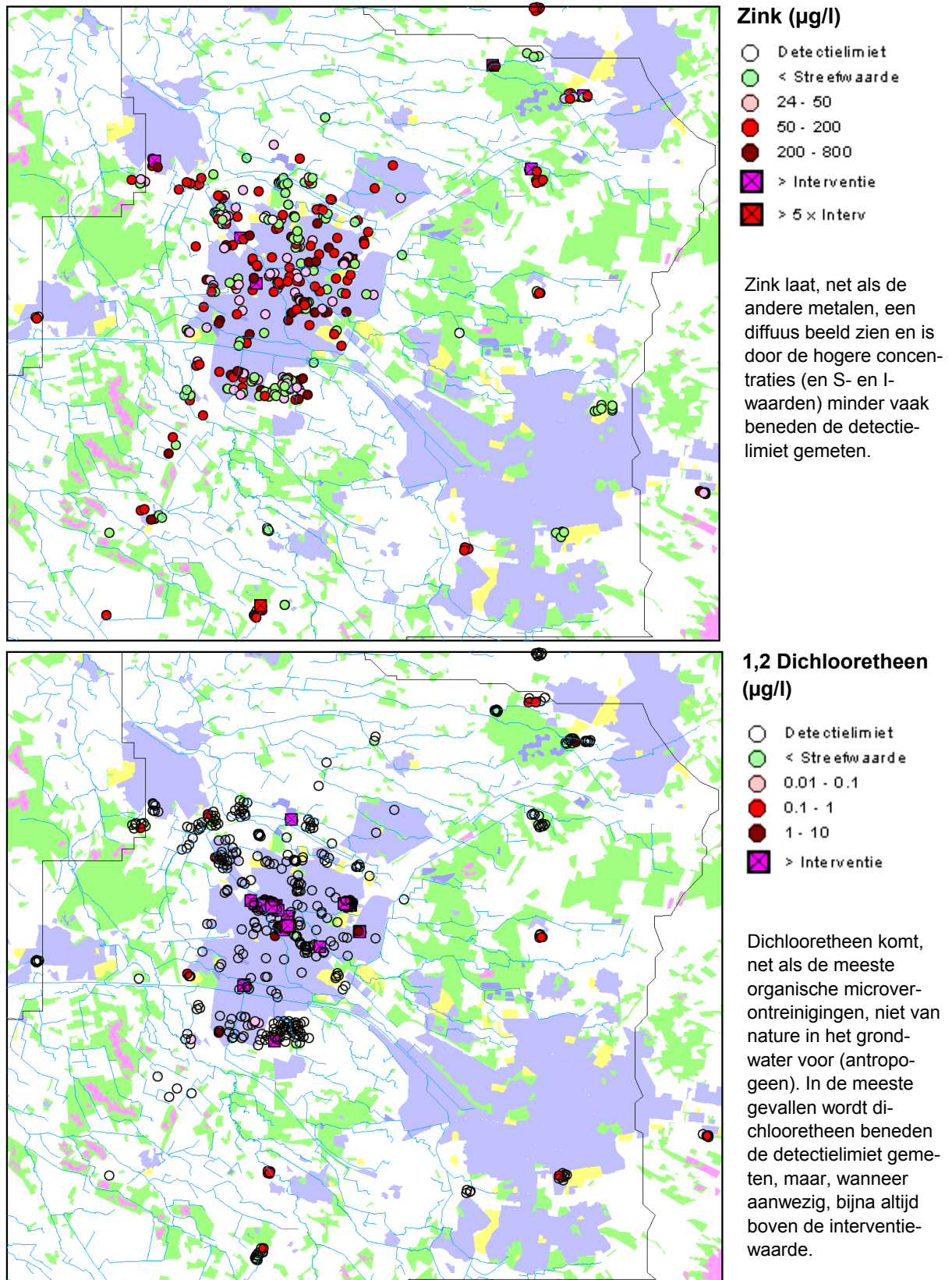
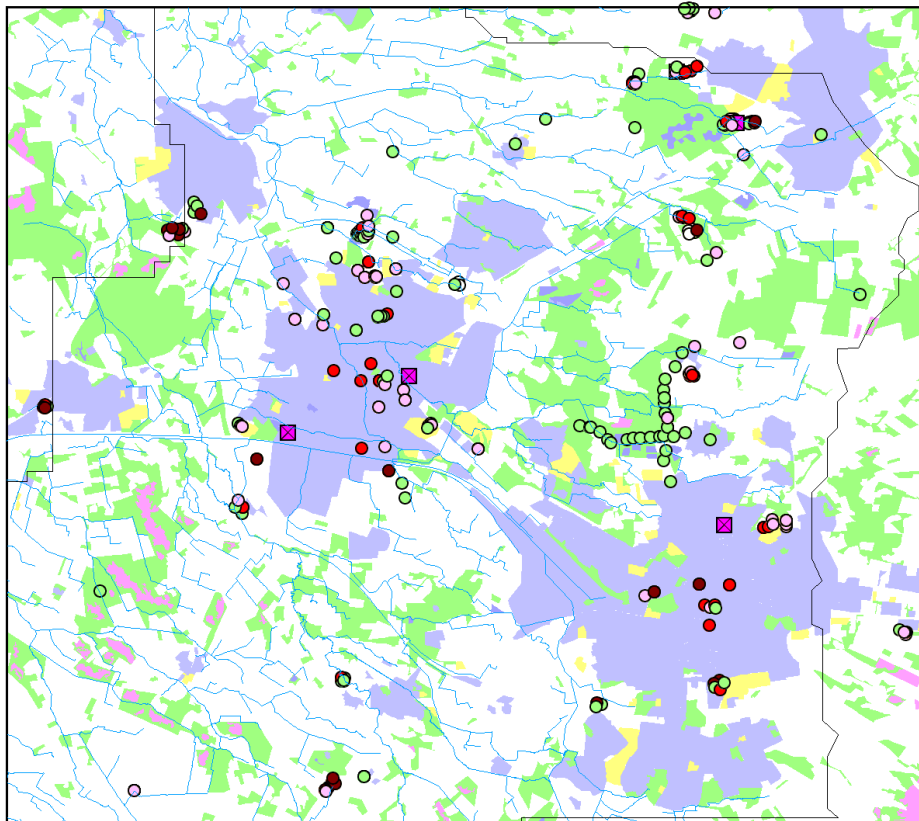


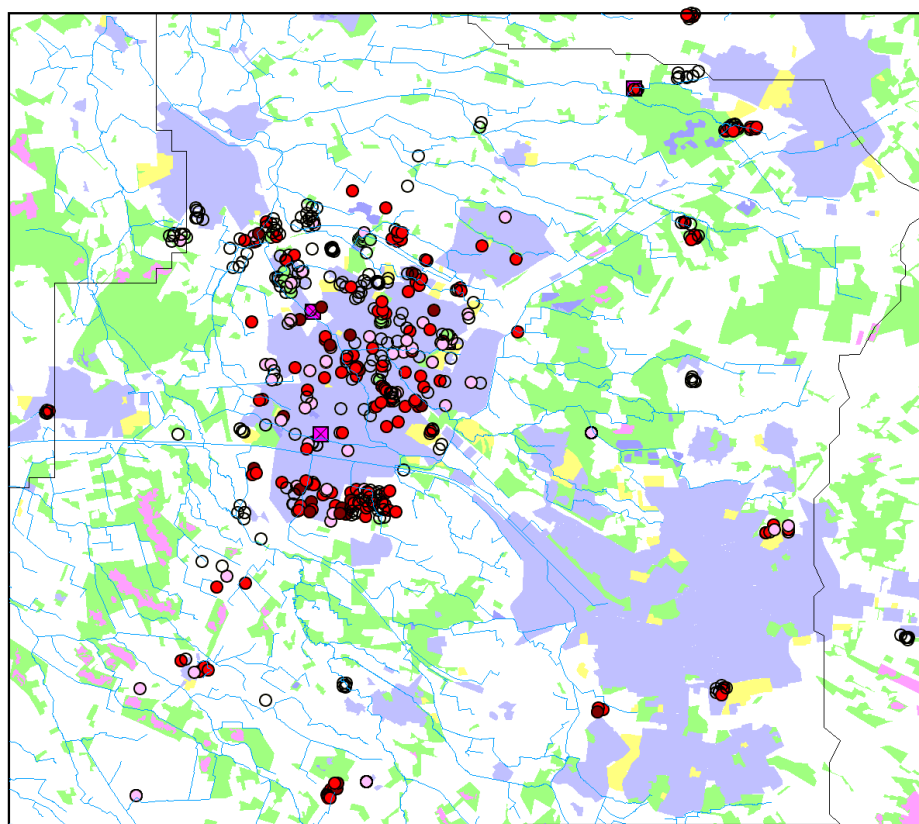
Fig. 17a. Bollenkaarten zink en dichlooretheen.



**Chloride (mg/l)**

- Detectielimiet
- < 24
- 24 - 50
- 50 - 100 (S)
- 100 - 500
- > 500

Chloride geeft een ingewikkeld patroon. Binnen stedelijk gebied zijn vaak verhoogde concentraties aanwezig, maar ook lage "natuurlijke" gehalten.



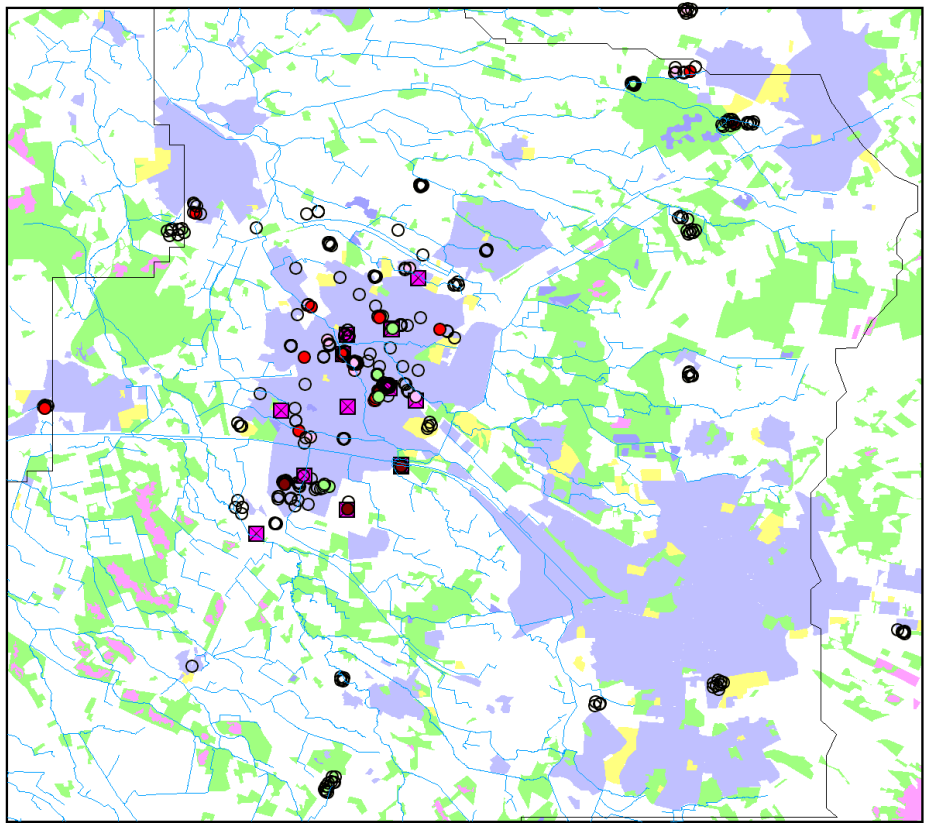
**Koper (µg/l)**

- Detectielimiet
- < Streefwaarde
- 1.7 - 5
- 5 - 20
- 20 - 75
- > Interventie

Koper geeft als verontreiniging een heel ander beeld dan 1,2 Dichlooretheen. Binnen de stad speelt behalve puntverontreiniging ook diffuse verontreiniging een rol.

Fig.17b. Bollenkaarten chloride en koper.

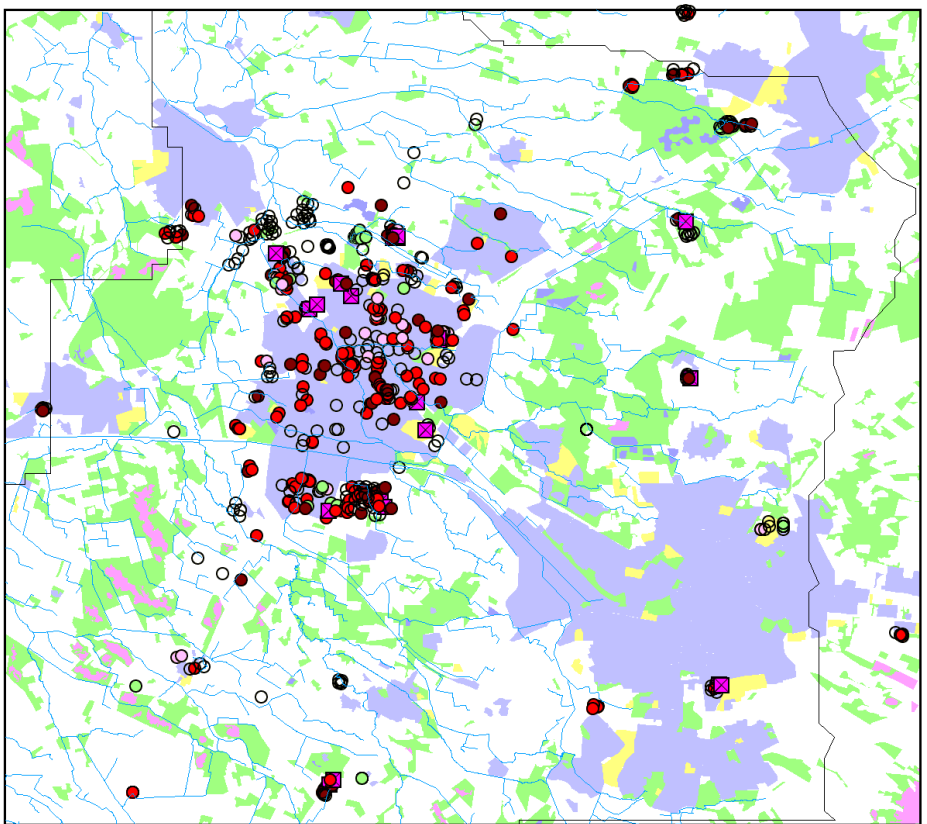




**Minerale olie (µg/l)**

- Detectielimiet
- < Streefwaarde
- 50 - 100
- 100 - 300
- 300 - 600
- ⊠ > Interventie

Minerale olie is ook antropogeen, maar verschilt in 1,2 Dichlooretheen, doordat het op veel meer locaties wordt aangetroffen.



**Nikkel (µg/l)**

- Detectielimiet
- < Streefwaarde
- 2.1 - 5
- 5 - 20
- 20 - 75
- ⊠ > Interventie

Nikkel geeft, net als koper, een diffuus beeld over het studiegebied.

Fig.17c. Bollenkaarten minerale olie en nikkel.

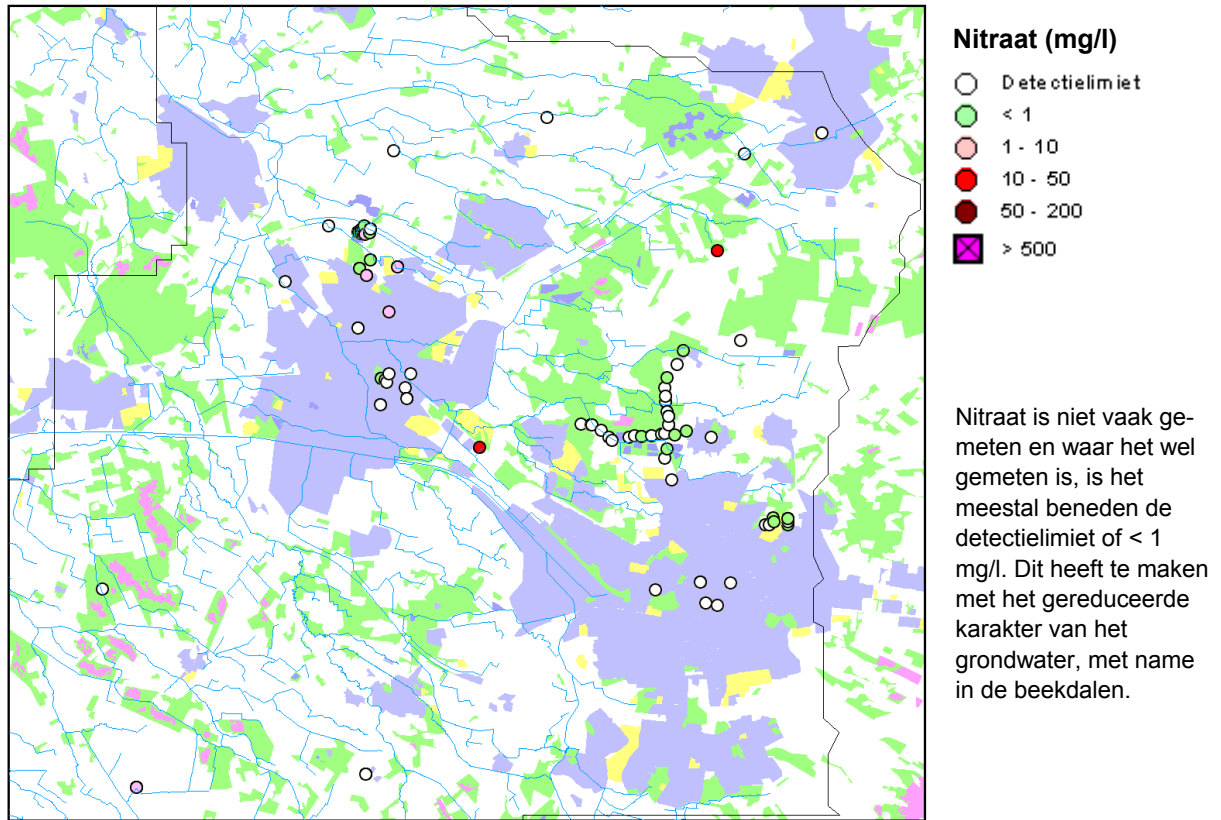


Fig.17d. Bollenkaart nitraat.

### GENEREREN PROCESKENNIS

#### 5.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 is de “ruwe” gebundelde data over de grondwaterkwaliteit gepresenteerd in de vorm van histogrammen, Box-Whisker plots en bollenkaarten. Doel van deze studie is ook om na te gaan in hoeverre met het toevoegen van proceskennis meer kennis en inzicht kan worden verkregen over de grondwaterkwaliteit in de regio.

Logische vragen die voor de hand liggen om grondwaterkwaliteitsgegevens te interpreteren zijn:

- Grondwaterstroming: waar komt het bemonsterde grondwater vandaan, welke weg is afgelegd en wat is de ouderdom ervan?
- Wat was het landgebruik op de plaats waar het bemonsterde grondwater is geïnfilteerd?
- Hydrologisch systeem en hydrochemische milieus: welke grondwaterstromingsstelsels kunnen worden onderscheiden en welk hydrochemisch milieu heeft het grondwater doorstroomd die bepalend zijn voor het gedrag (ad- en desorptie, omzetting) van de stoffen in het grondwater?

De voor deze studie verzamelde proceskennis betreft uitgebreide informatie over de grondwaterstroming en, zij het in beperkte mate, informatie over het hydrochemisch milieu van het grondwater. In paragraaf 5.2 wordt de gevolgde methode van de stroombaanberekeningen met het grondwatermodel kort toegelicht. De resultaten hiervan worden gepresenteerd in paragraaf 5.3 (kwel en infiltratie), paragraaf 5.4 (reistijden en afstanden) en paragraaf 5.5 (grondwaterstromingsstelsels).

In paragraaf 5.5 en paragraaf 5.6 wordt achtereenvolgens kort ingegaan op het landgebruik en de hydrochemie van het grondwater.

#### 5.2 Methode stroombaanberekeningen

Inzicht in de grondwaterstroming is verkregen door diverse stroombaanberekeningen uit te voeren met het grondwatermodel dat voor deze studie is opgezet. Hierbij is het programma Modpath gebruikt. Dit is een “particle tracking”-programma waarmee de stroming en reistijd van een deeltje water wordt berekend dat vertrekt of eindigt in een zelf te kiezen punt in het drie dimensionale grondwatermodel. Met het grondwatermodel zijn vanaf iedere cel (50 bij 50 m) stroombanen berekend in het gehele modelgebied. In totaal zijn dit ruim 90.000 stroombanen. De stroombanen zijn gestart vanaf 1.5 m onder de grondwaterspiegel.

Voor het analyseren van deze modeloutput zijn diverse bewerkingsprogramma's geschreven. De simulaties geven een goed inzicht in de regionale kwel- en infiltratiepatronen, ouderdom, afgelegde weg en daarmee de ligging van de kenmerkende hydrologische systemen.

#### 5.3 Kwel en infiltratie

De kwel- en infiltratiegebieden zijn weergegeven in figuur 18. Kwel komt hoofdzakelijk voor langs de talrijke beekdalen en vlak benedenstrooms van de stuw in het Twentekanaal. Op de stuwwal en in delen van de stad komen duidelijke aaneengesloten infiltratiegebieden voor. Opvallend zijn de talrijke kwelzones langs en direct bovenstrooms van de koppelleiding, de waterloop die het (kwel)water via de oost- en zuidzijde van Hengelo afleidt van het stedelijke watersysteem.

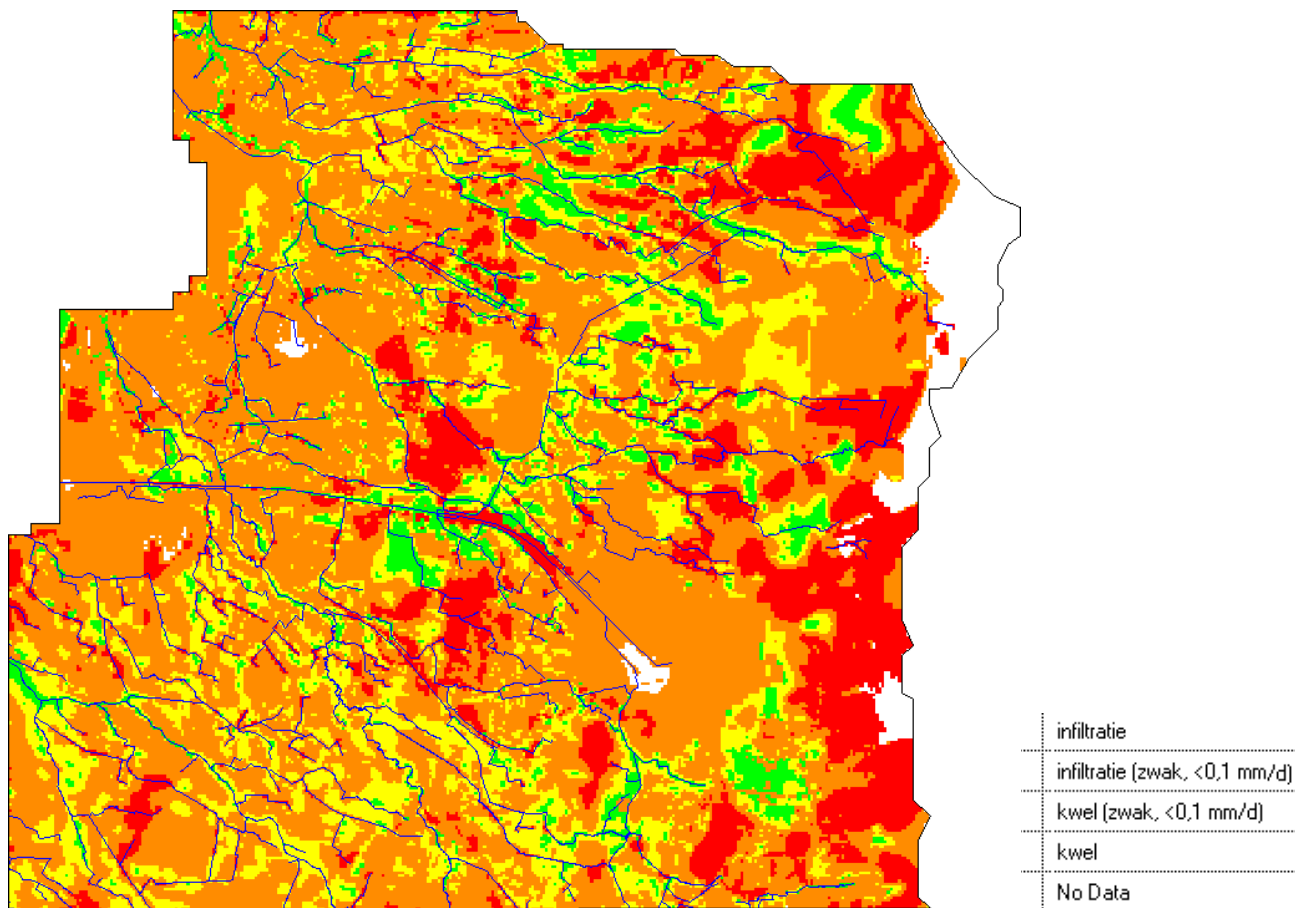


Fig. 18. Kwel- en infiltratiegebieden.

In figuur 19 zijn de berekende stromingspatronen en eindpunten van de stroombanen weergegeven. Hieruit komt duidelijker de drainerende werking van de waterlopen naar voren en de lokale invloed van enkele grote grondwater onttrekkingen. Dit is met name te zien aan de vele stroomlijnen die eindigen op dergelijke punten of lijnen.

Bij winningen is duidelijk te zien dat vanuit de omgeving het water naar de put stroomt, en daarmee de grenzen van het intrekgebied. Dit geldt op bijna dezelfde manier voor kwelgebieden, welke ook een bepaald intrekgebied hebben. Dit soort gebieden, waarbinnen het water infiltreert en weer opkwelt kunnen ook “gesloten hydrologische systemen” ofwel grondwaterstromingsstelsels worden genoemd. De volledige hydrologische cyclus wordt binnen dergelijke gebieden doorlopen, er gaan geen stroombanen over de rand van dergelijke gebieden heen.

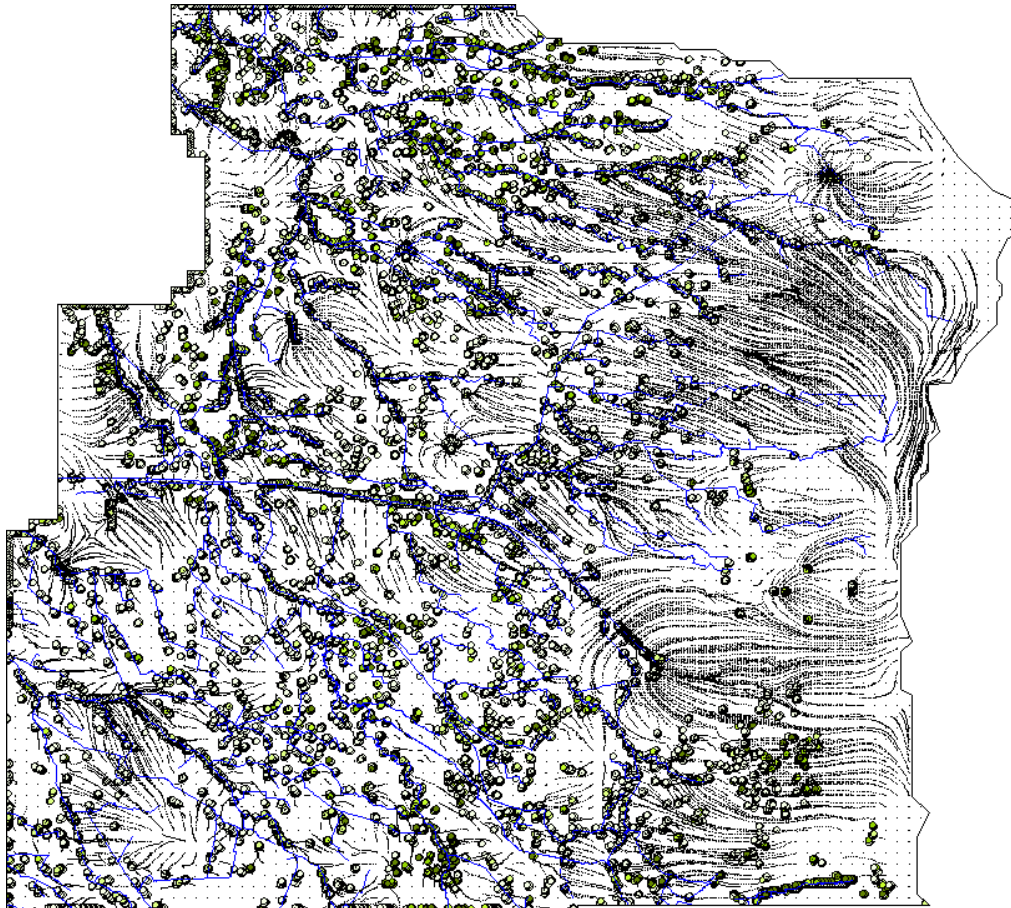


Fig. 19. Beken (blauw), stroombaanpatronen en eindpunten exfiltratie.

#### 5.4 Leeftijd en afgelegde weg grondwater

De leeftijd of ouderdom die het grondwater maximaal bereikt is weergegeven in figuur 20. Dit geeft directe informatie over de maximale ouderdom die het grondwater vanaf infiltratie kan bereiken alvorens het in een kwelgebied of grondwateronttrekking verdwijnt uit het grondwatersysteem. Binnen de witte gebieden liggen de kwelzones en omvangrijke grondwaterwinningen. In de donkere (zwarte) gebieden is de grondwaterstroming zeer traag, hetgeen samenvalt met de gebieden waar een slecht doorlatende deklaag met klei voorkomt. Op de stuwwal is door het regionale karakter van de grondwatersystemen de maximale leeftijd vrij homogeen, terwijl het patroon in het vlakke gebied door het lokale karakter van de systemen diffuus is.

Analoog aan de ouderdom, is in figuur 21 de maximale afstand weergegeven die het grondwater aflegt. Dit is de horizontale afstand vanaf de plaats van infiltratie tot de locatie waar het grondwater exfiltreert in een kwelzone of grondwateronttrekking. Afgezien van bij de stuwwal, is de afstand tussen de plaats van infiltratie en exfiltratie vrij gering.



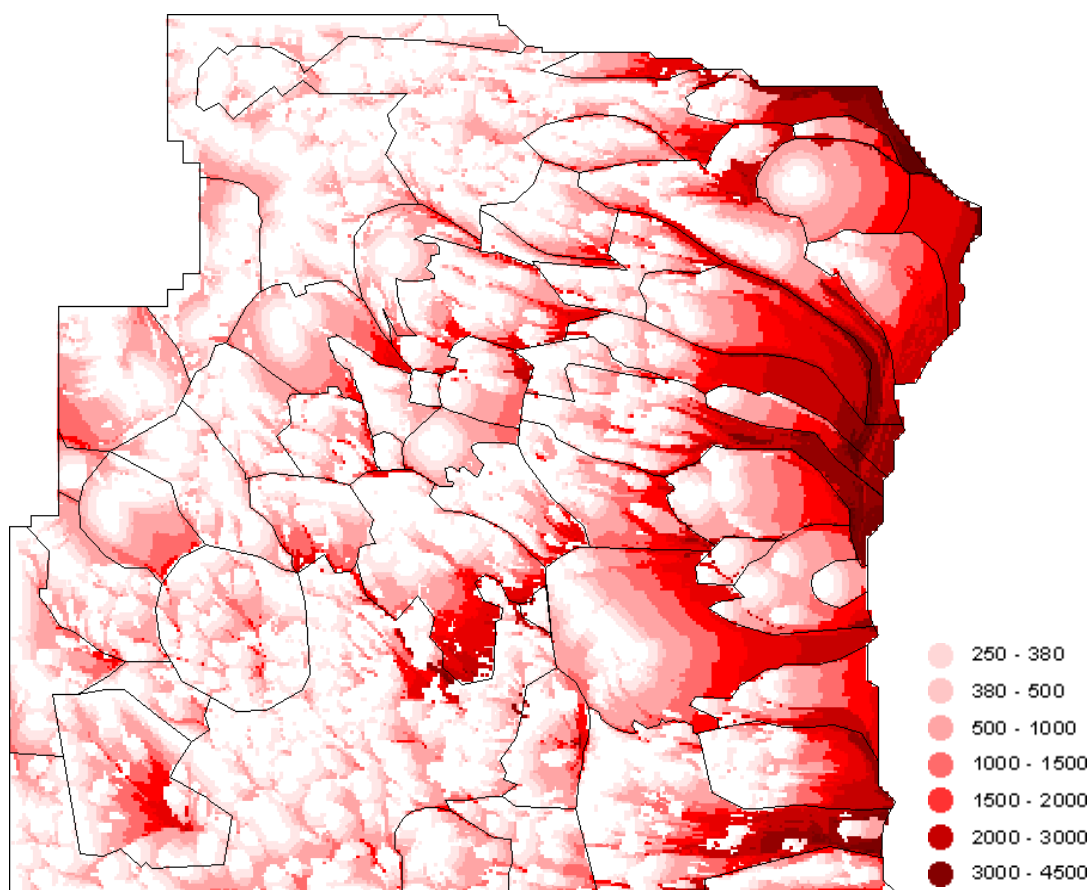


Fig. 20. Maximale leeftijd (jaren) die het grondwater bereikt na infiltratie.

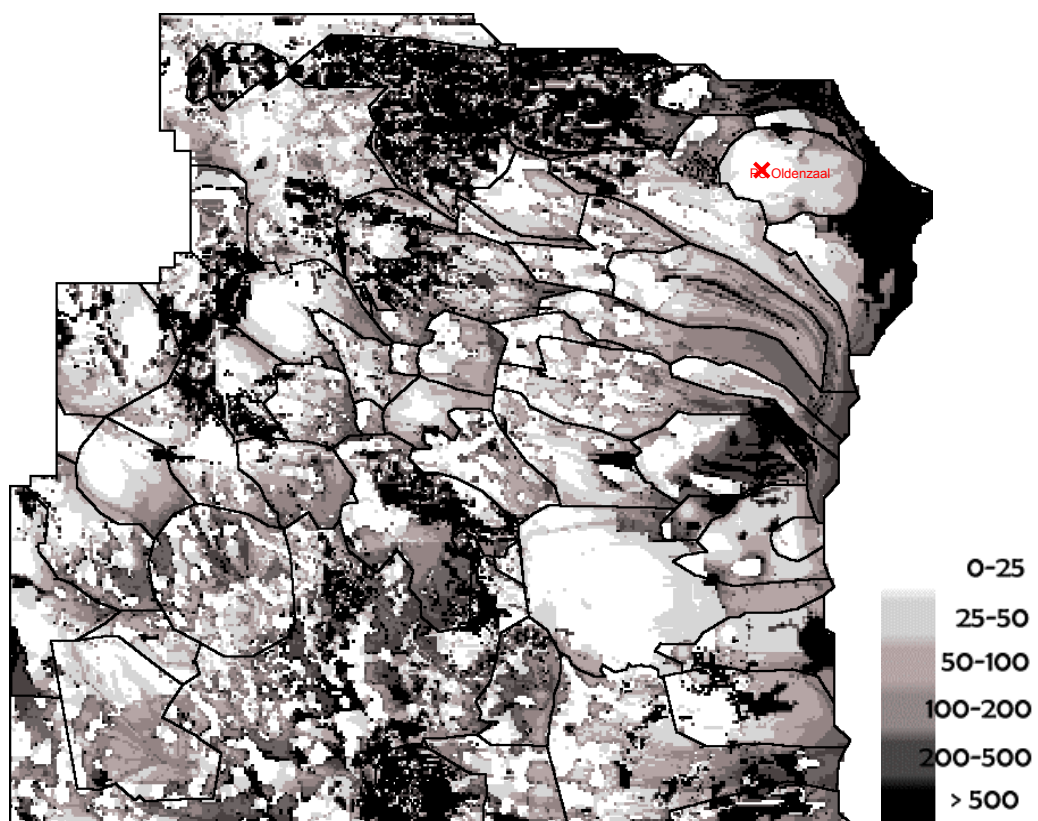


Fig. 21. Maximale afstand (meter) die het grondwater aflegt vanaf infiltratie tot exfiltratie.

## 5.5 Grondwatersystemen

Grondwatersystemen of grondwaterstromingsstelsels zijn deelsystemen van watersystemen en omvatten een infiltratiegebied en één of meerdere exfiltratie- of kwelgebieden. Afhankelijk van de schaal, kunnen lokale en meer regionale grondwatersystemen worden onderscheiden. De lokale systemen zijn ingebed in de regionale systemen. Het neerslagoverschot, geomorfologie en geologische bodemopbouw vormen de belangrijkste natuurlijke factoren die de dimensies van de grondwatersystemen bepalen. Door menselijke ingrepen, zoals detailontwatering en grondwateronttrekkingen, worden kunstmatige stromingsstelsels gecreëerd.

Inzicht in de grondwatersystemen kan een belangrijke ondersteuning geven voor het bepalen van lokale achtergrondgehalten, de afperking van diffuse- en punt-verontreinigingen, de opties voor sanering ervan en gebiedsgericht beleid om waardevolle wateren (beken) zo schoon mogelijk te maken ("waterparels").

In diverse studies [Engelen & Kloosterman, 1996], zijn de grondwaterstromingsstelsels in kaart gebracht op basis van stroombaanberekeningen met 2- en 3-dimensionale grondwatermodellen en aanvullende fysisch geografische en ecologische data. Nadere bestudering van de figuren 19, 20 en 21, geeft een duidelijk inzicht in de ligging van de hydrologische systemen. Zo kunnen bijvoorbeeld uit de kaart waarop de maximale leeftijd (figuur 20), aangevuld met de maximale afstand-kaart (figuur 21) vrij duidelijk de grenzen tussen de verschillende intrekgebieden worden afgeleid. Ter verduidelijking hiervan is het pompstation Oldenzaal in figuur 21 weergegeven (met een "x"). Aan de maximale afstanden van het grondwater rondom de onttrekking is vrij duidelijk het gebied te zien, waarbinnen de waterdeeltjes naar de onttrekking bewegen en daarmee de globale begrenzing van het intrekgebied. De onderscheiden grondwaterstromingsstelsels zijn weergegeven in figuur 22.

De in figuur 22. aangegeven ruimtelijke begrenzing van de stromingsstelsels is handmatig binnen ArcView verricht. Bij de indeling is rekening gehouden met het inzicht in de volgende voorkomende hydrologische systemen:

- Onttrekkingssysteem; grote onttrekkingen met een duidelijk intrekgebied;
- Beeksystemen; intrekgebieden van kwellende beektrajecten;
- Klei- en vlakke systemen; relatief lokale stromingssystemen met lange verblijftijden door geringe doorlatendheden of een geringe gradiënt.

Alleen grote stromingsstelsels zijn hierbij onderscheiden; enkele stromingsstelsels bestaan uit grote systemen met daarop lokale systemen gesuperponeerd, andere bestaan volledig uit kleine systemen. Voor alle onderscheiden grondwaterstromingsstelsels geldt echter dat vrijwel al het neerslagwater dat in een stromingsstelsel is geïnfiltreerd na grondwaterstroming binnen hetzelfde stromingsstelsel zal exfiltreren naar onttrekkings- of drainagemiddelen.

Uit figuur 22 blijkt dat voor het modelgebied ruim 50 stromingsstelsels kunnen worden onderscheiden. Ten opzichte van genoemde voorgaande studies voor Twente, zijn de hier onderscheiden stelsels veel kleiner (globaal 2 tot 5 maal). Naast de grote grondwateronttrekkingen blijkt de drainerende werking van de beken sterk bepalend te zijn voor de grondwaterstroming. Dit kwam in de eerdere studies minder naar voren, omdat de beeklopen minder gedetailleerd in de modellen waren opgenomen en de modellen een grotere resolutie hadden (500 bij 500 m).



Fig. 22. Grondwaterstromingsstelsels (stroomgebieden grondwater of grondwatersystemen).

## 5.6 Landgebruik

Het landgebruik kan een belangrijke indicatie geven voor de natuurlijke of antropogene belasting van het ondiepe geïnfiltreerde grondwater. Het huidige landgebruik is weergegeven in figuur 2 van hoofdstuk 2. Dit is afgeleid van de digitale landgebruikskaart van Nederland (LGN-3). Met historische topografische kaarten (series van omstreeks 1890, 1910, 1930, 1960 en heden) van de bibliotheek van de Universiteit Utrecht, is nagegaan wat het landgebruik is geweest rond 1900 en hoe dit is gewijzigd in de periode daarna. Tegelijk met de aanleg van de spoorlijn en het Twentekanaal en de start van industriële grondwaterwinningen, is de stad geleidelijk uitgebreid. De voornaamste uitbreidingen zijn na de Tweede WO gedaan. Bij deze uitbreidingen zijn enkele beken gedempt en is de waterloop “koppelleiding” in de zeventiger jaren aangelegd om het water van de stuwwal ten oosten en zuiden van de stad om te leiden.

De gemiddelde verblijftijd van grondwater is zestien jaar in het modelgebied. Dit impliceert dat over het algemeen kan worden uitgegaan van de huidige landgebruikskaart, met name voor de herkomst van ondiepe grondwatermonsters.

## 5.7 Hydrochemisch milieu

Het hydrochemisch milieu is sterk bepalend voor de macrochemie van het grondwater, alsmede voor de binding of mobilisatie van sporenmatalen en organische microverontreinigingen en de condities voor natuurlijke afbraak.



De binding of mobilisatie van sporenmatalen is vaak sterk afhankelijk van de zuurgraad (pH) en redoxpotentiaal. Aluminiumgehalten zijn bijvoorbeeld alleen hoog bij lage pH's en hoge ijzergehalten alleen bij een relatief lage redoxpotentiaal (geen zuurstof en nitraat in het grondwater). De microbiële afbraak van organische verontreinigingen hangt sterk af van de pH en redox.

De hydrochemie is bestudeerd door de beschikbare grondwaterkwaliteitsgegevens in te delen in de volgende categorieën:

1. Zuurtegraad: kalkgebufferd / kalk-onderverzadigd;
2. Redoxpotentiaal: oxisch / reducerend / sulfaatreducerend.

Voor de klassenindeling zijn de volgende indicatieve grenzen aangehouden:

Calcietonderverzadigd (zuur):  $\text{pH} < 5.5$  of  $\text{Ca} < 30$  of  $\text{HCO}_3 < 50$ ;

Oxisch grondwater:  $\text{NO}_3 > \text{d.l.}$  of  $\text{Fe} < \text{d.l.}$ ;

Sulfaatreducerend grondwater: Niet aangetroffen ( $\text{SO}_4 \approx 0$ ).

Het resultaat van deze indeling is weergegeven in figuur 23 en 24. Doordat maar zeer weinig monsters zijn geanalyseerd op pH, calcium, bicarbonaat (alkaliteit), nitraat, ijzer en sulfaat, kan voor de meeste monsters geen onderscheid worden gemaakt op zuurgraad en redoxpotentiaal.

In het hele studiegebied zijn slechts enkele grondwatermonsters die oxisch (zuurstofhoudend) zijn. Deze worden aangetroffen in zandige pakketten, welke weinig reducerend vermogen (en dus biologisch afbreekbaar organisch materiaal) bevatten ten opzichte van klei. Ongebufferd (zuur) grondwater wordt aangetroffen in een strook ten oosten van Hengelo in de bosrijke zone, waar een freatisch, zandig pakket (en dus geen klei) aanwezig is.

Het is echter duidelijk dat de beschikbare gegevens ontoereikend zijn om direct een ruimtelijk beeld van de hydrochemische milieus in en rondom Hengelo te onderscheiden. Dit omdat er erg weinig grondwatermonsters zijn waarvan het hydrochemische milieu kan worden ingeschat en omdat de gevonden patronen hier vrij diffuus zijn.

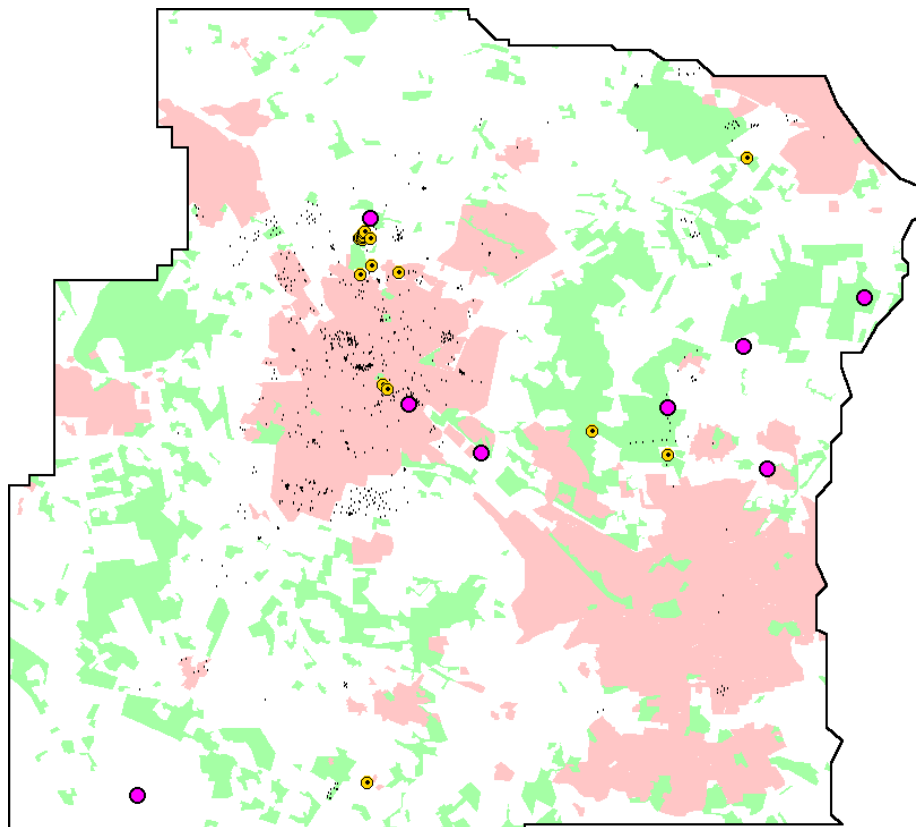


Fig. 23. Redox-indeling grondwater; paars = oxiderend, geel = reducerend, zwart = onbekend.

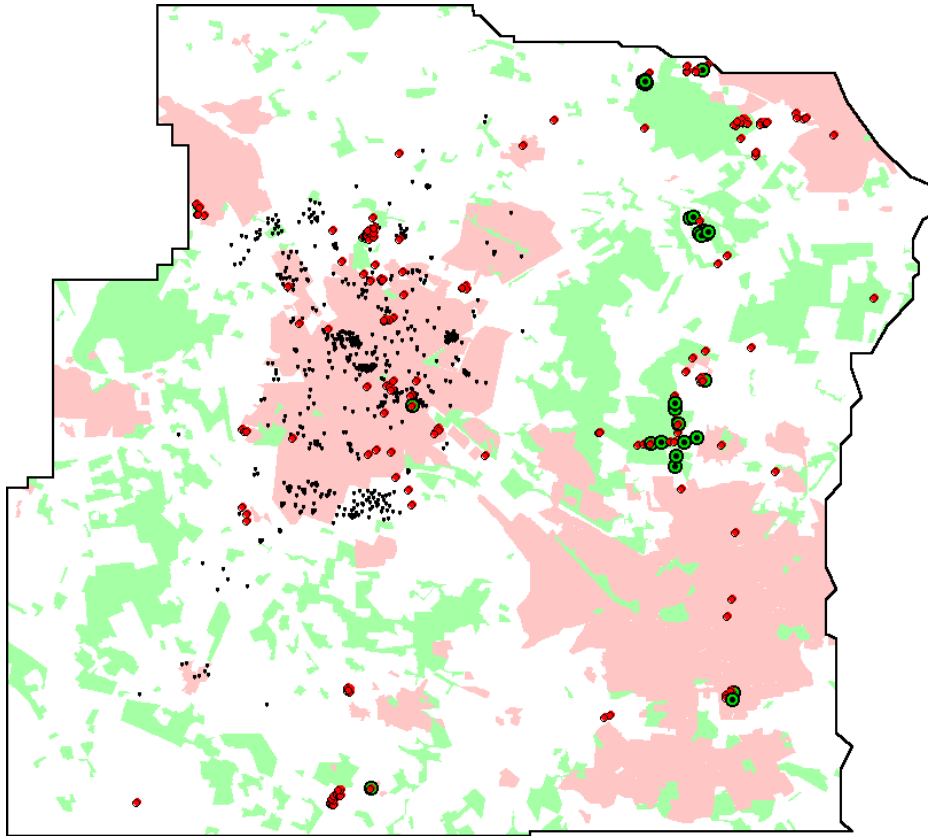


Fig. 24. Kalkverzadiging grondwater; groen = zuur, rood = calcietverzadigd, zwart = onbekend.

## HOOFDSTUK 6

### TOEPASSEN PROCESKENNIS

#### 6.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is aangegeven welke proceskennis is verkregen die, gecombineerd met de grondwaterkwaliteitsgegevens, meer inzicht kan bieden in de grondwaterkwaliteit van Hengelo en omgeving. Nu inzicht is verkregen in de grondwaterstroming, landgebruik en hydrologische systemen, is voor ieder grondwatermonster van de database het landgebruik en grondwaterstromingsstelsels van herkomst, ouderdom en afgelegde weg berekend. Deze indicatoren van proceskennis zijn vervolgens toegevoegd aan de chemische database en benut om kenmerkende grondwatertypen te onderscheiden. Deze watertypen verschillen onderling significant ten aanzien van de macrosamenstelling, sporenmetalen en organische microverontreinigingen.

In paragraaf 6.2 is een overzicht gegeven van de toegevoegde indicatoren. De indeling in groepen met een kenmerkende grondwatersamenstelling wordt behandeld in paragraaf 6.3. Van deze grondwatertypen zijn de statistische kenmerken bepaald (gemiddelde en achtergrondgehalte). Dit wordt behandeld in paragraaf 6.4 en paragraaf 6.5.

Om de kwaliteit van een (nieuw) grondwatermonster te interpreteren, is het nuttig om gebruik te kunnen maken van de toegevoegde proceskennis. Dit kan in de vorm van een set van kaarten in combinatie met de statistische kenmerken van de onderscheiden grondwatertypen. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 6.6.

#### 6.2 Toegevoegde indicatoren proceskennis

Van ieder grondwatermonster is in de chemische database de lokatie (x- en y-coördinaat) en de filterdiepte (m-mv) opgenomen. Met behulp van MODPATH en Access (voor verdere bewerking) zijn hiermee de herkomstgebieden en leeftijden van grondwater uit alle filters berekend. Hieruit is ook de afgelegde afstand berekend tussen filter en infiltratiepunt. Met behulp van ArcView is het landgebruik in het herkomstgebied voor elk filter bepaald. Deze gegevens zijn toegevoegd aan de database, hetgeen als voorbeeld is weergegeven in tabel 4. De hierin opgenomen indicatoren worden in het navolgende kort toegelicht.

Tabel 4. Voorbeeld van de manier waarop indicatoren aan de analyses zijn toegevoegd.

bestaande info locaties					proceskennis: berekende indicatoren						gemeten concentraties					
ID	x-coörd	y-coörd	meet-net	filter-diepte	afgelegde afstand	landgebruik	stromingsstelsel	leeftijd (jaar)	hdroch. milieu	punt-bron1)	pH	egv	Cl	Ca	Zn	etc.
1299	246500	471488	dino	12,5	32 m	Stad	3	16	?	Nee	7,2	300	34	65	65	
1300	248310	472332	bis	6	1258 m	Landb	12	25	?	Nee					24	
1205	246300	475250	bis	4	298 m	Stad	8	5	?	Ja					650	
1320	248250	473200	navos	4,5	6 m	Industr.	23	8	oxisch	Nee		2400	240		1200	

#### *Herkomst*

Uitgegaan is van huidig landgebruik (zie figuur 3) en van een vereenvoudiging in de eenheden bos, landbouw, stedelijk, industrie, en overig. In figuur 25 is het aantal monsters voor de aldus berekende herkomstgebieden weergegeven. Behalve voor de categorie overig zijn per landgebruikseenheid steeds voldoende metingen aanwezig en te zien is dat er een goede spreiding is over de verschillende meetnetten in de gebundelde chemische database.

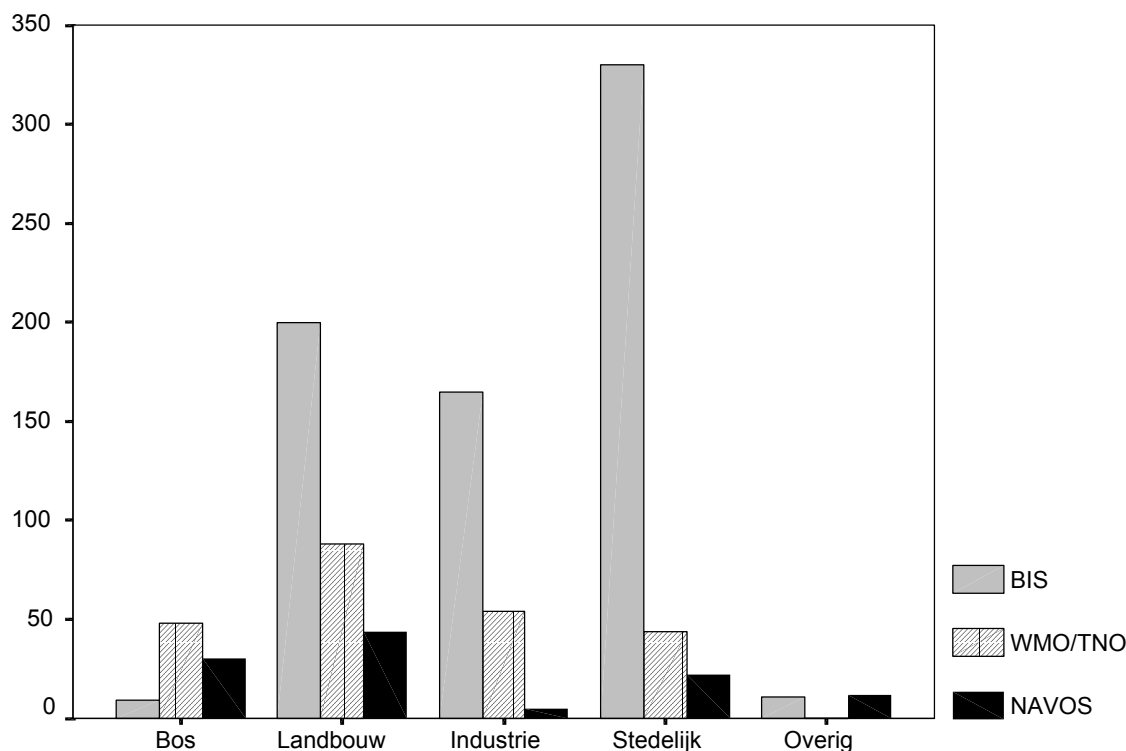


Fig. 25. Verdeling van het aantal monsters naar landgebruik en oorspronkelijke datasets.

#### *Afgelegde weg en leeftijd*

De voor ieder grondwatermonster berekende afgelegde weg (afstand) en leeftijd zijn weergegeven in figuur 26 en 27.

Uit figuur 26 blijkt dat voor het merendeel van de ondiepe grondwatermonsters een vrij geringe ouderdom wordt berekend. Deze bevinden zich in de infiltratiegebieden. Toch worden ook voor een vrij groot aantal ondiepe grondwatermonsters zeer hoge leeftijden berekend. Of dit water ook daadwerkelijk zeer oud is, is echter vrij onzeker. Vooral omdat ondiepe bodemopbouw en lokale drainage in het algemeen sterk van plaats tot plaats kunnen verschillen, hetgeen met de gehanteerde modelresolutie (50 bij 50 m) niet in detail kan worden meegenomen. Ook is het goed denkbaar dat juist in de ondiepe bodem relatief snel preferente stroming kan optreden, bijvoorbeeld door scheuren in de deklaag of zandopvullingen bij lokale vergravingen, waardoor de modelouderdom een overschatting is van de realiteit.

Uit figuur 27 blijkt dat voor de meeste ondiepe grondwatermonsters een vrij korte afstand voor de afgelegde weg van de stroombaan wordt berekend. In het algemeen neemt de afgelegde weg sterk toe met de filterdiepte. Daarnaast is er een vrij grote groep met ondiepe grondwatermonsters, waarvoor de afgelegde weg groot is. Deze bevinden zich in de gebieden waar regionale kwel optreedt.

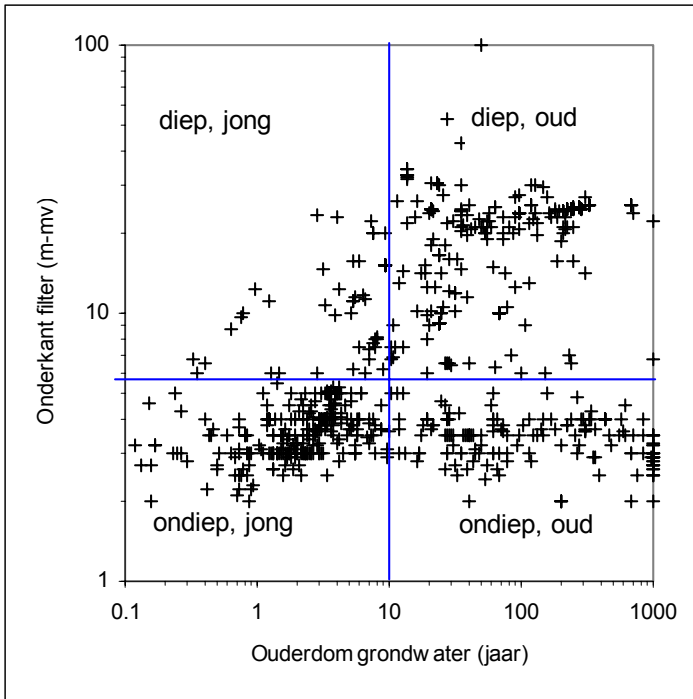


Fig. 26. Logaritmische scatterplot van de ouderdom tegen de diepte onderkant filter.

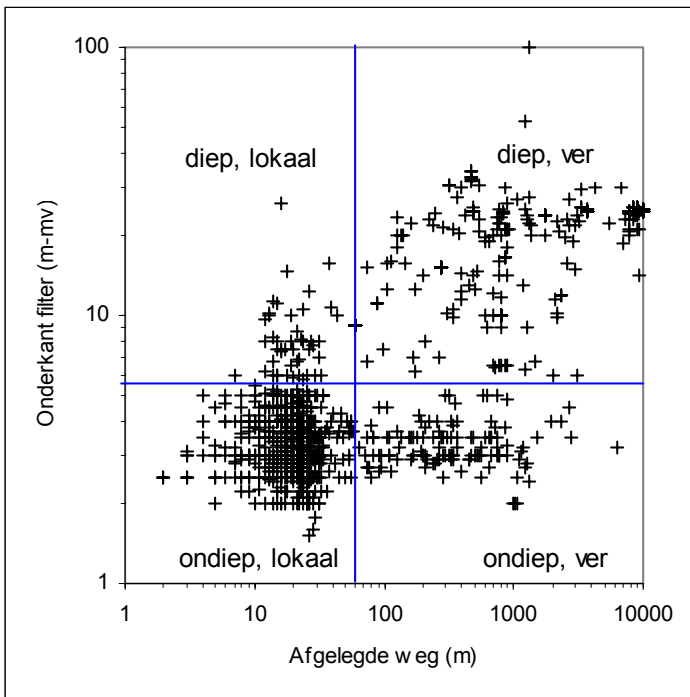


Fig. 27. Logaritmische scatterplot van de afgelegde afstand tegen de diepte onderkant filter.

### 6.3 Indeling in grondwatertypen

Voor deze studie is nagegaan of in het gebied groepen van grondwatermonsters kunnen worden onderscheiden die qua samenstelling en verontreinigingsgraad duidelijk van elkaar verschillen.

Het gebruik van statistische technieken zoals factoranalyse, clusteranalyse, fuzzy clustering technieken en principle components is in de dataset bemoeilijkt door de vele “gaten” in de dataset. Wanneer hoofd- en sporenelementen samen worden genomen, bestaat de dataset uit “0” records: er zijn geen complete analyses van ook maar één enkel grondwatermonster. Dit betekent dat er niet gewerkt kan worden vanuit de data (zoals bijvoorbeeld in Frapporti, [1993], waar na statistische analyse watertypen werden onderscheiden die vervolgens een duidelijk ruimtelijk patroon vertoonden). Daarom is vanuit de berekende indicatoren gewerkt.

De indicatoren herkomst-landgebruik en stromingsstelsel zeggen vooral iets over de (mogelijk uniforme) belasting van het ondiepe grondwater. De ouderdom geeft een indicatie over de mogelijke antropogene invloed en de afgelegde weg een indicatie over de mogelijkheid voor adsorptie of afbraak, gelet op het doorstroomde hydrochemische milieu.

Met behulp van deze indicatoren moeten dus groepen worden gevonden waarbinnen de samenstelling van het grondwater homogeen is. In principe zal oud opkwellend grondwater dat geïnfiltreerd is in een bosgebied geen organische microverontreinigingen of nitraat bevatten en lage gehalten aan kalium, aluminium, cadmium en lood. Jong grondwater dat is geïnfiltreerd in de stad kan juist wel sterk antropogeen beïnvloed zijn en afhankelijk van het doorstroomde hydrochemische milieu oxisch en/of ongebufferd.

Uitgangspunten bij de onderverdeling in groepen zijn dat:

- de onderscheiden groepen voldoende meetgegevens bevatten voor een zinvolle statistische interpretatie;
- de indicatoren voor de indeling redelijk betrouwbaar zijn.

Voor diverse groepsindelingen is nagegaan of de grondwaterkwaliteit duidelijk onderling verschilt. Hierbij zijn combinaties gemaakt van landgebruik van herkomst, leeftijd, afgelegde weg, ouderdom en filterdiepte. Door de Gemeente is digitale informatie verstrekt met de ruimtelijke begrenzing van pluimen met organische microverontreinigingen. Deze pluimen zijn volgens de verkregen informatie te klein om zinvol te kunnen benutten bij de groepsindeling.

Of de grondwaterkwaliteit van onderscheiden groepen onderling significant verschilt is nagegaan aan de hand van Box-Whisker plots. Hierbij is als referentie ook steeds de database benut met grondwaterkwaliteitsgegevens van Salland. Deze database bevat eveneens alle beschikbare grondwaterkwaliteitsgegevens van het landelijke- en provinciale meetnet, het meetnet van de WMO (thans Vitens), Dino en Navos. Omdat hierin geen gemeentelijke gegevens zijn opgenomen, bevat de database van Salland vrijwel uitsluitend meetpunten in landelijk gebied.

Op basis van een uitgebreide analyse, is de volgende indeling in acht grondwatertypen naar **landgebruik en afgelegde weg** gehanteerd:

- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| 1. Bos-Lokaal       | 2. Bos-Ver       |
| 3. Landbouw-Lokaal  | 4. Landbouw-Ver  |
| 5. Industrie-Lokaal | 6. Industrie-Ver |
| 7. Stedelijk-Lokaal | 8. Stedelijk-Ver |
| (9. Overig-Lokaal)  | (10. Overig-Ver) |

Zoals verwacht blijkt landgebruik voor een aantal componenten zeer bepalend te zijn voor de gevonden waterkwaliteit. De afgelegde afstand blijkt een betere indicator te vormen voor “ouderdom” dan filterdiepte en leeftijd. De lijnen in figuur 27 geven de onderverdeling aan die is gebruikt als “indicator” voor de afgelegde weg. Het onderscheid tussen lokaal en ver ligt op 60 meter. Dit lijkt een uiterst kleine afstand, maar ligt wel binnen de schaal van de grote hoeveelheid kleine grondwatersystemen in de omgeving Hengelo en houdt tred met de algemeen zeer ondiep genomen monsters.

De onderverdeling diep-ondiep ligt op 5.5 m-mv. Ook dit lijkt zeer ondiep, maar sluit aan bij de verdeling van de filterdieptes in het studiegebied en dus met het doel van de meeste bodemonderzoeken.

De verdeling van de indicatoren afgelegde weg (lokaal, ver) en landgebruik is weergegeven in figuur 28 en de ruimtelijke verdeling van het berekende landgebruik naar herkomst in figuur 29.

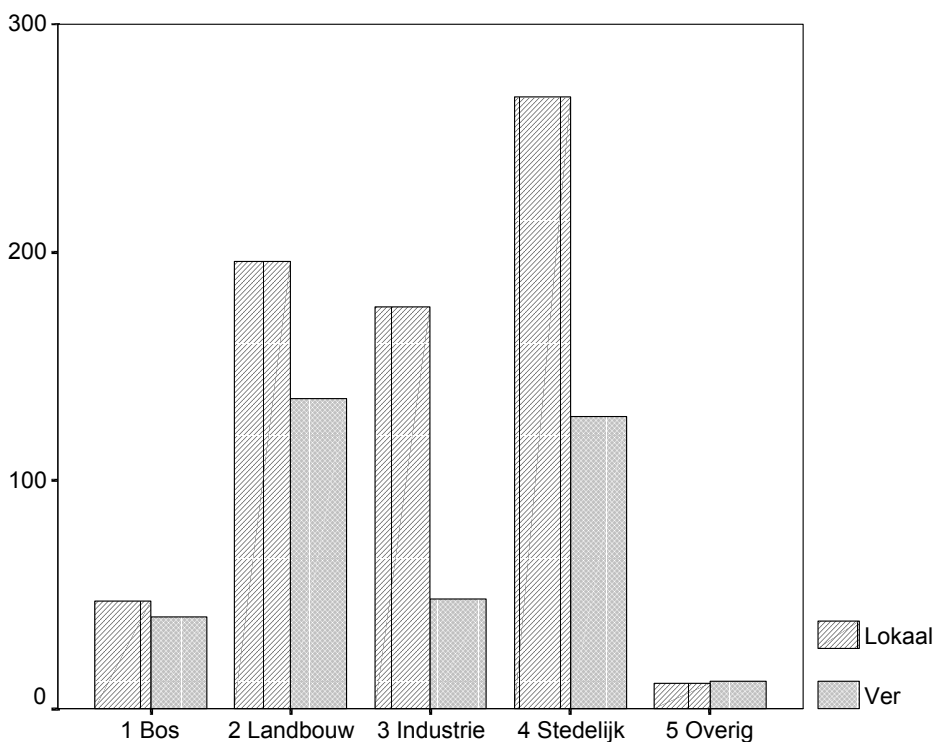


Fig. 28. Verdeling afgelegde weg (lokaal, ver) over landgebruik van herkomst.

Hoewel er meer “lokale” grondwatermonsters zijn, geeft de gehanteerde indeling van de afgelegde weg met name voor bos en landbouw een evenredige spreiding over het berekende landgebruik van herkomst. Wat opvalt in figuur 29 is dat er ook voor veel grondwatermonsters van het BIS een niet-stedelijk landgebruik van herkomst is berekend.

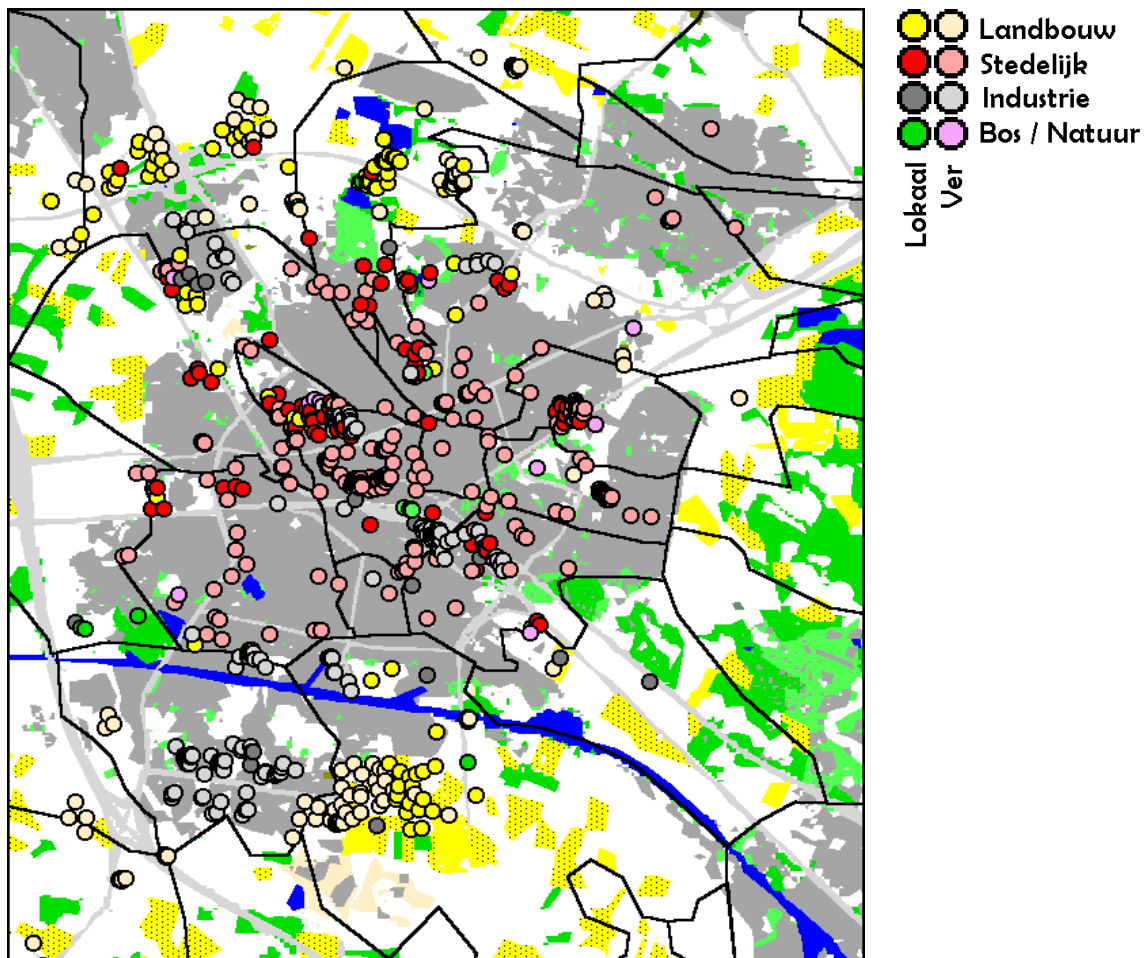


Fig. 29. Ruimtelijke verdeling landgebruik van herkomst in de omgeving van Hengelo.

In figuur 30 zijn enkele grafieken met Box-Whisker plots weergegeven, waaruit blijkt in hoeverre de onderscheiden watertypen van kwaliteit verschillen.

De volgende patronen komen in figuur 30 naar voren:

- Voor calcium zijn in het "lokale" water duidelijke aanwijzingen voor onderverzadiging, terwijl het water dat een grotere afstand heeft afgelegd altijd verzadigd is ten opzichte van calcium en daardoor binnen de groepen een constanter beeld laat zien. Industrie heeft de hoogste gemiddelde evenwichtsconcentratie calcium.
- Kalium laat een zeer goede scheiding zien, zowel in landgebruik als in afstand. Voor afstand was een goede scheiding te verwachten, door de retentie van kalium (adsorptie) verplaatst het kaliumfront zich langzaam en hoge variabele concentraties worden dus niet verwacht in het "oude" water. Bij de onderverdeling in landgebruik valt vooral de hoge en variabele waarde voor "landbouw" op. Ook dit is te verwachten.
- Nikkel laat qua duidelijkheid nog veel te wensen over. Er is duidelijk een verhoging in het "lokale" water te vinden, maar ook in het oude water zijn nog overschrijdingen van de interventiewaarden te vinden. Een aanwijzing dat de hoge concentraties natuurlijk zijn is dat ook in bos hoge concentraties worden gevonden. Overigens is in de boxplots (net als bij andere sporenmetalen) duidelijk de invloed van de detectielimiet te zien.



- Lood is duidelijk wel van antropogene oorsprong. Hoge concentraties in het lokale water en lage concentraties in landgebruikstype "bos".

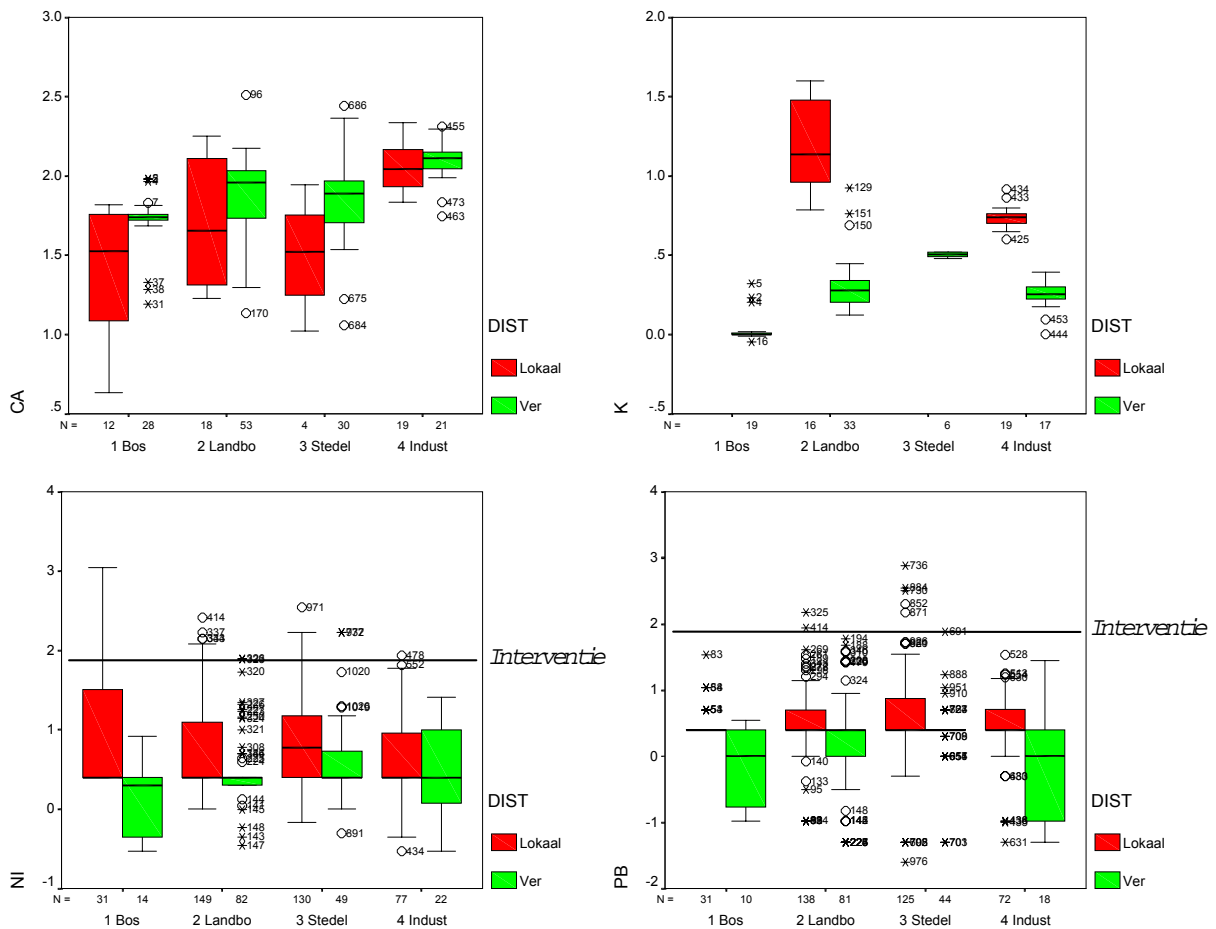


Fig. 30. Box-Whisker plots onderverdeeld naar landgebruik en afgelegde afstand. De nummers op de x-as geven het aantal analyses weer, de y-as de log-concentratie; calcium en kalium in mg/l, nikkel en lood in ug/l.

#### 6.4 Gemiddelde concentraties grondwatertypen

Met behulp van Access en Excel zijn per grondwatertype de gemiddelde concentraties bepaald.

Uit de database is gebleken dat de meeste parameters log-normaal zijn verdeeld (zie hoofdstuk 4). Daarom is het geometrisch gemiddelde als statistische parameter gekozen. Hierbij wordt eerst het gemiddelde van de log-waarden bepaald en daarna de tiende macht ervan teruggerekend. Hoge uitschieters tellen bij deze bepaling minder zwaar mee dan wanneer de gemiddelde waarde wordt genomen. Hoewel de mediaan als robuustere beschrijvende variabele wordt gezien, zijn ook aan het gebruik daarvan nadelen verbonden, met name wanneer veel metingen kleiner zijn dan de detectielimiet.

De geometrisch gemiddelde concentraties per grondwatertype zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Geometrisch gemiddelde (gemiddelde log-genormaliseerde waarden) hoofd- en spo-renelementen in de verschillende groepen. In kleur is het aantal beschikbare monster-slocaties aangegeven.

stof	Bos-lokaal	Bos-ver	Landb.-lokaal	Landbouw-ver	Stedelijk-lokaal	Stedelijk-ver	Industrie-lokaal	Industrie-ver
pHv	6.4 <sup>29</sup>	7.2 <sup>28</sup>	6.4 <sup>57</sup>	7.0 <sup>58</sup>	6.5 <sup>9</sup>	6.9 <sup>33</sup>	7.2 <sup>22</sup>	7.1 <sup>31</sup>
Ec	58 <sup>29</sup>	337 <sup>28</sup>	426 <sup>57</sup>	530 <sup>59</sup>	445 <sup>10</sup>	499 <sup>40</sup>	791 <sup>22</sup>	642 <sup>34</sup>
Cl	38 <sup>40</sup>	14 <sup>33</sup>	26 <sup>59</sup>	26 <sup>65</sup>	26 <sup>13</sup>	31 <sup>47</sup>	64 <sup>22</sup>	49 <sup>33</sup>
HCO <sub>3</sub>	52 <sup>8</sup>	185 <sup>29</sup>	110 <sup>6</sup>	267 <sup>55</sup>	81 <sup>4</sup>	226 <sup>34</sup>	287 <sup>12</sup>	243 <sup>29</sup>
SO <sub>4</sub>	79 <sup>40</sup>	6 <sup>29</sup>	49 <sup>59</sup>	20 <sup>56</sup>	67 <sup>13</sup>	34 <sup>45</sup>	42 <sup>22</sup>	63 <sup>33</sup>
NH <sub>4</sub>	1.3 <sup>33</sup>	1.0 <sup>32</sup>	0.7 <sup>59</sup>	1.0 <sup>69</sup>	1.1 <sup>12</sup>	1.6 <sup>39</sup>	0.2 <sup>21</sup>	1.2 <sup>31</sup>
Ca	25 <sup>12</sup>	52 <sup>28</sup>	53 <sup>18</sup>	78 <sup>53</sup>	32 <sup>4</sup>	70 <sup>30</sup>	115 <sup>19</sup>	124 <sup>21</sup>
Na	9 <sup>8</sup>	10 <sup>28</sup>	15 <sup>18</sup>	18 <sup>53</sup>	5 <sup>4</sup>	15 <sup>23</sup>	50 <sup>19</sup>	30 <sup>21</sup>
Mg	1.9 <sup>12</sup>	3.4 <sup>28</sup>	6.5 <sup>18</sup>	6.0 <sup>53</sup>	4.0 <sup>4</sup>	6.2 <sup>30</sup>	9.3 <sup>19</sup>	10.5 <sup>21</sup>
K	0	1.1 <sup>19</sup>	15.6 <sup>16</sup>	2.0 <sup>33</sup>	0	3.2 <sup>6</sup>	5.5 <sup>19</sup>	1.8 <sup>17</sup>
Fe	4.8 <sup>12</sup>	4.3 <sup>26</sup>	1.0 <sup>18</sup>	4.9 <sup>59</sup>	3.3 <sup>4</sup>	5.0 <sup>37</sup>	4.7 <sup>12</sup>	4.8 <sup>25</sup>
Mn	0.5 <sup>5</sup>	0.3 <sup>25</sup>	0.6 <sup>18</sup>	0.3 <sup>59</sup>	0.3 <sup>3</sup>	0.7 <sup>31</sup>	0.5 <sup>11</sup>	0.5 <sup>21</sup>
Zn	46 <sup>31</sup>	5 <sup>16</sup>	29 <sup>143</sup>	9 <sup>84</sup>	45 <sup>133</sup>	22 <sup>49</sup>	21 <sup>80</sup>	14 <sup>25</sup>
Cr	1.4 <sup>31</sup>	0.6 <sup>11</sup>	1.5 <sup>140</sup>	1.4 <sup>82</sup>	2.0 <sup>133</sup>	1.3 <sup>46</sup>	1.8 <sup>74</sup>	1.4 <sup>16</sup>
Ni	8.4 <sup>31</sup>	1.2 <sup>14</sup>	5.9 <sup>149</sup>	2.9 <sup>82</sup>	7.2 <sup>130</sup>	3.9 <sup>49</sup>	4.3 <sup>77</sup>	3.1 <sup>22</sup>
Cu	4.5 <sup>31</sup>	0.7 <sup>13</sup>	3.9 <sup>142</sup>	1.8 <sup>83</sup>	4.7 <sup>134</sup>	2.6 <sup>49</sup>	3.6 <sup>76</sup>	1.4 <sup>18</sup>
As	5.0 <sup>31</sup>	2.3 <sup>15</sup>	3.3 <sup>140</sup>	3.4 <sup>82</sup>	3.8 <sup>124</sup>	4.7 <sup>47</sup>	3.0 <sup>80</sup>	1.4 <sup>22</sup>
Pb	3.2 <sup>31</sup>	0.8 <sup>10</sup>	3.1 <sup>138</sup>	1.7 <sup>81</sup>	3.9 <sup>125</sup>	2.4 <sup>44</sup>	2.8 <sup>72</sup>	0.7 <sup>18</sup>
Cd	0.32 <sup>31</sup>	0.05 <sup>13</sup>	0.21 <sup>142</sup>	0.11 <sup>83</sup>	0.19 <sup>133</sup>	0.19 <sup>49</sup>	0.15 <sup>76</sup>	0.06 <sup>19</sup>
Hg	0.02 <sup>31</sup>	0.03 <sup>3</sup>	0.02 <sup>126</sup>	0.02 <sup>50</sup>	0.03 <sup>120</sup>	0.03 <sup>40</sup>	0.03 <sup>71</sup>	0.02 <sup>13</sup>

< 15 monsters

15-40 monsters

> 40 monsters

Enkele waarden in tabel 5 geven voor sommige situaties dus een onjuist beeld van de werkelijke situatie, ook doordat "outliers" in de dataset zijn gehouden. Zo geldt voor "Bos Lokaal" dat er drie analyses met chloride > 1000mg/l zijn aangetroffen. Hierdoor ligt het geometrisch gemiddelde op bijna 38mg/l, terwijl de mediaan op 25mg/l ligt. Hierbij dient wel te worden bedacht dat bij een groot deel van de analyses chloride niet is gemeten.

## 6.5 Achtergrondgehalten grondwatertypen

Voor het bepalen van een achtergrondgehalte is de 90-percentielwaarde berekend. Deze methode wordt ook door het RIVM gehanteerd bij het bepalen van achtergrondgehalten. Aandachtspunt bij het bepalen van de achtergrondgehalten is ten eerste dat er wel voldoende metingen beschikbaar moeten zijn. Hierbij is grofweg een grens aangehouden van minimaal vijftien metingen. Bij minder metingen zou het achtergrondgehalte vrijwel geheel door de hoogste gemeten concentratie worden bepaald.

De 90-percentielwaarden voor de onderscheiden grondwatertypen zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6. 90-percentiel waarden (achtergrondwaarden) van de onderscheiden groepen. Waarden met minder dan 15 monsters zijn niet weergegeven.

	Bos-lokaal	Bos-ver	Landb.-lokaal	Landbouw-ver	Stedelijk-lokaal	Stedelijk-ver	Industrie-lokaal	Industrie-ver
EC	22 72	28 49	57 105	59 80		40 96	22 130	34 105
Cl	33 163	33 21	59 87	65 70		47 98	22 317	33 119
DOC				30 9.1				
HCO3		29 329		59 390		34 385		29 395
SO4	33 178	29 34	59 150	59 99		45 178	22 60	33 125
NH4	26 27.2	32 2.6	59 15.0	69 2.7		39 13.0	21 0.7	31 3.0
Ca		28 92	18 177	59 126		30 160	19 191	21 191
Na		28 37	18 19	59 43		23 37	19 96	21 50
Mg		28 6.8	18 17.8	59 13.6		30 17.2	19 15.3	21 15.9
K		19 1.7	16 38.7	33 3.9			19 7.3	17 2.5
Fe		26 8.0	18 23.6	59 11.0		37 15.7		25 11.9
Zn	24 748	16 39	14 150	81 63	133 364	49 200	80 149	25 63
Cr	24 6.5		14 6.6	81 3.8	133 11.6	46 5.3	74 9.0	16 9.4
Ni	24 74.0		14 45.0	81 14.4	130 32.9	49 19.0	77 27.4	22 20.1
Cu	24 15.3		14 15.0	81 6.5	134 21.0	49 6.5	76 13.0	18 13.0
As	24 30.0	15 5.5	14 16.0	81 9.7	124 23.5	47 16.9	80 18.9	22 9.2
Pb	24 5.0		13 13.1	81 23.0	125 31.0	44 6.7	72 8.7	18 9.1
Cd	24 1.73		14 0.60	81 0.20	133 0.69	49 0.70	76 0.60	19 0.28
Hg	24 0.02		12 0.02	50 0.02	120 0.10	40 0.10	71 0.10	13 0.05
EOX			81 0.87	42 0.87	110 0.93	26 0.50	63 1.43	

< 40 monsters

> 40 monsters

Opgemerkt dient te worden dat niet per stof is nagegaan in hoeverre de achtergrondgehalten representatief zijn gelet op de verdeling en uitschieters. Het is goed mogelijk dat bij nadere bestudering alleen regionale generieke achtergrondgehalten bruikbaar zijn en niet, zoals hier aangegeven, per grondwatertype.

Voor organische componenten is een heel andere aanpak gekozen. Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven, zijn deze verontreinigingen alle puntverontreinigingen; de achtergrondconcentratie is nul en wanneer aangetroffen in het grondwater wordt meestal de interventiewaarde overschreden. De locaties in en rondom Hengelo waar de tussenwaarde voor organische microverontreinigingen wordt overschreden, zijn weergegeven in figuur 31. De overschrijdingen worden meestal in de stad aangetroffen, maar soms ook daarbuiten in het landelijk gebied. Wel dient hierbij te worden bedacht dat de organische stoffen vrijwel uitsluitend worden gemeten in stedelijke grondwatermonsters.

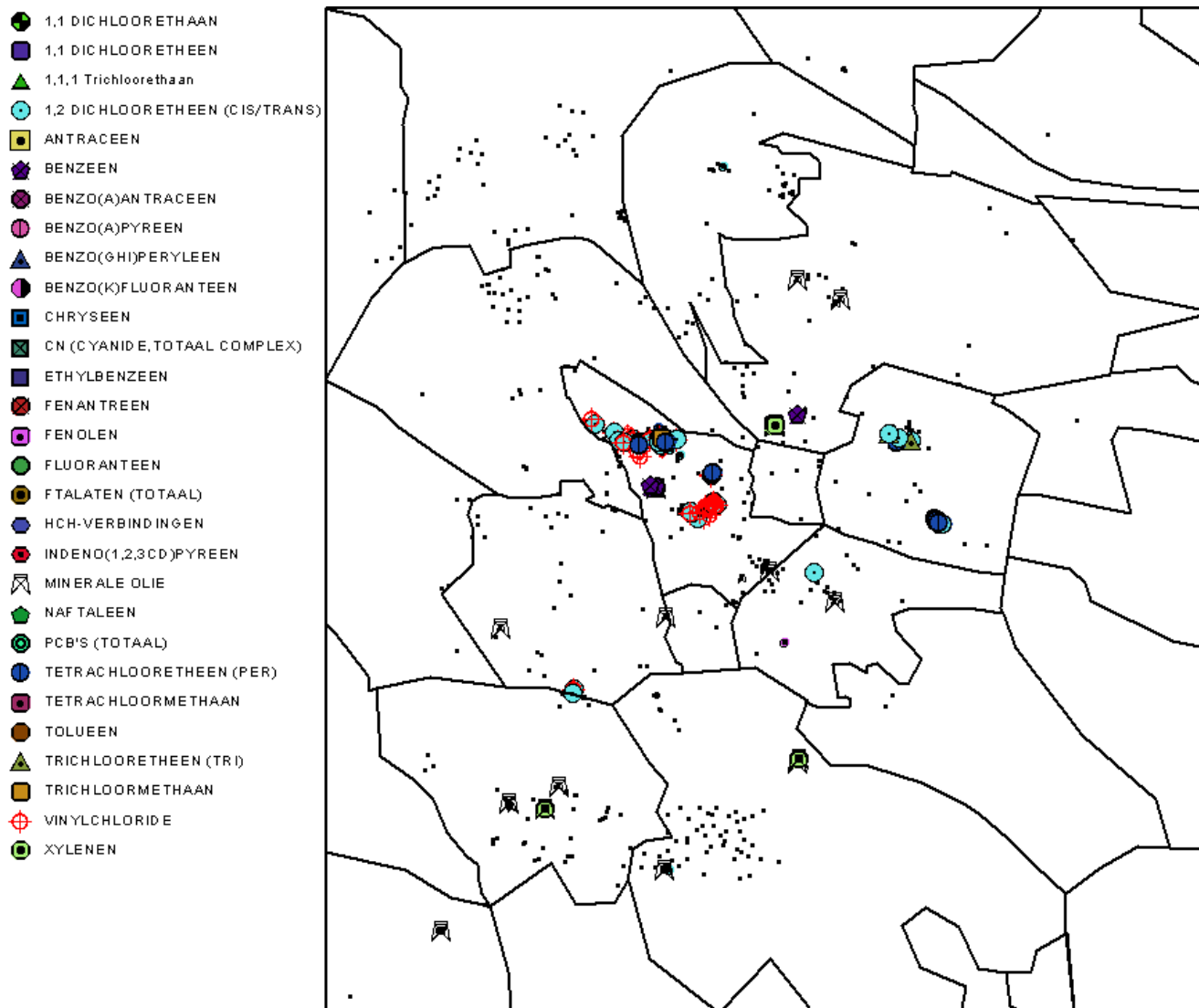


Fig. 31. Bollenkaart waarin componenten met hogere concentraties dan de halve Interventiewaarde (is  $\approx$  tussenwaarden) in kleur zijn weergegeven.

## 6.6 Grondwaterkwaliteitskaarten met proceskennis

Nu aangetoond is dat er verschillende grondwatertypen kunnen worden onderscheiden, is ruimtelijk inzicht gewenst in de ligging van deze typen. De hydrologische systemen zijn echter te klein om de onderscheiden groepen ruimtelijk met kaarten te begrenzen. Inzicht in het landgebruik van herkomst en de lengte van de afgelegde weg is echter wel een belangrijke factor in de grondwaterkwaliteit op een bepaalde plaats en diepte. Om dit zonder nieuwe stroombaanberekeningen met het grondwatermodel te kunnen bepalen, zijn kaarten gemaakt waarop de bereikte diepte is aangegeven van een grondwaterdeeltje nadat een bepaalde horizontale afstand is afgelegd. Twee van deze “diepte-afstand-kaarten” zijn weergegeven in figuur 32.

Tijdens de werksessie (zie hoofdstuk 7) is echter gebleken dat dit inzicht gemakkelijker kan worden verkregen door de lengte van de afgelegde weg weer te geven op een bepaalde diepte. Deze afstand-diepte-kaarten zijn weergegeven in figuur 33.

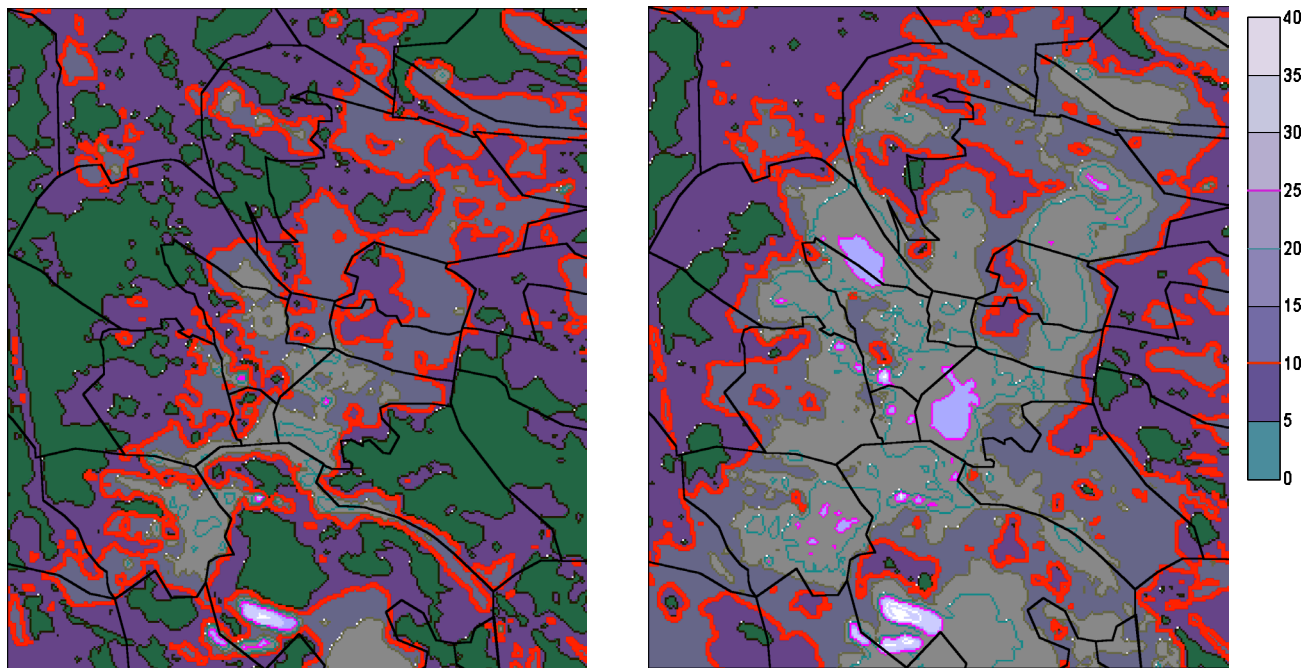


Fig. 32. “Diepte-afstand-kaart”; De door het grondwater bereikte diepte (m-mv) bij een bepaalde lengte van de afgelegde weg (links 60 m en rechts 200 m).

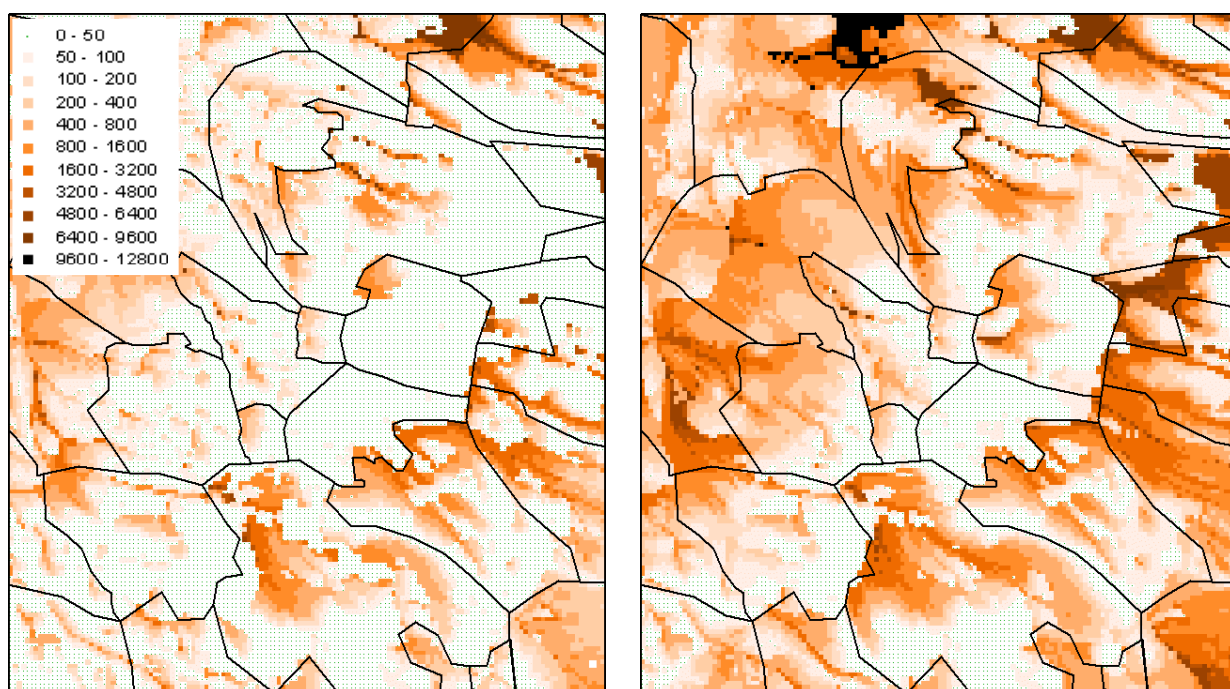


Fig. 33. “Afstand-diepte-kaart”; De door het grondwater afgelegde weg (in meters) op een diepte van 5 meter (links) en op een diepte van 10 meter (rechts) beneden maaiveld.

Voor het bepalen van het grondwatertype dienen de volgende stappen worden doorlopen:

1. Geef de plaats aan waar de grondwaterkwaliteit wordt bekeken;
2. Selecteer op basis van de filterdiepte de afstand-diepte-kaarten (figuur 33) en schat de afstand van de afgelegde weg voor het bereiken van de diepte van het grondwatermonster (= filterdiepte);

3. Bepaal aan de hand van de stromingsstelselskaart (figuur 22) en de geschatte reisafstand de locatie waar het grondwater is geïnfiltrerd (= herkomst);
4. Bepaal tenslotte het landgebruik van herkomst aan de hand van een topografische kaart.

Nu globaal bekend is wat het landgebruik van herkomst is en welke afstand het grondwater heeft afgelegd, is het grondwatertype bepaald (bijvoorbeeld, stedelijk, lokaal). Met de tabellen 5 en 6 kan dan een indicatie worden verkregen van het gemiddelde en achtergrondgehalte.

## HOOFDSTUK 7

### WERKSESSIE

#### 7.1 Inleiding

Door de verschillende partijen zijn case-studies voor de werksessie aangedragen om zo de grondwaterkwaliteitskaarten, database en toegevoegde proceskennis te testen. De in de workshop behandelde cases zijn:

- Ruwwaterkwaliteit stedelijke grondwaterwinning:  
*Welke winlocaties zullen de beste ruwwaterkwaliteit geven?*
  
- Beoordeling metingen NAVOS:  
*Kunnen de resultaten van de eerste monitoringsronde van NAVOS beter worden geïnterpreteerd en geëvalueerd met de kaarten en database?*
  
- Beoordeling arseen- en nikkelgehalten Gemeente:  
*Geven de kaarten en database de benodigde handvatten om oriënterende onderzoeken beter onderbouwd en meer uniform te beoordelen?*

Aan de werksessie hebben onder leiding van dhr. P. Schipper (Grontmij) en M. Vissers (Universiteit Utrecht) de volgende personen deelgenomen:

- dhr. T.J. Voskamp                      waterschap Regge & Dinkel
- dhr. J.H. Hoogendoorn                Vitens
- mevr. A. Kristen                        gemeente Hengelo
- mevr. I. Oosterkamp                 provincie Overijssel
- dhr. M.P. Lodewijks                  provincie Overijssel
- dhr R.H.W. van Vechgel              SKB
- dhr. M. van der Perk                 Universiteit Utrecht
- mevr. P. van Gaans                  Universiteit Utrecht
- dhr. M. Voorman                        Grontmij Zwolle

Voor de werksessie is een opdrachten-formulier opgesteld. Verder zijn specifiek voor de cases stroombaanberekeningen met het grondwatermodel uitgevoerd en detailkaarten met de gebundelde database gemaakt.

Iedere case is apart behandeld door een groep van drie personen. De afzonderlijke resultaten zijn geëvalueerd aan de hand van een korte presentatie van elke groep. In het navolgende worden cases en de resultaten van de werksessie toegelicht. De opdrachtformulieren en de tijdens de werksessie gebruikte achtergrondinformatie zijn opgenomen in bijlage C.

#### 7.2 Case 1: Ruwwaterkwaliteit stedelijke grondwaterwinning

In Hengelo is in de huidige situatie sprake van grondwateroverlast. Dit zal toenemen door de voorgenomen sluiting van de twee aanwezige grondwaterwinningen van VITENS. Daarom wordt nu door VITENS en overige betrokken partijen gekeken naar de mogelijkheden voor een stedelijke grondwaterwinning. Voor de locatiekeuze worden vier (mogelijke) onttrekkingslocaties beschouwd, namelijk de twee huidige winlocaties en twee nieuwe winlocaties.

Zowel de macrosamenstelling als de eventuele aanwezigheid van microverontreinigingen zijn bepalend voor de noodzakelijke behandeling van het ruwwater en daarmee ook de dimensionering van de noodzakelijke waterzuivering. De vraagstelling voor de case is dus: Wat

is per winlocatie de verwachte kwaliteit van het te onttrekken grondwater in de omgeving (10- en 25 jaars-reistijdzone) en het gehele intrekgebied? Grondwater dat zich binnen bijvoorbeeld de 10 jaars-reistijdzone bevindt, zal binnen tien jaar in de winputten terechtkomen. Ter voorbereiding van de werksessie zijn de reistijdzones en intrekgebieden van de vier locaties bepaald met het grondwatermodel. Deze zijn weergegeven in figuur C2a t/m C2d van bijlage C.

#### *Resultaten werksessie*

Met behulp van de gebundelde database en grondwaterkwaliteitskaarten is tijdens de werksessie nagegaan, welke winlocatie het meest gunstig is voor de ruwwaterkwaliteit en daarmee de benodigde zuivering. Hierbij is eerst een schatting van de ruwwaterkwaliteit gedaan met alleen gebruik van de meetgegevens van VITENS en daarna een schatting met behulp van de gebundelde meetgegevens.

Geconcludeerd is dat voor de beschouwde stoffen (ijzer, arseen, zink en TRI) ook de gebundelde meetgegevens vrij beperkt qua aantal zijn. Voor de vier winlocaties kan daarom geen voorkeur worden aangegeven, mede omdat de grondwaterkwaliteit voor de beschouwde stoffen waarschijnlijk weinig verschilt. Met de grondwaterkwaliteitskaarten kan wel een betere schatting worden gedaan van de risico's dat organische microverontreinigingen worden aangetrokken.

De besluitvorming wordt daarom vergemakkelijkt, vooral door de kaarten met de concentraties (bollenkaarten en gecombineerde kaart microverontreinigingen) alsmede de tabel met de 90-percentielwaarden en de histogrammen. Men had naast de geleverde kaarten en tabellen graag ook een overlay gehad waarop de ligging van de meetlocaties is aangegeven tesamen met de grondwatersystemen van de vier winningen.

### **7.3 Case 2: Beoordeling metingen NAVOS**

De Provincie wil met NAVOS (NAzorg VOormalige Stortplaatsen) een beter inzicht krijgen in de aard en mate van verontreinigingen van de grond en het grondwater op en rondom voormalige stortplaatsen. Dit gebeurt door het monitoren van de grondwaterkwaliteit gedurende een aantal jaren. Daarnaast wordt éénmalig de afdeklaag onderzocht. Na de monitoring en het deklaagonderzoek wordt een onderverdeling van de oude stortplaatsen gemaakt in de volgende drie categorieën:

- Stortplaatsen die ernstige bodemverontreiniging veroorzaken, worden aangepakt binnen de Wet bodembescherming (Wbb);
- Stortplaatsen die geen ernstige verontreiniging veroorzaken, maar waar wel nazorg noodzakelijk is. Deze zullen een nog te ontwikkelen nazorgtraject gaan volgen;
- Stortplaatsen die op basis van de resultaten "af kunnen vallen", omdat er niets (qua bodemverontreiniging) aan de hand blijkt te zijn.

Voor de Provincie zijn de recente meetgegevens van het NAVOS-programma nader bestudeerd. Twee cases zijn aangedragen, namelijk project 110.48 en 110.22, beide gelegen aan de stadsrand van Hengelo (zie figuur C4 in bijlage C). Tijdens de werksessie is nog een derde project beoordeeld.

#### *Vraagstelling*

Per case wordt gevraagd hoe de verontreinigingssituatie van het grondwater is rondom de stort en daarmee in welke categorie deze moet worden beoordeeld.

#### *Resultaten werksessie*

Eerst is met behulp van de kwelkaart en de afstand-diepte-kaart nagegaan wat de herkomst is van de grondwatermonsters van NAVOS. Vervolgens is de verontreinigingssituatie beoordeeld



met zowel de NAVOS-meetgegevens als de gebundelde database en de grondwaterkwaliteitskaarten. Met name zijn de concentraties in de peilbuisfilters rondom de voormalige stortplaatsen vergeleken met de regionale achtergrondconcentraties (90-percentielwaarden).

Geconcludeerd is dat de beoordeling mogelijk (niet persé) verandert, maar vooral dat dit beter kan worden onderbouwd en wordt vergemakkelijkt, met name door de stromingskaarten (kwel / afstand-diepte-kaart) en de regionale achtergrondconcentraties (90-percentielwaarden) van het grondwater. Men miste bij de beoordeling een kaart met de bodemopbouw en diepte van het stortlichaam.

Evenals de case met nikkel en arseen wordt geconcludeerd dat de herkomst van de grondwatermonsters gemakkelijker kan worden afgelezen als de diepte-afstand kaart wordt omgezet in een afstand-diepte-kaart.

#### **7.4 Case 3: Beoordeling arseen- en nikkelgehalten Gemeente**

Zoals is aangegeven in hoofdstuk 3, heeft de Gemeente nu geen overzicht van de grondwaterkwaliteit, waardoor bodemonderzoeken niet uniform kunnen worden beoordeeld en terugsaneerwaarden niet goed kunnen worden onderbouwd. In de cases die de Gemeente heeft aangedragen, worden twee gebieden beschouwd waar het lijkt of er structureel verhoogde gehalten aan zware metalen worden gemeten. Deze locaties zijn aangegeven in figuur C5 van bijlage C.

##### *Vraagstelling*

In de twee gebieden wil de Gemeente weten of de aangetroffen concentraties van respectievelijk arseen en zink duidelijk hoger zijn dan de regionale achtergrondconcentraties.

##### *Resultaten werksessie*

Met behulp van eerst de "eigen"meetgegevens en daarna met de gebundelde database en grondwaterkwaliteitskaarten zijn de nikkel- en arseengehalten beoordeeld. Geconcludeerd is dat met de gebundelde database en de toegevoegde proceskennis de situatie beter (anders) wordt beoordeeld. Met name de diepte-afstand-kaarten zijn een nuttig hulpmiddel voor de beoordeling. Hiermee kan globaal worden bepaald of het beschouwde grondwatermonster representatief is voor grondwater dat op korte of lange afstand is geïnfiltrerd of dus een korte of lange weg heeft afgelegd. Verder bestaat de indruk dat de kaarten beter toegankelijk zijn bij digitale toepassing. Ook wordt geconcludeerd dat de afgelegde weg en daarmee de herkomst van de grondwatermonsters gemakkelijker kan worden afgelezen als de diepte-afstand-kaart wordt omgezet in een afstand-diepte-kaart.

#### **7.5 Evaluatie werksessie**

Tijdens de evaluatie van de werksessie wordt geconcludeerd dat met de verkregen inzichten diverse besluiten over de grondwaterkwaliteit in de praktijk sneller kunnen verlopen en met name beter kunnen worden onderbouwd. Het gewenste inzicht in de regionale achtergrondconcentraties van zware metalen en een ruimtelijk overzicht in de aanwezigheid van omiven worden nu geboden door de gebundelde database en de hiermee gegenereerde grondwaterkwaliteitskaarten en statistische kenmerken. Hiermee kunnen (dagelijkse) besluiten verbeteren over nieuwe bodemonderzoeken, terugsaneerwaarden, de beoordeling van oude stortplaatsen, de risicobeoordeling voor het aantrekken van verontreinigingen met een stedelijke grondwaterwinning en de beoordeling van lozingen van bemalingswater. Vooral de 90-percentielwaarden en histogrammen zijn nuttig bevonden als indicatie voor regionale achtergrondgehalten en de gecombineerde kaart met omiven om risico's voor het aantrekken van verontreinigingen te kunnen voorspellen.

Verder is tijdens de werksessie naar voren gekomen dat nieuwe meetlocaties beter kunnen worden beoordeeld als men snel inzicht heeft in de herkomst en de afgelegde weg van het bemonsterde grondwater. Dit kan globaal met de voor dit onderzoek opgezette afstand-diepte-kaarten. Het is uiteraard ook mogelijk om dit voor een nieuw meetpunt met het grondwatermodel te berekenen, maar hiervoor is specifieke vaardigheid nodig met de stroombaanberekeningen van het grondwatermodel. Een tussenoplossing zou zijn om binnen ArcView een applicatie te maken waarbij op basis van de output van de gedane stroombaanberekeningen op gebruiksvriendelijke wijze een stroombaan kan worden geconstrueerd vanaf een vrij te kiezen locatie en diepte in het studiegebied.

Tijdens de evaluatie van de werksessie wordt geconcludeerd dat meer tijd nodig is (één tot enkele jaren) om duidelijke conclusies te kunnen trekken over de gebruiksmogelijkheden in de praktijk.

### CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

#### 8.1 Conclusies

##### *Algemeen*

In het onderhavig onderzoek is nagegaan hoe grondwaterkwaliteitsgegevens (data) beter toegankelijk gemaakt kunnen worden, hoe deze data beter geïnterpreteerd kan worden met behulp van aanvullende proceskennis en hoe de daaruit verkregen informatie kan worden gevisualiseerd in grondwaterkwaliteitskaarten.

##### *Bundelen en toegankelijk maken data*

De eerste onderzoeksvraag is hoe en met welke inspanning de digitaal beschikbare data over de grondwaterkwaliteit, die afkomstig is van verschillende monitoringssystemen en ad-hoc metingen, gebundeld en toegankelijk gemaakt kan worden.

Aangetoond is dat de in dit onderzoek verzamelde data zonder verlies aan informatie gebundeld kan worden met de database Access. Doordat Access standaard gekoppeld wordt aan ArcView en eenvoudig geëxporteerd kan worden naar een Excel-bestand, is de gebundelde data voor een breed publiek toegankelijk. In totaal bevat de database binnen het studiegebied zeer veel meetlocaties en zeer veel analyses. Vooral zijn er hierdoor veel meetgegevens beschikbaar gekomen over de sporenelementen (ruim 8.000 metingen in het studiegebied). Doordat er relatief weinig meetlocaties van de WMO in het studiegebied aanwezig zijn, bevat de database weinig meetlocaties met een complete analyseset (zowel de hoofdelementen als sporenmetalen én omiven).

Het bundelen van deze data vereist behoorlijk wat tijd; in de orde van enkele weken (fulltime) werk voor een adviseur die goed kan werken met de genoemde programma's en los van de benodigde tijd voor het verkrijgen van de gegevens. Een deel van deze tijd is nodig voor het aanvullen of bewerken van de aangeleverde data, vooral omdat op onderdelen de benodigde informatie ontbreekt (bijvoorbeeld coördinaat, filterdiepte of datum) en de verzamelde gegevensbronnen verschillen qua format en structuur. Dit laatste met name ten aanzien van de codering van de meetpunten en de wijze waarop metingen beneden detectielimieten zijn aangegeven. Daarnaast is voor het bundelen de naamgeving van geanalyseerde stoffen complex en niet eenduidig, waardoor specifieke chemische kennis nodig is om de gegevens te bundelen. Met name voor organische componenten zal in het algemeen veel werk moeten worden verricht om een bundeling tot stand te brengen.

De gebundelde dataset is niet onderworpen aan een systematische kwaliteitsanalyse, zodat niet specifiek de betrouwbaarheid van de data is gecontroleerd of vastgelegd. Van de metingen die afkomstig zijn van het PMG, LMG, WMO wordt verondersteld dat zo'n analyse reeds heeft plaatsgevonden. Voor de gegevens van het BIS zou een kwaliteitsanalyse veel tijd vergen en waarschijnlijk geen meerwaarde opleveren omdat geen hoofdelementen of duidelijke redox-indicatoren in de dataset aanwezig zijn. Een kwaliteitsanalyse zal dan niet veel kunnen opleveren. Voor DINO geldt dat NITG-TNO momenteel de chemische dataset aan een systematische kwaliteitsanalyse onderwerpt.

##### *Grondwaterkwaliteitskaarten*

De tweede onderzoeksvraag is hoe grondwaterkwaliteitskaarten kunnen worden gemaakt die aansluiten op de gewenste informatie en hoe de betrouwbaarheid toeneemt door gebruik te maken van gebundelde meetgegevens.

Uit de besprekingen met de actoren, bleek dat de informatiebehoefte vooral bestond uit een ruimtelijk inzicht in de aanwezigheid van organische microverontreinigingen en regionale achtergrondgehalten van zware metalen.

Met de gebundelde database zijn op regionale schaal bollenkaarten gemaakt waarop de concentraties van een stof zijn weergegeven (één stof per kaart). Dit geeft inzicht in de ruimtelijke spreiding van concentraties. Voor de omiven is een aparte combinatiekaart ontwikkeld waarop per meetlocatie is aangegeven of de halve interventiewaarde voor één of meer stoffen wordt overschreden. Verder zijn histogrammen gemaakt en Box-Whisker plots. Deze geven een goed beeld van de spreiding en verdeling in de concentraties en blijken goed te kunnen dienen als onderbouwing voor een achtergrondgehalte. Als referentie zijn ook steeds Box-Whisker plots gemaakt voor de dataset die binnen Overijssel ligt, maar buiten het studiegebied.

De beschouwde afzonderlijke datasets (DINO, WMO, BIS NAVOS en BIS) overlappen elkaar qua gemeten stofgroepen. Daardoor bevat de gebundelde dataset voor iedere chemische parameter veel meer meetpunten dan de afzonderlijke datasets. Hierdoor geeft de gebundelde dataset direct meer inzicht en is de betrouwbaarheid door het grotere aantal en de betere ruimtelijke spreiding sterk toegenomen.

Met het onderzoek zijn geen gebiedsdekkende grondwaterkwaliteitskaarten gemaakt op basis van ruimtelijke statistiek. Dit omdat het enerzijds niet beter zou aansluiten op de informatiebehoefte en anderzijds omdat het op voorhand geen beter inzicht zou geven dan de bollenkaarten. Ook is door de grote ruimtelijke variatie in concentraties en de relatief kleine omvang van de hydrologische systemen, geen indeling in subgebieden te maken.

#### *Implementatie proceskennis*

De onderzoeksvraag die aansluit op de vraag naar grondwaterkwaliteitskaarten, is hoe de betrouwbaarheid van de kaarten en de kennis over de grondwaterkwaliteit kan toenemen door implementatie van proceskennis.

Proceskennis is hoofdzakelijk verkregen door diverse stroombaanberekeningen uit te voeren met het voor dit onderzoek opgezette grondwatermodel. Gebleken is dat een goed inzicht in de grondwaterstroming wordt verkregen door de modeloutput van deze stroombaanberekeningen te bewerken en hiervan diverse kaartbeelden te maken. Dit betreft niet alleen de gebruikelijke isohypsenkaarten en kwelinfiltreatriekaarten, maar ook kaarten met de ouderdom, afgelegde weg en bereikte stromingsdiepte. Hieruit kunnen in het gebied heel duidelijk de kenmerkende hydrologische patronen worden afgeleid en daarmee de grondwaterstromingsstelsels worden gegrensd. De grondwaterstroming wordt gekenmerkt door het voorkomen van vrij ondiepe grondwatersystemen met relatief korte verblijftijden. Daarom kunnen binnen het studiegebied enkele tientallen stromingsstelsels worden onderscheiden. Deze zijn veel kleiner dan de stromingsstelsels die in eerdere studies voor hetzelfde gebied zijn bepaald. Al het (regen)water dat binnen de hier onderscheiden grondwatersystemen infiltreert, komt binnen hetzelfde stromingsstelsel tot exfiltratie, hetzij in natuurlijke beken, kunstmatige drainage of grondwateronttrekkingen.

Gebleken is dat de betrouwbaarheid van de grondwaterkwaliteitskaarten kan worden vergroot door met behulp van het inzicht in de grondwaterstroming groepen van grondwatermonsters te onderscheiden die qua samenstelling en verontreinigingsgraad duidelijk van elkaar verschillen. Voor het studiegebied zijn zo tien groepen onderscheiden op basis van het landgebruik van herkomst en de lengte van de afgelegde weg (lokaal of ver). Dit is schematisch weergegeven in figuur 34.

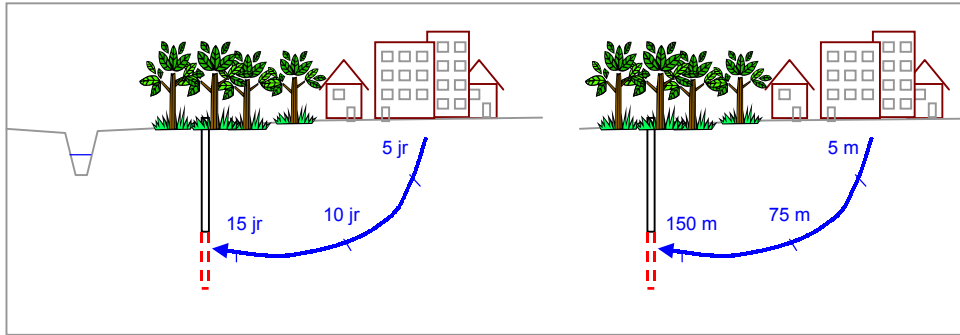


Fig. 34. Schematische weergave indicatoren grondwaterstroming: landgebruik van herkomst (hier stedelijk), leeftijd (ruim vijftien jaar) en afgelegde weg (ver, ruim 150 m).

Doordat de gebundelde database veel meetlocaties bevat, kan de grondwaterkwaliteit van de onderscheiden groepen redelijk betrouwbaar worden bepaald. Dat wil zeggen dat per chemische parameter vaak een minimaal aantal monsters beschikbaar is (> 15) om statistische uitspraken te kunnen doen, bijvoorbeeld over het gemiddelde en de 90-percentielwaarde. Door het inbrengen van de proceskennis, kan aldus gebiedsspecifieker naar achtergrondgehalten worden gekeken. In deze studie zijn in feite voor tien groepen de 90-percentielconcentraties bepaald die beschouwd kunnen worden als regionale achtergrondgehalten.

Geconcludeerd kan worden dat door de wijze waarop de proceskennis ruimtelijk is gevisualiseerd, het inzicht in de grondwaterkwaliteit toeneemt. Door het verkregen inzicht in de grondwaterstromingsstelsels, verblijftijden in de ondergrond en richting en lengte van de stroombanen, kunnen de patronen in de grondwaterkwaliteit beter worden geïnterpreteerd en voorspeld.

#### *Gebruiksmogelijkheden*

De derde onderzoeksvraag is wat de gebruiksmogelijkheden van de gebundelde database, kwaliteitskaarten en proceskennis zijn en of hiermee besluiten kunnen verbeteren of versnellen.

Tijdens de werksessie is geconcludeerd dat met de verkregen inzichten diverse besluiten over de grondwaterkwaliteit in de praktijk sneller kunnen verlopen en met name beter kunnen worden onderbouwd. De actoren hebben in het studiegebied vooral behoefte aan inzicht in de regionale achtergrondconcentraties van zware metalen en een ruimtelijk overzicht in de aanwezigheid van omiven. Deze inzichten worden nu geboden door de gebundelde database en de hiermee gegenereerde grondwaterkwaliteitskaarten en statistische kenmerken. Dit inzicht kan (dagelijkse) besluiten verbeteren over nieuwe bodemonderzoeken, terugsaneerwaarden, de beoordeling van oude stortplaatsen, de risicobeoordeling voor het aantrekken van verontreinigingen met een stedelijke grondwaterwinning en de beoordeling van lozingen van bemalingswater.

Vooraf de 90-percentielwaarden en histogrammen zijn nuttig bevonden als indicatie voor regionale achtergrondgehalten en de gecombineerde kaart met omiven om risico's voor het aantrekken van verontreinigingen te kunnen voorspellen.

Verder is tijdens de werksessie naar voren gekomen dat nieuwe meetlocaties beter kunnen worden beoordeeld als men snel inzicht heeft in de herkomst en afgelegde weg van het bemonsterde grondwater. Dit kan globaal met de voor dit onderzoek opgezette afstand-diepte-kaarten. Het is uiteraard ook mogelijk om dit voor een nieuw meetpunt met het grondwatermodel te berekenen, maar hiervoor is specifieke vaardigheid nodig met de stroombaanberekeningen van het grondwatermodel. Een tussenoplossing zou zijn om binnen ArcView een applicatie te maken waarbij op basis van de output van de gedane stroombaanberekeningen op gebruiksvriendelijke

wijze een stroombaan kan worden geconstrueerd vanaf een vrij te kiezen locatie en diepte in het studiegebied.

Bedacht dient te worden dat door het regionale karakter van het onderzoek, de gedane conclusies niet direct voor Nederland in het algemeen gelden. Hiervoor zouden meer vergelijkbare studies moeten worden uitgevoerd in de verschillende regio's van Nederland. Een belangrijk verschil kan zijn dat de grondwatersystemen in Twente in het algemeen veel kleiner zijn dan in andere regio's, omdat de hydrologische basis meestal veel dieper ligt. Een ander belangrijk verschil kan zijn dat de beschikbaarheid van grondwaterkwaliteitsgegevens en ruimtelijke verdeling hiervan in andere gebieden sterk verschilt.

Tijdens de werksessie is ook geconcludeerd dat meer tijd nodig is (één tot enkele jaren) om duidelijke conclusies te kunnen trekken over de gebruiksmogelijkheden in de praktijk. Nu zijn deze alleen met behulp van een werksessie verkend.

## 8.2 Aanbevelingen

Er zijn enkele eenvoudige verbeteringen denkbaar om de digitale datasets van de verschillende meetnetten beter op elkaar aan te laten sluiten waardoor ze gemakkelijker kunnen worden gebundeld. Hoewel het voor de hand ligt, dient hierbij aandacht te worden besteed aan de digitale verwerking van de zuurgraad en geleidbaarheid; het komt (nog) vaak voor dat deze in de digitale datasets ontbreken, terwijl deze parameters samen met de redoxcondities uiterst bepalend zijn voor het gedrag van stoffen in het grondwater. Een ander punt waarop eenvoudig de aansluiting kan worden verbeterd is het maken van uniforme afspraken over de digitale registratie van monstercodes en detectielimieten.

Het verdient aanbeveling om de kostbare data over de grondwaterkwaliteit systematischer op te slaan als nu wordt gedaan. Om data gemakkelijker te bundelen zouden generieke richtlijnen kunnen worden aangegeven, opdat niet steeds opnieuw dezelfde fouten worden gemaakt of steeds opnieuw het "wiel" moet worden uitgevonden. Voor Gemeentes ligt het voor de hand om deze data op te nemen in hun BIS. De gegevens in BIS-systemen zijn zeer dynamisch; er worden bijna dagelijks toevoegingen en veranderingen gemaakt. Dit maakt de opname in grote, landelijke systemen zeer moeilijk en kostbaar, met name wanneer voor een dynamische koppeling wordt gekozen. Door verschillen in het analysepakket zijn gegevens van BIS niet voor alle studies noodzakelijk en geschikt. Voor de landelijke en provinciale monitoringssystemen, zoals het LMG, PMG, LMB en verzuring, alsmede de monitoring rond drinkwaterwinnings en eventueel NAVOS, geldt dat het analysepakket meer compleet is en ligt het meer dan de BIS-systemen voor de hand de data op te nemen in een centraal systeem, zoals DINO.

Gelet op het bovenstaande verdient het aanbeveling om eerst na te gaan hoe gegevens beter op elkaar af te stemmen zijn en voorlopig alleen tot fysieke bundeling over te gaan, wanneer gegevens anders verloren gaan. Men kan hierbij denken aan talrijke projecten waarbij grondwaterkwaliteitsmetingen worden verricht, maar de gegevens niet systematisch worden opgeslagen. Dit betreft vaak lokale projecten zoals voor koude & warmte opslag, grondwaterbemalingen, ecologische studies, adviezen voor het bouwrijp maken van stedelijk gebied en universiteitsonderzoek.

De grondwaterkwaliteit op een bepaalde tijd en plaats wordt bepaald door de kwaliteit van het geïnfiltreerde grondwater en de processen die zich vanaf het moment van infiltratie in de bodem hebben afgespeeld. Inzicht in de grondwaterstroming is onontbeerlijk om voor een grondwatermonster te kunnen bepalen wat de geïnfiltreerde kwaliteit is geweest en welke processen zich in de bodem hebben afgespeeld. Het verdient daarom sterk aanbeveling om bij de evaluatie van monitoringsresultaten van de grondwaterkwaliteit aandacht te besteden aan de grondwaterstro-

ming. Van veel meetlocaties (bijvoorbeeld die van de provinciale meetnetten) is de grondwaterstroming niet bepaald.

Meestal worden grondwatermodellen gecalibreerd (geijkt) op gemeten grondwaterstanden. Daar waar met het grondwatermodel uitspraken worden gedaan over de stromingsrichting en verblijftijden, verdient het aanbeveling ook te kijken op tracers of dateringen van het grondwater. In een recent artikel [Broers et al, H<sub>2</sub>O, 2003] is aangetoond hoe vrij nauwkeurig de leeftijd van vrij jong grondwater met tritium-helium metingen kan worden bepaald. Omdat duidelijke tracers vaak ontbreken, verdient het aanbeveling om dergelijke metingen ook te verrichten om grondwatermodellen te ijken en zo betrouwbaardere informatie te verkrijgen over de stromingsrichting en verblijftijden van het grondwater.

Verrassend is hier het verkregen inzicht in de grondwatersystemen, welke veel kleiner blijken te zijn dan op grond van eerdere studies bekend was. De drainerende werking van beken blijkt uiterst bepalend te zijn voor grondwaterstroming. Dit kwam in eerdere studies minder duidelijk naar voren, met name door de grovere resolutie van de modellen en de wijze waarop de drainage door beken werd gesimuleerd. Het nieuwe inzicht levert niet alleen bruikbare informatie voor de interpretatie van grondwaterkwaliteitsgegevens, maar zou ook benut kunnen worden bij gebiedsgericht beleid voor het waterbeheer en actief bodembeheer en de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water. Het verdient aanbevelingen om deze gebruiksmogelijkheden en implicaties verder na te gaan.

Het verdient sterk aanbeveling om na te gaan of in andere gebieden op eenzelfde wijze grondwatersystemen in kaart kunnen worden gebracht en hoe met gebundelde datasets de grondwaterkwaliteit daar in beeld kan worden gebracht.

Aanbevolen wordt om de gebruiksmogelijkheden van de onderzoeksresultaten in de praktijk na een termijn van één tot twee jaar te evalueren. Hierbij zou met name nagegaan moeten worden welke meerwaarde (verbeterde toegankelijkheid gegevens, grotere betrouwbaarheid achtergrondgehalten, gebiedsspecifiekere interpretatie en toetsing door toevoegde proceskennis, meer inzicht door ruimtelijke kaarten) voor welke toepassing of besluitvorming het meest van belang is.

## LITERATUUR

### **Algemeen:**

SKB de Definitiestudie "Knelpunten besluitvorming rondom de grondwaterkwaliteit" uitgevoerd (kenmerk SV-060, fase 1).

### **Grondwatermodel en proceskennis:**

Engelen, G.B. en F.H. Kloosterman, 1996. Hydrological system analysis, Methods and Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Netherlands).

Grontmij, 1994. Hydrologisch onderzoek intrekgebied pompstation Weerselo, provincie Overijssel.

Meinardi, C.R. Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands, RIVM, May 1994.

NITG, 2000, Geologische kaart van Nederland 1:50.000, Enschede west, Enschede oost, Glanerbrug (34W, 34O, 35).

RGD, 1993. Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000, Almelo Oost / Dene-kamp (28O-29).

Tebodin, 1999. Grondwaterplan Hengelo: grondwatermodelstudie, 3315001.

TNO, 1992. Hydrologische systeemanalyse Dinkeldal / Bornse beek, OS 92 - 37 B.

TNO-NITG, 1999. Geohydrologisch onderzoek herschikking winningen Grolsch, NITG 99-11-B.

### **Grondwatermonitoring en bundelen meetgegevens:**

Broers, H.P., M. van der Aa en A. Buijs (2003). "Datering van jong bemest grondwater met tritium-helium", H2O nummer 5, 2003.

Frapporti G., Vriend S. P. and van Duijvenbooden W. (1993a). Hydrogeochemistry of Dutch groundwater: classification into natural homogeneous groupings with fuzzy c-means clustering. Applied Geochemistry 8, 273 - 276.

Frapporti G., Vriend S. P. and Van Gaans P. F. M. (1993b). Hydrogeochemistry of the shallow Dutch groundwater: interpretation of the national Groundwater Quality Monitoring Network. Water Resources Research 29, 2993 - 3004.

### **Overige geraadpleegde literatuur:**

Griffioen J., Houthuessen Y. and Vink B. (1999). Een geochemische, procesmatige interpretatie van het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit. H2O 1.

IKW 567, Europese Kaderrichtlijn Water, Werkdocument Handboek versie 8 (december 2002).

Jones N. L., Budge T. J., Lemon A. M. and Zundel A. K. (2002). Generating MODFLOW grids from boundary representation solid models. Ground water 40, 194 - 200.



KIWA, 1988. Hydrochemie en hydrologie van het waterwingebied Oldenzaal en omgeving, SWO 88.212.

Pebesma E. J. and De Kwaadsteniet J. W. (1997). Mapping groundwater quality in the Netherlands. *Journal of Hydrology* 200, 364 - 386.

Reijnders H. F. R., van Drecht G., Prins H. F. and Boumans L. J. M. (1998). The quality of the groundwater in the Netherlands. *Journal of Hydrology* 207, 179 - 188.

Vissers M. J. M., Frapporti G., Hoogendoorn J. H. and Vriend S. P. (1999). The dynamics of groundwater chemistry in unconsolidated aquifers: The Salland section. *Phys. Chem. Earth (B)* 24, 529 – 534.

BIJLAGE A

**SELECTIE KAARTEN A4-FORMAAT**

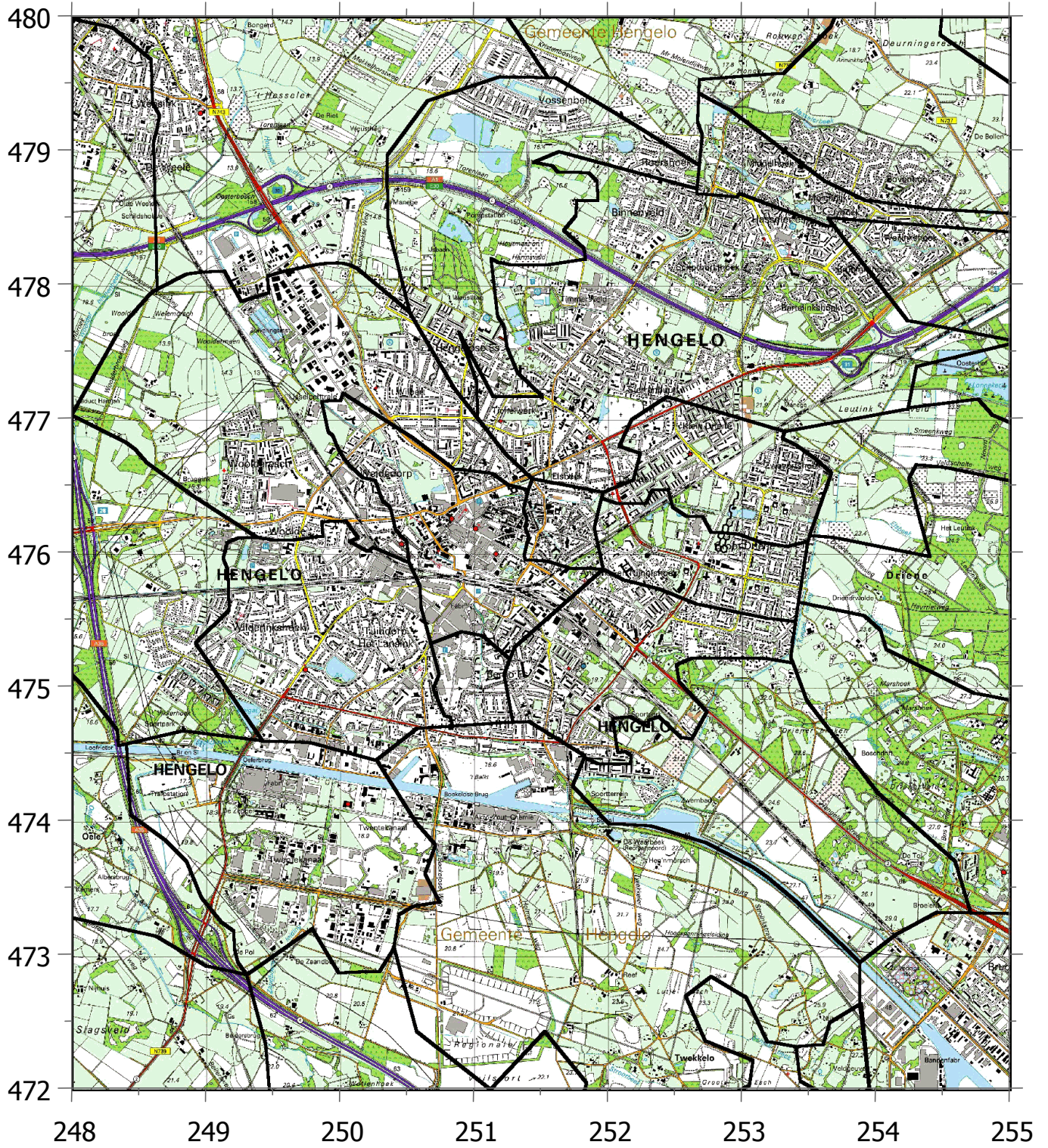


Fig. A1. Topografie en grenzen grondwaterstromingsstelsels.



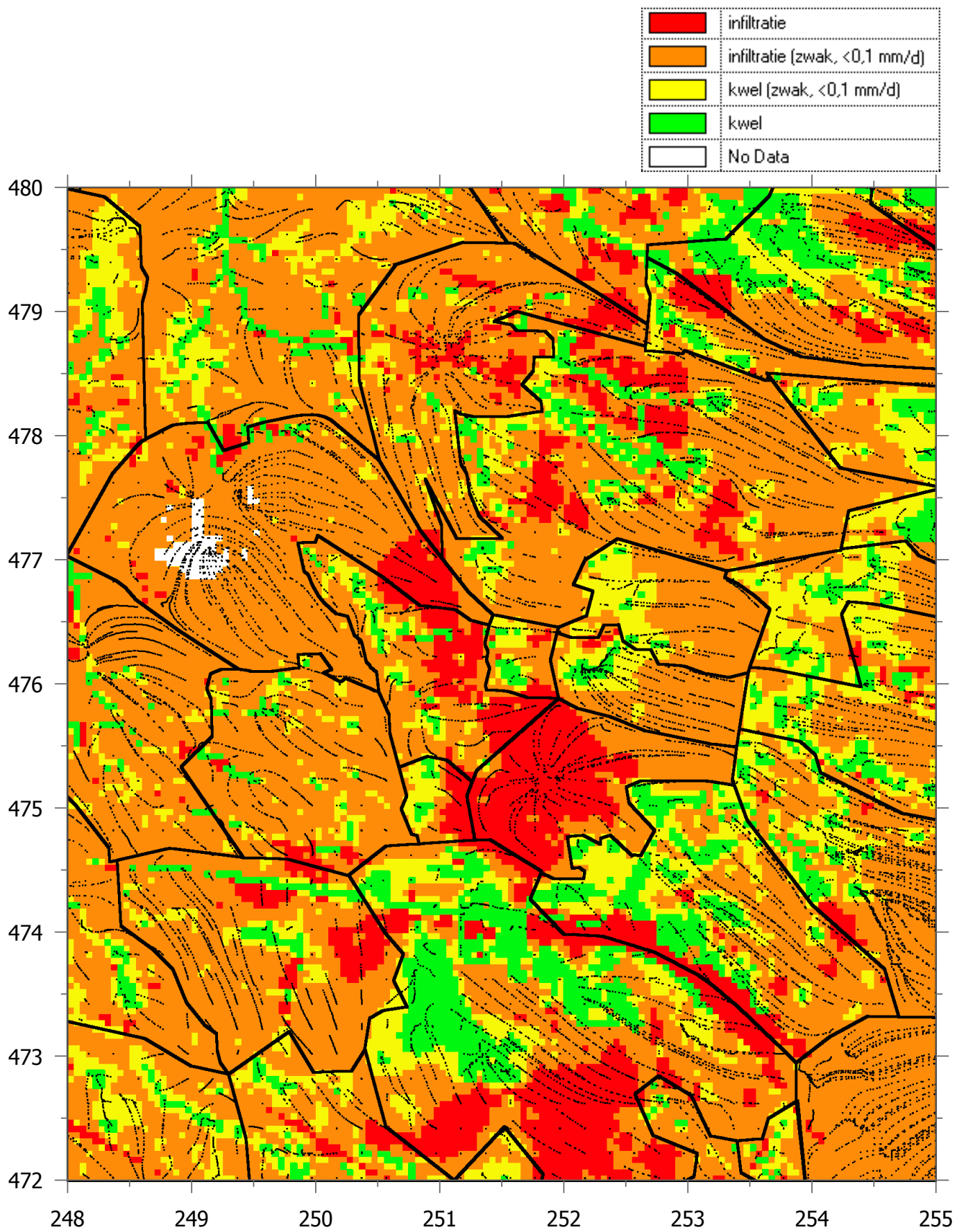


Fig. A2. Kwel en infiltratie.

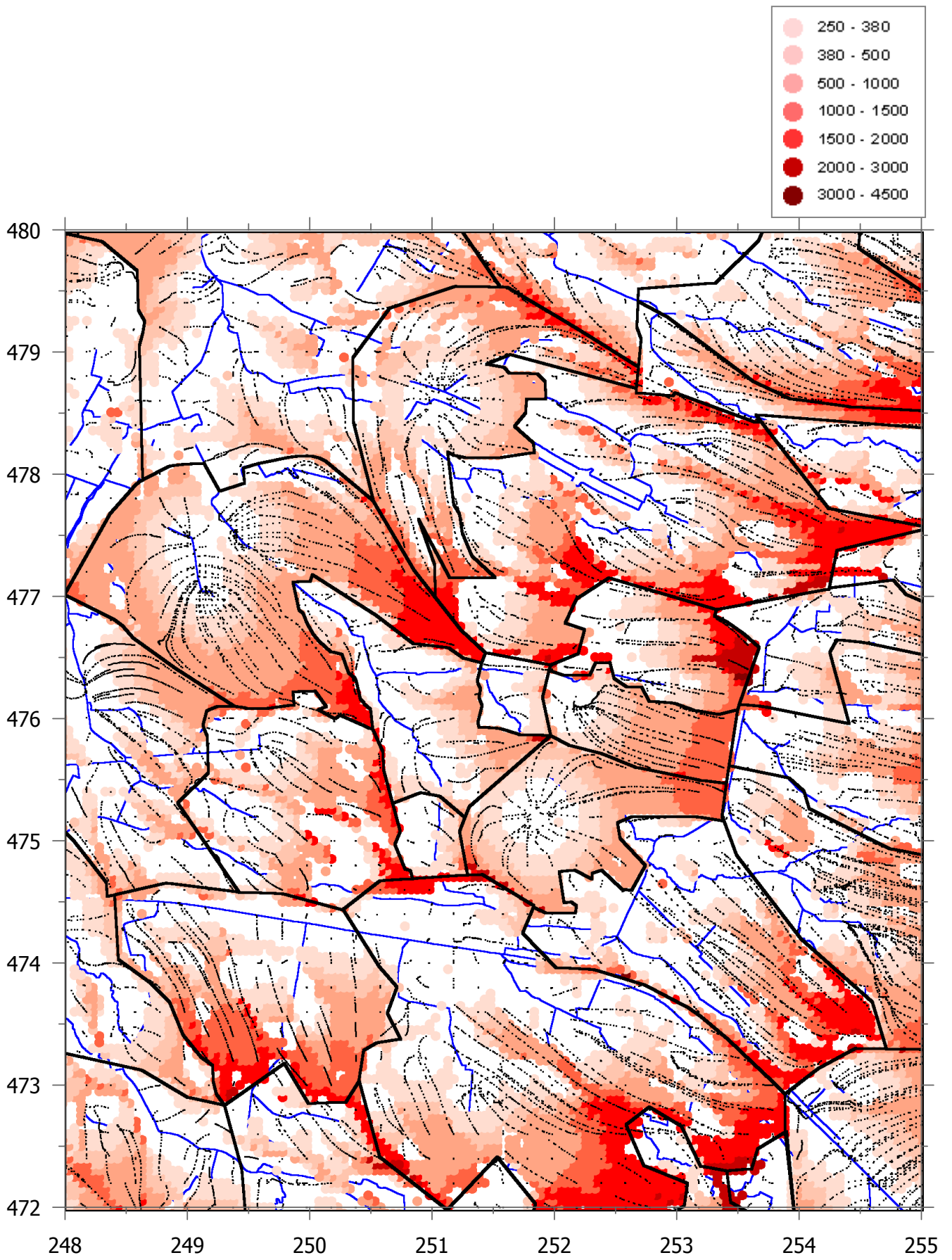


Fig. A3. Afstand (m) die het grondwater aflegt tussen infiltratie en exfiltratie.

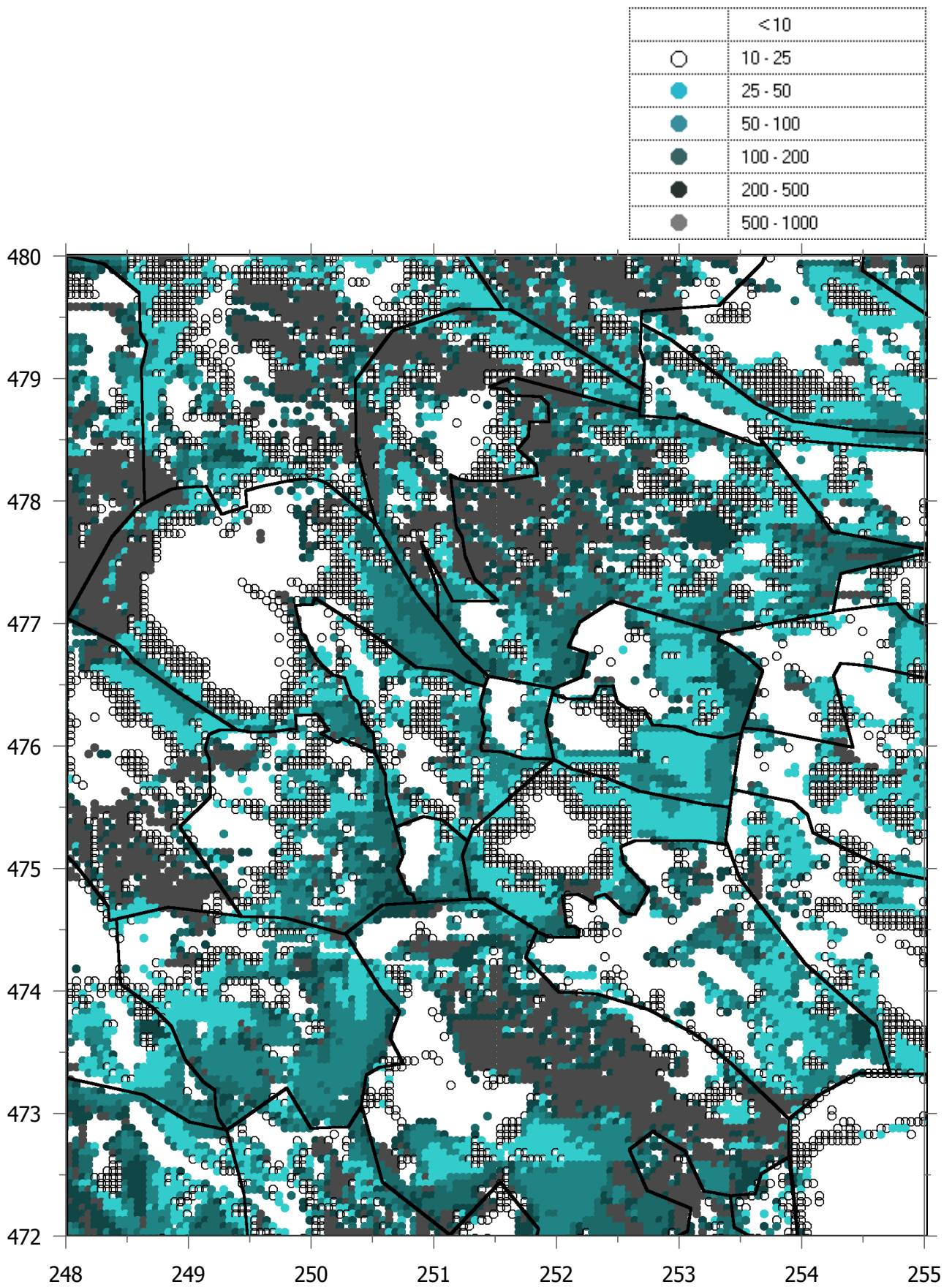


Fig. A4. Verblijftijd (jaren) grondwater tussen infiltratie en exfiltratie.



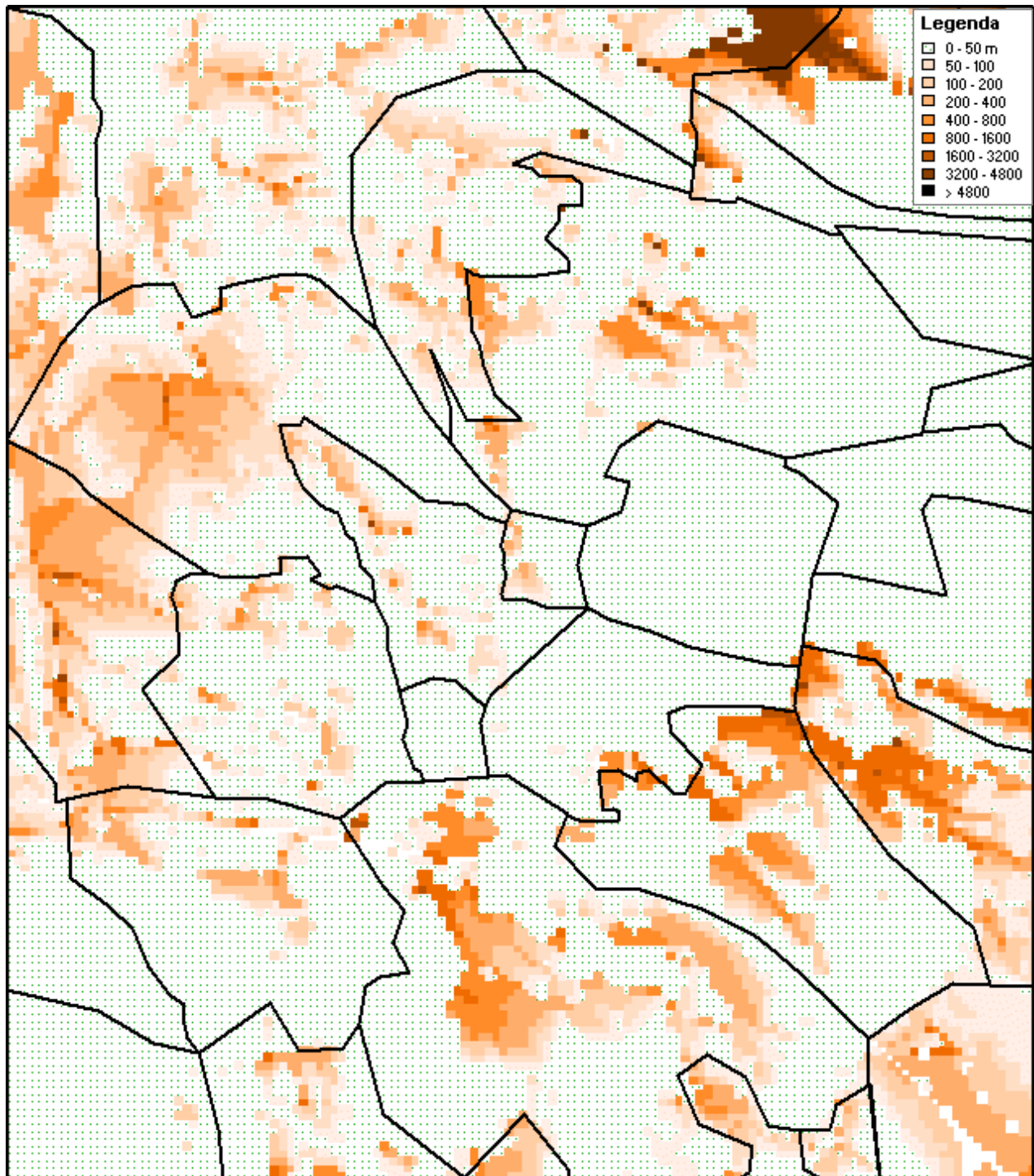


Fig. A5a. Afgelegde afstand (m) grondwater op een diepte van 3 m beneden de grondwater-spiegel.

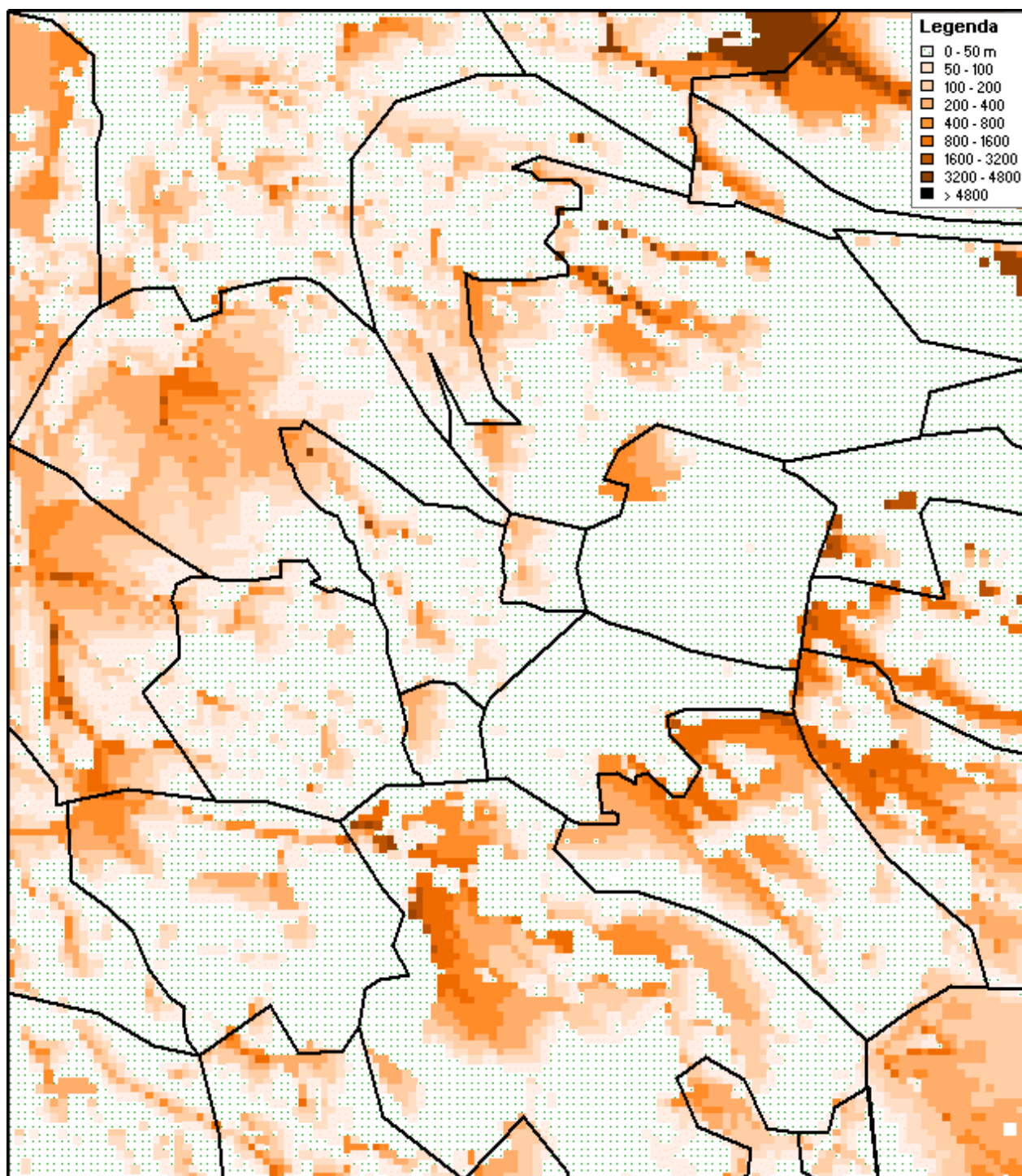


Fig. A5b. Afgelegde afstand (m) grondwater op een diepte van 5 m beneden de grondwater-spiegel.



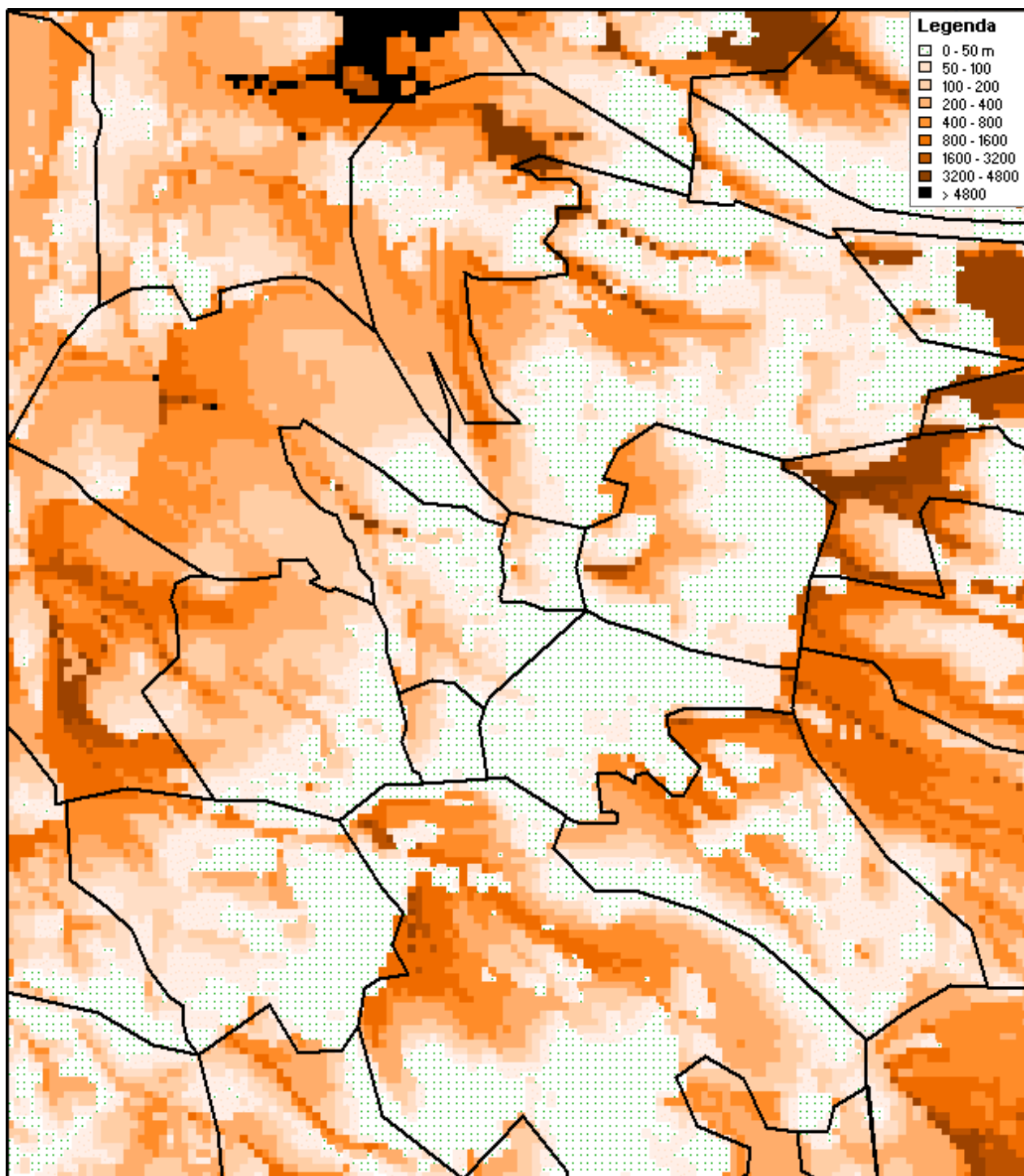


Fig. A5c. Afgelegde afstand (m) grondwater op een diepte van 10 m beneden de grondwater-spiegel.

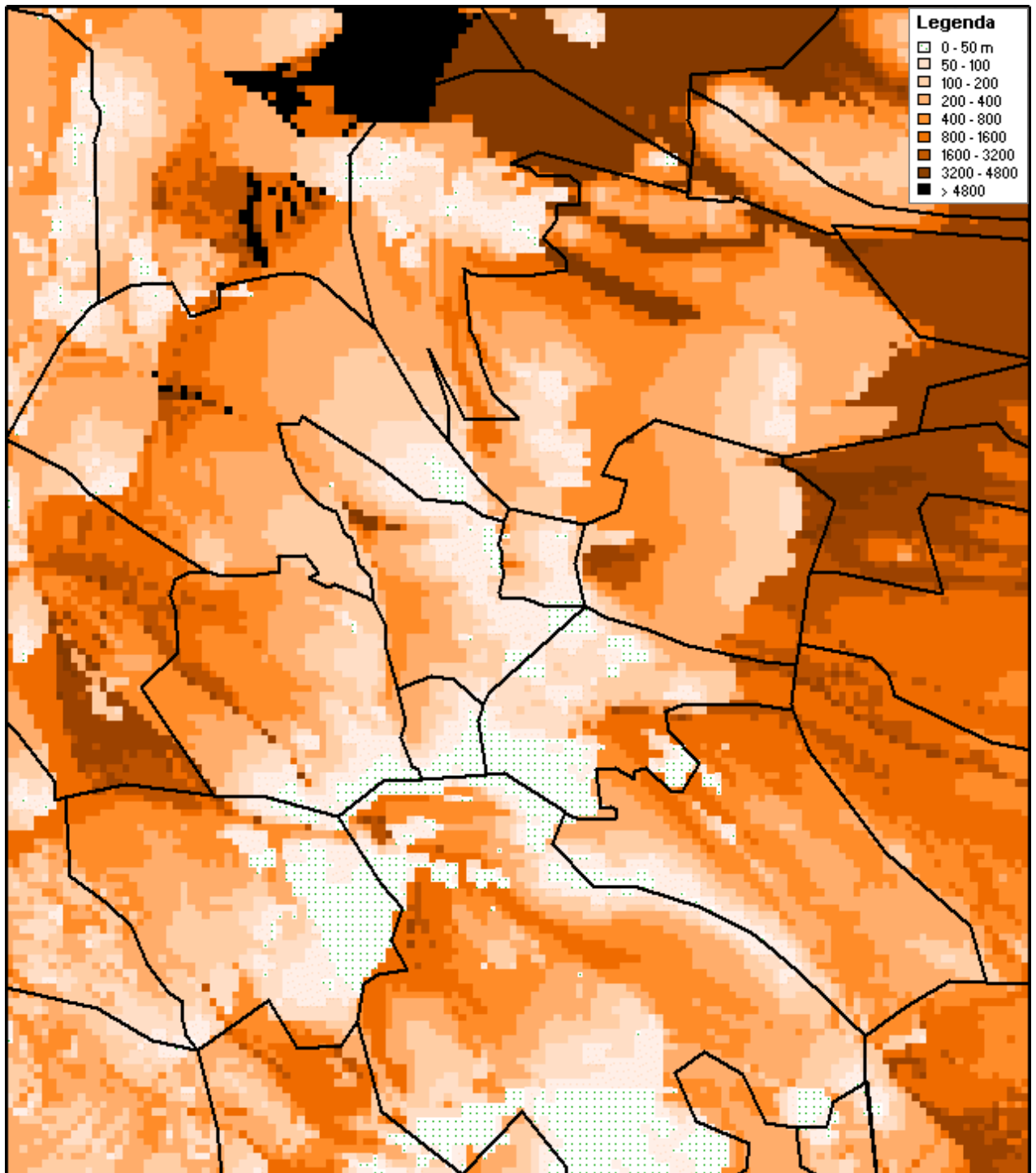


Fig. A5d. Afgelegde afstand (m) grondwater op een diepte van 15 m beneden de grondwater-spiegel.

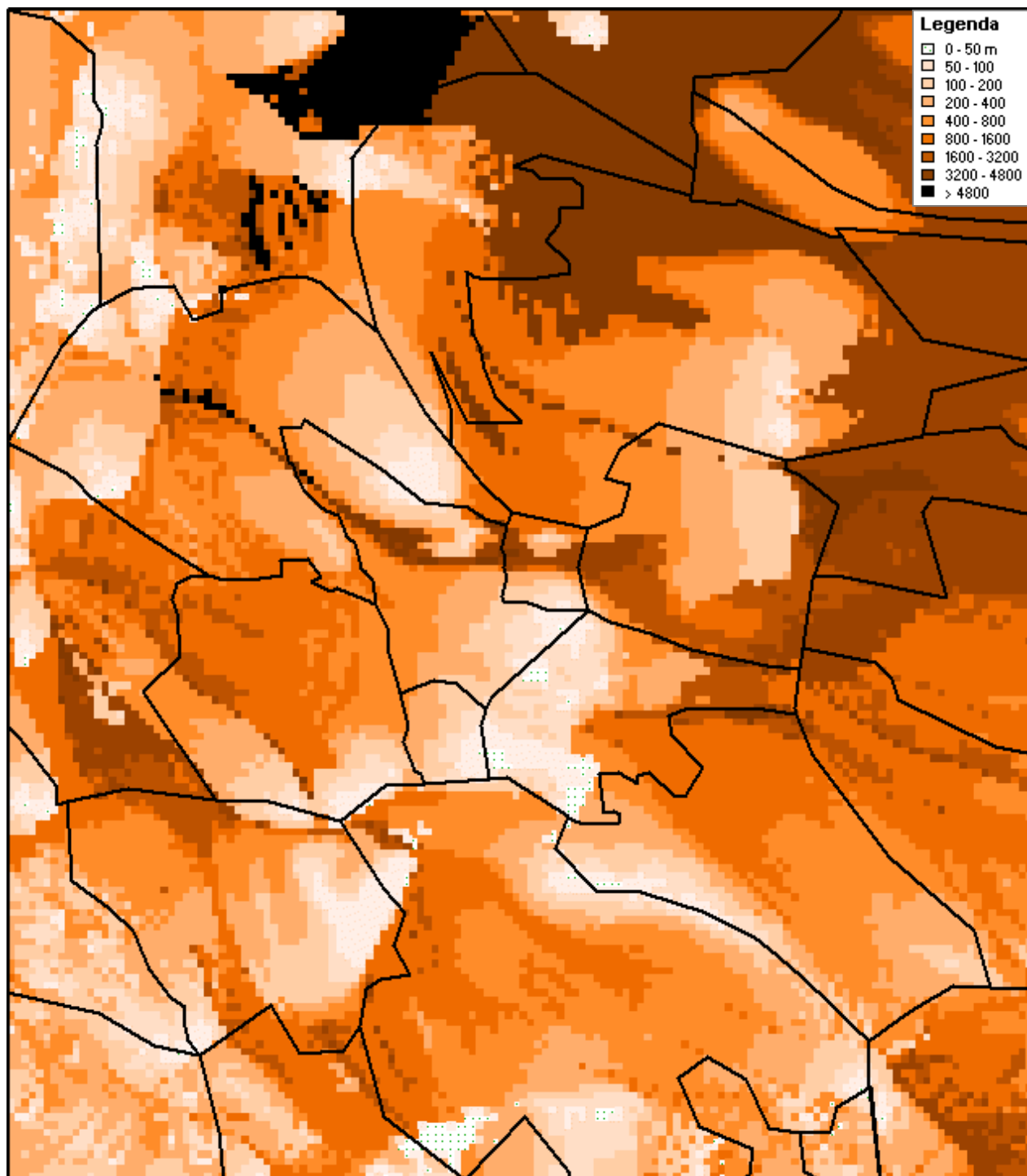


Fig. A5e. Afgelegde afstand (m) grondwater op een diepte van 25 m beneden de grondwater-spiegel.

BIJLAGE B

**BESCHRIJVING GRONDWATERMODEL**

## INHOUD

Hoofdstuk	B1	INLEIDING .....	2
Hoofdstuk	B2	OPZET GRONDWATERMODEL .....	3
	B2.1	Modelkeuze.....	3
	B2.2	Modelnetwerk.....	3
	B2.3	Gebruikte gegevens .....	4
	B2.4	Geohydrologische schematisatie .....	5
	B2.5	Randvoorwaarden.....	11
	B2.6	Topsysteem-oppervlaktewater .....	12
	B2.7	Topsysteem-grondwateraanvulling .....	15
	B2.8	Onttrekkingen.....	17
Hoofdstuk	B3	CALIBRATIE .....	19
	B3.1	Gevolgde methode calibratie .....	19
	B3.2	Eerste stappen calibratie .....	19
	B3.3	Gevoeligheidsanalyse .....	20
	B3.4	Eindcalibratie.....	21
	B3.5	Verschillen met voorgaande modellen .....	24
Hoofdstuk	B4	EVALUATIE GRONDWATERMODEL.....	26

## HOOFDSTUK B1

### **INLEIDING**

Deze bijlage beschrijft de opzet en calibratie van het grondwatermodel, dat specifiek is opgezet voor het SKB-project "Grondwaterkwaliteitskaarten Hengelo". Het doel van de modellering is om inzicht te verkrijgen in de grondwaterstromingssystemen, alsmede de herkomst en leeftijd van het grondwater op een bepaalde plaats en tijd in het hydrologische systeem. De modelkeuze en opzet zijn hierop afgestemd. Met het gecalibreerde model zijn diverse stroombaanberekeningen uitgevoerd, hetgeen als proceskennis is benut bij de interpretatie van de grondwaterkwaliteitsgegevens.

De navolgende modelbeschrijving is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2: Modelconcept en invoer;
- Hoofdstuk 3: Calibratie van het model;
- Hoofdstuk 4: Evaluatie van het grondwatermodel.

De gebiedsbeschrijving is opgenomen in hoofdstuk 2 van het hoofdrapport.

## OPZET GRONDWATERMODEL

### B2.1 Modelkeuze

Voor de modellering van de grondwaterstroming is gebruik gemaakt van de modelcode MODFLOW. MODFLOW is een modulair, drie dimensionaal, eindige-differentie grondwatermodel waarmee de grondwaterstroming kan worden berekend. Calibratie van het grondwaterstromingsmodel heeft handmatig op basis van systeemkennis en met behulp van PEST plaatsgevonden. PEST is een model-onafhankelijk parameteroptimalisatie programma.

De keuze voor MODFLOW is gemaakt, omdat het één van de meest gebruikte programma's is om de grondwaterstroming in een poreus medium te simuleren en het zowel bij de Universiteit Utrecht als bij Grontmij operationeel is. Het programma is specifiek voor deze studie geschikt, omdat het uitgebreide opties heeft om het transport van stoffen via het grondwater te simuleren, zowel conservatief (particle tracking) als met diverse fysisch-chemische processen in het water en de bodem.

Het grondwaterstromingsmodel is gebruikt voor de berekening van stroombanen onder langjarige gemiddelde omstandigheden. Daarom is uitgegaan van een stationaire modellering van het verzadigde grondwatersysteem. Hiermee worden seizoensfluctuaties in bijvoorbeeld de grondwateraanvulling niet gesimuleerd en wordt geen rekening gehouden met de verblijftijden in de onverzadigde zone. Naar verwachting heeft dit weinig effect op de stroombaanberekeningen. Enerzijds omdat de onverzadigde zone in het modelgebied relatief dun is (hooguit enkele meters) en anderzijds omdat met de modellering rekening kan worden gehouden met het feit dat de bovenlopen in de zomer droogvallen.

### B2.2 Modelnetwerk

De studie is gericht op het grondwater in en rondom het stedelijk gebied van Hengelo. Om stroombanen te kunnen berekenen vanaf herkomst tot exfiltratie, zijn de grenzen van het voor deze studie opgezette grondwatermodel vrij ruim rondom Hengelo genomen. Het modelgebied beslaat globaal een oppervlak van 16 bij 18 kilometer en omvat het gebied tussen de x-coördinaten 244 – 262.000 en tussen de y-coördinaten 467 – 483.000. De modelgrenzen zijn aangegeven in figuur 1 van het hoofdrapport. De grenzen zijn zodanig gekozen, dat Hengelo globaal in het centrum ligt en de oost- en westgrenzen ongeveer overeenkomen met waterscheidingen. Aan de oost- en noordzijde zijn enkele cellen niet actief gemaakt, rekening houdend met de ligging van de waterscheiding. De uiteindelijke modeluitkomsten bevestigen de veronderstelling dat het diepe grondwater van Hengelo afkomstig is van de stuwwal in het oosten van het modelgebied. De modelgrenzen zijn derhalve ruim genoeg gekozen om de stroombanen vanaf herkomst tot exfiltratie in het interessegebied te kunnen simuleren.

In eindige differentiëmodellen als MODFLOW wordt het modelgebied opgedeeld in vierhoekige eenheden (gridcellen). De grootte van deze gridcellen kan ruimtelijk variëren, maar om alle stroombanen even nauwkeurig te kunnen berekenen, zijn alle gridcellen even groot gehouden. In eerste instantie is gekozen voor een gridgrootte van 100x100 meter, maar met het beschikbaar komen van gedetailleerde maaiveldhoogtes is overgegaan naar 50x50 meter.

De keuze voor een gridgrootte van 100 x 100 m is destijds gemaakt om de volgende redenen:

- Voor het gehele model worden 7 lagen x 180 kolommen x 160 rijen = 201600 elementen aangemaakt. Met de beschikbare computers wordt deze hoeveelheid gezien als "goed werkbaar".
- De drainagebasis van de waterlopen (beken en kleine bovenlopen) wordt ten opzichte van NAP ingevoerd. Ondanks dat het modelgrid vrij grof is ten opzichte van het reliëf van de beekdalen, wordt hiermee geen grote fout geïntroduceerd. Dit zou wel het geval zijn als de waterpeilen (of de bodemhoogte bij droogvallende beken) ten opzichte van de maaiveldhoogten in het modelgrid worden ingevoerd.
- REGIS-data is beschikbaar als grid van 100x100 meter (bovenste vier lagen) en 500x500 meter (onderste drie lagen). Hierbij is al geïnterpoleerd tussen boringen die nog verder van elkaar verwijderd zijn. Verdere verfijning in het model voegt dus op de geohydrologische schematisatie geen extra informatie toe.

Met het overgaan naar 50 x 50 meter gridcellen is het aantal modelcellen verviervoudigd tot ruim 800.000 cellen. Het voordeel hiervan is dat:

- de grondwaterstroming in de beekdalen ruimtelijk beter in beeld kan worden gebracht;
- de drainagebasis van de diffuse drainage door sloten, greppels en andere secundaire ontwatering nauwkeuriger kan worden ingevoerd;
- de herkomst en leeftijd van grondwatermonsters (peilbuisfilters waarvan kwaliteitsgegevens zijn verzameld) nauwkeuriger met stroombaanberekeningen kan worden bepaald.

Nadeel is de langere rekentijden. De meeste schillen van MODFLOW kunnen niet meer dan 1 miljoen cellen aan; dit maximum wordt bijna bereikt.

### **B2.3 Gebruikte gegevens**

De grondwaterstroming is in het gebied eerder bestudeerd en gemodelleerd voor diverse hydrologische onderzoeken. Grondwatermodellen zijn opgezet om als basis te dienen voor verder hydrologisch onderzoek [TNO, 1992], om peilveranderingen in de binnenstad van Hengelo in kaart te brengen [Tebodin, 1999] en om intrekgebieden te bepalen van grondwaterwinningen [Grontmij, 1994 en NITG-TNO, 1999]. Informatie en kennis uit deze studies zijn benut bij de opzet van het model en om waarden van rekenparameters in te schatten. Daarnaast zijn voor de modellering en stroombaanberekeningen de volgende digitale gegevens gebruikt:

Landgebruik: Voor het landgebruik is gebruik gemaakt van het LGN-3 bestand.

Maaiveldhoogten: Gebruik is gemaakt van een maaiveldhoogtebestand met een ruimtelijke resolutie (grid) van 5 x 5 m. De hoogten zijn recent (2000) bepaald met vliegtuigradar. Het digitale bestand is verkregen van het Waterschap Regge & Dinkel. Volgens het Waterschap is het digitale bestand gecontroleerd en gecorrigeerd zodat het voldoende betrouwbaar is voor onder andere studies naar waterberging en retentie. Met behulp van ruimtelijke filters is het grootste deel van de gebouwen uit het maaiveldhoogtebestand verwijderd en is het bestand omgezet naar 50 x 50 m gridcellen.

Waterlopenbestand: Van het Waterschap is een digitaal waterlopenbestand verkregen (DGN-bestand). Hierin zijn de beken tot en met de bovenlopen ervan opgenomen met een totale lengte van 500 km in het modelgebied. Op de diverse knooppunten van de lijnvakken zijn de bodemhoogten digitaal aangegeven. Alvorens het voor de grondwatermodellering gebruikt kon worden, moesten diverse bewerkingen worden uitgevoerd, met name om de bodemhoogten op de juiste knopen te kunnen linken aan het ruimtelijke lijnenbestand en om voor de tussenliggende beektrajecten de bodemhoogten te interpoleren. Het aldus verkregen GIS-bestand is gecontroleerd door het Waterschap. Verder is ten behoeve van de modelstudie gebiedskennis van het Water-



schap ingebracht, met name om meer inzicht te krijgen in de waterpeilen, droogvallende beeksystemen en de afvoer van enkele zandwinplassen / zwemvijvers.

Aan de hand van de legger zijn de oppervlaktewaterpeilen, die op basis van de digitale gegevens in het model zijn ingevoerd, voor de koppelleiding gecontroleerd.

Geologie: De ruimtelijke informatie over de verbreiding van de watervoerende pakketten en scheidende lagen is verkregen uit de databank REGIS. Deze gegevens zijn voor deze studie aangeleverd door de WMO. Het betreft een GIS-bestand met een ruimtelijke resolutie van 100 x 100 m voor de bovenste 4 lagen en 500 x 500 voor de onderliggende lagen. Bij de verwerking en interpretatie zijn de gegevens vergeleken met die van de geologische kaarten.

Grondwaterstanden: Via de databank DINO van NITG –TNO zijn on-line de gegevens over de grondwaterstanden opgevraagd over de (model)periode 1992 – 2001.

Grondwateronttrekkingen: Van de provincie is een digitaal bestand verkregen met de jaarlijkse hoeveelheden van de grondwateronttrekkingen. Dit betreft de door de provincie geregistreerde grondwateronttrekkingen (particuliere en industriële) en de grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening.

## B2.4 Geohydrologische schematisatie

Ten behoeve van de grondwatermodellering wordt de ondergrond geohydrologisch geschematiseerd in slecht waterdoorlatende lagen (aangeduid als scheidende lagen) en goed waterdoorlatende pakketten (aangeduid als watervoerende pakketten). In scheidende lagen is de grondwaterstroming voornamelijk verticaal en in watervoerende pakketten voornamelijk horizontaal. Op basis van de geologische kaart en de REGIS-data, is voor de modellering een geohydrologische schematisatie aangehouden waarin 7 lagen met een variabele dikte worden onderscheiden. De bovenste 2 lagen worden gevormd door een freatisch watervoerend pakket en/of een deklaag en de onderliggende lagen door drie watervoerende pakketten en twee scheidende lagen. De aangehouden schematisatie is voor een dwarsprofiel van oost naar west weergegeven in figuur B1.

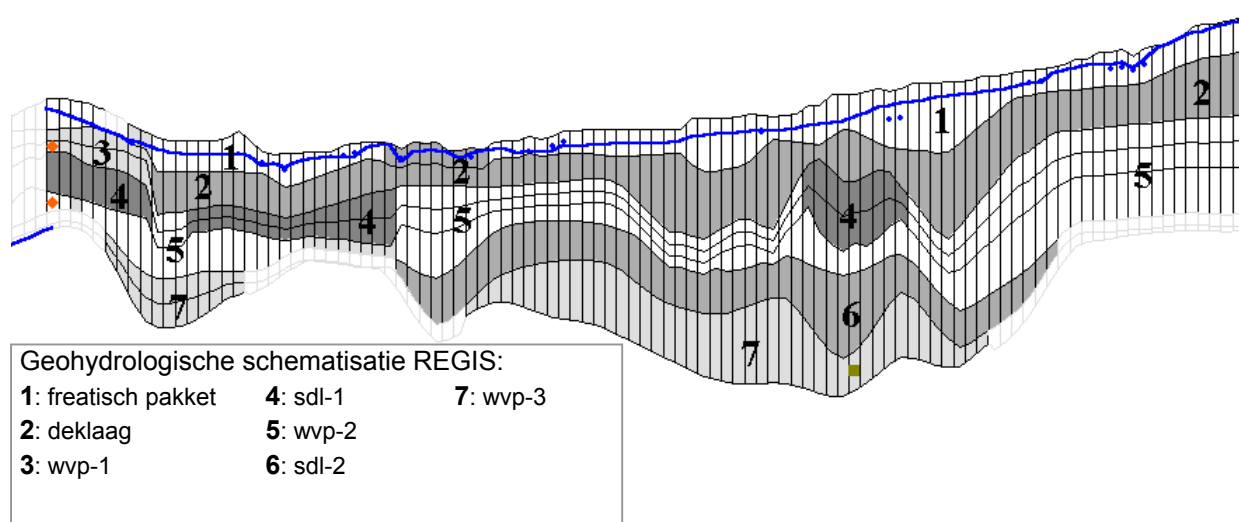


Fig. B1 Geohydrologische schematisatie REGIS en vertaling naar laagindeling grondwatermodel (BCF-package). De doorsnede loopt van west (links) naar oost (rechts) over pompstation Hengelo.

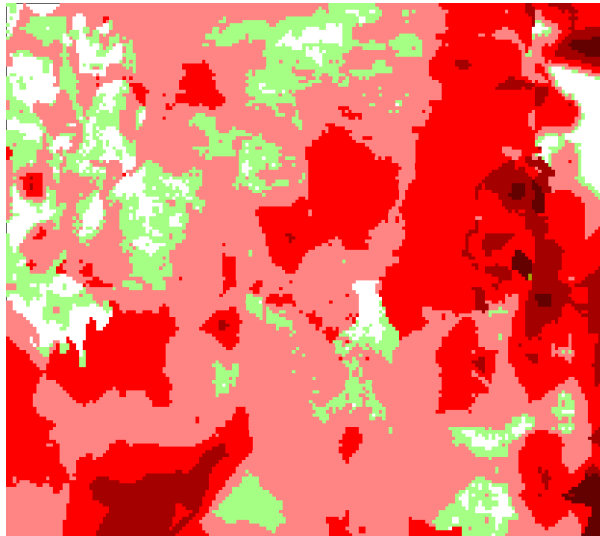
In REGIS zijn diktes en doorlaatfactoren aangegeven voor de onderscheiden lagen. De laagdiktes van de in REGIS onderscheiden eenheden zijn weergegeven in figuur B2 en de diepteligging van deze eenheden in figuur B3.

De informatie uit REGIS kan niet zonder aanpassing of bewerking worden overgenomen in het model, omdat in het gebied op veel plaatsen "uitwiggende" lagen en opgevulde geulen voorkomen (zie figuur 2 hoofdrapport). In het hydrologische (standaard) modellen wordt uitgegaan van een continue gelaagdheid. De beste methode is om cellen waar een scheidende laag niet meer voorkomt, de fictieve laagdikte die in REGIS is opgenomen, om te zetten naar een boven- of onderliggend watervoerend pakket of vice versa. Door de kleine modelresolutie en het grillige patroon van de scheidende lagen, is het in dit model niet mogelijk om dergelijke aanpassingen handmatig uit te voeren. In eerste instantie is geprobeerd niet aanwezige lagen in te voeren als zeer dunne lagen van 0.30 m, maar dit leverde een instabiel model op. Bovendien heeft een kleilaag van 30 cm veel invloed op de grondwaterstroming. Daarom is gekozen voor een andere aanpak.

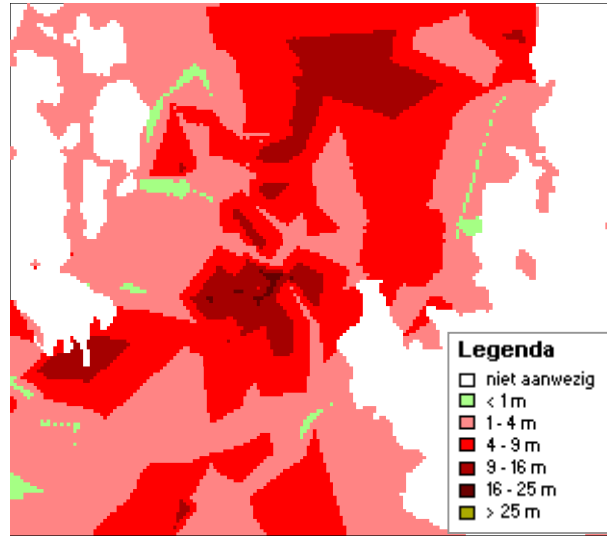
De ArcInfo ascii-grid bestanden zijn omgezet naar x-y-z-bestanden (kolomvorm), om verder bewerkt te worden in Excel. Punten met een afwezige laag (of met een dikte kleiner dan 1 meter) zijn naar de onderliggende laag getrokken, met als diepte het gemiddelde van de onderkant van de laag eronder en de bovenkant van de laag zelf. Wanneer beide nieuwe lagen samen een dikte kleiner dan 1 meter hebben, is de tweede laag een diepte van de helft van de derde laag toegekend en de bovenste laag een diepte van de helft van de nieuwe laag twee.

Met deze aanpak, het best geïllustreerd in figuur B1, zijn bijna alle lagen van voldoende dikte. Wanneer drie opeenvolgende lagen een dikte kleiner dan 3 meter tezamen zijn, zijn ze alle toegekend aan de derde laag, met alle een dikte van 1 meter. De techniek is het eenvoudigst zichtbaar rechts in de figuur, waar laag 3 en 4 bij laag 5 zijn getrokken en laag 4 de helft van de oorspronkelijke laag 5 inneemt en waarin laag 3 de helft van de nieuwe laag vier inneemt en waarbij pakket 3 en 4 de kenmerken van laag 5 hebben gekregen.

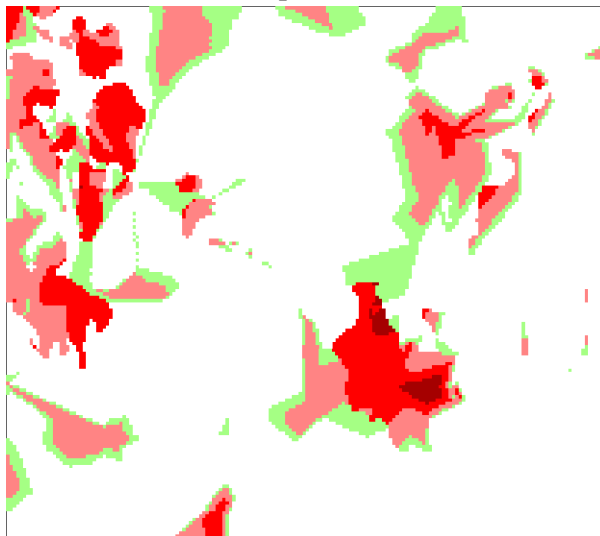
Dikte freatisch pakket



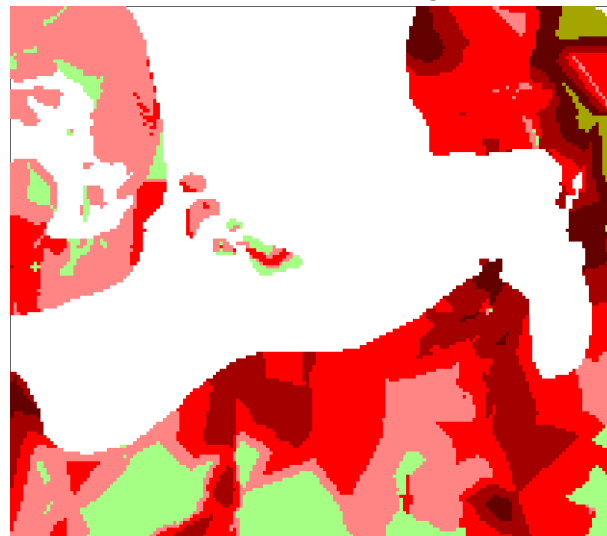
Dikte deklaag



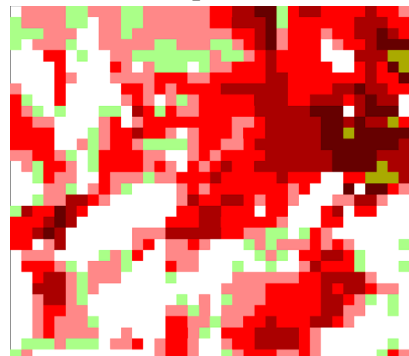
Dikte Watervoerend pakket 1



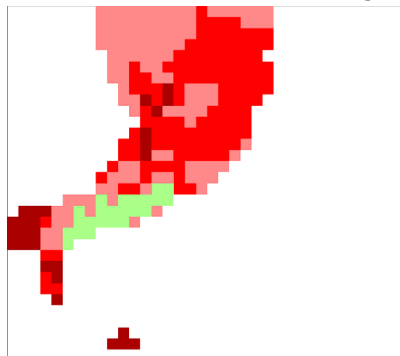
Dikte Scheidende laag 1



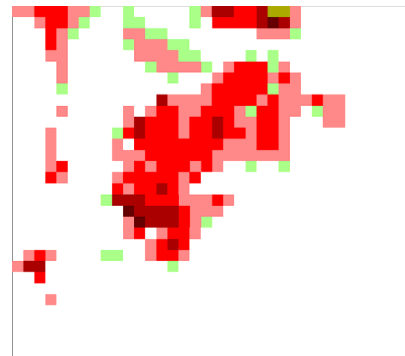
Watervoerend pakket 2



Scheidende laag 2



Watervoerend



pakket 3

Fig. B2. Laagdiktes watervoerende pakketten en scheidende lagen binnen het studiegebied volgens REGIS.

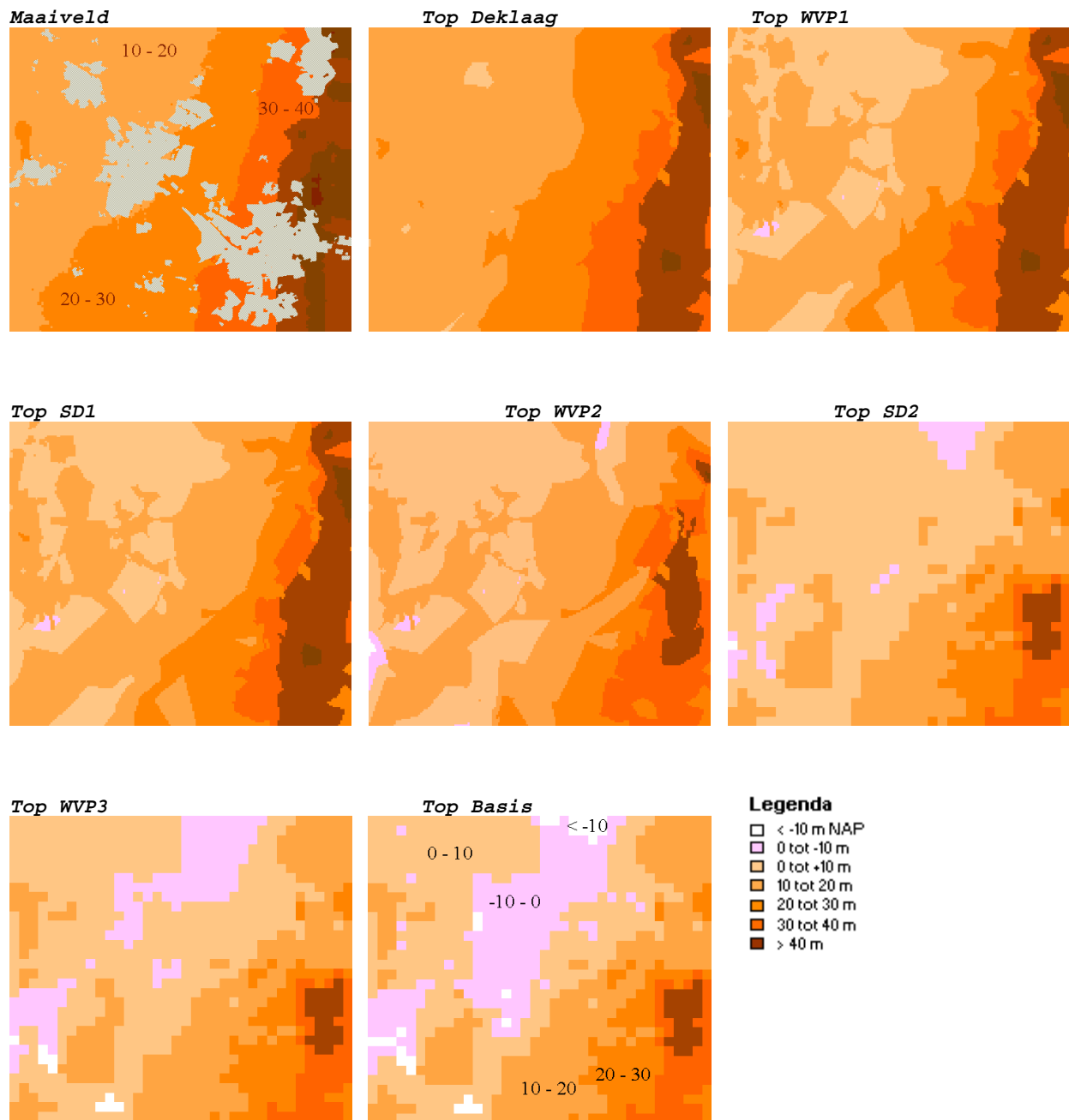
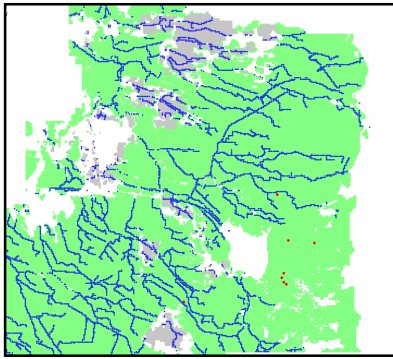
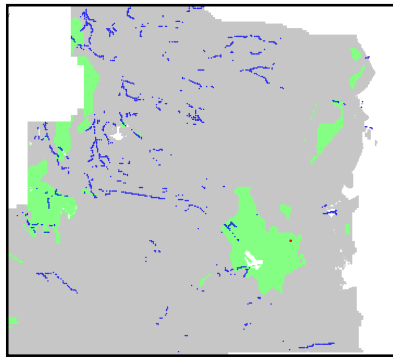


Fig. B3. Diepteligging geohydrologische eenheden (m NAP) volgens REGIS.

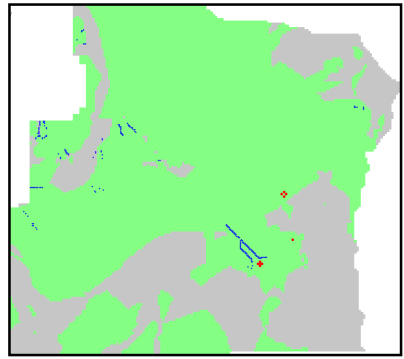
laag 1



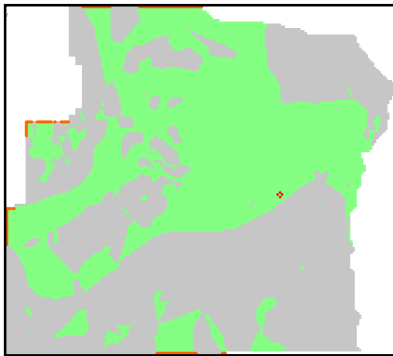
laag 2



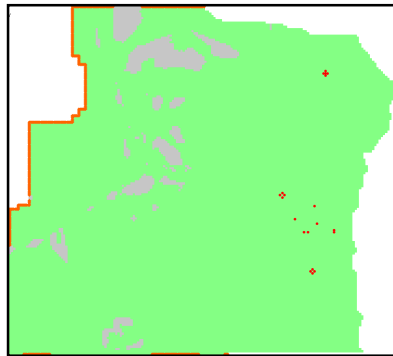
laag 3



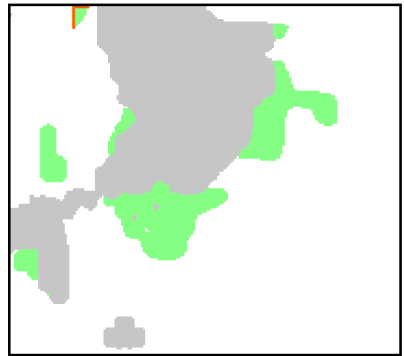
laag 4



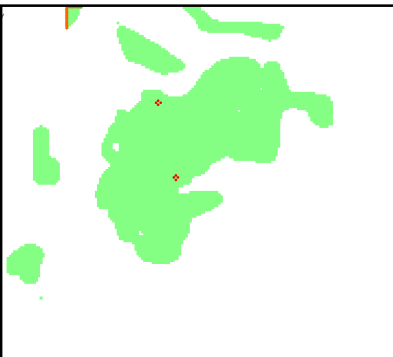
laag 5



laag 6



laag 7



legenda



Fig. B4 Verbreiding zand en klei binnen de modellagen.

### Doorlatendheden watervoerende pakketten

De doorlatendheden (k-waarde) van de watervoerende pakketten, zoals aangegeven in voorgaande studies en zoals hier aangehouden na calibratie, zijn samengevat in tabel B1.

Tabel B1 Doorlatendheden (k-waarden) volgens voorgaande studies en na calibratie van het grondwatermodel.

Modellaag	Formaties	Lithologie	Dikte (m)	k (m/dag) [RGD 1993]	k (m/dag) [Tebodin 1999]	k (m/dag) [TNO 1999]	$K_H$ (m/dag)* deze studie	$K_V$ (m/dag)* deze studie
freatisch	Holoceen	klei-veen-stuifzand	< 2	< 5			12**	7**
wvp 1	Twente	fijn zand	5-20	5	7	5	15	15
wvp 2	Drente	fijn-grof zand	10-60	10-100	15		20	20
wvp 3	Enschede	matig grof-grof zand	10-70	20-100	30	20	30	30

\* Horizontale en Verticale doorlatendheden deze modelstudie, na calibratie.

\*\* Deze k-waarde is alleen voor Holoceen (stuif)zand aangehouden; voor klei/veen is een k-waarde van 0,01 m/d aangehouden.

### Doorlatendheden (weerstand) scheidende lagen

Voor de grondmorene afzettingen op de stuwwal bij Enschede is door TNO-NITG [1999] de c-waarde geschat op 20.000-100.000 dagen. Voor de overige scheidende lagen zijn de in tabel B2 aangegeven k-waarden ingevoerd.

Tabel B2. Gehanteerde k-waarde scheidende lagen en hiervan af te leiden weerstand.

Laag	Formatie	k-waarde (M/dag)	Weerstand (c-waarde) dagen
Deklaag	Twente	0.01	100-1960
1 <sup>e</sup> scheidende laag	Drenthe	0.01-0.005	100-5000
2 <sup>e</sup> scheidende laag	Drenthe	0.01	100-1420

In figuur B4 zijn van alle lagen aangegeven waar de k-waarde in het grondwatermodel groter is dan 5 m/dag. Daarmee wordt direct inzicht verkregen in de verbreiding van de zandpakketten en scheidende (klei)lagen. De dikte van het totale zandpakket is weergegeven in figuur B5.

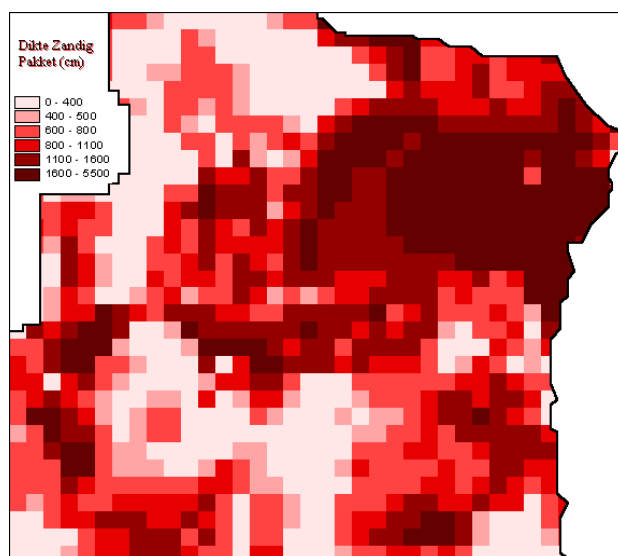


Fig. B5. Totale dikte zandpakket in het Modflow-model.

### Anisotropie

Doordat veel lagen horizontaal zijn afgezet, is de verticale weerstand hoger dan de horizontale, met name van de niet-gestuwde lagen. De anisotropie is meegenomen in het model, door tijdens de calibratie onderscheid te maken tussen horizontale en verticale doorlatendheid (zie tabel B1).

### B2.5 Randvoorwaarden

Er is gekozen om de bovenste laag “unconfined” (freatisch) te maken en de twee lagen daaronder “confined/unconfined”. De onderste vier lagen zijn confined, wat wil zeggen dat er geen vrije grondwaterspiegel kan zijn (wat in de “praktijk” ook niet voorkomt).

De aangehouden randvoorwaarden op de randen van het model zijn weergegeven in figuur B6.

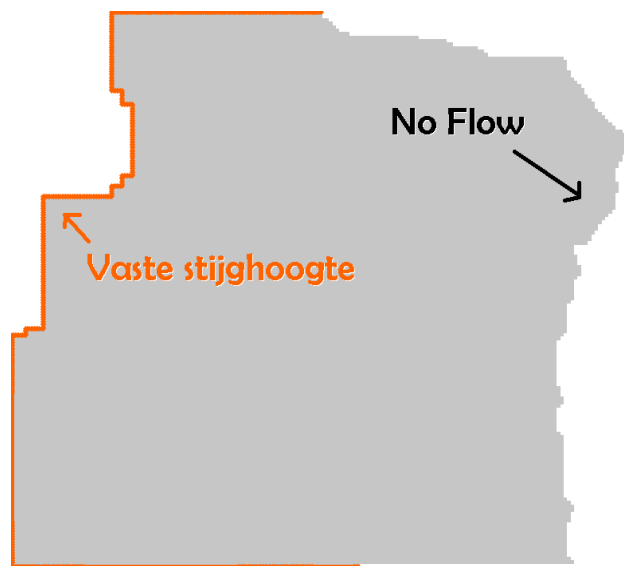


Fig. B6. Randvoorwaarden modelranden.

Als buitenrand is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van “no-flow boundaries” (gesloten randen). Hoewel het model instabieler wordt (doordat ook aan de randen de grondwaterstand kan variëren), wordt wel een beter modelconcept verkregen. De vaste stijghoogteranden in het westen, waar geen duidelijke waterscheidingen kunnen worden aangegeven, zijn toegekend aan de onderste 4 lagen en alleen aan watervoerende pakketten waar de modelgrens niet als “no-flow” kan worden gezien. Kleilagen aan de randen gelden altijd als No-Flow boundaries.

De waarde van de vaste stijghoogte randvoorwaarde op de randen van het model is bepaald aan de hand van peilbuisgegevens over de periode 1991-1998. Hiertoe zijn alle peilbuizen geselecteerd die binnen een afstand van 1.000 m van de rand van het model liggen (zowel binnen als buiten het modelgebied). De gemiddelde stijghoogtes van deze peilbuizen zijn per modellaag geïnterpoleerd tot een randvoorwaarde; waar de interpolatie stijghoogten hoger dan 1m-mv gaf, is een waarde 1m-mv toegekend.

Cellen buiten de waterscheiding zijn inactief gemaakt. Dit is ook gedaan in het noordwestelijk deel van het modelgebied (de “waterscheiding” bij Delden). Deze hoek is uit het model verwijderd, omdat de totale dikte van het freatisch pakket hier minder dan 3 meter is (zie figuur B3 onderaan) en het model hier erg instabiel was. Door het geringe doorlaatvermogen stroomt relatief weinig grondwater over deze rand en kan nagenoeg als een waterscheiding worden opgevat.

## B2.6 Topsysteem-oppervlaktewater

Met het topsysteem worden de grondwateraanvulling en interactie met oppervlaktewater gesimuleerd. In het navolgende wordt aangegeven hoe de beken- en diffusedrainage is gemodelleerd.

### Beekstelsysteem

In dit gebied is vooral de ontwatering door de aanwezige beken bepalend voor de grondwaterstroming. De invoer van de beekpeilen is zonder digitale verwerking erg arbeidsintensief, omdat in het gebied zeer veel beken liggen en er sprake is van een sterk reliëf. Weliswaar kon worden beschikt over een digitaal waterlopenbestand van het waterschap, maar hierin zijn alleen op knooppunten langs de beektrajecten hoogtes af te leiden. Daarom is in eerste instantie evenals eerdere modelstudies uitgegaan van een generieke drooglegging, waarbij voor het gehele modelgebied een beekpeil ten opzichte van maaiveld wordt ingevoerd. Hiermee wordt ondanks de kleine modelresolutie en het gedetailleerde maaiveldhoogtebestand een vrij grote onnauwkeurigheid geïntroduceerd. Dit wordt geïllustreerd in figuur B7.

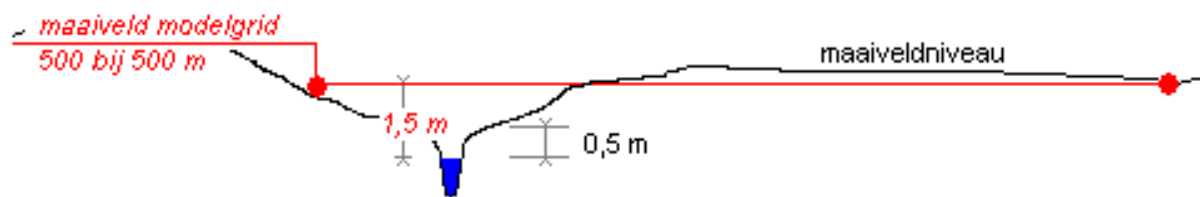


Fig. B7. Voorbeeld van een fout geïntroduceerd door invoer beekpeil t.o.v. maaiveld bij gebruik van een grof modelgrid.

Zo is een beekpeil 0.5m –mv (binnen enkele meters vanaf het talud) een realistisch peil vanuit “gebiedskennis”. Op de cellen is door interpolatie over het modelgrid van 50 bij 50 m het maaiveldniveau hoger dan enkele meters buiten het talud van de beek. Het verschil tussen de maaiveldhoogten op de modelgridcellen van de beek en het werkelijke maaiveldniveau langs de beek, werkt zo direct door als fout in het aangenomen drainageniveau. Deze fout kan in het gebied op veel plaatsen zo groot zijn, dat op diverse trajecten infiltratie vanuit de beek wordt berekend terwijl deze in werkelijkheid alleen een drainerende werking heeft.

Om dergelijke fouten te voorkomen, zijn de beekpeilen niet ten opzichte van maaiveld ingevoerd, maar zijn de bodemdieptes of stuwhoogten van het digitale waterlopenbestand ten opzichte van NAP in het model geïmplementeerd. In het digitale waterlopenbestand, zijn op knooppunten van de beektrajecten de bodemhoogten in NAP bovenstrooms en benedenstrooms van de knoop aangegeven. Vaak betreffen dit kunstwerken in de beek of uitmondingen van een andere waterloop in de beek. Deze knooppunten liggen soms 500 m van elkaar. Om gebiedsdekkend over de gehele beektrajecten de bodemhoogten in het model te bepalen is de volgende werkwijze gehanteerd:

- Bepaling gemiddelde bodemhoogte per knooppunt (gemiddelde tussen beneden- en bovenstroomse bodemhoogte van een kunstwerk of uitmonding andere beek);
- Berekening bodemdiepte ten opzichte van maaiveld ter plaatse van de knooppunten; gebruik maken van het maaiveldhoogtebestand (verraasterd naar het 50 bij 50 m modelgrid);
- Interpolatie van de bodemhoogten van de beektrajecten tussen de knooppunten ten opzichte van maaiveld;
- terugrekenen bodemhoogten beek naar NAP over de gehele beektrajecten.

De op deze wijze afgeleide bodemdiepte in het model is weergegeven in figuur B8.



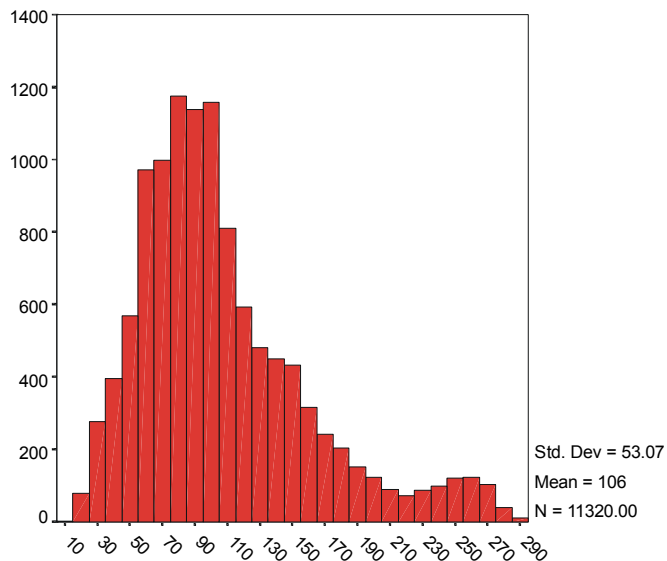


Fig. B8. Histogram beekpeilen in cm –modelmaaveld.

Zoals zichtbaar is de gemiddelde beekdiepte 106 centimeter –modelmaaveld. Dit was bij een 100m x 100m grid nog 204 centimeter beneden maaiveld. Bij de stuwwal in de buurt zijn diepere beekpeilen te vinden.

Om na te gaan, welke fouten worden geïntroduceerd door de gevolgde werkwijze voor het invoeren van de bodemhoogten van de beken, zijn deze voor de “Koppelleiding” aan de hand van de legger gecontroleerd. Uit deze vergelijking bleek, dat de in het model ingevoerde bodemhoogten ter plaatse van de Koppelleiding en hierop uitmondende waterlopen redelijk overeenkomen met de hoogten die op de legger zijn aangegeven. De afwijkingen zijn meestal +/- 0,10 m en op enkele punten 0,25 m. Gelet op het grote verhang van de beken en het sterke reliëf van het maaiveld, is deze afwijking voor de schaal van de modellering zeer acceptabel.

De drainagebasis, ofwel het oppervlaktewaterpeil, is in principe bepalend voor de drainerende of infiltrerende werking van een waterloop. In het aangeleverde waterlopenbestand zijn maar op een beperkt aantal hoofdtrajecten de waterpeilen aangegeven. In eerste instantie is het beekpeil van de bodemhoogte afgeleid door rekening te houden met een waterdiepte van 0,5 m. Daarna is door het Waterschap aangegeven (mondelijke informatie van de heren Riekert en Van Erp), dat de waterdiepte in de meeste beken globaal 0,15 m is. Als drainagebasis is daarom de geïnterpoleerde bodemhoogte + 0,15 m aangehouden. Voor het Twentekanaal is het drainageniveau ingevoerd op basis van de gemeten waterpeilen boven- en benedenstrooms van de stuw.

Naast het beekpeil wordt de mate van drainage en infiltratie bepaald door de weerstand van de bodem en de breedte van de waterloop op de waterlijn. De breedtes van de waterlopen zijn per cel afgeleid op basis van de breedtes die in het digitale waterlopenbestand zijn opgenomen. Voor de weerstand is onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire beken en het Twentekanaal. De gehanteerde bodemweerstand en de gemiddelde breedtes zijn aangegeven in tabel B3. De ligging van de onderscheiden beken is weergegeven in figuur B9.

Tabel B4. Beken in het studiegebied en ingevoerde waarden.

	Weerstand (dag)	gemiddelde Breedte (m)
Twentekanaal	8	20
Primaire beken	1	2.5
Secundaire beken	5	1.3

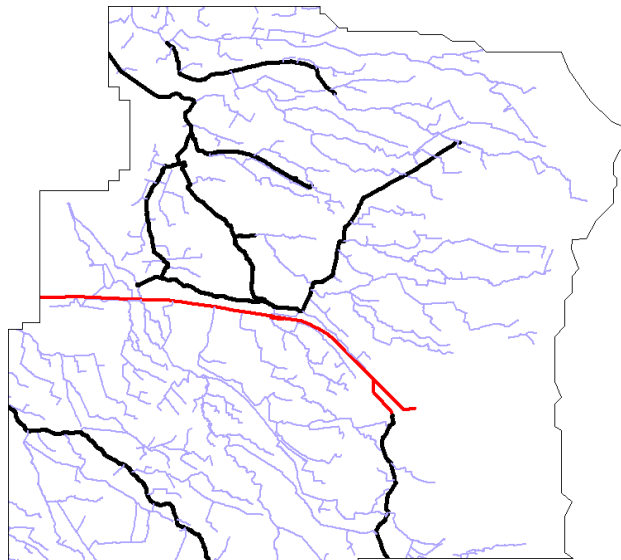


Fig. B9. Onderscheiden beektypen; zwart = primair, blauw = secundair en rood = het Twente-kanaal.

Per modelcel berekent MODFLOW een representatieve drainageweerstand op basis van het wateroppervlak en de weerstand. Gemiddeld is deze berekende drainageweerstand voor de beken 340 dagen.

Tot slot is van het gebied bekend dat diverse beektrajecten droog vallen in de zomer en dan dus alleen een drainerende werking kunnen hebben. In een gemiddelde jaarsituatie geldt dit vooral voor de beken in de buurt van de stuwwal. In het model zijn deze beken als "drain" in het model aangebracht en kunnen daarmee in het model niet infiltreren, ook niet als de grondwaterstand lager is dan de bodem van de beek. De overige beektrajecten zijn als "river" in het model gebracht en kunnen afhankelijk van de grondwaterstand zowel draineren als infiltreren.

#### *Diffuse drainage*

Naast de waterlopen die in het digitale waterlopenbestand zijn opgenomen, zijn in het gebied greppels, sloten en andere vormen van "diffuse" drainage (bijvoorbeeld lekkende riolen en drainagebuizen) aanwezig. Met de parameters drainageweerstand, infiltratieweerstand (deklaagweerstand) en drainagebasis is de drainerende werking van deze diffuse drainage gesimuleerd. De hiervoor gehanteerde waarden zijn weergegeven in tabel B4.

Tabel B4. Gehanteerde parameters diffuse drainage.

Parameter	Eenheid	Stuwwal / landelijk	Hengelo / Stedelijk
Drainageweerstand	Dagen	1000 - 5.000	1000
Drainagebasis	Meter	1.5 m -mv	2 m -mv / 1.5 m -mv

De drainageweerstand is over het grootste deel van het gebied vrij hoog ingeschat. Als drainagediepte is 1 m –mv genomen voor het buitengebied ( $\approx$  sloot/greppel diepte) en 1.5 m –mv voor stedelijk gebied [Tebodin, 1999].

## B2.7 Topsysteem-grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling (RECHARGE) is bepaald als het verschil tussen neerslag en de actuele verdamping. De afvoer van de neerslag via drainage is niet in de grondwateraanvulling verdisconteerd, omdat dit apart wordt gesimuleerd met “rivers” en “drains”, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf.

De jaarsommen van de neerslag en referentie-gewasverdamping over de modelperiode zijn weergegeven in tabel B5. De gegevens over de neerslag zijn overgenomen uit de gegevens van het KNMI voor het meteorostation Twente (vliegbasis) en het meteorostation Hengelo. Voor het meteorostation Twente worden door het KNMI ook de gegevens over de verdamping verzameld.

Tabel B5. Jaarsommen neerslag en verdamping (referentie-gewas).

Jaar	Verdamping VB Twente (mm)	Neerslag VB Twente (mm)	Neerslag VB Hengelo (mm)
1991	528.7	595.4	640.4
1992	576.2	738.1	793.7
1993	514.5	1061	1090.7
1994	542.6	1030.4	1065.4
1995	589.7	813.1	791.7
1996	520.7	687.8	682.4
1997	567.1	733.1	720.6
1998	485.2	1109.1	1065.1
Gemiddeld 1991-1998	540.6	846.0	856.3

De actuele verdamping is bepaald voor verschillende vormen van landgebruik afgeleid van de gemiddelde potentiële verdamping van het hoofdstation De Bilt. De gemiddelde potentiële verdamping is hier voor de modelperiode nagenoeg hetzelfde als het meteorostation Twente. In tabel B6 zijn per vorm van landgebruik de potentiële en actuele verdamping en het resulterende neerslagoverschot weergegeven.

Tabel B6. Grondwateraanvulling per landgebruik.

Landgebruik	neerslag <sup>1</sup> (mm/j)	verdamping (mm/j)		factor	grondwateraanvulling (mm/j) / mm/d
		potentieel <sup>2,3</sup>	actueel		
Gras	850	540	540		310 / 0.85
Loofbos	850	484	484		366 / 1.00
Naaldbos	850	606	485		365 / 1.00
Stedelijk gebied	850	540	540	0,5	155 / 0.42
Heide	850	410	410		440 / 1.20

1) Neerslag is gemiddelde beide stations 1991-1998.

2) Referentiegewasverdamping op basis van jaarsom van meteo-station De Bilt.

3) De potentiële verdamping bij naald- en loofbos is inclusief interceptie (op basis van CAPSEV-reeksen, van meteorostation De Bilt).

Bij de afleiding van de grondwateraanvulling spelen de volgende overwegingen:

- De potentiële verdamping van naaldbos bedraagt voor de beschouwde periode circa 606 mm/jaar. De actuele verdamping van naaldbos bedraagt in zandige gebieden circa 80% van de potentiële verdamping [Meinardi, 1994]. Dit leidt tot een actuele verdamping van  $(0,8 * 646 \text{ mm/jaar} =) 484 \text{ mm/jaar}$ , bijna gelijk aan de verdamping in naaldbos;
- De actuele verdamping van gras en loofbos is vrijwel gelijk aan de potentiële verdamping;
- Voor stedelijk gebied is de verdamping van grasland aangehouden. Bij stedelijk gebied wordt aangenomen dat 50% van de neerslag direct afgevoerd wordt via de riolering;
- Berekening en oppervlakkige afvoer spelen (ondanks het sterke reliëf) geen rol van betekenis in het gebied.

Het landgebruik per modelknoop is bepaald uit de LGN3 (landgebruikskarta van Nederland). Hierbij is het landgebruik toegekend dat het meest voorkomt binnen het invloedsoppervlak van de modelknoop. De gehanteerde grondwateraanvulling voor de cellen is ruimtelijk weergegeven in figuur B10.

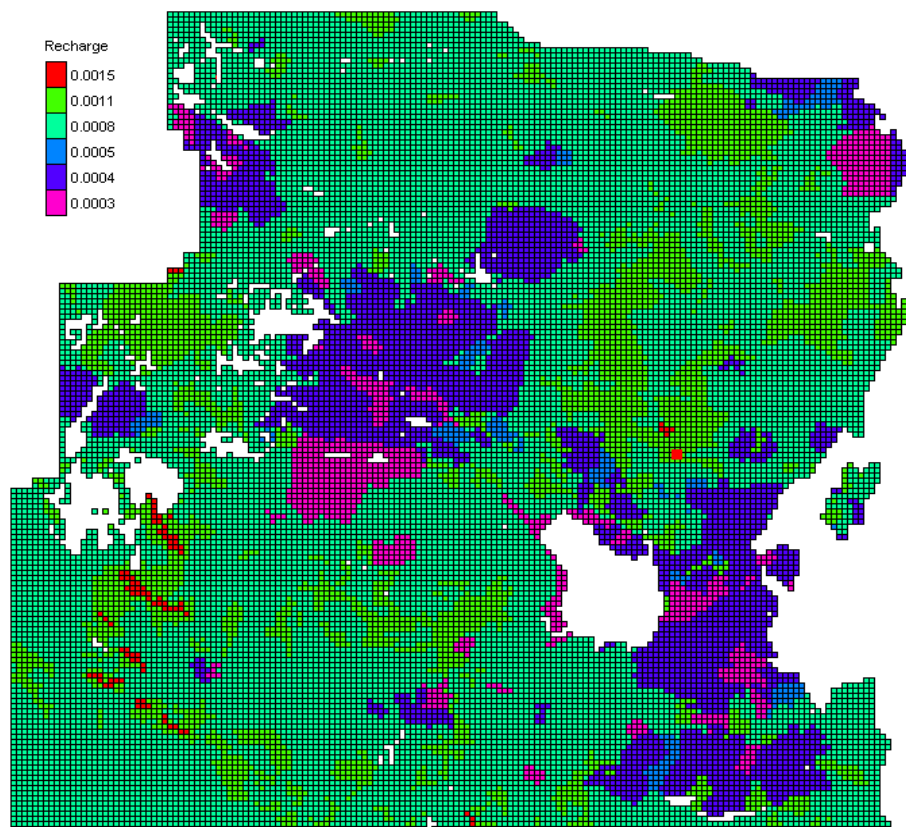


Fig. B10. Grondwateraanvulling (m/dag) modelgebied.

In het gebied is ook specifiek een studie uitgevoerd naar infiltratiesnelheden en daarmee de gemiddelde grondwateraanvulling [Meinardi, 1994]. Op basis van dateringen van het grondwater met behulp van tritiummetingen, zijn hierbij de volgende waarden voor de grondwateraanvulling gevonden:

Enschede Bos	1.06 mm/d	=	371 mm/jaar;
Hengelo Gras	0.83 mm/d	=	289 mm/jaar.

Deze waarden zijn zeer goed in overeenstemming met de ingevoerde waarden berekend met neerslaggegevens, verdampingsgegevens en de Makkink-correctiefactoren.

## B2.8 Onttrekkingen

In figuur B11 zijn de onttrekkingen weergegeven die in het model zijn opgenomen. De diepte en het debiet van deze onttrekkingen zijn weergegeven in tabel B7. In eerste instantie zijn alle onttrekkingen, die binnen het modelgebied liggen en in 1998 een onttrekkingsdebiet van meer dan 50.000 m<sup>3</sup>/jaar hadden, opgenomen in het model. Bij het genereren van het modelnetwerk zijn de locaties van de onttrekkingen al opgenomen in het netwerk. De aangehouden dieptes van de onttrekkingen zijn afgestemd op de diepteligging van de watervoerende lagen.

Binnen het modelgebied zijn een aantal grondwaterwinningen voor de drinkwaterbereiding. Dit zijn de pompstations Hengelo, Hasselo, Enschede, Losser en Oldenzaal. Deze laatste is in 2001 stopgezet, maar nog wel in dit model opgenomen, omdat het tijdvak 1991-1998 is beschouwd (voor deze periode zijn ook de benodigde stijghoogtegegevens aanwezig). Grote industriële onttrekkingen zijn die van Grolsch en Texoprint. In Enschede zijn diverse relatief kleine grondwateronttrekkingen aanwezig (De Volkswoning) die specifiek zijn ingesteld om grondwateroverlast in de stad te voorkomen. In eerste instantie zijn deze kleine onttrekkingen niet ingevoerd, maar na aanpassing van de doorlatendheden ter plaatse van uitwiggende lagen zijn ook deze relatief kleine onttrekkingen opgenomen in het model. Bij de invoer van enkele van deze onttrekkingen is afgeweken van de aangegeven onttrekkingsdiepte, omdat deze anders in kleiige lagen zouden worden gemodelleerd. De onttrekking is dan toegekend aan de onderliggende of bovenliggende goed waterdoorlatende laag.

Tabel B7. Ingevoerde grondwateronttrekkingen.

Naam	x	y	diepte (m -mv)	diepte (m NAP)	filterlengte (m)	Q (m <sup>3</sup> /d)
Pompstation Hasselo	251050	478550	15.3	16.8	5	-1468
Texoprint	251850	469550	25.4	2	10	-1360
Pompstation Hengelo	251850	475350	20.0	21	5	-1384
Gemeente Enschede, Westervalweg / Agglomeratie	255550	471150	31.9	5.8	5	-1172
Pompstation Weerseloseweg	256450	474350	31.8	4.5	10	-2052
De Volkswoning Enschede, T Ainsworthplantsoen	256650	470550	34.7	6.7	5	-100
De Volkswoning Enschede, Spinnerstraat	256750	470350	35	7	5	-170
De Volkswoning Enschede, Goormatdwarsweg	256750	470750	35	7.6	5	-58
De Volkswoning Enschede, Pathmossingel	256850	470250	35.3	6.9	5	-96
Gemeente Enschede, van Heekpark	256950	472250	36.0	4.9	10	-168
Rijkswaterstaat, RW 35 Enschede	257050	469150	36.4	2.1	10	-162
Wasserij Rentex de Bolhaar, Enschede	257150	473250	36.2	17	1.5	-108
Grolsche Bierbrouwerij Nederland	257750	472650	40.8	9.1	10	-2365
Pompstation Kotmanlaan Enschede Centrum	257850	470850	40.1	7.5	8	-908
Prov. Overijssel, Roomweg te Enschede	258050	472550	42.3	12.1	8	-419
Rijksmuseum Twente, Enschede	258150	472150	43.8	11	10	-165
Pompstation Oldenzaal	258550	479950	33.2	14.4	8.5	-5725

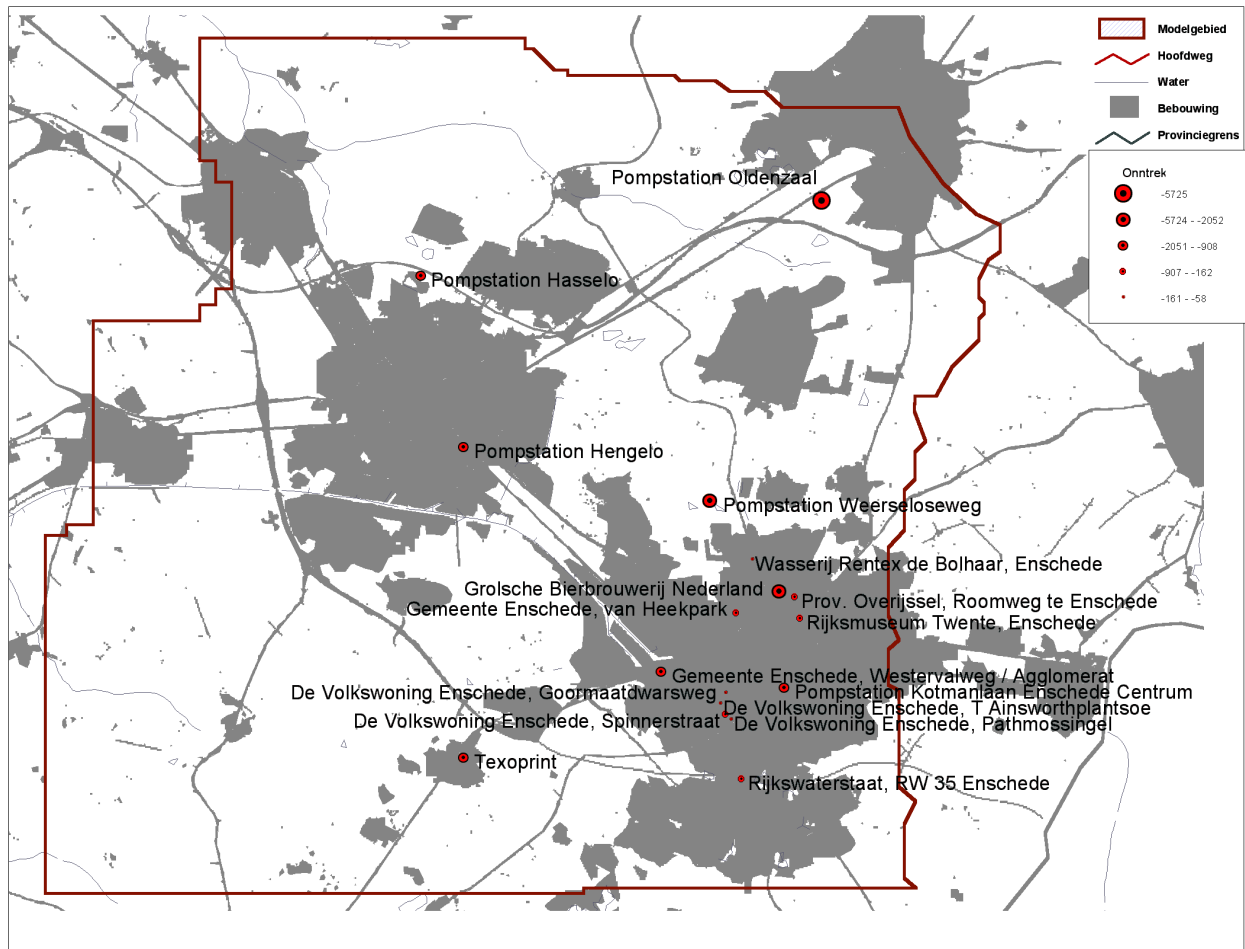


Fig. B11. Overzicht grondwateronttrekkingen studiegebied.

## HOOFDSTUK B3

### CALIBRATIE

#### B3.1 Gevolgde methode calibratie

Om te komen tot betrouwbare modelparameters, is het model zowel handmatig als met behulp van PEST gecalibreerd. PEST is een programma voor automatische parameteroptimalisatie. Bij de calibratie wordt het model op een fysisch verantwoorde wijze aangepast, zodat het zo goed mogelijk de werkelijkheid beschrijft. Bij de calibratie zijn met name die parameters van belang, waarvan relatief weinig betrouwbare gegevens beschikbaar zijn én waarvoor het modelresultaat relatief gevoelig is.

Het stationaire model is gekijkt voor de langjarig gemiddelde situatie van 1991 tot en met 1998. De grondwaterstanden uit peilbuisfilters zijn on-line verkregen vanuit de DINO-databank van NITG-TNO. Alleen reeksen met meer dan honderd metingen binnen de calibratieperiode 1991-1998 zijn beschouwd en alleen reeksen waarbij de standaarddeviatie (als maat voor de fluctuatie van de grondwaterstand) minder dan 2 meter bedroeg.

De peilbuizen die gebruikt konden worden voor de calibratie, zijn niet homogeen over het gebied verdeeld. Peilbuizen die dicht bij een geschematiseerde winning staan kunnen door de “steile” afpompingskegel en vrij grove modelresolutie (50 m) een berekende stijghoogte geven die sterk afwijkt van de werkelijke stijghoogte. Hiermee is bij de beoordeling van de afwijkingen rekening gehouden.

Voordat parameters na de eerste invoer zijn aangepast, zijn handmatig parameters aangepast waar bleek dat de invoer ervan de werkelijke situatie onvoldoende beschreef. Vervolgens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Dit om na te gaan in hoeverre onzekerheden (variatie) van de verschillende modelparameters doorwerken op de berekende grondwaterstanden en grondwaterstroming. Na de gevoeligheidsanalyse zijn de meest gevoelige parameters verder gecalibreerd met behulp van PEST.

#### B3.2 Eerste stappen calibratie

De eerste stappen van de calibratie betreffen de volgende aanpassingen:

- Aanpassen k- en c-waarden ter plaatse van uitwiggende lagen (zie paragraaf 2.3);
- Aanpassing beken;
- Invoer beekpeilen t.o.v. NAP in plaats van m-mv;
- Simulatie droogvallende beektrajecten als “drain” in plaats van “river”;
- Aanpassing beekpeilen (0,15 waterdiepte in plaats van 0,5 m);
- Invoer aanvullende (resterende) grondwateronttrekkingen (zie paragraaf 2).

De verbetering van deze calibratiestappen op de berekende grondwaterstanden is weergegeven in tabel B8.

Tabel B8. Opeenvolgende calibratiestappen en afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstijghoogten.

Ingreep	Gemiddelde afwijking (m)*	Gemiddeld absolute afwijking (m)	Gem. kwadratische afwijking (m)
0. initieel model	Instabiel, >3m	Instabiel	Instabiel
1. aanpassing geologie (zie par. 3.3)	1.23 m	1.39 m	2.26 m
3. waterpeil beken in NAP i.p.v. m-mv	0.62 m	1.02 m	1.42 m
4. droogvallende beektrajecten (drain, geen infiltratie)	0.53 m	0.90 m	1.33 m
5. waterdiepte beken 0,15 m (i.p.v. 0.50 m)	0.15 m	0.86 m	1.29 m
6. aanzetten resterende grondwateronttrekkingen**	0.05 m	0.83 m	1.25 m
7. na parameteroptimalisatie PEST	0.06 m	0.72 m	0.52 m
exclusief peilbuizen stuwwal (stijghoogte > 40m)	0.01 m	0.52 m	

\* De afwijking is gedefinieerd als de berekende - gemeten grondwaterstand; per stap is de initiële afwijking aangegeven.

\*\* Hierdoor is het model wel instabieler geworden, omdat ter plaatse sommige cellen bijna of geheel droogvallen.

Uit tabel B8 blijkt dat vooral met de aanpassing van de doorlatendheden bij uitwiggende lagen een betere modelbeschrijving wordt verkregen. De grootste verbetering daarna betreft de nauwkeuriger invoer van de beekpeilen ten opzichte van NAP.

### B3.3 Gevoeligheidsanalyse

Zoals tijdens de invoer al bleek is het model zeer gevoelig voor drainagediepte van de beken, de reden dat deze zijn vastgezet op de data, zoals aangeleverd door het waterschap. Omdat beken de voornaamste vorm van drainage zijn, is de relatie bijna 1 op 1. Dit is in tabel B8 te zien bij calibratiestap 5. Omdat diffuse drainage en neerslag een zeer grote correlatie vertonen, wordt in gebieden waarvan bekend is dat er een hogere slootdichtheid is, de diffuse drainageweerstand verlaagd en dus niet op neerslag gecalibreerd.

Geconcludeerd wordt dat de drainage en de kD-waarden het meest gevoelig zijn. Dit is in een systeem met belangrijke scheidende lagen en een dicht oppervlaktewatersysteem in overeenstemming met de verwachting. Hoewel de drainagebasis en drainageweerstand van de beken zeer gevoelig zijn, zijn ze na calibratiestap 5 niet verder aangepast, omdat niet verwacht wordt dat dit niet leidt tot een fysisch beter model.

Met behulp van PEST is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van de horizontale en verticale doorlatendheden van de 7 pakketten. De resultaten zijn weergegeven in de grafiek van figuur B12. Hieruit wordt geconcludeerd, dat voor de watervoerende pakketten 1, 3, 5 en 7 geldt dat de horizontale doorlatendheid ( $k_H$ ) veel gevoeliger is dan de verticale doorlatendheid. Voor de scheidende lagen 2, 4 en 6 geldt dat met name de verticale doorlatendheid gevoelig is.



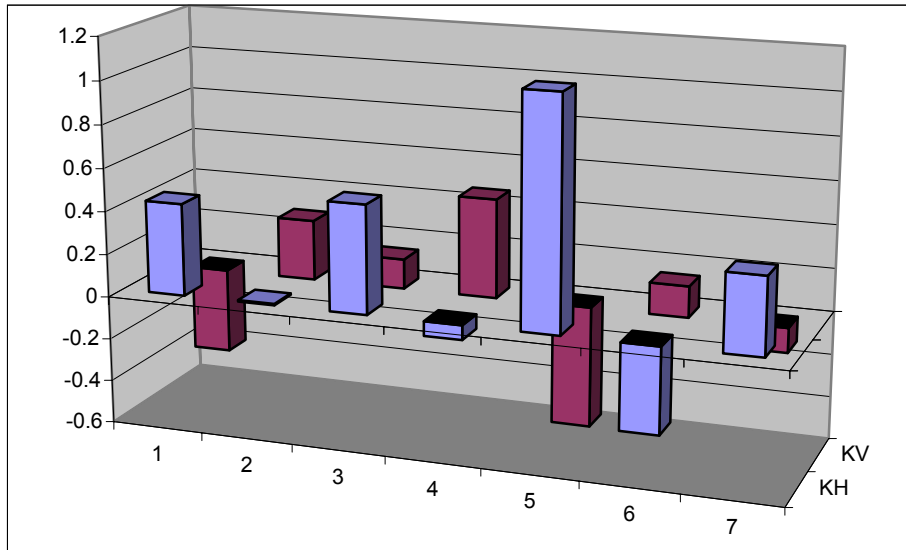


Fig. B12. Gevoeligheidsanalyse doorlatendheden grondwatermodel (logaritmisch, ten opzichte van gemiddelde).

### B3.4 Eindcalibratie

Gebleken is dat de afwijkingen tussen berekende en gemeten stijghoogten vooral bepaald worden door de grondwateraanvulling, drainage en doorlaatvermogens. Deze parameters zijn sterk gecorreleerd, zodat ze niet tegelijk geoptimaliseerd kunnen worden. In de calibratie is ervoor gekozen om de doorlaatvermogens te optimaliseren bij een vastgestelde grondwateraanvulling. De grondwateraanvulling is derhalve zo nauwkeurig mogelijk bepaald op basis van lokale gegevens over de neerslag en verdamping, algemene literatuur en het landgebruik. De drainageniveaus van de beken zijn het meest bepalend voor de modellering van de drainage. Deze zijn voldoende betrouwbaar ingevoerd. De aangenomen in- en uittredeweerstand worden qua orde van grootte vrij algemeen in Nederland gehanteerd en zijn verder niet aangepast. Tijdens de laatste calibratiestap zijn alleen de k-waarden van de lagen met behulp van PEST geoptimaliseerd. Hierbij zijn de volgende geoptimaliseerde k-waarden gevonden:

Laag	$K_H$	$K_V$
1	12	6.9
2	0.006	0.02*
3	20*	20*
4	0.02*	0.004
5	19	16
6	0.019	0.015
7	15	26

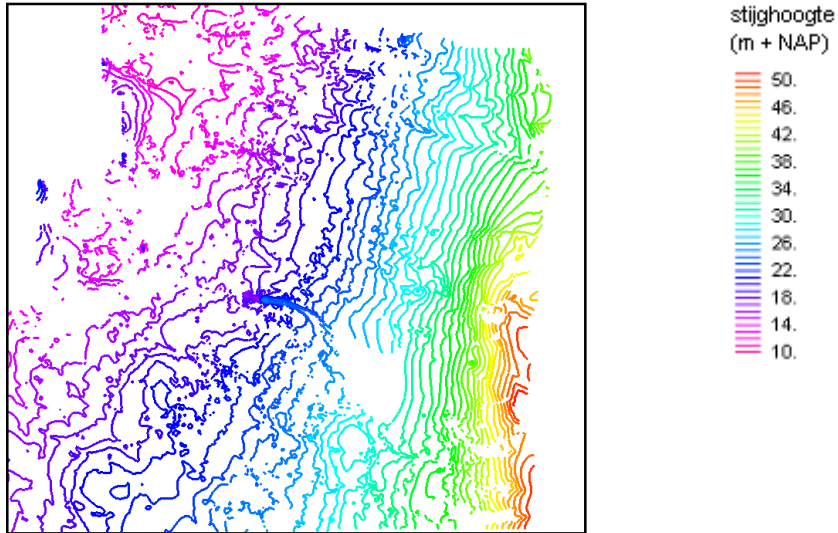
\* Is gelijk aan de boven- of ondergrens die voor de parameteroptimalisatie was aangehouden.

Nadat deze waarden in het model zijn geïmplementeerd, is de afwijking tussen de berekende en gemeten grondwaterstijghoogten kleiner geworden. In het uiteindelijke model is alleen laag 1 aangepast (zie calibratiestap 7 in tabel B8), omdat de geoptimaliseerde waarde sterk afweek van de initiële ingevoerde k-waarde. Voor de overige lagen zijn de initiële k-waarden aangehouden, omdat de licht afwijkende k-waarden die met de parameteroptimalisatie zijn gevonden, door de geringe verbetering van de afwijking niet duidelijk betrouwbaarder zijn.

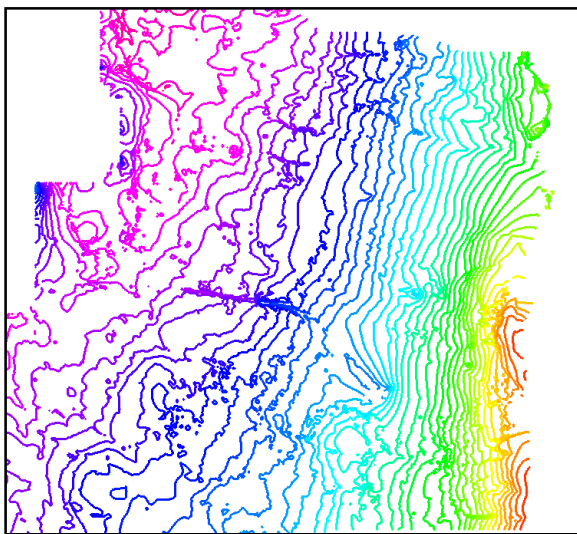
De berekende isohypsen van het grondwater zijn voor laag 1, 2 en 5 weergegeven in figuur B13.

De resulterende afwijking tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden is weergegeven in figuur B14 en B15.

### Berekende Stijghoogte laag 1



### Berekende Stijghoogte laag 2



### Berekende Stijghoogte laag 5

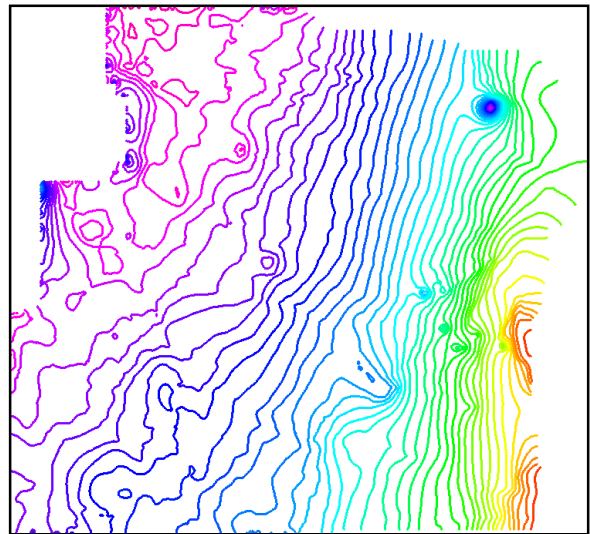


Fig. B13. Berekende isophypsen grondwatermodel.

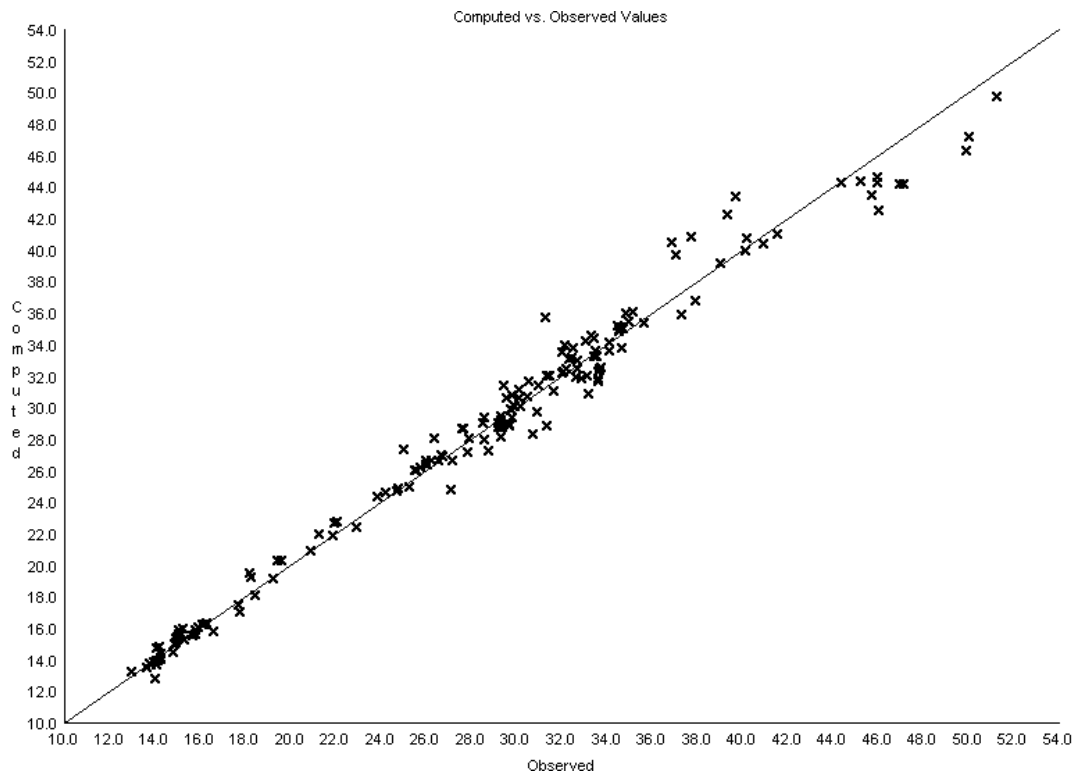


Fig. B14. Afwijkingen tussen berekende en gemeten stijghoogten.

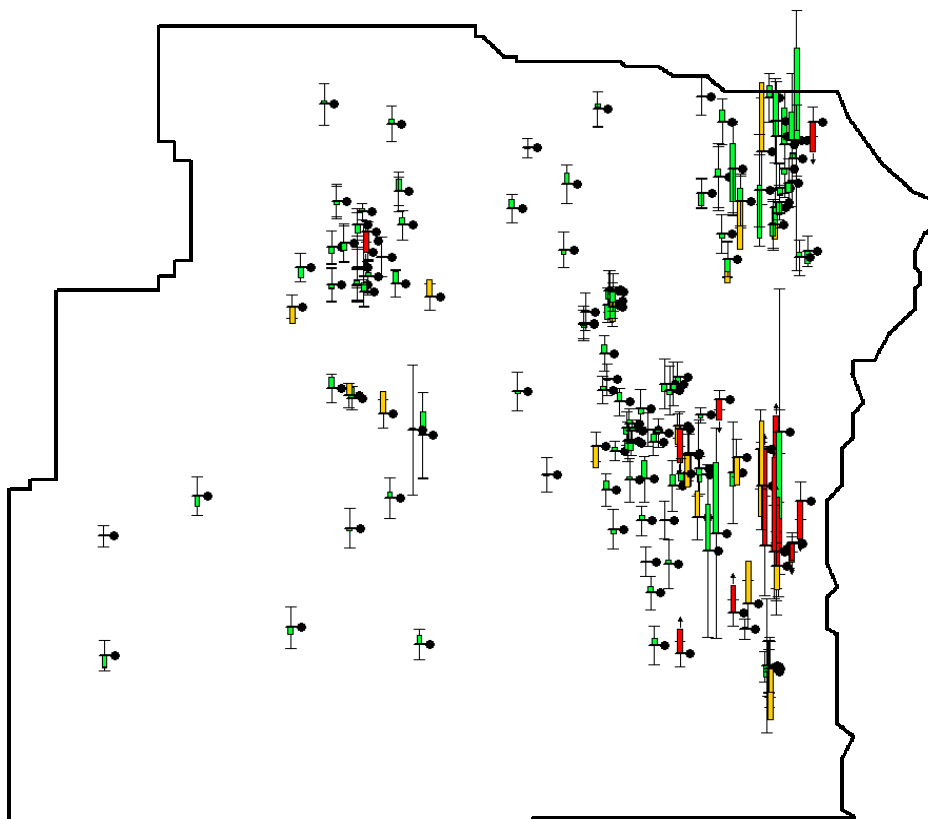


Fig. B15. Ruimtelijk overzicht afwijkingen. Bij de groene “staven” is de afwijking kleiner dan de standaarddeviatie van de fluctuatie (STD), bij de oranje tussen 1 en 2 STD en bij de rode > 2 STD.

Na de optimalisatie van de doorlatendheden zijn de afwijkingen tussen de gemeten en berekende grondwaterstijghoogten acceptabel. Wel komen er vrij grote afwijkingen voor op de stuwwal bij Enschede. Dit is ook in andere studies een onopgehelderd probleem. Omdat de stuwwal een gering doorlaatvermogen heeft, wordt de invloed van deze afwijkingen op de grondwaterstroming in en rondom Hengelo gering geacht.

### B3.5 Verschillen met voorgaande modellen

Samenvattend wordt hieronder in tabel B9 een overzicht gegeven van de conceptuele verschillen tussen het voor deze studie opgezette grondwatermodel en het grondwatermodel dat voor de grondwateroverlast-problemen voor de gemeente Hengelo is opgezet [Tebodin 1999].

Tabel B9. Verschillen tussen de twee modellen.

	Tebodin 1999	Dit model
Soort laag	Allen Confined	1: Unconfined 2+3: Conf / Unconf 4-7: Confined
ontwateringsniveau beken	Aan maaiveld: Primaire stelsel –1.5m Secundaire beken –1m	NAP-gegevens waterschap
Infiltratie beken	Alle beken kunnen infiltreren	Droogvallende beken kunnen alleen draineren
Bodemweerstand beken	Geen verschil	
Diffuse drainageweerstand landelijk gebied	34 – 209 dagen	1000 – 5000 dagen
Diffuse drainageweerstand stedelijk gebied (Hengelo)	$\infty$ (geen drainage grootste deel) 1 – 6 dagen sommige wijken	1000 – 5000 dagen
Diffuse drainage diepte	Geen verschil	
Randvoorwaarde modelgrens	Alle randen vaste-stijghoogte	Oostelijk deel No-flow, westelijk deel vaste-stijghoogte
Geologie	REGIS	Aangepast zodat lagen kunnen uitwijken

Deze verschillen komen duidelijk tot uitdrukking in de waterbalans van de grondwatermodellen. Dit is aangegeven in figuur B16.

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL IN STRESS PERIOD 1	
CUMULATIVE VOLUMES L**3	
IN:	
CONSTANT HEAD =	4726.2925
DRAINS =	0.0000
RIVER LEAKAGE =	11073.9619
RECHARGE =	75001.8750
TOTAL IN =	90802.1328
OUT:	
CONSTANT HEAD =	11108.3701
DRAINS =	71993.1406
RIVER LEAKAGE =	7700.3911
RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	90801.8984

IN:	
CONSTANT HEAD =	6885.9453
WELLS =	0.0000
DRAINS =	0.0000
RIVER LEAKAGE =	14559.7842
RECHARGE =	177191.0000
TOTAL IN =	198636.7344
OUT:	
CONSTANT HEAD =	3315.9253
WELLS =	14289.5596
DRAINS =	16958.9219
RIVER LEAKAGE =	164105.8906
RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	198670.2969

Fig. B16. Waterbalans Tebodin-model Hengelo (links) en deze modelstudie (rechts).

Globaal kan van het Tebodin-model worden gezegd dat de beken netto infiltreren en dat bijna alle neerslag door diffuse drainage uit het model verdwijnt. In het nieuwe model nemen de beken 80% van de drainage voor hun rekening, gevolgd door onttrekkingen en diffuse drainage (beide 10%).

### EVALUATIE GRONDWATERMODEL

Voor Hengelo en omgeving is een gedetailleerd grondwatermodel opgezet. De afwijkingen tussen de berekende en gemeten stijghoogten zijn acceptabel te noemen, vooral gelet op de sterke gradiënt in het modelgebied en de sterke en snelle dynamiek van het grondwater op de stuwwal.

Door de kleine modelresolutie (celgrootte 50 bij 50 m) kan hiermee de grondwaterstroming naar de beekdalen vrij redelijk in beeld worden gebracht. Bij de opzet van het model is vooral veel aandacht gegeven aan de invoer van de doorlatendheden en de ontwatering. Gebleken is dat een duidelijk betere modelbeschrijving wordt verkregen, als op plaatsen waar scheidende lagen uitwippen geen (kleine) dikte voor de scheidende laag wordt ingevoerd, maar de laagdikte wordt toegekend aan het onder- of bovenliggende watervoerende pakket. In het modelgebied zijn zeer veel beken aanwezig die digitaal zijn opgenomen in het waterlopenbestand van het waterschap. Bij de modellering van dit beeksysteem is gebleken dat een goede modelbeschrijving alleen wordt verkregen als het drainageniveau van de beken ten opzichte van NAP wordt ingevoerd. Deze NAP-hoogten zijn niet direct uit het waterlopenbestand te destilleren. Voor invoer van de bodemhoogten of stuwpeilen dient tussen de knooppunten namelijk geïnterpoleerd te worden. Daarnaast dient de waterdiepte te worden geschat om het beekpeil en daarmee het drainageniveau per modelcel te bepalen.

Geconcludeerd kan worden dat het gecalibreerde grondwatermodel geschikt is om de herkomst en leeftijd van het grondwater te bepalen en grondwatersystemen te kunnen onderscheiden. Hierbij dient wel te worden bedacht, dat alleen op grondwaterstanden is gecalibreerd.

Voor een meer betrouwbare modellering van de drainage zou een calibratie op beekafvoeren kunnen worden uitgevoerd. Hiervoor dienen gemeten beekafvoeren beschikbaar te zijn. In principe kan de ijking op drainageafvoeren ook beter met een niet-stationaire modellering worden uitgevoerd. Ook zou gekeken kunnen worden naar de afvoer van grondwater via lekke riolering. Dit zal met name beter inzicht geven in de mate waarin grondwateroverlast toeneemt bij vervanging van oude (lekke) riolen of bij reductie van grote grondwaterwinningen. Een meer betrouwbare invoer van de grondwateraanvulling in het landelijk gebied zou verkregen kunnen worden door gebruik te maken van remote sensing.

Met de gevoeligheidsanalyse is niet nagegaan in hoeverre variatie van onzekere parameters doorwerken in de berekende stromingsrichting en leeftijd van het grondwater. Voor een meer betrouwbare simulatie van de grondwaterstroming en het stoftransport via het grondwater, zou getoetst moeten worden of de berekende stromingsrichting overeenkomt met waargenomen verspreiding van tracers (mobiele stoffen in het grondwater waarvan de herkomst in tijd en ruimte bekend is) en dateringen van het grondwater.

BIJLAGE C

**ACHTERGRONDINFORMATIE WERKSESSIE**

## Case 1: Locatiekeuze stedelijke grondwaterwinning Hengelo

### Achtergrond

Vitens heeft twee winningen in de omgeving van Hengelo-stad. Eén ervan is gesloten en voor de ander is Vitens voornemens deze te sluiten. Reeds voorafgaande aan de sluiting was er al grondwateroverlast in de stad, deze zal nog verder toenemen door de sluiting van beide. In het licht van integraal stedelijk waterbeheer hebben de actoren het plan om twee winningen in de stad te handhaven, teneinde de huidige en mogelijk toenemende stedelijke grondwateroverlast op te lossen.

De vier “zoek-locaties” zijn weergegeven in figuur C1. Pompstation Hasselo is bestaand, pompstation Hengelo is een paar jaar geleden buiten bedrijf genomen. Elke mogelijke locatie onttrekt 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Hasselo en Hengelo in ieder geval met (de bestaande) verticale filters, de overige twee locaties bij voorkeur met horizontale filters. Voor de onttrekkingsdiepte wordt gedacht aan 10-30 m–mv. De bestaande onttrekking door pompstation Hasselo wordt dus vervangen door 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (thans ongeveer 700.000 m<sup>3</sup>/jaar).

Voor Vitens is het van belang om de ruwwaterkwaliteit te kunnen inschatten voor elk van de vier zoeklocaties. Zowel de macrosamenstelling als de eventuele aanwezigheid van microverontreinigingen zijn bepalend voor de noodzakelijke behandeling van het ruwwater en daarmee ook de dimensionering van de noodzakelijke waterzuivering.

*Te nemen beslissing actoren* (Vitens, Gemeente, Waterschap, Provincie):

- Keuze onttrekkingslocaties;
- Mogelijke reductie grondwaterbelasting met het oog op verhoogde zuiveringskosten.

### Opdracht 1

#### Locatiekeuze benodigde zuivering:

- Welke locatie levert de beste kwaliteit grondwater?

Aanname: de grondwaterkwaliteit speelt een rol bij de locatiekeuze, gelet op de mogelijk hoge zuiveringskosten, zie onderstaande tabel (H<sub>2</sub>O 2002).

Tabel C1. Vitens-kwaliteitsgegevens

reinwaterproductie uit:	kosten winning + zuivering		grondwaterbelasting
eenvoudig grondwater	0,15	beluchten en snelfiltratie	0,18
moeilijk grondwater	0,47	ook ontharden, ontkleuren	0,18
oppervlaktewater	0,82	0,82	0,00
(verontreinigd) stedelijk grondwater	0,62	Nano, UV, actief kool,..	0,20



Maak in onderstaande tabel een schatting van de concentraties en beoordeel de locaties gelet op de kwaliteit (rangorde).

Noteer eerst met **blauwe** stift een schatting van de kwaliteit en rangorde met uitsluitend gebruik van de Vitens-kwaliteitsgegevens (tabel C1). Noteer dan met **rode** stift aan de hand van de grondwaterkwaliteitskaarten en/of tabellen een tweede schatting.

stof	PS Hengelo	PS Hasselo	PS Kleine Driene	PS Weidedorp
IJzer				
Arseen				
Zink				
Tri				
voorkeurslocatie (rangorde)				

### Opdracht 2

Voor de winning hoeft géén grondwaterbelasting te worden betaald wanneer deze bijdraagt aan de sanering van bestaande verontreinigingspluimen.

➤ Teken in kaart C2a de “ beste” locatie voor een stedelijke grondwaterwinning.

Deze locatie moet goed scoren als grondwatersanering van bestaande pluimen. Teken eerst met **blauwe** stift een locatie met behulp van de pluimenkaart van de Gemeente. Kies daarna opnieuw een locatie door gebruik te maken van de overige grondwaterkwaliteitskaarten en proceskennis en teken deze in met **rode** stift. Beargumenteer deze laatste locatiekeuze.

### Opdracht 3 en 4

Vul de vragenlijst in en presenteer aan de hand van enkele sheets jullie resultaten.

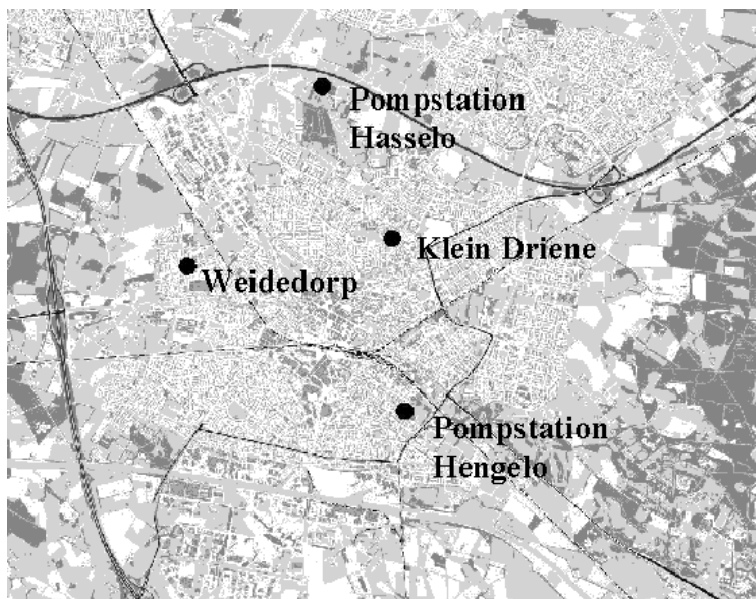


Fig. C1 De onttrekkingslocaties welke worden onderzocht op grondwaterkwaliteit.



Fig. C2a. Topografie, verontreinigingen en intrekgebied van PS Hasselo. Omdat PS Hasselo een reeds bestaande onttrekking is, is er bij de stadsuitbreiding rekening gehouden met het grondwaterbeschermingsgebied. Het landgebruik is dan ook overwegend natuurlijk en agrarisch.

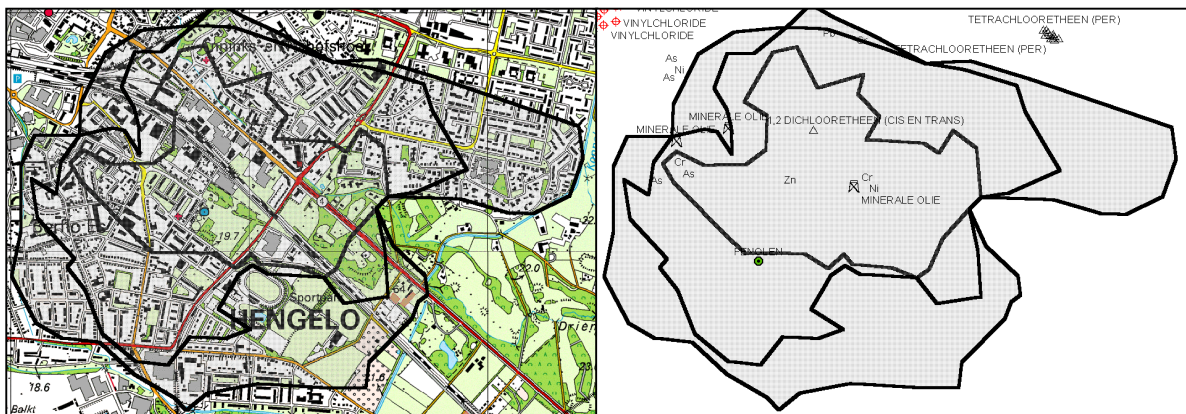


Fig. C2b. Topografie, verontreinigingen, en intrekgebied van PS Hengelo. In het rechter figuur zijn de meetlocaties aangegeven waar tussenwaarden worden overscheden, tezamen met het (stedelijke) intrekgebied. Vermoedelijk missen er in dit gebied zeer veel BIS-gegevens.



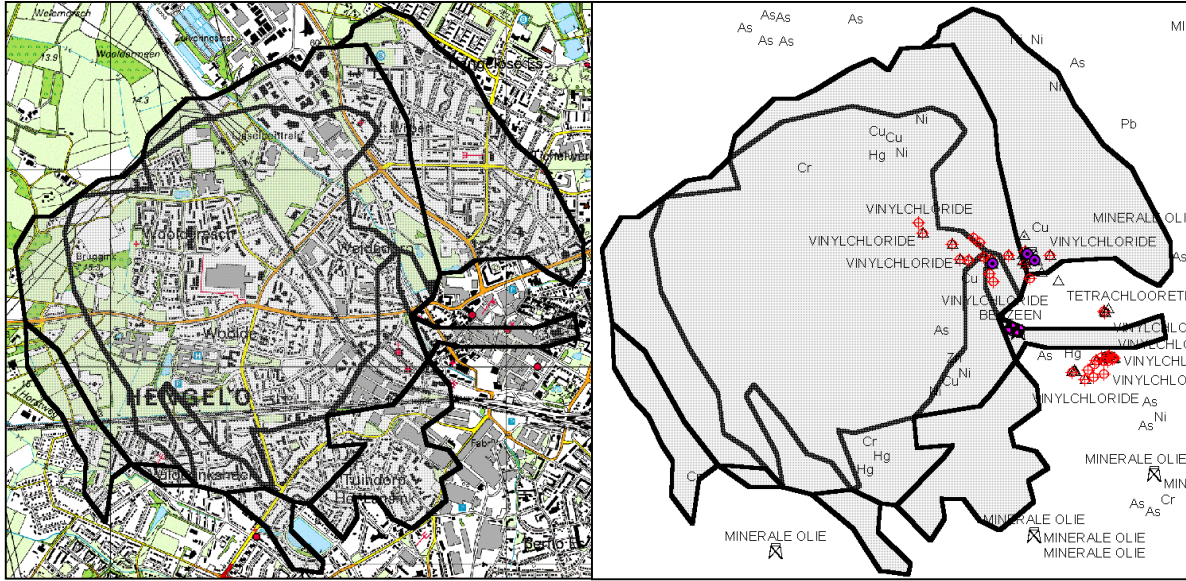


Fig. C2c. Topografie, verontreinigingen en intrekgebied van onttrekking Weidedorp.

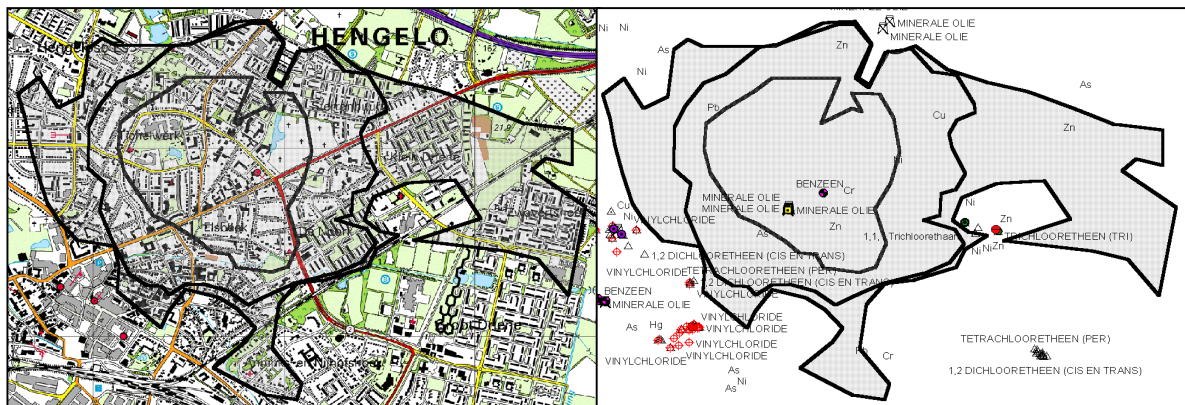


Fig. C2d. Reistijdzones en verontreinigingssituatie grondwater winlocatie Klein Driene.

## Case 2: Beoordeling meetgegevens NAVOS Provincie

### *Achtergrond*

De Provincie wil met NAVOS (NAZorg VOormalige Stortplaatsen) een beter inzicht krijgen in de aard en mate van verontreiniging van grond- en grondwater op en rond voormalige stortplaatsen. Dit gebeurt door het monitoren van de grondwaterkwaliteit gedurende een aantal jaren. Daarnaast wordt éénmalig de afdeklaag onderzocht. Na de monitoring en het deklaagonderzoek wordt een onderverdeling van de oude stortplaatsen gemaakt in de volgende drie categorieën:

- Stortplaatsen die ernstige bodemverontreiniging veroorzaken, worden aangepakt binnen de Wet bodembescherming (Wbb);
- Stortplaatsen die geen ernstige verontreiniging veroorzaken, maar waar wel nazorg noodzakelijk is. Deze zullen een nog te ontwikkelen nazorgtraject gaan volgen;
- Stortplaatsen die op basis van de resultaten “af kunnen vallen”, omdat er niets (qua bodemverontreiniging) aan de hand blijkt te zijn.

Voor de Provincie zijn de gegevens van het NAVOS-programma nader bestudeerd. Twee cases zijn aangedragen, namelijk project 110.48 en 110.22, beide gelegen aan de stadsrand van Hengelo (zie figuur C3).

### **Opdracht 1 en 2 (2 stortplaatsen):**

Bestudeer de kaart en tabel C2.

Markeer met **blauwe** stift in tabel C2 de peilbuisfilters die beïnvloed zijn door de stort.

Beantwoord hierna de volgende vragen:

- Wat is de lokale stromingsrichting van het grondwater?
- Bevindt de stort zich in een kwel- en infiltratiegebied?
- Waar komt het water vandaan en wat is daarmee het grondwatertype (lokaal of ver)?
- Hoe verhouden de analyses (tabel C2) zich tot gemiddelde en 90-percentiel gebiedswaarden?

Beoordeel de verontreinigingssituatie opnieuw en geef met **rode** stift aan welke filters beïnvloed zijn. Geef voor de twee beschouwde stortplaatsen aan tot welke categorie ze behoren.



## Case 3: Beoordeling verhoogd nikkel- en arseengehalte Gemeente

### *Achtergrond*

De probleemstelling voor de Gemeente ten aanzien van de grondwaterkwaliteit is dat er geen uniforme beoordeling voor oriënterende onderzoeken (kan) plaatsvindt(en). Met name als er verhoogde gehalten aan zware metalen zijn gemeten, heeft men te weinig kennis over de grondwaterkwaliteit om uniform te beslissen of aanvullende metingen moeten worden verricht en of de locatie aangemerkt dient te worden als verontreinigd met zware metalen. Verder heeft de Gemeente de indruk dat in bepaalde wijken structureel verhoogde gehalten zware metalen worden gemeten, maar kan dit niet goed onderbouwen.

Twee cases zijn door de Gemeente aangedragen, nikkel in een landbouwgebied ten oosten van PS Hasselo en arseen in de omgeving van de RWZI in noord-west Hengelo. Een later aangedragen case met betrekking tot een zinkverontreiniging in het centrum (SBNS-lokatie) is niet mogelijk gebleken, er zijn geen analyses met coördinaten in het betreffende gebied. Van de eerste twee gevallen worden hieronder de kaarten en analyseresultaten weergegeven.

### **Opdracht 1: (voormalig) landbouwgebied met hoge nikkelgehalten**

Beantwoord de volgende vragen met behulp van de tabel met analyseresultaten:

- Zijn naast nikkel andere stoffen verhoogd in de beschouwde grondwatermonsters?
- Zou de boerderij een mogelijke bron kunnen zijn?

Bestudeer de grondwaterkwaliteitskaarten en beantwoord de volgende vragen:

- Wat is het herkomstgebied van het water? Bevinden zich hier mogelijke bronnen?
- Kwel of infiltratie?
- Zou de boer een mogelijke bron kunnen zijn?

### **Opdracht 2: hoge arseengehalten rondom rwzi**

Beantwoord de volgende vragen met behulp van de tabel met analyseresultaten:

- Worden hoge As-gehalten vooral in diepe of in ondiepe filters aangetroffen?
- Zijn naast arseen andere stoffen verhoogd in de beschouwde grondwatermonsters?
- Zou de zuiveringsinstallatie een mogelijke bron kunnen zijn?

Bestudeer de grondwaterkwaliteitskaarten en beantwoord de volgende vragen:

- Is op de locatie sprake van kwel of infiltratiekwel of infiltratie?
- Wat is het herkomstgebied van het water? Bevinden zich hier mogelijke bronnen?
- Zou de zuiveringsinstallatie een mogelijke bron kunnen zijn?



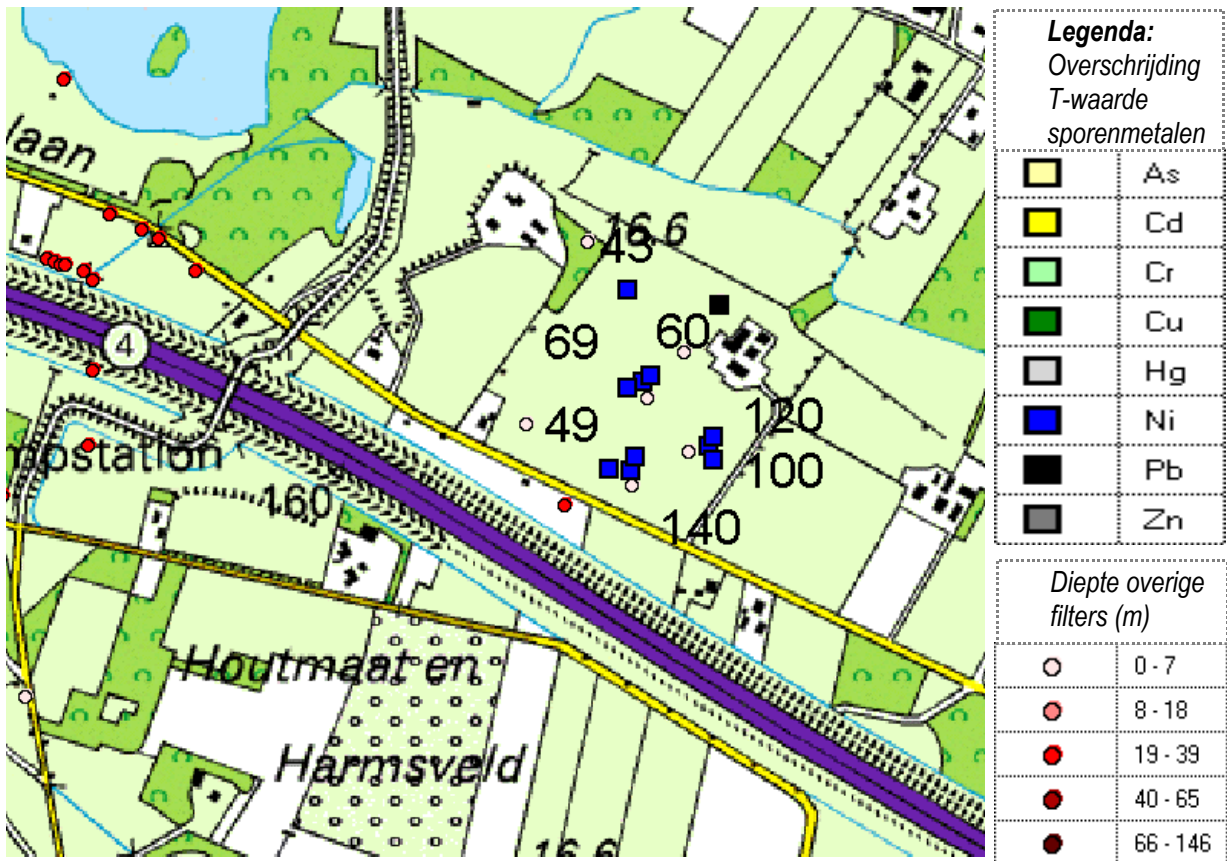


Fig. C4. Deelgebied Hengelo (landbouwgebied) met verhoogde gehalten Nikkel.

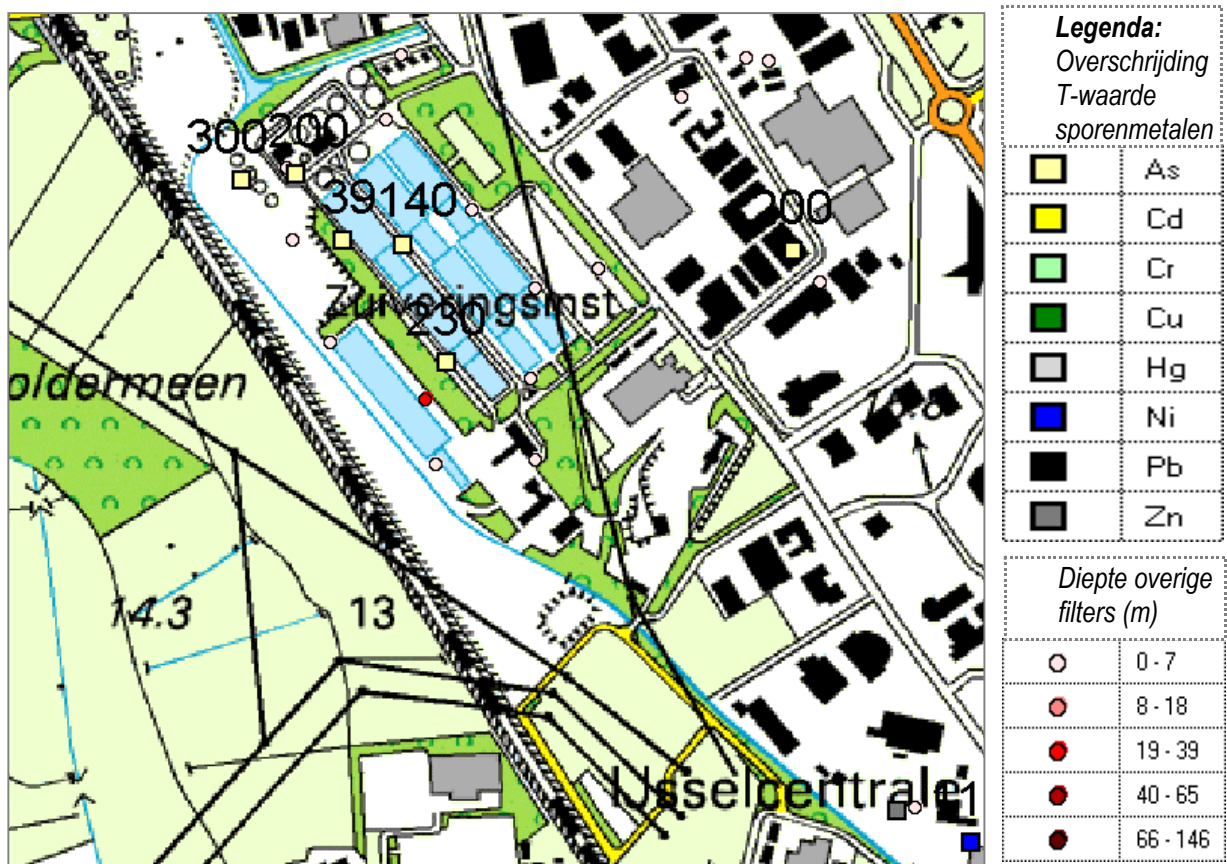


Fig. C5. Deelgebied Hengelo (rondom RWZI) met verhoogde gehalten Arseen.

### Opdracht 3: Vragenlijst (algemeen)

*Bij meerkeuze vragen aankruisen wat van toepassing is*

- a. Verandert het besluit wanneer naast de “eigen” meetgegevens ook de geleverde extra informatie en toegevoegde proceskennis wordt benut?
- opdracht 1             ja                             nee  
opdracht 2             ja                             nee
- b. Kunnen de besluiten daarmee beter worden onderbouwd?
- ja, want .....
- nee, want .....
- c. Wordt de besluitvorming vergemakkelijkt / versneld?
- ja, vooral door kaart nummer .... en/of tabel nummer ..... verkrijgen we sneller inzicht in ....
- nee, ondanks de kaarten en tabellen is het evenveel werk / even moeilijk om goed inzicht te hebben in de grondwaterkwaliteit en grondwaterverontreinigen.
- d. Welke grondwaterkwaliteitskaarten en -tabellen zijn erg duidelijk en daarmee toegankelijk?
- kaart nummer I II III IV V VI VII VIII    *omcirkel de meest toegankelijke*  
tabel nummer I II III.
- e. Welke grondwaterkwaliteitskaarten en -tabellen zijn helemaal niet duidelijk en daarmee verwarrend?
- kaart nummer I II III IV V VI VII VIII    *omcirkel de meest toegankelijke*  
tabel nummer I II III.
- f. Welke kaarten of gegevens worden (node) gemist?
- een kaart met .....
- een overzichtstabel met ....
- g. Bij welke andere problemen of besluiten kan men goed gebruik maken van de verkregen inzichten?