

SV-210

Hoge resolutie monitoring als basis
voor integraal grondwater(kwaliteits)-
beheer in stedelijke gebieden

ir. E.M. van den Berg (IWACO B.V. (thans Royal Haskoning))
dr.ir. T.J. Heimovaara (IWACO B.V. (thans Royal Haskoning))
ir. R. van de Vliet (IWACO B.V. (thans Royal Haskoning))
ir. F.Th. Verhagen (GeoDelft)
drs. Y.M.M. Veenis (Groundwater Technology B.V.)
P. de Vries (TTE)
ing. A. Lourens (TNO-NITG)

maart 2002

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, "©"Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden", maart 2002, 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, "©"High resolution monitoring as the basis for integral groundwater (quality) management within municipal areas", March 2002, 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

Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden

SKB rapportnummer

SV-210

Project rapportnummer

SV-210

Auteur(s)

ir. E.M. van den Berg
dr.ir. T.J. Heimovaara
ir. R. van de Vliet
ir. F.Th. Verhagen
drs.Y.M.M. Veenis
P. de Vries
ing. A. Lourens

Aantal bladzijden

Rapport: 44

Bijlagen: cd-rom

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

IWACO B.V. (thans Royal Haskoning) (dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)
GeoDelft (ir. F.Th. Verhagen, 015-2693568)
Groundwater Technology B.V. (drs. Y.M.M. Veenis, 015-2516372)
TTE (P. de Vries, 0570-665870)
TNO-NITG (ing. A. Lourens, 015-2696646)
Gemeente Delft (J. Tuit, 015-2602223)
Provincie Zuid-Holland (J.L. Veldhoven, 070-4416910)

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

In de gemeente Delft is in het kader van Waterstad 2000 een integraal telemetrisch meetnet ingericht. Hiermee worden met grote frequentie de grondwaterstanden, oppervlaktewaterpeilen, riooloverstorten en neerslag in een paar honderd meetpunten gemeten. Ook worden in principe zuurstof, geleidbaarheid en temperatuur meegenomen. De meetgegevens worden via telemetrie (een zender/ontvangerverbinding) op internet geplaatst en zijn on line uitleesbaar. Ook is het mogelijk via internet de instellingen van de meetinstrumenten (parameters en meetfrequentie) op afstand te wijzigen.

De vraag is nu wat gemeenten, provincies (maar ook grote industrieën) in het kader van grondwater(kwaliteits)beheer met dergelijke metingen kunnen. Een SKB-consortium onder penvoerderschap van IWACO B.V. (thans Royal Haskoning) heeft eerst vragen en behoeften van gemeenten geïnventariseerd die met het meetnet beantwoord kunnen worden. Vervolgens zijn voor enkele toepassingsmogelijkheden de bijbehorende verwerkingsmethoden en technieken toegepast. Het doel is de grote hoeveelheden data van nut te maken voor het dagelijkse werk van bijvoorbeeld gemeenteambtenaren.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

gegevensbestanden, gemeenten, geografisch informatiesysteem, grondwater, meetgegevens, monitoring, oppervlaktewater, statistische analyse, steden

Vrije trefwoorden:

Delft, (grond)watersystemen, grondwaterverontreiniging, hoge resolutie monitoring, meetsensoren

Titel project

Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden

Projectleiding

IWACO B.V. (thans Royal Haskoning)
(dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:
SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title

High resolution monitoring as the basis for integral groundwater (quality) management within municipal areas

SKB report number

SV-210

Project report number

SV-210

Author(s)

ir. E.M. van den Berg
dr.ir. T.J. Heimovaara
ir. R. van de Vliet
ir. F.Th. Verhagen
drs. Y.M.M. Veenis
P. de Vries
ing. A. Lourens

Number of pages

Report: 44

Appendices: CD-ROM

Executive organisation(s) (Consortium)

IWACO B.V. (at present Royal Haskoning) (dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)
GeoDelft (ir. F.Th. Verhagen, 015-2693568)
Groundwater Technology B.V. (drs. Y.M.M. Veenis, 015-2516372)
TTE (P. de Vries, 0570-665870)
TNO-NITG (ing. A. Lourens, 015-2696646)
Municipality of Delft (J. Tuit, 015-2602223)
Province of Zuid-Holland (J.L. Veldhoven, 070-4416910)

Publisher

SKB, Gouda

Abstract

An integral telemetric groundwater monitoring network was installed within the city of Delft as part of the demonstration project Waterstad 2000. Groundwater and surface water levels, sewage overflow and precipitation are registered with high frequency at a couple of hundred measurement locations. In principle it is also possible to include oxygen, temperature and electrical conductivity measurements in the network. The aim of the project is to have access to the measurements via telemetry and the internet.

The question addressed in this project is what the added value of such a monitoring system can be for municipalities, provincial authorities and large industries within the framework of groundwater (quality) management. A SKB consortium chaired by IWACO B.V. (now Royal Haskoning) first identified possible questions and needs that could benefit from data from the monitoring network. Then the data were applied for a selected number of applications. The aim is to make the large number of data of practical use for the daily routine of for example employees of the municipality.

Keywords**Controlled terms:**

cities, data analysis, data files, geographical information system, groundwater, measurement data, monitoring, municipalities, surface water

Uncontrolled terms:

Delft, groundwater pollution, (ground)-water systems, high resolution monitoring, measurement sensors

Project title

High resolution monitoring as the basis for integral groundwater (quality) management within municipal areas

Projectmanagement

IWACO B.V. (now Royal Haskoning)
(dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands

INHOUD

		SAMENVATTING	VII
		SUMMARY	XI
		BEGRIPPENLIJST	XV
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
	1.1	Aanleiding tot dit onderzoek	1
	1.2	Probleemstelling	2
	1.3	Doelstelling van het onderzoek	3
	1.4	Samenstelling van het consortium	5
	1.5	Leeswijzer	6
Hoofdstuk	2	WERKZAAMHEDEN EN DEELRESULTATEN OP HOOFDLIJNEN	7
Hoofdstuk	3	BEHOEFTE VAN GEBRUIKERS	11
	3.1	Toepassingsvelden van <i>HRM</i>	11
	3.2	Cases voor de uitwerking van toepassingsvelden	12
	3.3	Stellingen voor de afbakening van toepassingsvelden	13
Hoofdstuk	4	TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN <i>HRM</i>	15
	4.1	Inleiding	15
	4.2	Stelling 1: Wateroverlast	15
	4.3	Stelling 2: Uitdamprisico	17
	4.4	Stelling 3: Verspreiding grondwaterverontreinigingen	21
	4.5	Stelling 4: Monitoring sanering	23
	4.6	Stelling 5: Geautomatiseerd bewakingssysteem	24
	4.7	Extra inzichten	24
	4.8	Conclusies en samenvatting	25
Hoofdstuk	5	OPZET VAN EEN <i>HRM</i> -SYSTEEM	27
	5.1	Inleiding	27
	5.2	Waarom wordt gemeten?	27
	5.3	Wat en hoe wordt gemeten	27
	5.4	Eerst karakteriseren en dan monitoren!	29
	5.5	Zijn <i>HRM</i> en <i>telemetrie</i> werkelijk nodig?	29
	5.6	Hoe komen we tot een optimaal <i>HRM</i> -meetnet?	30
	5.7	Hoe werken we met de meetreeksen?	31
	5.8	Samenvatting van aspecten die van belang zijn voor de inzet van <i>HRM</i>	35
Hoofdstuk	6	KOSTENVERGELIJKING VAN <i>HRM</i> EN TRADITIONEEL METEN	37
	6.1	Stuksprijzen	37
	6.2	Scenario's	38
Hoofdstuk	7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	41
	7.1	Conclusies	41
	7.2	Aanbevelingen	44

Bijlage	A	TOELICHTING OP WATERSTAD 2000
Bijlage	B	OVERZICHTSKAART MET GRONDWATERMEETPUNTEN
Bijlage	C	VERSLAG VAN DE EERSTE WORKSHOP
Bijlage	D	VERSLAG VAN DE TWEEDE WORKSHOP
Bijlage	E	POSTER WERELD WATER FORUM
Bijlage	F	OVERWEGINGEN TEN AANZIEN VAN DATASTRUCTUUR, MEET- REEKSBEHEER EN INRICHTING VAN HET MEETSYSTEEM
Bijlage	G	CASE 1: HRM IN DELFT ALS GEHEEL
Bijlage	H	CASE 2: HRM BIJ BODEMVERONTREINIGING
Bijlage	H-1	CERTIFICATEN VAN DE CHEMISCHE ANALYSES BIJ CASE 2 (BODEMVERONTREINIGING)
Bijlage	I	CONCLUSIES OVER ASPECTEN DIE DE TECHNISCHE INZET- BAARHEID VAN EEN HRM-MEETSYSTEEM BEPALEN
Bijlage	J	KOSTEN VAN HRM VERSUS TRADITIONEEL METEN

SAMENVATTING

Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden

Aanleiding

Om de toepassingsmogelijkheden van *hoge resolutie monitoring (HRM)* voor bodem-gerelateerde vragen van gemeenten en provincies in beeld te brengen is het project '*Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden*' uitgevoerd. Daarbij is subsidie verkregen van de Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB).

Sinds februari 2000 wordt het proefproject Delft Waterstad 2000 uitgevoerd. Waterstad 2000 is een demonstratieproject, waarvoor een *hoge resolutie monitoring (HRM)* meetnet is aangelegd. In conventionele monitoringssystemen worden veelal iedere 2 weken handmatig enkele meetpunten uitgelezen. *Hoge resolutie monitoring* staat echter voor het verrichten van metingen in een meetnet met een hoge ruimtelijke dichtheid (meer meetpunten dan gebruikelijk) en een hoge *meetfrequentie* (vaker meten dan normaal, bijvoorbeeld ieder uur). Bovendien is de meetapparatuur op afstand uitleesbaar en in te stellen. Daarvoor wordt gebruikgemaakt van radiozenders/ontvangers (een zogenaamd *telemetrisch* netwerk) waarmee de gegevens van de meetpunten in een centraal punt worden verzameld en de meetpunten op afstand te bedienen zijn, bijvoorbeeld om een andere *meetfrequentie* in te stellen.

Met andere woorden: met *HRM* is het mogelijk om met veel meetpunten, vaak te meten en direct vanuit de bureaustoel op kantoor de meetresultaten te raadplegen en de meetinstrumenten in te stellen.

In Waterstad 2000 is zo'n *HRM*-netwerk ingericht dat een groot deel van de waterkringloop in en rondom Delft omvat. Het gaat hierbij om metingen die gericht zijn op neerslag, oppervlaktewater, grondwater en rioolstelsel. Op dit moment is een netwerk ingericht dat ruim 200 meetpunten (grond- én oppervlaktewater) omvat. Wij hebben ons gericht op de 146 grondwatermeetpunten en de neerslagmetingen. In de grondwatermeetpunten zijn zogenaamde *divers* aangebracht waarmee de grondwaterstand gemeten wordt. Daarnaast is in het kader van dit project een extra verdicht meetnet ingericht rondom een saneringslocatie. De *divers*, die hier worden gebruikt, zijn in staat de grondwaterstand, temperatuur en geleidbaarheid te meten.

Doelstelling

Het proefproject Waterstad 2000 is primair gericht op demonstratie van de apparatuur: de data-vergaring. Vragen omtrent de bruikbaarheid van het meetnet en de vrijkomende gegevens voor een gemeente of een provincie worden niet aangepakt. In dit project hebben wij ons dan ook voornamelijk gericht op de behoeften die te maken hebben met grondwater(kwaliteit) van de eindgebruikers bij de provincies en met name gemeenten. Het doel is:

- te inventariseren welke vragen (informatiebehoeften) leven bij gemeenteambtenaren die met een *HRM*-meetnet mogelijk te beantwoorden zijn;
- te bepalen met welke zaken veelal rekening zal moeten worden gehouden voordat tot aanleg van een *HRM*-meetnet wordt besloten;
- aan te geven hoe men om kan gaan met ontwerp, aanleg, beheer en met name interpretatie van de resultaten van zo'n meetnet.

Hierbij zijn we zeker niet uitputtend en bewust ook niet al te gedetailleerd te werk gegaan. Het ging om het verkennen van de mogelijkheden van een *HRM*-meetnet. We verwachten met deze

studie en rapportage echter wel een overzicht en handvat te kunnen bieden aan eindgebruikers om op zijn minst de beslissing te kunnen nemen om de mogelijkheden van een *HRM*-meetnet voor eigen gebruik al dan niet verder te (laten) onderzoeken.

Resultaten

Kenmerkend voor *HRM* (in de technische uitvoering zoals ingezet in Delft Waterstad 2000) is de grote flexibiliteit. De *meetfrequentie* van de apparatuur is door de gebruiker instelbaar. De ruimtelijke spreiding van in te zetten apparatuur is, doordat ieder meetapparaat zelfstandig kan werken en geen externe energiebron nodig heeft, zeer flexibel. De mogelijkheid om *telemetrie* in te zetten voor het programmeren van de apparatuur en het uitlezen van de verkregen data verhoogt de flexibiliteit nog meer. Mede door al deze mogelijkheden kan *HRM* een prima gereedschap zijn, waarmee een integrale aanpak van het water(kwaliteits)beheer in het stedelijk gebied wordt ondersteund.

Wat het complex kan maken is dat *HRM* gebruikt kan worden voor veel toepassingen tegelijkertijd. Om daarom over de inzet van *HRM* een beslissing te kunnen nemen, moet een eindgebruiker inzicht hebben in alle belangrijke aspecten die een rol spelen bij de keuze voor een *HRM*-meetnet. De belangrijkste aspecten worden besproken in de chronologische volgorde waarin deze in de dagelijkse praktijk aan de orde komen.

Waarom zou men gaan meten?

- De belangrijkste reden om te gaan meten is de behoefte aan (meer) informatie. Vaak ontstaat deze behoefte doordat men wordt geconfronteerd met (nieuwe) problemen die een oplossing behoeven. Er zijn talloze van deze probleemvelden te bedenken (zie tabel I). Gezien de verwachte ontwikkelingen op het gebied van ruimtelijke ordening en het belang van water hierbij, de toename van ondergronds bouwen en de ontwikkelingen in het bodembeheer is het aannemelijk dat de behoefte aan (gedetailleerde) informatie enorm zal toenemen.
- Een aantal probleemvelden is in dit onderzoek meer gedetailleerd uitgewerkt en wij verwachten dat de uitwerking zodanig is dat andere problemen eenvoudig op analoge wijze kunnen worden aangepakt.

Tabel I. Conclusies met betrekking tot *HRM* per probleemveld.

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	<i>meetfrequentie</i>	dichtheid van het meetnet	noodzaak van <i>telemetrie</i>
wateroverlast (neerslag)*	kelder	gws	uur	wijk	ja
	kruipruimte	gws	dag	wijk	ja
uitdamprisco*	kruipruimte/kelder	gws	uur	straat	ja
verspreiding*	grondwaterverontreiniging	gws; Ec	maand	straat	nee
afbraak*	natuurlijk	Ec; T	maand	straat	nee
	gestimuleerd	Ec; T	uur	straat	ja
zettingen (grootschalige winning)		gws	maand	wijk	nee
verdroging		gws	week	stad	nee
energieopslag		T	maand	wijk	nee
lekke riolering		gws (<i>diver</i> in riool: T, Ec)	week	straat	nee
verzilting	door onttrekking	Ec	week	wijk	nee
	door ontwatering	Ec	maand	stad	nee
opdrijven van constructies		gws	uur	wijk	ja

gws grondwaterstand

Ec elektrische geleidbaarheid

T temperatuur

* meer gedetailleerd uitgewerkt in dit onderzoek

Hoe zit het met de noodzaak van hoge resolutie en *telemetry* (zender/ontvanger)?

- Hoge resolutie en *telemetry* zijn in het algemeen nuttig voor de toepassingen met veel geel gekleurde hokjes. Hier is een sterk lokaal verdicht meetnet nodig in combinatie met een korte responstijd. Met het gebruik van *telemetry* kan snel actie worden ondernomen.
- Ook toepassingen met groene vakjes, waar geen hoge resolutie nodig is, kunnen in een *HRM*-meetnet worden opgenomen. De kosten van het *HRM*-meetnet kunnen namelijk het best terugverdiend worden door de metingen voor zo veel mogelijk verschillende doeleinden te gebruiken. Zo ontstaat bovendien een uniform meetnet dat geschikt is als ondersteunend instrument voor het integraal waterbeheer in een gemeente.
- Resolutie in de tijd is met de huidige stand van de techniek (vrijwel) geen limiterende factor meer. Ruimtelijke resolutie zal in veel gevallen de (kosten)bepalende factor zijn.
- In de toekomst zal voorlopig nog lange tijd sprake zijn van een combinatie van *diver*metingen, andere handmatige metingen en/of laboratoriummethoden, waarbij de automatische metingen vooral gebruikt zullen worden om trends in de gaten te houden.
- Een systeem met hoge resolutie kan worden gebruikt om een gebied te monitoren op knelpunten en plotselinge veranderingen gerelateerd aan grondwater. Door de hoge resolutie in tijd is het mogelijk kortdurende fluctuaties, met eventuele gevolgen, te signaleren. Door de hoge resolutie in ruimte ontstaat tegelijkertijd het inzicht in de verdeling van de problematiek over het beheersgebied.
- Inzet van *telemetry* is alleen noodzakelijk bij problemen waarvoor het nodig is om direct (binnen enkele uren) inzicht in de situatie te hebben. In andere gevallen is de inzet van *telemetry* afhankelijk van de kosten.

Wat zijn de kosten van *HRM*?

- Er is een vergelijking van de kosten gemaakt voor drie scenario's: (1) 'traditioneel' handmeten, (2) *divers* met handmatige uitlezing en (3) *divers* met *telemetry*. De kosten, die voor alle drie de systemen gelijk zijn (zoals aanleg en onderhoud van de peilbuizen), zijn niet meegenomen.
- De kosten zijn afhankelijk van de *meetfrequentie* en het aantal momenten dat men de informatie echt wil raadplegen.
- De meeste kosten worden gemaakt door metingen en bij *divers* met *telemetry* door de hardware en de abonnementskosten. Omdat ook in het proefproject in Delft nog niet het gehele systeem voorzien is van *telemetry* en de abonnementskosten nog niet bekend zijn, zijn hiervoor drie varianten berekend.
- Uit een afweging van de kosten voor het meetnet in Delft blijkt dat inzet van een *diver* reeds vanaf vier metingen per jaar goedkoper is dan handmetingen als wordt uitgegaan van één *interpretatiemoment* per jaar. Verder geldt dat bij een *meetfrequentie* van 12 tot 24 maal per jaar de inzet van *divers* met *telemetry* goedkoper is dan handmeten of *divers* zonder *telemetry*. Het omslagpunt is afhankelijk van de abonnementskosten voor *telemetry*.

Wat is van belang voor de opzet van een *HRM*-systeem?

- Bij het opzetten van een meetnet dient vooraf goed geïnventariseerd te worden voor welke doelstellingen *HRM* wordt ingezet. Een doelstelling voor het meetnet geeft minimaal inzicht in de behoeften en vragen die moeten worden opgelost.
- De opzet van een *HRM*-systeem kan efficiënt plaatsvinden door de gewenste monitoringsperiode te laten voorafgaan door een karakterisatieperiode. In deze *karakterisatiefase* dient intensief gemeten te worden (zonder dat *telemetry* nodig is).
- Met behulp van het verkregen inzicht uit de *karakterisatiefase* kan (door de inzet van statistische technieken) het meetnet uitgedund worden en kan de *meetfrequentie* bepaald worden om het meetnet zo optimaal mogelijk in te richten. De na optimalisatie vrijkomende apparatuur kan vervolgens elders worden ingezet. Door tijdreeksen in één database op te slaan kan dan

langzamerhand een sluitend beeld worden verkregen van het grondwatersysteem in de hele gemeente.

Hoe worden meetreeksen vertaald naar inzichten?

- De gegevens, die met een *HRM*-systeem worden verkregen, moeten in meer of mindere mate worden bewerkt voordat deze interpreteerbaar zijn. Het betreft het omzetten van feitelijke meetwaarden naar betekenisvolle grootheden, het uitfilteren van foutieve waarden en het verwerken van de verkregen reeksen in een begrijpelijke presentatie die aansluit op het doel van het meetnet.
- De beide eerstgenoemde bewerkingsstappen zijn tamelijk eenduidig en daarom goed in een protocol te vatten. De wijze waarop deze stappen in dit project zijn uitgevoerd kunnen daarvoor als opstap dienen.
- De laatste bewerkingsstap is in hoge mate afhankelijk van de gebruiker. Inhoudelijk-geïnteresseerden zullen vooral behoefte hebben aan de oorspronkelijke meetreeksen in de vorm van (meetreeks)grafieken, aan de onderliggende data én aan samenvattingen in de vorm van statistische kengetallen. Verantwoordelijken voor beheer of beleid zullen vooral behoefte hebben aan presentaties waarin relevante veranderingen in één oogopslag duidelijk worden. Met name kaarten zijn hiervoor zeer geschikt. In dit project zijn voorbeelden van bruikbare kaarten uitgewerkt. Verdergaande inzichten ontstaan nog door combinatiemogelijkheden van meerdere kaarten in een GIS-omgeving.

Aanbevelingen

Het interpreteren van gegevens uit het *HRM*-meetnet van Delft heeft ons een aantal inzichten opgeleverd. Enkele hebben wij vertaald naar algemene aanbevelingen:

- Wij raden iedereen aan om bij elke vraag waarbij grondwaterstanden bepaald moeten worden dit vooral met geautomatiseerde meetinstrumenten te meten. Hierbij moet in eerste instantie met een tamelijk hoge meetresolutie worden gemeten (in de orde van uren). Onze ervaring is dat met deze gegevens het inzicht in het gedrag van het grondwatersysteem meteen sterk groeit.
- Het aanschaffen van een systeem met een grootte zoals in Delft is kostbaar. Door als gemeente samen te werken met andere belanghebbenden, zoals een waterschap en provincie, kunnen de kosten worden gedeeld. Hierbij is ook van belang dat een *HRM*-meetnet in principe nooit alleen in het kader van bodem- of grondwaterkwaliteitsbeheer zal worden aangelegd. Er zal naast een vraag vanuit het kwaliteitsbeheer altijd een integrale behoefte (moeten) bestaan vanuit het grondwaterkwantiteitsbeheer, vanuit het rioolbeheer en/of vanuit het oppervlaktewaterbeheer.
- *HRM* levert een grote hoeveelheid gegevens op. Voor operationele toepassing is derhalve verregaande automatisering van databeheer en data-interpretatie gewenst. Bij het databeheer is het van groot belang om de activiteiten in het veld goed te registreren (logboeken) en eventueel te registreren.
- het verdient aanbeveling de *divers* uit het proefproject nog minimaal 1 jaar te laten staan. Na een jaar meten kunnen ook de invloeden van seizoentrends worden beschouwd. Bovendien levert de op te bouwen dataset een schat aan mogelijkheden voor toekomstige onderzoeken. Wel is het verstandig het meetnet te optimaliseren op basis van de opgedane kennis en met het zicht op toekomstige ontwikkelingen in de gemeente Delft, bijvoorbeeld de aanleg van de ondergrondse spoortunnel.

SUMMARY

High resolution monitoring as the basis for integral groundwater (quality) management within municipal areas

Motivation

In order to investigate the applicability of High Resolution Monitoring (HRM) for soil related questions within municipal and provincial authorities the project 'High resolution monitoring as the basis for integral groundwater (quality) management within municipal areas' was carried out. This project obtained a subsidy from the Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer.

The pilot project Waterstad 2000 in Delft is being carried out since February 2000. This is a demonstration project in which a HRM network has been installed. In conventional monitoring networks measurements are taken every 2 weeks by hand. HRM stands for carrying out measurements in a measurement network with a high spatial density and a high measurement frequency (for example every hour). In addition, in the near future it will become possible to read the instruments remotely with the use of radio transmitters and receivers. The goal of this telemetry system is to collect data in a central database that can be accessed by the data owners (for example on the internet).

Within the town of Delft a HRM network has been developed that spans a large part of the water cycle. It concerns groundwater and surface water levels, sewage overflow and precipitation that are registered with high frequency. Currently the network consists of at least 200 measurement points (both groundwater and surface water). We have focussed on the 146 groundwater and precipitation measurement points. The groundwater monitoring points are fitted with so-called divers which register groundwater height. Within the framework of this project we installed a locally more dense network around a former soil cleanup site. The divers we used at this location were able to monitor groundwater height, temperature and soil water conductivity.

Goals of the project

The demonstration project Waterstad 2000 is primarily focussed on demonstrating the hardware within the monitoring network. Questions concerning the use of the network and the resulting data for the municipality or the province are not addressed. Within this project we focussed on the requirements municipal and provincial authorities have for groundwater (quality) management. The aim is:

- to identify possible questions that municipal and provincial personnel have that could be answered with the data coming from a HRM network;
- to identify critical factors that have to be accounted for before one decides to lay out a HRM network;
- to provide recommendations concerning the design, lay out, maintenance of the HRM network and especially recommendations concerning the interpretation of the data coming from the HRM network.

We have not tried to be complete and very thorough. The aim of the project was to do a reconnaissance of the possibilities of a HRM network. We expect to provide an overview of possibilities which can serve as a handle to potential end users of a HRM network (in our case the municipal and provincial authorities) in order to make a decision if they want to investigate the possibilities a HRM network could provide for their own situation.

Results

The main characteristic of the HRM network (in the technical execution as implemented within Delft) is the large flexibility. The measurement frequency can be set by the user, the spatial distribution is very flexible because each instrument is fitted with its own power source and data logger and has a potential to be fitted with its own radio transmitter/receiver. Based on this, HRM has the potential to be an ideal tool for an integral approach to water (quality) management within municipal areas.

The application of HRM can become very complex because it can be applied to a wide range of different fields. In order to make a decision about the possible employment of a HRM network, end users should have an insight in the most important processes that play a role in the choice. These processes are discussed in the chronological sequence that could occur in the daily practice.

Why should we want to measure?

The most important reason to start measuring is the need for (more) data. This need often arises from being confronted with (new) problems that require a solution. A large number of problem fields can be identified (see table I). Taking the expected developments in the field of spatial development and the importance water will play in this field in to account, the development of underground building and the recent developments concerning soil management we expect that the need for (detailed) information will increase enormously.

A number of problem fields have been addressed in more detail within this project and we expect that it is easy to approach other problems in a similar way.

Table I. Conclusions *HRM* per problem field.

problem field	specific (example)	parameter	measurement frequency	density network	necessity telemetry
water inconvenience (precipitation)*	basement	gwl	hour	quarter	yes
	crawl space	gwl	day	quarter	yes
evaporation risk*	crawl space/basement	gwl	hour	street	yes
spreading*	groundwater pollution	gwl; EC	month	street	no
degradation*	natural	EC; T	month	street	no
	stimulated	EC; T	hour	street	yes
setting (large scale extraction)		gwl	month	quarter	no
water shortage		gwl	week	town	no
energy storage		T	month	quarter	no
leaking sewers		gwl; (diver in sewer: T, EC)	week	street	no
salting up	by extraction	EC	week	quarter	no
	by drainage	EC	month	town	no
forcing up of constructions		gwl	hour	quarter	yes

gwl groundwater level

EC electrical conductivity (groundwater)

T temperature

* addressed in more detail within this project

How necessary is it to apply telemetry?

- High resolution and telemetry are useful in general for those applications in table I that have a number of yellow boxes. These applications require a locally dense network combined with a short measurement interval and a short response time. The application of telemetry allows for a fast intervention.

- Applications with a number of green boxes can be included in a HRM network. The costs of a HRM network can be earned back by using the measurements for as many applications as possible. Using the network for a number of applications has the additional benefit that the network becomes uniform and that is suitable as a tool for integral water management in a certain region.
- Resolution in time is no longer a limiting factor with the currently available technology. The spatial resolution will be the cost determining factor in most cases.
- We will be confronted with a combination of automated and manual (laboratory) measurements for a long time. Automated measurements will more often than now be used to fill in trends.
- A high resolution system can be used to monitor bottlenecks and sudden changes in the water regime in a certain area. The high resolution in time allows for detecting short period fluctuations, including possible causes. The high resolution in space generates insight in the distribution of the problems within the control area.
- Telemetry is only necessary in those problem fields that require a direct (within a number of hours) insight in the situation. In the other cases, the application of telemetry will depend on the costs.

What are the costs of HRM?

- We have compared the costs of three scenarios: (1) 'traditional' manual measurements, (2) divers with manual read out and (3) divers with telemetry. The costs that are identical for all three scenarios have not been taken in to account. These costs concern, amongst others, the installation and maintenance of the monitoring wells.
- The costs depend on the measurement frequency and the number of times one wants to access the measurements in the measurement instruments.
- The costs are primarily determined by the man hours and for the divers with telemetry by the costs for the hardware and the subscription. Because it was not clear within the demonstration project what these costs are going to be we used three variants.
- Comparing the results from the different scenarios showed that within the HRM network in Delft application of a diver is already cost effective at four measurements per year when it is compared to manual measurements and one interpretation moment per year. At measurement frequencies of 12 to 24 times a year diver measurements combined with telemetry prove to be more cost effective than divers without telemetry. The turning point depends on the costs for the subscription to the telemetry service.

What additional issues are important for the implementation of a HRM system?

- The goals for the HRM network should be clear at the start. A goal should at least give insight in what questions are to be answered with the data and what needs should be fulfilled.
- The HRM system can be implemented in a efficient and effective manner if the implementation is preceded by a characterization period. In the characterization period it is necessary to carry out intensive measurements without the direct need for telemetry.
- Using the insights obtained from the characterization period it is possible to determine the optimal monitoring density and measurement frequency using statistical techniques. Hardware that becomes obsolete after optimization can be used in other locations. A continuously improving insight in the groundwater system of the measurement region is obtained by storing all time series in a single database.

How are the measured time series translated in to insights?

- The data obtained with a HRM system have to be processed before they can be interpreted. The processing concerns the translation from the measured quantity to meaningful values, correcting for errors in the measurements and the subsequent translation in to a presentation format that fits the goal of the HRM network.

- The first steps in the data processing are straight forward and as a result are easy to catch in a protocol and perhaps even in an automated system. The results of this project could serve as a first step.
- The final step, the translation to meaningful results in the framework of the goals of the HRM system is highly dependent on the end user. People interested in the substance of the matter (hydrologists, soil scientists etc.) are primarily interested in the raw data, the presentation of the data in time series charts and spreadsheets combined with summaries of the data together with the statistical properties. People who are responsible for management or policy require presentations that show the relevant issues at a glance. Especially the use of maps is a good tool for this type of presentation. In this project we have worked out a number of maps as an example. More extreme insights can be obtained by combining different maps within a GIS environment.

Recommendations

Interpretation of the results from the Delft HRM network has given us a large number of insights. We have translated a number of these in to recommendations:

- We recommend to consider using automated measurements for every question requiring data on groundwater levels. In first instance the data should be collected with a relatively high temporal resolution (in the order of hours). Our experience is that with these data the insight in the behaviour of the groundwater system increased immediately.
- The purchase of a system with the size of the HRM network in Delft is costly. By co-operation as a municipality with other parties interested in integral water data such as provinces, water board districts etc., costs can be shared. In this respect it is also important that a HRM network will never be installed for only one purpose such as soil or groundwater management. In addition to quantity related questions one should realise that a need from integral management will have to exist combining issues from groundwater, surface water, sewage and soil management.
- A HRM system will generate a huge amount of data. An operational application of a HRM system will only be successful if the data processing and interpretation is largely automated. For a consistent data management it is essential to register all activities carried out in the field.
- In the case of the HRM network in Delft we recommend to leave the divers in place for at least one year in order to get an idea in the seasonal fluctuations. After one year it is possible to optimize the HRM network, however it is important to define some goals first. A future development that could benefit from the HRM network is for example the future underground rail road through Delft.

BEGRIPPENLIJST

Divers

D-diver: een automatisch meetinstrument voor het opnemen van de (grondwater)druk (in cm waterkolom), hieruit wordt de stijghoogte of grondwaterstand bepaald. Deze *divers* zijn in het meetnet van Delft geïnstalleerd.

TD-diver: idem, maar naast druk wordt ook de temperatuur van het grondwater geregistreerd. Enkele van deze *divers* zijn in het meetnet rond de bodemverontreiniging toegepast.

CTD-diver: idem, maar naast druk en temperatuur wordt ook de geleidbaarheid van het grondwater gemeten. Enkele van deze *divers* zijn in het meetnet rond de bodemverontreiniging toegepast.

OTD-diver: idem als de *TD-diver*, maar naast druk en temperatuur wordt ook het zuurstofgehalte gemeten. Deze *divers* zijn niet toegepast in deze studie.

Hoge resolutie monitoring (HRM)

Het met hoge dichtheid in ruimte en tijd verrichten van metingen in het meetnet. De resolutie in ruimte duidt op de mate van verdichting van het meetnet (het aantal meetpunten per vierkante kilometer). De resolutie in tijd duidt op de *meetfrequentie* (aantal metingen per dag). In het meetnet van Delft worden (tot nog toe een deel van) de *divers* uitgelezen en aangestuurd met behulp van *telemetrie*.

Interpretatiemomenten

Een *interpretatiemoment* is een moment waarop men de meetgegevens verwerkt in een database en vervolgens eventueel interpreteert om er bepaalde conclusies aan te verbinden of beslissingen op te baseren. In het meetnet worden parameters gemeten met een bepaalde *meetfrequentie* (in Delft: eenmaal per uur). De gegevens worden echter niet ieder uur geïnterpreteerd. Denkbaar is dat de metingen bijvoorbeeld ieder uur worden verricht, maar bijvoorbeeld eenmaal per week worden verwerkt om er conclusies aan te verbinden. *Interpretatiemomenten* zijn in deze studie vooral van belang voor het onderscheiden van de kosten tussen handmetingen, *divermetingen* en *divermetingen* met *telemetrie*. Bij handmetingen gaan we ervan uit dat iedere meting (vrijwel) direct wordt verwerkt in een database, waarmee het aantal (mogelijke) *interpretatiemomenten* gelijk is aan de *meetfrequentie*. Voor *divermetingen* geldt dat de *meetfrequentie* hoog kan zijn (bijvoorbeeld eens per uur), maar dat de meetreeksen slechts eens per jaar worden uitgelezen en verwerkt in een database. Daarmee is in dit geval het aantal *interpretatiemomenten* 1 per jaar. Bij *telemetrie* is het mogelijk de meetreeksen op ieder gewenst moment uit te lezen en te verwerken in een database. Hier geldt dus net als bij handmetingen dat het aantal *interpretatiemomenten* gelijk kan zijn aan de *meetfrequentie*.

Karakterisatiefase

Voordat effectieve monitoring plaatsvindt, is het zinvol een (ruimtelijk) extra verdicht meetnet op te zetten en met extra hoge frequentie metingen te verrichten. Daarmee leert men het systeem kennen ('karakteriseren' van het systeem) en kan gericht op de doelstellingen van de monitoring het meetnet worden uitgedund (in ruimte en tijd). Aansluitend kan dan de *monitoringsfase* worden opgestart.

Meetdichtheid

Het aantal meetpunten per oppervlakte. In het meetnet van Delft is de *meetdichtheid* 6 à 10 *divers* per km².

Meetfrequentie

Het aantal metingen in een bepaalde tijdseenheid. In het meetnet van Delft wordt een *meetfrequentie* van 1 meting per uur gehanteerd.

Monitoringsfase

Na de *karakterisatiefase* kan worden gestart met de reguliere *monitoringsfase*. Het *HRM*-meetnet wordt na de *karakterisatiefase* geoptimaliseerd met bepaalde doelstellingen gericht op deze 'reguliere' *monitoringsfase*.

Telemetrie/telemetrisch

Een zender/ontvangersysteem waarmee de *divers* op afstand te besturen zijn. Via een zender/ontvanger (in de straatpot van de peilbuis) worden (meet)gegevens van de *diver* verzonden naar een centrale zender/ontvanger en op internet geplaatst. Via internet (of via een telefoonlijn) kunnen de gegevens op afstand worden geraadpleegd en is het mogelijk de eigenschappen van de *divers* (*meetfrequentie*, parameters enz.) aan te passen. Dit wordt dan weer via de zender/ontvanger naar de *diver* gezonden.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 Aanleiding tot dit onderzoek

Om de toepassingsmogelijkheden van *hoge resolutie monitoring (HRM)* voor bodem-gerelateerde vragen van gemeenten en provincies in beeld te brengen is door de werkgroep Bodem van Waterstad 2000 het project '*Hoge resolutie monitoring als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden*' geïnitieerd. Daarbij is subsidie verkregen van de Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB).

Sinds februari 2000 wordt het proefproject Delft Waterstad 2000 uitgevoerd. Waterstad 2000 is een demonstratieproject waarin meetinstrumenten voor grondwaterparameters in een *telemetrisch* monitoringsnetwerk eenvoudig via internet zijn uit te lezen en in te stellen. In bijlage A is een toelichting op Waterstad 2000 opgenomen. Met het *hoge resolutie monitoring (HRM)* systeem worden met een hoge frequentie een groot aantal meetpunten bemeaten en gecontroleerd. Met andere woorden: het is mogelijk om met een hoge resolutie te monitoren in ruimte en tijd.

In Waterstad 2000 is een monitoringsnetwerk ingericht dat een groot deel van de waterkringloop in en rondom Delft omvat. Het gaat hierbij om metingen die gericht zijn op neerslag, het oppervlaktewater, het grondwater en het rioolstelsel. Op dit moment is een netwerk ingericht dat ruim 200 meetpunten (grond- én oppervlaktewater) omvat. Deze meetpunten zijn eigendom van een aantal verschillende partijen waaronder de gemeente Delft en Hoogheemraadschap Delfland.

In bijlage B en in figuur 1 is een overzicht van de op dit moment aanwezige meetpunten weergegeven op een kaart van Delft.

Het grondwatermeetnet in Delft bestaat uit 146 grondwaterpeilbuizen, waarin met een '*diver*' op elk heel uur de druk (grondwaterstand) wordt gemeten. Deze peilbuizen staan voornamelijk in het freatische grondwater en in enkele dieper gelegen zandlagen (in dit project hebben we alleen die ondiepe peilbuizen gebruikt). Daarnaast is in het kader van dit project een verdicht meetnet (ook met ondiepe peilbuizen) ingericht rondom een saneringslocatie. De *divers*, die hier worden gebruikt, zijn in staat de druk, temperatuur en geleidbaarheid te meten.

Het proefproject Waterstad 2000 is primair gericht op demonstratie van de datavergaring. Vragen omtrent de bruikbaarheid van de gegevens voor een gemeente of een provincie worden niet aangepakt. Voor een aantal betrokkenen (zoals bijvoorbeeld een waterschap) is het nut van een *telemetrisch* monitoringsnetwerk evident. Bij mogelijke calamiteiten (wateroverlast) is cruciale informatie binnen enkele minuten beschikbaar en beslissingen kunnen snel genomen worden.

Voor gemeenteamttenaren is het nut echter minder evident. In dit onderzoek hebben we daarom de toepassingsmogelijkheden van zo'n meetnet verkend. Wat kan het *HRM*-meetnet voor gemeenten opleveren?

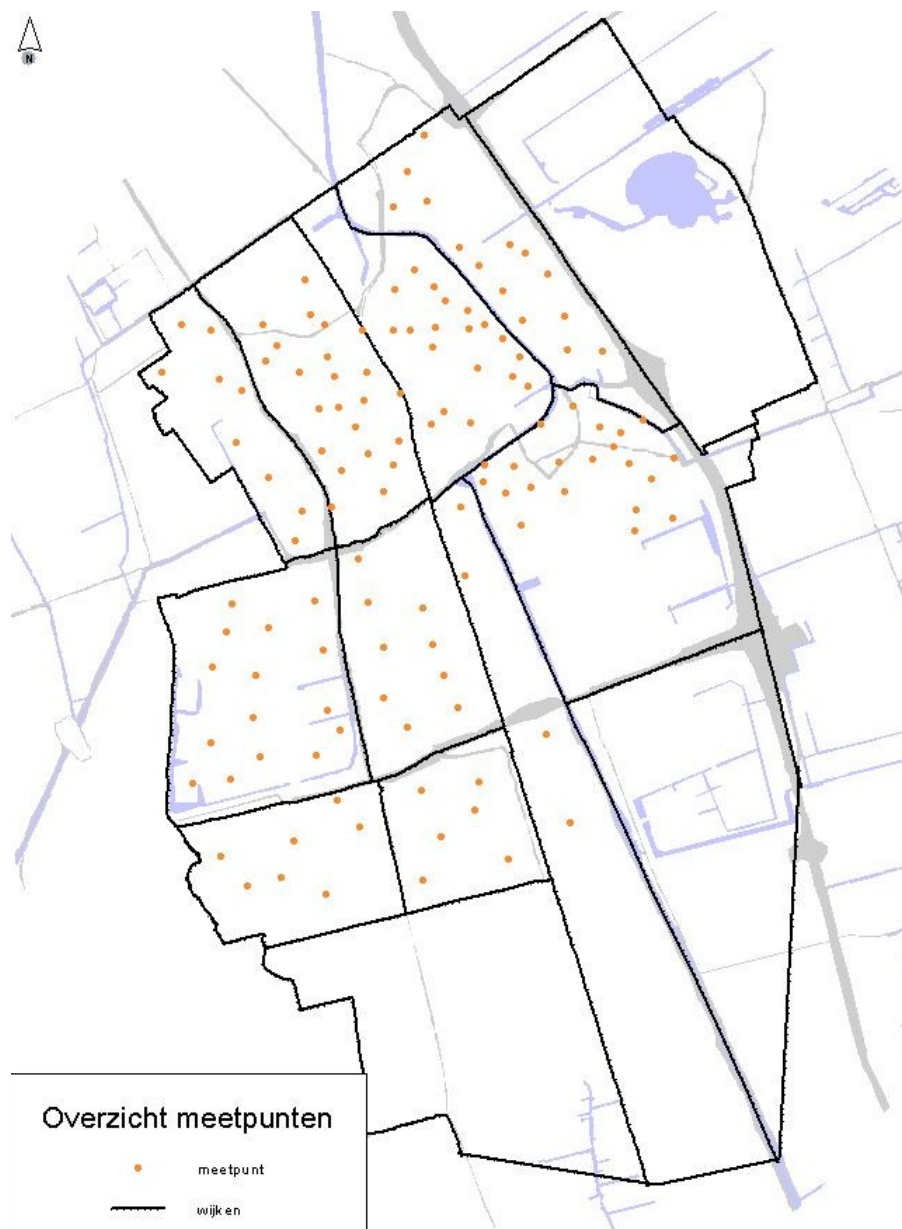


Fig. 1. Grondwatermeetpunten van het *HRM*-netwerk in Delft.

1.2 Probleemstelling

Eindgebruikers

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven is op dit moment technologie beschikbaar waarvan de toepasbaarheid en het nut voor een groot aantal mogelijke belanghebbenden onvoldoende duidelijk is. Als eindgebruikers voor *HRM* zien we in hoofdzaak twee groepen:

1. Overheden op lokaal en regionaal niveau (gemeenten, provincies, hoogheemraadschappen, waterschappen enz.). Deze instanties hebben verantwoordelijkheden c.q. belangen op het gebied van het beheer van de grondwaterkwantiteit en de grondwaterkwaliteit in hun regio's.
2. Adviseurs en bodemsaneerders. Het is mogelijk om tijdreeksen verkregen met *HRM* zodanig te interpreteren dat er goede en gedetailleerde inzichten in lokale en regionale (eco)hydrologische systemen worden verkregen. Dit kan zeer waardevolle informatie opleveren over de aard van de op te lossen problemen in die systemen.

In dit project hebben wij ons voornamelijk gericht op de behoeften die te maken hebben met grondwater(kwaliteit) van de eindgebruikers bij de provincies en met name de gemeenten.

Gebrek aan inzicht

Het (ruimtelijk) inzicht in het oppervlakkig grondwatersysteem in stedelijke gebieden is gebrekkig en fragmentarisch. De kwantitatieve kenmerken van dit systeem (ruimtelijke kennis van richting en grootte van de grondwaterstroming) zijn echter wel van grote invloed op de kwaliteit van het ondiepe grondwater. Een beter begrip van de kwantiteit (waar komt het water vandaan) levert ook veel inzicht in de te verwachten grondwaterkwaliteit. Derhalve zijn metingen aan de kwantitatieve parameters van het grondwatersysteem (druk en temperatuur) goed bruikbaar voor het verkrijgen van inzicht in de grondwaterkwaliteit (hiervoor zijn geen sensoren nodig die de grondwaterkwaliteit direct meten).

Het gebrekkige inzicht in het grondwatersysteem is voornamelijk een gevolg van het feit dat de bodem- en hydrologische systemen in stedelijke gebieden zeer complex zijn. Dit wordt veroorzaakt door heterogeniteit in de bodem zelf, maar ook omdat er op korte afstanden veel invloeden aanwezig zijn. Bijvoorbeeld de aanwezigheid van ondergrondse structuren, zoals parkeergarages, tunnels, (lekkende) rioleringen enzovoorts.

Steeds vaker worden gemeenten geconfronteerd met vragen die te maken hebben met inzicht in het grondwatersysteem. De vragen, die vanuit de gemeenten naar boven komen, hebben betrekking op kwantitatieve en kwalitatieve aspecten. Dit project heeft niet de ambitie gehad om die allemaal op te lossen. Door voor enkele vragen de antwoorden te geven, willen we met dit project de eindgebruikers de mogelijkheden van *hoge resolutie monitoring* laten zien.

Kennisoverdracht

Een belangrijk probleem bij het nuttig toepassen van *hoge resolutie monitoring* is de onbekendheid van de mogelijkheden die deze technologie biedt. Hierbij geldt helaas het spreekwoord "Onbekend maakt onbemind".

Bij een aantal onderzoeksinstellingen, universiteiten en adviesbureaus in Nederland is kennis beschikbaar hoe uit grote gegevenssets informatie kan worden onttrokken. Helaas is het zo dat deze kennis nog weinig in de praktijk van gemeenten (maar ook niet bij ingenieurs- en adviesbureaus) wordt ingezet om bodem- en/of grondwatersystemen beter te leren begrijpen.

Gevolgen

Als de beschreven situatie niet verandert, is het te verwachten dat de praktijk op de korte termijn niet of nauwelijks zal profiteren van de mogelijkheden die de huidige meettechnologie biedt. Het verruimen van de mogelijkheden bij het omgaan met bodem- en grondwaterverontreiniging en de vele (ondergrondse) werkzaamheden in stedelijke gebieden zal vaker leiden tot potentiële conflict-situaties tussen partijen met verschillende belangen. Snel inzicht in het optreden van veranderingen in het grondwatersysteem kan een bijdrage leveren bij het accepteren van oplossingen voor bijvoorbeeld bodemverontreiniging en het afspreken van voorwaarden waaraan de verschillende partijen moeten voldoen.

1.3 Doelstelling van het onderzoek

Voor dit project hebben wij twee hoofdvragen afgeleid die de hoofddoelstellingen van dit project vormen:

1. Welke vragen leven er bij gemeenten en provincies op het gebied van stedelijk grondwater-(kwaliteits)beheer die te beantwoorden zijn met *hoge resolutie monitoring* in ruimte en tijd?

2. Op welke wijze kunnen de kennis, methoden en technieken beschikbaar in de literatuur, bij de kennisinstituten en de universiteiten, worden gebruikt om enkele van de vragen die leven bij de gemeenten en provincies op te lossen.

Wij wilden uiteindelijk kunnen aangeven welke vragen (informatiebehoeften) leven bij gemeente-ambtenaren die met een *HRM*-meetnet mogelijk te beantwoorden zijn. Verder wilden we bepalen met welke zaken veelal rekening zal moeten worden gehouden voordat tot aanleg van zo'n meetnet wordt besloten en met welke aspecten rekening gehouden kan worden bij ontwerp, aanleg, beheer en met name interpretatie van de resultaten van zo'n meetnet.

Met dit project zijn deze vragen zo concreet mogelijk beantwoord. Dit project focust daarbij zo veel mogelijk op de vragen over **kwalitatieve** grondwateraspecten. Door het beantwoorden van de vragen worden de mogelijke toepassingen van *hoge resolutie monitoring* inzichtelijk gemaakt.

In het onderzoek zijn we zeker niet uitputtend en bewust ook niet al te gedetailleerd te werk gegaan. Het ging meer om het verkennen van de mogelijkheden van een *HRM*-meetnet. We verwachten met deze studie en rapportage een overzicht en handvat te kunnen bieden aan eindgebruikers om op zijn minst de beslissing te kunnen nemen om de mogelijkheden van een *HRM*-meetnet voor eigen gebruik al dan niet verder te (laten) onderzoeken.

De knelpunten, die we met het project beogen aan te pakken, zijn:

- het vergroten van de kennis bij beheerders, beleidsmakers en (eind)gebruikers van meetnetten over de mogelijkheden van *hoge resolutie monitoring* in ruimte en tijd voor het oplossen van vragen rondom stedelijk grondwater(kwaliteits)beheer;
- methoden en technieken, die bij universiteiten en kennisinstituten beschikbaar zijn maar nog niet tot de gemeenten en provincies zijn doorgedrongen, toepassen en demonstreren in de praktijk.

De grenzen van het gebied, waarop het project zich met name richt, zijn weergegeven in figuur 2.

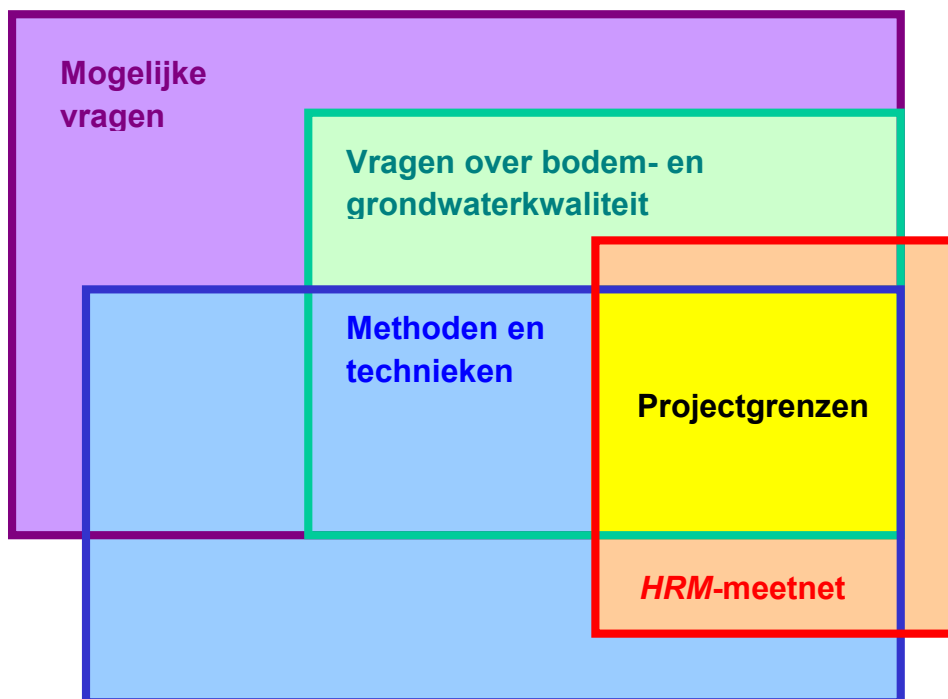


Fig. 2. Projectgrenzen.

1.4 Samenstelling van het consortium

De problematiek geschetst in de vorige paragrafen speelt vooral bij die partijen die betrokken zijn bij het gebruik van de bodem in stedelijke gebieden. In dit project waren de volgende partijen betrokken: gemeenten, provincie, kennisinstututen en adviesbureaus. Meer indirect waren de actoren die een rol spelen binnen Waterstad 2000 betrokken.

Dit project is uitgevoerd door een ontwikkelteam, die de uitvoering van het grootste deel van de werkzaamheden heeft verzorgd. Zij zijn inhoudelijk begeleid door de Werkgroep Bodem van Waterstad 2000. Vanuit de vraagkant is inbreng geleverd door de Klankbordgroep. Zij hebben de resultaten getoetst op relevantie en bruikbaarheid voor gemeenten en provincies. De rolverdeling en samenstelling van de verschillende groepen in het consortium en de Klankbordgroep is weer-gegeven in tabel 1 en figuur 3.

Tabel 1. Consortiumleden.

Ontwikkelteam	Werkgroep Bodem	Klankbordgroep
- IWACO (thans Royal Haskoning): Ewoud van den Berg (penvoerder), Timo Heimovaara en Ronald van de Vliet - Groundwater Technology/de Straat: Yvo Veenis - TTE: Peter de Vries - GeoDelft: Floris Verhagen - TNO-NITG: Aris Lourens	- TTE: Koen Weytingh - Provincie Zuid-Holland: John Veldhoven - TNO-NITG: Rolf Hetterschijt - IWACO (thans Royal Haskoning): Timo Heimovaara	- Gemeente Delft: Jaap Tuit - Gemeente Haarlem: Maarten Noordhuis - Gemeente Hilversum: Pietjan Boegem - Gemeente Arnhem: Mela Splinter - Provincie Zuid-Holland: John Veldhoven

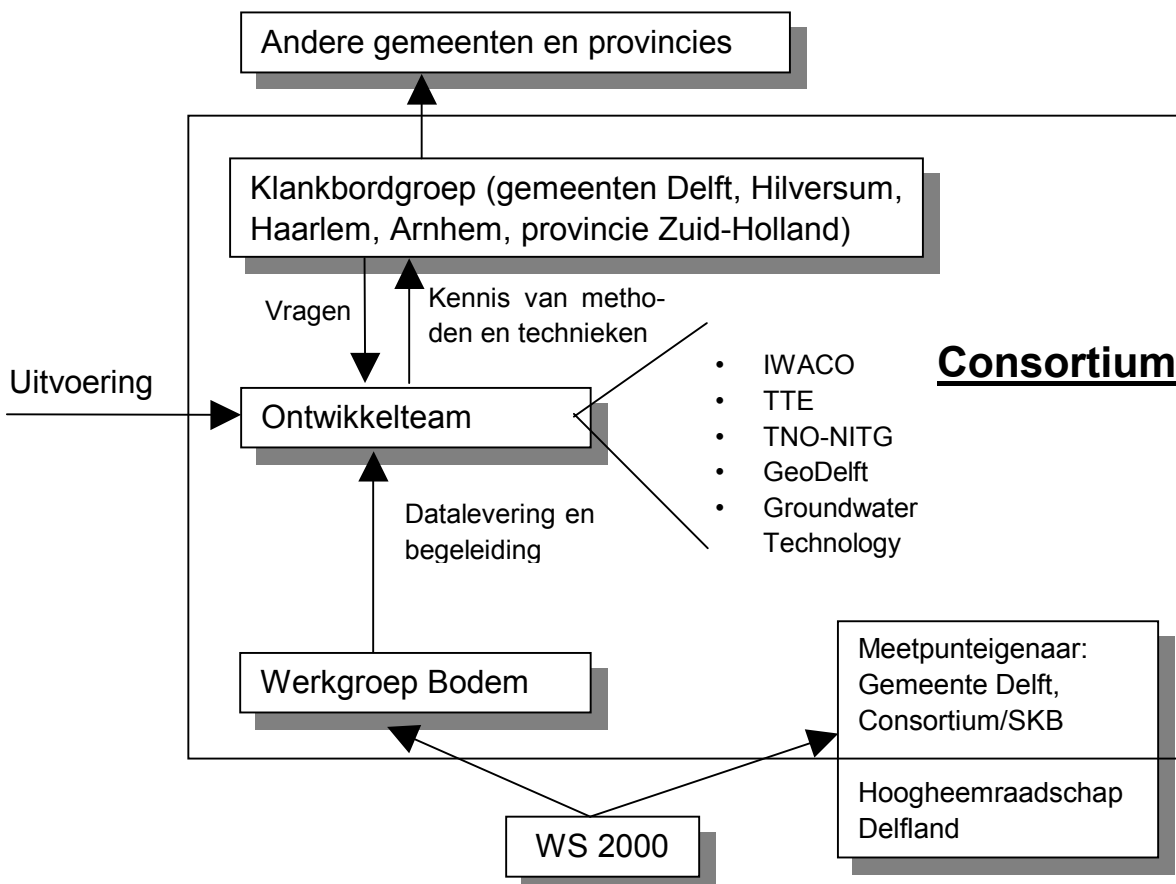


Fig. 3. Samenstelling van het consortium.

1.5 Leeswijzer

Voorliggend document vormt de eindrapportage van het gehele project. Het onderzoek was primair gericht op het verkennen van de mogelijkheden van een *HRM*-meetnet. Dit komt ook tot uiting in deze eindrapportage, die vooral geschreven is voor diegenen die een keuze moeten maken tot (onderzoek naar de) aanschaf van een *HRM*-meetnet. Iedereen die meer geïnteresseerd is in de technisch-inhoudelijke aspecten van *HRM* zal vooral in de bijlagen terecht komen.

Deze bijlagen, waar in de hoofdtekst naar wordt verwezen, zijn in een apart document opgenomen: 'Bijlagen bij *Hoge resolutie monitoring* als basis voor integraal grondwater(kwaliteits)beheer in stedelijke gebieden'. De hoofdrapportage is echter zodanig geschreven dat de bijlagen niet nodig zijn voor begrip van de hoofdtekst. De bijlagen worden op cd-rom aangeleverd.

Van de cursief gedrukte begrippen is een verklaring opgenomen in de begrippenlijst aan het begin van dit rapport.

De hoofdrapportage start in hoofdstuk 2 met een korte omschrijving van alle deelresultaten conform het format van SKB. Voor de gemiddelde lezer zal de toegevoegde waarde van dit hoofdstuk gering zijn. Een nadere beschrijving van de resultaten van het onderzoek volgt in de resterende hoofdstukken. Als eerste worden daarbij in hoofdstuk 3 de vragen en behoeften van gemeenten op een rijtje zijn gezet. Enkele van deze behoeften zijn vertaald in stellingen, die aan de hand van twee cases in hoofdstuk 4 worden onderbouwd of weerlegd. Hoofdstuk 4 geeft daarmee inzicht in de toepassingsmogelijkheden van *HRM*. Naast enkele concrete behoeften, waarvoor *HRM* kan worden ingezet, is ook inzicht in de methodiek van het opzetten van een *HRM*-meetnet gewenst. Daarvoor zijn belangrijke handreikingen gegeven in hoofdstuk 5. Omdat de feitelijke beslissing om te kiezen voor de inzet van *HRM* (versus conventioneel meten) niet alleen afhangt van de toepassingsmogelijkheden, maar ook van de kosten, wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op deze kosten. Afsluitend beschrijft hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.

HOOFDSTUK 2

WERKZAAMHEDEN EN DEELRESULTATEN OP HOOFDLIJNEN

In het basisprojectplan (d.d. 27 januari 2000) en het aangepaste basisprojectplan voor fase 2 (d.d. 31 mei 2000) zijn deelresultaten benoemd voor het SKB-project SV-210, die hier beschreven zijn conform het SKB-rapportageformat.

Het project kent een indeling in twee fasen, die voor het begrip van de eindrapportage en de uitkomsten van het onderzoek niet relevant is. Voor een toelichting op de fase-indeling wordt verwezen naar de basisprojectplannen.

Fase 1 (februari 2000 - juni 2000):

Deelresultaat 1: Ingericht meetnet

In februari is het meetnet met *divers* ingericht en is met meten gestart (zie fig. 1 in hoofdstuk 1). De meetreeksen worden opgebouwd en zijn beschikbaar voor analyse. Alleen de radiozenders zijn nog niet allemaal door Siemens geleverd.

Deelresultaat 2: Verslag van de eerste (interne) workshop

Op 13 maart 2000 is een 'interne' workshop georganiseerd met alleen deelnemers uit het consortium. Bij de voorbereiding van de workshop heeft een brainstorm plaatsgevonden met het ontwikkelteam met als doel een eerste selectie te maken van voorbeelden van methoden en technieken en de mogelijkheden die deze bieden voor analyse van grote datareeksen. Hiervan is een presentatie gegeven op de workshop. Met de eerste workshop is een indruk verkregen van de 'vragen en behoeften' die leven bij de probleemhebbers. De workshop heeft twee kanten op gewerkt. Ten eerste zijn vragen die leven bij de gemeenteambtenaren blootgelegd. Ten tweede is aan de hand van voorbeelden van mogelijkheden met grote datasets de 'fantasie' van de probleemhebbers getriggerd. Voor de resultaten uit de workshop wordt verwezen naar het verslag in bijlage C.

Deelresultaat 3: Verslag van de externe workshop (niet uitgevoerd)

Op basis van de resultaten van de interne workshop zou door het ontwikkelteam een grote 'openbare' workshop worden voorbereid. Het doel van deze externe workshop zou tweeledig zijn geweest: (1) het toetsen en eventueel aanvullen van de vragen die uit de interne workshop naar voren zijn gekomen en (2) het creëren van een draagvlak voor de toepassingsmogelijkheden van grote datasets in het algemeen en een draagvlak voor dit project in het bijzonder. Omdat in de interne workshop geconcludeerd werd dat het extern toetsen van de resultaten op dat moment weinig meerwaarde zou hebben, is ten opzichte van de activiteiten zoals opgenomen in het basisprojectplan in overleg met SKB en het consortium besloten om deze 'externe workshop' pas aan het eind van het project te plannen. Dit paste bovendien beter in de planning van workshops zoals SKB die voor ogen had. Wel is een tweede interne workshop met het consortium georganiseerd (zie deelresultaat 3a).

Deelresultaat 3a: Verslag van de tweede (interne) workshop

In fase 1 is op 9 mei 2000 nog een tweede interne workshop/bijeenkomst met het consortium georganiseerd. Uit de eerste workshop is een groot aantal vragen naar voren gekomen. In de tweede workshop is gekozen om twee cases uit te werken, waarvan per case de onderzoeksvragen zijn uitgediept. Voor de resultaten uit de workshop wordt verwezen naar het verslag in bijlage D.

Deelresultaat 4 en 5: Posterpresentatie en demo van Wereld Water Forum

Op het Wereld Water Forum heeft een demonstratie gedraaid en is een poster gepresenteerd. De poster is op A4-formaat in bijlage E opgenomen.

Deelresultaat 6: Eindrapportage van fase 1

De resultaten uit fase 1 zijn vastgelegd in een uitgebreide deelrapportage dat als tussenproduct van deze studie de basis vormt voor het basisprojectplan voor fase 2. In het rapport zijn alle relevante resultaten uit fase 1 opgenomen.

Deelresultaat 7: Basisprojectplan voor fase 2

Ter afronding is een meer gedetailleerd basisprojectplan geschreven voor fase 2. Hierin staat welke activiteiten (resultaten, tijd en kosten) in fase 2 voor de twee cases worden uitgewerkt. Daarbij is een vertaling gemaakt van de vragen en behoeften naar enkele concrete stellingen over de inzetbaarheid van *HRM*. Op basis van het eindrapport en het basisprojectplan voor fase 2 heeft de toetsingscommissie van SKB met een aantal kanttekeningen een positieve go/no go beslissing genomen over de doorgang van fase 2.

Fase 2 (juli 2000 - juli 2001):

Deelresultaat 8 + 9: Een toegankelijke dataset

Via het uitlezen en bewerken van de data uit de *divers* is een dataset opgebouwd, bestaande uit de meetreeksen van alle *divers* die zijn ingezet in het proefproject Waterstad 2000. Er is voor gekozen om deze datasets eenvoudig toegankelijk te maken door ze in CSV-format op te slaan, waarmee ze bijvoorbeeld in Excel te bewerken zijn. Dit heeft als voordeel dat ze vrij goed uitwisselbaar zijn, bewerkt kunnen worden met statistische technieken en uiteindelijk weergegeven kunnen worden via een GIS. De meetreeksen bestaan voor het overgrote deel uit stijghoogten (drukken) en voor een beperkter deel uit elektrische geleidbaarheid en temperatuur. De frequentie van meten is 1 of 2 metingen per uur.

Deelresultaat 10: Rapportage van dataverwerking en foutencorrectie

In het project zijn methoden afgewogen en uiteindelijk ook gebruikt om datasets te verwerken en meetfouten te corrigeren. Dit is vastgelegd in 3 notities. Eén van deze notities gaat in op de datastructuur en de correcties van de gemeten drukken voor bijvoorbeeld de variatie in de luchtdruk. Deze bewerkingen van de ruwe meetreeksen moeten worden uitgevoerd voordat ze gebruikt kunnen worden voor analyses. In een andere notitie is het beheer van de meetreeksen beschreven en in de laatste notitie komt het onderwerp correlatie aan bod en de consequenties die dat heeft voor de *meetfrequentie*. De resultaten zijn verwerkt in hoofdstuk 5 van dit eindrapport. De afzonderlijke notities zijn integraal opgenomen in bijlage F.

Deelresultaat 11: Uitwerking van methoden en technieken aan de hand van twee cases

Om antwoord te kunnen geven op behoeften die leven bij de gemeenten zijn enkele technieken in een concrete (monitorings)toepassing uitgewerkt aan de hand van twee cases. Dit levert concreet toegepaste methoden of technieken voor het beantwoorden van enkele stellingen over de bruikbaarheid van *HRM*. Uiteindelijk zijn eindbeelden in de vorm van kaarten en grafieken ('plaatjes') gemaakt waarmee de vragen van gemeenten worden beantwoord. Aan de hand van een tabel is de inzetbaarheid van *HRM* verder veralgemeniseerd en zijn de resultaten toepasbaar gemaakt voor andere locaties en omstandigheden. De resultaten zijn vastgelegd in het voorliggende eindrapport. De bijlagen G en H geven een beschrijving van beide cases.

Deelresultaat 12: Eindrapportage

Voorliggend eindrapport, waarin de resultaten van het gehele project zodanig zijn vastgelegd dat de eindgebruikers inzicht krijgen in de mogelijkheden van *HRM* en de wijze waarop ze het in hun eigen situatie kunnen toepassen.

Deelresultaat 13: Poster van het eindresultaat

Een poster gepresenteerd op Bodembreed (november 2000) en gepresenteerd tijdens de kennisoverdrachtsessie van SKB op 22 maart 2001.

Deelresultaat 14: Demonstratie van eindbeelden

Een demonstratie van een toepassing via concrete eindbeelden gebruikt bij een presentatie op Bodembreed en verder gebruikt op de kennisoverdrachtsessie van SKB op 22 maart 2001.

Nog uit te voeren in 2001:

Deelresultaat 15: Publicatie

Een publicatie zal worden opgesteld voor een in overleg met SKB te bepalen vakblad.

BEHOEFTE VAN GEBRUIKERS

3.1 Toepassingsvelden van *HRM*

In het meetnet van Delft zijn circa 146 ondiepe meetpunten voorzien van *divers* met drukmeters. Enkele van deze *divers* kunnen tevens de temperatuur en geleidbaarheid meten. Omdat zuurstof-*divers* nog niet in voldoende mate operationeel waren, zijn deze in het kader van het *HRM*-project niet gebruikt. Naar verwachting zullen in de nabije toekomst ook *divers* voor het meten van andere waterkwaliteitsparameters op de markt komen.

Om te demonstreren wat de mogelijkheden zijn van *HRM* voor het beantwoorden van vragen en behoeften van eindgebruikers (gemeenten en provincies), hebben we eerst deze behoeften op een rijtje gezet. Deze behoeften bestaan uit situaties of ingrepen waarbij *HRM* via verschillende toepassingen gebruikt zou kunnen worden.

Voorbeelden van situaties/ingrepen, waarbij mogelijk *HRM* gebruikt kan worden, zijn:

- wateroverlast, door grote neerslag, hoge oppervlaktewaterpeilen of beëindiging van grondwateronttrekkingen;
- uitdamprisco van verontreinigingen, bijvoorbeeld onder kruipruimten van woningen;
- (ongewenste) verspreiding van verontreinigingen;
- (natuurlijke) afbraak van verontreinigingen, bijvoorbeeld bij een sanering;
- zettingen als gevolg van stijghoogte- of grondwaterstandsverlaging, bijvoorbeeld bij de aanleg van een tunnel of parkeergarage;
- waterspanningen die grenswaarden overschrijden, bijvoorbeeld bij de dijkbewaking langs grote rivieren;
- verdroging, ook als gevolg van bijvoorbeeld de aanleg van (ondergrondse) infrastructuur;
- energieopslag en de effecten op de ondergrond;
- afkoppelen van verhard oppervlak;
- lekke riolering;
- verzilting;
- opdrijven van constructies.

De toepassingen van *HRM* voor de verschillende situaties/ingrepen hebben we samengevat in drie categorieën:

1. Offensief monitoren (vooraf aan een 'ingreep')

Hieronder verstaan we: de met een *HRM*-systeem vergaarde gegevens zodanig interpreteren dat er gedetailleerde kennis van grondwaterstroming ontstaat die wordt vertaald in een voorspellend model. Op basis van deze gedetailleerde kennis en actuele metingen is het mogelijk om bijvoorbeeld grondwaterstroming te voorspellen. Als afgeleide kan ook mogelijke verspreiding van verontreiniging worden voorspeld, waardoor het mogelijk wordt te anticiperen op het optreden van ongewenste situaties en daardoor tijdig vooraf preventieve maatregelen te nemen. Een voorbeeld is het voorspellen van wateroverlast in een wijk aan de hand van historische meetreeksen. Uiteraard is dit ook mogelijk voor andere processen.

2. Controlerend monitoren (tijdens een ingreep)

Met een *HRM*-grondwatersysteem registreren van veranderingen en de grootte van die veranderingen. Als afwijkingen buiten tevoren vastgestelde acceptabele waarden komen, kan het systeem deze signaleren en daarop alarm slaan. Zo nodig kunnen dan achteraf maatregelen

getroffen worden. Een voorbeeld is het direct alarmeren bij het optreden of dreigen van wateroverlast.

3. Defensief monitoren (na afloop van de ingreep)

Door de tijdreeksen gemeten met *HRM* achteraf te analyseren is het mogelijk om oorzaken van veranderingen in grondwatersystemen te achterhalen. Dit kan van belang zijn bij het bepalen van de aansprakelijkheid voor overlast en kan wellicht bijdragen aan de basis voor het beleid en de handhaving van vergunningen. Een voorbeeld is het analyseren van de oorzaak na het optreden van wateroverlast.

Naast deze op de inhoudelijke toepassing van *HRM* gerichte vragen, leven bij de eindgebruikers vragen over de wijze waarop je met *HRM*-data en het meetnet moet omgaan. Het gaat dan onder andere om universeel toepasbare zaken voor *HRM*, zoals data-acquisitie, databeheer, data(voor)-bewerking (controle, correctie, presentatie in tabel en grafiek) en data-analyse (statistiek). Hierop komen we in hoofdstuk 5 terug. Een meer uitgebreide beschrijving van alle vragen en behoeften is gegeven in het verslag van twee (interne) workshops (zie bijlage C en D).

3.2 Cases voor de uitwerking van toepassingsvelden

Om voor de onderscheiden behoeften concreet de mogelijkheden van *HRM* aan te kunnen geven, is ervoor gekozen om in het project de toepassingsvelden aan de hand van twee gekozen cases nader uit te werken. In deze paragraaf wordt een beschrijving van de cases gegeven.

Case 1: *HRM* in Delft als geheel

In case 1 is het volledige meetnet (zie bijlage B) en de beschikbare dataset van Waterstad 2000 gebruikt. In bijlage G is een uitgebreide toelichting op de case opgenomen. Het gaat hier om het zoeken naar toepassingsmogelijkheden van *HRM* op grootschalig ruimtelijk niveau (schaalgrootte van wijk of stad). We willen dus niet de toepassing zelf in detail onderzoeken. We onderscheiden binnen de toepassingsmogelijkheden twee aandachtspunten:

1. Inzicht krijgen in de samenhang en de dynamiek van het grondwatersysteem in de stad, met name zaken als grondwaterstromingspatronen, stijghoogten en fluctuaties daarin en invloeden op het grondwater (oppervlaktewaterpeilen, rioolpeilen, neerslag). De reden voor deze doelstelling is dat inzicht in het stedelijk grondwatersysteem essentieel is voor een samenhangend beheer ervan en daarmee essentieel is voor de andere toepassingen van *HRM* die binnen dit project worden onderzocht.
2. De toepassingsmogelijkheden van *HRM*-metingen onderzoeken, gekoppeld aan de kennis van het grondwatersysteem. Daarbij gaat het met name om zaken als:
 - vaststellen van relevante statistische karakteristieken voor het grondwatersysteem, waaraan dan vervolgens actuele meetgegevens getoetst kunnen worden;
 - vaststellen van geschikte manieren om actuele gegevens te 'toetsen' aan de statistische parameters, om zo (dreigende) ongewenste situaties te kunnen signaleren;
 - onderzoeken van manieren om actuele gegevens overzichtelijk en bruikbaar te presenteren, c.q. om geconstateerde afwijkingen op bruikbare wijze te rapporteren.

Case 2: *HRM* bij bodemverontreiniging

In deze case wordt ingegaan op een concrete bodemverontreiniging in Delft. Een uitgebreide toelichting op case 2 is gegeven in bijlage H. De bedoeling van de inzet van *HRM* bij bodemverontreiniging is het registreren van processen die optreden bij bodemverontreiniging en bij sanering daarvan, waaronder:

- monitoren van (mogelijke) verspreidingspatronen en het optreden van situaties met verhoogde blootstellingsrisico's (denk aan vinylchloride in ondiep grondwater in kruipruimten);

- monitoring van natuurlijke afbraakscenario's (monitoring van grondwatersystemen en wellicht in de toekomst monitoring van procesparameters);
- aantonen van een 'stabiele eindsituatie' op grond van nauwkeurig inzicht in grondwatersystemen en wellicht procesparameters;
- controleren van de werking van sanerings- en beheersingssystemen.

Specifiek voor de uitwerking van case 2 kozen we voor de volgende aandachtspunten:

1. Het signaleren van (veranderingen) in de grondwaterstromingspatronen in de omgeving van de verontreiniging, alsmede van de effecten van intermitterende onttrekking van grondwater daarop.
2. Het signaleren van fluctuaties in grondwaterstanden, gericht op het bepalen van uitdamprisico's. In de gebruikte testcase zijn er geen werkelijke uitdamprisico's als gevolg van de lokale bodemopbouw en verontreinigingssituatie. Als we echter voor dit onderzoek aannemen dat er wel verontreiniging in het ondiepe grondwater aanwezig zou zijn, kunnen we de case hiervoor gebruiken. Hier hebben we dus fictieve elementen aan de case toegevoegd om toepassingsmogelijkheden te kunnen onderzoeken.
3. Onderzoeken in hoeverre op deze locatie metingen van temperatuur en geleidbaarheid inzicht geven in de biochemische processen in de verontreinigde zone.

3.3 Stellingen voor de afbakening van toepassingsvelden

Uit de behoeften van gemeenten en provincie, zoals vertaald in eerder genoemde toepassingsvelden en onderzoeksvragen en rekening houdend met de mogelijkheden die de twee cases in de gemeente Delft bieden, zijn stellingen geformuleerd. Deze stellingen zijn opgesteld om het onderzoek in eerste instantie af te bakenen en om concreet op de mogelijkheden van *HRM* in te kunnen gaan. De stellingen vormen een kapstok voor de rapportage en geven aan waar we in het onderzoek aandacht aan hebben besteed.

Hieronder zijn de gestelde stellingen beschreven. In hoofdstuk 4 worden deze stellingen stuk voor stuk afgelopen en beantwoord aan de hand van de ervaringen uit de twee cases.

Stelling 1: Wateroverlast

HRM is een middel om snel wateroverlast (in kruipruimten) te signaleren.

Stelling 2: Uitdamprisico

De *HRM*-metingen kunnen gebruikt worden voor het beter inschatten van het uitdampingsgevaar van vinylchloride naar de lucht (kruipruimten).

Stelling 3: Verspreiding grondwaterverontreinigingen

HRM is een middel om een verandering in de grondwaterstroming(srichting) te signaleren, waardoor het beheer van grondwaterverontreinigingen verbeterd en sanering en beheerssystemen beter ontworpen kunnen worden.

Stelling 4: Monitoring sanering

HRM is een bruikbaar instrument voor het monitoren van het grondwatersysteem bij saneringslocaties. Daarbij kan *HRM* vaststellen of de grondwaterstroming is zoals bij het ontwerp van de sanering/beheersing was bedoeld en signaleren of deze grondwaterstroming binnen bepaalde marges blijft.

Stelling 5: Geautomatiseerd bewakingssysteem

HRM is bruikbaar voor geautomatiseerde bewakingssystemen van gemeenten of provincies. Hiermee worden aanbevelingen opgesteld over het algemeen gebruik van *HRM*-metingen bij saneringslocaties. Deze aanbevelingen kunnen gebruikt worden voor het opzetten van een geautomatiseerd bewakingssysteem (bijvoorbeeld in een Bodem Informatie Systeem (BIS)) voor gemeenten of provincies.

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN HRM

4.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn vijf stellingen geponeerd. De stellingen worden in dit hoofdstuk aan de hand van de twee concrete cases beoordeeld. Daarbij worden enkele kenmerkende aspecten van HRM toegelicht. Het gaat dan om welke parameter gemeten moet worden, wat de orde van probleemoppervlakte is en hoe lang de maximale reactietijd is. Aan de hand hiervan kan de *meetfrequentie* en de *meetdichtheid* worden bepaald. Afhankelijk van de problematiek is de noodzaak van *telemetry* ingeschat.

Voor het HRM-meetnet moet onderscheid gemaakt worden tussen de *karakterisatiefase* van het meetnet en de 'doorgaande' monitoring. In de *karakterisatiefase*, voorafgaand aan het opzetten van een definitief meetnet, wordt eerst het (grondwater)systeem gekarakteriseerd om zo te komen tot een optimale inrichting van het meetnet. We hebben aangenomen dat de benodigde *meetfrequentie* in de *karakterisatiefase* een orde hoger is dan de verwachte frequentie in de *monitoringsfase*. De ruimtelijke dichtheid van een meetnet is in de *karakterisatiefase* in principe ook hoog. Dit is nodig om te bepalen waar het meetnet uitgedund en minder frequent bemeten kan worden. Dit wordt mede bepaald door de mate van heterogeniteit van de ondergrond. Aanvullende hydrologische systeeminformatie kan bij de uitdunning van dienst zijn. In hoofdstuk 5 komen we terug op de *karakterisatiefase*. In de rest van dit hoofdstuk gaan we verder in op HRM tijdens de doorgaande monitoring.

Per stelling is aangegeven wat de benodigde *meetdichtheid* in tijd en ruimte is. De benodigde *meetdichtheid* is gedefinieerd als de minimale dichtheid die nodig is om conclusies te kunnen trekken voor de betreffende stelling. Daarbij is de volgende globale indeling aangehouden:

- Een dichtheid in de tijd (*meetfrequentie*) van uren, dagen, weken en maanden. De frequentie in het gehele meetnet van Delft bedraagt één meting per uur. Voor de *divers* bij case 2 (bodemverontreiniging) geldt een frequentie van één meting per halfuur.
- Een dichtheid in de ruimte op stads-, wijk- en straatniveau. De dichtheid op wijkniveau is ongeveer gelijk aan de dichtheid van het gehele meetnet in Delft (case 1), ofwel circa 10 à 20 peilbuizen per wijk. In case 2 is ingezoomd op een saneringsgeval met 11 peilbuizen rond een saneringslocatie. Dit wordt het straatniveau genoemd. Een extensief meetnet met circa 20 peilbuizen voor een stad als Delft is het stadsniveau genoemd.
- Daarnaast is beoordeeld of *telemetry* nodig is. Dit is het geval wanneer op zeer korte termijn (dagen) maatregelen dienen te worden genomen na overschrijding van kritische meetwaarden.

4.2 Stelling 1: Wateroverlast

HRM is een middel om snel wateroverlast (in kruipruimten) te signaleren.

Wateroverlast is in dit onderzoek gedefinieerd als overlast die ontstaat als gevolg van te hoge grondwaterstanden. Daarbij hebben we ons beperkt tot overlast in kelders en kruipruimten. Overlast als gevolg van meer drainageafvoer en overlast in tuinen is dus buiten beschouwing gelaten. Als monitor voor wateroverlast geldt de hoogte van de grondwaterstand. Deze grondwaterstand kunnen we met een grondwatermeetnet meten.

We maken onderscheid tussen overlast in kelders en overlast in kruipruimten. Kruipruimten vormen over het algemeen geen deel van de directe woon-/leefomgeving, kelders vaak wel. Daardoor is overlast in kelders vaak urgenter dan in kruipruimten. We gaan ervan uit dat kelders niet waterdicht zijn.

In kelders vormt overlast over een periode van een dag een probleem; voor kruipruimten is een periode van een week aangenomen.

De oppervlakte, waarover de overlast optreedt, ligt op woningniveau: 50 tot 100 m².

Met behulp van een meetsysteem moet het mogelijk zijn om te anticiperen op dreigende overlast van een te hoog grondwaterniveau. Naar aanleiding van de registratie van grondwaterstanden kan de situatie ter plekke worden gecorrigeerd, waardoor de overlast niet of in mindere mate optreedt. Correctie maatregelen zijn het oppompen van grondwater of het versneld afvoeren van oppervlaktewater.

Als gevolg van de genoemde aannamen geldt dat voor wateroverlast in kelders de grondwaterstand met een frequentie in de orde van uren moet worden gemeten. Voor de kruipruimten kan deze frequentie in de orde van dagen liggen. In case 1 is gebleken dat binnen een periode van uren een tijdelijk verhoogde grondwaterstand kan optreden.

In figuur 4 zijn vijf meetreeksen van de grondwaterstand in het centrum van Delft weergegeven. Uit figuur 4 blijkt dat peilbuis L11.112 weinig gevoelig is voor neerslag. Daarentegen reageert peilbuis L11.116 snel en veel op de neerslag.

Afhankelijk van de heterogeniteit, die zal moeten worden bepaald in de *karacterisatiefase*, zal de dichtheid van het meetnet worden vastgesteld. Hierdoor is het mogelijk dat het definitieve meetnet kan bestaan uit zogenaamde thermometerpunten; aan de hand van deze representatieve meetpunten kunnen probleemsituaties worden gesignaleerd.

Als men ter voorkoming van wateroverlast tijdig wil kunnen reageren is het wenselijk om voor de monitoring *telemetrie* toe te passen. Maatregelen dienen immers binnen een periode van een dag genomen te kunnen worden.

Samenvatting van stelling 1: Wateroverlast

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	meetfrequentie	meetdichtheid	telemetrie
wateroverlast (neerslag)	kelder	gws	uur	wijk	ja
	kruipruimte	gws	dag	wijk	ja

Neerslag

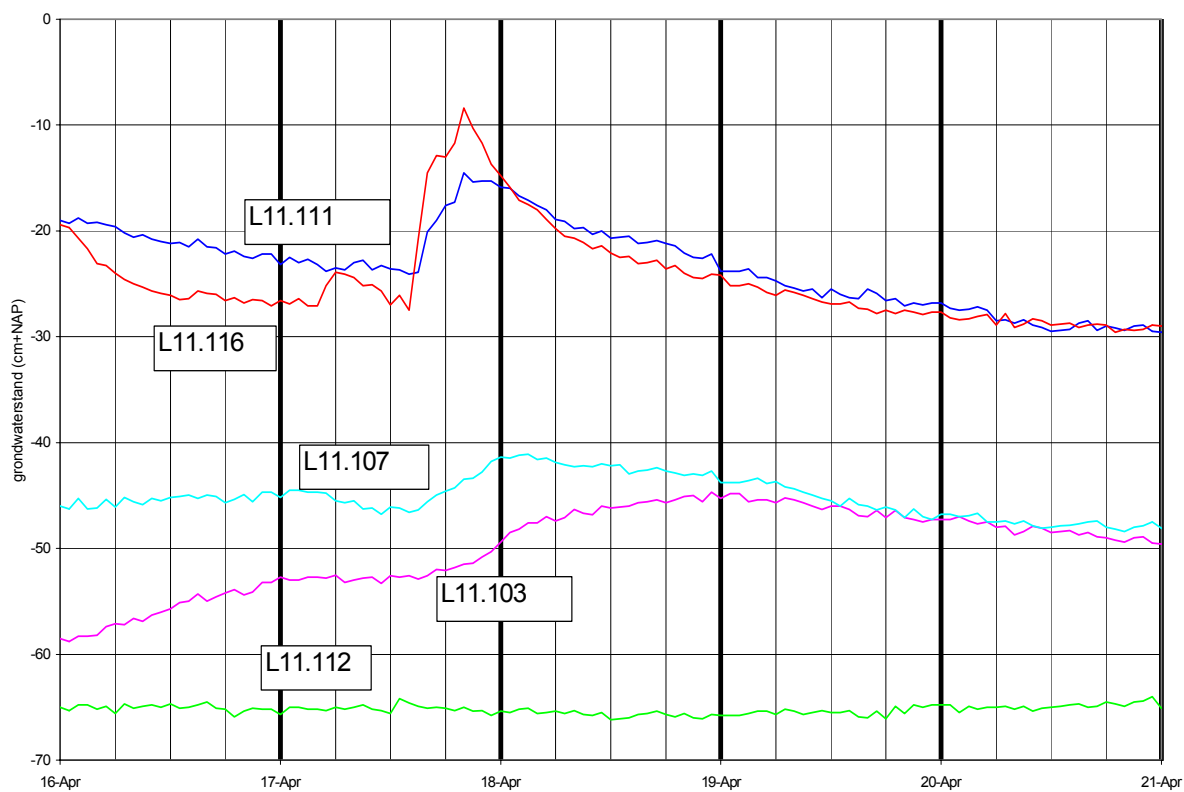
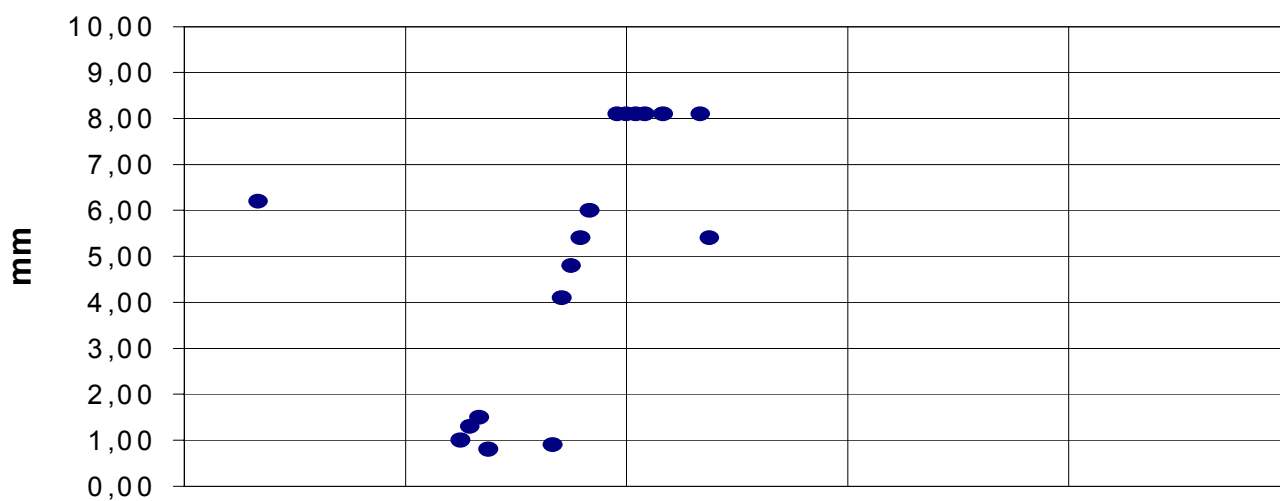


Fig. 4. Vijf stijghoogtereeksen in het centrum van Delft met een *meetfrequentie* van eenmaal per uur.

4.3 Stelling 2: Uitdamprisico

De HRM-metingen kunnen gebruikt worden voor het beter inschatten van het uitdampingsgevaar van vinylchloride naar de lucht (kruipruimten).

Ten tijde van het project was geen locatie met een daadwerkelijke ondiepe vinylchlorideverontreiniging voorhanden. Daarom is verondersteld dat op de locatie (van case 2) wel een verontreiniging boven in het ondiepe grondwater aanwezig is.

Voor het uitdamprisco beschouwen we dus vinylchloride als voorbeeld. Deze stof komt veel in de Nederlandse bodem voor ten gevolge van biologische afbraak van de oplosmiddelen TRI en PER. Vinylchloride is een relatief giftige en vluchtige stof. De risico's van uitdampen van vinylchloride zijn daarom relatief hoog. Vanuit het grondwater kan deze stof uitdampen onder de volgende omstandigheden:

- grondwaterstand dicht bij kelderniveau/kruipruimte;
- fluctuerende grondwaterstanden; onder deze omstandigheden kan het vinylchloride makkelijker aan de onverzadigde zone worden afgegeven;
- vervuild grondwater dicht aan het maaiveld (dus niet overdekt door een neerslaglens).

In een stedelijk gebied als Delft gaat het vooral om het risico van uitdamping in kruipruimten en kelders. Om het risico van uitdampen te kunnen monitoren moet dus zowel de ligging van de grondwaterstand ten opzichte van de kelder als de grondwaterkwaliteit boven in het grondwaterpakket worden gemonitord [literatuur: 2 NOBIS-rapporten *'The fate of BTEX and chloroethenes in the unsaturated zone: a literature review on processes and effects on human risks'* en *'Risicoreductie van vluchtige verbindingen door afbraak in de onverzadigde zone'*, beide van TNO-MEP, augustus 1999].

Grondwaterstand

Omdat in stedelijk gebied de neerslag snel via het riool wordt afgevoerd, is de grondwateraanvulling laag. Daardoor is het grondwater nauwelijks overdekt met een neerslaglens. Het risico bij hoge grondwaterstanden onder kruipruimten en kelders is dus hoog.

Om uitdamping te voorkomen moet ter plaatse van de verontreiniging de grondwaterstanddiepte voldoen aan een minimaal toelaatbaar niveau. Dit niveau verschilt per situatie, afhankelijk van de verontreinigingssituatie, de bodemopbouw, de fluctuatie in grondwaterstand en de toestand van de funderingen en vloeren. Dit niveau mag in principe niet overschreden worden, in geen enkele woning. Als dit wel gebeurt, dienen luchtmetingen te worden genomen. Met behulp van een meetnet kan een gebiedsbeheerder hierop anticiperen.

Dit probleem is vergelijkbaar met de problematiek van grondwateroverlast in kelders (zie paragraaf 4.2). De gewenste *meetfrequentie* ligt daarom in de orde van uren. Deze frequentie is uiteraard afhankelijk van de responstijd van het hydrologische systeem. In case 1 is getoond dat een grondwaterpiek binnen 12 uur voorbij kan zijn. Daarbij verandert de grondwaterstand soms wel 5 tot 10 cm per uur.

In case 2 zijn de gemeten grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld gepresenteerd (zie fig. 5). Ook zijn hier tijdreeksen weergegeven van gemeten grondwaterstanden in de periode van eind mei tot begin juni. Het risico op uitdamping van vinylchloride naar de onverzadigde zone is het grootst wanneer de grondwaterstand stijgt en daarna weer daalt, doordat dan het met vinylchloride verontreinigde grondwater achterblijft in de poriën en dus over een groter bodemvolume wordt verspreid. Daardoor neemt het beschikbare oppervlak voor uitdamping sterk toe. Dit is eind mei het geval. Bovendien is de grondwaterstand op dit tijdstip hoog. Wanneer zich boven in het grondwaterpakket vinylchloride bevindt, is dit een goed tijdstip voor controlerende grondwater- en luchtkwaliteitsmetingen. Omdat het ondiepe grondwater bij case 2 niet verontreinigd was met vinylchloride, is dit niet gedaan.

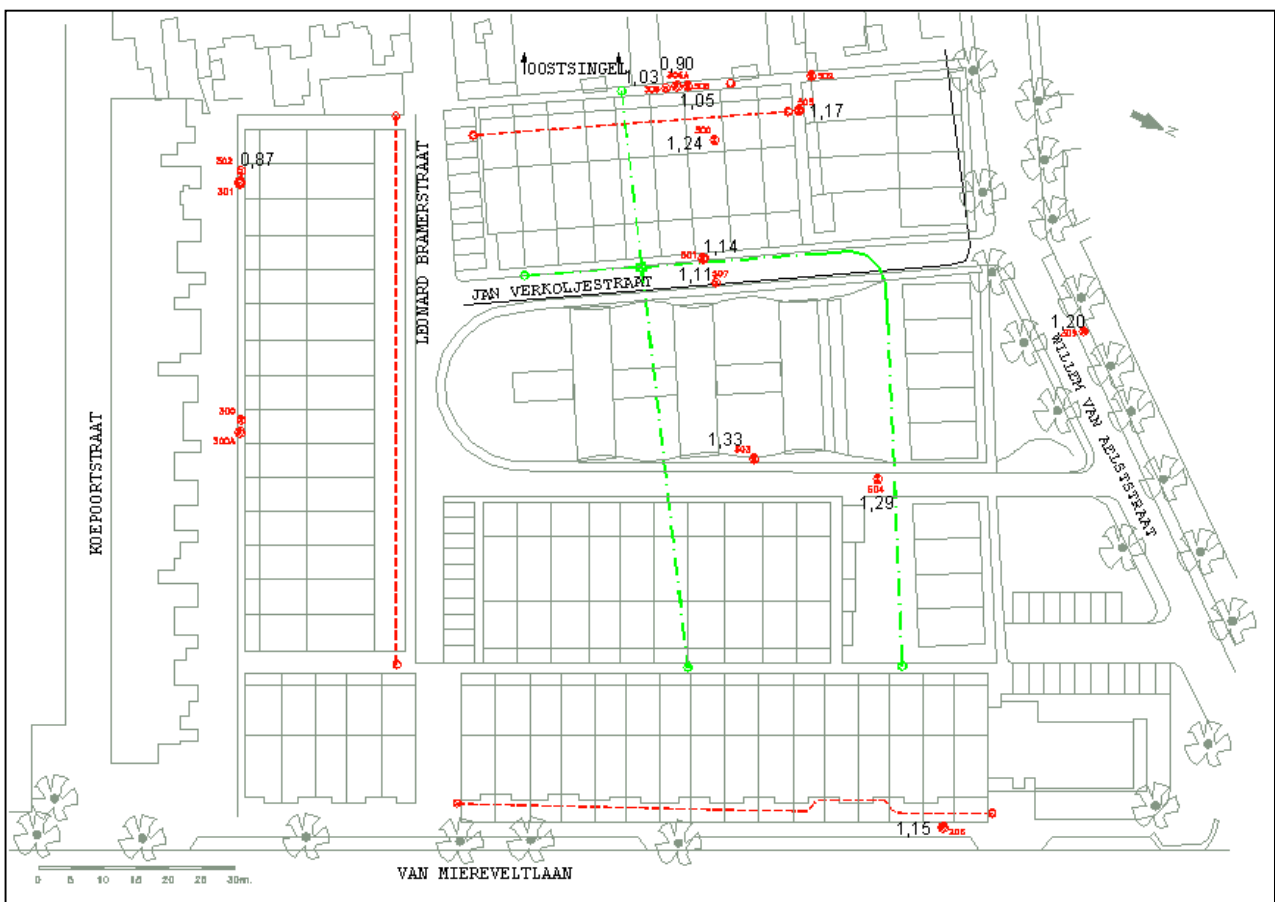
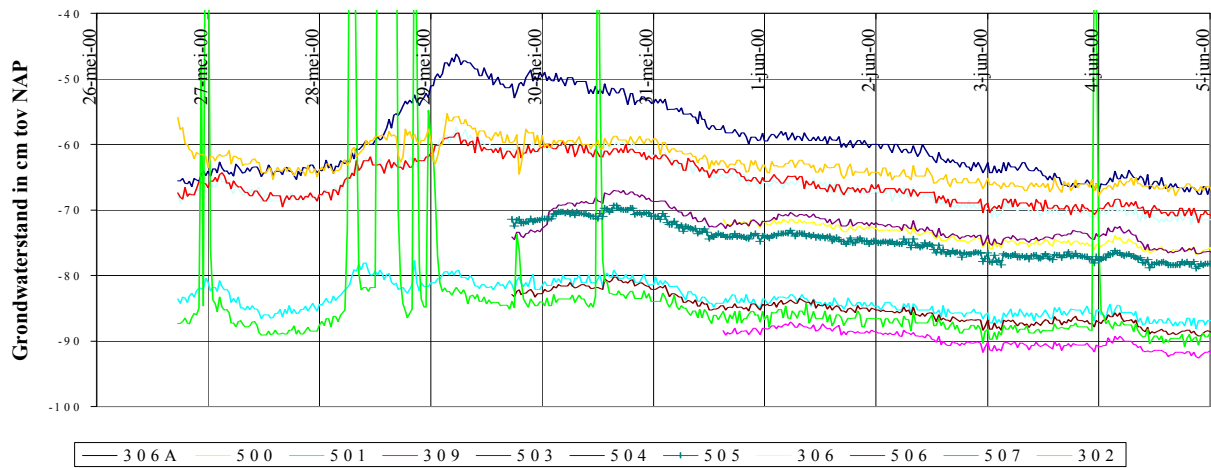


Fig. 5. Case 2, tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden en een plattegrond met de grondwaterstand op 7 juli 2000 in meter beneden het maaiveld.

In figuur 6 is het meetnet van Delft weergegeven, waarin het voorkomen van ondiepe grondwaterstanden is gepresenteerd. De kleuren van de vlakken geven de wijkgemiddelde grondwaterstanden weer. De bolletjes representeren de puntmetingen in de peilbuizen. Daarbij geeft de buitenste cirkel de weekgemiddelde waarde weer en de binnenste cirkel de maandgemiddelde waarde. Hiermee valt na enige oefening in één oogopslag te zien of in een bepaalde wijk vrij veel peilbuizen met afwijkende week- en/of maandgemiddelde grondwaterstanden zijn. Ook valt direct af te lezen of er grondwaterstanden dicht onder het maaiveld voorkomen. In figuur 6 komen geen rode

bolletjes voor, dus nergens ligt de gemiddelde grondwaterstand minder dan 50 cm onder het maaiveld. Door dit ook voor uur- of dagwaarden te doen, blijkt snel of en zo ja, waar hoge grondwaterstanden voorkomen. Dit is een mogelijke uitwerking van de inzet van *HRM* met het oog op uitdamprisico. Op basis van dergelijke gemeentedeckende kaarten kunnen per wijk of voor een cluster van verontreinigingen de risico's op uitdamping worden ingeschat en kan eventueel worden besloten tot luchtmetingen of monstername.

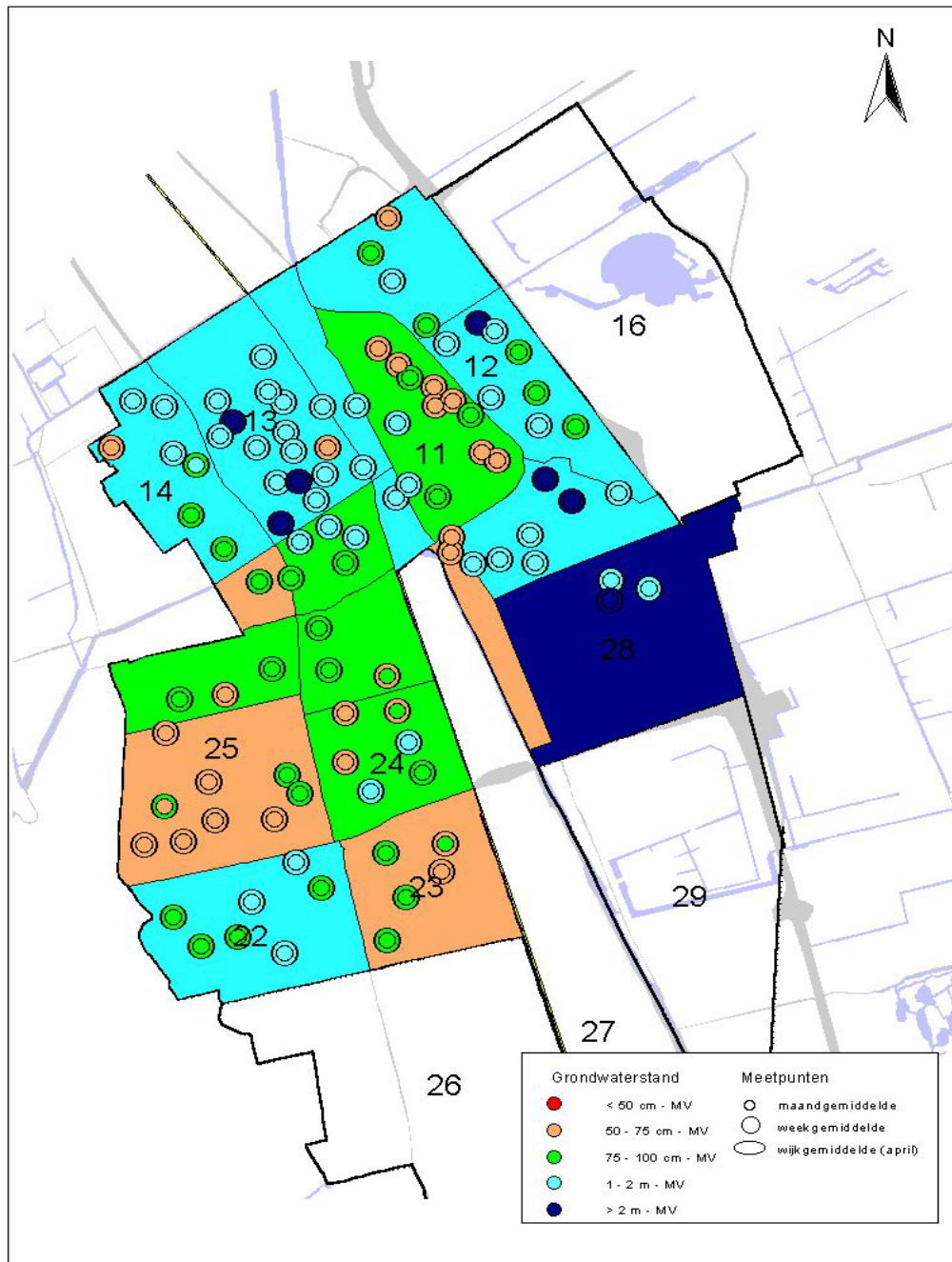


Fig. 6. Gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld in week 15, april 2000.

Grondwaterkwaliteit

In case 2 is de grondwaterkwaliteit gemonitord aan de hand van de geleidbaarheid. Het geleidingsvermogen is een maat voor het totale opgeloste gehalte aan ionen. Deze ionen kunnen direct gerelateerd zijn aan verontreinigingen (zout, zuur, metalen enz.) of indirect door het ont-

staan van afbraakproducten. Geconcludeerd is dat de concentraties aan verontreiniging te laag zijn om de geleidbaarheid te beïnvloeden om een goede voorspelling te kunnen doen over veranderingen in de waterkwaliteit. Bij hogere concentraties verontreinigingen kan dit mogelijk wel, bijvoorbeeld bij stortplaatsen.

Nu kunnen de gedetailleerde metingen van fluctuaties in de grondwaterstand goed worden gebruikt voor een goede bemonsteringsstrategie. Fluctuaties in concentraties vinylchloride kunnen dan beter worden verklaard.

Het wordt voorzien dat in de toekomst sensoren beschikbaar zijn voor het meten van vluchtige gechlorideerde verbindingen in het grondwater. Dit zijn dan zeer nuttige instrumenten voor een *HRM*-bewakingsstelsel.

In onderstaande tabel is de benodigde *meetfrequentie* samengevat. Vanwege het hoge risico van inhaleergevaar van giftige stoffen dient minimaal elk uur gemeten te worden. Wanneer ook een *telemetrische* verbinding aanwezig is, kunnen binnen 1 à 2 dagen aanvullende kwaliteitsmetingen worden uitgevoerd. Vanwege het lokale karakter van de verontreinigingen is een lokaal meetnet op straatniveau nodig.

Samenvatting van stelling 2: Uitdamprisco

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	<i>meetfrequentie</i>	<i>meetdichtheid</i>	<i>telemetrie</i>
uitdamprisco	kruipruimte/kelder	gws	uren	straat	ja

4.4 Stelling 3: Verspreiding grondwaterverontreinigingen

HRM is een middel om een verandering in de grondwaterstroming(srichting) te signaleren.

Om de verspreiding van bestaande grondwatervervuiling te monitoren moeten grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit (bijvoorbeeld Ec) worden gemeten. Met behulp van de grondwaterstanden kunnen stromingsrichtingen worden bepaald.

Verspreiding van grondwaterverontreiniging is een langzaam proces. De verspreiding voltrekt zich over perioden van jaren. De oppervlakte, waarover de verspreiding plaatsvindt, kan erg variëren. Mede afhankelijk van de grootte van de verontreinigingsbron heeft de vlek een grootte in de orde van ares tot hectares.

Met behulp van een meetnet kan de verspreiding worden gemonitord door het meten van de Ec en het in beeld brengen van het stromingspatroon. Als een verandering in de verspreiding wordt gesignaleerd, kan actie worden ondernomen. Stromingspatronen veranderen niet zo heel snel (zie bijlage G). Hierdoor is een *meetfrequentie* van ongeveer een maand voldoende.

In case 1 is het stromingspatroon van een deelwijk in Delft bepaald (zie fig. 7). Hieruit blijkt dat op basis van de meetnetdichtheid in geheel Delft geen betrouwbaar beeld kan worden gegeven van het stromingspatroon. De monitoringsdichtheid moet afgestemd zijn op de grootte van geohydrologische eenheden. In een systeem waar veel oppervlaktewater is, zoals in Delft, zijn deze eenheden klein en moet het meetnet dus dicht zijn.

Vanwege de tijdschaal is toepassing van *telemetrie* niet noodzakelijk.

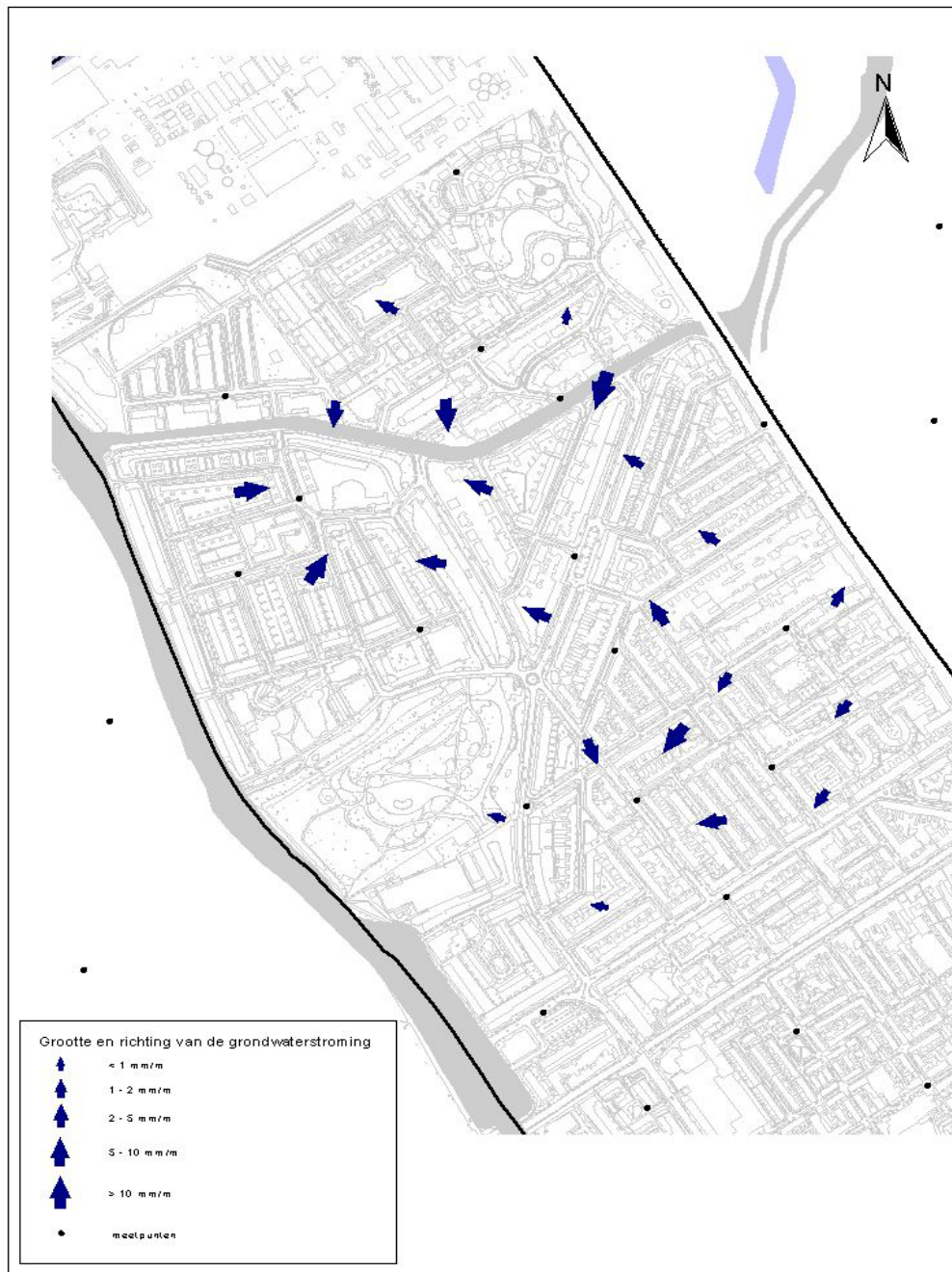


Fig. 7. Gemiddelde stromingsrichting in april in wijk 13.

In case 2 is een dicht meetnet toegepast op een verontreinigde locatie rondom een intermitterende onttrekking. In de case is geconcludeerd dat stromingen op korte termijn veranderen ten gevolge van de werking van het beheerssysteem. De veranderingen zijn reproduceerbaar en daarom ook voorspelbaar. Na een karakterisatieperiode kan daarom worden volstaan met maandelijkse metingen. Het verschil in geleidingsvermogen kan gebruikt worden ter indicatie van het arriveren van een verontreinigingspluim. Voorwaarde is dat het elektrisch geleidingsvermogen in de omgeving voldoende afwijkt van de pluim en constant is. In dat geval kan een verandering in het geleidingsvermogen gesignaleerd worden.

In case 2 is geconcludeerd dat het geleidingsvermogen sterk fluctueert in de tijd en de ruimte. Daarom kon in dit geval moeilijk een afbakening van de verontreinigingspluim worden gemaakt. Het monitoren van een verontreinigingspluim is dus sterk locatie-afhankelijk.

Samenvatting van stelling 3: Verspreiding grondwaterverontreinigingen

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	meetfrequentie	meetdichtheid	telemetrie
verspreiding	grondwaterverontreiniging	gws; Ec	maand	straat	nee

4.5 Stelling 4: Monitoring sanering

HRM is een bruikbaar instrument voor het monitoren van het grondwatersysteem bij saneringslocaties.

Case 2 heeft zich geconcentreerd op het monitoren van een grondwatersanering met *HRM*. In het algemeen dient gesteld te worden dat elke sanering anders is. Wat betreft omstandigheden, zoals bodemopbouw, grondwaterstroming en verontreinigingssituatie, maar ook wat betreft aanpak en saneringsdoelstellingen.

Voor case 2 is geconcludeerd dat inzichten zijn verkregen die niet met het reguliere monitoringsprogramma zouden zijn verkregen. Het betreft het signaleren van:

- slecht functionerende peilbuizen door lekkende straatpotten;
- afwijkende instellingen van pompdebieten;
- een lokaal sterk wisselende grondwatersamenstelling (in macroparameters);
- het voorkomen van zeer 'zacht water' met een zeer lage geleidbaarheid; de oorzaak is niet met zekerheid vastgesteld;
- een lokaal sterk effect op de grondwaterkwaliteit ten gevolge van het intermitterend pompen;
- een sterke gradiënt in temperatuur in de richting van de grondwaterstroming.

Aan de andere kant bleken de concentraties verontreinigingen te laag (geworden) om duidelijke conclusies te kunnen trekken over:

- een verandering in temperatuur ten gevolge van afbraak;
- een duidelijke stratificatie in geleidbaarheid ten gevolge van afbraak

Bij case 2 is sprake van achtereenvolgens onttrekking, zuivering en infiltratie van grondwater. In dit geval verandert de grondwatersamenstelling relatief langzaam en is vanuit monitoringsoogpunt geen *telemetrie* nodig. In het algemeen heeft de noodzaak voor *telemetrie* te maken met de ernst van de situatie en het tijdsinterval tussen signaleren en handelen, maar ook met de voorspelbaarheid. Bij saneringen is het nut van *telemetrie* vooral gelegen in gevallen waarbij een onacceptabele situatie moet worden voorkomen. Aangezien natuurlijke afbraakprocessen erg traag zijn, is *telemetrie* dan niet nodig. Vanwege het lokale karakter van de verontreinigingen is een lokaal meetnet op straatniveau nodig.

Samenvatting van stelling 4: Monitoring sanering

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	meetfrequentie	meetdichtheid	telemetrie
afbraak	natuurlijk	Ec; T	maanden	straat	nee
	gestimuleerd	Ec; T	uren	straat	ja

4.6 **Stelling 5: Geautomatiseerd bewakingssysteem**

HRM is bruikbaar voor geautomatiseerde bewakingssystemen van gemeenten of provincies.

In case 1 en 2 is ervaring opgedaan met *HRM* bij een meetnet voor een gehele stad en één saneringslocatie. Het uiteindelijk doel is het maken van een geautomatiseerd systeem waarmee op hele korte termijn snel beslissingen gemaakt kunnen worden. Voor het controleren van de overschrijding van kritische grondwaterstanden is dit goed mogelijk. In dit geval lichten op een beeldscherm 'lampjes' op ter plaatse van het betreffende meetpunt. Het volgen van een sanering blijft meer maatwerk. Metingen van geleidbaarheid en temperatuur zijn afhankelijk van meerdere lokale factoren. In dit geval zal de gebruiker de metingen meer zelf moeten beoordelen en zijn 'expert-opinion' moeten geven.

Het ligt voor de hand dat de *HRM*-metingen geïntegreerd zullen gaan worden in Bodem Informatie Systemen (BIS) van gemeenten. Deze worden thans al gebruikt door gemeenten voor het opslaan en presenteren van verschillende meetdata. Met een BIS kan de *HRM*-meetdata worden geïnterpreteerd en standaard in kaartvorm worden gepresenteerd.

Benodigde (en in dit project gebruikte) apparatuur/programmatuur om vanuit 'de stoel' de gegevens te kunnen inlezen en interpreteren zijn: een krachtige pc met internetaansluiting en als programmatuur een GIS (Geografisch Informatie Systeem) en een database/Excel-omgeving om gegevens op te slaan en te bewerken.

4.7 **Extra inzichten**

In de eerder beschreven paragrafen is een analyse gegeven van de vooraf gestelde stellingen. Daarbij zijn gedurende het project nieuwe inzichten ontstaan over voorbeelden waar de metingen ook voor gebruikt kunnen worden. Voorbeelden zijn:

- het gebruik van temperatuurverschillen, naast metingen van stijghoogte/verhang, als extra (kalibratie) parameter bij het inschatten van de stroomsnelheid van het grondwater (case 2);
- het signaleren van onbekende onttrekkingen of infiltraties (case 1).

Naar aanleiding van het bereikte inzicht in de cases menen we *HRM* ook in te kunnen zetten voor monitoring van de volgende probleemvelden, hoewel we dit niet expliciet hebben onderzocht:

- zettingen als gevolg van daling van de grondwaterstand;
- verdroging als gevolg van grondwaterstandsverlagende maatregelen;
- gebruik van grondwater voor energieopslag (warmte/koude-opslag);
- verzilting als gevolg van een lokale onttrekking (upconing);
- verzilting als gevolg van langdurige ontwatering (brakke/zoute kwel);
- opdrijf risico van constructies bij hoge grondwaterstanden.

Door *diver*reeksen van oppervlakte- en grondwaterstanden te combineren met meteorologische gegevens kan een *HRM*-systeem voorspellingen maken van grondwaterstanden. Hierdoor kan de gebiedsbeheerder anticiperen op verwachte ontwikkelingen. Het *HRM*-meetnet wordt dan een instrument voor integraal waterbeheer.

Als alleen puntinformatie tekortschiet kan het meetnet worden gekoppeld aan een numeriek grondwatermodel. Op die manier kan de grondwatersituatie en daarvan afgeleide processen, zoals stroming en verspreiding, beter in beeld worden gebracht.

4.8 Conclusies en samenvatting

Uit de analyse van de stellingen en cases zijn conclusies getrokken over de inzetbaarheid van *HRM* bij specifieke probleemvelden. De conclusies zijn in tabel 2 samengevat. Een meer uitgebreide tabel met conclusies, waarin alle aspecten zijn opgenomen, is weergegeven in bijlage I.

Tabel 2. Conclusies met betrekking tot *HRM* per probleemveld.

probleemveld	specifiek (voorbeeld)	parameter	meetfrequentie	meetdichtheid	telemetrie
wateroverlast (neerslag)*	kelder	gws	uur	wijk	ja
	kruipruimte	gws	dag	wijk	ja
uitdamprisco*	kruipruimte/kelder	gws	uur	straat	ja
verspreiding*	grondwaterverontreiniging	gws; Ec	maand	straat	nee
afbraak*	natuurlijk	Ec; T	maand	straat	nee
	gestimuleerd	Ec; T	uur	straat	ja
zettingen (grootschalige grondwaterwinning)		gws	maand	wijk	nee
verdroging		gws	week	stad	nee
energieopslag		T	maand	wijk	nee
lekke riolering		gws (<i>diver</i> in riool: T, Ec)	week	straat	nee
verzilting	door onttrekking	Ec	week	wijk	nee
	door ontwatering	Ec	maand	stad	nee
opdrijven constructies		gws	uur	wijk	ja

Toelichting:

gws grondwaterstand

Ec elektrische geleidbaarheid

T temperatuur

* meer gedetailleerd uitgewerkt in dit onderzoek

Uit tabel 2 kan worden geconcludeerd dat de metingen voor zeer veel verschillende doeleinden gebruikt kunnen worden. Elke toepassing vereist zijn eigen *meetdichtheid* in de tijd en de ruimte. *HRM* is in het algemeen nuttig voor de toepassingen met veel geel gekleurde hokjes. Hier is een sterk lokaal verdicht meetnet nodig in combinatie met een korte responstijd. Met het gebruik van *telemetrie* kan snel actie worden ondernomen.

Ook toepassingen met groene vakjes, waar geen hoge resolutie nodig is, kunnen in een *HRM*-meetnet worden opgenomen. De kosten van het *HRM*-meetnet kunnen namelijk het best terugverdiend worden door de metingen voor zo veel mogelijk verschillende doeleinden te gebruiken. Zo ontstaat bovendien een uniform meetnet dat geschikt is als ondersteunend instrument voor het integraal waterbeheer in een gemeente.

OPZET VAN EEN *HRM*-SYSTEEM

5.1 Inleiding

Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat *HRM* op een groot aantal manieren kan worden toegepast. Wat het bovendien extra complex maakt is dat *HRM* gebruikt kan worden voor veel toepassingen tegelijkertijd. Toch is het deze mogelijkheid, die maakt dat *HRM* een prima tool kan zijn, die een integrale aanpak van het water(kwaliteits)beheer in het stedelijk gebied ondersteunt. Daarvoor moet een eindgebruiker echter wel inzicht hebben in alle belangrijke aspecten die een rol spelen bij de keuze voor een *HRM*-meetnet. Deze aspecten omvatten naast de mogelijkheden van *HRM* ook zaken die te maken hebben met het opzetten van een meetnet. Op het aspect kosten, ook van belang voor de keuze om een *HRM*-meetnet op te zetten, wordt in het volgend hoofdstuk ingegaan.

De aspecten, die we in dit hoofdstuk verder uitwerken, zijn in de chronologische volgorde waarin deze meestal in de dagelijkse praktijk aan de orde komen:

- Waarom wordt gemeten?
- Wat en hoe wordt gemeten?
- Eerst karakteriseren en dan monitoren!
- Zijn *HRM* en *telemetrie* werkelijk nodig?
- Hoe komen we tot een optimaal *HRM*-meetnet?
- Hoe werken we met de meetreeksen?

5.2 Waarom wordt gemeten?

Mede vanwege de mogelijkheid *HRM* flexibel in te zetten voor vele doeleinden, is het meer nog dan bij een 'gewoon' meetnet, essentieel voor een gestructureerde opzet van een *HRM*-systeem, een goede afweging te maken van de redenen waarom *HRM* wordt toegepast. Het gaat dan om de doelstellingen waarvoor *HRM* wordt ingezet. Een doelstelling voor het meetnet geeft minimaal inzicht in de behoeften en vragen die met het meetnet moeten worden beantwoord. In hoofdstuk 3 zijn voorbeelden van dergelijke vragen en behoeften behandeld en in hoofdstuk 4 zijn de mogelijkheden van *HRM* aangegeven om de vragen te beantwoorden.

5.3 Wat en hoe wordt gemeten?

De inrichting van een meetsysteem zal doorgaans beginnen met de vraag wát men wil meten en hóe. Het laatste zowel gespecificeerd naar ruimte als naar tijd.

Wat

Wát men wil meten hangt af van de vraag die met het meten moet worden beantwoord, maar ook met de technische mogelijkheden. We willen bijvoorbeeld eigenlijk concentratieniveaus van verontreinigende stoffen in het grondwater meten, maar behelpen ons met metingen van het geleidingsvermogen dat we daarvoor representatief veronderstellen. Of we meten temperatuur(sveranderingen), terwijl we eigenlijk de afbraak willen weten.

De informatie, waaraan behoefte is, moet uiteindelijk resulteren in een effectieve en efficiënte aanpak van het probleem. Hiervoor is het van belang om inzicht te hebben in de oorzaak en wellicht ook het gevolg van een probleem. Het is bovendien ook mogelijk dat maatregelen die getroffen worden om het probleem op te lossen ook gevolgen hebben voor het watersysteem.

Metingen alleen geven informatie over de toestand op een bepaalde plaats op een bepaald tijdstip. Met deze metingen is het vooral mogelijk om te bepalen of er dan en daar sprake is van een probleem of niet (registreren). Door meerdere metingen (in de ruimte én in de tijd) uit te voeren is het mogelijk om het gedrag van het systeem in beeld te brengen. Door dit gedrag te analyseren ontstaat de informatie die nodig is voor het beheer. De metingen (en de interpretatie hiervan) zijn dan gericht op het verkrijgen van een beter begrip van het gedrag van het systeem.

Hoe

Hoe men wil meten hangt samen met zowel de vraag als de technische mogelijkheden. De technische mogelijkheden in tijd zijn vrijwel onbeperkt. Dat wil zeggen dat, technisch gezien, continu kan worden gemeten in afzonderlijk meetperioden vanaf 1 à 2 seconden. De technische mogelijkheden in ruimte daarentegen zijn beperkt. Zelfs met zeer veel meetapparatuur op zeer korte afstand naast en onder elkaar wordt bij lange na geen continu beeld verkregen van het verloop van de te meten eigenschap (een voorbeeld van een continue meting in de ruimte, al is dat dan in slechts één - verticale - richting, is een sondeergrafiek). Duidelijk is derhalve dat vooral in ruimtelijke zin aanvullende kennis, ervaring van elders of desnoods aannamen nodig zijn om het volledige bereik van schaalniveaus te kunnen evalueren.

Hoe men wil meten vergt nóg meer beschouwingen. Ten eerste moet de 'buitencontour' worden vastgesteld. Hoe groot is het onderzoeksgebied en hoe lang is de onderzoeksperiode. Daarnaast moet de 'binnencontour' worden aangegeven. Welke differentiatie is binnen het onderzoeksgebied en binnen de onderzoeksperiode van belang? Volstaat een gemiddelde waarde van de eigenschap in het gehele onderzoeksgebied en over de gehele onderzoeksperiode of is het relevant om de eigenschap vast te stellen in een deelgebied of in een deelperiode?

Het feitelijk meten kan uiteindelijk op vele manieren. In het algemeen zijn we voor kennis over het grondwater afhankelijk van peilbuizen met filters op de dieptes waarvoor we de informatie willen hebben. Voor een aantal parameters zijn instrumenten beschikbaar die geautomatiseerd meten in het veld mogelijk maken. Parameters, waarvoor dat op dit moment het geval is, zijn druk (stijg-hoogte), temperatuur, elektrische geleidbaarheid, zuurstofgehalte en watergehalte. De *divers* die gebruikt zijn in dit project zijn hier een voorbeeld van. Onderzoek wordt nog gedaan naar het maken van sensoren voor detectie van bijvoorbeeld vinylchloride, olie of BTEX. De verwachting is dat deze sensoren over enkele jaren in staat zijn om concentraties op µg/l niveau te meten.

Er is echter ook een groot aantal parameters die alleen met draagbare meetapparatuur (on-site) of in een laboratorium gemeten kan worden. Bemonstering in het veld en meten in het laboratorium vergt veel inspanning om te meten, maar de voorinvesteringen per meetpunt zijn gering. Metingen met *divers* geven het omgekeerde beeld: weinig meetinspanning, meer voorinvestering. De keuze wordt vooral bepaald door het aantal metingen dat nodig is op een bepaald meetpunt en of deze metingen direct beschikbaar moeten zijn. Volledig geautomatiseerde meetsystemen hebben ook onderhoud nodig. Dit onderhoud moet minstens eenmaal per jaar worden uitgevoerd al was het alleen maar dat de batterijen voor de zenders slechts 1 jaar meegaan. Vervanging van de batterij betekent dat er twee ijkronen nodig zijn (één voor en één na de vervanging van de batterij). De kosten voor de vervanging van de batterij (inclusief ijkronen) zijn meegenomen in hoofdstuk 6 bij de vergelijking van *HRM* met traditioneel meten.

Onze conclusie is dat in de toekomst waarschijnlijk altijd sprake zal zijn van een combinatie van *diver*metingen, andere on-site metingen en/of laboratoriummethoden, waarbij de automatische metingen vooral gebruikt zullen worden om trends in de gaten te houden.

5.4 **Eerst karakteriseren en dan monitoren!**

De opzet van een *HRM*-systeem kan efficiënt plaatsvinden door de gewenste monitoringsperiode te laten voorafgaan door een karakteriseringsperiode. De karakteriseringsperiode is erop gericht het systeem te leren kennen en aan de hand van deze kennis het meetsysteem zo efficiënt mogelijk in te richten.

De karakterisering omvat in de eerste plaats een definitie van het meetsysteem. Dat houdt in dat het onderzoeksgebied en de onderzoeksperiode worden aangegeven en dat binnen het onderzoeksgebied en binnen de onderzoeksperiode relevante oppervlakken en relevante perioden worden vastgelegd waarop de te verzamelen gegevens betrekking moeten hebben. Dit deel van de karakterisering is vraagstellingsafhankelijk. Daarnaast richt de karakterisering zich op het vaststellen van de ruimtelijke en temporele afhankelijkheid, op de samenhang van de te meten eigenschappen met andere, voorspellende parameters en op de noodzaak om gebiedsdekkende informatie te verzamelen. Dit deel van de karakterisering is locatie- en tijdsafhankelijk.

In de praktijk zullen in de karakteriseringsperiode met een meetnet van (zeer) hoge resolutie gegevens worden verzameld om het grondwater- en meetsysteem te karakteriseren. De karakteristieken worden vervolgens gebruikt om de meest efficiënte *meetfrequentie* en de meest efficiënte meet(net)dichtheid vast te stellen. De verzamelde data kan ook worden gebruikt voor het kwantificeren van parameters in modellen die in de toekomst ingezet worden voor voorspellingen. In het algemeen zal het betekenen dat na de karakteriseringsperiode een aantal meetpunten kan vervallen. De vrijkomende apparatuur kan dan elders worden ingezet.

5.5 **Zijn *HRM* en *telemetrie* werkelijk nodig?**

Meetresolutie

Uiteraard zal de vereiste meetresolutie afhangen van (de schaal van) het probleem, (de heterogeniteit van) het bodem- en grondwatersysteem en de toegestane foutenmarge. In hoofdstuk 4 is aangegeven wat vanuit de optiek van het probleem de noodzakelijke resolutie is. Uit een karakterisering van het systeem in relatie tot het probleem zal uiteindelijk een definitieve ruimtelijke en temporele resolutie volgen.

Tijdens het karakteriseren van een (grondwater)systeem is het vooral de bedoeling om inzicht te krijgen in de relaties tussen oorzaak en gevolg. Als we de relaties kennen tussen oorzaak en gevolg dan is het mogelijk om voorspellingen te gaan doen. Het meetnet kan worden uitgedund op die plaatsen waarbij het mogelijk is om de meting te voorspellen (binnen een bepaalde foutenmarge) op basis van de overige metingen. Een analoog verhaal geldt voor de temporele resolutie (dichtheid van de tijd). Let wel dat voor geautomatiseerde instrumenten de temporele resolutie vrijwel geen limiterende factor (meer) is en dat de kosten van een hoge meetresolutie in de tijd erg laag zijn.

In dit project is op verschillende manieren gekeken naar het nut en noodzaak van *HRM*. De figuren in hoofdstuk 4 en de bijlagen illustreren een aantal van bovengenoemde aspecten. Bijvoorbeeld het effect van ruimtelijke heterogeniteit op de noodzakelijke dichtheid van het meetnet. In een aantal wijken in Delft is het zo dat individuele meetpunten nauwelijks afwijken van het wijkgemiddelde, hetgeen betekent dat ter plaatse met een kleiner aantal meetpunten volstaan kan worden. In andere wijken vertonen de individuele meetpunten grotere afwijkingen van het gemiddelde met als gevolg dat er meer meetpunten nodig (kunnen) zijn.

Telemetrie

Een ander aspect, waar wij in dit project naar hebben gekeken, is wat de meerwaarde is van het *telemetrisch* uitlezen van de *divers*. Voor de *karakterisatiefase* is een *telemetrische* verbinding in ieder geval niet noodzakelijk. De *karakterisatiefase* heeft als doel het (grondwater)systeem te leren kennen en is meer gericht op dataverzameling. Er is dan dus (nog) geen noodzaak snel te reageren op bijvoorbeeld probleemsituaties.

Alleen voor metingen/probleemsituaties waarvoor het noodzakelijk is om momentaan inzicht te hebben in het gedrag van het systeem biedt een *telemetrisch* systeem grote voordelen of is zelfs vaak de enige oplossing. Wel is het zo dat dan nog een en ander ontwikkeld moet worden om een automatische gegevensinterpretatie te krijgen die aansluit op de te nemen maatregelen.

Voor alle andere toepassingen maakt de *telemetrie* het leven aangenamer, maar is er geen directe noodzaak. De afweging gaat dan vooral tussen kosten voor mankracht benodigd voor de uitlezing van de *diver* en de kosten van het aanschaffen en onderhouden van een *telemetrisch* systeem. Hier gaan we in hoofdstuk 6 verder op in.

5.6 Hoe komen we tot een optimaal HRM-meetnet?

In hoofdstuk 4 zijn richtwaarden gegeven voor de maximale frequenties en maximale dichtheden van het meetnet in relatie tot specifieke problemen. De werkelijk benodigde frequenties en dichtheden kunnen lager zijn indien:

- er samenhang bestaat tussen waarnemingen op nabijgelegen punten (ruimtelijke samenhang). Indien de vraagstelling een relevante oppervlak definieert van bijvoorbeeld de oppervlakte van een woning, maar waarnemingen over veel grotere afstanden met elkaar in verband staan, is het niet nodig om ter plaatse van iedere woning een meting te verrichten.
- er samenhang bestaat tussen waarnemingen op opeenvolgende tijdstippen (temporele samenhang). Net als voor de ruimtelijke samenhang behoeft een relevante tijdsperiode van een uur niet automatisch te betekenen dat voor het schatten van het uurgemiddelde ook ieder uur moet worden gemeten indien de waarnemingen op opeenvolgende uren sterk met elkaar in verband staan.
- er samenhang bestaat tussen de waarnemingen op een punt met een andere parameter, zoals regenval of oppervlaktewaterpeil. Bij eventuele samenhang tussen parameters zou de monitoring beperkt kunnen worden tot het meten van slechts één parameter.
- gebruik kan worden gemaakt van een steekproef in plaats van een gebiedsdekkende benadering. De mate waarin in een monitoringsperiode een gebiedsdekkend beeld nodig is, hangt af van de ernst van het probleem en van de kans dat dit probleem zich voordoet (het risico). Wateroverlast in kelders en kruipruimten is vervelend, maar niet direct 'gezondheidsbedreigend'. Met name in wijken waar de grondwaterstand normaal gesproken ver onder de kelder- of kruipruimtevloer ligt en de schommelingen in grondwaterstand ten opzichte daarvan klein zijn, kan worden volstaan met een meetnet dat in ruimtelijke zin sterk is uitgedund. Dit meetnet is dan zeker niet gebiedsdekkend en de verkregen meetreeksen moeten als steekproef worden beoordeeld.

Geostatistiek en vergelijkbare technieken zijn methoden die gebruikt kunnen worden om de samenhang tussen meetpunten inzichtelijk te maken.

In bijlage F is een uitvoeriger (technische) uiteenzetting van deze aspecten opgenomen.

5.7 Hoe werken we met de meetreeksen?

HRM levert een grote hoeveelheid gegevens op. Dit heeft alleen waarde indien de gegevens op een snelle manier kunnen worden verwerkt tot gemakkelijk interpreteerbare presentaties. Handmatige verwerking is alleen realistisch in het kader van ontwikkelingsprojecten. Voor operationele toepassing zal verregaande automatisering dringend gewenst zijn. Van belang is dus eenvoudige, eenduidig toe te passen en automatiseerbare beslisregels te ontwikkelen. In het proces van data-acquisitie tot en met visualisatie kan voor een *HRM*-meetnet een aantal stappen worden onderscheiden.

Data-acquisitie

Het verzamelen van de gegevens via *divers* en *telemetry* (versus handmatig uitlezen).

Databeheer

De meetinstrumenten leveren datum/tijd en bijbehorende meetwaarde, zoals gemeten op de plaats waar het instrument zich bevindt. Databeheer ligt (in het geval van Waterstad 2000) bij de meetneteigenaar; in het kader van het onderhavige rapport worden de data deels via de meetneteigenaar en deels zelf (na eigen uitlezing van de instrumenten) geleverd. Een separaat punt van aandacht hierbij is het beheer van en communicatie over instrumentlogboeken, waarin aantekeningen bijgehouden worden van ijking en controle, inzet (locatie, tijd), uitlezen en onderhoud, storingen enzovoorts. Met name als de meetinstrumenten bijvoorbeeld buiten de peilbuizen worden geprogrammeerd en/of uitgelezen zullen de geregistreerde waarden rond de tijdstippen van programmering en/of uitlezing niet representatief zijn.

Naast dit logboek moet ook gekeken worden naar de archivering van de data, waarbij met name van belang is de keuze tussen opslag van de ruwe gegevens met (eventueel) de methode en parameters voor databewerking (zodat de bewerking later aan eventuele nieuwe inzichten kan worden aangepast) of opslag van de bewerkte en 'gevalideerde' data, eventueel met verlies van de oorspronkelijke ruwe data. Databeheer is in het kader van dit project niet verder uitgewerkt.

Databewerking

De feitelijke meetwaarden moeten vaak worden omgerekend naar betekenisvolle eigenschappen. Ten aanzien van de meetreeksen, zoals die met het *HRM*-systeem in de proefperiode in Delft zijn verkregen, is een aantal bewerkingen uitgevoerd om de feitelijk gemeten waarden om te zetten in betekenisvolle eigenschappen. Het betreft correcties van de grondwaterstand(druk) voor luchtdruk en van alle metingen (grondwaterdruk, geleidingsvermogen en temperatuur) voor de overgang van wintertijd naar zomertijd. Een gedetailleerde (technische) beschrijving van de voorbewerkingen, zoals die voor de verkregen meetreeksen in de proefperiode in Delft zijn uitgevoerd, is gegeven in bijlage F.

Datacorrectie

Door diverse belanghebbenden (gemeenten) is aangegeven dat gehecht wordt aan een uniforme gegevensverzameling, zodat iedereen met dezelfde gegevens werkt. De data bevatten mogelijk onjuiste, niet-representatieve of onbetrouwbare gegevens. Deels kunnen deze worden opgespoord aan de hand van de instrumentlogboeken. Zo zullen meetwaarden, die zijn opgeslagen op momenten dat het instrument voor uitlezing, programmering of onderhoud/repairatie uit de peilbuis is gehaald, zeker niet representatief zijn. Het opsporen van toevallige fouten en/of afwijkingen in meetreeksen is veel minder eenduidig.

Om te zorgen dat iedereen met dezelfde gegevens werkt, is het gewenst dat de gegevensreeksen, zoals die worden verstrekt door de gegevensbeheerder, uniform zijn opgeschoond van 'onbetwistbaar foutieve waarden' en eventueel zijn aangevuld met eveneens 'onbetwistbaar juiste waar-

den'. Het probleem hierin is dat waarden nooit onbetwistbaar foutief zijn, laat staan dat zij door onbetwistbaar juiste waarden kunnen worden vervangen. Op het omgaan met foutieve waarden en het eventueel vervangen daarvan door andere waarden is nader ingegaan in bijlage F.

Data-interpretatie en datavisualisatie

De opgeschoonde reeksen moeten worden vertaald naar, op de behoeften van de doelgroep toegesneden, karakteristieken om deze vervolgens op een overzichtelijke manier te kunnen presenteren. Waar de voorgaande bewerkingen van meetreeksen in hoge mate objectief zijn, omdat deze vooral door technisch-inhoudelijke aspecten worden bepaald, geldt dit in veel mindere mate voor een inzichtelijke vertaling en presentatie van de resultaten.

In de eerste plaats wordt de presentatie bepaald door de vraag die aan de presentatie - en aan de daaraan voorafgaande uitwerking van de gegevens - ten grondslag ligt. Het gevaar bestaat daarbij dat bijvoorbeeld een kaart van de grondwaterstand die gemaakt is om de gemiddelde winterstand in een wijk weer te geven (later) nog eens wordt gebruikt om de kans op wateroverlast in kruipruimten te beoordelen. Daarom zal ófwel de onderbouwing van een vertaling en presentatie altijd beschikbaar moeten zijn ófwel de gebruiker moet ervan kunnen uitgaan dat de kwaliteit voldoende is gewaarborgd.

Zeker zo belangrijk is dat veel presentaties gebruikmaken van klassenindelingen, terwijl de meeste gegevens eerder scalair dan ordinaal zijn. Een kleine verschuiving van de klassengrenzen kan dan een belangrijke verschuiving te zien geven in de beoordeling van de resultaten. Aan de keuze van de klassengrenzen moet daarom altijd veel zorg worden besteed.

Onderscheid kan worden gemaakt in presentaties ten behoeve van een doelgroep 'inhoudelijk geïnteresseerden' en in presentaties ten behoeve van 'hen die alleen maar opmerkzaam gebracht willen worden van (on)gewenste ontwikkelingen'. De eerste doelgroep heeft behoefte aan een grote mate van detail en zal vooral ook meetreeksen willen kunnen raadplegen die zo weinig mogelijk zijn voorbewerkt. Zij zijn vooral geïnteresseerd in de wijze waarop het eindresultaat tot stand komt. De tweede doelgroep daarentegen is slechts weinig geïnteresseerd in individuele meetwaarden, maar meer in samenvattende en interpreterende overzichten (zoals gebiedsdekkende overzichten van dag- of weekgemiddelde grondwaterstanden). Het gaat dan om het eindresultaat dat vaak onmiddellijk beschikbaar moet zijn om 'on line' te kunnen reageren. De eerste groep is doorgaans tevreden met een analyse 'achteraf'. Geschikte presentatievormen voor deze groep van inhoudelijk geïnteresseerden zijn meetreeksgrafieken, zoals die bijvoorbeeld in de figuren van de bijlagen G en H zijn gepresenteerd. Daarnaast kunnen inhoudelijk geïnteresseerden gebruikmaken van statistische kentallen van de reeksen, met name gemiddelden, standaardafwijkingen, minimum- en maximumwaarden en dergelijke. Het gebruik hiervan is echter dermate specifiek dat algemene richtlijnen hiervoor weinig zinvol zijn.

Een zeer gemakkelijk interpreteerbare manier om gegevens te presenteren zijn kaarten. Deze kaarten zijn dan ook vooral geschikt voor de tweede groep van gebruikers. Een groot voordeel van kaarten is dat deze het ruimtelijke verband snel inzichtelijk maken. Een voorbeeld van een kaart, waarmee naast de ruimtelijke resolutie ook de temporele resolutie goed in beeld kan worden gebracht, is gegeven in figuur 8.

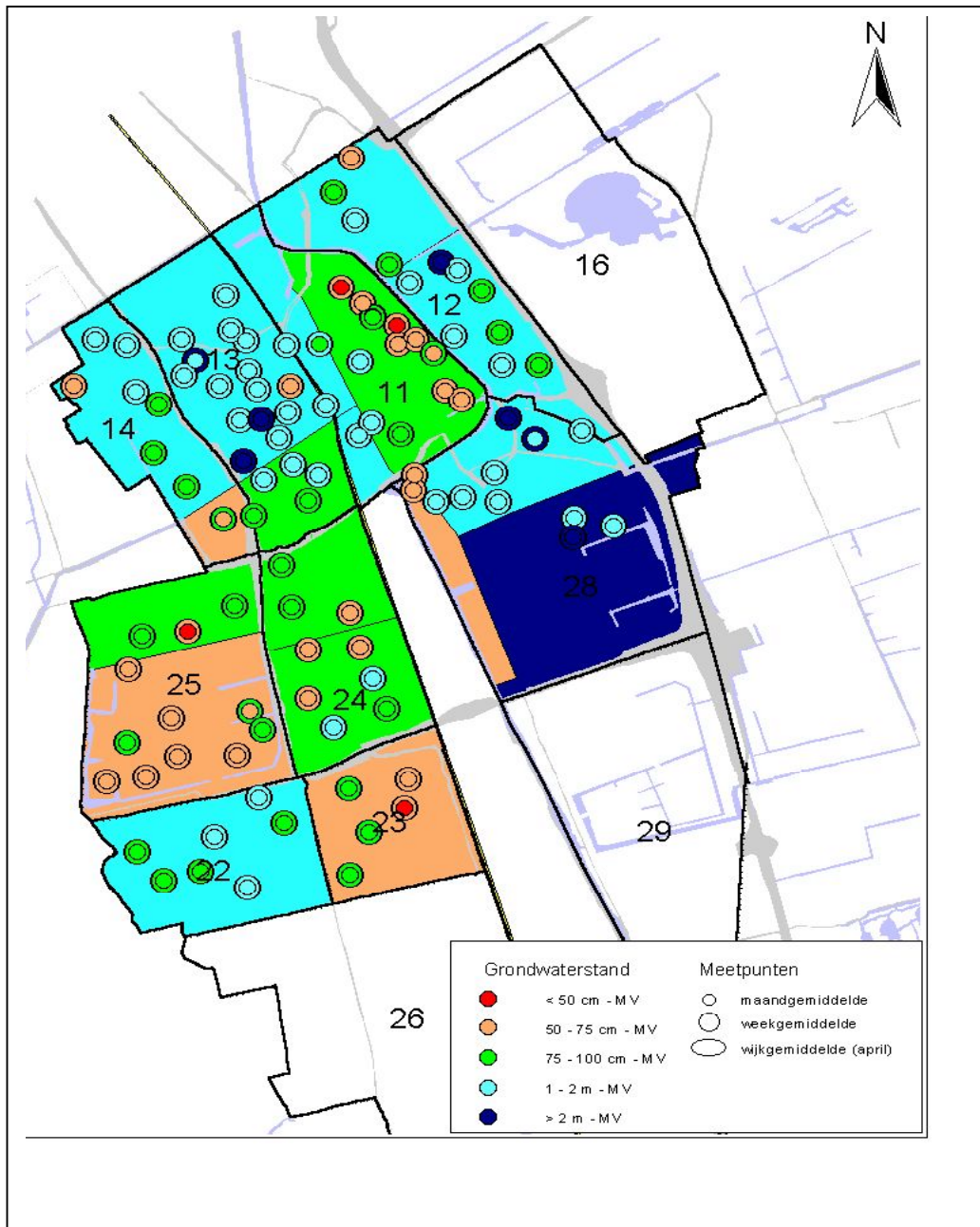


Fig. 8. Grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld in week 16 en de maand april.

In figuur 8 is de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld weergegeven. In één figuur staan hier per meetpunt het weekgemiddelde van week 16, dat is de week van 17 t/m 23 april (kleine rondjes) en het maandgemiddelde van de maand april (grote rondjes) en per wijk het (wijk)maandgemiddelde van de maand april (vlakken).

De kaart van figuur 8 presenteert een klassenindeling op basis van hoogten ten opzichte van het maaiveld. De kaart kan natuurlijk ook worden gebaseerd op een klassenindeling van grondwaterstanden ten opzichte van de kruipruimte en keldervloeren. De kaart krijgt dan voor een bepaalde toepassing (het probleemveld wateroverlast in kelders en kruipruimten) een directe signaleringsfunctie.

Kaarten zijn ook zeer geschikt om parameters te presenteren die een duidelijke ruimtelijke component bevatten. Dit is geïllustreerd aan de hand van de kaart van de grondwaterstromingsrichting in figuur 9. De rode pijlen in figuur 9 geven de gemiddelde richting en de gemiddelde grootte van de grondwaterstroming aan in de maand april. De onderliggende zwarte pijlen geven de gemiddelde waarden weer in de maand maart. De verschillen in grootte en richting zijn minimaal (waardoor veel zwarte pijlen niet zichtbaar zijn onder de rode pijlen). Alleen aan de zuidwestzijde is de stromingsrichting ruim 90° gedraaid. Het is duidelijk dat hier dus iets aan de hand is. Een naburige onttrekking? Een meetstoring? Of wellicht een vrij vlakke grondwaterspiegel waardoor al bij kleine veranderingen de stroming net van richting keert. Wát precies is onbekend, maar *HRM* kan hier wel een belangrijke signaleringsfunctie vervullen: "Opletten, hier is mogelijk iets aan de hand!"

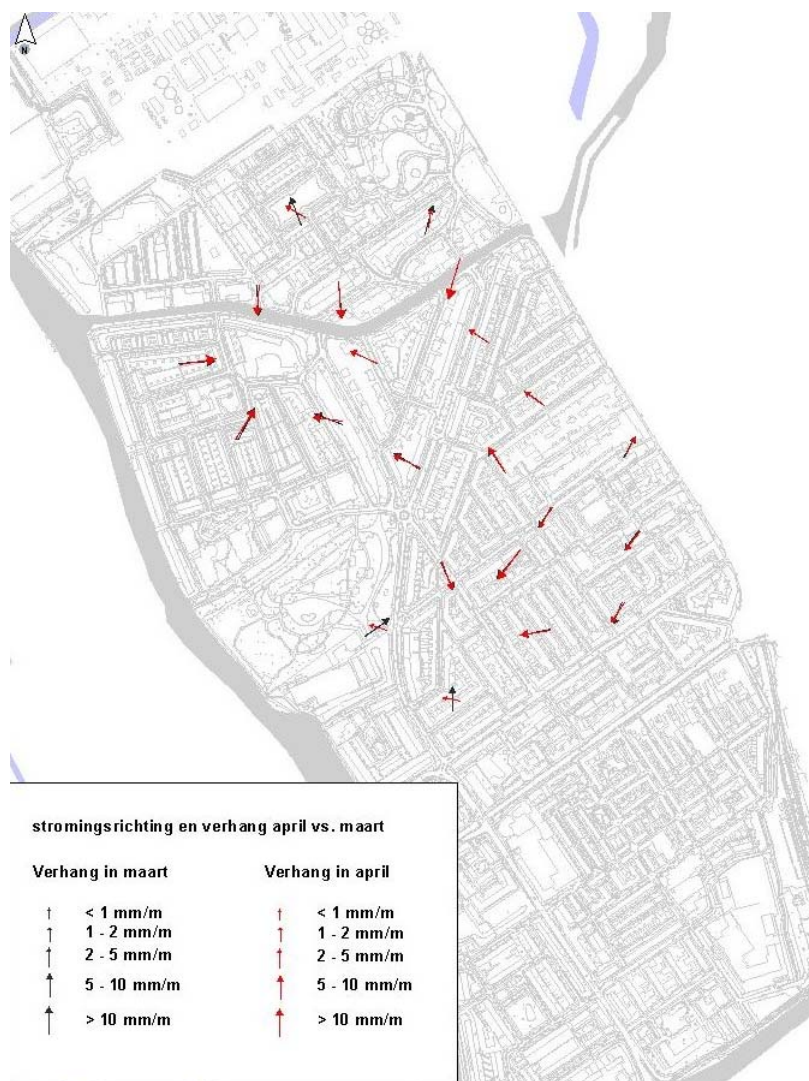


Fig. 9. Grondwaterstroming in de maanden maart en april.

Ook is het mogelijk nog eenvoudigere kaarten te maken die bijvoorbeeld door het gebruik van slechts twee of drie kleuren een alarmerende functie hebben. Ter illustratie is dit weergegeven in figuur 10.

Tabel 3. Aspecten die van belang zijn voor het opzetten van een *HRM*-meetsysteem.

Veld	Beschrijving	Toelichting
Probleemveld	Geeft de kern van de vraagstelling weer	Zoals bij ieder onderzoek is een eenduidige definitie van het op te lossen probleem essentieel. Inzicht in en afweging van het doel van het meetnet, 'waarom leggen we het aan?', is noodzakelijk om het meetnet optimaal in te richten.
Parameter	De te meten parameter(s)	Met de nu voorhanden apparatuur kan druk (= grondwaterstand), watergehalte, geleidbaarheid, temperatuur en zuurstof gemeten worden. In de toekomst worden stofspectifieke sensoren verwacht (bijvoorbeeld voor BTEX, VOC).
Periode	De periode gedurende welke de te onderzoeken (meestal ongewenste) situatie mag voortduren of maatschappelijk aanvaardbaar wordt geacht	Dit zal per probleemgebied sterk variëren. Grondwater in een woning zal nooit als aanvaardbaar beleefd worden; grondwater in een kruipruimte waarschijnlijk wel voor een beperkte periode. Blootstellingsrisico's aan verontreinigd grondwater (als gevolg van hoge grondwaterstanden) kunnen gedurende kortere tijd aanvaard worden, mits de tijdgewogen gemiddelde blootstelling beneden aanvaarde normen blijft.
Incidentie	De frequentie waarmee het verschijnsel zich voordoet	Ieder (natuur)verschijnsel heeft een zekere overschrijdingsfrequentie, die lager wordt naarmate de drempel hoger wordt. De aanvaardbare frequentie is mede afhankelijk van de ernst van de gevolgen als het verschijnsel zich voordoet. De frequentie, waarmee zeldzame verschijnselen zich naar verwachting zullen voordoen, wordt doorgaans afgeleid uit extrapolatie van historisch opgetreden waarden uitgezet tegen de overschrijdingsfrequentie. Voor dijken langs de grote rivieren wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met een bezwijkfrequentie van 1 maal per 4000 jaar.
Oppervlakte	Eenheid van oppervlakte waarover het verschijnsel zich kan voordoen	Is vooral bepalend voor de <i>meetdichtheid</i> : overlast door hoog grondwater in kruipruimten zal gekenmerkt worden door een oppervlaktemaat van een woning; verzilting ten gevolge van zoute kwel wordt gekenmerkt door een oppervlaktemaat van een polder.
Reactietijd	De tijd waarbinnen gemeten waarden bruikbaar aan de eindgebruiker/beslissingsbevoegde ten aanzien van maatregelen gepresenteerd moeten worden	Is vooral bepalend voor de <i>meetfrequentie</i> en uitleesfrequentie tijdens het gebruik. Bijvoorbeeld om alleen maandelijkse daggemiddelden van een stabiele grondwaterstand te registreren vereist een geheel andere inrichting van het meetsysteem dan het anticiperen op een plotselinge stijging van het grondwater ten gevolge van een forse regenbui of correctieve maatregelen te nemen indien een ongewenste situatie is opgetreden.
<i>Meetfrequentie</i>	De orde van grootte van de <i>meetfrequentie</i>	In principe dient de <i>meetfrequentie</i> tijdens de <i>karakterisatiefase</i> van een systeem een orde van grootte hoger te liggen dan (voorzien wordt) voor operationeel gebruik. Hierna kan door analyse van de gegevens de optimale <i>meetfrequentie</i> worden bepaald.
<i>Meetdichtheid</i>	De (vooralsnog relatief benoemde) gewenste <i>meetdichtheid</i>	In principe dient de <i>meetdichtheid</i> tijdens de <i>karakterisatiefase</i> van een systeem een orde van grootte hoger te liggen dan (voorzien wordt) voor operationeel gebruik. Hierna kan door analyse van de gegevens de optimale <i>meetdichtheid</i> worden bepaald.
<i>Telemetrie</i>	Noodzaak tot het toepassen van <i>telemetrie</i>	Tijdens een <i>karakterisatiefase</i> zal <i>telemetrie</i> zelden vereist worden vanuit de systeemeisen. Toepassing van <i>telemetrie</i> is in dergelijke gevallen zuiver een economische afweging tussen de kosten van handmatig uitlezen en de kosten van <i>telemetrische</i> apparatuur. In een operationele fase kan <i>telemetrie</i> noodzakelijk zijn indien de toepassing eist dat de gegevens continue (semi-on line) beschikbaar komen zodat bijvoorbeeld snel ingrijpen bij norm- of grensoverschrijding mogelijk is.

KOSTENVERGELIJKING VAN HRM EN TRADITIONEEL METEN

Het beheren van een meetnet brengt kosten met zich mee. Deze kosten komen voort uit de installatie, het onderhoud, het databeheer en het waarnemen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de kosten die voortvloeien uit verschillende manieren van waarnemen. De drie vergeleken methoden zijn: handwaarnemingen en waarnemingen met automatische *divers*. Deze laatste categorie is onderverdeeld in het ter plaatse van het meetpunt uitlezen van de *divers* en het uitlezen met behulp van *telemetrie*.

6.1 Stuksprijzen

Uitgangspunten

- Een belangrijk uitgangspunt is dat we de kostenvergelijking opstellen voor een gemeentelijk meetnet, zoals dat momenteel in Delft aanwezig is. Een provinciaal meetnet geeft grotere reisafstanden tussen de meetpunten en daarom ook hogere monitoringskosten.
- Bij het bepalen van de waarnemingskosten wordt uitgegaan van een betaalde waarnemer.
- Omdat verwacht mag worden dat voor de verschillende vormen van waarnemen de aanlegkosten van de peilbuizen en de kosten voor het onderhoud van het meetnet niet afhankelijk zijn van de methode van waarnemen worden die kosten hier buiten beschouwing gelaten.
- De benodigde computerapparatuur voor het beheer van de gegevens wordt geacht voor alle drie de vormen van meten niet significant in kosten te verschillen.
- Voor de gebruikte *telemetrische* apparatuur is een schatting van de kosten gemaakt. Daar zijn echter nog geen exacte kosten van bekend (derhalve is voor deze kosten een eenvoudige gevoeligheidsanalyse verricht).

Eenheidsprijzen

In tabel 4 worden per onderdeel de kosten weergegeven. De eenheden van de kosten hangen af van het onderdeel. De kosten die uit een abonnement voortvloeien met betrekking tot het gebruik van *telemetrie* zijn nog niet bekend. Om deze kosten toch in de berekeningen mee te kunnen nemen, zijn drie mogelijke tarieven gehanteerd (*f* 10,- of *f* 50,- of *f* 100,- per *diver* per jaar)¹. Voor de kostenberekening is het abonnement inclusief service en software voor automatische datacontrole genomen. Wanneer deze kosten echter significant blijken af te wijken van de hier gehanteerde schattingen zullen de scenarioberekeningen een ander beeld laten zien.

Een andere variabele in de berekeningen is het aantal maal per jaar dat de gegevens voor interpretatie beschikbaar moeten zijn. Het is mogelijk dat de metingen met bijvoorbeeld een frequentie van 12 maal per jaar worden verricht, maar dat de resultaten slechts eenmaal per jaar worden bekeken en geïnterpreteerd. Voor de handwaarnemingen heeft dit geen consequentie, want die zijn telkens als een meetronde is verricht ook direct (na invoeren in een database) beschikbaar. Bij 'in het veld uitlezen van de *diver*waarnemingen' is het wel van belang. Iedere keer dat de *diver* namelijk wordt uitgelezen (en dus uit de peilbuis wordt gehaald) is een extra ijkronde nodig om de grondwaterstanden te kunnen koppelen aan de drukwaarnemingen.

De gegevens zijn deels op feiten, deels op ervaringscijfers en deels op 'expert-judgement' gebaseerd.

¹ 1 euro = *f* 2,20371

Tabel 4. Gebruikte eenheidsprijzen.

omschrijving	aantallen/kosten	eenheid
aantal filters in het meetnet	145	
aantal locaties in het meetnet	122	
gemiddelde aantal filters per locatie	1,19	
gemiddelde afstand tussen 2 locaties	300	m
gemiddelde reistijd tussen 2 locaties	6	min.
doen van een handwaarneming	1	min./stand
uitlezen van een <i>diver</i> 1 à 10 min.	4	min./filter
uitlezen via <i>telemetry</i>	0	min./stand
dataverwerking handmetingen	0,5	NLG/stand
dataverwerking <i>diver</i>	2	min./filter/ronde
dataverwerking <i>telemetry</i>	10	sec./filter/download
opstarttijd meetronde (<i>diver</i>)	30	min./dag
uurtarief waarnemer	60	NLG/uur
afschrijving <i>diver</i> (f 2000/8 jaar)	250	NLG/jaar
afschrijving zenders (f 1500/8 jaar)	188	NLG/jaar
aantal meetronden voor <i>divers</i>	1/4/12/24/96	/jaar
aantal ijkronen voor de <i>telemetry</i>	2	/jaar
afschrijving installatieronde over	4	jaar
abbonement <i>telemetry</i>	10,--/50,--/100,--	NLG/ <i>diver</i> /jaar
onderhoudsronde <i>telemetry</i>	1	/jaar
tijdsduur vervangen batterij	5	min./zender
kosten batterij	25	NLG

6.2 Scenario's

In tabel J1 van bijlage J zijn de totale kosten weergegeven voor verschillende *meetfrequenties* en verschillende aantallen interpretaties per jaar. Enkele van deze gegevens zijn in figuur 11 en 12 grafisch weergegeven. De kosten zijn aan de hand van de volgende scenario's berekend:

- handwaarnemingen: kosten meetronde + kosten invoeren;
- alleen *divers*: kosten meetronde + kosten invoeren + jaarlijkse kosten (afschrijving apparatuur) + kosten ijkronen;
- *telemetry*: jaarlijkse kosten (afschrijving apparatuur + batterij) + kosten ijkronen + abonnement.

Bij de meetmethode met behulp van de *divers* zijn ook kosten voor ijkronen nodig, omdat het niet wenselijk/mogelijk is om tijdens de uitleesronde ook de ijkronde te doen.

De kosten van handwaarnemingen zijn recht evenredig met het aantal waarnemingen per jaar en de kosten van de twee andere methoden komen (afhankelijk van het aantal *interpretatiemomenten*) op een vast bedrag per jaar uit.

Duidelijk is dat de kosten afhankelijk zijn van de *meetfrequentie* en het aantal *interpretatiemomenten* per jaar, en dat het aantal interpretaties nooit groter zal zijn dan het aantal waarnemingen. Uit de grafieken blijkt dat waarnemen met behulp van een *diver* al snel (bij een *meetfrequentie* van vier keer per jaar of hoger) goedkoper is dan handwaarnemingen. Bij *telemetrie* is het omslagpunt met handwaarnemingen afhankelijk van de kosten voor het abonnement. Als een abonnement $f 10,-/diver/jaar$ kost, is *telemetrie* reeds bij een *meetfrequentie* van 12 keer per jaar goedkoper dan handmeten. Voor een abonnement van $f 100,-/diver/jaar$ ligt dat omslagpunt bij een *meetfrequentie* van circa 24 keer per jaar. Uit de berekeningen is gebleken dat verreweg de meeste kosten gemaakt worden door metingen en bij *telemetrie* door de hardware of het (hogere) abonnement.

De opbrengsten van het direct beschikbaar hebben van data bij *telemetrie* is niet in guldens gewaardeerd. Dit is een voordeel dat iedere gebruiker voor zich op waarde zal moeten schatten. Bij een handmatige of *diver*waarneming voor het meetnet in Delft zal in het snelste geval vanaf het moment dat de informatiebehoefte ontstaat tot het moment dat de data daadwerkelijk te gebruiken is minimaal circa 4 dagen nodig zijn (de eventuele wachttijd voordat iemand beschikbaar is die de metingen kan verrichten nog daargelaten). *Telemetrie* heeft daarentegen altijd het voordeel dat indien gewenst een meting vrijwel direct beschikbaar is.

Het verdient aanbeveling om de kosten nogmaals door te rekenen wanneer de prijzen voor *telemetrie* volledig bekend zijn.

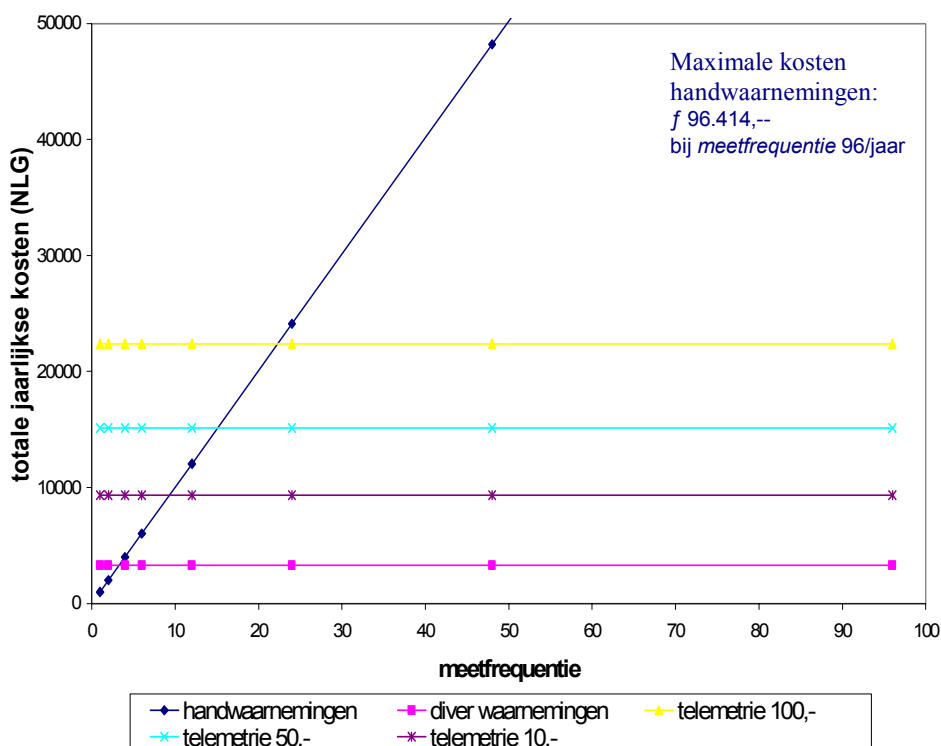


Fig. 11. Jaarlijkse kosten uitgezet tegen de *meetfrequentie* voor het eens per jaar raadplegen van de waarnemingen.

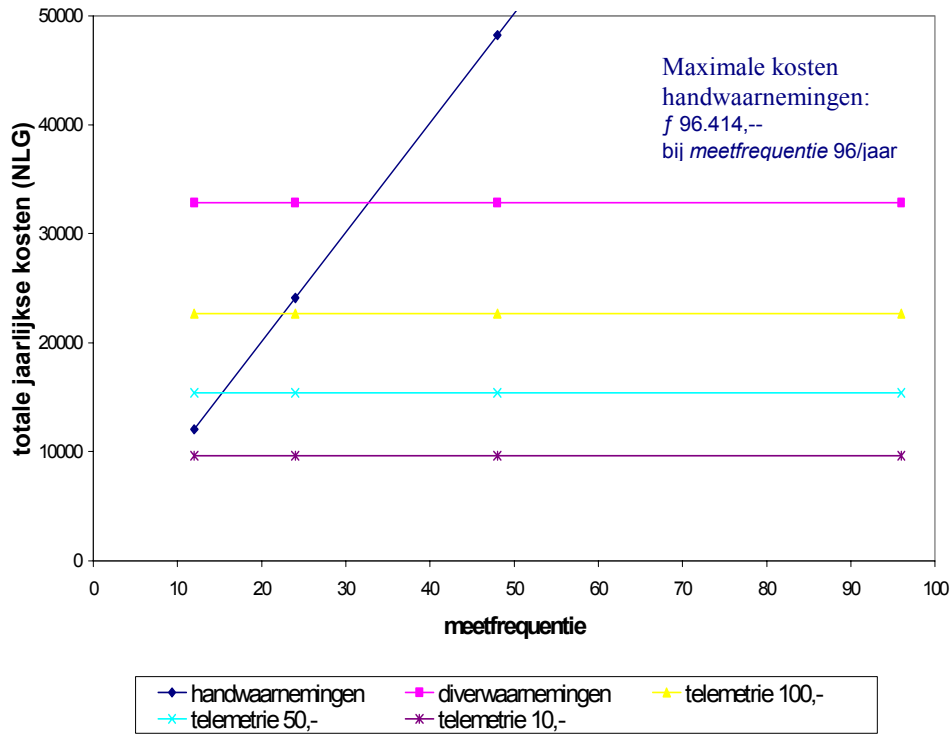


Fig. 12. Jaarlijkse kosten uitgezet tegen de *meetfrequentie* voor het 12 maal per jaar raadplegen van de waarnemingen.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Wat zijn de uitkomsten van de hoofddoelstellingen?

- Samen met de eindgebruikers zijn vragen en behoeften op het gebied van stedelijk grondwater(kwaliteits)beheer afgeleid, die in meer of mindere mate te beantwoorden zijn met *hoge resolutie monitoring (HRM)* in ruimte en tijd. Paragraaf 3.1 geeft een opsomming van deze behoeften. Het gaat bijvoorbeeld over inhoudelijke probleemsituaties, zoals wateroverlast, uitdamp-*risico's* of verspreiding van verontreinigingen, effecten bij de aanleg van (grote) infrastructuur, energieopslag of afkoppelen van verhard oppervlak. Daarnaast leven aanvullende vragen over hoe men om moet gaan met *HRM*-data en -meetnet.
- De wijze waarop beschikbare kennis, methoden en technieken kunnen worden gebruikt om enkele van de vragen die leven bij de gemeenten en provincies op te lossen, is gedemonstreerd door technieken in te zetten voor enkele concrete problemen. Dit geeft inzicht in de toepassing van (1) voorbereidingstechnieken en foutenanalyse, (2) de mogelijkheden van statistische analyse om data te vereenvoudigen en (3) de mogelijkheden van kaarten en grafieken om data te presenteren. Uitwerkingen van deze toepassingen zijn opgenomen in hoofdstuk 4 en paragraaf 5.7 en de bijlagen F, G en H.
- In het project is een overzichtstabel (zie tabel 2) opgesteld waarin de mogelijkheden voor de inzet van *HRM* per probleemveld is aangegeven. De tabel is opgenomen in paragraaf 4.8.

Wat zijn de antwoorden op de stellingen?

Stelling 1: Wateroverlast

Het is mogelijk om met *HRM* snel wateroverlast (in kruipruimten) te signaleren. De benodigde *meetdichtheid* ligt op wijkniveau en de te meten parameter is de grondwaterstand.

*Stelling 2: Uitdamp-*risico**

De *HRM*-metingen kunnen gebruikt worden voor het beter inschatten van het uitdampingsgevaar van vinylchloride naar de lucht (kruipruimten). Het gaat dan met name om het signaleren van hoge grondwaterstanden en het daarop afstemmen van monsternamen of bodem-/binnenluchtmetingen. Het is in de onderzochte situatie met bodemverontreiniging niet mogelijk gebleken om met geleidbaarheid verontreinigingen eenduidig te detecteren. Wellicht is dit bij situaties met hoge concentraties wel mogelijk.

Stelling 3: Verspreiding grondwaterverontreinigingen

Met de ruimtelijke meetnetdichtheid, zoals aanwezig in Delft, is het niet mogelijk een betrouwbaar beeld te geven van het stromingspatroon. De monitoringsdichtheid moet daarvoor worden afgestemd op de grootte van geohydrologische eenheden. In het verdichte meetnet rond de bodemverontreiniging is *HRM* wel een middel om een verandering in de grondwaterstroming(srichting) te signaleren.

Stelling 4: Monitoring sanering

HRM is een bruikbaar instrument voor het monitoren van het grondwatersysteem bij saneringslocaties. Daarbij kan *HRM* vaststellen of de grondwaterstroming is zoals bij het ontwerp van de sanering/beheersing was bedoeld en signaleren of deze grondwaterstroming binnen bepaalde marges blijft. Bij de onderzochte bodemverontreiniging zijn inzichten verkregen die niet met reguliere monitoring naar voren zouden zijn gekomen. Anderzijds bleek signalering van afbraak door

de veranderingen in temperatuur en geleidbaarheid niet mogelijk. Dit is waarschijnlijk (deels) te wijten aan de lage concentraties van de aanwezige verontreinigingen.

Stelling 5: Geautomatiseerd bewakingssysteem

HRM is bruikbaar voor geautomatiseerde bewakingssystemen van gemeenten of provincies, zeker waar het gaat om overschrijdingen van kritische grondwaterstanden. Het ligt voor de hand dat de *HRM*-metingen geïntegreerd zullen gaan worden in Bodem Informatie Systemen (BIS). Benodigde (en in dit project gebruikte) apparatuur/programmatuur om vanuit 'de stoel' de gegevens te kunnen inlezen en interpreteren zijn: een krachtige pc met internetaansluiting en als programmatuur een GIS (Geografisch Informatie Systeem) en een database/Excel-omgeving om gegevens op te slaan en te bewerken.

Extra inzichten

Met *HRM* is het mogelijk met het meetnet in Delft onbekende onttrekkingen of infiltraties te signaleren. Verder kunnen temperatuurverschillen gemeten met *HRM*, naast metingen van stijghoogte/verhang, als extra (kalibratie) parameter dienen bij het inschatten van de stroomsnelheid van het grondwater.

Waarom zou men gaan meten?

- De belangrijkste reden om te gaan meten is de behoefte aan (meer) informatie. Vaak ontstaat deze behoefte doordat men wordt geconfronteerd met (nieuwe) problemen die een oplossing behoeven. Er zijn talloze van deze redenen te bedenken. Gezien de verwachte ontwikkelingen op het gebied van ruimtelijke ordening en het belang van (grond)water hierbij, de toename van ondergronds bouwen en de ontwikkelingen in het bodembeheer is het aannemelijk dat de behoefte aan (gedetailleerde) informatie enorm zal toenemen.
- Het blijkt moeilijk te zijn om generiek de informatiebehoefte per probleem weer te geven. In dit project hebben wij een aantal aspecten gedefinieerd die meegenomen moet worden bij het bepalen van de informatiebehoefte. Een aantal vraagstukken is uitgewerkt en wij verwachten dat de uitwerking zodanig is dat andere problemen eenvoudig op analoge wijze kunnen worden aangepakt.

Hoe zit het met de noodzaak van hoge resolutie en *telemetrie*?

- De noodzaak van *HRM* voor de verschillende probleemvelden is in hoofdstuk 4 aangegeven.
- Temporele resolutie is met de huidige stand van de techniek (vrijwel) geen limiterende factor meer. Ruimtelijke resolutie zal in veel gevallen de (kosten)bepalende factor zijn.
- In de toekomst zal voorlopig nog lange tijd sprake zijn van een combinatie van *diver*metingen, andere on-site metingen en/of laboratoriummethoden, waarbij de automatische metingen vooral gebruikt zullen worden om trends in de gaten te houden.
- Een systeem met hoge resolutie kan worden gebruikt om een gebied te monitoren op knelpunten en plotselinge veranderingen gerelateerd aan grondwater. Door de hoge resolutie in tijd is het mogelijk kortdurende fluctuaties, met eventuele gevolgen, te signaleren. Door de hoge resolutie in ruimte ontstaat tegelijkertijd het inzicht in de verdeling van de problematiek over het beheersgebied.
- Inzet van *telemetrie* is alleen noodzakelijk bij problemen waarvoor het nodig is om direct inzicht in de situatie te hebben.
- In de overige gevallen hangt de inzet van *telemetrie* voor het grootste gedeelte af van de kosten van het *telemetrie*systeem in vergelijking met de kosten voor het handmatig uitlezen van de instrumenten.

Wat zijn de kosten van HRM?

- Duidelijk is dat de kosten afhankelijk zijn van de *meetfrequentie* en het aantal *interpretatiemomenten* per jaar.
- De meeste kosten worden gemaakt door metingen en bij *divers* met *telemetrie* door de hardware en de abonnementskosten. Deze abonnementskosten zijn nog niet bekend, daarom zijn hiervoor enkele scenario's berekend.
- Uit een afweging van de kosten voor het meetnet in Delft blijkt dat inzet van een *diver* reeds vanaf vier metingen per jaar goedkoper is dan handmetingen als wordt uitgegaan van één *interpretatiemoment* per jaar. Verder geldt dat bij een *meetfrequentie* van 12 tot 24 maal per jaar de inzet van *divers* met *telemetrie* goedkoper is dan handmeten of *divers* zonder *telemetrie*. Het omslagpunt is afhankelijk van de abonnementskosten voor *telemetrie*.
- Bij metingen zonder *telemetrie* zal minimaal circa 4 dagen nodig zijn voordat de data beschikbaar is voor interpretatie. De opbrengsten van het direct beschikbaar hebben van data bij *telemetrie* is niet in guldens gewaardeerd. Dit zal iedere gebruiker voor zich op waarde moeten schatten.

Wat is van belang voor de opzet van een HRM-systeem?

- Bij het opzetten van een meetnet dient vooraf goed geïnventariseerd te worden voor welke doelstellingen *HRM* wordt ingezet. Een doelstelling voor het *HRM*-meetnet geeft minimaal inzicht in de behoeften en vragen die met *HRM* moeten worden opgelost.
- In dit project zijn criteria opgesteld die van belang zijn bij het bepalen van de inzet van *HRM*. Ten aanzien van de problemen die onderzocht zijn in dit project is de concrete informatiebehoefte vooral de grondwaterstand, de dynamiek in de grondwaterstand en de ruimtelijke samenhang hierin. Voor de verspreidings- en kwaliteitsvragen kan hieraan worden toegevoegd de dynamiek in de grondwatersamenstelling.
- De opzet van een *HRM*-systeem kan efficiënt plaatsvinden door de gewenste monitoringsperiode te laten voorafgaan door een karakteriseringsperiode. In deze *karakterisatiefase* dient dan intensief gemeten te worden. Voor deze fase is nog geen *telemetrie* nodig.
- Met behulp van het verkregen inzicht uit de *karakterisatiefase* kan (door de inzet van statistische technieken) het meetnet uitgedund worden en kan de optimale *meetfrequentie* bepaald worden om het meetnet zo efficiënt (kosteneffectief) mogelijk in te richten. De vrijkomende apparatuur kan dan elders worden ingezet.

Hoe worden meetreeksen vertaald naar inzichten?

- *HRM* levert een grote hoeveelheid gegevens op. Dit heeft alleen waarde als de gegevens op een snelle manier kunnen worden verwerkt tot gemakkelijk interpreteerbare presentaties. Handmatige verwerking is alleen realistisch in het kader van ontwikkelingsprojecten. Voor operationele toepassing is verregaande automatisering gewenst.
- De gegevens, die met een *HRM*-systeem worden verkregen, moeten in meer of mindere mate worden bewerkt voordat deze interpreteerbaar zijn. Het betreft het omzetten van feitelijke meetwaarden naar betekenisvolle grootheden, het uifilteren van foutieve waarden en het verwerken van de verkregen reeksen in begrijpelijke presentaties.
- De beide eerstgenoemde bewerkingsstappen zijn tamelijk eenduidig en daarom goed in een protocol te vatten. De wijze waarop deze stappen in dit project zijn uitgevoerd kunnen daarvoor als opstap dienen.
- De laatste bewerkingsstap is in hoge mate afhankelijk van de gebruiker. Inhoudelijk-geïnteresseerden zullen vooral behoefte hebben aan de oorspronkelijke meetreeksen in de vorm van (meetreeks)grafieken, aan de onderliggende data en aan samenvattingen in de vorm van statistische kentallen. Verantwoordelijken voor beheer of beleid zullen vooral behoefte hebben aan presentaties waarin relevante veranderingen in één oogopslag duidelijk worden. Met name kaarten zijn hiervoor zeer geschikt. In dit project zijn voorbeelden van bruikbare kaarten uit-

gewerkt. Verdergaande inzichten ontstaan nog door combinatiemogelijkheden van meerdere kaarten in een GIS-omgeving.

7.2 Aanbevelingen

Het interpreteren van gegevens uit het *HRM*-meetnet van de gemeente Delft heeft ons een groot aantal inzichten opgeleverd. Een aantal inzichten hebben wij vertaald naar algemene aanbevelingen:

- Wij raden iedereen aan om bij elke vraag waarbij grondwaterstanden bepaald moeten worden dit vooral met geautomatiseerde meetinstrumenten te meten. Hierbij moet in eerste instantie met een tamelijk hoge meetresolutie worden gemeten (in de orde van uren). Onze ervaring is dat met deze gegevens het inzicht in het gedrag van het grondwatersysteem meteen sterk groeit.
- Het aanschaffen van een systeem met een grootte zoals in Delft is kostbaar. Door als gemeente samen te werken met andere belanghebbenden, zoals een waterschap en provincie, kunnen de kosten worden gedeeld. Hierbij is ook van belang dat een *HRM*-meetnet in principe nooit alleen in het kader van bodem- of grondwaterkwaliteitsbeheer zal worden aangelegd. Er zal naast een vraag vanuit het kwaliteitsbeheer altijd een integrale behoefte (moeten) bestaan vanuit het grondwaterkwantiteitsbeheer, vanuit het rioolbeheer en/of vanuit het oppervlaktewaterbeheer.
- Een manier, waarmee kosten worden bespaard, is om het systeem in te richten door per project of voor een deelgebied een aantal *divers* aan te schaffen. Door per project of deelgebied te karakteriseren en daarna het meetnet te verdunnen komen er na verloop van tijd *divers* vrij. Deze kunnen dan weer ingezet worden op andere plaatsen. Door tijdreeksen in één database op te slaan kan dan langzamerhand een sluitend beeld verkregen worden van het grondwatersysteem in een gemeente.
- Geautomatiseerd databeheer en data-interpretatie is essentieel voor het efficiënt en effectief toepassen van *HRM*-systemen. Bij dit databeheer is het van groot belang om de activiteiten in het veld goed te registreren (logboeken) en eventueel te regisseren.
- Het verdient aanbeveling de *divers* (ook die van case 2) nog minimaal 1 jaar te laten staan. Na een jaar meten kunnen ook de invloeden van seizoentrends worden beschouwd. Bovendien levert de op te bouwen dataset een schat aan mogelijkheden voor toekomstige onderzoeken. Wel is het verstandig het meetnet te optimaliseren op basis van de opgedane kennis en met het zicht op toekomstige ontwikkelingen in de gemeente Delft (bijvoorbeeld de aanleg van de ondergrondse spoortunnel).