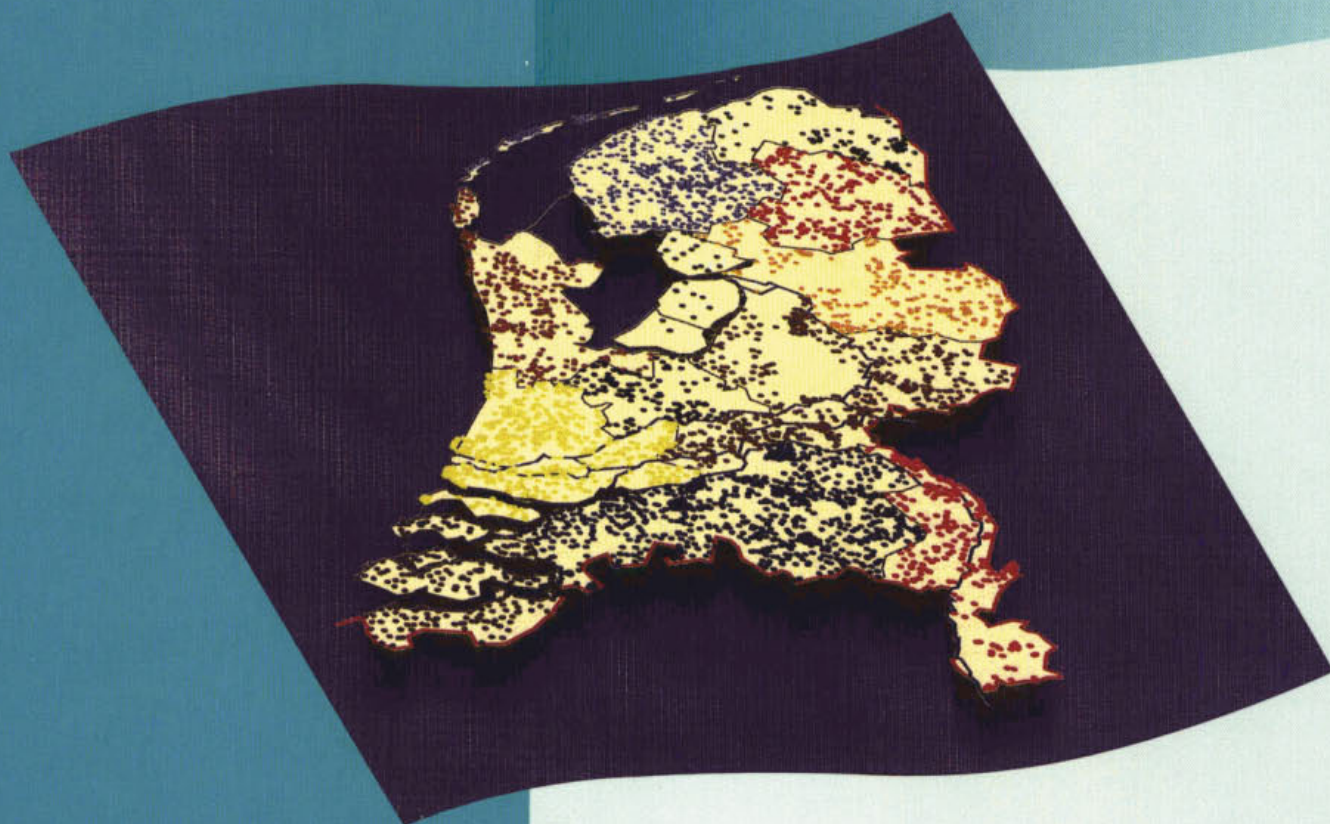


1998-05-Evaluatie-van-provinciale-  
grondwatermeetnetten

**stowa**

Richting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

## Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten



98

05



Nederlands Instituut  
voor Toegepaste  
Geowetenschappen TNO

**kiwa**

KIWA N.V.

## Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten



Nederlands Instituut  
voor Toegepaste  
Geowetenschappen TNO

**kiwa** KIWA N.V.

Redactie  
Ir. G.Jousma  
NITG-TNO

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Telefax 030 232 17 66  
E-Mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:  
*Hageman Verpakkers BV*  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.037.5

98 05



## Ten geleide

De provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en -kwaliteit vormen de belangrijkste instrumenten in de bewaking van de regionale grondwatervoorkomens. Volgens een algemene definitie uit 1986 bestaan deze meetnetten uit *'meetpunten, die elk voor zich representatief zijn voor een nader aan te geven gebied, en gezamenlijk in grote lijnen een goed beeld geven van de grondwatersituatie in de ruimte en de tijd'*.

Nieuwe ontwikkelingen, zoals de toenemende behoefte aan meer gerichte informatie uit deze meetnetten, bijvoorbeeld in relatie tot verdrogings- en vermessingsproblematiek, en aan geïntegreerde informatie uit verschillende hydrologische meetnetten hebben geleid tot het initiatief om een methodiek te laten ontwikkelen voor 'evaluatie van de provinciale grondwatermeetnetten'. Deze methodiek zal de provincies in staat moeten stellen om de meetnetten beter af te stemmen op de eigen doelstellingen en om de hoge kosten van het meten en het onderhoud te minimaliseren.

Begin 1996 is in opdracht van de STOWA onder alle provincies een enquête gehouden ten behoeve van de evaluatie van het functioneren van de bestaande meetnetten. Vervolgens heeft het onderzoek zich gericht op een inventarisatie van de doelstellingen van de provinciale stijghoogte- en kwaliteitsmeetnetten en op de mogelijkheden van het afstemmen van de meetnetten daarop. Belangrijke delen van het onderzoek zijn gewijd aan de ontwikkeling en beschrijving van methoden voor meetnetevaluatie.

Het onderzoek naar de mogelijkheden tot 'integratie van meetnetten' leidt tot de conclusie dat de integratie van grondwatermeetnetten onderling geen logistieke en/of financiële voordelen oplevert. Afstemming van grondwatermeetnetten en oppervlaktewatermeetnetten zal naar verwachting leiden tot beter op het onderzoek gerichte gegevensbestanden en grotere doelmatigheid bij het meten. Dit betekent op den duur een aanzienlijke winst.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO) in samenwerking met Kiwa NV.

Samenstelling projectteam: ir. G. Jousma, projectleider en drs. J.C. Gehrels (NITG-TNO); drs. M.P. Laeven en ir. J.G.F. van Dael (Kiwa NV).

Het project is namens de STOWA begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit ing. A.N.G. de Vogel (Provincie Noord-Holland) als voorzitter en ir. P. Torfs (LU Wageningen), ir. G.E. Arnold (RIZA), ir. C.J.H. Griffioen (Waterschap Salland), ir. J. Kreling (Provincie Drenthe), ir. T.A.J. Schiere (Provincie Zuid-Holland), dr.ir. J.J.B. Bronswijk (RIVM) en dr. S.P. Klapwijk (STOWA) als leden.

Namens de opdrachtgever, de uitvoerders en de begeleidingscommissie spreek ik de hoop uit dat dit rapport ertoe zal bijdragen dat provinciale grondwatermeetnetten optimaal kunnen worden afgestemd op de gewenste informatie. Daarnaast zou een betere afstemming van grondwatermeetnetten op oppervlaktewatermeetnetten zeer wenselijk zijn, aangezien dit op den duur een aanzienlijke winst kan betekenen.

Utrecht, augustus 1998

De directeur van de STOWA,

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff





## Inhoud

|   |      |
|---|------|
| Samenvatting .....  | ix   |
| Lijst van figuren .....   | vii  |
| Lijst van tabellen .....  | viii |
| 1 Inleiding .....   | 1    |
| 2 Projectdoelstellingen en projectopzet .....   | 3    |
| 2.1 Algemene functie van de provinciale meetnetten .....  | 3    |
| 2.2 Redenen voor de evaluatie van de provinciale<br>grondwatermeetnetten .....                            | 3    |
| 2.3 Vroegere ontwikkelingen .....   | 6    |
| 2.4 Opzet evaluatie-onderzoek .....   | 6    |
| 2.5 Leeswijzer .....  | 7    |
| 3 Uitgangspunten en systematiek bij aanpak van de meetnet-evaluatie .....                                 | 9    |
| 3.1 Uitgangspunten .....  | 9    |
| 3.2 Systematiek bij meetnetevaluatie .....  | 11   |
| 4 Doelstellingen analyse - resultaten van enquête en interviews .....                                     | 15   |
| 4.1 Opzet van de doelstellingenanalyse .....  | 15   |
| 4.2 Doelstellingen provinciale stijghoogtemeetnetten .....  | 15   |
| 4.2.1 Doelstellingen bij de opzet van de meetnetten .....   | 15   |
| 4.2.2 Doelstellingen en informatiebehoefte anno 1997 .....  | 16   |
| 4.2.3 Gegevensdichtheid in relatie tot nauwkeurigheid .....   | 17   |
| 4.2.4 Conclusies enquête m.b.t. stijghoogtemeetnetten .....   | 19   |
| 4.3 Doelstellingen provinciale kwaliteitsmeetnetten .....   | 20   |
| 4.3.1 Doelstellingen bij opzet meetnetten .....   | 20   |
| 4.3.2 Concretisering informatiebehoefte .....   | 22   |
| 4.3.3 Enkele opmerkingen met betrekking tot de gebruiksdoelen ...   | 24   |
| 4.4 Aanbevolen methodiek voor doelstellingenanalyse bij<br>provinciale grondwatermeetnetten .....         | 24   |
| 4.4.1 Het ontwikkelingsstadium van de meetnetten .....  | 24   |
| 4.4.2 Algemeen schema voor analyse van meetdoelstellingen en<br>specificatie van informatiebehoefte ..... | 25   |
| 4.4.3 Afstemming op fasering in het grondwaterbeheer .....  | 27   |
| 4.4.4 Redenen voor een gemeenschappelijke aanpak .....  | 28   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5     | Provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte - evaluatie van de meetnetdichtheid .....            | 29 |
| 5.1   | Inhoud en opzet van het hoofdstuk .....  | 29 |
| 5.2   | Methode voor evaluatie van de stijghoogtemeetnetten .....  | 29 |
| 5.2.1 | Ontwikkeling van de provinciale stijghoogtemeetnetten .....  | 29 |
| 5.2.2 | Gebruikte methode bij ontwerp van de meetnetdichtheid .....  | 30 |
| 5.2.3 | Voorgestelde methode voor evaluatie van de meetnetdichtheid .....                                      | 32 |
| 5.2.4 | Beoordeling van het functioneren van de meetnetten .....   | 34 |
| 5.2.5 | Schematisch overzicht van de evaluatiemethode voor de meetnetdichtheid .....                           | 35 |
| 5.2.6 | Programmatuur .....  | 36 |
| 5.3   | Evaluatie dichtheid stijghoogtemeetnet - een voorbeeld uit de Provincie Drenthe .....                  | 36 |
| 5.3.1 | Locatiekeuze .....   | 36 |
| 5.3.2 | Geohydrologische situatie in het deelgebied .....  | 37 |
| 5.3.3 | De gebruikte gegevens .....  | 38 |
| 5.3.4 | De evaluatie .....   | 39 |
| 5.3.5 | Resultaten .....   | 39 |
| 5.4   | Voorgestelde procedure voor evaluatie van de meetnetdichtheid bij stijghoogtemeetnetten .....          | 44 |
| 5.5   | Conclusies hoofdstuk 5 .....   | 45 |
| 6     | Provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte - evaluatie van de meetfrequentie .....              | 47 |
| 6.1   | Achtergronden en opzet frequentie-onderzoek .....  | 47 |
| 6.2   | Uitgangspunten bij het meetfrequentie-onderzoek .....  | 48 |
| 6.3   | Typering van de meetreeksen .....  | 48 |
| 6.4   | Meetreeksanalyse door decompositie .....   | 55 |
| 6.4.1 | Alternatieven voor decompositie .....  | 55 |
| 6.4.2 | Gevolgd methode van decompositie .....   | 55 |
| 6.4.3 | Decompositie van voorbeeldreeksen .....  | 56 |
| 6.4.4 | Relatie tussen meetfrequentie en standaardafwijkingen in de voorbeeldreeksen .....                     | 58 |
| 6.5   | Relatie tussen meetfrequentie en betrouwbaarheid van interpolaties .....                               | 59 |
| 6.6   | Relatie tussen meetfrequentie en berekende gemiddelden .....   | 61 |
| 6.6.1 | Verschillende doelstellingen .....   | 61 |
| 6.6.2 | Methoden voor de betrouwbaarheidsbepaling van berekende gemiddelden .....                              | 62 |
| 6.6.3 | Afleiding meetfrequenties bij verschillende meetreestypen ..   | 65 |
| 6.6.4 | Bepaling van trends aan de hand van berekende gemiddelden  | 66 |
| 6.7   | Afstemming van de meetfrequentie op de gewenste betrouwbaarheid bij verschillende doelstellingen. .... | 68 |
| 6.7.1 | Twee belangrijke doelstellingen in het provinciale waterbeheer .....                                   | 68 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.7.2 | Beoordeling meetfrequentie i.v.m. verkenning<br>grondwatersysteem .....                                      | 68  |
| 6.7.3 | Afstemming meetfrequentie op bewaking<br>grondwatersysteem .....   | 70  |
| 6.7.4 | De invloed van criteria op afstemming van de<br>meetfrequentie .....   | 73  |
| 6.8   | Samenvatting van mogelijkheden voor evaluatie en<br>afstemming meetfrequentie .....                          | 74  |
| 6.9   | Voorgestelde procedure voor evaluatie en afstemming<br>van de meetfrequentie bij stijghoogtemeetnetten ..... | 75  |
| 6.10  | Conclusies hoofdstuk 6 .....   | 77  |
| 7     | Evaluatie provinciale meetnetten voor grondwaterkwaliteit .....  | 79  |
| 7.1   | Doel en opzet van het hoofdstuk .....  | 79  |
| 7.2   | Elementen in de opzet van grootschalige<br>grondwaterkwaliteitsmeetnetten .....                              | 80  |
| 7.2.1 | Homogene gebieden .....  | 80  |
| 7.2.2 | Gidsparameters .....   | 80  |
| 7.2.3 | Clustering van homogene gebieden .....   | 82  |
| 7.2.4 | Bemonsteringsdiepte .....  | 82  |
| 7.2.5 | Bemonsteringsfrequentie .....  | 82  |
| 7.3   | Statistische maten voor beoordeling meetneteffectiviteit .....   | 83  |
| 7.4   | Evaluatie grondwaterkwaliteitsmeetnet -<br>een voorbeeld uit de provincie Zuid-Holland .....                 | 84  |
| 7.4.1 | Inleiding tot voorbeelden .....  | 84  |
| 7.4.2 | Inrichting PMG Zuid-Holland .....  | 84  |
| 7.4.3 | Frequentieverdeling in homogene gebieden .....   | 86  |
| 7.4.4 | Parameterkeuze - voorbeeld voor vermesting .....   | 87  |
| 7.4.5 | Meetneteffectiviteit bij detectie van normoverschrijding .....   | 89  |
| 7.4.6 | Meetneteffectiviteit voor detectie van verzuringstrend<br>in klei-/veengebieden .....                        | 91  |
| 7.5   | Voorgestelde procedure voor evaluatie van<br>grondwaterkwaliteitsmeetnetten .....                            | 95  |
| 8     | Integratie van meetnetten .....  | 99  |
| 8.1   | Doel en opzet van het hoofdstuk .....  | 99  |
| 8.2   | Achtergronden en definities .....  | 100 |
| 8.3   | Wenselijkheid van integratie volgens de enquête .....  | 100 |
| 8.4   | Integratie van meetnetten vanuit technisch perspectief .....   | 102 |
| 8.5   | Watersystemen als basis voor waterbeheer en<br>afstemming van meetnetten .....                               | 104 |
| 8.6   | Procedure voor afstemming van grondwatermeetnetten<br>en oppervlaktewatermeetnetten .....                    | 109 |
| 8.7   | Aanbeveling .....  | 109 |

---

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 9         | Onderwerpen voor nadere beschouwing .....  | 111 |
| 9.1       | Overzicht .....  | 111 |
| 9.2       | Grondwaterstandsmeetnetten .....   | 111 |
| 9.3       | Stijghoogtemetingen in relatie tot verdroging .....  | 113 |
| 9.4       | Correlatie tussen meetreeksen uit verschillende filters<br>van een waarnemingsput .....                    | 114 |
| 10        | Methodiek voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten .....  | 117 |
| 10.1      | Opzet van het hoofdstuk .....  | 117 |
| 10.2      | Algemeen schema voor evaluatie van provinciale<br>grondwatermeetnetten .....                               | 118 |
| 10.3      | Schema voor analyse van meetdoelstellingen en<br>specificatie van informatiebehoefte .....                 | 119 |
| 10.4      | Stappenplan voor evaluatie van meetnetdichtheid bij<br>provinciale meetnetten grondwaterstijghoogte .....  | 121 |
| 10.5      | Stappenplan voor evaluatie van de meetfrequentie bij<br>provinciale meetnetten grondwaterstijghoogte ..... | 123 |
| 10.6      | Stappenplan voor evaluatie provinciale meetnetten<br>grondwaterkwaliteit .....                             | 125 |
| 10.7      | Stappenplan voor meetnetintegratie op basis van<br>watersystemen .....                                     | 127 |
| 11        | Conclusies en aanbevelingen .....  | 129 |
| 11.1      | Conclusies .....   | 129 |
| 11.2      | Aanbevelingen  |     |
| 12        | Referenties .....  | 133 |
| Bijlage A | Begrippenlijst   |     |
| Bijlage B | Methode voor berekening van de nauwkeurigheid van het<br>jaargemiddelde bij gecorreleerde metingen         |     |
| Bijlage C | Onderbouwing gidsparameters  |     |
| Bijlage D | Resultaten van de cross-validatie  |     |



## Lijst van figuren

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Figuur 3.1:   | Hoofdschema evaluatie meetnetten   | 11  |
| Figuur 4.1:   | Grondwatergegevens in het provinciale takenveld  | 26  |
| Figuur 5.1:   | Sir-waarde kaarten Provincie Drenthe   | 30  |
| Figuur 5.2:   | Prioriteitsindeling stijghoogtegegevens Provincie Drenthe  | 31  |
| Figuur 5.3:   | Cross-validatie procedure  | 32  |
| Figuur 5.4:   | Overzicht van de z-score matrix  | 35  |
| Figuur 5.5:   | Locatie en omvang deelgebied   | 37  |
| Figuur 5.6:   | Hydrogeologisch schema deelgebied  | 37  |
| Figuur 5.7:   | Dichtheidskarakteristiek deelgebied  | 38  |
| Figuur 5.8:   | Toelaatbare standaardafwijking interpolatiefout voor verschillende prioriteiten                      | 38  |
| Figuur 5.9:   | Z-score matrix deelgebied  | 40  |
| Figuur 5.10a: | Z-score tijdreeks op één locatie   | 41  |
| Figuur 5.10b: | Z-score voor verschillende peilbuizen op één tijdstip  | 41  |
| Figuur 5.11:  | Z-score tijdreeks op één locatie   | 42  |
| Figuur 5.12:  | Z-score verdeling over het deelgebied  | 43  |
| Figuur 5.13:  | Semi-variogram van $e_{1,i}$   | 43  |
| Figuur 6.1    | Locatie van enkele meetpunten in de Veluwe Regio   | 49  |
| Figuur 6.2:   | Gedecomposeerde stijghoogtereeks 33A-P65/2   | 51  |
| Figuur 6.3:   | Gedecomposeerde stijghoogtereeks 26H-P27/1   | 52  |
| Figuur 6.4:   | Gedecomposeerde stijghoogtereeks 27A-P43/1   | 53  |
| Figuur 6.5:   | Gedecomposeerde stijghoogtereeks 27A-P43/3   | 54  |
| Figuur 7.1:   | Kaart met homogene gebieden provincie Zuid-Holland   | 88  |
| Figuur 7.2:   | Legenda Box-Whisker plot   | 87  |
| Figuur 7.3:   | Box-Whisker plot K, filter 1   | 88  |
| Figuur 7.4:   | Voorbeeld meetneteffectiviteit voor normoverschrijding   | 90  |
| Figuur 7.5a:  | Effectiviteit voor waarnemen van normoverschrijding, diepte < 12 m -m.v.                             | 92  |
| Figuur 7.5b:  | Effectiviteit voor waarnemen van normoverschrijding, diepte 12 m -m.v.                               | 93  |
| Figuur 7.6:   | Detectiekansen van een trend in sulfaat bij 95% betrouwbaarheid - Zuid-Hollandse klei-\veengebieden. | 94  |
| Figuur 7.7:   | Detectiekansen van een trend in sulfaat bij 80% betrouwbaarheid - Zuid-Hollandse klei-\veengebieden. | 95  |
| Figuur 8.1:   | Substroomgebieden in stroomgebied 't Merkske   | 106 |
| Figuur 8.2:   | Doorsnede grondwatersysteem  | 107 |
| Figuur 10.1:  | Hoofdschema evaluatie meetnetten   | 118 |
| Figuur 10.3:  | Positie binnen evaluatieproces   |     |
| Figuur 10.2:  | Grondwatergegevens in het provinciale takenveld  | 119 |
| Figuur 10.4:  | Positie binnen evaluatieproces   | 121 |
| Figuur 10.5:  | Positie binnen evaluatieproces   | 123 |
| Figuur 10.6:  | Positie binnen evaluatieproces   | 125 |

|            |  |   |
|------------|--|---|
| Figuur C1: | De concentratie nitraat-N uitgezet tegen de concentratie ammonium-N, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). .... | 1 |
| Figuur C2: | De concentratie cadmium uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). ....                        | 3 |
| Figuur C3: | De concentratie arseen uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). ....                         | 3 |
| Figuur C4: | De hardheid uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). ....                                    | 4 |
| Figuur C5: | De concentratie aluminium uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). ....                      | 5 |
| Figuur C6: | De concentratie aluminium uitgezet tegen de hardheid, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1). ....                | 6 |

## Lijst van tabellen

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabel 4.1: | Geïdentificeerde doelstellingen van de verschillende PMG's .....   | 21 |
| Tabel 4.2: | Door de meetnetbeheerders aangegeven prioriteit in gebruiksdoelen - herziene versie .....  | 23 |
| Tabel 5.1: | Gegeneraliseerde covariantiefuncties voorgesteld door Defize (1985) .....  | 31 |
| Tabel 5.2: | Parameters van de gegeneraliseerde covariantiefunctie voor het tweede watervoerend pakket (uit Van Bracht en Kreling (1985)). ....   | 39 |
| Tabel 6.1: | Standaardafwijkingen van meetreeksen en meetreekscomponenten .....   | 57 |
| Tabel 6.2: | Standaardafwijkingen van meetreeksen en meetreekscomponenten als functie van de meetfrequentie .....   | 59 |
| Tabel 6.3: | Standaardafwijkingen bij lineaire interpolatie als functie van de meetfrequentie .....   | 60 |
| Tabel 6.4: | 95 % betrouwbaarheidsinterval voor jaargemiddelden .....   | 63 |
| Tabel 6.5: | 95 % betrouwbaarheidsinterval voor jaargemiddelden .....   | 64 |
| Tabel 6.6: | Voorbeeld van benodigde meetfrequentie bij verschillende criteria .....  | 73 |
| Tabel 7.1: | Overzicht van gidsparameters voor verschillende milieuthema's, met specificatie van geldigheidsgebied .....  | 81 |
| Tabel 7.2: | Aantal meetpunten per homogeen gebied van het PMG Zuid-Holland. ....   | 86 |
| Tabel 7.3: | Aantal filters per homogeen gebied, onderscheiden naar diepteklasse 1 t/m 4 .....  | 90 |
| Tabel 7.4: | Percentage verontreinigd homogeen gebied dat bij het beschikbaar aantal meetpunten en filters met 95% kans gedetecteerd wordt ....   | 91 |
| Tabel 7.5: | Geschatte temporele standaardafwijking (se, in g/m <sup>3</sup> ) en gemiddelde ( $\bar{x}$ in g/m <sup>3</sup> ) van de concentratie sulfaat in meetpunten voor drie soorten landgebruik in de klei-/veengebieden in Zuid-Holland (1987 t/m 1992). .... | 94 |



## Samenvatting

### *Achtergrond en opzet van het project*

Naar aanleiding van een initiatief van de Provincies Noord-Holland en Drenthe is in 1996 in het kader van het STOWA-onderzoeksprogramma 1995-1999 het project 'Evaluatie Grondwatermeetnetten' tot stand gekomen, met als algemene doelstelling:

***'de ontwikkeling van een methodiek  
voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten'.***

De methodiek moet de provincies in staat stellen de evaluatie van hun grondwatermeetnetten op uniforme wijze aan te pakken.

De belangrijkste reden voor het onderzoek was de behoefte bij een aantal provincies aan gemeenschappelijke richtlijnen om het functioneren van de meetnetten te kunnen beoordelen, de meetnetten af te stemmen op het verkrijgen van gegevens voor nieuwe provinciale aandachtsvelden en waar mogelijk kostenreducties tot stand te brengen. Om de uniformiteit in de evaluatie te bevorderen en de kosten van het onderzoek te delen, lag het voor de hand om het onderzoek als een gemeenschappelijk opdracht te laten uitvoeren. STOWA werd derhalve aangezocht als financier, opdrachtgever en toezichthouder van het project.

De belangrijkste onderdelen van het project waren:

1. Het onderzoek naar de meetnetdoelstellingen en de wensen en ervaringen bij de provincies door middel van een enquête en interviews.
2. De uitwerking van richtlijnen voor de evaluatie van de meetnetten ten opzichte van de (oorspronkelijke) doelstellingen.
3. De evaluatie van de mogelijkheden van meetnetintegratie, zowel voor wat betreft de onderlinge relatie tussen de beide grondwatermeetnetten, als de relatie tot andere meetnetten.

Het project is uitgevoerd door Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO en Kiwa in gedeelde verantwoordelijkheid. TNO is daarbij verantwoordelijk geweest voor het opstellen van richtlijnen voor de provinciale stijghoogtemeetnetten, terwijl Kiwa verantwoordelijk was voor de uitwerking van de richtlijnen voor de provinciale kwaliteitsmeetnetten. De coördinatie van het project is gedaan door TNO en ook de visie op de meetnet-integratie is uitgewerkt door TNO. Voor de begeleiding van het project is door STOWA een begeleidingscommissie aangesteld, waarin naast de provincies Drenthe, Noord- en Zuid-Holland, tevens RIZA, VROM, de Landbouw Universiteit Wageningen en het waterschap Groot Salland vertegenwoordigd waren.

### *Onderzoek en resultaten*

Uit de doelstellingsanalyse door middel van de enquête en de interviews onder de provincies blijken de basisdoelstellingen voor het meten in de stijghoogte- en de kwaliteitsmeetnetten meetnetten dezelfde te zijn. Voor beide meetnetten geldt dat de metingen gericht zijn op:

1. *Het karakteriseren van het regionale grondwaterregiem of de 'toestandsbeschrijving';*
2. *Het signaleren van 'trends' in de ontwikkeling van de grondwatersituatie;*
3. *Het leveren van referentiewaarden voor lokaal onderzoek.*

Naast de basisdoelstellingen wordt een groot aantal 'gebruiksdoelen' gespecificeerd, die veelal verband houden met specifieke thema's of diensten. Bij de kwaliteitsmeetnetten gaat het daarbij om een groot aantal parameters, terwijl het bij de stijghoogtemeetnetten in principe om slechts 1 parameter gaat.

Ten aanzien van de ervaring met de gegevens en de daarmee samenhangende mogelijkheden voor evaluatie en verbetering van de meetnetten blijken er grote verschillen te bestaan.

- Bij de provinciale stijghoogtemeetnetten, die grotendeels zijn opgebouwd uit bestaande meetpunten, hebben de langste reeksen doorgaans een lengte van enige decennia. Als gevolg van de snelle reactie van de stijghoogte op de natuurlijke invloeden zijn alle relevante fluctuaties van de stijghoogte in de reeksen terug te vinden en bestaat er een lange ervaring met het analyseren. Een evaluatie van de meetnetten, zowel in ruimtelijke als in temporele zin, is daardoor in het algemeen goed mogelijk.
- Bij de provinciale kwaliteitsmeetnetten (de PMG's) geldt, evenals bij het landelijke grondwaterkwaliteitsmeetnet (LMG), dat de meetreeksen in het algemeen niet langer zijn dan 5 tot 10 jaar. Bij de betrekkelijk trage variatie van de kwaliteitsparameters, met name op enige diepte, ontbreekt het daarbij aan een goed beeld van de variaties in de tijd. Een behoorlijke evaluatie van de tijdseffecten en de trends in de gegevens is daardoor nog niet mogelijk.

Het gebrek aan lange reeksen bij de kwaliteitsmeetnetten en de daarmee samenhangende geringe ervaring met de gegevens vormen de belangrijkste redenen dat het anno 1997 te vroeg was voor een 'kwantitatieve optimalisatie' van deze meetnetten en de bemonsteringsfrequentie. De interesse van de provincies bleek in dit stadium dan ook meer gericht op het verkrijgen van eenvoudige richtlijnen voor de beoordeling van de kwaliteitsgegevens en, in samenhang daarmee, de effectiviteit van het meetnet. De aandacht van het onderzoek is vooral daarop gericht geweest.

Zowel voor de stijghoogte- als voor de kwaliteitsmeetnetten geldt dat de oorspronkelijke doelstellingen met name gericht waren op het karakteriseren van het regionale beeld van het grondwaterregiem. Hoewel deze basisdoelstellingen nog gelden is met name in het laatste decennium de aandacht voor specifieke thema's als verdroging, vermesting, verzuring en verspreiding toegenomen. Deze verdere concretisering van de aandachtsvelden van rijk en provincie vraagt



aanvullend om meer specifieke informatie. Bij de provinciale kwaliteitsmeetnetten is de aansluiting bij de meer gespecificeerde doelstellingen goed op gang gekomen. Bij de stijghoogtemeetnetten is een nadere concretisering nog nodig. Ook de beoordeling van de stijghoogtemeetnetten in relatie tot de visie op de watersystemen vraagt om verduidelijking. Niet alle vragen konden in deze fase van het onderzoek worden aangepakt. In het rapport is aangegeven hoe de analyse van doelstellingen kan worden gesystematiseerd en hoe de doelstellingen kunnen worden vertaald naar de eigenschappen van de meetnetten. Verder zijn aanbevelingen gedaan voor een aantal nog te onderzoeken punten.

Overeenkomstig het projectvoorstel zijn belangrijke delen van het onderzoek gewijd aan de ontwikkeling en beschrijving van methoden voor meetnetevaluatie.

- Voor de *stijghoogtemeetnetten* is een procedure ontwikkeld waarmee kan worden nagegaan hoe goed het bestaande meetnet functioneert ten opzichte van bij de opzet gekozen nauwkeurigheidsvoorwaarden. De methode is geïllustreerd met een voorbeeld uit de provincie Drenthe. De relatie tussen de meetfrequentie en de belangrijkste componenten van de stijghoogte is uitgewerkt aan de hand van voorbeelden uit de provincie Gelderland. De procedure geeft aan hoe de meetfrequentie kan worden afgestemd op de doelstellingen van het meten. Bij een reductie van de meetfrequentie dient de relatie tot de landelijke standaardfrequentie te worden gehandhaafd, omdat anders een discontinuïteit in de waardevolle gegevensbestanden ontstaat.
- Voor wat betreft de *kwaliteitsmeetnetten* is gezocht naar een evaluatiemethode die aansluit bij het betrekkelijk jonge stadium waarin het kwaliteitsonderzoek verkeert. De uitgewerkte richtlijnen omvatten de beoordeling van de meetpuntenlocaties in relatie tot de gestelde criteria, de keuze en beoordeling van gidsparameters en de beoordeling van de meetneteffectiviteit in relatie tot normoverschrijding. Verder is aandacht besteed aan de gewenste samenstelling van parameterpakketten voor alle bekende verontreinigingsthema's. De voorgestelde evaluatiemethoden zijn geïllustreerd met behulp van voorbeelden uit de provincie Zuid-Holland.

Naast richtlijnen voor de meetnetevaluatie heeft het onderzoek nog een aantal concrete resultaten opgeleverd, waarvan de volgende relevant zijn:

- De analyse van verschillende typen stijghoogtereeksen volgens de methode van decompositie geeft aanwijzingen dat er in bepaalde regio's lagere meetfrequenties mogelijk zijn, die beter aansluiten bij de doelstellingen en geen belangrijke terugval in de nauwkeurigheid veroorzaken. Ten behoeve van de continuïteit in de meetreeksen dient wel de aansluiting tot de landelijke meetgegevens bewaard te worden.
- Bij de grondwaterkwaliteitsmeetnetten is de bestaande frequentie van bemonsteren in de diepere filters in verhouding tot de zeer geringe kwaliteitsverandering aan de hoge kant. Daarom is het op grond van praktische overwegingen reeds mogelijk een reductie in de bemonsteringsfrequentie door te voeren. Deze conclusie is ook getrokken bij de recente 'optimalisatie' van het LMG. Daarbij wordt aanbevolen aan te sluiten bij de frequentie waarmee relevante rijksnota's worden uitgebracht.

Het onderzoek naar de mogelijkheden van integratie van meetnetten leidt tot de conclusie dat onderlinge integratie van grondwatermeetnetten niet tot logistieke en/of directe financiële voordelen leidt. Afstemming van de grondwatermeetnetten met oppervlaktewatermeetnetten op basis van watersysteemanalyse zal naar verwachting leiden tot beter op het onderzoek afgestemde gegevensbestanden en tot grotere doelmatigheid bij het meten. Dit betekent op den duur een aanzienlijke winst.

### *Rapportage en presentatie*

Het rapport kan worden geconsulteerd aan de hand van een leeswijzer die te vinden is in hoofdstuk 2. Deze geeft aan in welke hoofdstukken de verschillende onderdelen zijn uitgewerkt. In het rapport is een extra hoofdstuk gewijd aan een bespreking van enkele onderwerpen die niet konden worden onderzocht en die in een vervolgprogramma zijn opgenomen, waarvoor aanvullend middelen worden gezocht. Het onderzoek heeft geresulteerd in een aanbevolen methodiek voor meetnetevaluatie. Deze bestaat uit een schematisch overzicht met stappenplannen voor de diverse onderdelen (zie hoofdstuk 10). Voor de achtergrond, de uitleg van methoden en formules, en de uitwerking en de voorbeelden wordt verwezen naar de betreffende hoofdstukken. Het rapport sluit af met algemene conclusies en aanbevelingen.

De resultaten uit het onderzoek zijn gepresenteerd en toegelicht aan de provincies op twee daarvoor georganiseerde dagen, respectievelijk halverwege en aan het einde van het onderzoek.





## 1 Inleiding

In 1996 is door STOWA aan TNO Grondwater en Geo-Energie opdracht verleend om samen met Kiwa NV een methodiek te ontwikkelen voor de evaluatie van de provinciale grondwatermeetnetten.

De provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en grondwaterkwaliteit waren, anno 1997, afgezien van een enkele uitzondering, tussen 5 en 12 jaar in gebruik. In verband met de hoge bedrijfskosten van de meetnetten en mede gezien de geleidelijke verschuiving van de provinciale aandachtsvelden, ontstond bij een aantal provincies de behoefte om het functioneren van de grondwatermeetnetten te evalueren. Om de evaluatie op uniforme wijze te laten verlopen en de kosten van het benodigde richtinggevend onderzoek te kunnen delen, werd voorgesteld om gezamenlijk een algemeen toepasbare methodiek voor de evaluatie van de grondwatermeetnetten te laten ontwikkelen. STOWA werd vervolgens aangezocht als opdrachtgever en toezichthouder van het project.

Onder directie van STOWA werd daarop in samenwerking met een provinciale coördinatiegroep en voornoemde instituten een project geformuleerd, waarin het ontwerp van een methodiek voor meetnetevaluatie centraal stond. Op voorstel van de coördinatiegroep zijn de volgende vraagpunten in het onderzoek betrokken:

- Voldoen de bestaande provinciale meetnetten aan de doelstellingen en eisen waarvoor zij ontworpen zijn?
- Worden de nieuwe eisen, voortkomend uit de ontwikkelingen in het water-, natuur- en milieubeheer en de ruimtelijke ordening voldoende door de meetnetten ondersteund?
- Kan integratie van de meetnetten of meetinspanningen leiden tot verlaging van de kosten en derhalve tot een verhoging van de efficiëntie?

Als algemene doelstelling van het onderzoeksproject werd geformuleerd:

***‘de ontwikkeling van een methodiek  
voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten’***

Bij de uitvoering van het project werden de volgende activiteiten voorzien:

- Analyse van de doelstellingen van de provinciale grondwatermeetnetten
- Analyse van het functioneren van de bestaande meetnetten
- Analyse van de mogelijkheden van integratie van de meetnetten

Een belangrijk aandachtspunt vanuit de provincies was in hoeverre de meetnet-evaluatie gebaseerd dient te zijn op de functie van de (grond)watersystemen. Het inzicht in de systemen en de gebruiksmogelijkheden er van is in de laatste decennia aanmerkelijk toegenomen. Beleid en beheer op rijks-, provinciaal en lager niveau worden steeds meer afgestemd op de functie van deze systemen in het grondwater- en milieubeheer. Aangezien de provinciale meetnetten de belangrijkste leveranciers



zijn van de gegevens over deze grootschalige grondwatersystemen (zowel stromings- als kwaliteitsaspecten), lag het voor de hand om na te gaan in hoeverre de grondwatersystemen medebepalend dienen te zijn voor de meetnetinrichting en de gegevensinwinning bij de beide meetnetten.

Bij de ontwikkeling van de methodiek voor meetnetevaluatie is gestreefd naar een aanpak die eenvoudig, overzichtelijk, flexibel en bij herhaling toepasbaar is. Nieuwe doelstellingen ten aanzien van het monitoren die het gevolg kunnen zijn van veranderingen in de aandachtsvelden of taakstellingen van de provincies moeten eenvoudig zijn in te passen, zonder dat daarbij de continuïteit van de bestaande meetnetfuncties in het gedrang komt.

Bij het onderzoek is rekening gehouden met de ideeën en ontwikkelingen die gelanceerd zijn op eerder gehouden technische bijeenkomsten. Ook de relevante informatie uit eerder gehouden inventarisaties is verwerkt. Zo is bij het onderzoek gebruik gemaakt van de resultaten van de door Kiwa in 1994 gehouden enquête in het kader van de studie 'Optimalisatie grondwaterkwaliteitsmeetnetten'.

Om een goede basis voor het project te leggen, de resultaten te toetsen, en tegelijkertijd bij de provincies voldoende draagkracht voor de projectresultaten en projectaanbevelingen op te bouwen, zijn de provincies zoveel mogelijk bij het onderzoek betrokken. Daarvoor zijn de volgende initiatieven ontplooid:

- In de eerste plaats is op initiatief van STOWA een begeleidingscommissie gevormd, waarin vertegenwoordigers van verschillende bij het waterbeheer betrokken instanties zijn opgenomen. Daaronder zijn vertegenwoordigers van drie provincies, onderzoeksinstellingen en een waterschap.
- In de tweede plaats hebben de provincies meegewerkt aan een enquête, waarin de visies van de provincies op het functioneren van de bestaande provinciale meetnetten zijn geïnventariseerd. De enquête is gevolgd door interviews bij een aantal provincies, waarin de problematiek met de betrokkenen is doorgesproken.
- Tenslotte zijn de tussen- en eindresultaten toegelicht en getoetst in de door het projectteam georganiseerde workshops.

## 2 Projectdoelstellingen en projectopzet

### 2.1 Algemene functie van de provinciale meetnetten

Tijdens de workshop 'Grondwatermeetnetten en Databestanden', georganiseerd door RIVM en TNO in 1986, werd voor de primaire meetnetten de volgende definitie gegeven:

*"Onder een primair netwerk wordt een regionaal provinciaal netwerk met referentiefunctie verstaan. Het bestaat uit meetpunten, die elk voor zich representatief zijn voor een nader aan te geven gebied, en gezamenlijk in grote lijnen een goed beeld geven van de grondwatersituatie in de ruimte en de tijd".*

De provinciale meetnetten zijn met name bedoeld voor ondersteuning van het beleid en beheer van de provincies. Daarnaast leveren zij informatie voor het rijksbeleid. De nadruk van het meten ligt daarbij op het karakteriseren van het grondwaterregiem, zowel de kwantiteit als de kwaliteit, en het volgen van de ontwikkelingen daarin op 'regionale schaal' en op 'lange termijn'. Voor de gegevensvoorziening van specifieke projecten met een lokaal en/of tijdelijk karakter zullen in het algemeen verdichtingen nodig zijn, die wel of niet permanent worden waargenomen. Deze netwerken worden aangeduid als de 'secundaire' en 'tertiaire' meetnetten. Voor de primaire meetpunten geldt dat zij voor specifiek onderzoek van lokale of tijdelijke aard een 'referentiefunctie' vervullen. De informatiebehoefte bij het rijk, de provincies en de lagere overheden moet worden beschouwd als de drijvende kracht achter het inwinnen van gegevens uit de meetnetten. De informatiebehoefte wordt bepaald door het niveau waarop beleid en beheer plaatsvinden (rijks-, provinciaal of lager niveau) en het stadium waarin het waterbeheer zich bevindt (verkennend, planvormend, uitvoerend, controlerend).

### 2.2 Redenen voor de evaluatie van de provinciale grondwatermeetnetten

Een aantal redenen hebben geleid tot de wens bij de provincies om de grondwatermeetnetten te evalueren. De belangrijkste zijn:

1. Onduidelijkheid over het effect van de gedane investeringen in beheer en waarnemen van de provinciale meetnetten op de kwaliteit van de informatie uit deze meetnetten.
2. Onduidelijkheid ten aanzien van de functie van de primaire meetnetten binnen de nieuwe aandachtsvelden en bij de hedendaagse informatiebehoefte.
3. De wenselijkheid om de gegevensinwinning te optimaliseren bij de hedendaagse informatiebehoefte.
4. De wenselijkheid om na te gaan of kostenbesparingen kunnen worden bereikt door integratie van de meetnetten of van het waarnemen. Daarbij wordt ook aan de combinatie met meetnetten van het oppervlaktewater en andere gedacht.

De wens bij de provincies om de kosten van het onderzoek te delen en daarbij een zekere mate van uniformiteit in de evaluatie van de meetnetten te bereiken, kan



worden beschouwd als de belangrijkste reden voor een gemeenschappelijke opdracht voor het onderzoek en de ontwikkeling van een methodiek voor meetnetevaluatie. De behoefte om de methodiek voor evaluatie anno 1996 te laten ontwikkelen werd niet door alle provincies gedeeld.

### *Effect van gedane investeringen op de kwaliteit van de informatie*

De eerste onduidelijkheid betreft het effect van door de provincies in de provinciale meetnetten gedane investeringen. De vraag daarbij is of de investeringen in nieuwe meetpunten en in het waarnemen daarvan een aantoonbaar positief effect hebben gehad op de kwaliteit van de informatie en hoe die verbetering kan worden beoordeeld.

Om deze vraag te kunnen beantwoorden moet het functioneren van de meetnetten worden geanalyseerd tegen de achtergrond van de doelstellingen waarvoor zij zijn ontworpen. Dit vergt inzicht in de oorspronkelijke doelstellingen en ontwerpcriteria, waarmee de meetnetten zijn opgezet. Daarnaast is er een methode nodig om de winst aan verkregen informatie bij de gedane investeringen te kwantificeren.

### *Effect van nieuwe ontwikkelingen.*

Ook nieuwe ontwikkelingen zijn aanleiding geweest voor een herbezinning met betrekking tot de meetdoelstellingen en de meetnetinrichting. Enkele relevante ontwikkelingen zijn:

- De opkomst van het integrale waterbeheer met toegenomen aandacht voor de milieu- en natuuraspecten tegenover het vroegere meer kwantiteitsgerichte grondwaterbeheer.
- De toegenomen aandacht voor het grondwatersysteem als multifunctioneel systeem in de provinciale ruimtelijke ordening.
- De opkomst van nieuwe aandachtsvelden, zoals de problematiek (thema's) van verdroging/vernatting, vermesting, verzuring en verspreiding.

Deze aandachtsverschuiving heeft een sterke impuls gegeven aan de ontwikkeling van de benodigde kennis ten aanzien van de grondwatersystemen, welke meer dan voorheen gebaseerd is op de combinatie van de stijghoogte-, waterkwaliteits- en vegetatiegegevens. De oorspronkelijk kwalitatieve analyse van deze systemen wordt in toenemende mate kwantitatief onderbouwd met grondwatermodelberekeningen. Het inzicht in de grondwatersystemen heeft op zijn beurt geleid tot veranderingen in de vraagstelling.

De informatiebehoefte voortvloeiend uit de nieuwe beleidsthema's zal moeten worden onderzocht en vertaald naar nieuwe eisen ten aanzien van de primaire meetnetten.

### *Optimalisatie van de gegevensinwinning bij de hedendaagse informatiebehoefte*

Bij een aantal provincies leeft de vraag in hoeverre de veelal uniforme, tamelijk intensieve, gegevensinwinning in de primaire meetnetten aansluit bij de werkelijk benodigde informatie voor de provinciale taken. Voorbeelden van vragen zijn:

- Is de consequent doorgevoerde frequentie van half-maandelijkse metingen in de provinciale stijghoogtemeetnetten overal nodig?
- Is de hoge frequentie van bemonsteren op twee diepten in de provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten blijvend nodig?

Het is in principe goed denkbaar dat de inwinning van de gegevens meer wordt toegesneden op de taken van de provincies door diversificatie van de meet- en bemonsteringsfrequenties. Zowel voor de stijghoogtemeetnetten als de kwaliteitsmeetnetten geldt dat veranderingen gemakkelijk kunnen leiden tot een ongewenste onderbreking van gegevensreeksen, waardoor historisch en trendonderzoek schade ondervinden. Daarom zal bij eventuele verlaging of verhoging van de meetfrequentie moeten worden gezocht naar frequenties die goed aansluiten bij de bestaande.

### *Kostenbesparing door integratie van meetnetten of waarnemen*

Tenslotte wordt de aandacht van het onderzoek gevraagd voor een mogelijke kostenbesparing door integratie van meetnetten. Over 'integratie van meetnetten' wordt gesproken indien de meetnetinrichting van verschillende meetnetten en/of het meet- en bemonsteringsprogramma op elkaar worden afgestemd. Zo lang de meetgegevens uit de verschillende meetnetten wel voor dezelfde onderzoeksdoelen worden gebruikt, maar de meetnetten niet op elkaar zijn afgestemd, wordt gesproken van 'gecombineerd gebruik' van de meetnetten.

De keuze tussen 'gecombineerd gebruik' of 'meetnetintegratie' wordt bepaald door de voordelen die meetnetintegratie op kan leveren. Deze kunnen zijn:

- *technische voordelen*: een meerwaarde van de gegevens door onderlinge afstemming van de meetnetten en de meetfrequentie.
- *logistieke voordelen*: een hogere efficiëntie in het meten en het onderhoud door afstemming van de meetprogramma's en onderhoudsprogramma's.
- *financiële voordelen*: geringere investeringen in meetnetten, meet- en onderhoudsprogramma's.

In het verleden hebben de mogelijke voordelen niet geleid tot meetnetintegratie. In een door RIVM en TNO in 1986 georganiseerde workshop, waaraan alle provincies deelnamen, bestond één van de vier besproken thema's uit de integratie van grondwaterkwantiteits- en kwaliteitsmeetnetten [RIVM/TNO 1986]. Hoewel het algemene nut van integratie werd ingezien (conclusies 3, 5, 6 en 8), werd vastgesteld dat "aan meetpunten van een kwaliteits- of geïntegreerd meetnet hogere eisen worden gesteld dan aan de meetnetten van grondwaterstanden" (conclusie 2). Ook bij het ontwerp van de provinciale meetnetten voor de grondwaterkwaliteit, waarvan installatie nog moest plaatsvinden, is duidelijk geoordeeld dat integratie



met de stijghoogtemeetnetten in dat stadium niet mogelijk of niet wenselijk was, want van integratie van de beide meetnetten is het niet gekomen.

Met name uit het oogpunt van kostenbeperking is er nu, anno 1997, opnieuw belangstelling voor integratie van de meetnetten. Aangezien het bestaan van de primaire grondwaterstijfhoogte- en grondwaterkwaliteitsmeetnetten nu een feit is, zijn de mogelijkheden van integratie helaas beperkt.

In het onderzoek is aandacht besteed aan de mogelijkheden van integratie van de meest voor de hand liggende combinaties van meetnetten: de meetnetten van grondwater en oppervlaktewater.

### 2.3 Vroegere ontwikkelingen

Bij het onderzoek is rekening gehouden met de ideeën en ontwikkelingen die gelanceerd zijn op eerder gehouden technische bijeenkomsten. De volgende bijeenkomsten kunnen in dit verband worden genoemd:

- De workshop 'Grondwatermeetnetten en Databestanden', Bilthoven, 17 en 18 april 1986, georganiseerd door RIVM en TNO.
- De workshop Monitoring Tailor-made, Beekbergen, 20-23 september 1994, georganiseerd door RIZA.
- De workshop Analyse Grondwatermeetnetten, Driebergen, 9 november 1995, georganiseerd door TNO Grondwater en Geo-Energie.
- De workshop Monitoring Tailor-made-II, Nunspeet, september 1996, georganiseerd door RIZA.

Ook de relevante informatie uit eerder gehouden inventarisaties is verwerkt. Zo is bij het onderzoek uitgebreid gebruik gemaakt van de resultaten van de door Kiwa in 1994 gehouden enquête in het kader van de studie 'Optimalisatie grondwaterkwaliteitsmeetnetten'.

### 2.4 Opzet evaluatie-onderzoek

De algehele doelstelling van het project is: *'de ontwikkeling van een methodiek voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten'*. In verband met deze doelstellingen is het project in overeenstemming met het projectvoorstel ingedeeld in de volgende deelactiviteiten:

1. Het onderzoek naar de meetnetdoelstellingen en naar de wensen en ervaringen bij de provincies door middel van een enquête en interviews.
2. De uitwerking van richtlijnen voor de evaluatie van de meetnetten ten opzichte van de (oorspronkelijke) doelstellingen.
3. De evaluatie van de mogelijkheden van meetnetintegratie, zowel voor wat betreft de onderlinge relatie tussen de beide grondwatermeetnetten, als de relatie tot andere meetnetten.

Bij de ontwikkeling van de methodiek voor meetnetevaluatie is gestreefd naar een aanpak die eenvoudig en overzichtelijk is. De methodiek moet zoveel mogelijk

ruimte bieden voor een gemakkelijke integratie van toekomstige doelstellingen, die het gevolg kunnen zijn van veranderingen in de aandachtsvelden of taakstellingen van de provincies. De opzet van het onderzoek is weerspiegeld in de rapportage (zie de leeswijzer, paragraaf 2.5)

Het project is uitgevoerd door NITG-TNO en Kiwa in gedeelde verantwoordelijkheid. TNO heeft daarbij het onderzoek en het opstellen van richtlijnen voor de provinciale stijghoogtemeetnetten voor haar rekening genomen. Kiwa is verantwoordelijk geweest voor de uitwerking van de richtlijnen voor de provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten. De coördinatie van het project is gedaan door TNO en ook de visie op de meetnetintegratie is uitgewerkt door TNO. Voor de begeleiding van het project is door STOWA een begeleidingscommissie aangesteld, waarin naast de provincies Drenthe, Noord- en Zuid-Holland tevens RIZA, VROM, de Landbouw Universiteit Wageningen, het waterschap Groot-Salland en STOWA zelf vertegenwoordigd waren.

## 2.5 Leeswijzer

Onderstaand is een beknopt overzicht gegeven van de onderwerpen in de verschillende hoofdstukken van het rapport. In de eerste paragraaf van de meest uitgebreide hoofdstukken wordt de inhoud van het hoofdstuk in de paragrafen verder toegelicht.

- Hoofdstuk 1 bevat de inleiding met de achtergronden, de projectdoelstelling, enkele strategische keuzes ten aanzien van de opzet van het project en de wijze waar op de begeleiding en samenwerking met de provincies waren geregeld.
- In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de functie van de provinciale grondwatermeetnetten, de ontwikkelingen die het onderzoek noodzakelijk maken en enkele vroegere ontwikkelingen met betrekking tot de meetnetten. Daarin worden ook de doelstellingen, opzet en organisatie van het onderzoek beschreven, evenals een overzicht van de rapportage.
- In hoofdstuk 3 van het rapport wordt een korte toelichting gegeven op de aanpak van de meetnetevaluatie in hoofdlijnen. Het voorgestelde schema biedt nog ruimte voor verschillen in fasering bij kwantiteits- en kwaliteitsmeetnetten.
- In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de analyse van meetdoelstellingen, die is uitgevoerd aan de hand van een enquête onder alle provincies en interviews bij een aantal daarvan. De resultaten zijn verwerkt in een schema dat de belangrijkste provinciale aandachtsgebieden weergeeft waarvoor een inventarisatie van de informatiebehoefte nodig is.
- In hoofdstuk 5 wordt de evaluatiemethodiek voor de *meetnetdichtheid* van stijghoogtemeetnetten voorgesteld. De methodiek, die nauw aansluit bij de oorspronkelijke doelstellingen en opzet van de meetnetten is toegepast op een homogeen deelgebied in de Provincie Drenthe.
- In hoofdstuk 6 wordt de evaluatiemethodiek voor de *meetfrequentie* in de stijghoogtemeetnetten besproken. Er worden richtlijnen gegeven voor de decompositie van een stijghoogtereeks in de belangrijkste componenten er van en voor de afstemming van de meetfrequentie op de doelstellingen van het meten. De voorbeelden betreffen verschillende meetreekstypen uit de Provincie Gelderland.



- In hoofdstuk 7 wordt de evaluatie van provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten besproken. De bespreking concentreert zich op de betrekkelijk beperkte mogelijkheden van meetnetbeoordeling van het moment. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de door Baggelaar ontwikkelde methodiek voor de evaluatie van grootschalige kwaliteitsmeetnetten en van de door H.P. Broers beschreven evaluatie van het grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Drenthe. De uitgewerkte voorbeelden hebben betrekking op het thema vermesting in de provincie Zuid-Holland.
- In hoofdstuk 8 wordt een methodiek voor integratie van meetnetten op basis van watersystemen voorgesteld. Dit is een opzet in hoofdlijnen die in de toekomst nog nader zal moeten worden uitgewerkt.
- In hoofdstuk 9 wordt aandacht besteed aan enkele onderwerpen die uit de enquête naar voren zijn gekomen, maar niet in het kader van het huidige project konden worden uitgewerkt.
- In hoofdstuk 10 wordt de methodiek voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten samengevat. De methodiek omvat een algemeen stroomschema voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten, met daaraan gekoppeld een schema voor doelstellingenanalyse en stappenplannen voor de evaluatie van diverse onderdelen. Voor de uitleg van de procedures en stappen daarin wordt verwezen naar de eerder uitgewerkte voorbeelden in de betreffende hoofdstukken.
- In hoofdstuk 11 worden de algemene conclusies en aanbevelingen met betrekking tot het onderzoeksresultaten, de te volgen procedures en de nog te onderzoeken onderwerpen gepresenteerd. Conclusies met betrekking tot de aanpak van specifieke onderwerpen vindt men bij de betreffende hoofdstukken.

### **3      Uitgangspunten en systematiek bij aanpak van de meetnet-evaluatie**

#### **3.1    Uitgangspunten**

##### *Meetnetevaluatie en -optimalisatie, een doorlopend proces*

Situaties, inzichten, behoeften en normen veranderen in de tijd. Een meetnet dat anno 1996 aan de eisen voldoet, zal over 5 of 10 jaar minder goed functioneren. Daarom is het van belang het functioneren van het meetnet op regelmatige basis te evalueren en waar nodig te verbeteren of te optimaliseren. Meetnetoptimalisatie, in bredere zin, is te beschouwen als een doorlopend of zichzelf herhalend proces, waarbij het meetnet steeds opnieuw wordt afgestemd op de eigentijdse eisen, aan de hand van criteria van betrouwbaarheid en nauwkeurigheid, die voortvloeien uit de geldende doelstellingen. Meetnet-evaluatie kan worden beschouwd als een stap op een bepaald moment in dit proces, waarbij de doelstellingen opnieuw tegen het licht worden gehouden, de functionering van het meetnet wordt beoordeeld en de tekorten van het meetnet worden bepaald. Het is in dit verband van belang een evaluatie-methodiek te ontwikkelen die voldoende flexibel is en bij herhaling kan worden toegepast.

##### *Evenwicht tussen efficiëntie en continuïteit*

Er zijn grenzen aan de bijstelling van meetnetten. Het inrichten van nieuwe meetpunten is veelal kostbaar en het verlaten van bestaande meetpunten is niet zonder gevaar. Wijzigingen in de frequentie van meten of bemonstering kan gemakkelijk leiden tot ongewenste discontinuïteit in de gegevens. Veel studies (bijvoorbeeld historisch onderzoek en trendanalyse) zijn gebaat bij regelmaat en uniformiteit in de gegevens. Daarom is een zekere mate van continuïteit in de gegevensinwinning zeer belangrijk.

Van de andere kant zijn uit het oogpunt van kostenbeheersing de effectiviteit en de efficiëntie van het monitoren van belang. Door de inrichting van de meetnetten goed af te stemmen op de benodigde informatie bij de verschillende doelstellingen wordt effectiever gemeten. Als daarnaast overwegingen van optimaal resultaat en minimale kosten in het proces van meetnetoptimalisatie worden betrokken, kan ook de efficiëntie van het meten worden verbeterd. Met betrekking tot meetnetontwerp en -evaluatie is in de laatste decennia een grote hoeveelheid literatuur verschenen, die het resultaat is van veel onderzoek, zowel nationaal als internationaal. Er worden nieuwe visies ontwikkeld op de optimalisatie van meetnetten, zoals het afstemmen van het meten op basis van geminimaliseerde risico's [Van Bracht, 1996]. Aangenomen wordt dat deze ontwikkelingen voorlopig vooral in het operationele waterbeheer zullen worden uitprobeerde.



Bij de optimalisatie van de grootschalige provinciale meetnetten met hun brede en lange-termijn belang voor het waterbeheer is enige terughoudendheid gewenst. Voorgesteld wordt flexibilisering van het meten te 'beperken' tot goed onderbouwde overzichtelijke wijzigingen, passend bij de schaal van de provinciale meetnetten. Daarbij dient ten behoeve van de voortdurende bewaking van het grondwater een zeker niveau van continuïteit gehandhaafd te blijven.

#### *Grondwatersystemen als gemeenschappelijke basis*

In het verleden zijn de meetnetten voor grondwaterkwantiteits- en grondwaterkwaliteitsgegevens min of meer los van elkaar opgezet. De grondwaterkwaliteitsmeetnetten (het landelijke en de provinciale) zijn daarbij van latere datum als de meetnetten voor grondwaterstanden en -stijghoogten. Hoewel bij het ontwerp van het landelijke meetnet grondwaterkwaliteit (LMG) is gekeken naar de mogelijkheden van het inwinnen van kwaliteitsgegevens uit de peilputten van het grondwaterstands- en stijghoogtemeetnet, is hiervan, bij gebrek aan uniformiteit en beperkingen van de bestaande meetpunten, afgezien. De ontwikkelingen zijn daarna hun eigen weg gegaan. Wel is bij de opzet van het LMG en de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG's) rekening gehouden met het geohydrologische onderscheid in infiltratie-, transitie- en exfiltratiezones, waarbij ook de grondwaterstandsgegevens zijn gebruikt.

In de laatste decennia neemt in het waterbeheer de tendens naar een integrale aanpak toe. Dit ontstaat uit de behoefte om de complexe problematiek met de vele actoren efficiënt aan te pakken. Het toegenomen inzicht in de aanwezigheid, de werking en de rol van de watersystemen speelt daarbij een ondersteunende, maar ook verbindende rol. In het waterbeheer en de ruimtelijke ordening van rijk, provincie en lagere overheden wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van de kennis van deze watersystemen.

De grondwatermeetnetten zijn daarbij te beschouwen als de belangrijkste leveranciers van gegevens over de grondwatersystemen. De samenhang tussen de kwantiteit en kwaliteit binnen de (grond)watersystemen verloopt via de processen van transport, chemische reacties, adsorptie en afbraak. Er is dus reden om aandacht te besteden aan de onderlinge relatie en het heeft zin om na te gaan of bij de analyse van de watersystemen die voor een deel van de provinciale beheerstaken belangrijk zijn, het inwinnen van beide categorieën gegevens voldoende op elkaar is afgestemd.

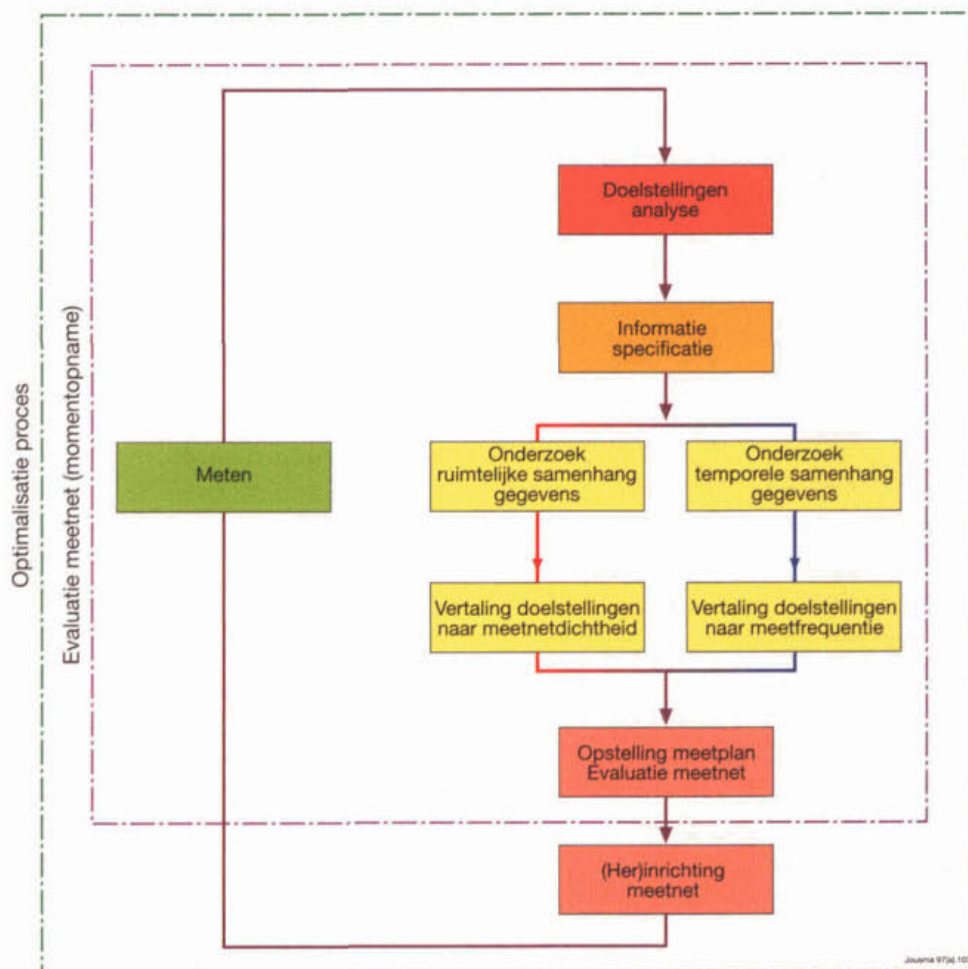
#### *De voorgestelde methodiek: een stappenplan met voorbeelden*

In dit rapport is er naar gestreefd de methodiek voor meetnetevaluatie zodanig uit te werken dat een overzichtelijke structuur ontstaat met goed gedefinieerde elementen en een duidelijke fasering. De provincies zullen zelf de voor hun bruikbare elementen moeten kiezen en de uitwerking en prioriteitenstelling naar eigen smaak invullen. De aanpak is met voorbeelden geïllustreerd. Waar nodig wordt verwezen naar het werk van andere auteurs, waarin onderdelen goed zijn uitgewerkt.

### 3.2 Systematiek bij meetnetevaluatie

In de methodiek of het stappenplan voor meetnetevaluatie kunnen een aantal stappen worden onderscheiden (zie figuur 3.1). Deze zijn:

- Inventarisatie van doelstellingen
- Specificatie van de informatiebehoefte per doelstelling
- Onderzoek ruimtelijke en temporele samenhang in de gegevens
- Vertaling van de informatiebehoefte naar meetprogramma en meetneteigenschappen (meetnetdichtheid en meetfrequentie)
- Evaluatie van het bestaande meetnet



Figuur 3.1: Hoofdschema evaluatie meetnetten



Deze stappen zullen onderstaand kort worden omschreven. De hoofdlijnen van de methodiek gelden voor stijghoogtemeetnetten en kwaliteitsmeetnetten. De fasering kan wel iets verschillen.

#### *Inventarisatie van doelstellingen*

De doelstellingen van het meten in de provinciale grondwatermeetnetten kunnen worden ontleend aan de provinciale taakstellingen en die van het rijk, voor zover deze van de gegevens uit de provinciale meetnetten afhankelijk zijn.

De provincies hebben enerzijds een uitgebreid pakket van aan het grondwater gerelateerde taken (grondwaterbeheer, ruimtelijke ordening, verdrogingsbestrijding, etc.) en anderzijds het beheer van de provinciale grondwatermeetnetten. De provinciale meetnetten zijn evenwel niet het enige middel voor de provincies om aan de noodzakelijke grondwatergegevens te komen; de provincie kan voor haar taakstellingen ook beschikken over gegevens uit andere grondwatermeetnetten, zoals de verplichte meetnetten bij drinkwaterwinningen. Van de andere kant zijn de provincies niet de enige gebruikers van de gegevens uit de provinciale meetnetten; deze meetnetten leveren immers ook informatie voor de rijkstaken evenals referentiewaarden voor lokaal en tijdelijk onderzoek. Het afstemmen van de provinciale meetnetten op de provinciale taken is dan ook een zaak, waarbij keuzen moeten worden gemaakt ten aanzien van de eisen waaraan de provinciale of primaire meetnetten dienen te voldoen. Het is van belang dat de behoefte aan grondwatergegevens goed in kaart is gebracht, zodat de provincies aan de hand daarvan kunnen besluiten welke functies zij aan de provinciale meetnetten willen toekennen en welke informatie zij uit externe bronnen (lokale meetnetten) willen betrekken. Voor zover de meetnetten niet zelf aan een bepaalde doelstelling behoeven te voldoen hebben zij een referentiefunctie voor lokale en/of meer specifieke meetnetten. Deze functie vraagt om extra aandacht voor de representativiteit en kwaliteit van meetpunten en gegevensreeksen.

#### *Specificatie van de informatiebehoefte per doelstelling*

Het is van groot belang de verschillende doelstellingen gescheiden te houden en de informatiebehoefte per doelstelling te specificeren. De specificaties voor de informatiebehoefte zijn:

- de gewenste parameters (grondwaterstand/stijghoogte, geselecteerde gidsparameters);
- de doelvariabelen: karakteristieke waarden, gemiddelden, klassen, enz.;
- de (toegestane) mate van onzekerheid, uitgedrukt in een kans en het bijbehorend betrouwbaarheidsinterval.

De benodigde informatie hangt af van *het beleids- en beheersniveau* waarop de informatie nodig is (strategisch of operationeel niveau) en *het stadium* waarin de beleids- en beheersvorming zich bevinden (verkenning, planvorming, controle op het effect van maatregelen of bewaking). Ook deze stadia kunnen een reden voor het aanpassen van een meetnet zijn.

Met name in complexe situaties, waarbij verscheidene meetdoelstellingen tegelijkertijd actief zijn en de benodigde informatie overlapt, is het in een meetplan vastleggen van de relatie tussen de doelstellingen en de bijbehorende informatie-behoefte enerzijds en de betreffende meetspecificaties (locaties, middelen, frequenties) anderzijds van groot belang voor het bewaken van de efficiëntie van het monitoren. Op deze wijze wordt een regelmatige evaluatie van het meetnet mogelijk en wordt tevens duidelijk welke kosten aan het betreffende doel van meten zijn verbonden.

#### *Onderzoek ruimtelijke en temporele samenhang in de gegevens*

Op basis van de gewenste informatie moet uiteindelijk een vertaling worden gemaakt naar een meetplan. Daartoe is het nodig dat de relatie tussen de ruimtelijke en de temporele samenhang in de gegevens bekend is.

Het hiertoe benodigde onderzoek kan worden gesplitst in twee delen:

- Onderzoek naar de ruimtelijke samenhang van de gegevens in relatie tot de dichtheidseigenschappen van het meetnet.
- Onderzoek naar de temporele samenhang van de gegevens in relatie tot de meet- of bemonsteringsfrequentie.

Deze samenhangen kunnen worden berekend op basis van de beschikbare gegevens, of anders op grond van ervaring worden ingeschat. Bij het ontwerp van de provinciale stijghoogtemeetnetten bijvoorbeeld, zijn bij gebrek aan voldoende meetpunten in sommige regio's op basis van ervaring ruimtelijke verbanden in de gegevens aangenomen, die achteraf zullen moeten worden geverifieerd. Als resultaat van het onderzoek naar de bovengenoemde relaties wordt vastgesteld met welke betrouwbaarheid de benodigde doelvariabelen (gemiddelden, percentielen, extremen) kunnen worden bepaald.

#### *Opstelling meetplan en evaluatie van het bestaande meetnet*

Nadat uit de voorgaande stappen een duidelijke indruk is verkregen van de eisen die per doelstelling aan het meetnet worden gesteld, kan aan het doorlichten van het meetnet worden begonnen. Een zinvolle tussenstap hiervoor is het opstellen van een meetplan, waarin per doelstelling de benodigde meetpunten en de benodigde meetfrequentie zijn vastgelegd. Voor elk van de meetdoelstellingen zal de meetnetinrichting moeten worden gecontroleerd. Dit kan er in de praktijk op neerkomen dat een aantal meetpunten meer dan één functie gaat vervullen. Het is in dat geval van belang dat de meetpunten in het meetplan worden 'gemarkeerd' voor elk van de functies die zij vervullen.

Voor de meetnetbeheerder betekent dit dat een totaaloverzicht wordt verkregen met een duidelijke opgave van meetpunten per functie. Uit dit meetplan wordt duidelijk welke meetpunten meer dan één functie hebben. Een meetpunt kan in principe vervallen indien geen enkele functie meer op het betreffende meetpunt van toepassing is. Ook de frequentie van meten kan worden afgestemd op de functies die een meetpunt heeft: het meetpunt zal in principe steeds moeten voldoen aan de eisen die de meest veeleisende functie er aan stelt.





## 4 Doelstellingen analyse - resultaten van enquête en interviews

### 4.1 Opzet van de doelstellingsanalyse

De doelstellingen van de provinciale meetnetten en de ervaringen met de meetnetten zijn geanalyseerd door middel van een enquête en interviews onder de provincies. Voor wat betreft de provinciale stijghoogtemeetnetten was dit onderzoek naar de doelstellingen en ervaringen nieuw. Voor wat betreft de provinciale kwaliteitsmeetnetten is de door het Kiwa in 1994 onder de provincies gehouden enquête (Baggelaar en Van Beek, 1995) als vertrekpunt genomen; bij de nieuwe enquête is volstaan met het verifiëren van de daaruit verkregen antwoorden en meningen. De doelstellingen en ervaringen met de stijghoogtemeetnetten en de kwaliteitsmeetnetten, zoals geïnventariseerd in de enquête en interviews, worden besproken in de paragrafen 4.2 en 4.3.

Bij de analyse van het doel waarvoor de gegevens gebruikt worden kan onderscheid worden gemaakt naar de verschillende rijks- en provinciale taken. Daarbij kunnen in de gegevens en informatiestroom tussen- en eindproducten worden onderscheiden. Aan de hand van de gebruiksdoelen bij kwaliteitsmeetnetten is een eenvoudig schema afgeleid, dat in principe op dezelfde wijze, maar met andere onderwerpen, ook voor stijghoogtemeetnetten geldt. Dit schema is verder uitgewerkt voor verkenning van de benodigde gegevens uit de beide provinciale grondwatermeetnetten (paragraaf 4.4).

### 4.2 Doelstellingen provinciale stijghoogtemeetnetten

#### 4.2.1 Doelstellingen bij de opzet van de meetnetten

In de meeste TNO-rapporten waarin het ontwerp van de provinciale (primaire) stijghoogtemeetnetten is beschreven, wordt *'de karakterisering van het grondwaterregiem op regionale schaal'* als de kerndoelstelling geformuleerd. Deze doelstelling kan volgens de indertijd gehouden workshops als volgt worden opgevat:

- *Het leveren van stijghoogtegegevens voor de karakterisering van het grondwaterregiem (stijghoogte, stijghoogtegradiënten en stijghoogtefluctuaties) op regionale schaal.*
- *Het leveren van gegevens voor signalering van trendmatige veranderingen in het stijghoogtebeeld.*
- *Het leveren van referentiewaarden voor metingen in lokale meetnetten.*

De provinciale of primaire stijghoogtemeetnetten zijn vervolgens ontworpen aan de hand van criteria ten aanzien van de nauwkeurigheid waarmee een ruimtelijk en temporeel beeld van de stijghoogte kan worden vastgelegd (voor de gevolgde methode zie hoofdstuk 5).



#### 4.2.2 Doelstellingen en informatiebehoefte anno 1997

Om een beter beeld te verkrijgen van de geldende meetdoelstellingen is in 1996 een enquête onder de provincies gehouden, gevolgd door interviews bij een aantal daarvan. De uitkomsten van de enquête en interviews betreffende de provinciale stijghoogtemeetnetten zijn onderstaand aan de hand van de gestelde vragen weergegeven.

*Geeft de bovenstaande beschrijving van de doelstellingen voor het primaire stijghoogtemeetnet (zie 4.2.1) de basisfunctie van het meetnet in uw provincie weer?*

Uit de antwoorden bij de enquête en de interviews volgt dat de meeste provincies nog instemmen met de bovengeformuleerde basisdoelstellingen voor de provinciale stijghoogtemeetnetten.

Enkele provincies hebben daarnaast een aantal bijzondere doelstellingen geformuleerd. Voor de provincie Noord-Holland, bijvoorbeeld, geldt dat de meetpunten van het primaire stijghoogtemeetnet tevens worden gebruikt voor het leveren van gegevens ten behoeve van het volgen van de verzilting in de ondergrond. Aangenomen mag worden dat deze meetnetfunctie in principe ook geldt voor de andere kustprovincies. In Limburg gelden de volgende bijzondere doelstellingen a) het vergroten van de thans nog onvoldoende geohydrologische kennis van de zeer diepe lagen; b) het bijdragen tot de registratie van grensoverschrijdende invloeden en c) het monitoren van de grondwaterstand in en rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden.

*Voor welke nieuwe aandachtsvelden van de provincie worden door het primaire stijghoogtemeetnet onvoldoende of onvoldoend nauwkeurige gegevens geleverd?*

Op deze vraag naar de volledigheid van de informatie uit de stijghoogtemeetnetten voor de provinciale aandachtsvelden wordt geantwoord dat de provinciale meetnetten onvoldoende informatie bieden voor de volgende provinciale taken: a) verdroging en bestrijding daarvan; b) herstel van (grond)watersystemen; c) stedelijk (grond)waterbeheer; d) grondwateroverlast; e) grondwateronttrekkingen; f) grensoverschrijdend onderzoek. Van deze aandachtsvelden, wordt verdroging door de meeste provincies genoemd; de andere onderwerpen worden minder vaak genoemd. Uit de inventarisatie blijkt dat de stijghoogtemeetnetten niet of niet in alle opzichten voldoende informatie leveren voor de taken waar de provincies voor staan. Dit kan ook maar ten dele omdat de stijghoogtemeetnetten zijn ontworpen voor karakterisering van de regionale grondwaterregiems en daardoor per definitie niet voldoen aan allerlei lokale meetprogramma's.

*Geven deze tekorten aanleiding tot het bijstellen van de doelstellingen met betrekking tot het primaire stijghoogtemeetnet, zoals eerder gedefinieerd?*

Bij de meeste provincies wordt het ontbreken van informatie voor bovengenoemde beleidsterreinen geen aanleiding gevonden tot het bijstellen van de basisdoelstellingen van de provinciale meetnetten; daarbij wordt gewezen op de mogelijkheid om de ontbrekende informatie te verkrijgen via secundaire en tertiaire meetnetten. Het is nodig dat de doelvariabelen die voor de verschillende beleidstaken van de provincies nodig zijn (o.a. Gelderland, Noord-Brabant, Limburg) goed worden vastgesteld en dat wordt nagegaan in hoeverre de primaire (provinciale) en de secundaire en tertiaire (lokale) meetnetten kunnen worden ingezet om in de benodigde informatie te voorzien. Verder heeft een aantal provincies aanvullende wensen ten aanzien van de flexibiliteit van inrichting en meetfrequentie (o.a. Gelderland, Noord-Brabant).

#### **4.2.3 Gegevensdichtheid in relatie tot nauwkeurigheid**

De volgende vragen werden met betrekking tot dit onderwerp gesteld:

*Is de ruimtelijke verdeling van de stijghoogtegegevens in het algemeen voldoende voor de huidige informatiebehoefte?*

Uit de antwoorden op de enquête en de interviews blijkt dat het meetnet als regionaal basisnet in het algemeen goed voldoet, met uitzondering van enkele deelgebieden, zoals Oost-Gelderland. Ruim de helft van de geënquêteerde provincies geeft aan dat de verdeling van de stijghoogtemeetpunten voor het regionale beeld van de stijghoogte voldoende is. Noord-Holland, Limburg en ook Gelderland geven aan dat er gebieden zijn waar de verdeling onvoldoende is. Als echter de provinciale taakstelling als criterium wordt genomen, komen de gebreken meer tot uiting (zie ook het voorgaande). Voor het peilen van natte natuur en droogtebestrijding bijvoorbeeld, scoort het meetnet niet goed. Ook is het duidelijk dat de kritiek toeneemt als de provincies het meten van de freatische grondwaterstanden bij de vraag hebben betrokken (deze netten zijn in het onderzoek als een aparte categorie beschouwd).

*Voor welke toepassingen is een continu vlakdekkend beeld noodzakelijk en voor welke toepassingen kan worden volstaan met gebieds- of locatie karakteristieken?*

De vraag was bedoeld om na te gaan of voor bepaalde provinciale taken een regionaal vlakdekkend beeld met een bepaalde betrouwbaarheid nodig is. Het meest volledige antwoord komt uit de provincie Drenthe, waar een vlakdekkend beeld van belang geacht voor a) regionale modellering, b) systeemanalyse, c) kwelwegzijgingsbeelden en d) grondwaterbescherming. Een vlakdekkend beeld wordt niet nodig geacht voor statistische analyses, lokale beschrijvingen, natte-/droogteschade en het effect van winningen. In de provincie Noord-Holland geeft men aan dat een vlakdekkend beeld voor bepaalde economische belangen



(Schiphol) of voor natuurbelangen nodig is. In de provincie Gelderland zet men vraagtekens bij het nut van vlakdekkende informatie voor provinciale beleids- en beheerstaken.

*Voldoet de gehanteerde meetfrequentie (24 waarnemingen per jaar) voor de provinciale doeleinden?*

In de meeste provincies is op deze vraag positief geantwoord, in enkele gevallen met de toevoeging 'we doen het er mee'. In een aantal provincies wijst men op de noodzaak de frequentie van waarnemen verder te onderzoeken (Gelderland, Utrecht, Noord- en Zuid-Holland en Noord-Brabant) en zo mogelijk te flexibiliseren. Divers (drukopnemers geschikt voor hoogfrequente registratie) worden genoemd als middel om de benodigde frequentie nader te onderzoeken. In de Provincie Gelderland wil men nagaan of de meetfrequentie kan worden afgesteld op het te onderzoeken grondwatersysteem en vraagt om richtlijnen.

*Voldoen de ruimtelijke verdeling van meetpunten en de meetfrequentie in het algemeen voor een verantwoorde ijking en berekeningen met grondwatermodellen?*

In het merendeel van de provincies is deze vraag positief beantwoord. In een enkele provincie merkt men op dat ook lokale gegevens bij de ijking worden betrokken. Voor sommige gebieden, zoals de Veluwerand met een sterke helling en een complexe geologie zijn er te weinig gegevens. In de Provincie Noord-Brabant vraagt men zich af of in verdrogingsgevoelige gebieden voldoende stijghoogtegegevens worden ingewonnen, maar de provincie heeft dit punt zelf nog niet onderzocht.

*Voldoet de ruimtelijke interpolatiebetrouwbaarheid (SIR-waarde) nog als ontwerpcriterium voor de basisfunctie van de primaire stijghoogtemeetnetten?*

Met betrekking tot de ruimtelijke interpolatiebetrouwbaarheid geldt dat men slechts in een beperkt deel van de provincies de SIR-waarde bewust en actief als middel voor de beoordeling van de betrouwbaarheid gebruikt. Er blijkt een relatief grote onbekendheid met dit criterium, en sommige provincies vragen dan ook om uitleg. Bij een aantal provincies vraagt men zich af of een beter criterium kan worden bedacht, mede in verband met de problemen van verdroging. In de Provincie Drenthe wordt in dit verband gewezen op het niet representatief zijn van een freatisch meetpunt voor grote vlakken, hetgeen bij het analyseren van verdrogingsproblemen een handicap is.

*Voldoet de temporele interpolatiebetrouwbaarheid (SIT-waarde) nog als ontwerpcriterium voor de basisfunctie van de primaire stijghoogtemeetnetten?*

Voor de temporele interpolatiebetrouwbaarheid (SIT-waarde) geldt hetzelfde als voor de SIR-waarde: een relatief grote onbekendheid met het criterium en de vraag om meer aandacht voor gebruiksmogelijkheden en uitleg.

*Zijn er mogelijkheden om de primaire stijghoogtemeetnetten optimaler te gebruiken?*

Met betrekking tot de structuur van het meetnet wordt gewezen op de mogelijkheid het aantal meetpunten te beperken door gebruik te maken van de ruimtelijke correlatie (o.a. Drenthe, Noord-Brabant). Enkele provincies (o.a. Drenthe, Noord-Brabant) stellen voor de mogelijkheden tot een regiogewijze beperking van het waarnemen te onderzoeken aan de hand van correlatie van meetreeksen van verschillende filters. Andere wijzen op de mogelijkheid winst te behalen door beperking van het waarnemen in de diepere watervoerende pakketten. Een grotere flexibiliteit in de waarnemingsfrequentie wordt door de meeste provincies gezien als een mogelijkheid tot verbetering en kostenbeheersing. Een betere afstemming op de grondwatersystemen (o.a. Gelderland, Zeeland), het seizoen (o.a. Noord-Brabant) en de problematiek worden als onderwerpen voor verder optimalisatie-onderzoek gezien. Onderzoek aan hoogfrequente meetreeksen van drukopnemers wordt als mogelijkheid gezien om de relatie tussen betrouwbaarheid en waarnemingsfrequentie nader uit te werken en langs deze weg een optimale frequentie vast te stellen.

*Is er behoefte aan een methodiek waarmee de evaluatie van de meetnetten op uniforme wijze kan plaatsvinden?*

Zes van de provincies hebben aangegeven prijs te stellen op een evaluatiemethodiek; verder zijn de provincies Gelderland en Flevoland geïnteresseerd in de resultaten. Drie provincies hebben geen behoefte aan zo'n methodiek. De Provincie Utrecht wijst op de moeilijkheden bij gebruikers om de stap van theorie naar praktijk te maken. Er is behoefte aan een gedegen uitleg van de meetnettheorie aan de gebruikers en het uitwerken van de theorie in heldere standaardprotocols en praktijkvoorbeelden.

#### **4.2.4 Conclusies enquête m.b.t. stijghoogtemeetnetten**

Aan de hand van de resultaten van enquête en interviews kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1. De onder 4.2.1 geformuleerde doelstellingen voor de provinciale of primaire stijghoogtemeetnetten worden nog door vrijwel alle provincies onderschreven:
  - *Het leveren van stijghoogtegegevens voor de karakterisering van het grondwaterregiem (stijghoogte, stijghoogtegradiënten en stijghoogtefluctuaties) op regionale schaal.*
  - *Het leveren van gegevens voor signalering van trendmatige veranderingen in het stijghoogtebeeld.*
  - *Het leveren van referentiewaarden voor metingen in lokale meetnetten.*
2. Voor bepaalde provinciale aandachtsvelden, zoals verdrogingsbestrijding, herstel van watersystemen, enz., geven deze meetnetten onvoldoende informatie. Het zal nodig zijn de doelvariabelen per provinciaal aandachtsveld in kaart te brengen en vast te stellen of de informatie kan worden betrokken uit provinciale stijghoogtemeetnetten, danwel of lokale meetnetten moeten worden ingezet.



3. De dichtheid van de provinciale stijghoogtemeetnetten wordt in het algemeen als goed beoordeeld, maar er zijn uitzonderingsgebieden, zoals de Achterhoek en andere, waar de gegevensdichtheid onvoldoende is. Meer inzicht in de methode van afstemmen van de juiste dichtheid is gewenst.
4. De frequentie van meten wordt voor veel doeleinden als voldoende beoordeeld, maar een grotere mate van flexibiliteit, gekoppeld aan de watersystemen, wordt door sommige provincies als een zinvolle en mogelijk kostenbesparende maatregel gezien. Er wordt aangedrongen op het verschaffen van meer inzicht in deze relaties en de mogelijkheden.

### 4.3 Doelstellingen provinciale kwaliteitsmeetnetten

#### 4.3.1 Doelstellingen bij opzet meetnetten

Zowel de rijksoverheid als de provincies hebben behoefte aan informatie met betrekking tot de grondwaterkwaliteit. De rijksoverheid heeft deze informatie nodig voor de voorbereiding, uitvoering en evaluatie van het landelijk grondwater- en bodembeschermingsbeleid. De provincies zijn medeverantwoordelijk voor de kwaliteit van het grondwater en hebben diverse wettelijke taken op dat gebied. In het kader van de Wet Milieubeheer dienen zowel het Rijk als de provincies ieder jaar een milieuprogramma en iedere 4 jaar een milieubeleidsplan op te stellen. Beide kunnen worden onderbouwd met informatie uit meetnetten grondwaterkwaliteit.

Om in de informatie te voorzien is in de periode 1978-1984 door het RIVM in opdracht van het Ministerie van VROM het 'Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit' (LMG) opgezet.

Het LMG heeft als belangrijkste doelstellingen [Van Duijvenbooden, 1986]:

- *het beschrijven van de toestand van de grondwaterkwaliteit op twee verschillende diepten, met onderscheid naar landgebruik, bodemtype en geohydrologische situatie (aangeduid als 'toestandsbeschrijving');*
- *het vaststellen van veranderingen in deze toestand op langere termijn (aangeduid als 'trendsignalering');*
- *het verschaffen van informatie, nodig om een wetenschappelijk verantwoord kwalitatief beheer van de bodem mogelijk te maken (aangeduid als 'verkrijgen onderzoeksgegevens') in verband met de omvang van menselijke invloeden op de grondwaterkwaliteit en het invoeren van gegevens over de grondwaterkwaliteit bij gebruik van operationele beheersmodellen.*

Het meetnet richt zich op diffuse verontreinigingen; lokale verontreinigingen kunnen door de grootschalige opzet van het meetnet niet of nauwelijks worden gemeten. Een belangrijke toepassing is de bewaking van de grondwaterkwaliteit ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

Vervolgens zijn in aanvulling daarop vanaf de tweede helft van de jaren '80 door de provincies de "Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit" (PMG's) opgezet. De doelstellingen van de PMG's zijn door Baggelaar en Van Beek [1994] geïnventariseerd aan de hand van rapporten over het ontwerp en/of de inrichting van deze meetnetten. Uit dit onderzoek blijkt dat voor de PMG's dezelfde basisdoelstellingen gelden als voor het LMG, maar dat de lijst van PMG-doelstellingen door enkele provincies is aangevuld. Regelmatig voorkomende aanvullingen zijn:

- het vaststellen van de effecten van maatregelen betreffende de grondwaterkwaliteit, kort aangeduid als 'maatregelen-evaluatie';
- het bewaken van de grondwaterkwaliteit in bijzondere gebieden, om tijdig ongewenste ontwikkelingen te kunnen signaleren en daarop afgestemde maatregelen te kunnen nemen, kort aangeduid als 'bijzondere bewaking'.

Andere aanvullingen komen neer op een verbijzondering van de eerder genoemde doelstellingen naar deelruimten of gebruiksdoel. De doelstellingen bleken bij de in 1996 gehouden enquête nog onverminderd te gelden.

Tabel 4.1 Geïdentificeerde doelstellingen van de verschillende PMG's

| Provincie     | Doelstellingen               |                         |                           |                             |                          |
|---------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|               | 'toestands-<br>beschrijving' | 'trend-<br>signalering' | 'onderzoeks-<br>gegevens' | 'maatregelen-<br>evaluatie' | 'bijzondere<br>bewaking' |
| Friesland     | ■                            | ■                       | ■                         | ■                           | ■                        |
| Groningen     | ■                            | ■                       |                           |                             | ■                        |
| Drenthe       | ■                            | ■                       |                           |                             |                          |
| Overijssel    | ■                            | ■                       |                           |                             |                          |
| Gelderland    |                              | ■                       |                           |                             | ■                        |
| Utrecht       | ■                            | ■                       | ■                         | ■                           | □                        |
| Flevoland     | ■                            | ■                       | ■                         |                             | □                        |
| Noord-Holland | ■                            | ■                       | □                         | ■                           | ■                        |
| Zuid-Holland  | ■                            | ■                       |                           |                             | ■                        |
| Zeeland       | ■                            | ■                       | ■                         | □                           |                          |
| Noord-Brabant | ■                            | ■                       | ■                         | ■                           | ■                        |
| Limburg       | ■                            | ■                       |                           |                             |                          |

■ hoofddoel; □ nevendoeel.

Op grond van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de meest aangehaalde doelstellingen de *toestandbeschrijving* en de *trendsignalering* zijn; deze doelstellingen specificeren het ruimtelijke en het temporele aspect in de metingen en komen in die zin overeen met de basisdoelstellingen van de stijghoogtemeetnetten. Onderzoek is niet een op zichzelf staand doel maar dient altijd een hoger doel.



Maatregelen-evaluatie vertegenwoordigt een hoger doel, dat meestal geschiedt door trendonderzoek. Specifieke bewaking van de grondwaterkwaliteit in bijzondere gebieden zal eveneens via trendsignalering verlopen. De doeleinden staan dan ook nog niet in een logische relatie tot elkaar.

#### 4.3.2 Concretisering informatiebehoefte

De vrij algemeen geformuleerde doelstellingen geven nog geen helder beeld van de eindproducten die met behulp van de meetnetten moeten worden geleverd. Daarom hebben Baggelaar en Van Beek (1995) met behulp van de meetnetbeheerders van de provincies de informatiebehoefte met betrekking tot de grondwaterkwaliteit verder geconcretiseerd. Daarbij zijn tevens de prioriteit in de onderdelen van de gewenste informatie vastgesteld.

Geïdentificeerde gebruiksdoelen:

1. Inbrengen van knelpunten - zoals normoverschrijdingen - bij de beleidsvorming;
2. Vergroten van inzicht in grondwatersystemen (en bijvoorbeeld de zoet/zout verdeling);
3. Ondersteunen van planvorming over de gebruiksmogelijkheden en voorwaarden ten aanzien van het gebruik van grondwater door diverse belanghebbenden (bijvoorbeeld als grondstof voor drinkwater);
4. Gebruik van (natuurlijke) achtergrondwaarden als vergelijkingsmateriaal bij bodemsaneringen;
5. Bijstellen van bodemkwaliteitseisen;
6. Herkennen van bijzondere gebieden;
7. Leveren van gegevens aan gemeente-ambtenaren, onderzoekers en studenten;
8. Referentiekader voor specifieke meetnetten waar ingrepen in het watersysteem plaats (zullen) vinden;
9. Afstemmen van het beleid op gesignaleerde ongewenste ontwikkelingen in de grondwaterkwaliteit;
10. Invoer en validatie van regionale grondwaterkwaliteitsmodellen en/of operationele beheersmodellen;
11. Toetsen en eventueel aanpassen van genomen maatregelen in bodembeschermings- en grondwaterbeschermingsgebieden en in ecologisch waardevolle gebieden;
12. Beoordelen of en in welke mate extra maatregelen door de provincie gewenst zijn in aanvulling op maatregelen van het Rijk;
13. Onderbouwen van het beleid met betrekking tot bijzondere gebieden (zoals het tijdig nemen van maatregelen afgestemd op ongewenste ontwikkelingen);
14. Interpreteren van veranderingen van natuurwaarden in ecologisch waardevolle (en kwetsbare) gebieden.

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de in 1996 herziene versie van de geïdentificeerde gebruiksdoelen.

Tabel 4.2 Door de meetnetbeheerders aangegeven prioriteit in gebruiksdoelen - herziene versie

| Provincie  | Gebruiksdoelen |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |     |  |  |
|------------|----------------|---|---|---|---|---|---|----|-----|----|----|-----|--|--|
|            | 1              | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11  | 12 | 13 | 14  |  |  |
| Groningen  | 1              |   | 2 | 5 |   |   |   | 3  |     |    |    | 4   |  |  |
| Drenthe    | 1              |   |   | 5 |   |   | 2 |    | 3/4 |    |    | 3/4 |  |  |
| Overijssel | 2              |   |   |   |   |   | 3 |    | 4   | 1  |    | 5   |  |  |
| Gelderland | 4              |   |   |   | 5 |   | 1 |    | 3   | 2  |    |     |  |  |
| Flevoland  | 2              | 1 |   |   |   | 4 | 3 |    |     |    |    |     |  |  |
| Utrecht    | 1              |   |   |   |   |   | 2 |    | 3   |    |    |     |  |  |
| N-Holland  | 4              |   |   | 2 |   |   | 3 |    |     |    | 1  | 5   |  |  |
| Z-Holland  |                |   |   |   | 3 |   | 1 |    |     |    |    | 2   |  |  |
| Zeeland    | 1              | 2 | 3 |   |   |   | 4 |    | 5   |    |    |     |  |  |
| N-Brabant  | 1              | 5 |   |   |   |   | 2 |    |     | 3  |    | 4   |  |  |

Van de vijf belangrijkste gebruiksdoelen is door de provincie een prioriteit aangegeven (1 is de hoogste prioriteit).

Op grond van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de meetnetten vooral informatie moeten leveren over:

- knelpunten met betrekking tot de grondwaterkwaliteit;
- ontwikkelingen in de grondwaterkwaliteit

Verder bleek dat de provincies de te leveren informatie bij voorkeur ook gespecificeerd zien naar bepaalde gebieden (bestuurlijke, fysisch/geografische, hydrologische, kwetsbare, provincie-specifieke).

Tenslotte hebben de meetnetbeheerders gespecificeerd in welke vorm de informatie gewenst is (informatiedragers). Met betrekking tot de knelpunten in de grondwaterkwaliteit zijn de gewenste vormen: kaarten met concentratieklassen en normoverschrijdingen, tabellen met gemiddelde concentraties, spreidingen en percentages normoverschrijdingen en tenslotte statistisch verantwoorde uitspraken over verschillen. Voor wat betreft de (on)gewenste ontwikkelingen in de grondwaterkwaliteit zijn bijvoorbeeld genoemd grafieken met het tijdsverloop van gemiddelde concentraties, statistisch verantwoorde uitspraken over trends, kaarten met grootte en significantie van trends en tenslotte kaarten waarop is aangegeven waar normen op termijn overschreden gaan worden.



### 4.3.3 Enkele opmerkingen met betrekking tot de gebruiksdoelen

Met betrekking tot gebruiksdoelen vallen nog de volgende aspecten op:

- Een groot aantal van de gebruiksdoelen definiëren een algemeen doel (bijvoorbeeld ondersteuning beleid) zonder een bepaald beleidsveld te noemen. Een aantal is specifiek gericht (natuurwaarden, grondwaterbeschermingsgebieden, etc.). Het lijkt wenselijk dat de provincies bij de evaluatie van hun meetnetten nagaan of de opgegeven beleidsvelden waarvoor de gegevens nodig zijn, volledig zijn.
- Een deel van de gedefinieerde gebruiksdoelen heeft betrekking op de grondwatersysteemkennis en grondwatermodelstudies. Deze producten vormen geen doel op zichzelf, maar zijn te beschouwen als presentatievormen (de systeemkaarten) of tussenbewerkingen (modelstudies) voor de hogere beleidsdoeleinden. Ze kunnen wel dienen om de eisen ten aanzien van de meetnetten nader in kaart te brengen.
- In de geïnventariseerde beleidsdoelstellingen vallen stadia te herkennen, namelijk de stadia van verkenning, planning van maatregelen, evaluatie van het effect van maatregelen, enz. Deze fasering heeft consequenties voor de intensiteit van het bemonsteren, zoals in de uitwerking (hoofdstukken 5 t/m 8) aangegeven.

## 4.4 Aanbevolen methodiek voor doelstellingenanalyse bij provinciale grondwatermeetnetten

### 4.4.1 Het ontwikkelingsstadium van de meetnetten

*Meetdoelstellingen.* Uit de inventarisatie van doelstellingen onder de provincies (4.2 en 4.3) valt het op dat de doelstellingen bij het ontwerp van de meetnetten vooral op de karakterisatie van het grondwaterregiem waren gericht maar dat er, ten gevolge van het actueel worden van nieuwe aandachtsvelden bij de provincies en een toegenomen aandacht voor de watersysteembenadering, een nieuwe situatie is ontstaan. Deze situatie kan voor de meetnetten afzonderlijk als volgt worden samengevat:

- Voor de provinciale stijghoogtemeetnetten is bij het ontwerp in de jaren 80 'het karakteriseren van het grondwaterregiem op regionale schaal' als centrale doelstelling genomen (zie 4.2.1). De bijbehorende nauwkeurigheidscriteria (sirensit-waarden) sloten bij deze brede doelstelling aan. Nu echter de aan het water gerelateerde taken van rijk en provincie (grondwater-, natuur- en milieubeheer en ruimtelijke ordening) in recente jaren concreter zijn geworden, is er ook behoefte aan een nadere specificatie van de informatiebehoefte. De oorspronkelijke brede meetnetdoelstelling is als basis voor het grondwaterkwantiteitsbeheer nog wel acceptabel (zie ook de antwoorden op de enquête, 4.2.2 en 4.2.3), maar vraagt om aanvullingen waar het gaat om specifieke provinciale aandachtsvelden zoals verdrogingsbestrijding.

- Voor de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG's) zijn bij de opzet, afgezien van een enkele uitzondering, de doelstellingen van het landelijke meetnet grondwaterkwaliteit (LMG) overgenomen (zie 4.3.1). Deze waren in de beginfase van de meetnetten vooral gericht op een verkenning van de heersende grondwaterkwaliteitssituatie. Voor de meetnetten werd een functionele opzet gekozen, met een zo goed mogelijke verdeling van meetpunten over karakteristieke, zogenaamde 'homogene' gebieden. De doelstellingen zijn in een later stadium (zie de reeds uitgevoerde evaluatie van het PMG in de provincie Drenthe, Broers, 1996) meer toegespitst op de thema's vermisting, verzuring en verspreiding. Bij gebrek aan voldoende informatie in het begin ontbraken zinvolle criteria voor de nauwkeurigheid of meetneteffectiviteit.

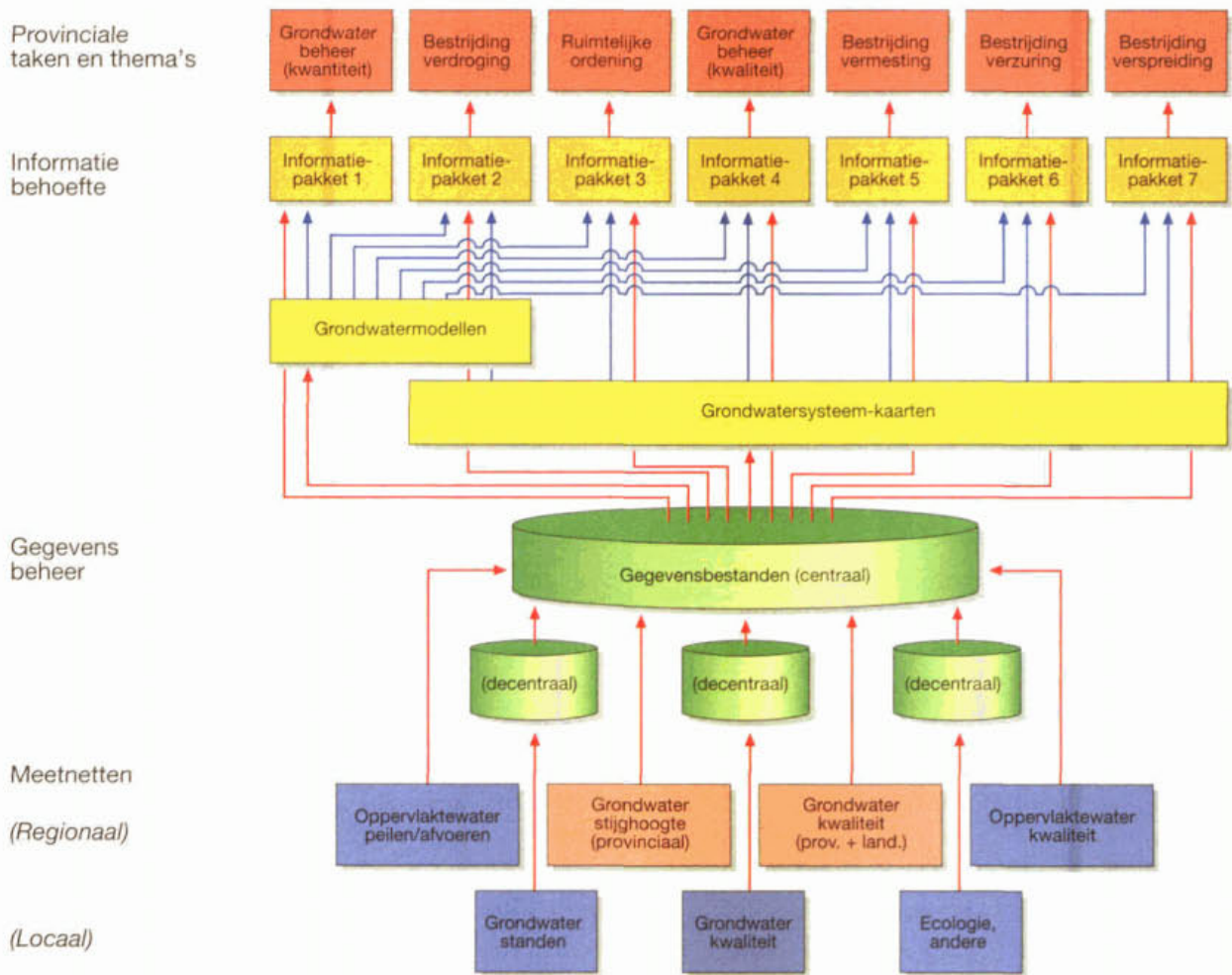
*Nauwkeurigheidscriteria.* Bij het ontwerp van de provinciale stijghoogtemeetnetten bestond, vooral dankzij de beschikbaarheid van een relatief grote dichtheid aan meetpunten en vele lange tijdreeksen, reeds enige ervaring met kwantitatieve berekeningen. In deze situatie was het goed mogelijk een relatie te leggen tussen de meetnetdichtheid en frequentie van meten enerzijds en de nauwkeurigheid van ruimtelijke en temporele interpolaties anderzijds. Bij kwaliteitsmeetnetten, die vrijwel uit het niets zijn opgezet, was geen ervaring met de gegevens en konden criteria voor de meetneteffectiviteit niet op basis van het gegevensmateriaal worden aangegeven. De criteria voor meetnetdichtheid zijn pas sinds kort in ontwikkeling (zie Van Beek en Baggelaar (1994) en Broers (1996a)). De criteria voor bemonsteringsfrequenties ontbreken nog grotendeels.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het monitoren in de provinciale meetnetten in het verleden sterk was gericht op een brede verkenning van het grondwaterregiem, maar dat recentelijk, als gevolg van toegenomen inzicht en concretisering van de problematiek, een verdere detaillering nodig is. Deze conclusie heeft geleid tot de opzet van een schema voor doelstellingenanalyse (figuur 4.1) dat tegemoet komt aan de vraag om uitgebreidere specificatie van de informatiebehoefte.

#### **4.4.2 Algemeen schema voor analyse van meetdoelstellingen en specificatie van informatiebehoefte**

Op basis van de voorgaande analyse is in figuur 4.1 een schema opgezet, waarin de gegevensstromen ten behoeve van de provinciale taken voor beide meetnetten zijn samengebracht. Daarin zijn naast de algemene waterbeheerstaken met betrekking tot het grondwaterkwantiteits- en grondwaterkwaliteitsbeheer ook de bekende specifieke aandachtsvelden opgenomen. Verder is de plaats van de tussenproducten aangegeven. Het schema geeft een beeld van de gegevens- en informatiestromen ten behoeve van een aantal provinciale beleids- en beheerstaken die aan het grondwater gerelateerd zijn. De taken (bovenste laag) vormen de doelen waarvoor de gegevens uit de meetnetten nodig zijn.





Figuur 4.1: Grondwatergegevens in het provinciale takenveld

De algemene taken zijn 'Grondwaterbeheer-kwantiteit' en 'Grondwaterbeheer-kwaliteit'. Daarin kunnen de basisbeheerstaken worden ondergebracht, zoals het beheer, de verdeling en de bewaking van het grondwater. Hierbij horen informatie-eisen die passen bij de regionale schaal en de lange termijn van het grondwaterbeheer. Voor wat betreft het stijghoogtemeetnet is dit nog steeds een zeer belangrijke doelstelling. Voor wat betreft het grondwaterkwaliteitsmeetnet nemen de milieuthema's een belangrijke plaats in. Er is evenwel ten behoeve het algemeen kwaliteitsbeheer een basisprogramma van metingen nodig, waarin met een minimale frequentie de macroparameters worden bemonsterd.

De specifieke taken of doelstellingen hebben betrekking op actuele thema's, zoals verdroging, vermisting, verzuring en verspreiding. Verdroging is niet een thema dat in sterke mate met behulp van de provinciale meetnetten kan worden aangepakt. De gegevens zullen waarschijnlijk grotendeels met behulp van secundaire of tertiaire meetnetten moeten worden ingewonnen. Voor wat betreft de stijghoogte van het diepe grondwater is er wel een relatie met het probleem en daarom is het nodig om na te gaan in hoeverre de provinciale stijghoogtemeetnetten bij de verdrogingsbestrijding een rol kunnen spelen (zie hoofdstuk 9). De thema's

vermesting, verzuring en verspreiding vragen om inwinning van specifieke gidsparameters, die per thema verschillen en dus ook als zodanig kunnen worden aangegeven (zie hoofdstuk 7 en Broers [1996]).

Verder maken de provincies en het rijk gebruik van grondwatersysteemkaarten en van de uitkomsten van grondwatermodellen bij de voorbereiding van beleidsnota's en beheersplannen. De watersysteemkaarten kunnen als een presentatievorm van de gegevens worden gezien. De modellen vormen een tussenbewerking. Deze 'tussenproducten' vertegenwoordigen niet het einddoel, maar kunnen wel dienen om de specificatie van benodigde gegevens aan te scherpen. Daarbij dient vanzelfsprekend de schaal van de vraagstelling in het oog te worden gehouden.

Voor elke taak kunnen tenslotte de benodigde meetprogramma's worden afgeleid. De mogelijkheden tot vertaling van de doelstellingen en de informatiebehoefte naar de meetnetspecificaties wordt behandeld in de hoofdstukken 5, 6 en 7. De meetnet-beheerders zullen tenslotte het totale pakket van eisen moeten inventariseren en een afweging moeten maken in hoeverre aan de verschillende eisen tegemoet kan worden gekomen. Daarbij kunnen taken en informatiebehoefte per provincie verschillen.

#### **4.4.3 Afstemming op fasering in het grondwaterbeheer**

Het schema in figuur 4.1 weerspiegelt nog niet de dynamiek in de meetnet-evaluatie, door afstemming van de meetnetten op de planning in het grondwaterbeheer. Door middel van actief meetnetbeheer kunnen de meetnetdichtheid en de frequentie van meten tot op zekere hoogte worden afgestemd op het stadium waarin water en milieubeheer in een gebied verkeren: verkenning, planvorming, controle op uitvoering van maatregelen, controle op de effecten van wet- en regelgeving [Van Bracht, 1994].

Voor de grootschalige meetnetten van de provincies zijn de mogelijkheden anno 1997 beperkt.

Voor de stijghoogtemeetnetten kan de frequentie na de verkenningsperiode nu zonder bezwaar worden afgestemd op het waarnemen van de gewenste aspecten uit het stijghoogteverloop (zie hoofdstuk 6), hetgeen dikwijls een verlaging betekent. Bij grootscheepse veranderingen in de situatie, bijvoorbeeld na installatie van grote pompstations, kan de frequentie desgewenst gedurende een aantal jaren opnieuw worden verhoogd. Bij veranderingen in de meetfrequentie moet worden toegezien op de continuïteit van de reeksen, zodat de relatie tussen de gekozen frequentie en de landelijke basisfrequentie behouden blijft.

Een voorbeeld bij de kwaliteitsmeetnetten is het afstemmen van de frequentie van bemonstering op de rijks- en provinciale planvorming. Milieubeleidsplannen worden met een regelmaat van eens in de vier of vijf jaar uitgebracht. De frequentie van grondwaterbemonstering voor de filters op grotere diepte, waar de variatie in de kwaliteitsparameters zeer gering is, kan worden afgestemd op deze plancyclus, zodat tijdig de juiste informatie aanwezig is. Een hogere frequentie is bij deze geringe variatie in de processen waarschijnlijk niet nodig (zie ook hoofdstuk 7). De frequentie van bemonsteren kan dus met succes worden afgestemd op het proces van provinciale planning.



#### 4.4.4 Redenen voor een gemeenschappelijke aanpak

Bij de evaluatie van de provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en grondwaterkwaliteit wordt een uniforme en gemeenschappelijke lijn in de aanpak van de meetnetten als een voordeel gezien. Daarvoor kan een combinatie van argumenten worden aangevoerd:

- Het monitoren in de beide meetnetten heeft betrekking op één en hetzelfde grondwatersysteem, waarin grondwaterkwantiteit en -kwaliteit geen onafhankelijke grootheden zijn. Ontwikkelingen in de kwantiteit hebben bijvoorbeeld consequenties voor de grondwaterkwaliteit. Een goede afstemming van de beide meetnetten op deze processen heeft dus zin voor het integrale waterbeheer. Bij een goede afstemming van de meetnetten zullen de waargenomen gegevens elkaar versterken. Een gemeenschappelijke evaluatie van de beide meetnetten kan leiden tot uitwisseling van kennis en inzichten op dit terrein.
- Er zijn een groot aantal gebruikers van de gegevens uit de meetnetten, die deze gebruiken in wisselende combinaties. Naast de verschillende provinciale afdelingen (grondwaterbeheer, milieubescherming, natuur- en landschapsbeheer en ruimtelijke ordening) zijn ook derden (bijvoorbeeld stichtingen natuurbeheer) van de grondwatergegevens afhankelijk. Het is dan ook van belang voor de beheerders van de meetnetten om een goed overzicht te hebben van de vraag naar gegevens, zodat de meetnetten daar optimaal op kunnen worden afgestemd. Niet alle gegevens kunnen daarbij door de grootschalige provinciale meetnetten geleverd worden. Een deel van de gegevens zal uit lokale meetnetten moet worden betrokken. Een goede afstemming van de aanbodkant op de vraagkant is dus ook nodig. Het kan een voordeel zijn om dit proces eenmalig in samenhang uit te voeren voor beide meetnetten, hetgeen pleit voor een gemeenschappelijke aanpak.
- Uit het oogpunt van integraal grondwaterbeheer is een afstemming van de meetnetten onderling en met die van het oppervlaktewater op den duur een voor de hand liggende zaak (zie hoofdstuk 8).
- Tenslotte zijn er in de evaluatieprocedure voor beide meetnetten veel gemeenschappelijke elementen die in principe een soortgelijke aanpak vereisen. Ook uit de procedurele kant valt wellicht te leren.

Strikt genomen behoeft een afzonderlijke aanpak van de beide meetnetten niet te mislukken. De voordelen van een gemeenschappelijke en bij voorkeur uniforme aanpak van de meetnetevaluatie door de meetnetbeheerders van de beide meetnetten is dat de kennis betreffende het grondwater kan worden gebundeld, dat een evaluatie van doelstellingen en informatiebehoefte in samenhang kan worden uitgevoerd, alsmede dat overlap en tekorten in vraag en aanbod van de gegevens opvallen en kunnen worden vermeden. Er zijn dus voldoende redenen om naar meer samenhang in de evaluatie en het beheer van de provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en -kwaliteit te streven.

## **5 Provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte - evaluatie van de meetnetdichtheid**

### **5.1 Inhoud en opzet van het hoofdstuk**

In hoofdstuk 5 worden methoden voorgesteld die geschikt zijn voor evaluatie van de meetnetdichtheid van de provinciale stijghoogtemeetnetten in relatie tot de oorspronkelijke doelstellingen. Deze evaluatie van het functioneren van de meetnetten werd nodig gevonden om vast te kunnen stellen of de meetnetten, na de herziening volgens het ontwerp, aan de verwachtingen ten aanzien van de nauwkeurigheid van de gegevens voldoen.

De methode voor de evaluatie en optimalisatie van de meetnetdichtheid wordt voorgesteld en besproken in paragraaf 5.2. In paragraaf 5.3 wordt het gebruik van de voorgestelde methode geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld uit de Provincie Drenthe en worden conclusies getrokken ten aanzien van de werkzaamheid van de methode en de resultaten voor het betreffende gebied. In paragraaf 5.4 wordt een overzicht gegeven van de stappen benodigd voor de evaluatie van de meetnetdichtheid.

### **5.2 Methode voor evaluatie van de stijghoogtemeetnetten**

#### **5.2.1 Ontwikkeling van de provinciale stijghoogtemeetnetten**

De provinciale of primaire stijghoogtemeetnetten zijn in de jaren tachtig gevormd uit de destijds bestaande meetpunten van het landelijke meetnet. Het ontwerp van de provinciale meetnetten is daarbij gebaseerd a) op criteria ten aanzien van de onzekerheid in de interpolatie van gemeten gegevens en b) op beleidsmatig vastgelegde prioriteiten ten aanzien van de belangrijkheid van het deelgebied.

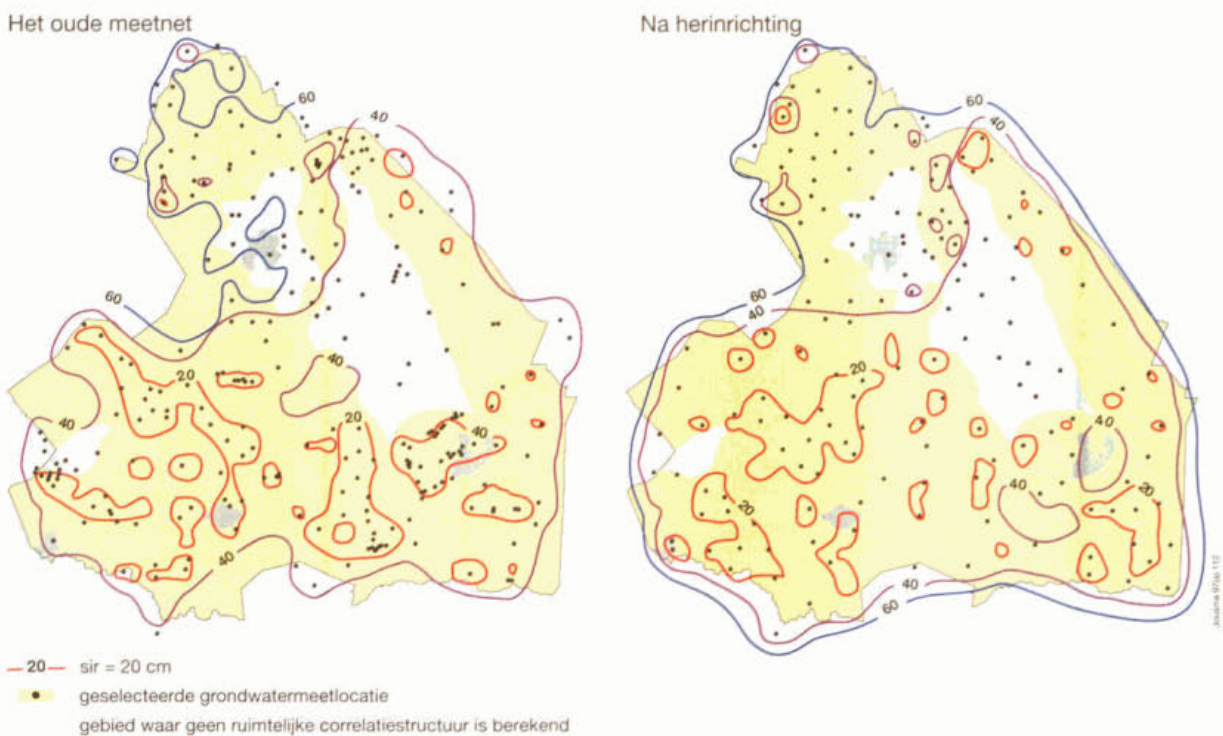
Om inzicht te verkrijgen in de nauwkeurigheid van het bestaande landelijke meetnet werd berekend hoe groot de onzekerheid is van de geïnterpoleerde waarden van de stijghoogte op willekeurige punten in de ruimte. Daarbij zijn op basis van de hydrogeologie en de statistische samenhang in de meetreeksen, statistisch homogene deelgebieden gedefinieerd (deelgebieden waarbinnen de waarnemingsreeksen dezelfde statistische eigenschappen hebben). In elk van de homogene deelgebieden is vervolgens voor een specifieke kwartaaldatum een relatie opgesteld tussen de dichtheid van het meetnet (aantal meetpunten per km<sup>2</sup>) en de daarvan afhankelijke onzekerheid in de geïnterpoleerde schatting van de stijghoogte. De onzekerheid is uitgedrukt in kaarten van de standaard deviatie van de interpolatiefout in de ruimte, de zogenaamde **sir**-kaarten.

In het merendeel van de provincies hebben deze sir-kaarten de basis gevormd voor het ontwerp van de provinciale (z.g. primaire) stijghoogtemeetnetten. Bij dit ontwerp werd als eis gesteld dat de stijghoogte geïnterpoleerd moest kunnen worden met een ruimtelijk gespecificeerde onzekerheid (in de orde van enkele decimeters). De gespecificeerde onzekerheid werd afhankelijk gesteld van de



beleidsmatige prioriteiten die voor de verschillende deelgebieden golden. Voor het nieuw ontworpen meetnet van de provincies is opnieuw een sir-kaart vervaardigd, waarop de verwachte spreiding van de interpolatiefout is weergegeven. Deze nieuwe sir-kaart kan worden opgevat als een voorspelling van de prestaties (de *meetnetperformance*) van het nieuwe meetnet.

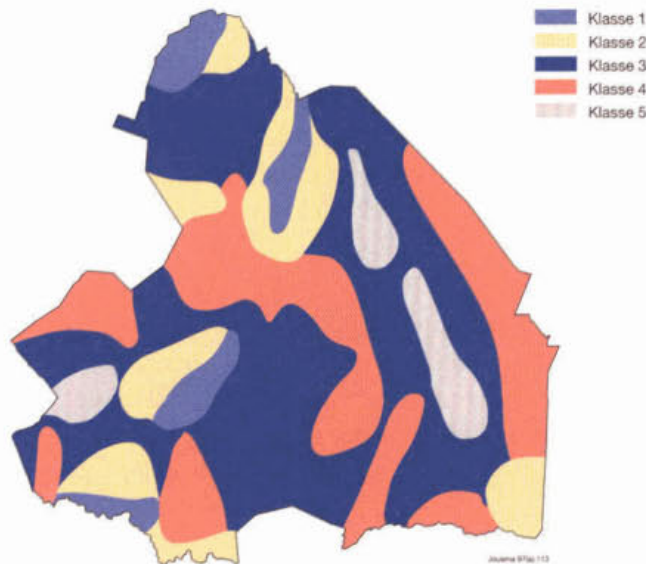
Ter illustratie zijn in Fig. 5.1 de sir-kaarten van de provincie Drenthe opgenomen van zowel het oorspronkelijke als het nieuwe (primaire) meetnet. De verdeling van de peilbuizen in het nieuwe meetnet is duidelijk regelmatigier dan in het oude meetnet. De sir-waarde is daardoor bij een geringer aantal meetpunten regelmatigier verdeeld en beter afgestemd op de door de provincie aangegeven prioriteiten (figuur 5.2). Inmiddels is met de nieuwe meetnetten van de provincies ruim vijf jaar ervaring opgedaan en is de vraag gerezen of de nieuwe meetnetten aan de verwachtingen hebben voldaan. Om deze vragen te kunnen beantwoorden zullen eerst de methoden worden besproken volgens welke het functioneren van de meetnetten kan worden geëvalueerd.



Figuur 5.1: Sir-waarde kaarten Provincie Drenthe

### 5.2.2 Gebruikte methode bij ontwerp van de meetnetdichtheid

Bij het ontwerp van het meetnet in de jaren tachtig is gebruik gemaakt van de ruimtelijke geostatistische techniek 'kriging interpolatie'. Kriging interpolatie levert een zuivere schatting op van de stijghoogte op een willekeurige locatie met een minimale variantie, gebruikmakend van gemeten waarden op een aantal



naburige locaties (TNO-IWIS, 1983). Het grote voordeel van de methode is dat, naast de geïnterpoleerde waarde, ook de interpolatiefout kan worden berekend, zodat de betrouwbaarheid of onnauwkeurigheid van de schatting bekend is. Men kan dus beoordelen hoe nauwkeurig men kan interpoleren op locaties waar geen waarnemingen beschikbaar zijn.

Figuur 5.2: Prioriteitsindeling stijghoogtegegevens Provincie Drenthe

Bij het meetnetontwerp is gebruik gemaakt van een vorm van kriging waarmee variabelen kunnen worden geanalyseerd die een ruimtelijke trend bevatten. Het verschil tussen de gewone en deze zogenaamde 'niet-stationaire' vorm van kriging is, ten eerste, dat bij niet-stationaire kriging het variogram is vervangen door een andersoortige functie (de gegeneraliseerde covariantiefunctie) waarin een ruimtelijke trend kan worden opgenomen, en ten tweede, dat vaak niet de parameter zelf, maar de eerste of tweede afgeleide van de parameter bij de schatting wordt gebruikt. De gegeneraliseerde covariantiefunctie  $K(h)$  kan wiskundig worden omschreven als een polynoom in de oneven machten van de norm van  $h$ . In Tabel 5.1 zijn de vormen van  $K(h)$  overgenomen uit Defize (1985), die destijds bij de optimalisatie zijn gebruikt.

Tabel 5.1: Gegeneraliseerde covariantiefuncties voorgesteld door Defize (1985)

| Trend       | $k$ | Functie   |
|-------------|-----|---|
| constant    | 0   | $K(h) = c(h) + a_1  h $                         |
| lineair     | 1   | $K(h) = c(h) + a_1  h  + a_3  h ^3$             |
| kwadratisch | 2   | $K(h) = c(h) + a_1  h  + a_3  h ^3 + a_5  h ^5$ |

met  $c(h) = 1$  voor  $|h| = 0$ ,  $c(h) = 0$  voor  $|h| > 0$ ,  $c \geq 0$ ,  $a_1 \leq 0$ ,  $a_3 \leq 0$ ,  $a_5 \geq -10/3 \div a_1 a_3$

De berekening van de gewenste dichtheid van het meetnet is in het verleden als volgt uitgevoerd (Van Bracht en Kreling, 1985). Afhankelijk van de door de provincies aangegeven beleidsmatige prioriteit is een sir-waarde gekozen waaraan

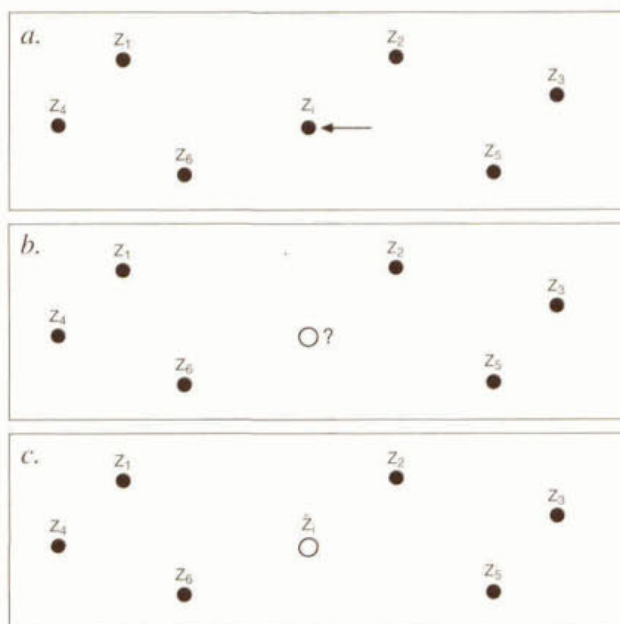


de interpolatie in het onderscheiden deelgebied moet voldoen. Zo hangen de hogere en lagere sir-waarden in het nieuwe meetnet van Drenthe in Fig. 5.1b samen met de beleidsmatige prioriteit die voor het betreffende deelgebied is gekozen. Met behulp van de covariantiefunctie kan worden berekend wat de dichtheid van het meetnet moet zijn om deze sir-waarde te realiseren. Op basis van de berekende dichtheid van het meetnet en de oppervlakte van het deelgebied is tenslotte bij de gekozen sir-waarde het aantal meetpunten bepaald.

### 5.2.3 Voorgestelde methode voor evaluatie van de meetnetdichtheid

Om de kwaliteit van de interpolatie van het ruimtelijke stijghoogtebeeld bij de actuele dichtheid van de provinciale meetnetten te kunnen beoordelen, zijn eigenlijk regelmatig over het gebied verdeelde extra meetwaarden (controlewaarden) nodig. Aangezien deze extra waarden in de praktijk meestal niet of slechts plaatselijk aanwezig zijn, kan het functioneren van het meetnet (de performance) niet op deze manier worden beoordeeld. Daarom wordt een methode gekozen, waarbij de bestaande meetpunten één voor één buiten beschouwing worden gelaten en waarbij de nauwkeurigheid van de interpolatie wordt uitgedrukt als een functie van het verschil tussen de beschikbare meetwaarde en de geïnterpoleerde stijghoogte in deze weggelaten punten. De techniek staat bekend als cross-validatie.

Cross-validatie is een techniek waarmee geschatte en werkelijk gemeten waarden met elkaar kunnen worden vergeleken, uitsluitend gebruikmakend van de gegevens beschikbaar op de bestaande locaties (Isaaks and Srivastava, 1989). De procedure wordt geïllustreerd in Fig. 5.3. De meting op een bepaalde locatie (Fig. 5.3a) wordt tijdelijk buiten beschouwing gelaten (Fig. 5.3b) en vervolgens geschat uit de overblijvende gegevens (figuur 5.3c). De schatting  $\hat{z}(x_i, y_i)$  wordt nu vergeleken met



de eerder weggelaten meting  $z(x_i, y_i)$ . Deze procedure wordt herhaald voor alle meetpunten, hetgeen voor elke locatie een verschil oplevert tussen de geschatte en de gemeten stijghoogte. De aanname is nu dat deze benadering bij de bestaande meetpunten een even goed beeld van de haalbare interpolatienauwkeurigheid geeft, als extra meetwaarden op andere locaties zouden doen.

Figuur 5.3: Cross-validatie procedure

De berekende verschillen worden vervolgens gerelateerd aan de kriging standaard afwijking van de interpolatiefout  $\sigma_i$  (i.e., de sir-waarde) op die locatie. De verhouding tussen het verschil  $z(x_i, y_i) - \hat{z}(x_i, y_i)$  en de sir-waarde  $\sigma_i$  wordt de gestandaardiseerde interpolatiefout of *z-score*  $\epsilon_{i,j}$  genoemd:

$$\epsilon_{i,j} = \frac{z(x_i, y_i) - \bar{z}(x_i, y_i)}{\sigma_i}$$

Als de *z-score*  $\epsilon_{i,j}$  wordt gemiddeld over alle locaties  $i$ , wordt voor elk tijdstip  $j$  de gemiddelde *z-score*  $\bar{\epsilon}_{1,j}$  verkregen:

$$\bar{\epsilon}_{1,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{z(x_i, y_i) - \bar{z}(x_i, y_i)}{\sigma_i} \right]$$

Als de meetnetperformance gemiddeld genomen overeenstemt met de voorspelde interpolatiefout, levert  $\bar{\epsilon}_{1,j}$  de waarde 0 op. Immers, de som van positieve en negatieve verschillen zal ongeveer nul worden. Een tweede maat voor de meetnetperformance wordt gegeven door de verschillen  $z(x_i, y_i) - \hat{z}(x_i, y_i)$  te kwadrateren, waardoor een maat voor de gemiddelde spreiding van de interpolatiefouten wordt verkregen:

$$\bar{\epsilon}_{2,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\left[ \frac{(z(x_i, y_i) - \bar{z}(x_i, y_i))^2}{\sigma_i^2} \right]}$$

De parameter  $\bar{\epsilon}_{2,j}$  wordt hier de gemiddelde gekwadrateerde *z-score* genoemd. Als de gevonden spreiding in de interpolatiefouten overeenkomt met de voorspelde onzekerheid, zal  $\bar{\epsilon}_{2,j}$  de waarde 1 opleveren. Een waarde voor  $\bar{\epsilon}_{2,j} < 1$  impliceert dat met het meetnet 'beter' (d.w.z. met een kleinere onzekerheid) kan worden geïnterpoleerd dan op voorhand verwacht. Omgekeerd betekent een waarde  $\bar{\epsilon}_{2,j} > 1$  dat de interpolatie ongunstiger uitvalt dan verwacht. Het is duidelijk dat  $\bar{\epsilon}_{2,j}$  liefst kleiner of gelijk aan 1 moet zijn.

In veel geostatistische literatuur wordt cross-validatie genoemd als een goed middel om de validiteit van de kriging interpolatie te toetsen (Van Geer en Te Stroet, 1996). De techniek heeft echter een aantal beperkingen (Isaaks and Srivastava, 1989). Als de beschikbare gegevens niet evenredig over het gebied zijn verdeeld, maar tot op zekere hoogte zijn gegroepeerd ('clustering'), dan geldt dat ook voor de berekende cross-validatie interpolatiefouten. Voor een goede interpretatie moeten de interpolatiefouten juist gelijkmatig over het gebied zijn verdeeld. Echter, als de meetpunten van het primaire meetnet min of meer regelmatig over het gebied zijn verdeeld (hetgeen bij de optimalisatie is beoogd), zal 'clustering' waarschijnlijk geen rol van betekenis spelen.

De cross-validatie wordt uitgevoerd met covariantiefuncties, die op twee manieren kunnen worden verkregen:

- *Op basis van nieuw berekende covariantiefuncties uit de 14-daagse metingen.*  
Per 14-daags meettijdstip kan voor elk homogeen gebied een nieuwe covariantiefunctie worden geschat. Elk tijdstip heeft dan in principe een iets andere ruimtelijke verdeling van de sir-waarde.



- *Op basis van de covariantiefuncties die bij de optimalisatie zijn opgesteld. In plaats van de covariantiefunctie opnieuw te berekenen, kan worden uitgegaan van de bij de meetnetoptimalisatie geschatte covariantiefunctie. Door deze covariantiefunctie te gebruiken wordt gewerkt met de in het verleden berekende onzekerheid.*

Een voordeel van de eerste methode ten opzichte van de tweede is dat de per tijdstap opnieuw geschatte covariantiefunctie een optimale interpolatie voor elke tijdstap mogelijk maakt. Interpolatie op basis van de in het verleden geschatte covariantiefunctie zal enigszins afwijken van deze optimale interpolatie. Bij de huidige evaluatie gaat het echter niet zozeer om een optimale interpolatie, maar meer om te beoordelen of de bij de vroeger, bij het ontwerp van het meetnet, gedane voorspelling van de interpolatiefout nu voldoet aan de geformuleerde z-score. Daarom is dit voordeel voor het onderzoek van minder belang.

Een nadeel van de eerste methode is dat voor veel homogene deelgebieden misschien wel genoeg kwartaalcijfers, maar vaak niet genoeg 14-daagse metingen beschikbaar zijn om de covariantiefunctie goed te kunnen berekenen. Op de vier kwartaaldata worden in het algemeen meer peilbuizen gemeten dan op de half-maandelijkse tijdstippen. De meetnetevaluatie moet echter niet alleen voor de kwartaaldata maar ook voor de half-maandelijkse tijdstippen kunnen worden uitgevoerd, zodat de eerste methode lang niet altijd kan worden toegepast.

Om bovenstaande redenen is ervoor gekozen om de evaluatie uit te voeren volgens de tweede methode, namelijk door toepassing van cross-validatie met de covariantiefuncties die bij het meetnetontwerp in de jaren tachtig zijn opgesteld. Door vast te houden aan de covariantiefunctie die bij de optimalisatie is gebruikt, wordt op voorhand een duidelijk criterium gehanteerd, dat ook (in tegenstelling tot bij de opnieuw berekende covariantiefuncties) voor alle tijdstappen hetzelfde is.

#### 5.2.4 Beoordeling van het functioneren van de meetnetten

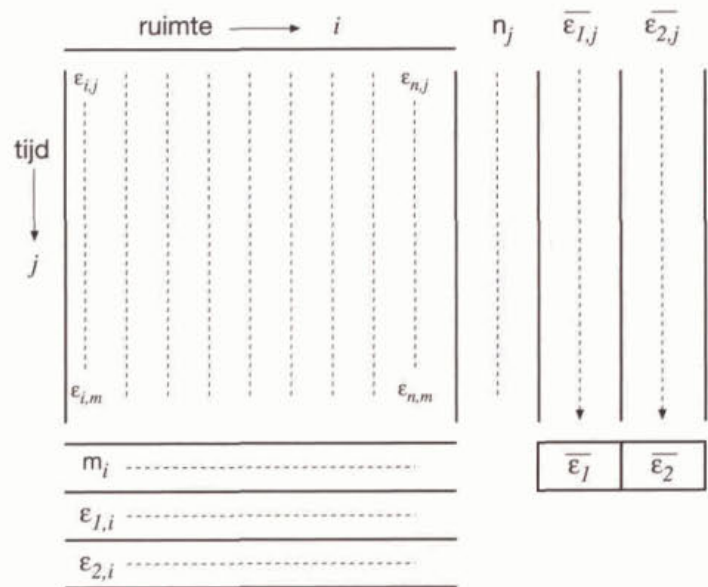
Het functioneren van het meetnet (de meetnetperformance) wordt beoordeeld op basis van de resultaten van de cross-validatie. De analyse van de statistische uitvoer valt uiteen in:

- de beoordeling van de z-scores  $\varepsilon_{i,j}$  in de tijd en ruimte, verzameld in de zogenoemde z-score matrix;
- de ruimtelijke verdeling van de over de tijd gemiddelde z-scores  $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  (op de locaties  $i$ ), weergegeven in een z-score kaartbeeld.

##### *De z-score matrix*

In Fig. 5.4 wordt een schematisch overzicht gegeven van de informatie die de z-score matrix oplevert. Op de horizontale as staan de peilbuislocaties weergegeven en verticaal de tijd. Zo is de matrix gevuld met voor elke locatie op elk tijdstip een z-score  $\varepsilon_{i,j}$ . Rechts van de matrix staan verticaal, dus voor elk tijdstip, de ruimtelijk gemiddelde z-scores  $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$  weergegeven. Het verloop in de tijd van deze

ruimtelijk gemiddelde z-scores verschaft inzicht in hoe de meetnetperformance over het gehele gebied varieert in de tijd. Onderaan staan per locatie de over de tijd gemiddelde z-scores  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,i}$  weergegeven. Deze temporeel gemiddelde z-scores laten zien hoe bijvoorbeeld op een specifieke peilbuislocatie het meetnet in het algemeen functioneert.



Figuur 5.4: Overzicht van de z-score matrix

Tenslotte wordt (rechtsonder) het overall gemiddelde  $\bar{\varepsilon}_1$  berekend van alle  $\varepsilon_{i,j}$  en het gekwadrateerde gemiddelde  $\bar{\varepsilon}_2$ . De waarden  $\bar{\varepsilon}_1$  en  $\bar{\varepsilon}_2$  vormen twee belangrijke indicatoren waarmee het functioneren van het meetnet duidelijk kan worden samengevat.

#### Het z-score kaartbeeld

De z-score matrix geeft nog geen inzicht in hoe de z-scores over het gebied zijn verdeeld. De ruimtelijke verdeling van de meetnetperformance wordt als volgt beoordeeld:

- *Kaartbeeld met gemiddelde  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  per locatie.* Dit kaartbeeld maakt duidelijk in hoeverre de interpolatiefouten structurele afwijkingen vertonen. Structurele afwijkingen onderscheiden zich bijvoorbeeld door het voorkomen van gebieden met overwegend positieve of negatieve waarden of door de aanwezigheid van een ruimtelijke trend.
- *Berekening van de ruimtelijke samenhang van  $\varepsilon_{1,i}$ .* Met behulp van een semi-variogram van de gemiddelde z-score  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  per locatie kan de ruimtelijke samenhang tussen de interpolatiefouten worden gekwantificeerd. Ruimtelijke samenhang hierin duidt op systematische verschillen tussen de meting en de berekening.

#### 5.2.5 Schematisch overzicht van de evaluatiemethode voor de meetnetdichtheid

De voorgestelde methode om de meetnetoptimalisatie te evalueren verloopt als volgt. Voor elk deelgebied worden de peilbuislocaties geselecteerd met gebruikmaking van OLGA en REGIS. Eerst wordt in OLGA een selectie gemaakt van de primaire peilbuizen die in en rondom het betreffende homogene deelgebied zijn gelegen. Daarna worden binnen deze begrenzing de peilbuizen geselecteerd die in het juiste watervoerende pakket liggen volgens de huidige in REGIS aanwezige geohydrologische indeling. De selectie kan enigszins afwijken van de selectie die



in het verleden is gebruikt, omdat het meetnet is veranderd, of de gebruikte geohydrologische indeling is gewijzigd, etc. Het mogelijke gevolg is dat de interpolatie enigszins anders uitvalt. De meetreeksen van de geselecteerde punten worden omgewerkt tot 'kaartbeelden' per tijdstip. Vervolgens wordt per tijdstip een cross-validatie uitgevoerd.

De cross-validatie levert voor elk meetpunt voor elk tijdstip een z-score  $\varepsilon_{i,j}$  op. Per locatie ( $i = 1 \dots n$ ) en per tijdstip ( $j = 1 \dots m$ ) worden de criteria  $\bar{\varepsilon}_1$  en  $\bar{\varepsilon}_2$  berekend. De cross-validatie wordt uitgevoerd met enerzijds de nieuw ter beschikking gekomen metingen en anderzijds met de bij de herinrichting bepaalde statistische gebiedseigenschappen.

### 5.2.6 Programmatuur

De evaluatie van de meetnetoptimalisatie wordt uitgevoerd met gebruikmaking van de programmatuur die bij de optimalisatie in de jaren tachtig is gebruikt. Bij de optimalisatie is gewerkt met het statistische programmapakket ARKI. ARKI is een gereviseerde versie van AKRIP, dat is ontwikkeld bij het Massachusetts Institute of Technology (Kafritsas and Bras, 1981) en destijds door TNO voor de meetnet-optimalisatie is aangepast aan de specifieke vereisten (Defize, 1986). Deze statistische programmatuur is voor de evaluatie met enkele routines aangevuld om de evaluatiecriteria te berekenen.

De evaluatie had eveneens kunnen worden uitgevoerd met op de markt beschikbare programmatuur of met nieuw te ontwikkelen programmatuur. Op de markt beschikbare interactieve programmatuur (bijvoorbeeld *GeoEas* of *GeoPack*) is echter niet geschikt om er de voorgestelde berekeningen mee uit te voeren. Ten eerste kunnen met deze programma's geen gegeneraliseerde covariantiefuncties worden gebruikt en ten tweede zijn ze door de interactieve manier van werken niet geschikt om grotere hoeveelheden berekeningen in batch-vorm uit te voeren.

## 5.3 Evaluatie dichtheid stijghoogtemeetnet - een voorbeeld uit de Provincie Drenthe

### 5.3.1 Locatiekeuze

De evaluatiemethode wordt gedemonstreerd aan de hand van een voorbeeldgebied in de provincie Drenthe (figuur 5.5). Het gekozen deelgebied is een van de homogene gebieden zoals die destijds bij de optimalisatie zijn gedefinieerd op basis van een indeling in geohydrologische eenheden (deelgebied 6 uit Van Bracht en Kreling, 1985). Enige overwegingen voor de keuze van dit deelgebied waren de volgende:

- In de provincie Drenthe is de verbetering van het meetnet volgens de in 1985 gedane aanbevelingen (Van Bracht en Kreling, 1985) voltooid, zodat tijdreeksen van het nieuwe meetnet beschikbaar zijn.
- In het gekozen deelgebied heeft het meetnet na de optimalisatie duidelijke veranderingen ondergaan, waarvan tijdens de evaluatie eventueel de waarde zal blijken.

- Het gekozen deelgebied is relatief groot en bevat een voldoende groot aantal peilbuizen, zodat de ontwikkeling van de methode niet gehinderd wordt door (statistische) onduidelijkheid.

De stijghoogte in het deelgebied vertoont duidelijke variaties, zodat het zin heeft om te interpoleren, hetgeen in bijvoorbeeld een poldergebied met een grondwaterstand zonder enige gradiënt twijfelachtig is.

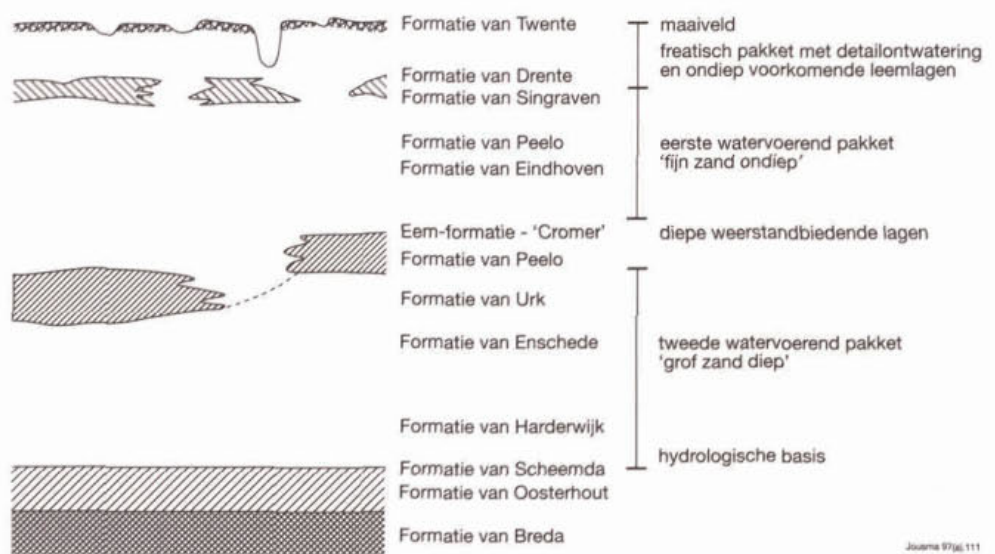


Figuur 5.5: Locatie en omvang deelgebied

### 5.3.2 Geohydrologische situatie in het deelgebied

In Drenthe vormt het tweede watervoerende pakket het grootste en meest uitgestrekte. Het is slechts in een beperkt deel van de provincie afgesloten van de bovenliggende pakketten. Dit watervoerend pakket is tevens het belangrijkste voor de grondwaterwinning die voor het overgrote deel in dit pakket plaatsvindt. De hydrogeologische beschrijving door Van Bracht en Kreling (1985) kan als volgt worden samengevat:

- De ondergrond van Drenthe kan worden geschematiseerd tot een freatisch pakket en twee dieper gelegen watervoerende pakketten (Fig. 5.6).
- Tussen het freatisch pakket en het eerste watervoerende pakket kan de scheidende laag (de kei- en beekleemafzettingen van de Formaties van Drente en Singraven) over grote delen van de provincie ontbreken. Dit geldt ook in het gekozen deelgebied.



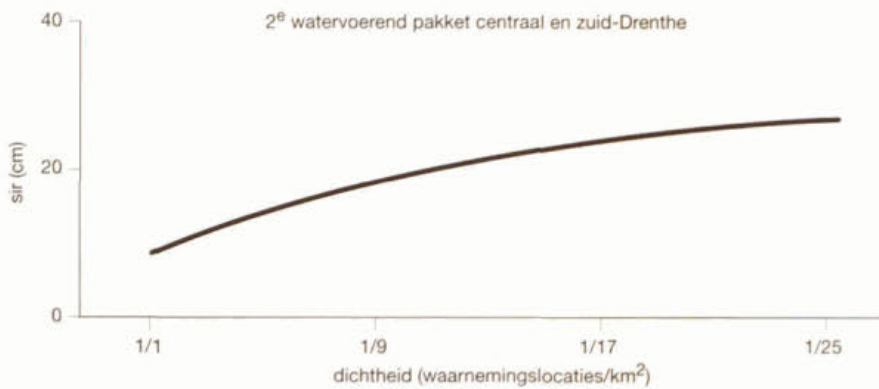
Figuur 5.6: Hydrogeologisch schema deelgebied



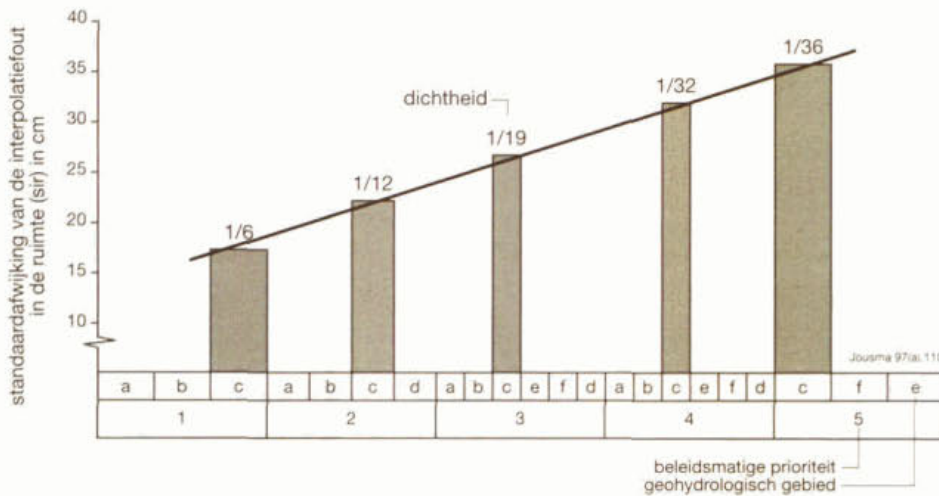
- In grote delen van het gekozen deelgebied ontbreekt een weerstandbiedende laag tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket. De grens tussen de pakketten valt hier samen met de overgang van fijne zanden van de Formaties van Twente, Eindhoven en Peelo naar de grove zanden van de Formaties van Urk en Harderwijk.

**5.3.3 De gebruikte gegevens**

De bewerkte gegevens betreffen de recente stijghoogtegegevens van het tweede watervoerende pakket van centraal en zuid Drenthe. In de dichtheidskarakteristiek (Fig. 5.7) is de relatie weergegeven tussen de sir-waarde en de dichtheid van het meetnet zoals deze bij de herinrichting in 1985 is opgesteld. Voor het grootste deel van de eenheid centraal en zuid Drenthe is een sir-waarde gekozen van 27,5 cm, die overeenkomt met beleidsmatige prioriteitsklasse 3 (Fig. 5.8).



Figuur 5.7: Dichtheidskarakteristiek deelgebied



Figuur 5.8: Toelaatbare standaardafwijking interpolatiefout voor verschillende prioriteiten

### 5.3.4 De evaluatie

De kriging interpolatie ten behoeve van het meetnetontwerp is destijds uitgevoerd voor de datum 28 april 1981 (Van Bracht en Kreling, 1985). Het jaar 1981 was een jaar met een representatief grondwaterstandsverloop. De datum 28 april is gekozen omdat van de vier kwartaaldata waarop de meeste metingen beschikbaar zijn, de ruimtelijke variatie in het grondwaterstandsvlak het grootst is in het voorjaar. Bij het meetnetontwerp is voor het deelgebied een covariantiefunctie opgesteld zoals beschreven in sectie 5.2.2. De bijbehorende parameters werden geschat uit de stijghoogtemetingen in de vroegere 77 peilbuizen van het gebied. Tabel 2 geeft een overzicht van de destijds geschatte parameterwaarden behorende bij de covariantiefunctie. Het herziene meetnet, momenteel bestaande uit 74 peilbuizen, is ontstaan door uitdunning en aanvulling van het vroegere meetnet volgens het ontwerp.

Tabel 5.2: *Parameters van de gegeneraliseerde covariantiefunctie voor het tweede watervoerend pakket (uit Van Bracht en Kreling (1985)).*

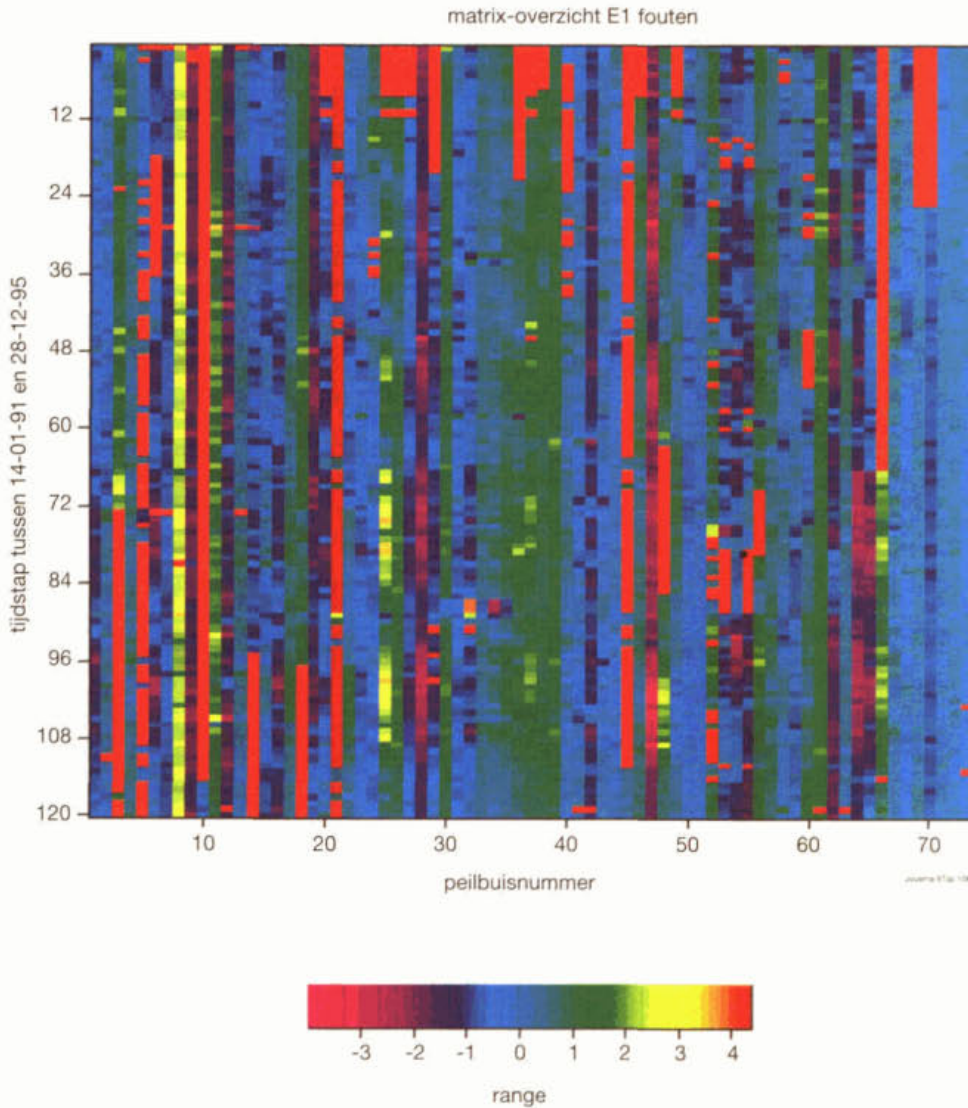
| Eenheden en parameters                          | Waarden               |
|---|-----------------------|
| aantal waarnemingslocaties bij ontwerp (1981)   | 77                    |
| aantal waarnemingslocaties bij evaluatie (1996) | 73                    |
| graad trend                                     | 1                     |
| covariantiefunctie parameter c                  | 0                     |
| covariantiefunctie parameter $a_1$              | -0,1723               |
| covariantiefunctie parameter $a_2$              | $0,13 \times 10^{-7}$ |
| covariantiefunctie parameter $a_3$              | 0                     |

De evaluatie van het meetnet is uitgevoerd voor de periode 1991-1996, volgens de in paragraaf 5.2 beschreven methode. De vroeger berekende covariantiefunctie is voor de evaluatie opnieuw gebruikt.

### 5.3.5 Resultaten

In figuur 5.9 is de matrix met de berekende z-scores per meetpunt en per tijdstap in kleur weergegeven. Op de verticale as zijn de 120 half-maandelijkse tijdstappen uitgezet voor de periode 1991-1996. Op de horizontale as staan in een willekeurige volgorde de peilbuizen van het huidige meetnet gerangschikt. De kleur rood is in de matrix gereserveerd voor missende waarnemingen. Daardoor is in één oogopslag te zien welke buizen er na 1991 zijn geïnstalleerd, welke ontbreken en welke niet meer worden waargenomen. Verder wordt duidelijk dat de z-scores zich overwegend in de range tussen ca. -2 en +2 m bevinden, met een meerderheid rond 0 m (blauw). In de structuur van de matrix valt een duidelijke verticale 'gestreeptheid' op. Deze samenhang (persistentie) duidt op een sterke gecorreleerdheid van de z-scores in de tijd. Dit betekent dat de interpolatiefout op een bepaalde locatie in de tijd weinig



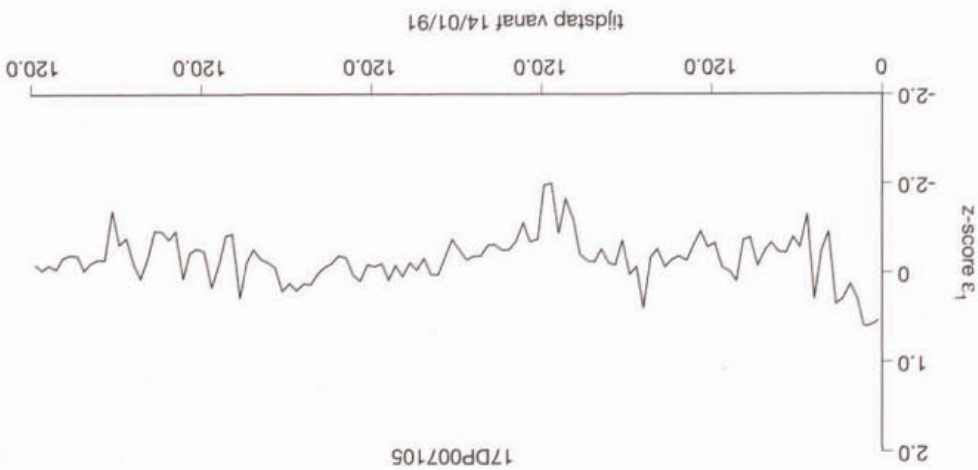


Figuur 5.9: Z-score matrix deelgebied

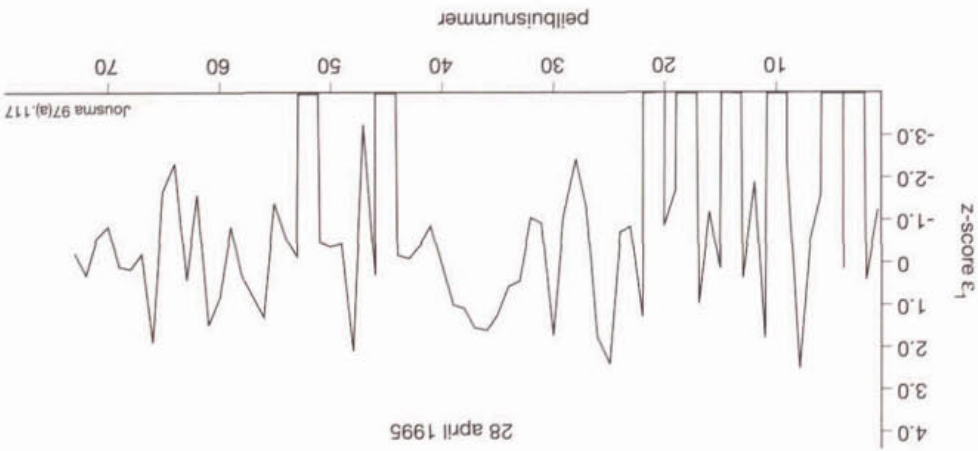
verandert. Ter illustratie van het verschil tussen de horizontale en de verticale samenhang in de matrix toont Fig. 5.10 een voorbeeld van een tijdreeks op één locatie (figuur 5.10a) en een overzicht van de z-scores op één tijdstip (figuur 5.10b).

In bijlage D zijn de getalsmatige resultaten bijeengebracht van de cross-validatie. In tabel D1 zijn de ruimtelijk gemiddelde z-scores per tijdstap opgenomen, overeenkomend met de horizontale kolom ( $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$ ) onderaan de matrix in Fig. 5.4. In tabel D2 zijn de temporeel gemiddelde z-scores per locatie opgenomen, overeenkomend met de verticale kolom ter rechter zijde van de matrix in Fig. 5.4 ( $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$ ). In de bijlage zijn verder nog statistische gegevens opgenomen ter aanvulling op de gemiddelde waarden.

Zoals beschreven in sectie 5.2.4, levert de matrix uiteindelijk de twee belangrijke indicatoren ('rapportcijfers') voor de meetnetperformance op, namelijk  $\bar{\varepsilon}_1$  en  $\bar{\varepsilon}_2$ .



Figuur 5.10a: Z-score tijdsreks op één locatie



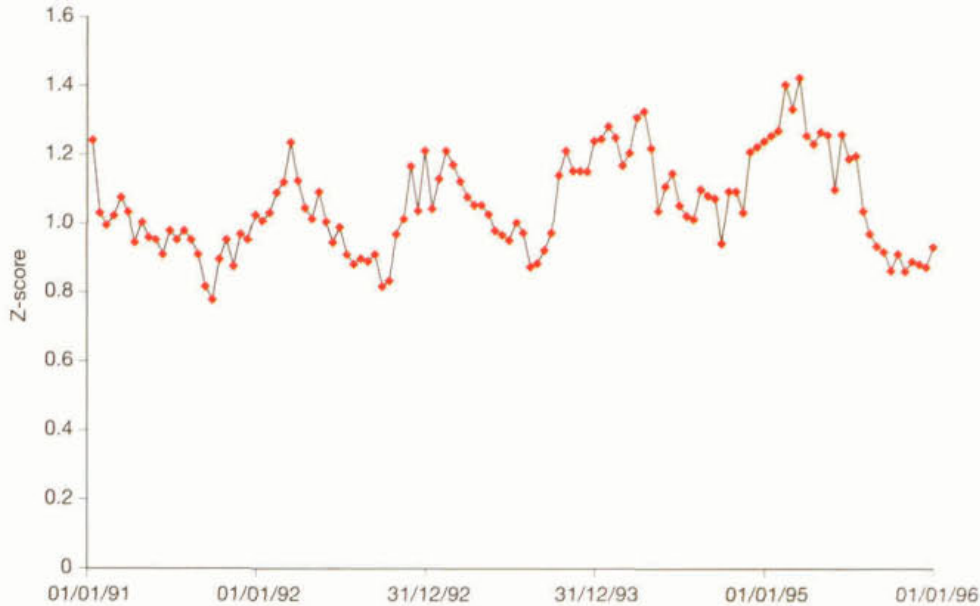
Figuur 5.10b: Z-score voor verschillende peilbuizen op één tijdstip

Voor het homogene deelgebied centraal- en zuid Drenthe is de berekende gemiddelde z-score over de gehele matrix  $\bar{\epsilon}_1 = -0.04 (\pm 1.01)$  en de gemiddelde gekwadrateerde z-score  $\bar{\epsilon}_2 = 1.06 (\pm 1.51)$  (zie bijlage D). De gemiddelde z-score  $\bar{\epsilon}_1$  is praktisch gelijk aan 0. De uitkomst van de cross-validatie is dat de desijds voorspelde en nu waargenomen interpolatiefout, gemiddeld genomen, goed met elkaar overeenkomen. De berekende gemiddelde gekwadrateerde z-score  $\bar{\epsilon}_2$  is net iets groter dan 1. De cross-validatie geeft dus aan dat de spreiding in de interpolatiefout gemiddeld genomen een fractie groter is dan desijds voorspeld op grond van de statistische eigenschappen.

De statistische eigenschappen (i.e., de covariantiefunctie) zijn desijds opgesteld op basis van kwartaalmetingen in april, omdat de stijghoogte in het voorjaar de sterkste variatie vertoont, sterker dan bijvoorbeeld in de zomer. De gedachtenengang is dat als deze sterke variatie wordt opgenomen in de geschatte parameters, de voorspelling ook een gelijke mate van variatie bevat. Toch bevatten de metingen een iets sterkere variatie. In Fig. 5.11 is het verloop van  $\bar{\epsilon}_{2j}$  in de tijd weergegeven.



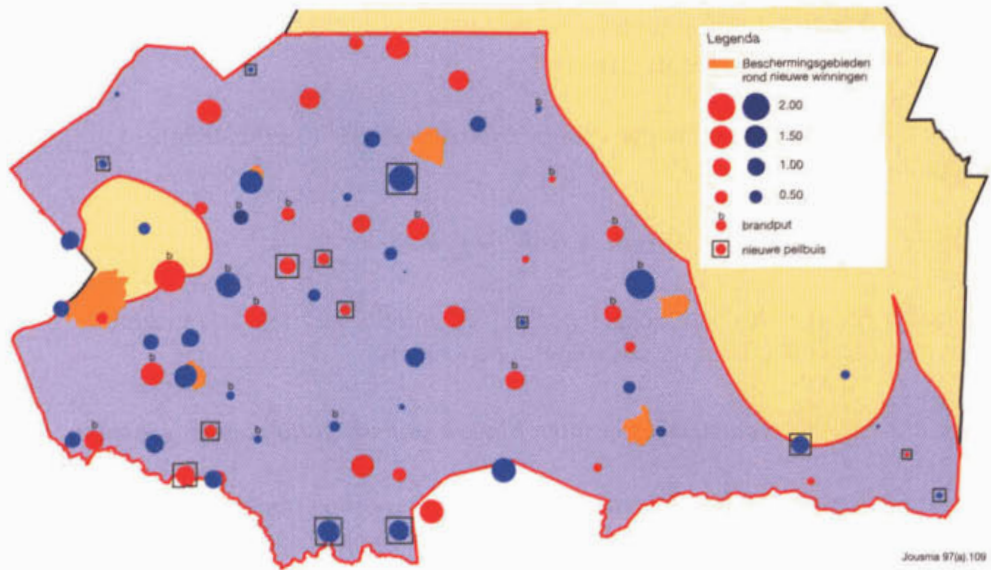
De gemiddelde spreiding per tijdstip  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$  vertoont een seizoenaal patroon, met  $\bar{\varepsilon}_{2,j} > 1$  in de winter en  $\bar{\varepsilon}_{2,j} < 1$  in de zomer. Kortom, de gevonden variatie in de stijghoogte vertoont in de wintermaanden een spreiding die groter kan zijn dan voorspeld. De hoogste waarden worden gevonden in de winter van 1995.



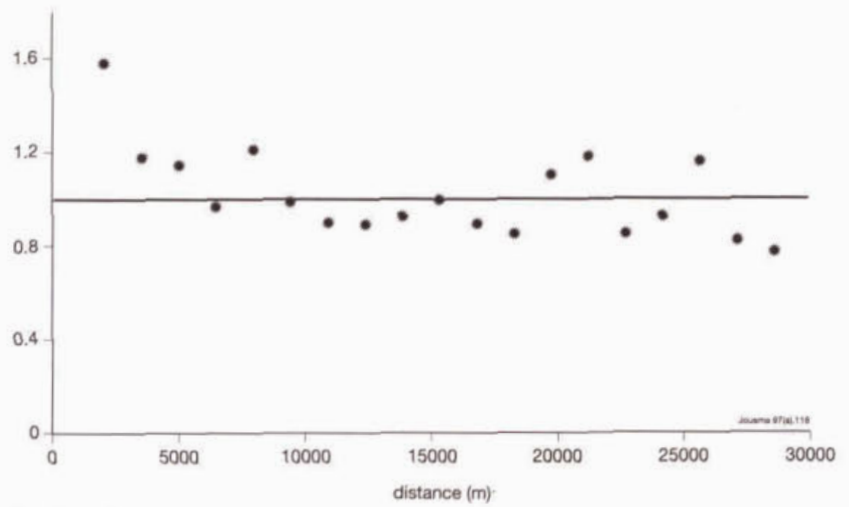
Figuur 5.11: Z-score tijdreeks op één locatie

Verder is een ruimtelijk beeld opgesteld van de meetnetperformance door in een kaartbeeld de gemiddelde z-score per locatie  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  aan te geven. In Fig. 5.12 zijn de z-scores  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$  weergegeven met behulp van cirkels waarvan de grootte de waarde van de z-score ter plaatse representeert. De kleur geeft aan of de fout positief of negatief is. De punten geven een maximale afwijking te zien van ca 2 m. De sinds de optimalisatie nieuw bijgeplaatste peilbuizen zijn aangegeven. Ook aangegeven zijn de intrekgebieden van de drinkwaterwinningen. De afwijkingen kunnen het gevolg zijn van allerlei oorzaken, zoals ligging in de omgeving van winningen, randverschijnselen, en andere. Voor specifieke verklaringen van afwijkingen van individuele peilbuizen zou de lokale situatie meer in detail moeten worden bestudeerd. Dit valt echter buiten het kader van het project.

Op het oog vertonen de interpolatiefouten in het kaartbeeld van Fig. 5.12 geen systematisch patroon. Een systematische afwijking tussen de schatting en de waarneming zou ook ongewenst zijn, omdat dat zou inhouden dat de interpolatiemethode een structureel verschil van de werkelijke stijghoogte zou opleveren. Om een mogelijke ruimtelijke samenhang tussen de z-scores te kwantificeren, is in Fig. 5.13 een semi-variogram opgesteld van de  $\bar{\varepsilon}_{1,i}$ . Uit het variogram wordt duidelijk dat er geen ruimtelijke samenhang meer aanwezig is in de berekende z-scores, waaruit blijkt dat de interpolatiefouten geen systematische afwijkingen meer bevatten. De ruimtelijke samenhang die aanwezig is in de stijghoogte zelf wordt dus goed beschreven door het interpolatiemodel, terwijl de overblijvende fouten van een willekeurig (random) karakter zijn.



Figuur 5.12: Z-score verdeling over het deelgebied



Figuur 5.13: Semi-variogram van  $\epsilon_{1,i}$



## 5.4 Voorgestelde procedure voor evaluatie van de meetnetdichtheid bij stijghoogtemeetnetten

De volgende stappen zijn nodig voor de evaluatie van de meetnetdichtheid bij stijghoogtemeetnetten:

### *Stap 1: Selectie van statistisch homogene gebieden*

Selecteer een statistisch homogeen deelgebied en selecteer de bij de meetnetinrichting geschatte kriging (covariantie) parameters.

### *Stap 2: Selectie waarnemingspunten binnen statistisch homogene gebieden*

Selecteer de waarnemingsbuizen van het primaire meetnet binnen het gekozen deelgebied en watervoerende pakket voor de periode na de inrichting. Deze selectie kan plaatsvinden met behulp van OLGA en REGIS. De geselecteerde meetreeksen moeten een minimale lengte hebben van ca. 5 jaar.

### *Stap 3: Conversie van bestanden*

Converteer de tijdreeksen van de peilbuizen naar files waarin de metingen per datum zijn gegroepeerd.

### *Stap 4: Uitvoering van cross-validatie berekening*

Voer per tijdstip een cross-validatie berekening uit. Dit geschiedt door de meetpunten één voor één weg te laten en vervolgens voor het weggelaten meetpunt met behulp van kriging-interpolatie een geschatte waarde te berekenen. De verschillen tussen gemeten en berekende waarden worden gebruikt voor de z-score matrix.

### *Stap 5: Berekening en evaluatie van 'rapportcijfers'*

Stel de z-score matrix op, door per punt en per tijdstip de genormeerde verschillen (verschilwaarde gedeeld door de standaardafwijking van de verschillen voor het betreffende punt) in te voeren. Bereken de 'rapportcijfers'  $\bar{\epsilon}_1$  en  $\bar{\epsilon}_2$  en plot de puntenkaart. Evalueer  $\bar{\epsilon}_1$  en  $\bar{\epsilon}_2$ , en onderzoek de puntenkaart op positieve en negatieve uitschieters.

### *Stap 6: Analyse van uitzonderlijke afwijkingen*

Selecteer de punten met uitzonderlijke afwijkingen en ga na wat de reden van de afwijking is. Als er fysische redenen voor de verschillen zijn, bijvoorbeeld een bijzondere locatie, dan moet men zich afvragen of het punt geschikt is als primair meetpunt.

## 5.5 Conclusies hoofdstuk 5

Ten behoeve van de evaluatie van stijghoogte meetnetten wordt een methode voorgesteld waarmee de kwaliteit van het functioneren van het primaire stijghoogtemeetnet kan worden beoordeeld. De methode maakt gebruik van de statistische techniek cross-validatie, waarmee geschatte en gemeten stijghoogten met elkaar worden vergeleken, zonder dat extra gegevens nodig zijn. De werking van de evaluatiemethode is gedemonstreerd aan de hand van een deelgebied in centraal en zuid Drenthe.

De beoordeling van het functioneren van het stijghoogtemeetnet vindt plaats aan de hand van een matrix van gestandaardiseerde interpolatiefouten, de z-scores, en een kaartbeeld met de ruimtelijke verdeling van deze z-scores. De toepassing resulteert in twee duidelijke indicatoren (de 'rapportcijfers'  $\bar{\varepsilon}_1$  en  $\bar{\varepsilon}_2$ ) die de kwaliteit van het functioneren van het meetnet goed weergeven.

Met de voorgestelde methode van cross-validatie is het functioneren van het meetnet in centraal- en zuid Drenthe beoordeeld. Voor dit gebied komen de voorspellingen en de metingen gemiddeld goed overeen, maar in de winterperiode was de onzekerheid vaak hoger dan voorspeld. Sommige locaties vertonen een systematische afwijking van de interpolatie, waarschijnlijk als gevolg van een bijzondere lokale situatie.





## **6 Provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte - evaluatie van de meetfrequentie**

### **6.1 Achtergronden en opzet frequentie-onderzoek**

Bij de provinciale stijghoogtemeetnetten is de basisfrequentie van meten, zonder uitzondering, vastgesteld op half-maandelijks. Deze relatief hoge frequentie van waarnemen brengt ook hoge kosten met zich mee. Bij een aantal provincies, zo bleek onder andere uit de onder de provincies gehouden enquête, bestaan er vragen over de noodzaak en het nut van het handhaven van een uniforme meetfrequentie van 24 metingen per jaar. Daarom is gevraagd na te gaan of de meetfrequentie wellicht flexibeler kan worden afgestemd op de doelstellingen. Enkele voorbeelden die door de provincies zijn aangevoerd voor een onderzoek van de frequentie van waarnemen (zie de enquête) zijn:

- De Veluwe, met een dik watervoerend pakket en een trage grondwaterstandsreactie,
- De Achterhoek, met een dun watervoerend pakket en een sterk fluctuerende grondwaterstand en
- De watervoerende pakketten onder de Holocene zeelei in Zuid-Holland, met een sterk geconditioneerd stijghoogtepatroon.

De provinciale meetnetten hebben een belangrijke functie als basismetnet voor de controle op de situatie van het grondwater en de signalering van trends. De uniforme frequentie van meten heeft daarbij onmiskenbaar een aantal voordelen, zoals de uniformiteit van de reeksen, de consistentie in het landelijke beeld van de stijghoogte, het gemak bij de opslag en verwerking van de gegevens, de eenvoudige kwaliteitscontrole, de eenvoudige logistiek bij het waarnemen, enz. Met name de continuïteit en uniformiteit zijn voor het waterbeheer op lange termijn van belang. Daar staat tegenover dat een uniforme frequentie van meten, als gevolg van de verschillen in de reeksen, geen uniform nauwkeurigheidsbeeld geeft, waardoor sommige gebieden relatief 'overbemeten' zijn en andere mogelijk 'onderbemeten'. Er ontstaat daardoor een onevenwichtigheid in de verhouding tussen kosten en informatie voor verschillende regio's.

Een oplossing voor dit probleem kan worden gevonden in een zekere mate van regio-gewijze flexibiliteit in de meetfrequentie. Deze hoeft niet tot degeneratie van de stijghoogtebestanden te leiden, mits de nieuwe frequenties verband houden met de basisfrequentie van half-maandelijkse metingen, zodat de samenhang met het historische deel van de reeksen en, in ruimtelijke zin, met de naburige reeksen behouden blijft.

Onderstaand wordt ingegaan op de mogelijke benadering van dit probleem. Een overzicht van de wenselijke uitgangspunten voor een optimalisatie van de meetfrequentie in provinciale stijghoogtemeetnetten is gegeven in paragraaf 6.2. Paragraaf 6.3 geeft een typering van meetreeksen op grond van de belangrijkste kenmerken. De hiervoor genomen meetreeksen uit de Veluwe regio, inclusief de randgebieden, kunnen als representatief worden beschouwd voor andere delen van Nederland. In paragraaf 6.4 wordt aan de hand van dezelfde meetreeksen de



methode van meet-reeksanalyse door decompositie besproken. De paragrafen 6.5 en 6.6 gaan in op de relatie tussen de meetfrequentie en respectievelijk de nauwkeurigheid van interpolaties en de nauwkeurigheid van berekende jaargemiddelden. In paragraaf 6.7 wordt toegelicht hoe afstemming van de meetfrequentie op de regionale doelstellingen van verkenning en bewaking kan plaatsvinden. In paragraaf 6.8 worden de mogelijkheden voor aanpassing van de meetfrequentie geëvalueerd. Paragraaf 6.9 geeft een overzicht van de aanbevolen procedure voor evaluatie van de meetfrequentie. In paragraaf 6.10 volgen tenslotte enkele conclusies met betrekking tot dit hoofdstuk.

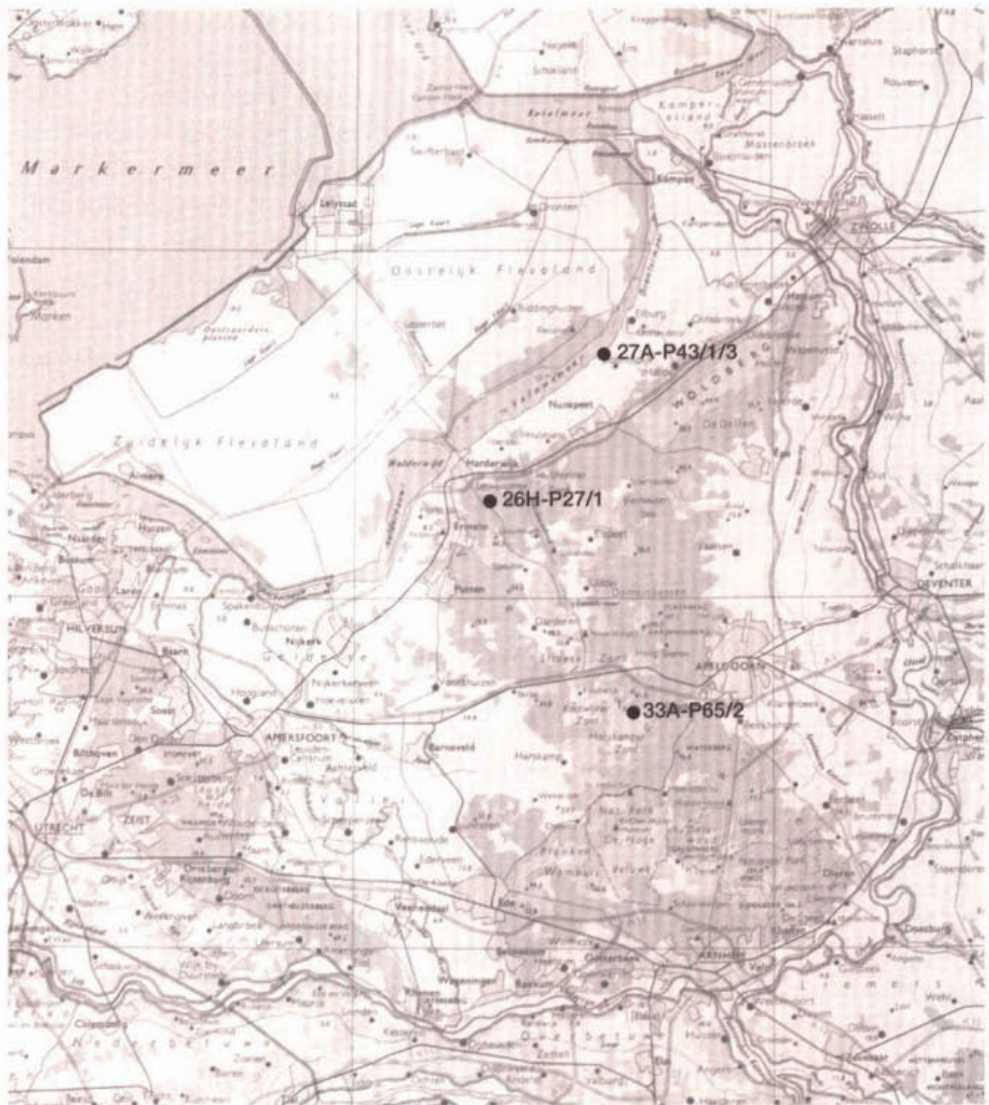
## 6.2 Uitgangspunten bij het meetfrequentie-onderzoek

Bij de optimalisatie van de grootschalige meetnetten zoals de provinciale meetnetten moet de signalerings- en bewakingsfunctie niet uit het oog worden verloren. Continuïteit en uniformiteit in de meetreeksen blijven daarbij belangrijk. Daarom zijn voor het frequentie-onderzoek de volgende uitgangspunten aangehouden:

1. Bij optimalisatie van de frequentie van meten moet worden gedacht aan een aanpassing van de frequentie voor grote gebiedseenheden, zoals de Veluwe en het poldergebied, op basis van de karakteristieke eigenschappen van de gebieden.
2. Ten behoeve van de continuïteit van de reeksen en (een behoorlijke mate van) uniformiteit van de informatie moet worden gedacht aan een beperkte mate van aanpassing van de meetfrequentie. Om de continuïteit en de historische waarde te garanderen komen alleen frequenties in aanmerking die een eenvoudige relatie hebben tot de 'standaard' (half-maandelijkse) frequentie, zoals maandelijkse, tweemaandelijkse of driemaandelijkse metingen.
3. Er moet naar gestreefd worden de meetfrequentie mede af te stemmen op het waarnemen van 'karakteristieke reacties' van het grondwatersysteem op de natuurlijke en kunstmatige invloeden, zoals vertegenwoordigd in de meetreeksen.
4. De te kiezen meetfrequentie wordt uiteindelijk bepaald door de doelstellingen en nauwkeurigheidseisen die door de provincies ten aanzien van de provinciale meetnetten worden vastgesteld.

## 6.3 Typering van de meetreeksen

Bij het meten van de grondwaterstand en -stijghoogte in een gebied wordt de reactie van (de potentialen van) het grondwatersysteem gemeten op de natuurlijke en kunstmatige invloeden op dat systeem. Deze reactie wordt bepaald door de hoedanigheid van de betreffende invloed (tijdstip, duur en intensiteit), door de eigenschappen van het grondwatersysteem (bergingscapaciteit, transmissiviteit), door de toestand waarin het grondwatersysteem verkeert (vol, leeg of een tussenstand) en door de randcondities (vrij afwaterend, gedraineerd, ingesloten, etc.). Onderstaand wordt een typering gegeven van enkele meetreeksen uit de Veluwe regio. De locatie van de meetpunten is aangegeven in figuur 6.1. De meetreeksen zelf worden geïntroduceerd in de figuren 6.2 t/m 6.5.



Figuur 6.1 Locatie van enkele meetpunten in de Veluwe Regio



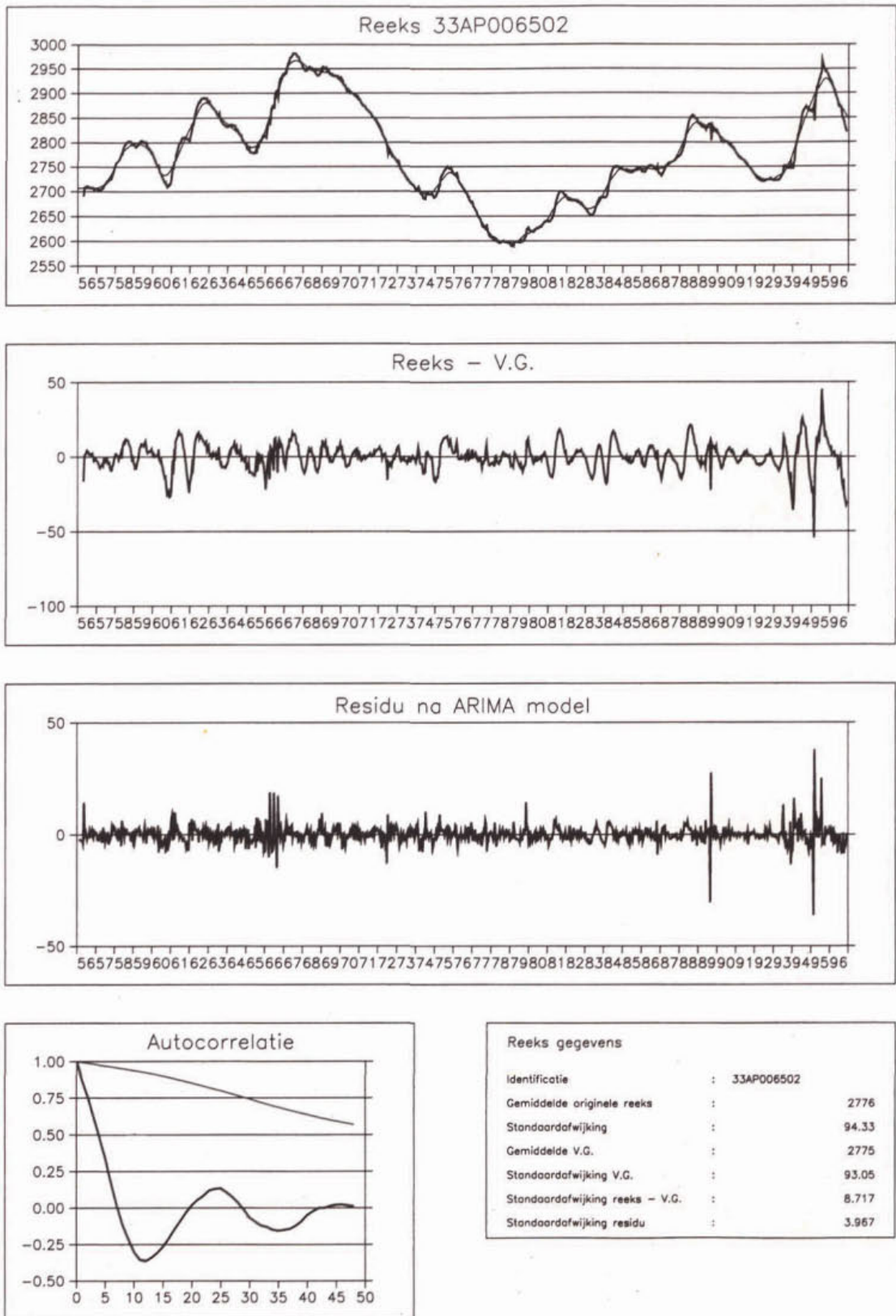
De effecten van invloeden op de grondwaterstand kunnen worden ingedeeld in drie verschillende categorieën. Deze zijn:

1. *Periodieke effecten.* Periodieke effecten zijn effecten die met een vaste frequentie terugkeren, zoals de seizoenseffecten van het neerslagoverschot, de effecten van periodieke wisseling van zomer- en winterstand in het peilbeheer van het oppervlaktewater en de effecten van de zomer- en winterverschillen bij winningen. De sterkte van de effecten behoeft daarbij niet constant te zijn. De invloeden zijn in de grondwaterstand- en stijghoogtereeksen terug te vinden als periodieke fluctuaties, in het algemeen met een vaste jaarlijkse periodiciteit.
2. *Meerjarige effecten.* De meerjarige effecten strekken zich uit over meer dan een jaar, zonder een waarneembare periodiciteit. Deze effecten treden op bij een grote bergingscapaciteit van het grondwatersysteem, zoals in de Veluwe en de duinen, onder andere als gevolg van het neerslagoverschot. De reeksen vertonen daardoor een lange golf die wel hoge en lage standen kent maar geen constante periodiciteit (zie bijvoorbeeld figuren 6.2 en 6.3).
3. *Trendmatige effecten.* Trendmatige effecten of trends zijn hier gedefinieerd als de permanente effecten van ingrepen in de waterhuishouding of het grondwaterbeheer. Hiertoe behoren verlagingen of verhogingen in de grondwaterstand of stijghoogte als gevolg van inpoldering, aanleg van kanalen of vergroting van winningen. De effecten kunnen na enige tijd een constante waarde bereiken (staptrends, zie ook figuur 6.5), of over lange tijd het watersysteem verstoren (glijdende trends).

De meetreeksen weerspiegelen het totale effect van de invloeden die in een bepaalde omgeving relevant zijn. In de figuren 6.2 t/m 6.5 wordt een beeld gegeven van enkele veel voorkomende typen meetreeksen:

- Figuur 6.2 geeft een stijghoogtereeks weer uit het centrale deel van de Veluwe. De reeks (33A-P65/2) vertoont bijna uitsluitend het meerjarige effect van opeenvolgende perioden van droge en natte jaren.
- Figuur 6.3 geeft een stijghoogtereeks weer uit de Veluwerand. De reeks (26H-P27/1) vertoont de invloed van droge en natte jaren en daarnaast het effect van de seizoenen.
- Figuur 6.4 geeft een stijghoogtereeks weer uit een poldergebied. De reeks (27A-P43/1) vertoont op het oog uitsluitend de invloed van het neerslagoverschot in de opeenvolgende seizoenen.
- Figuur 6.5 geeft een stijghoogtereeks weer met een duidelijke sprong als gevolg de inpoldering van de Flevopolder (27A-P43/3).

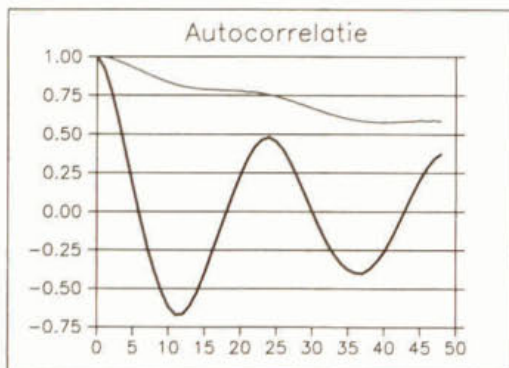
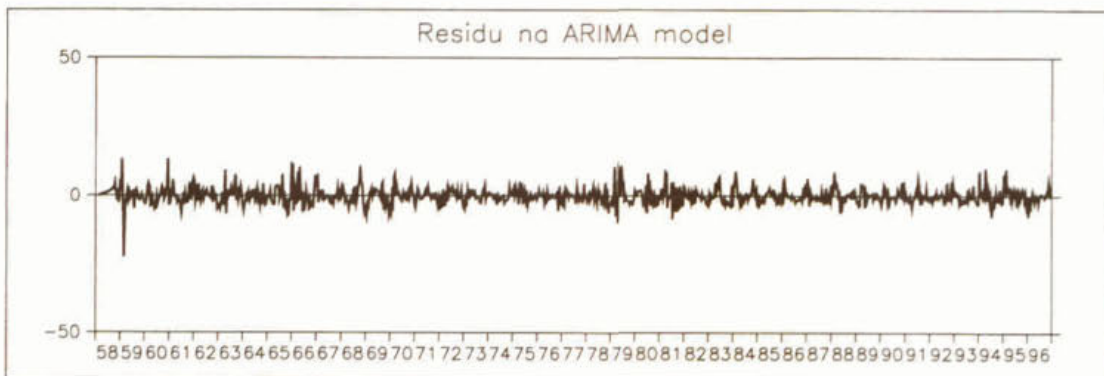
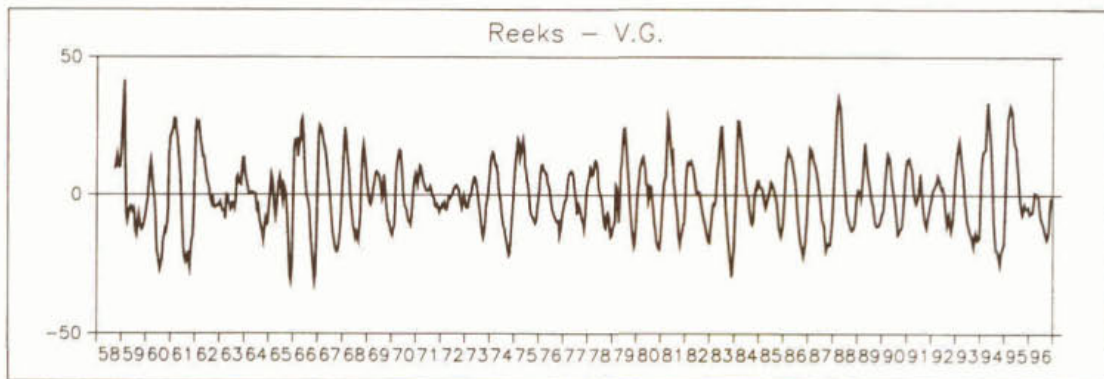
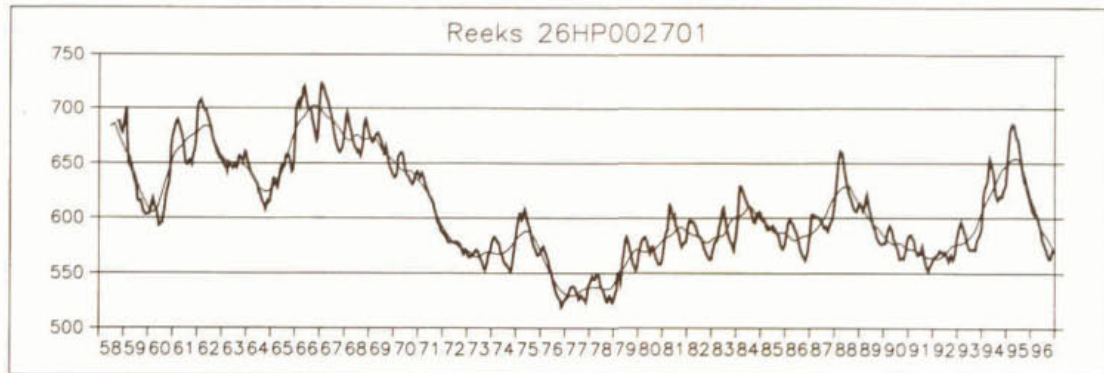
De effecten van de op de reeksen werkende invloeden zijn op het oog dikwijls moeilijk van elkaar te scheiden. Om het effect van de verschillende invloeden vast te stellen, moeten de reeksen daarom eerst verder op kwantitatieve wijze worden geanalyseerd. Onderstaand wordt een tweetal methoden voor decompositie besproken.



| Reeks gegevens                  |   |            |
|---------------------------------|---|------------|
| Identificatie                   | : | 33AP006502 |
| Gemiddelde originele reeks      | : | 2776       |
| Standaardafwijking              | : | 94.33      |
| Gemiddelde V.G.                 | : | 2775       |
| Standaardafwijking V.G.         | : | 93.05      |
| Standaardafwijking reeks - V.G. | : | 8.717      |
| Standaardafwijking residu       | : | 3.967      |

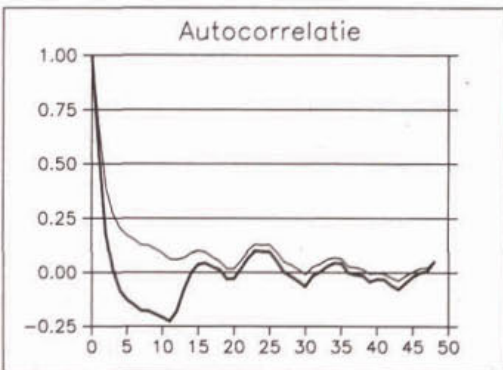
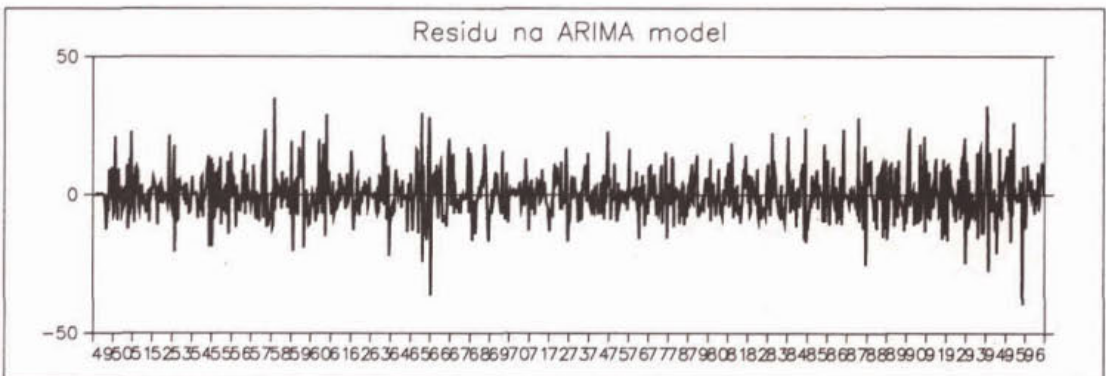
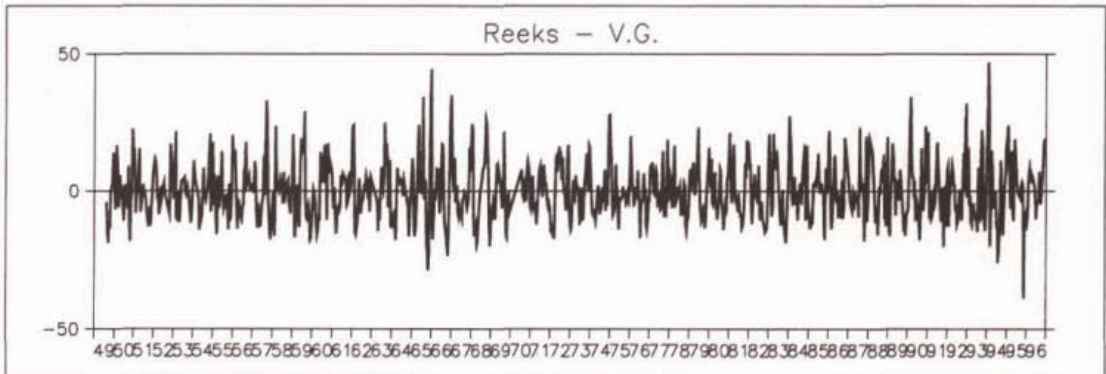
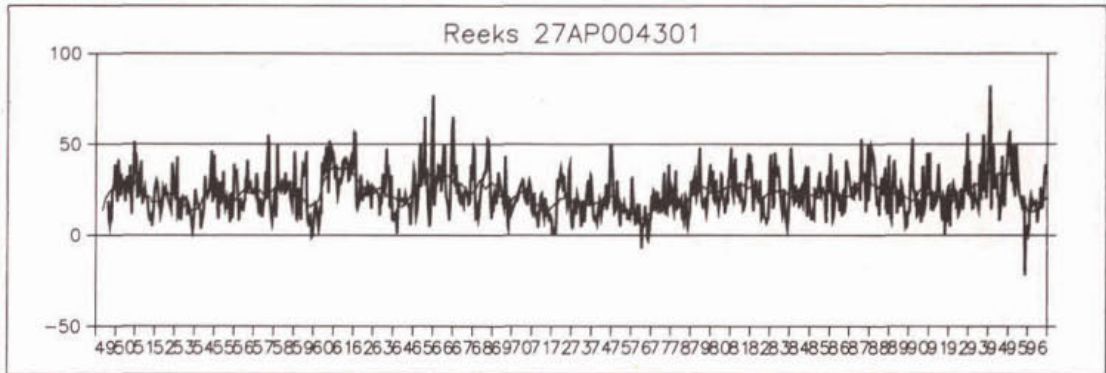
Figuur 6.2: Gedecomposeerde stijghoogtereeks 33A-P65/2





| Reeks gegevens                  |   |            |
|---------------------------------|---|------------|
| Identificatie                   | : | 26HP002701 |
| Gemiddelde originele reeks      | : | 607.7      |
| Standaardafwijking              | : | 46.37      |
| Gemiddelde V.G.                 | : | 608.4      |
| Standaardafwijking V.G.         | : | 43.85      |
| Standaardafwijking reeks - V.G. | : | 12.12      |
| Standaardafwijking residu       | : | 2.959      |

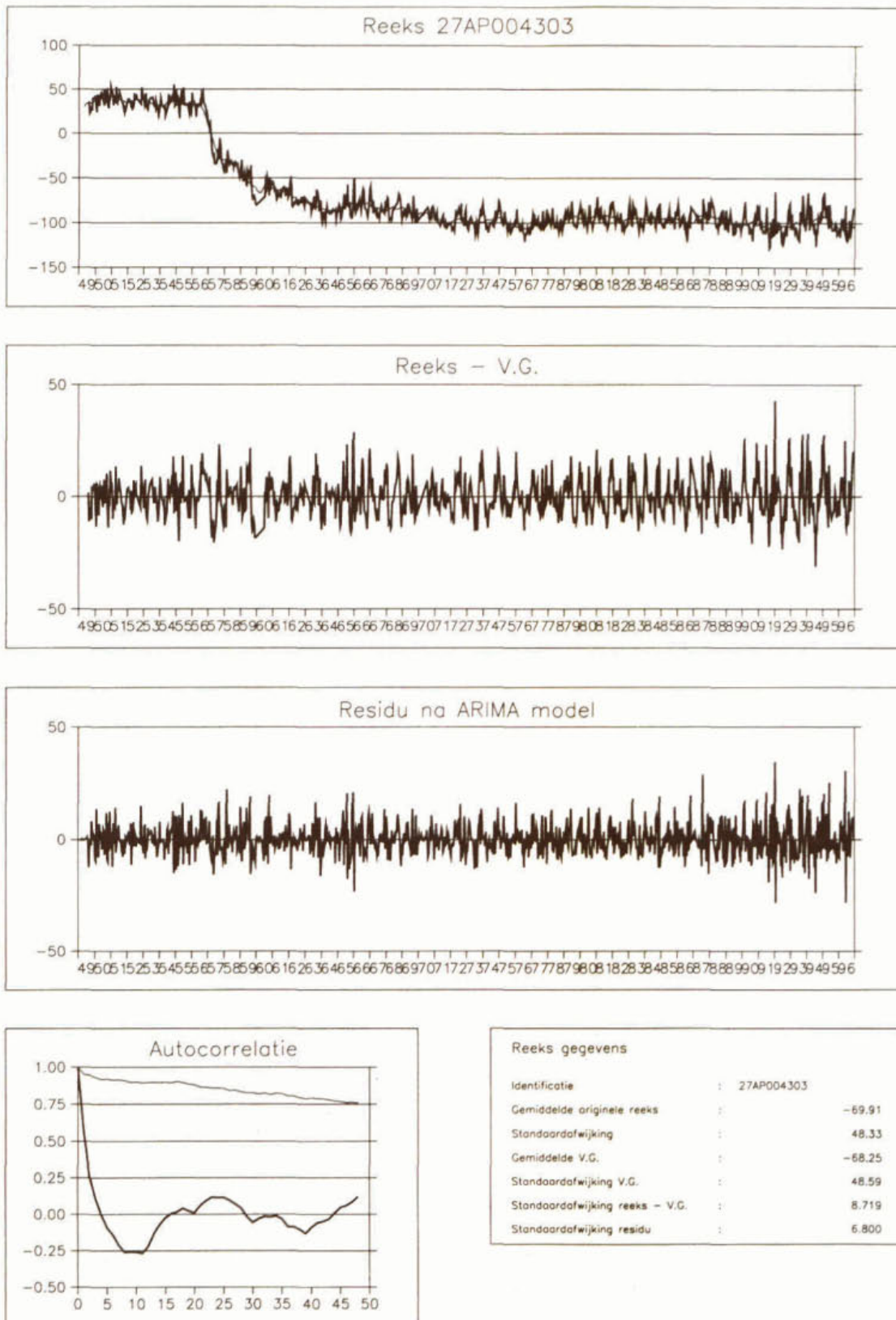
Figuur 6.3: Gedecomposeerde stijghoogtereeks 26H-P27/1



| Reeks gegevens                  |   |            |
|---------------------------------|---|------------|
| Identificatie                   | : | 27AP004301 |
| Gemiddelde originele reeks      | : | 23.14      |
| Standaardafwijking              | : | 11.76      |
| Gemiddelde V.G.                 | : | 23.07      |
| Standaardafwijking V.G.         | : | 5.465      |
| Standaardafwijking reeks - V.G. | : | 10.20      |
| Standaardafwijking residu       | : | 8.019      |

Figuur 6.4: Gedecomposeerde stijghoogtereeks 27A-P43/1





Figuur 6.5: Gedecomposeerde stijghoogtereeks 27A-P43/3

## 6.4 Meetreeksanalyse door decompositie

*Decompositie of ontleding van de meetreeksen in delen met een duidelijke betekenis is nodig voor het inzicht in de benodigde meetfrequentie. Daarom wordt aan de meetreeksanalyse door decompositie uitgebreid aandacht besteed.*

### 6.4.1 Alternatieven voor decompositie

Een van de beste manieren om het effect van de verschillende invloeden in de reeksen vast te stellen is de methode van 'impuls-respons-analyse' (bijvoorbeeld transfer-ruis-modellering). Met dergelijke methoden kunnen de reeksen worden ontbonden in delen die direct gerelateerd zijn aan de verwachte invloeden. De sterkte van de invloeden in de beschouwde grondwaterstandsreeksen wordt daarbij via statistische weg vastgesteld. In gunstige gevallen kunnen deze technieken een zeer goede en objectieve analyse geven van de bijdragen van de verschillende invloeden in het grondwaterregiem. De frequentie van meten kan vervolgens zeer doelgericht worden afgestemd op het doel van meten: vastlegging van de verschillende onderzochte invloeden, zowel de natuurlijke als de kunstmatige. Helaas is men bij de toepassing van deze technieken afhankelijk van andere gegevensbronnen (neerslag en verdamping, grondwateronttrekkingen, beekpeilen, etc.) en hangt het succes van de modellering onder meer af van de nauwkeurigheid waarmee de invloeden bekend zijn, van de eigenschappen van het grondwatersysteem, zoals heterogeniteit en niet-liniair gedrag, en van de kwaliteit van de gegevensbestanden. Tenslotte vergen deze methoden een behoorlijke ervaring, uitgebreide programmatuur en leiden ze lang niet altijd tot een bevredigend resultaat.

Een eenvoudiger wijze van meetreeksanalyse is door de reeks te ontbinden in delen met verschillende golflengten. Hierbij wordt voor de kwantificering van invloeden uitsluitend gebruik gemaakt van de meetreeks zelf. De verschillende componenten kunnen in verband worden gebracht met de eerder onderscheiden periodieke, meerjarige en trendmatige invloeden. Deze ruwe wijze van splitsing van de meetreeksen levert echter geen deelreeksen op, waarin de effecten van de invloeden geheel gescheiden zijn. De methode is daarom slechts geschikt voor een meer globale analyse. De voordelen van de methode zijn de betrekkelijke eenvoud van de bewerkingen, die eventueel standaard kunnen worden uitgevoerd.

### 6.4.2 Gevolgde methode van decompositie

In de voorbeelden is de tweede en meest eenvoudige wijze van decompositie van de meetreeksen gekozen, omdat deze methode uitgevoerd kan worden aan de hand van de meetreeksen zelf.

#### *Eerste splitsing van de meetreeks*

De meerjarige fluctuaties in de gemeten reeksen vormen vanwege hun onregelmatige karakter voor het analyseren van periodieke effecten een complicatie. Daarom wordt de reeks eerst gesplitst in twee delen:



- Deel 1: een reeks van het lopende jaargemiddelde, waarin de meerjareffecten voorkomen, zoals die van het neerslagoverschot of van trendmatige invloeden.
- Deel 2: een reeks, waarin de seizoensinvloeden voorkomen, evenals een groot gedeelte van de nog onverklaarde ruis.

Bij het afscheiden van *het lopend jaargemiddelde* (Deel 1) verdwijnen naast de meerjarige fluctuaties ook de effecten van trendmatige invloeden uit de reeks. Het jaargemiddelde is gekozen omdat afsplitsing daarvan een resulterende reeks oplevert waarin de seizoensfluctuaties het meest correct tot uiting komen. De *seizoensinvloeden* in Deel 2 van de reeks kunnen vervolgens worden onderzocht met behulp van autocorrelatietechnieken. Uit het autocorrelogram van Deel 2 (de grafiek die de onderlinge samenhang aangeeft tussen de waarden van de reeks bij een toenemend interval tussen de metingen) blijkt of er zichzelf herhalende invloeden in de reeks aanwezig zijn en hoe sterk deze periodieke invloeden auto-gecorrleerd zijn. De autocorrelatie in de seizoensgolf is dikwijls over perioden van meer dan een jaar terug te vinden. Dit betekent dat een meting voor een deel uit de voorgaande meting kan worden verklaard: op een hoge grondwaterstand volgt weer een relatief hoge en op een lage volgt weer een relatief lage. Daarbij herhaalt de situatie zich na een jaar.

#### *Tweede splitsing van de meetreeks*

Bij een sterke periodiciteit in de autocorrelatie van de 'seizoenscomponent' in Deel 2 van de reeks kan dit deel opnieuw worden gescheiden in:

- Deel 2A, dat het auto-gecorrleerde deel van Deel 2 bevat, waarin vooral de seizoensinvloeden tot uiting komen, hier kortheidshalve '*seizoensreeks*' genoemd, en
- Deel 2B, dat de hoogfrequente variaties bevat, hier '*residueeks*' genoemd.

Deze tweede splitsing kan met succes worden gerealiseerd door gebruik te maken van een zogenaamd seasonal-ARIMA model (*Auto Regressive (Integratied) Moving Average model*). Het toegepaste model berekent een grondwaterstand of stijghoogte op een bepaald meettijdstip uit de voorlaatste metingen en de metingen van 1 of enkele jaren terug, voor zover van invloed op de nieuwe stand.

*De residueeks* (Deel 2B) bevat nu het verschil tussen de oorspronkelijke reeks en de som van a) het voortschrijdend jaargemiddelde (Deel 1) en b) de door het ARIMA model berekende periodieke invloeden (Deel 2A). In deze residueeks zitten naast de niet door het ARIMA model beschreven effecten over het meetinterval ook de eventuele meetfouten.

### **6.4.3 Decompositie van voorbeeldreeksen**

Als voorbeelden voor de analyse zijn de in 6.3 aangehaalde meetreeksen uit de Veluwe regio genomen, omdat deze reeksen een goede illustratie geven van de verschillende typen meetreeksen en zich tevens lenen voor een verdergaande analyse van de benodigde frequentie van meten (6.5). De analyse van de reeksen is uitgevoerd volgens de bovenstaande methode. De resultaten zijn samengevat in de figuren (figuren 6.2 t/m 6.5) en in de onderstaande tabel (tabel 6.1).

Tabel 6.1: *Standaardafwijkingen van meetreeksen en meetreeksencomponenten*

| Meetreeks                   | Standaard-afwijkingen (in cm) |                             |                           |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|                             | meetreeks                     | 'seizoensreeks'<br>(Deel 2) | 'residueeks'<br>(Deel 2B) |
| 33A-P65/2 - Veluwe/centraal | 94.33                         | 8.71                        | 3.97                      |
| 26H-P27/1 - Veluwe/rand     | 46.37                         | 12.12                       | 2.96                      |
| 27A-P43/1 - poldergebied    | 11.76                         | 10.20                       | 8.02                      |

'seizoensreeks' (Deel 2): berekend als verschil van meetreeks en voortschr. jaargemiddelde  
 'ARIMA comp.' (Deel 2A): Auto-gecorrleerd deel van de 'seizoensreeks'  
 'residueeks' (Deel 2B): berekend als verschil van 'seizoensreeks' en 'ARIMA component'.

De tabel toont de verschillen in de standaardafwijkingen (een maat voor de grootte van de fluctuatie) in de meetreeksen en de bijbehorende restreeksen, na afsplitsing van respectievelijk het voortschrijdend jaargemiddelde en het autoregressive deel van de seizoensreeks (zie ook bovenstaande beschrijving van de gevolgde methode).

Uit de bijbehorende grafieken blijkt welk deel van de fluctuatie in de oorspronkelijke meetreeksen wordt ingenomen door het voortschrijdend jaargemiddelde (VG). Na aftrek van het voortschrijdend jaargemiddelde van de reeksen blijft een restdeel over, bestaande uit het auto-regressieve deel van de 'seizoensreeks' (de ARIMA component) en een residueeks.

De standaard-afwijking van de seizoensreeks kan worden vergeleken met die van de oorspronkelijke reeks. In het poldergebied (meetreeks 27A-P43/1) is de standaard-afwijking van de seizoensreeks in dezelfde orde van grootte als die van de gehele reeks, voor de Veluwerand (meetreeks 26H-P27/1) is de verhouding ongeveer een kwart en voor het centrale deel van de Veluwe (meetreeks 33A-P65/2) is de verhouding nog slechts een tiende van die van de oorspronkelijke reeks. Dit betekent voor de beide Veluwereeksen dat een groot deel van de totale fluctuatie moet worden gezocht in de meerjarige effecten van het neerslagoverschot, die typerend zijn voor gebieden met een grote bergingscapaciteit en nauwelijks oppervlaktewater. In de reeks voor het poldergebied is de bijdrage van het voortschrijdend jaargemiddelde relatief gering, hetgeen typerend is voor een sterk geconditioneerd stijghoogteverloop in dit gebied.

Uit de autocorrelatieberekeningen (zie de betreffende grafieken, figuren 6.2 t/m 6.5) volgt dat een relatief sterke correlatie wordt gevonden in de seizoensgolf voor de meetreeksen van de Veluwe en een veel zwakkere voor de meetreeks uit de polder. Na aftrek van het autoregressive deel van de seizoensgolf blijft een residueeks over, die alleen kortlopende fluctuaties bevat. De nieuwe splitsing leidt tot de volgende resultaten:



- Door de standaardafwijking van de residuen te vergelijken met de standaardafwijking van de 'seizoensreeks' kan worden geconstateerd dat opnieuw een behoorlijke reductie optreedt bij de Veluwe-reeksen, na aftrek van de ARIMA component. Dit betekent dat ook de autocorrelatie in de seizoensfluctuatie een niet te verwaarlozen deel van de totale fluctuatie van deze meetreeksen verklaart.
- Voor de meetreeksen uit de polder geldt dat de autocorrelatie veel minder sterk is (zie ook het autocorrelogram, figuur 6.4), waardoor aftrek van het autoregressieve deel geen grote uitwerking heeft op de standaardafwijking van het restdeel. Dit betekent dat het autoregressieve deel van de zwakke seizoensgolf geen belangrijk deel van de reeks verklaart en dat de stijghoogtemetingen bij een interval langer dan 1 of enkele maanden nog nauwelijks verband houden.

Het restdeel vormt het niet verklaarde deel. De standaardafwijking van het restdeel kan worden beschouwd als een maat voor de onzekerheid waarmee de meerjarengolf en de seizoensgolven kunnen worden vastgesteld.

#### **6.4.4 Relatie tussen meetfrequentie en standaardafwijkingen in de voorbeeldreeksen**

In tabel 6.2 zijn voor de verschillende voorbeeldreeksen de standaardafwijkingen van de meetreeks, de 'seizoensreeks' en de 'residueeks' uitgezet bij verschillende frequenties van meten. De standaardafwijkingen zijn berekend op basis van de metingen bij een lange periode van meten.

Met betrekking tot de relatie tussen de standaardafwijkingen en de meetfrequentie in de voorbeeldreeksen, geldt (voor een lange periode van meten!) het volgende:

- De standaardafwijking van de meetreeksen zelf ligt in dezelfde orde van grootte bij de verschillende meetfrequenties.
- De standaardafwijking van de 'seizoensreeks' is eveneens van dezelfde orde van grootte bij verschillende meetfrequenties. Bij de Veluwereeksen is de standaardafwijking maximaal 20 % lager voor de hogere meetfrequenties.
- De standaardafwijking van de 'residueeks' blijkt bij verschillende meetfrequenties a) van dezelfde orde van grootte te zijn voor de polderreeksen, maar b) nog aanzienlijk af te nemen voor de hogere meetfrequenties bij de Veluwereeksen.

Tabel 6.2: *Standaardafwijkingen van meetreeksen en meetreeksencomponenten als functie van de meetfrequentie*

| Meetreeks                   | Jaarlijkse meetfrequentie | Standaard-afwijkingen (in cm) |                 |              |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------|
|                             |                           | meetreeks                     | 'seizoensreeks' | 'residueeks' |
| 33A-P65/2                   | 24                        | 94.33                         | 8.72            | 3.97         |
| Veluwe/centraal             | 12                        | 94.59                         | 9.30            | 5.82         |
|                             | 6                         | 94.66                         | 10.24           | 8.40         |
|                             | 4                         | 94.87                         | 10.64           | 8.41         |
| 26H-P27/1                   | 24                        | 46.37                         | 12.12           | 2.96         |
| Veluwe/rand                 | 12                        | 46.53                         | 12.47           | 5.35         |
|                             | 6                         | 46.63                         | 13.43           | 8.69         |
|                             | 4                         | 46.62                         | 14.08           | 9.71         |
| 27A-P43/1                   | 24                        | 11.76                         | 10.20           | 8.02         |
| poldergebied                | 12                        | 12.01                         | 10.46           | 9.82         |
|                             | 6                         | 11.75                         | 10.35           | 7.66         |
|                             | 4                         | 12.52                         | 10.64           | 7.33         |
| 27A-p43/3                   | 24                        | (48.33)                       | 8.72            | 6.80         |
| poldergebied<br>(met trend) | 12                        | (48.56)                       | 9.05            | 8.28         |
|                             | 6                         | (40.02)                       | 8.71            | 8.03         |
|                             | 4                         | (49.33)                       | 8.76            | 6.09         |

'seizoensreeks': berekend als verschil van meetreeks en voortschrijdend jaargemiddelde (VG)

'residueeks': berekend als verschil van de 'seizoensreeks' en de 'ARIMA component'

('ARIMA comp.': Auto-gecorrleerd deel van de 'seizoensreeks').

## 6.5 Relatie tussen meetfrequentie en betrouwbaarheid van interpolaties

Het werkelijke verloop van de grondwaterstand op een bepaald punt wordt vastgelegd door middel van een aantal metingen op discrete tijdstippen. Uit deze metingen ontstaat een beeld van het werkelijke verloop van de grondwaterstand dat in het algemeen nauwkeuriger is naarmate de meetfrequentie hoger is en de variatie geringer. Neemt men de basisfrequentie van de provinciale meetnetten (24 metingen per jaar) als uitgangspunt, dan kan door uitdunning van de meetfrequentie de toename van onzekerheid worden berekend uit het verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde waarde. De kortlopende grondwaterstandsfluctuaties met een periode kleiner dan het interval van de basismetfrequentie (de ruis) vormen een onderdeel van de berekende verschillen. Aangezien de voorbeeldreeksen een grote lengte hebben, mag wel worden verondersteld dat de sterkte van de ruis redelijk goed is vertegenwoordigd.



Onderstaand is voor de vier voorbeeldreeksen op empirische wijze berekend welke standaardafwijkingen optreden bij interpolatie tussen twee bekende metingen. Daarbij zijn de 'afwijkingen' berekend als het verschil in het midden van het meetinterval tussen de lineair geïnterpoleerde waarde en de (bekende) gemeten waarde. De gekozen meetintervallen zijn respectievelijk 1 maand, 2 maanden en 3 maanden. Het interval van 1 maand is bij halfmaandelijke metingen in de voorbeeldreeksen het kleinste interval waarbij de berekening nog mogelijk is. Voor de verschillen is per meetinterval een standaardafwijking berekend door de interpolator te laten wandelen van het begin van de reeks naar het eind. De procedure is herhaald voor de verschillende voorbeeldreeksen. De resultaten staan vermeld in tabel 6.3.

Tabel 6.3 Standaardafwijkingen bij lineaire interpolatie als functie van de meetfrequentie

| Meetreeks                   | Jaarlijkse meetfreq. | Standaardafwijkingen (in cm) |               | Standaardafwijking bij interpolatie (cm) |               |
|-----------------------------|----------------------|------------------------------|---------------|--|---------------|
|                             |                      | meetreeks                    | seizoensreeks | meetreeks                                | seizoensreeks |
| 33A-P65/2                   | 24                   | 94.33                        | 8.72          | -  | -             |
| Veluwe/centraal             | 12                   | 94.59                        | 9.30          | 3.00                                     | 3.03          |
|                             | 6                    | 94.66                        | 10.24         | 3.75                                     | 3.81          |
|                             | 4                    | 94.87                        | 10.64         | 4.63                                     | 4.72          |
| 26H-P27/1                   | 24                   | 46.37                        | 12.12         | -  | -             |
| Veluwe/rand                 | 12                   | 46.53                        | 12.47         | 1.71                                     | 1.72          |
|                             | 6                    | 46.63                        | 13.43         | 4.15                                     | 4.24          |
|                             | 4                    | 46.62                        | 14.08         | 6.38                                     | 6.56          |
| 27A-P43/1                   | 24                   | 11.76                        | 10.20         | -  | -             |
| poldergebied                | 12                   | 12.01                        | 10.46         | 7.15                                     | 7.16          |
|                             | 6                    | 11.75                        | 10.35         | 10.71                                    | 10.76         |
|                             | 4                    | 12.52                        | 10.64         | 12.07                                    | 12.18         |
| 27A-P43/3                   | 24                   | (48.33)                      | 8.72          | -  | -             |
| poldergebied<br>(met trend) | 12                   | (48.56)                      | 9.05          | 6.11                                     | 4.12          |
|                             | 6                    | (40.02)                      | 8.71          | 8.60                                     | 8.63          |
|                             | 4                    | (49.33)                      | 8.76          | 9.64                                     | 9.69          |

'seizoensreeks': berekend als verschil van meetreeks en voortschrijdend jaargemiddelde (VG)

De verschillen bij interpolatie tussen de gemeten en de geïnterpoleerde waarden geven aanleiding tot het volgende commentaar:

- De berekende afwijkingen bleken op het oog normaal verdeeld te zijn. Indien wordt aangenomen dat voor de afwijkingen een normale verdeling geldt, dan kan de betrouwbaarheid van de interpolatie door middel van een betrouwbaarheidsinterval worden vastgelegd.

- Er is bij de onderzochte meetreeksen geen dramatisch verschil in de betrouwbaarheid van interpolatie bij de originele meetreeks en de 'seizoensreeks' (zie kolommen 5 en 6). De seizoensreeks is ontstaan door aftrek van het jaargemiddelde van de originele meetreeks. Het gebrek aan verschil toont aan dat de seizoensfluctuaties voor wat betreft de onderzochte frequenties de meest bepalende factor zijn en dat de kortlopende fluctuaties geen groot verschil meer geven.
- De standaardafwijking van de interpolatie (te beschouwen als een maat voor de interpolatiefout) neemt sterk toe naarmate de meetfrequentie afneemt. Deze toename is het sterkst voor de meetreeks van de Veluwerand.
- Bij de voorbeeldreeksen uit het Veluwegebied vormt de interpolatiefout een zeer klein onderdeel van de fluctuatie van de totale reeks, zoals blijkt uit de verhouding tussen de standaardafwijking van de interpolatiefout en die van de meetreeks. Deze verhouding ligt tussen 1,5 en 5% voor de reeks van het centrale deel van de Veluwe en tussen 4 en 14 % bij de reeks van de Veluwerand. De verhouding tussen de standaardafwijking van de interpolatie en die van de seizoensgolf ligt aanmerkelijk hoger.
- Voor de voorbeeldreeksen uit het poldergebied geldt dat de standaardafwijkingen van de interpolatiewaarden alleen voor de hogere frequenties (12 en 24) iets beter zijn dan die van de reeks. Dit moet het effect zijn van de in de reeksen aanwezige autocorrelatie. Uit het autocorrelogram blijkt dat de correlatie zich uitstrekt tot ca. 2 maanden, waardoor de interpolatienauwkeurigheid bij kleine intervallen hoger is.

De interpolatiefout kan van groot belang zijn voor de berekening van datumstanden en periode-gemiddelden. De criteria hiervoor zijn moeilijk in algemene zin te geven.

## **6.6 Relatie tussen meetfrequentie en berekende gemiddelden**

### **6.6.1 Verschillende doelstellingen**

Berekende gemiddelden (reeksgemiddelden, jaargemiddelden, seizoensgemiddelden) zijn nodig bij het karakteriseren van het grondwatersysteem en voor het volgen van beleids- en beheersmaatregelen. Daarom is een analyse nodig van de nauwkeurigheid waarmee berekende gemiddelden uit de beschikbare meetreeksen kunnen worden bepaald.

Bij een analyse van de betrouwbaarheid van berekende gemiddelden moet verschil worden gemaakt tussen:

- a) het bepalen van het reeksgemiddelde (het populatiegemiddelde) als onderdeel van het vastleggen van de eigenschappen van de meetreeks, in het kader van verkenning van de grondwatersituatie;
- b) de bepaling van het gemiddelde over bepaalde korte perioden (de jaar- en seizoensgemiddelden), ten behoeve van de bewaking van de grondwatersituatie.

In de voorgaande paragrafen is uitgebreid ingegaan op karakterisering van de meetreeksen en bepaling van het reeksgemiddelde, daarom zal onderstaand vooral worden ingegaan op de afstemming van de meetfrequentie op de betrouwbaarheid van het gemiddelde over korte perioden.



## 6.6.2 Methoden voor de betrouwbaarheidsbepaling van berekende gemiddelden

In principe wordt de betrouwbaarheid van berekende gemiddelden bij (stationaire) reeksen bepaald door a) de variantie en de autocorrelatie van de reeks en b) de periode en frequentie van meten. Er zijn nu twee methoden voor de bepaling van de betrouwbaarheid van berekende gemiddelden, een eenvoudige methode voor ongecorrleerde metingen en een meer gecompliceerde methode voor gecorrleerde metingen. De keuze van de methode hangt vooral af van de autocorrelatie in de reeks en de aanwezigheid van de meerjarengolf.

### 1. Berekening van gemiddelden uit ongecorrleerde metingen

Bij ongecorrleerde metingen kan de betrouwbaarheid waarmee een periode-gemiddelde (bijvoorbeeld een jaargemiddelde) worden uitgedrukt in de standaardafwijking van de reeks en van het aantal metingen in de betreffende periode.

Bij veel meetreeksen in poldergebied is het reeksgemiddelde een min of meer constante waarde onder invloed van het heersende polderpeil. De grondwaterstand of stijghoogte fluctueert om deze constante waarde, dikwijls volgens een min of meer normale verdeling. Indien daarbij de halfmaandelijke metingen vrijwel ongecorrleerd zijn, dan kan de standaardafwijking van het gemiddelde worden uitgedrukt in de standaardafwijking van de reeks. Bij een standaardafwijking  $s_r$  van de reeks is de standaardafwijking  $s_{gem}$  van het berekende gemiddelde uit  $N$  metingen gelijk aan:

$$s_{gem} = s_r / \sqrt{N}$$

Deze formule kan ook worden gebruikt voor het berekenen van een gemiddelde over een korte periode, zoals het jaargemiddelde. Wordt verder aangenomen dat de grondwaterstands- of stijghoogtemetingen normaal verdeeld zijn om het gemiddelde, dan kan voor de bepaling van het gemiddelde een betrouwbaarheidsinterval worden afgeleid. Als het gemiddelde over de beschouwde periode niet in de buurt van het reeksgemiddelde ligt, zoals bijvoorbeeld het geval kan zijn bij sterk verschillende zomer- en winterpeilen, dan moet eerst worden gecorrigeerd. In dat geval moeten de betreffende zomer- en wintergemiddelden eerst uit de metingen worden verwijderd, waarna de standaardafwijking van de residureeks kan worden bepaald. Bij ongecorrleerde residuën mag de bovenstaande formule worden toegepast. Om er voor te zorgen dat de betrouwbaarheidsschatting gebaseerd is op de reekseigenschappen en niet op de metingen in één enkele periode, is het zaak om de bovengenoemde correctie uit te voeren voor de gehele reeks. Uit de standaardafwijking van de residuën over de gehele reeks kan vervolgens een betrouwbaarheidsinterval voor de seizoensgemiddelden worden berekend.

Uitgaande van ongecorrleerde residuën, is een 95% betrouwbaarheidsinterval bepaald voor het jaargemiddelde bij de verschillende meetfrequenties voor de reeks 27A-P43/1 (zie tabel 6.4). Uit de tabel blijkt dat het jaargemiddelde goed kan worden vastgesteld bij de frequenties van 24 en 12 metingen per jaar. Bij de lagere meetfrequenties wordt de verhouding tussen het 95% betrouwbaarheidsinterval

(1,96 maal de standaardafwijking van het berekende jaargemiddelde) en de fluctuatie van het jaargemiddelde steeds ongunstiger. Daardoor zijn verschillen tussen het jaargemiddelde en het reeksgemiddelde bij lage frequenties steeds moeilijker hard te maken. Bij kleine variaties in het jaargemiddelde van een reeks moet men zich dan afvragen of er voldoende reden is om deze kleine verschillen aan te tonen ten koste van een relatief hoge meetfrequentie.

Tabel 6.4 95 % betrouwbaarheidsinterval voor jaargemiddelden

| Meetreeks    | Jaarlijkse meetfreq. | Standaard-afwijking (in cm) |                | 95% betrouw. interval (cm) |
|--------------|----------------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|
|              |                      | meetreeks                   | jaargemiddelde |                            |
| 27A-P43/1    | 24                   | 11.76                       | 2.4            | +/- 4.8                    |
| poldergebied | 12                   |                             | 3.4            | +/- 6.8                    |
|              | 6                    |                             | 4.8            | +/- 9.6                    |
|              | 4                    |                             | 5.9            | +/- 11.8                   |

De gewenste meetfrequentie kan nu bij dit specifieke doel worden gekozen op basis van de grootte van de onbetrouwbaarheid, die hier is uitgedrukt in de standaardafwijking. De berekening kan tevens worden gebruikt om onder bepaalde omstandigheden systematische verschillen tussen twee delen van een meetreeks op te sporen en daarmee trends te detacheren (zie 6.6.4).

## 2. Berekening van gemiddelden uit gecorreleerde metingen

Naarmate de reactie van het grondwatersysteem op invloeden trager verloopt, zoals in het algemeen bij een grote bergingscapaciteit, is de kans op gecorreleerde metingen groter. In extreme vorm is dit te zien in de Veluwereksen, waarin de opeenvolgende metingen, zelfs bij zeer lage meetfrequenties, onderling zijn gecorreleerd. De relatie tussen de meetfrequentie en de betrouwbaarheid van een berekend periode-gemiddelde (bijvoorbeeld een jaargemiddelde) is door de autocorrelatie in de reeksen gecompliceerder dan voor niet-gecorrleerde metingen. Dit is het gevolg van het feit dat gecorreleerde metingen een overlap aan informatie bevatten, die afhangt van de sterkte van de correlatie en van de meetfrequentie. Gezocht is naar een methode waarbij de betrouwbaarheid van het gemiddelde over een periode bepaald kan worden als functie van de eigenschappen van de totale reeks.

Met dit doel voor ogen is gekozen voor een één-dimensionale variant van 'block-kriging'. De betrouwbaarheid van het periode-gemiddelde wordt met deze methode berekend aan de hand van het semi-variogram van de reeks in de tijd. Dit semi-variogram geeft de temporele samenhang tussen de metingen aan bij een toenemende lengte van het tijdsinterval en is als zodanig een functie van de correlatie in de reeks. Het semi-variogram wordt bepaald over de gehele lengte van de meetreeks, door de berekening van de variantie te herhalen bij een toenemend tijdsinterval. De betreffende methode leent zich goed voor het berekenen van de betrouwbaarheid van



het periodegemiddelde bij verschillende meetfrequenties door 'uitdunning' van de reeks. Ook stelt de benadering gebruikers in staat om de gangbare kriging programmatuur te gebruiken. Een beknopte theoretische beschrijving is opgenomen in bijlage B. De resultaten voor vier geanalyseerde reeksen zijn weergegeven in tabel 6.5.

Tabel 6.5 95 % betrouwbaarheidsinterval voor jaargemiddelden

| Meetreeks                                | Jaarlijkse meetfreq. | Standaard-afwijking (in cm) |                | 95% betrouwbaarheidsinterval (cm) |
|--|----------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------|
|  |                      | meetreeks                   | jaargemiddelde |                                   |
| 33A-P65/1<br>Veluwe/centraal             | 24                   | 94.33                       | 2.68           | +/- 5.3                           |
|  | 12                   |                             | 3.31           | +/- 6.5                           |
|  | 6                    |                             | 4.58           | +/- 9.0                           |
|  | 4                    |                             | 7.21           | +/- 14.1                          |
|  | 1                    |                             | 16.60          | +/- 32.5                          |
| 26H-27/1<br>Veluwe/rand                  | 24                   | 46.37                       | 1.88           | +/- 3.7                           |
|  | 12                   |                             | 2.32           | +/- 4.5                           |
|  | 6                    |                             | 3.21           | +/- 6.3                           |
|  | 4                    |                             | 5.02           | +/- 9.8                           |
|  | 1                    |                             | 11.50          | +/- 22.5                          |
| 27A-P43/1<br>poldergebied                | 24                   | 11.76                       | 1.67           | +/- 3.3                           |
|  | 12                   |                             | 2.16           | +/- 4.2                           |
|  | 6                    |                             | 2.94           | +/- 5.8                           |
|  | 4                    |                             | 3.82           | +/- 7.5                           |
|  | 1                    |                             | 7.94           | +/- 15.6                          |
| 27A-P43/3<br>poldergebied<br>(met trend) | 24                   | 14.60                       | 1.73           | +/- 3.4                           |
|  | 12                   |                             | 2.36           | +/- 4.6                           |
|  | 6                    |                             | 2.77           | +/- 5.4                           |
|  | 4                    |                             | 4.12           | +/- 8.1                           |
|  | 1                    |                             | 8.28           | +/- 16.2                          |

Uit de tabel blijkt het volgende:

- Bij de Veluwereeksen steekt de standaardafwijking van het jaargemiddelde gunstig af ten opzichte van die voor de gehele reeks. Dit geldt voor alle onderzochte meetfrequenties, zij het in verschillende mate. Als de betrouwbaarheid van het jaargemiddelde als criterium geldt, dan kan met weinig metingen toch een relatief hoge betrouwbaarheid worden bereikt.
- Bij de polderreeksen is de invloed van de autocorrelatie toch nog enigszins merkbaar (vergelijk de berekende gemiddelden in tabellen 6.4. en 6.5). De fout die men maakt bij toepassing van de methode voor ongecorrleerde metingen kan oplopen tot meer dan 40%. Daarbij wordt de betrouwbaarheid onderschat, hetgeen een negatief effect kan hebben op de keuze van de meetfrequentie.

### 6.6.3 Afleiding meetfrequenties bij verschillende meetreekstypen

De benodigde frequentie van meten hangt in principe samen met het type van de reeks en van de doelstellingen die na de verkennende fase gelden. Daarbij zijn een aantal mogelijkheden die hier zullen worden behandeld.

#### 1. Door seizoensvariatie gedomineerde reeksen

Bij een door seizoensvariaties gedomineerde reeks wordt er van uitgegaan dat de reeks *geen* meerjarengolf vertoont. Indien de reeks voldoende lengte heeft kan uit de gegevens een gemiddelde seizoensreeks worden bepaald, door per meetdatum een gemiddelde grondwaterstand of stijghoogte te berekenen over een vast aantal jaren van de reeks.

De verkregen gemiddelde seizoenscurve kan op zijn beurt worden gedomineerd door de variatie in het neerslagoverschot, door verschillen in zomer- en winterpeil, of door andere invloeden. Door de gemiddelde seizoenscurve van de reeks af te trekken ontstaat een residureeks die de verschillen van jaar tot jaar aangeeft. Deze residureeks vertoont meestal geen sterke correlatie en is veelal normaal verdeeld. De variantie van de residureeks is nu bepalend voor de betrouwbaarheid van een berekend periode-gemiddelde. De betrouwbaarheid van een periode-gemiddelde (jaarlijks- of halfjaarlijksgemiddelde) kan dan worden berekend met behulp van de 'methode voor ongecorrleerde metingen' aan de hand van de variantie van de residureeks. Daarmee ontstaat een relatie tussen de meetfrequentie en de betrouwbaarheid van het jaargemiddelde, die kan worden gebruikt voor de keuze van de meetfrequentie bij het betreffende doel.

#### 2. Door meerjarenvariaties gedomineerde meetreeksen

Bij de door meerjarenvariaties gedomineerde reeksen is er geen grote seizoensinvloed. De reeksen worden vooral gevonden in gebieden met een groot bergend vermogen, zoals de Veluwe. De auto-correlatielengte van de reeksen is in de regel groot; invloeden kunnen soms tot meer dan 10 jaar doorwerken.

De reeksen zijn helaas altijd onregelmatig en ze vertonen geen kwantificeerbaar periodiek karakter. De variantie van de reeksen is in de regel groot (zie de centrale Veluwereeks) en een betrouwbare berekening van het reeksgemiddelde en de variantie vergt een groot aantal jaren; een veel gehanteerde vuistregel hiervoor is 4 maal de lengte van de meerjarengolf.

Voor de bepaling van de betrouwbaarheid van een periodegemiddelde kan hier niet dezelfde methode worden gebruikt. Immers door gebrek aan een kwantificeerbaar periodiek karakter kan geen regiemcurve voor de meerjarengolf worden vastgesteld; de gehele variantie blijft daarom over. Bij deze categorie van reeksen kan nu echter van de hoge autocorrelatie gebruik worden gemaakt. Deze heeft het effect dat de variantie van de metingen voor de relatief korte periode van een jaar aan een maximum gebonden is (in de regel een klein deel van de variantie van de reeks).



De betrouwbaarheid van het jaargemiddelde moet nu worden berekend met een 'methode voor gecorreleerde metingen' zoals gepresenteerd in 6.6.2. Daarmee wordt de relatie gelegd tussen de meetfrequentie en de betrouwbaarheid van het jaargemiddelde, die kan worden gebruikt voor de vaststelling van de benodigde meetfrequentie.

### 3. Reeksen met duidelijke meerjaren- én seizoensvariaties

De reeksen met duidelijke meerjaren- en seizoensinvloeden vormen een tussen-vorm die in Nederland veel voorkomt. De verhouding tussen de meerjarengolven en de seizoensgolven in de reeks is nu bepalend voor de keuze van de methode van betrouwbaarheidsbepaling en frequentie-analyse.

- Indien bij decompositie van de reeks geen duidelijke meerjarengolf wordt gevonden (minder dan bijvoorbeeld 20% van de totale fluctuatie dan kan worden besloten tot toepassing van de eenvoudige methode voor ongecorrleerde metingen. Dit leidt tot een iets te ongunstig beeld van de betrouwbaarheid.
- Bij een duidelijke meerjarengolf in de reeks (meer dan 20 % van de totale fluctuatie) is het beter de methode voor gecorreleerde metingen te volgen.

Aangezien nu naast een significante meerjarengolf (het tweede geval) ook een significante seizoensgolf aanwezig is, is de volgorde van de analyse als volgt:

- Bepaal een gemiddelde seizoensgolf (regiemcurve) uit de reeks en elimineer deze uit de reeks. De resterende reeks bevat nu naast de meerjarengolf ook de overblijvende fluctuaties, waaronder de afwijkingen tussen actuele en gemiddelde seizoensgolf.
- Bereken voor de nu resterende reeks het temporele semi-variogram en bereken op grond daarvan de relatie tussen betrouwbaarheid van het jaargemiddelde en de meetfrequentie.

De resultaten zijn de basis voor de keuze van een passende meetfrequentie.

#### 6.6.4 Bepaling van trends aan de hand van berekende gemiddelden

Een *trend* is hier gedefinieerd als een semi-permanente verandering van het gemiddelde van de grondwaterstand of stijghoogte. Daarbij gaat het om stapsgewijze of geleidelijke veranderingen, die in het algemeen het gevolg zijn van menselijke invloeden (onttrekkingen, ontwatering, ontgroning, etc.). De meerjarige natuurlijke fluctuaties in de grondwaterstand of stijghoogte zijn niet tot de trends gerekend.

Met betrekking tot de gebruikte gegevens kunnen twee methoden worden onderscheiden, namelijk 1) bepaling van trends *uitsluitend* op basis van de grondwatergegevens en 2) bepaling van trends op basis van grondwatergegevens én additionele gegevens.

### *1. Bepaling van mogelijke trends op basis van grondwatergegevens alléén.*

Het vaststellen van een trend berust op het vastleggen van een verschil in het gemiddelde van de meetreeks vóór en ná het tijdstip dat de verandering intreedt. De betrouwbaarheid van de berekening is hierbij van groot belang. Deze is afhankelijk van de lengte van de delen van de reeks, de variantie van de reeks en de frequentie van meten.

Er is veel literatuur over de methoden voor de bepaling van trends. Bij deze methoden is het detecteren van trends altijd een functie van de standaardafwijking van de reeks en van het aantal metingen over de delen er van. De beschrijving hier wordt beperkt tot de bepaling van staptrends op basis van een periodegemiddelde dat significant afwijkt van het reeksgemiddelde (zie bijvoorbeeld meetreeks 27A-P43/3).

De grootte van de staptrend wordt berekend als het verschil van de gemiddelden van de delen van de meetreeks vóór en ná het tijdstip van de verwachte verandering. Vervolgens moet worden nagegaan of de staptrend statistisch significant is. Daartoe wordt een standaardafwijking berekend uit de variantie van beide delen van de reeks (zie bijvoorbeeld Sanders et al [1987]). De significantie van de staptrend wordt tenslotte bepaald met behulp van de Student's t-test [Sanders et al, 1987]. Uit de voorgaande beschrijving kan worden afgeleid dat trendonderzoek aan de hand van meetreeksen alléén niet altijd mogelijk of eenvoudig is. Voor meetreeksen uit een vlak gebied, die sterk gedomineerd worden door de seizoensgolf, is een staptrend betrekkelijk eenvoudig te bepalen. Voor reeksen uit hogere delen van Nederland met een sterke meerjarengolf is het veel moeilijker om na te gaan of verdachte afwijkingen optreden en ook een significante trend voorstellen. Dit betekent dat voornamelijk gericht moet worden gezocht op grond van aanwijzingen uit de waterhuishoudkundige situatie en met behulp van andere methoden (zie onderstaand).

### *2. Bepaling van trends op basis van grondwatergegevens én additionele gegevens.*

Bij deze methode berust de vaststelling van een mogelijke trend op het constateren van een verstoring in de 'normale' verhouding tussen twee of meer groepen gegevens, bijvoorbeeld grondwaterstand en neerslagoverschot. Daarbij wordt gebruik gemaakt van modellen waarin de relatie tussen de verschillende groepen gegevens is vastgelegd. Hiervoor komen twee categorieën modellen in aanmerking, namelijk de geohydrologische modellen en de zogenaamde transfermodellen. De betrouwbaarheid waarmee de trends kunnen worden bepaald is daarbij afhankelijk van de nauwkeurigheid van de modellen en de gebruikte gegevensbestanden. Op de details van deze methoden wordt hier niet verder ingegaan, aangezien een uitgebreide behandeling buiten het kader van dit onderzoek valt.

#### *Benodigde meetfrequentie voor trendonderzoek*

Op grond van het bovenstaande kan worden gesteld dat het vaststellen van trends niet in alle gebieden op eenvoudige wijze mogelijk is. Naarmate de dominantie van de meerjarengolf (het effect van berging) toeneemt, wordt het probleem van het



vaststellen van trends groter. In de praktijk blijkt dat dan snel naar methoden als transferanalyse gegrepen moet worden, die het nadeel hebben dat meer gegevens nodig zijn, waarbij nieuwe onzekerheden geïntroduceerd worden.

Indien men er van uitgaat dat voor trendonderzoek in het algemeen enige jaren beschikbaar zijn, dan geldt dat de eisen ten aanzien van de benodigde meetfrequentie veelal niet strenger zullen zijn dan die voor de bepaling van het jaargemiddelde.

Voor bijzondere gevallen zullen hogere frequenties nodig zijn en een meer gedetailleerde analyse.

## **6.7 Afstemming van de meetfrequentie op de gewenste betrouwbaarheid bij verschillende doelstellingen.**

### **6.7.1 Twee belangrijke doelstellingen in het provinciale waterbeheer**

De meetfrequentie moet tenslotte worden afgestemd op de eigenschappen van de meetreeksen en op de doelstellingen en de bijbehorende nauwkeurigheidseisen.

Onderstaand is een voorbeeld gegeven van de evaluatie en afstemming van de meetfrequentie op twee belangrijke doelstellingen uit het provinciale waterbeheer, namelijk:

1. Verkenning van het grondwatersysteem en van de reactie van het systeem op natuurlijke en menselijke invloeden.
2. Bewaking van de toestand van het grondwatersysteem door monitoring van alle essentiële componenten en trends.

### **6.7.2 Beoordeling meetfrequentie i.v.m. verkenning grondwatersysteem**

Verkenning van het grondwatersysteem aan de hand van de meetreeksen houdt in het analyseren van alle essentiële componenten van de meetreeksen door middel van de statistische eigenschappen. Door de meetreeksen te ontbinden in een meerjarengolf, seizoensfluctuaties en een residueeks, wordt het aandeel van de verschillende componenten in de reeks duidelijk (paragraaf 6.4). Het gaat daarbij om de eigenschappen van de reeksen die samenhangen met de reactie van het grondwatersysteem op heersende invloeden, zoals neerslagoverschot, waterhuishoudkundige maatregelen en winningen.

De fase van verkenning van het grondwatersysteem vraagt om een voldoende lange meetperiode en een relatief hoge meetfrequentie waarmee alle componenten van de meetreeksen goed kunnen worden gedetecteerd en gekwantificeerd.

- De *minimale meetperiode* wordt daarbij bepaald door de lengte van de traagst fluctuerende component (indien aanwezig de meerjarengolf). In de praktijk wordt hiervoor dikwijls 4 maal de lengte van de langste golf of 4 maal de correlatielengte genomen.
- De *benodigde meetfrequentie* wordt juist bepaald door de snelst fluctuerende component die men nog wil kennen. Voor verkenning van de reacties van een grondwatersysteem is dus een relatief hoge frequentie nodig omdat anders de snelste fluctuaties niet goed genoeg kunnen worden geanalyseerd.

De vraag kan worden gesteld of meetperiode en meetfrequentie voldoende zijn geweest voor verkenning van de invloeden in de onderzochte reeksen. Onderstaand wordt getracht hierop een antwoord te geven.

#### *Meetreeks Veluwe-centraal*

Met betrekking tot de karakteristieken van de meetreeks 33A-P65/2 kan het volgende worden opgemerkt:

- Er is een onbetekenend verschil in de standaardafwijking van de reeks voor meetfrequenties tussen  $N=24$  en  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 3).
- Er is een toename van ca 20% in de standaardafwijkingen van de seizoensreeks als de frequenties gaat van  $N=24$  naar  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 4). De verhouding tussen de seizoensfluctuaties en de totale fluctuatie van de reeks is ca 10%.
- Er is een toename in de standaardafwijking van de residureeks (tabel 6.2, kolom 5) naarmate de meetfrequentie afneemt. De verhouding tussen de standaardafwijking van de residureeks en de seizoenscomponent wordt daardoor groter bij lage meetfrequenties.

*Commentaar.* Naarmate de meetfrequentie hoger is kunnen er meer details van de meetreeks worden waargenomen. De standaardafwijking van de reeks kan goed worden berekend bij alle onderzochte frequenties. De meerjarengolf van het grondwatersysteem kan goed worden geanalyseerd bij de hoge frequenties (24 en 12 maal per jaar) en iets minder goed bij lagere frequenties, zoals blijkt uit de verhouding tussen standaardafwijking van de seizoensreeks en van de gehele reeks bij verschillende frequenties.

Ook de seizoensvariaties kunnen redelijk goed worden vastgelegd bij de hoogste frequenties van 24 en 12 metingen per jaar (vergelijk de standaardafwijkingen van de residureeks met die van de seizoensgolf); bij de lagere frequenties kunnen deze minder goed worden vastgelegd.

Uit deze feiten blijkt dat de gehanteerde meetfrequentie van halfmaandelijke metingen (24 per jaar) voor verkenningsdoeleinden als voldoende kan worden beschouwd. Voor vastlegging van het meerjarenbeeld is de meetperiode nog aan de korte kant, want de langste golf komt in de reeksen amper twee keer voor. Nu de kortlopende fluctuaties bekend zijn kan de meerjarengolf verder met een lagere frequentie worden vastgelegd.

#### *Meetreeks Veluwe-rand*

Met betrekking tot de eigenschappen van de meetreeks 26H-P27/1 kan het volgende worden opgemerkt:

- Er is een onbetekenend verschil in de standaardafwijking van de reeks voor meetfrequenties tussen  $N=24$  en  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 3).
- Er is toename van ca 16% in de standaardafwijkingen van de seizoensreeks bij afname van de frequentie van  $N=24$  naar  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 4). De verhouding tussen de seizoensfluctuaties en de totale fluctuatie van de reeks is ca 25%.
- De standaardafwijking van de residureeks neemt toe, naarmate de meetfrequentie afneemt (tabel 6.2, kolom 5). De verhouding tussen de standaardafwijking van de residureeks en de seizoenscomponent wordt daardoor groter bij lage meetfrequenties.



*Commentaar.* De meerjarige reactie van het grondwatersysteem kan uit de reeksen goed worden geanalyseerd bij elke onderzochte meetfrequentie, zoals blijkt uit de verhouding tussen standaardafwijking van de seizoenreeks en van de gehele reeks. De seizoensvariëaties kunnen goed worden vastgelegd bij de hoogste frequenties van 24 en 12 metingen maal per jaar (vergelijk de standaardafwijkingen van de residureeks met die van de seizoenegolf); bij de lagere frequenties kunnen deze minder goed worden vastgelegd. De seizoensvariëaties zijn in deze reeks aanmerkelijk belangrijker dan in de meetreeks uit het centrale Veluwegebied.

Uit deze feiten blijkt dat de gehanteerde meetfrequentie van halfmaandelijke metingen (24 per jaar) voor verkenningsdoeleinden als voldoende kan worden beschouwd. Voor vastlegging van het meerjarenbeeld is de meetperiode nog aan de korte kant, want de langste golf komt in de reeksen nog geen twee keer voor. Nu de kortlopende fluctuaties bekend zijn kan de meerjarengolf verder met een lagere frequentie worden vastgelegd.

#### *Meetreeksen aangrenzend poldergebied*

Met betrekking tot de eigenschappen van de meetreeks 27A-P43/I kan het volgende worden opgemerkt:

- Er is geen significant verschil in de standaardafwijking van de reeks bij meetfrequenties tussen  $N=24$  en  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 3).
- Er is geen significant verschil in de standaardafwijking van de seizoenreeks voor frequenties tussen  $N=24$  en  $N=4$  (tabel 6.2, kolom 4). De standaardafwijking van de seizoenreeks is slechts 20 % lager dan die voor de gehele reeks.
- De residureeks heeft een hoge standaardafwijking in vergelijking tot die van de reeks en de seizoenreeks (tabel 6.2, kolom 5).

*Commentaar.* Het beeld van de reeks is karakteristiek voor een sterk geconditioneerd grondwaterregiem met een relatief hoge fluctuatie. De autocorrelatielengte in de reeks is in de orde van slechts 2 maanden, hetgeen betekent dat kortlopende effecten bij 4 beschikbare metingen in 2 maanden niet gedetailleerd geanalyseerd konden worden. Geconcludeerd moet worden dat de meetfrequentie voor het analyseren van het stijghoogteverloop in korte natte en droge perioden aan de lage kant is geweest. De lengte van de meetperiode was op zich zelf genomen voldoende voor een verkenning van de grondwatersituatie.

### **6.7.3 Afstemming meetfrequentie op bewaking grondwatersysteem**

Ook na de fase van verkenning zullen de effecten van natuurlijke en menselijke invloeden op het grondwatersysteem moeten worden gemeten. Dit kan evenwel met daarop afgestemde doelfrequenties. Bewaking van de toestand van het grondwatersysteem betekent verder het kunnen detecteren van trends. Voor dit laatste is het nodig dat belangrijke afwijkingen in het verloop van de reeksen kunnen worden vastgesteld.

Voor de bewaking van de toestand van het grondwater is het volgen van het verloop van meetreeksen door het berekenen van grootheden als het jaargemiddelde of seizoensgemiddelden een gangbare methode (zie paragraaf 6.6). Voor de vaststelling

van de grootte van het effect van ingrepen in de waterhuishoudkundige of geohydrologische situatie wordt het uit de meetreeksen berekende gemiddelde vóór en ná de ingreep vergeleken. Voor vermoede trends kan op dezelfde wijze te werk worden gegaan. De berekening van staptrends is behandeld in paragraaf 6.6. Voor het vaststellen van geleidelijke trends wordt verwezen naar de literatuur [bijvoorbeeld Sanders et al, 1987]. Onderstaand volgt een bespreking van de benodigde meetfrequentie ten behoeve van de bewakingsfunctie aan de hand van de voorbeeldreeksen.

#### *Meetreeks Veluwe-centraal*

Met betrekking tot de meetreeks van de centrale Veluwe kan het volgende worden opgemerkt :

- De nauwkeurigheid waarmee het jaargemiddelde kan worden berekend is zelfs bij lage meetfrequenties tot 4 maal per jaar relatief goed (zie de verhouding tussen de standaardafwijkingen van jaargemiddelde en reeks in tabel 6.5, kolommen 3 en 4).
- Voor het vastleggen van de seizoensgolf is een frequentie van minimaal 12 metingen per jaar nodig. De verhouding tussen de standaardafwijkingen pleit voor een hogere frequentie van 24 metingen per jaar (zie tabel 6.2, kolommen 4 en 5). De seizoensgolf is echter onbetekenend klein ten opzichte van de fluctuatie van de meerjarengolf.
- Het op betrouwbare wijze vaststellen van een trend uit de meetreeksen zelf is in het Veluwegebied niet eenvoudig, als gevolg van de hoge autocorrelatie in de reeks. Daarom moet men in deze gebieden zijn toevlucht zoeken tot methoden als de transfer-ruis-modellering, waarmee trends kunnen worden afgeleid uit een combinatie van gegevens [Gehrels et al, 1994].

*Commentaar.* In het centrale deel van de Veluwe is de seizoenscomponent sterk ondergeschikt aan de meerjarenfluctuatie van de grondwaterstand en -stijghoogte. De nauwkeurigheid van het meerjarige grondwaterstands- en stijghoogteverloop wordt er niet sterk door beïnvloed. Door de onbelangrijkheid van de seizoensgolf kan voor de verdere vastlegging van het reeksgemiddelde, de meerjaren fluctuaties en het jaargemiddelde, worden gekozen voor 12, 6 of zelfs 4 metingen per jaar indien een iets grotere marge van onzekerheid voor lief wordt genomen (zie tabel 6.5).

#### *Meetreeks Veluwerand*

Met betrekking tot de meetreeks van de Veluwerand kan het volgende worden opgemerkt:

- De nauwkeurigheid waarmee het jaargemiddelde kan worden berekend is ook bij lagere meetfrequenties relatief goed (vergelijk de standaardafwijkingen van het jaargemiddelde en de meetreeks in tabel 6.5, kolommen 4 en 5). Bij 12 metingen per jaar is de verhouding tussen de standaardafwijking van het jaargemiddelde en de reeks nog slechts 5 %. Op een gemiddelde jaarlijkse fluctuatie van ca 60 cm is het 95% betrouwbaarheidsinterval van het jaargemiddelde bij 12 metingen slechts 5.35 cm.
- De seizoenscomponent vormt hier een niet onbelangrijk deel van de totale fluctuatie van de reeks. Voor het vastleggen van de seizoensgolf is een frequentie van minimaal 12 metingen nodig. De verhouding tussen de standaardafwijkingen



in residueeks en seizoensreeks is daarbij nog ca 40%, tegen ca 25% bij 24 metingen per jaar (zie tabel 6.2, kolommen 4 en 5).

- Het op betrouwbare wijze vaststellen van een trend uit de meetreeksen zelf is in het Veluwegebied niet eenvoudig, als gevolg van de hoge autocorrelatie in de reeks.

*Commentaar.* In het randgebied van de Veluwe wordt de seizoensgolf relatief belangrijker. Het vastleggen van de seizoensgolf kan zinvol zijn als deze een structureel en belangrijk onderdeel is van het grondwaterregiem. Indien deze component belangrijk genoeg wordt gevonden voor toekomstig onderzoek, dan is een frequentie van maandelijks minimaal. Voor de verdere vastlegging van het reeksgemiddelde, de meerjaren fluctuaties en het jaargemiddelde kan met minder metingen per jaar worden volstaan, indien een grotere onzekerheid voor lief wordt genomen.

#### *Meetreeksen aangrenzend poldergebied*

Met betrekking tot de meetreeksen in het poldergebied kan het volgende worden vastgesteld:

- Voor de bepaling van het jaargemiddelde zijn in paragraaf 6.6. voorbeelden gegeven, zowel voor ongecorrleerde metingen als voor gecorrleerde metingen. Aan de hand van de resultaten van dergelijke berekeningen kan een meetfrequentie worden gekozen die de gewenste betrouwbaarheid van het jaargemiddelde oplevert (zie tabellen 6.4. en 6.5). Uit tabel 6.5 blijkt dat de standaardafwijking in het jaargemiddelde voor poldergebied en Veluwegebied van dezelfde orde is. De verhouding tot de standaardafwijking van de gehele reeks is ongunstig, met name voor laagste meetfrequenties.
- Van een duidelijke seizoensgolf is hier geen sprake. Voor vastlegging van korte fluctuaties in de stijghoogte zou een hogere meetfrequentie nodig zijn dan 24 metingen per jaar (zie de verhouding in standaardafwijkingen).
- Meetreeks 27A-P43/3 toont een staptrend in poldergebied die het gevolg is van inpoldering van de Flevopolder (figuur 6.4). Het constateren van een staptrend aan de hand van meetreeksen zonder meerjarencomponent is veelal goed mogelijk als het verschil (de stap) groot genoeg is. De keuze van de meetfrequentie ten behoeve van trenddetectie wordt afgestemd op a) de standaardafwijking van de residueeks na aftrek van de stapfunctie, b) de periode beschikbaar voor vaststelling van de trend, en c) de eisen ten aanzien van de betrouwbaarheid (zie paragraaf 6.6).

*Commentaar.* Voor de vervolgfase is het van belang na te gaan of een gedetailleerd beeld van de stijghoogtefluctuaties in poldergebied voor het waterbeheer de moeite waard is. Indien dit het geval is dan moet eerst een korte periode met een hogere meetfrequentie worden gemeten. Is dit niet het geval dan kan de meetfrequentie worden afgestemd op het volgen van het jaargemiddelde (zie paragraaf 6.6). Het is verstandig bij de keuze van meetfrequentie ook de absolute fluctuatie van de reeks in de overweging mee te nemen. Bij kleine variaties in het jaargemiddelde van een reeks moet men zich afvragen of er voldoende reden is om deze kleine verschillen aan te tonen ten koste van een relatief hoge meetfrequentie. In een dergelijk geval kan worden besloten voor de bewaking van de situatie een minimale meetfrequentie te handhaven.

#### 6.7.4 De invloed van criteria op afstemming van de meetfrequentie

Bij het afstemmen van de meetfrequentie op de doelstellingen en het grondwaterregiem in een regio kunnen in principe verschillende criteria worden genomen, bijvoorbeeld:

1. Een vaste waarde voor het betrouwbaarheidsinterval rond het berekende jaargemiddelde.
2. Een vaste verhouding tussen de standaardafwijking van het jaargemiddelde en van de reeks.
3. Een meetfrequentie die is afgestemd op de belangrijkheid van componenten en op gemengde criteria.

In tabel 6.6 is een voorbeeld gegeven van een evaluatie van de benodigde meetfrequentie bij deze verschillende criteria.

Tabel 6.6 Voorbeeld van benodigde meetfrequentie bij verschillende criteria

| Deelgebied      | Criteria  |  |   |
|-----------------|---|--|---|
|                 | Vaste waarde betrouw. interval jaargemiddelde max 10 cm | Vaste verhouding $s_{\text{jaargem}}/s_{\text{reeks}}$ 10% | Gebaseerd op het belang van componenten |
| Veluwe-centraal | 6/jaar  | 4/jaar   | 6/jaar 1)                               |
| Veluwe-rand     | 4/jaar  | 6/jaar   | 12/jaar 2)                              |
| Poldergebied    | 4/jaar  | ca 24/jaar   | 12/jaar 3)                              |

- 1) gebaseerd op betrouwbaarheid jaargemiddelde, seizoensgolf verwaarloosd.
- 2) gebaseerd op verhouding tussen standaardafwijking van jaargemiddelde en reeks ( $s_{\text{jaargem}}/s_{\text{reeks}} < 10\%$ ) en standaardafwijkingen van seizoensgolf en reeks ( $s_{\text{residu}}/s_{\text{seizoen}} < 40\%$ ).
- 3) gebaseerd op betrouwbaarheid jaargemiddelde, korte fluctuaties verwaarloosd.

Uit tabel 6.6 wordt aan de hand van een voorbeeld duidelijk welke invloed het toepassen van verschillende kwantitatieve criteria kan hebben op de daartoe benodigde meetfrequentie.

- Het rigoureus toepassen van een maximum standaardafwijking voor het jaargemiddelde werkt in het nadeel van reeksen met een hoge autocorrelatie en een grote fluctuatie, zoals de meetreeksen uit de centrale Veluwe.
- Het rigoureus invoeren van een vaste verhouding in de standaardafwijkingen van jaargemiddelde en reeks (een procentueel criterium) werkt in het nadeel van de reeksen met een lage autocorrelatie en een hoge fluctuatie, zoals de meetreeksen uit bepaalde delen van het poldergebied.

Beide criteria hebben het bezwaar dat er onvoldoende rekening wordt gehouden met de verschillende componenten van de meetreeksen die het grondwaterregiem karakteriseren (zie ook 6.2, punt 3).



Een vollediger en betere beschouwing houdt rekening met de verhoudingen in de verschillende componenten die de reactie van het grondwaterregiem karakteriseren (zie ook 6.7.3). Dit betekent dat ook de verhoudingen tussen de verschillende componenten van de meetreeks (bijvoorbeeld het wèl of niet belangrijk zijn van seizoensgolven in een deelgebied) worden meegenomen bij de afweging. Ook kunnen enigszins verschillende criteria worden genomen. Het is belangrijk dat de uiteindelijke keuze wordt gedaan op basis van een degelijke evaluatie en heldere argumenten.

## **6.8 Samenvatting van mogelijkheden voor evaluatie en afstemming meetfrequentie**

Ten aanzien van de standaardmeetfrequentie bij provinciale stijghoogtemeetnetten is door enkele provincies de vraag gesteld of een zekere mate van aanpassing mogelijk is. Gebieden die als voorbeeld genoemd werden zijn de Veluwe, de Achterhoek en de poldergebieden van Zuid-Holland.

In hoofdstuk 2 en de paragrafen 6.1 en 6.2 van dit rapport is betoogd dat de een regiogewijze aanpassing van de meetfrequentie niet hoeft te leiden tot een degradatie van de landelijke gegevensbestanden, mits de aansluiting tot de standaard meetfrequentie behouden blijft.

### *Methoden voor afstemming meetfrequentie*

Ten behoeve van de analyse van de relatie tussen meetfrequentie en betrouwbaarheid van uitkomsten zijn in hoofdstuk 6 een aantal eenvoudig toepasbare methoden besproken, die ingaan op de bewerkingen van decompositie van reeksen, interpolatie en berekening van gemiddelden. Daarbij is, in overleg met de begeleidingscommissie van het project, gekozen voor eenvoudige en algemeen toepasbare methoden. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat.

- De aanbevolen methoden voor meetreeksdecompositie en betrouwbaarheidsbepaling van interpolatie en berekening van gemiddelden geven een goede indruk van de verkregen informatie bij de standaardfrequentie van halfmaandelijke metingen, én van de afname van betrouwbaarheid bij lagere meetfrequenties. Daarmee kan de meetfrequentie goed worden geëvalueerd en afgestemd op de behoeften in de komende tijd.
- Het vaststellen van trends op grond van de meetreeksen zelf is voornamelijk beperkt tot de gebieden waarin de invloed van de grondwaterberging niet sterk overheerst (geen dominerende meerjarengolf); dit geldt ook voor afstemming van de meetfrequentie op de detectie van trends. Voor de hogere delen van Nederland met een groot bergend vermogen moet voor trenddetectie worden uitgeweken naar methoden die gegevens kunnen combineren, zoals transfermodellen en hydrologische modellen.

### *Verdere bewaking van het grondwatersysteem*

Voor de provinciale meetnetten kan de periode van de afgelopen decennia als een periode van 'verkenning van het grondwatersysteem' worden beschouwd.

- Op grond van enkele meetreeksen uit de Veluwe-regio (Veluwe en aangrenzend poldergebied) bestaat de indruk dat de standaardmeetfrequentie voor 'verkenning van het grondwaterregiem' voor deze regio hoog genoeg was. Een uitzondering geldt voor natte perioden en kort lopende fluctuaties in aangrenzend poldergebied, waarvoor de standaardfrequentie aan de lage kant was.
- De benodigde meetfrequentie voor verdere 'bewaking van het grondwatersysteem' kan goed worden vastgesteld met behulp van de besproken methoden. Aanbevolen wordt de meetfrequentie af te stemmen op de doelstellingen die gelden voor de provinciale en rijkstaken en op de karakteristieke eigenschappen van het grondwatersysteem.

### *Slotopmerkingen*

Aangezien met het veranderen van de meetfrequentie de continuïteit van grondwaterbestanden van regionaal en nationaal belang gemoeid zijn (zie ook 6.2) is het van belang met voorzichtigheid te werk te gaan. Daarom wordt aanbevolen:

- de informatiebehoefte bij provincie, rijk en eventuele derden als uitgangspunt te nemen voor wat betreft de criteria ten aanzien van de meetfrequentie.
- een degelijk onderzoek uit te voeren naar de 'karakteristieke eigenschappen' van de meetreeksen die gerelateerd zijn aan het grondwaterregiem; daarbij moeten per regio voldoende reeksen worden meegenomen.
- aan de hand van de gestelde informatiebehoefte en criteria een meetfrequentie te bepalen die een duidelijke relatie heeft tot de gehanteerde standaardfrequentie of daaraan gelijk is.

De uiteindelijke keuze van de meetfrequentie voor provinciale meetnetten is aan de provincies. De keuze is een enigszins iteratief proces, waarbij afwegingen moeten worden gemaakt die zowel op de gegevens als op de behoefte gebaseerd zijn. Daarbij is overleg met de landelijke beheerder van de meetgegevens aan te bevelen.

## **6.9 Voorgestelde procedure voor evaluatie en afstemming van de meetfrequentie bij stijghoogtemeetnetten**

De *voorgestelde procedure* voor het afstemmen van de meetfrequentie op de doelstellingen van het meten en het karakter van de meetreeksen bestaat uit de volgende stappen:

### ***Stap 1: Vaststelling van de meetdoelstellingen (waterbeheer, andere)***

De meetdoelstellingen worden afgeleid uit de provinciale taken en thema's, door de informatiebehoefte voor elk van deze taken of beleidsthema's te analyseren (zie hoofdstuk 4).



### ***Stap 2: Decompositie van de meetreeksen in de verschillende deelcomponenten***

Door middel van meetreeksdecompositie wordt nagegaan welke fluctuaties in de meetreeksen kunnen worden onderscheiden (meerjarige, periodieke en korte) en hoe de verhoudingen tussen deze fluctuaties zijn (zie ook paragraaf 6.4).

Aangegeven is hoe de meetreeksen kunnen worden ontbonden in a) een voortschrijdend jaargemiddelde, b) een auto-regressief deel van de periodieke fluctuaties, 'seizoensreeks' genoemd, en c) een residu dat de kortlopende fluctuaties bevat.

De voorbeeldreeksen, die ter illustratie zijn gebruikt, kunnen als representatief voor hoge en lage delen van Nederland worden beschouwd. De Veluwereeksen zijn, vanwege de omvang en hoogte van het gebied, meer geproportioneerd dan elders in de relatief hoge delen van het land, maar de invloed van de berging is in principe dezelfde. Het praktisch ontbreken van de bergingseffecten in de 'polderreeks' geldt ook voor andere vlakke delen van Nederland met een sterk geconditioneerde grondwaterstand.

Het verdient aanbeveling de procedure van decompositie voor de reeksen standaard uit te voeren, omdat de verschillende effecten (meerjarige, seizoenmatige en trendmatige) dan min of meer standaard te voorschijn komen.

### ***Stap 3: Analyse van de relatie tussen de meetfrequentie en standaardafwijking van de meetreekscomponenten.***

Door de standaardafwijkingen van de verschillende meetreekscomponenten (voortschrijdend jaargemiddelde, seizoensreeks en residureeks) te vergelijken met die van de oorspronkelijke reeks kan worden vastgesteld welk percentage voor de standaardafwijking van de restfluctuatie overblijft en, derhalve, welk percentage van de fluctuatie van de oorspronkelijke meetreeks uit de delen a) en b) kan worden verklaard.

Door de bewerkingen uit te voeren voor lagere meetfrequenties ontstaat een goed beeld van het informatieverlies bij lagere meetfrequenties. Dit is een belangrijke aanwijzing voor de keuze van de geschikte meetfrequentie voor de vervolgfase van bewaking. Daarom wordt aanbevolen om ook deze frequentie-analyse zoveel mogelijk standaard uit te voeren.

### ***Stap 4: Analyse van de relatie tussen meetfrequentie en standaardafwijkingen bij interpolatie en berekening van gemiddelden***

Deze stap betreft de analyse van de betrouwbaarheid waarmee bepaalde gewenste grootheden, zoals jaargemiddelden, seizoensgemiddelden, etc. kunnen worden vastgesteld. De standaardafwijkingen die een maat zijn voor de betrouwbaarheid worden berekend bij verschillende meetfrequenties. Bij de bepaling van de betrouwbaarheid van periode-gemiddelden moet rekening worden gehouden met de autocorrelatie in de reeksen.

Voorbeelden van de bepaling van de betrouwbaarheid van interpolaties, individuele waarden, zowel als periodegemiddelden, volgens verschillende methoden zijn gegeven in de paragrafen 6.5. en 6.6.

### ***Stap 5: Vaststelling van de doelfrequenties bij de verschillende doelstellingen***

In deze stap worden de doelfrequenties bij de verschillende doelstellingen bepaald. Bij de keuze van een meetfrequentie kan onderscheid worden gemaakt naar de verkenningsfase en de vervolgfase. Het verkennen van het grondwatersysteem vergt *een minimale meetperiode en een relatief hoge meetfrequentie*, omdat anders de verschillende componenten niet volledig kunnen worden geanalyseerd. In de vervolgfase (de bewakingsfase) kan met een meetfrequentie worden waargenomen die is afgestemd op de voor het meten geselecteerde aspecten van het grondwaterregiem.

### ***Stap 6: Selectie van de benodigde meetfrequentie per regio***

Evaluatie van de benodigde meetfrequentie kan geschieden aan de hand van een schema waarin zowel de doelstellingen en bepalende criteria als de onderzochte regio's zijn opgenomen. De meetfrequentie kan vervolgens regiogewijs worden afgestemd op de informatiebehoefte. Daarbij dient de continuïteit van de meetreeksen in het oog te worden gehouden.

## **6.10 Conclusies hoofdstuk 6**

1. Er zijn geen zwaarwegende technische bezwaren tegen een regio-gewijze aanpassing van de uniforme meetfrequentie bij stijghoogtemeetnetten, mits de nieuwe frequenties een duidelijk verband houden met de basisfrequentie van half-maandelijkse metingen, zodat de samenhang met het historische deel van de reeksen en, in ruimtelijke zin, met de naburige reeksen behouden blijft. Een dergelijke goed gestructureerde aanpassing behoeft niet tot degeneratie van de landelijke en provinciale stijghoogtebestanden te leiden.
2. Uit de analyse van stijghoogtemeetreeksen door middel van decompositie blijkt dat de meetreeksen op eenvoudige en zinvolle wijze kunnen worden ontbonden in de volgende delen: a) een voortschrijdend jaargemiddelde, b) een auto-regressief deel van de periodieke fluctuaties en c) een residu dat de kortlopende fluctuaties bevat. Door de standaardafwijkingen van de verschillende delen te vergelijken met die van de oorspronkelijke reeks kan worden vastgesteld welk percentage voor de standaardafwijking van de restfluctuatie overblijft en, derhalve, welk percentage van de fluctuatie van de oorspronkelijke meetreeks kan worden verklaard.
3. Door de verschillende bewerkingen (decompositie, interpolatie en berekening van gemiddelden) uit te voeren bij verschillende 'uitgedunde' meetfrequenties ontstaat een goed idee van de betrouwbaarheid van deze bewerkingen en van het informatieverlies bij afnemende meetfrequentie. De regiogewijze keuze van een meetfrequentie zal grotendeels op een dergelijke analyse moeten worden gebaseerd.



4. *Verkenning van het grondwatersysteem* vraagt om een relatief hoge meetfrequentie gedurende een voldoende lange meetperiode om alle relevante fluctuaties te kunnen analyseren.

Bij de traag fluctuerende meetreeksen van de Veluwe is verkenning van zowel de meerjarige fluctuaties als de seizoensfluctuaties goed mogelijk geweest bij vrijwel alle geteste meetfrequenties. De beste resultaten werden bereikt bij de hoogste frequentie van halfmaandelijke metingen.

Bij de snel reagerende meetreeksen uit het poldergebied is verkenning van de eventueel aanwezige meerjarige fluctuaties mogelijk, maar er ontstaat een matig beeld van kortlopende golven. Een gedetailleerde verkenning vereist een hogere meetfrequentie.

5. *Het bewaken van de grondwaterstand of stijghoogte* vereist een meetfrequentie, waarbij de relevante aspecten van de stijghoogte voldoende aan bod komen (zie conclusies 3 en 4) en waarbij trends nog kunnen worden vastgelegd. De keuze van relevante aspecten is aan de provincies.

'Normale bewaking door middel van jaar- en seizoensgemiddelden' is bij alle onderzochte typen meetreeksen goed mogelijk gebleken. De relatie tussen betrouwbaarheid en meetfrequentie kon hier goed worden gelegd.

'Vaststellen van een trend' op grond van de stijghoogtemeetreeksen alléén is bij de traag fluctuerende meetreeksen van de Veluwe niet goed mogelijk (slechts over lange perioden van vele tientallen jaren kunnen verschillen in de reekseigenschappen worden aangetoond). Het aantonen van trends over kortere perioden is alleen mogelijk met behulp van methoden die gebruik maken van de gegevens betreffende andere invloeden op het grondwatersysteem (transfermodellen, etc.).

Bij de meetreeksen in het poldergebied, waarin meerjarige fluctuaties ontbreken, is het vastleggen van een trend gemakkelijker. De benodigde meetfrequentie kan in deze gebieden worden afgestemd op een hypothetische staptrend die nog moet kunnen worden gedetecteerd.

## 7 Evaluatie provinciale meetnetten voor grondwaterkwaliteit

### 7.1 Doel en opzet van het hoofdstuk

Uit de 'Doelstellingen analyse' (hoofdstuk 4), blijkt dat provincies ten behoeve van het grondwaterkwaliteitsbeheer primair de volgende vragen moeten kunnen beantwoorden:

- Wat zijn de knelpunten in de grondwaterkwaliteit in vergelijking met de streefwaarden voor wat betreft relevante milieuthema's zoals vermisting, verzuring, verspreiding en algemene verontreiniging? (*signaleren knelpunten*)
- Hoe ontwikkelt de grondwaterkwaliteit zich voor wat betreft relevante milieuthema's zoals vermisting, verzuring, verspreiding, en algemene verontreiniging? (*trenddetectie*).

Voor het beantwoorden van deze vragen hebben de provincies inmiddels een provinciaal meetnet grondwaterkwaliteit (PMG) ingericht, dat in de meeste gevallen een combinatie is van provinciale meetpunten en meetpunten van het landelijke meetnet grondwaterkwaliteit (LMG). Alle PMG-metpunten worden jaarlijks één maal bemonsterd op een uitgebreid parameterpakket, zoals dat voor het LMG is vastgesteld.

Dit hoofdstuk geeft richtlijnen voor de evaluatie van de PMG's, waarbij het van belang is om te toetsen of de bestaande meetnetten conform de gestelde doelen zijn ingericht. In feite gaat het er hier om de prestatie van een bestaand meetnet te beoordelen met betrekking tot de gegeven doelstellingen, waarbij de vraag moet worden beantwoord: "Hoe effectief is het meetnet ingericht?".

Er wordt gebruik gemaakt van de resultaten van een eerder door Kiwa uitgevoerde opdracht voor het platform van grondwaterkwaliteitsmeetnetten [Baggelaar en Van Beek, 1995], waarbij suggesties zijn gedaan voor optimalisatie van grootschalige meetnetten. In het onderhavige onderzoek ligt het accent op de evaluatiestap, die aan optimalisatie voorafgaat. Daarbij wordt onder andere gewerkt met aan de meetnetdoelstellingen gerelateerde statistische maten, waarmee de effectiviteit van een PMG kan worden vastgesteld.

In paragraaf 7.2 worden enkele aspecten besproken die van belang zijn bij het rapporteren van meetgegevens en het evalueren van een meetnet voor grondwaterkwaliteit. In paragraaf 7.3 worden de statistische maten besproken, op basis waarvan een PMG geëvalueerd kan worden met betrekking tot de primaire doelstellingen: 'signaleren knelpunten' en 'trenddetectie'. Vervolgens worden in paragraaf 7.4 twee voorbeelden uitgewerkt, waarbij twee van de in 7.3 besproken effectiviteitsmaten worden toegepast op het PMG van de provincie Zuid-Holland. In paragraaf 7.5 wordt een algemeen bruikbaar stappenplan voor evaluatie van een provinciaal meetnet voor grondwaterkwaliteit gepresenteerd. Er wordt niet ingegaan op mogelijkheden om de kwaliteit van de meetgegevens te toetsen. Een dergelijke toetsing hoort thuis in de procedures voor exploitatie en beheer van een meetnet.



## 7.2 Elementen in de opzet van grootschalige grondwaterkwaliteitsmeetnetten

### 7.2.1 Homogene gebieden

Ruimtelijk gezien kan de grondwaterkwaliteit in een provincie sterk verschillen, waardoor de toestand en mate van beïnvloeding moeilijk in beeld te brengen zijn. Uitspraken over de kwaliteit van het grondwater of ontwikkelingen daarin zijn nauwkeuriger naar mate deze betrekking hebben op gebieden met een homogenere grondwaterkwaliteit.

In deze studie wordt de term 'homogeen gebied' gebruikt voor een gebied dat wordt gekenmerkt door één of meer combinaties van bodemtype, landgebruik en (indien bekend) hydrologische situatie. Baggelaar en Van Beek [1995] stellen dat voor de opzet en de evaluatie van een provinciaal meetnet voor

- grondwaterkwaliteit een indeling in homogene gebieden noodzakelijk is, omdat:
- zowel bij het ontwerp, als bij evaluatie van het meetnet bekend moet zijn waar de gebieden met (veronderstelde) homogene grondwaterkwaliteit zich bevinden;
  - de ruimtelijke extrapolatie van de resultaten van het meetnet bij voorkeur geschiedt op basis van het inzicht in de koppeling van grondwaterkwaliteit en gebiedskenmerken. Dit is bijvoorbeeld van belang om gebiedsgerichte beleidsmaatregelen voor de bescherming van het grondwater te kunnen nemen.

Om zo nauwkeurig mogelijk aan te sluiten bij de actuele gebiedskenmerken kunnen, voorafgaand aan het rapporteren over de grondwaterkwaliteit en het evalueren van het meetnet, bestaande meetpunten opnieuw naar homogeen gebied worden ingedeeld en homogene gebieden visueel op homogeniteit worden getoetst [Broers, 1996a]. Om zonder verlies van relevante informatie de meetinspanning te beperken, kan gebruik gemaakt worden van parameters die voor een bepaald milieuthema indicatief zijn (gidsparements, zie 7.2.2). Ook kunnen, onder bepaalde voorwaarden, gegevens uit verschillende homogene gebieden beschouwd worden als betrekking hebbend op hetzelfde gebied (clusteren van homogene gebieden, zie 7.2.3). Daarnaast wordt, in verband met het beperken van de meetinspanning, beknopt ingegaan op bemonsteringsdiepte (7.2.4) en bemonsteringsfrequentie (7.2.5).

### 7.2.2 Gidsparements

Gidsparements zijn parameters die karakteristiek zijn voor een bepaald milieuthema. Een parameter mag een geschikte gidsparement voor een milieuthema worden genoemd, als zijn concentratie veel sterker wordt beïnvloed door de mate van verontreiniging, dan door andere factoren, zoals de interactie met de bodem. Omdat de interactie met de bodem sterk kan variëren met het gebiedstype, hoeft een bepaalde parameter dus niet voor alle gebiedstypen een geschikte gidsparement voor een thema te zijn. Baggelaar en Van Beek [1995] hebben voor de milieu-thema's vermisting, verspreiding, verzuring en algemene verontreiniging afgeleid welke parameters binnen welke gebiedstypen - of combinaties daarvan - als geschikte gidsparement kunnen dienen (bijlage C).

Een en ander is samengevat in een overzicht van de gebieden waarin de geselecteerde chemische parameters als geschikte gidsparameter voor een milieuthema kunnen dienen (tabel 7.1). Uit de specificaties in deze tabel (laatste kolom) blijkt dat in veel gevallen de gebruikelijke gebiedskenmerken bodemtype en landgebruik nog onvoldoende zijn om de gebieden af te bakenen waarin bepaalde parameters geschikte gidsparameters voor milieuthema's zijn. Enkele van de benodigde aanvullende gebiedskenmerken zijn echter reeds beschikbaar op bodemkaarten, zoals de grondwatertrap en het kalkrijk of kalkloos zijn van de bodem (de kaarten gaan tot een diepte van 1,2 m onder maaiveld).

Tabel 7.1: *Overzicht van gidsparameters voor verschillende milieuthema's, met specificatie van geldigheidsgebied*

| Thema            | Chemische parameter  | Gebiedstype voor thema-indicatie | Specificatie   |
|------------------|----------------------|----------------------------------|--|
| Vermesting       | Nitraat              | zand                             | diepe grondwaterspiegel  |
|                  | Ammonium             | klei-/veen                       | infiltratie <sup>1)</sup>  |
|                  | Fosfaat              | hoogveen                         | geen mineralisatie   |
|                  |                      | zand                             | kalkloos, kleiarm, ondiepe grondwaterspiegel                                       |
| Kalium           | zand                 | kleiarm, geen verzoeting         |  |
| Verspreiding     | Cadmium              | humusarm zand                    | kalkloos   |
|                  | Arseen               | zand                             | kalkrijk   |
|                  | DCP (dichloorpropan) | elk gebiedstype                  | geen sterk anoxisch milieu   |
| Verzuring        | Hardheid             | zand                             | kalkrijk   |
|                  | Aluminium            | zand                             | kalkloos   |
|                  | Sulfaat              | elk gebiedstype                  | geen ijzersulfiden in bodem, geen sterk anox. of zuur milieu, geen mariene invloed |
| Alg. verontrein. | Chloride             | elk gebiedstype                  | geen mariene invloed   |

1): Ammonium mag hierbij niet van nature aanwezig zijn.



### 7.2.3 Clustering van homogene gebieden

Om uitspraken te doen over een toestand of een trend hoeven niet altijd alle homogene gebieden afzonderlijk te worden beschouwd. In homogene gebieden met vergelijkbare omstandigheden, waar voor een bepaalde parameter dezelfde frequentieverdeling geldt, kan voor die parameter een uitspraak worden gedaan op basis van informatie uit de gecombineerde gebieden. Baggelaar en Van Beek [1995] geven aanwijzingen omtrent het verantwoord uitvoeren van een dergelijke clustering van gebieden. Clustering heeft tot effect dat, door het bijeenvoegen van vergelijkbare informatie van een parameter, hardere uitspraken gedaan kunnen worden over het milieuthema waarvoor de betreffende parameter representatief geacht wordt.

### 7.2.4 Bemonsteringsdiepte

Voor de doelstelling 'signaleren van knelpunten' zijn de gegevens van zowel diepe als ondiepe filters relevant. Met behulp van de verkregen gegevens is een ruimtelijk beeld te vervaardigen van het ondiepe grondwater, waarin recente beïnvloeding vrij algemeen is, en een beeld van het diepe grondwater, waarin veelal de effecten van grondwaterwinning waarneembaar zijn. Meetgegevens uit gebieden met geringe bedreiging van de grondwaterkwaliteit, zoals kwelgebieden, zijn voor het signaleren van knelpunten belangrijk omdat ze een referentie vormen voor gegevens uit gebieden met een hoge belasting van verontreinigende stoffen.

Voor 'trenddetectie' is het noodzakelijk met een zekere regelmaat hetzelfde filter op steeds dezelfde parameters te bemonsteren, zodat een tijdreeks van meetwaarden wordt gevormd. Voor het registreren van de effecten van beleidsmaatregelen is recent grondwater (grondwater met een verblijftijd van 10 tot 15 jaar) het meest interessant. Voor het bemonsteren van het meest recente water wordt gebruik gemaakt van het meest ondiepe filter. Een uitzondering vormen de kwelgebieden, die echter in het algemeen een zeer geringe trendmatige verandering vertonen. Voor de interpretatie van de gegevens is een indicatie van de leeftijd van het grondwater essentieel [Broers, 1996a].

### 7.2.5 Bemonsteringsfrequentie

Alle PMG-meetpunten worden jaarlijks één maal bemonsterd op een uitgebreid parameterpakket, zoals dat voor het LMG is vastgesteld.

Voor het *signaleren van knelpunten* zou met een frequentie van eens per vier jaar kunnen worden volstaan. Wanneer de vierjaarlijkse bemonstering vooraf gaat aan het opstellen van het provinciaal milieubeleidsplan en/of waterhuishoudingsplan, kan in die plannen een up-to-date beschrijving van de toestand van de grondwaterkwaliteit worden opgenomen.

Bij *trenddetectie* in afzonderlijke meetpunten wordt de detectiekans van een bepaalde trend over een bepaalde periode groter naarmate er meer serieel onafhankelijke waarnemingen beschikbaar komen. Verhoging van de huidige meetfrequentie van één bemonstering per jaar zou naar verwachting leiden tot

seriële afhankelijkheid tussen de waarnemingen, waardoor er nauwelijks informatie-winst zou optreden (gemiddeld reist een 'jaargang' grondwater in een infiltratie-gebied in neerwaartse richting 0.8 tot 1 m; het grondwater rondom het filter wordt daardoor elke 2 tot 3 jaar vervangen). Overgaan op een geringere frequentie, bijvoorbeeld tweejaarlijkse waarnemingen, zal uiteraard financieel aantrekkelijk zijn. Gezien de grote fluctuaties in de tijd van de ondiepe grondwaterkwaliteit en de snelheid waarmee het beleid informatie over veranderingen wil, ligt een verlaging van de meetfrequentie voor ondiep grondwater niet voor de hand. Voor het diepe grondwater, met een minder snelle temporele respons, wordt de bemonsteringsfrequentie voor het LMG teruggebracht tot eens per vier jaar. De provincies kunnen deze frequentiereductie ook voor de PMG's in overweging nemen. De consequenties van het terugbrengen van de meetfrequentie voor de detectiekans van de trend worden beschreven in paragraaf 7.4.6.

### 7.3 Statistische maten voor beoordeling meetneteffectiviteit

Baggelaar en Van Beek [1995] doen, met onderscheid naar de doelstellingen genoemd in 7.1 de volgende suggesties voor effectiviteitsmaten:

#### *Effectiviteitsmaten voor signalering knelpunten*

Als een meetnet knelpunten met betrekking tot de grondwaterkwaliteit moet kunnen onderkennen, kunnen de volgende maten dienen om de effectiviteit van het meetnet te kwantificeren (raadpleeg zondig de begrippenlijst):

- a1: het percentage normoverschrijding waarbij het meetnet dit detecteert;
- a2: de precisie waarmee het percentage normoverschrijding kan worden geschat;
- a3: de precisie waarmee een bepaald percentiel kan worden geschat;
- a4: de precisie waarmee de mediaan kan worden geschat.

#### *Effectiviteitsmaten voor trenddetectie*

Als een meetnet ontwikkelingen in de grondwaterkwaliteit moet kunnen signaleren, kan de effectiviteit van het meetnet worden uitgedrukt in de volgende maten:

- b1: de detectiekans van een trend van een bepaalde grootte over een periode;
- b2: de precisie waarmee de mediane trend voor een blok kan worden geschat.

De effectiviteitsmaten a1, a2, a3 en b1 zijn geschikt voor de klassiek statistische benadering, terwijl de maten a4 en b2 zijn afgestemd op de geostatistische benadering. De geostatistische benadering maakt verdergaande differentiatie binnen homogene gebieden mogelijk, bijvoorbeeld naar blokken van 4 bij 4 km. In dit onderzoek is er van uitgegaan, dat informatie over de grondwaterkwaliteit voor het onderbouwen en evalueren van provinciaal gebiedsgericht milieubeleid met betrekking tot de relevant geachte milieuthema's vermessing, verzuring, verspreiding en algemene verontreiniging, niet verder gedifferentieerd hoeft te worden dan naar homogene gebieden, zodat volstaan kan worden met de voorstellen voor de klassiek statistische effectiviteitsmaten (a1, a2, a3 en b1).



De effectiviteit van de meetinspanning wordt gedefinieerd door meetnetdichtheid en meetfrequentie. Om de effectiviteit van verschillende meetnetconfiguraties met elkaar te kunnen vergelijken, moet de relatie tussen de meetinspanning en de effectiviteit bekend zijn. Voor de effectiviteitsmaten  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  en  $b_1$  zijn deze relaties afgeleid door Baggelaar en Van Beek [1995].

## **7.4 Evaluatie grondwaterkwaliteitsmeetnet - een voorbeeld uit de provincie Zuid-Holland**

### **7.4.1 Inleiding tot voorbeelden**

In paragraaf 7.4 zijn twee voorbeelden uitgewerkt, waarbij de effectiviteitsmaten  $a_1$  (het percentage normoverschrijding waarmee het meetnet vrijwel zeker normoverschrijding detecteert) en  $b_1$  (de detectiekans van een trend van een bepaalde grootte over een bepaalde periode) worden afgeleid voor het PMG van de provincie Zuid-Holland. Eerst wordt de inrichting van het PMG Zuid-Holland beschreven (paragraaf 7.4.2). In het voorbeeld wordt beknopt ingegaan op de toepassing van de frequentieverdeling per homogeen gebied (paragraaf 7.4.3) en op de toepassing van gidsparameters en de parameterkeuze wat betreft vermessing (paragraaf 7.4.4). Voor het uitwerken van de voorbeelden (paragrafen 7.4.4 en 7.4.5) is gebruik gemaakt van data van landelijke meetpunten van het PMG Zuid-Holland uit de periode 1980-1995 en van data van bijgeplaatste provinciale meetpunten uit de periode 1989-1995.

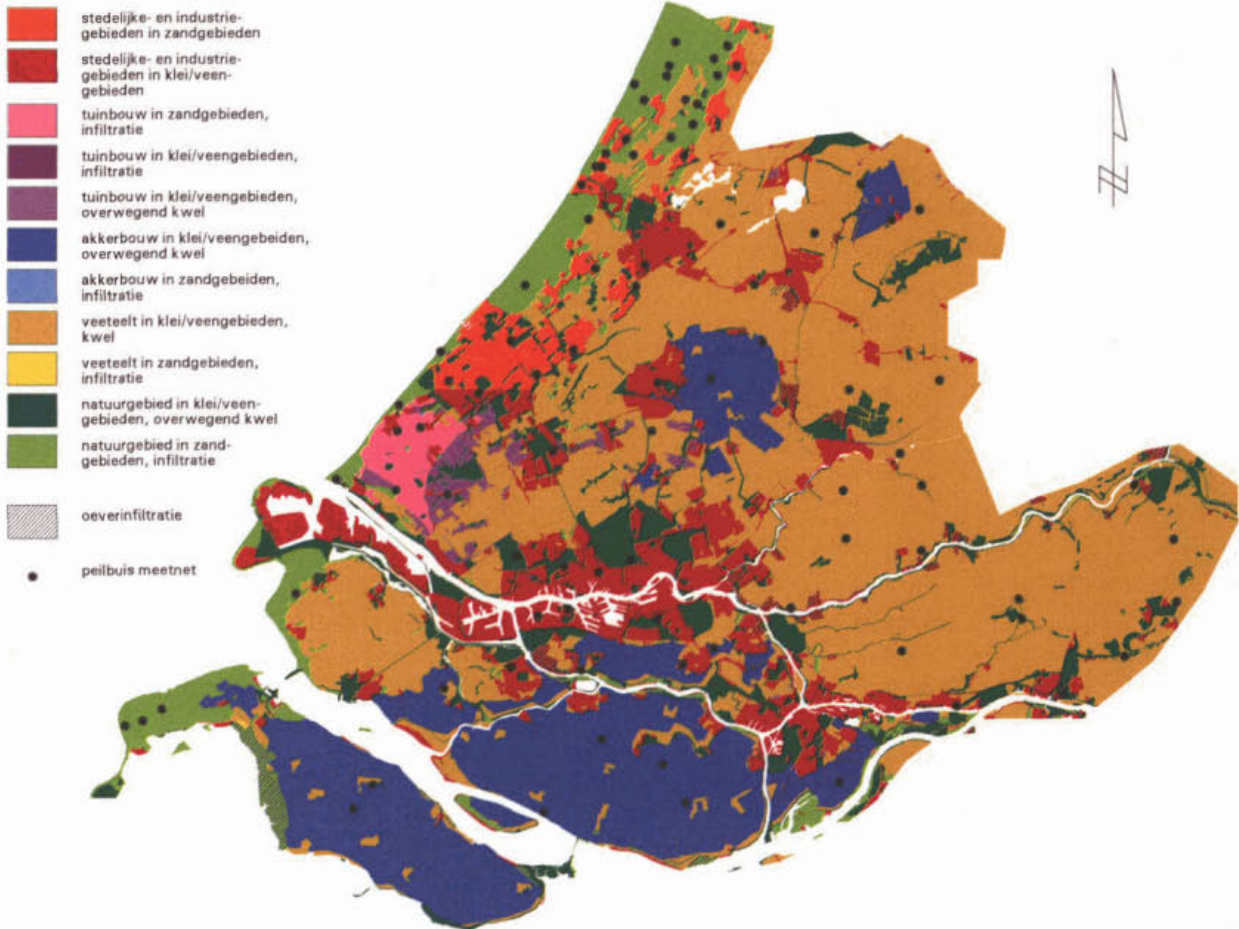
### **7.4.2 Inrichting PMG Zuid-Holland**

In 1988 is het PMG Zuid-Holland ontworpen [Bloemendaal e.a., 1988]. Hierbij zijn 64 meetpunten gepland, in aanvulling op 41 meetpunten uit het LMG, verdeeld over 19 homogene gebieden. De ligging van de homogene gebieden is weergegeven in figuur 7.1. Elk van deze gebieden bezit een unieke combinatie van de factoren (a) bodemopbouw (zand of klei/veen), (b) landgebruik (steden/industrie, akkerbouw, veeteelt, tuinbouw of natuur) en (c) geohydrologische gesteldheid (kwel of infiltratie). Daarnaast is 'oeverinfiltratie' als een separaat homogeen gebied geklassificeerd, onafhankelijk van bovenstaande factoren.

Bij het ontwerp van het meetnet is de gewenste minimale meetnetdichtheid statistisch bepaald. Eis hierbij was: het PMG dient op provinciale schaal gelijk aan of beter te functioneren dan het LMG op landelijke schaal waar het aantonen van diffuse verontreinigingen betreft.

De meetpunten zijn verdeeld over de homogene gebieden door rekening te houden met de grootte (hoe groter het gebied hoe meer punten) en door aan de bovengenoemde factoren gewichten toe te kennen op basis van de geschatte mate van verontreiniging (tuinbouw is bijvoorbeeld 20 maal zo verontreinigend verondersteld als natuur).

## Legenda



*Figuur 7.1 : Kaart met homogene gebieden provincie Zuid-Holland*

Momenteel zijn nog niet in alle homogene gebieden meetpunten ingericht: kleine gebieden of gebieden met een geringe kans op verontreiniging zijn (nog) overgeslagen. In tabel 7.2 is opgenomen in welke gebieden punten zijn gesitueerd. Dat zijn momenteel 11 homogene gebieden, die gezamenlijk 97% van het oppervlak van de provincie beslaan. Aan infiltratiegebieden op zand, en dan met name met agrarisch landgebruik, is overduidelijk het grootste gewicht (of de hoogste meetnetdichtheid) toegekend.



Tabel 7.2: Aantal meetpunten per homogeen gebied van het PMG Zuid-Holland.

| Conditie  |             |               | code   | aantal<br>meetp. | oppervlak<br>[% prov.] | meetnet-<br>dichth. <sup>1)</sup> |
|-----------|-------------|---------------|--------|------------------|------------------------|-----------------------------------|
| zand      | infiltratie | akkerbouw     | z.i.a. | 2                | 0.1                    | 20.0                              |
|           |             | tuinbouw      | z.i.t. | 12               | 0.9                    | 13.3                              |
|           |             | veeteelt      | z.i.v. | 4                | 0.4                    | 10.0                              |
|           |             | natuur        | z.i.n. | 9                | 3.2                    | 2.8                               |
|           |             | bebouwd       | z.i.b. | 8                | 3.4                    | 2.4                               |
| klei/veen | kwel        | akkerbouw     | kv.k.a | 10               | 21.0                   | 0.5                               |
|           |             | tuinbouw      | kv.k.t | 2                | 3.7                    | 0.5                               |
|           |             | veeteelt      | kv.k.v | 12               | 33.5                   | 0.4                               |
|           |             | natuur        | kv.k.n | 2                | 5.6                    | 0.4                               |
|           | infiltratie | tuinbouw      | kv.i.t | 1                | 0.7                    | 1.4                               |
|           |             | bebouwd       | kv.i.b | 15               | 18.8                   | 0.8                               |
|           |             | oeverinfiltr. | oev    | 11               | 5.7                    | 1.9                               |
| Totaal    |             |               |        | 88               | 97                     | 0.9                               |

<sup>1)</sup> relatieve maat voor aantal meetpunten per procent oppervlak van de provincie

In tegenstelling tot het LMG met maximaal 3 filters per meetpunt, bevatten de meetpunten van het PMG Zuid-Holland elk 4 filters.

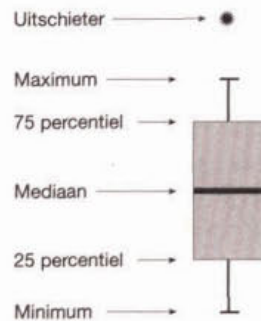
### 7.4.3 Frequentieverdeling in homogene gebieden

Bij de inrichting van een meetnet en de verdeling van meetpunten over homogene gebieden wordt ervan uitgegaan, dat de grondwatersamenstelling binnen de homogene gebieden ook min of meer homogeen is. Dit maakt het onder andere mogelijk om de grondwatersamenstelling op eenvoudige wijze te presenteren op vlakdekkende kaarten.

Vooraf is een controle op homogeniteit van de samenstelling van het grondwater mogelijk middels de interpretatie van de frequentieverdeling van parameters. De frequentieverdeling kan op een grafische manier worden samengevat in zogenaamde Box-Whisker plots (figuur 7.2). Voordeel van deze grafische weergave van de frequentieverdeling is dat de complete verdeling in één dimensie kan worden overzien. De Box-Whisker plot geeft een indruk van de spreiding van de waarnemingen, op basis waarvan de homogeniteit van homogene gebieden visueel kan worden beoordeeld. Hierbij is geen absolute maat te geven voor een acceptabele spreiding van de waarnemingen. Uitspraken over knelpunten en trends zullen aan kracht inboeten naarmate de variatie in grondwaterkwaliteit binnen homogene gebieden groter is. Een nadere beschouwing van de ligging van de meetpunten in gebieden met een lage homogeniteit is een mogelijkheid voor verbetering (zie paragraaf 7.2.1).

#### 7.4.4 Parameterkeuze - voorbeeld voor vermesting

In sectie 7.2.2 is aan de orde gekomen welke parameters onder welke omstandigheden informatie kunnen geven over milieuthema's. Als voorbeeld wordt het thema 'vermesting' voor het PMG Zuid-Holland hier nader beschouwd.



*Figuur 7.2: Legenda  
Box-Whisker plot*

Van het PMG Zuid-Holland zijn voor de vermestingsparameters nitraat, ammonium, fosfaat en kalium, voor elk homogeen gebied en voor elk filter met SPSS frequentieverdelingen gemaakt en middels Box-Whisker plots weergegeven. Om een indruk te krijgen is als voorbeeld opgenomen de Box-Whisker plot van kalium voor het eerste filter (figuur 7.3). Met behulp van de Box-Whisker plots wordt in deze paragraaf afgeleid, welke parameter de meeste indicatieve waarde heeft voor wat betreft vermesting in Zuid-Holland.

##### *Nitraat*

Nitraat is dé parameter die geassocieerd wordt met vermesting. Op de zandgronden van oost en zuid Nederland bestaat er vaak ook een relatie tussen vermestingsdruk en nitraatconcentratie in grondwater. In het PMG Zuid-Holland blijkt nitraat geen goede gidsparameter voor vermesting: nitraat wordt, met uitzondering van één homogeen gebied (waarover later meer) nergens aangetroffen in concentraties boven de detectielimiet. Dit kan toegeschreven worden aan het overwegend anaërobe karakter van het grondwater in de provincie Zuid-Holland, of aan het hoge gehalte aan organische stof en ijzersulfiden in de bodem, waardoor alle nitraat (en ook zuurstof) is gereduceerd. Nitraat wordt wel aangetroffen in concentraties boven de detectielimiet (tot 3 mg NO<sub>3</sub>/l) in de bovenste filters van homogeen gebied 'zand-infiltratie-natuur' (de duinen), waar de bodem minder reducerend materiaal bevat. In dit geval is het aantreffen van nitraat overigens geen indicatie van vermesting maar van atmosferische depositie.

##### *Ammonium*

Omdat ammonium kan voorkomen onder omstandigheden waaronder nitraat niet kan voorkomen, kan het soms als vervangende gidsparameter voor vermesting dienen. Ammonium is echter geen optimale gidsparameter te noemen, omdat het ook van nature kan voorkomen door mineralisatie van veen en organisch materiaal. Over het algemeen zijn de ammoniumconcentraties in kwelgebieden hoger dan in infiltratiegebieden, hetgeen erop wijst dat de bijdrage van natuurlijk voorkomend ammonium groot is en ammonium dus niet als gidsparameter voor vermesting dienst kan doen. Overigens worden de hoogste ammoniumconcentraties aangetroffen in homogeen gebied 'klei/veen-infiltratie-bebouwd', hetgeen een aanwijzing kan zijn voor verontreinigingen in relatie tot de rioleringssituatie (niet of recent gerioleerd of 'lekke' riolen).

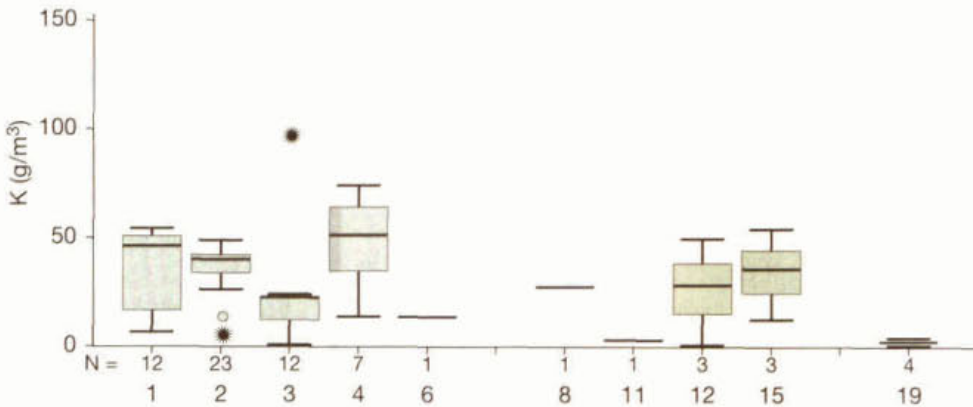


### Kalium

Met name kunstmest en in mindere mate dierlijke mest bevatten kalium. Het gebruik van kalium als gidsparameter voor vermisting is echter beperkt tot zandgebieden, doordat kalium door fixatie kan worden geabsorbeerd aan kleimineralen. Hoge kaliumconcentraties in kwelgebieden kunnen mogelijk toegeschreven worden aan het voorkomen van brak grondwater.

In de ondiepste filters in infiltratiegebieden op zand blijken de kaliumconcentraties in gebieden met agrarisch landgebruik en bebouwd gebied veel hoger dan in gebieden met natuur (= duinen). Met toenemende diepte nemen de kaliumconcentraties af, met uitzondering van het duingebied.

Binnen het agrarisch landgebruik worden de hoogste kaliumconcentraties onder tuinbouw aangetroffen (gebruik van drijfmest om stuiven tegen te gaan), gevolgd door veeteelt en vervolgens akkerbouw (weinig waarnemingen). De hoge concentraties onder bebouwd gebied kunnen toegeschreven worden aan de invloed van strooizout (hierin is kaliumzout bijgemengd) en rioleringsituatie. Dergelijk hoge kaliumconcentraties onder bebouwd gebied zijn overigens eerder regel dan uitzondering. Voor de infiltratiegebieden op zand blijkt kalium dus een goede gidsparameter voor vermisting te zijn.



Figuur 7.3 : Box-Whisker plot K, filter 1

### Fosfaat

Fosfaat is een belangrijk bestanddeel van dierlijke mest en kunstmest. Het gebruik van fosfaat als gidsparameter voor vermisting kent echter beperkingen. Zo kunnen fosfaten worden vastgelegd door ijzer- en aluminiumhydroxiden, die in hoge gehalten aanwezig kunnen in de onverzadigde zone van gronden met een diepe grondwaterstand en in kleigronden. Fosfaat wordt verder nog vastgelegd door kalk, via adsorptie en door precipitatie als apatiet.

De fosfaatconcentratie onder gebieden met agrarisch landgebruik is niet hoger dan fosfaatconcentraties bij overige landgebruiken. Zowel bij 'oeverinfiltratie' als 'bebouwd gebied' scoren de ondiepe filters gelijk of hoger.

### *Resumé*

In het PMG Zuid-Holland blijkt kalium een goede gidsparameter voor vermisting te zijn voor infiltratiegebieden op zand. Voor kwelgebieden is geen goede gidsparameter aan te wijzen; deze gebieden zijn voor dit thema echter ook minder relevant. Ook voor de infiltratiegebieden op klei/veen is geen eenduidige gidsparameter voor vermisting te kenmerken.

#### **7.4.5 Meetneteffectiviteit bij detectie van normoverschrijding**

De bepaling van de meetneteffectiviteit voor het signaleren van normoverschrijding is een voorbeeld van evaluatie van de ruimtelijke samenhang van het meetnet. Het percentage verontreinigd gebied dat met zekerheid vastgesteld kan worden is de meest eenvoudige maat om de effectiviteit van het meetnet aan te geven, als het gaat om 'het signaleren van knelpunten'. De maat heeft in feite betrekking op het percentage verontreinigd gebied dat binnen een homogeen gebied acceptabel geacht wordt. Met 'verontreinigd' wordt hier bedoeld, dat er concentraties boven de gestelde norm worden aangetroffen. Met een toename van de dichtheid aan meetpunten in een homogeen gebied neemt de trefkans toe, dat men, als er sprake is van verontreiniging, deze ook detecteert. Een en ander wordt geïllustreerd met behulp van figuur 7.4, waar de pijltjes meetpunten representeren. Bij 7 meetpunten in het homogene gebied (de pijltjes) en 35% verontreinigd gebied, ligt vrijwel zeker één meetpunt in het verontreinigde gebied.

Als voorbeeld is voor het meetnet grondwaterkwaliteit van de provincie Zuid-Holland de effectiviteit voor het detecteren van normoverschrijdingen als volgt berekend. Allereerst wordt de verdeling in kaart gebracht van het aantal filters per homogeen gebied, onderverdeeld naar filterdiepte (tabel 7.3). De filters zijn hiervoor als volgt naar diepteklasse onderscheiden:

|           |               |      |
|-----------|---------------|------|
| filter 1: | 0 - 5,50      | m-mv |
| filter 2: | 5,50 - 11,75  | m-mv |
| filter 3: | 11,75 - 19,50 | m-mv |
| filter 4: | >19,50        | m-mv |

Aan de homogene gebieden is een lettercode toegekend (zie tabel 7.3).



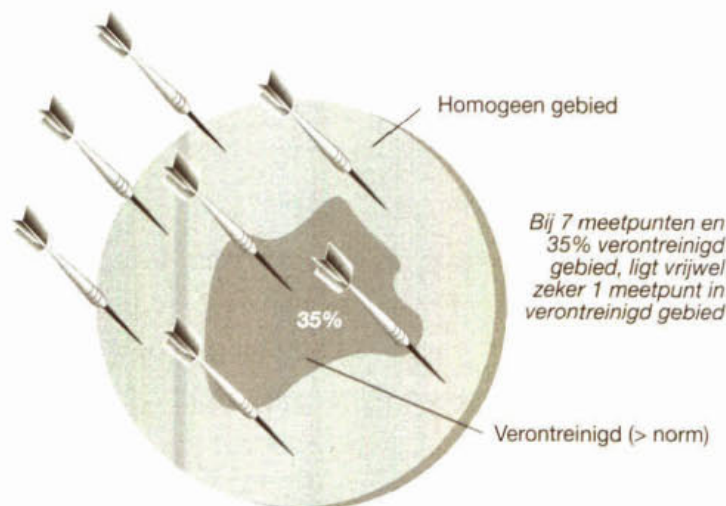
Tabel 7.3: Aantal filters per homogeen gebied, onderscheiden naar diepteklasse 1 t/m 4

| gebiedscode | z.i.b | kv.i.b | oev | z.i.t | kv.i.t | kv.k.t | kv.k.a | z.i.a | kv.k.v | z.i.v | kv.k.n | z.i.n |
|-------------|-------|--------|-----|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| filter 1    | 8     | 11     | 8   | 9     | 1      | 0      | 4      | 1     | 3      | 4     | 0      | 4     |
| filter 2    | 7     | 8      | 8   | 12    | 1      | 1      | 7      | 2     | 6      | 4     | 2      | 9     |
| filter 3    | 8     | 14     | 12  | 12    | 1      | 2      | 10     | 2     | 17     | 4     | 2      | 10    |
| filter 4    | 8     | 18     | 11  | 12    | 1      | 3      | 12     | 2     | 13     | 4     | 2      | 8     |

Verklaring afkortingen:

|                     |             |          |                    |             |           |
|---------------------|-------------|----------|--------------------|-------------|-----------|
| z.i.b = zand        | infiltratie | bebouwd  | kv.k.a = klei/veen | kwel        | akkerbouw |
| kv.i.b = klei/veen  | infiltratie | bebouwd  | z.i.a = zand       | infiltratie | akkerbouw |
| oev = oeverinfiltr. |             |          | kv.k.v = klei/veen | kwel        | veeteelt  |
| z.i.t = zand        | infiltratie | tuinbouw | z.i.v = zand       | infiltratie | veeteelt  |
| kv.i.t = klei/veen  | infiltratie | tuinbouw | kv.k.n = klei/veen | kwel        | natuur    |
| kv.k.t = klei/veen  | kwel        | tuinbouw | z.i.n = zand       | infiltratie | natuur    |

Sommige meetpunten hebben meerdere filters in dezelfde diepteklasse, waardoor voor een homogeen gebied het aantal filters per diepteklasse meer kan zijn dan het aantal monsterpunten. Verdeeld over 88 meetpunten zijn er in totaal 308 filters. Landelijke monsterpunten hebben meestal drie filters per monsterpunt en de bijgeplaatste provinciale meetpunten vier.



Figuur 7.4: Voorbeeld meetneteffectiviteit voor normoverschrijding

Vervolgens wordt, door gebruik te maken van de door Baggelaar en Van Beek [1995] afgeleide relatie tussen de meetinspanning en meetneteffectiviteit, tabel 7.3 omgezet in tabel 7.4. In deze laatste tabel is aangegeven, hoeveel procent van het gebied zou kunnen worden verontreinigd, voordat deze verontreiniging vrijwel zeker (met 95% kans) wordt vastgesteld.

Tabel 7.4: *Percentage verontreinigd homogeen gebied dat bij het beschikbaar aantal meetpunten en filters met 95% kans gedetecteerd wordt*

| gebiedscode | z.i.b | kv.i.b | oev | z.i.t | kv.i.t | kv.k.t | kv.k.a | z.i.a | kv.k.v | z.i.v | kv.k.n | z.i.n |
|-------------|-------|--------|-----|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| filter 1    | 32    | 24     | 32  | 29    | 96     |        | 53     | 96    | 64     | 54    |        | 34    |
| filter 2    | 35    | 32     | 32  | 23    | 96     | 96     | 35     | 78    | 40     | 54    | 78     | 29    |
| filter 3    | 32    | 20     | 23  | 23    | 96     | 78     | 26     | 78    | 17     | 54    | 78     | 26    |
| filter 4    | 32    | 16     | 24  | 23    | 96     | 64     | 23     | 78    | 21     | 54    | 78     | 32    |

Voor beoordeling van de meetneteffectiviteit voor detectie van normoverschrijding wordt onderstaande schaal voorgesteld:

- het meetnet is *effectief* wanneer een beperkte verontreiniging van het homogene gebied (0 - 25% van het gebiedsoppervlak) vrijwel zeker wordt gedetecteerd;
- het meetnet is *matig effectief* wanneer een verontreiniging van 25 - 50% van het homogene gebied vrijwel zeker wordt gedetecteerd;
- het meetnet is *weinig effectief* wanneer een verontreiniging van 50 - 75% van het homogene gebied vrijwel zeker wordt gedetecteerd;
- het meetnet is *niet effectief* wanneer een verontreiniging vrijwel zeker wordt gedetecteerd, terwijl vrijwel het gehele (75 tot 100%) homogene gebied verontreinigd is.

De figuren 7.5a en 7.5b geven, gebruik makende van de schaal voor de effectiviteit voor het waarnemen van normoverschrijdingen, een visuele indruk van de effectiviteit waarmee het PMG Zuid-Holland normoverschrijdingen vast kan stellen in de twaalf gebiedstypen waar waarnemingsputten zijn geplaatst. Daaruit blijkt, dat het PMG Zuid-Holland ten aanzien van het detecteren van normoverschrijding met name effectief is op een diepte groter dan ca. 12 m-mv in klei/veen kwelgebieden met akkerbouw en veeteelt en in infiltratiegebieden gekarakteriseerd door klei/veen bebouwd, oeverinfiltratie en tuinbouw op zand (figuur 7.5b). Hiermee voldoet het meetnet ten dele aan de doelstellingen, zoals die in het ontwerpdocument [Bloemendaal e.a., 1988] zijn geformuleerd. Zo komt bijvoorbeeld de relatie tussen oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit (oeverinfiltratie) bij de huidige meetinspanning voldoende tot uiting. Echter, voor monitoring van gebieden met een natuurfunctie is de huidige meetinspanning weinig of niet effectief.

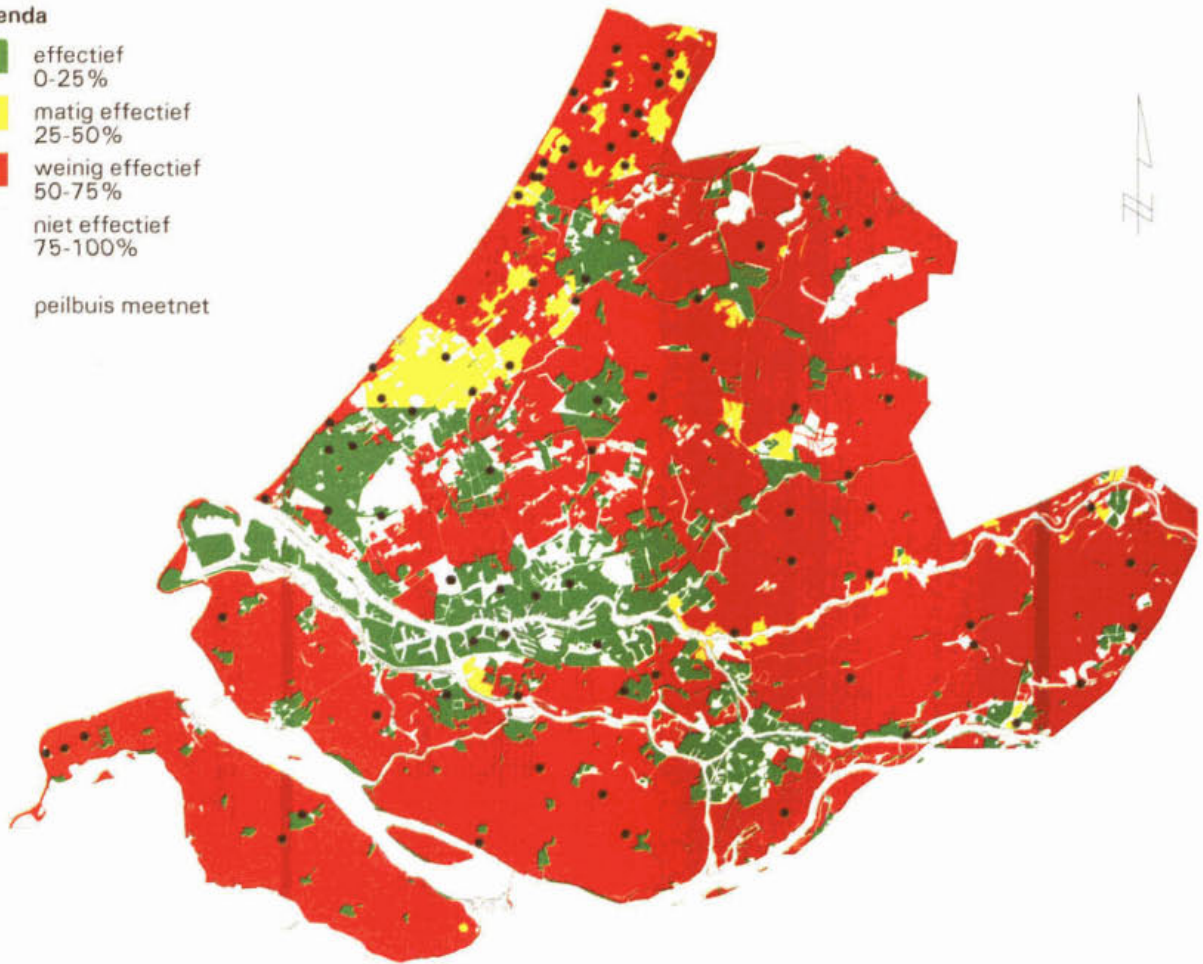
#### 7.4.6 Meetneteffectiviteit voor detectie van verzuringstrend in klei-/veengebieden

Een trend is te definiëren als een (semi-)permanente verandering van het gemiddelde van een proces, zoals bijvoorbeeld het gemiddelde van de concentratie sulfaat. De belangrijkste trendvormen zijn de monotone trend (een continue toe-, dan wel afname vanaf een bepaald tijdstip) en de staptrend (een eenmalige en blijvende verandering vanaf een bepaald tijdstip). Gezien de grote traagheden die geohydrochemische processen doorgaans kenmerken, is de aanname dat veranderingen van de grondwaterkwaliteit op zullen treden in de vorm van monotone trends gerechtvaardigd. Het signaleren van trends kan op twee manieren worden uitgevoerd,



### Legenda

- effectief  
0-25%
- matig effectief  
25-50%
- weinig effectief  
50-75%
- niet effectief  
75-100%
- peilbuis meetnet








Figuur 7.5a: Effectiviteit voor waarnemen van normoverschrijding, diepte < 12 m -m.v.

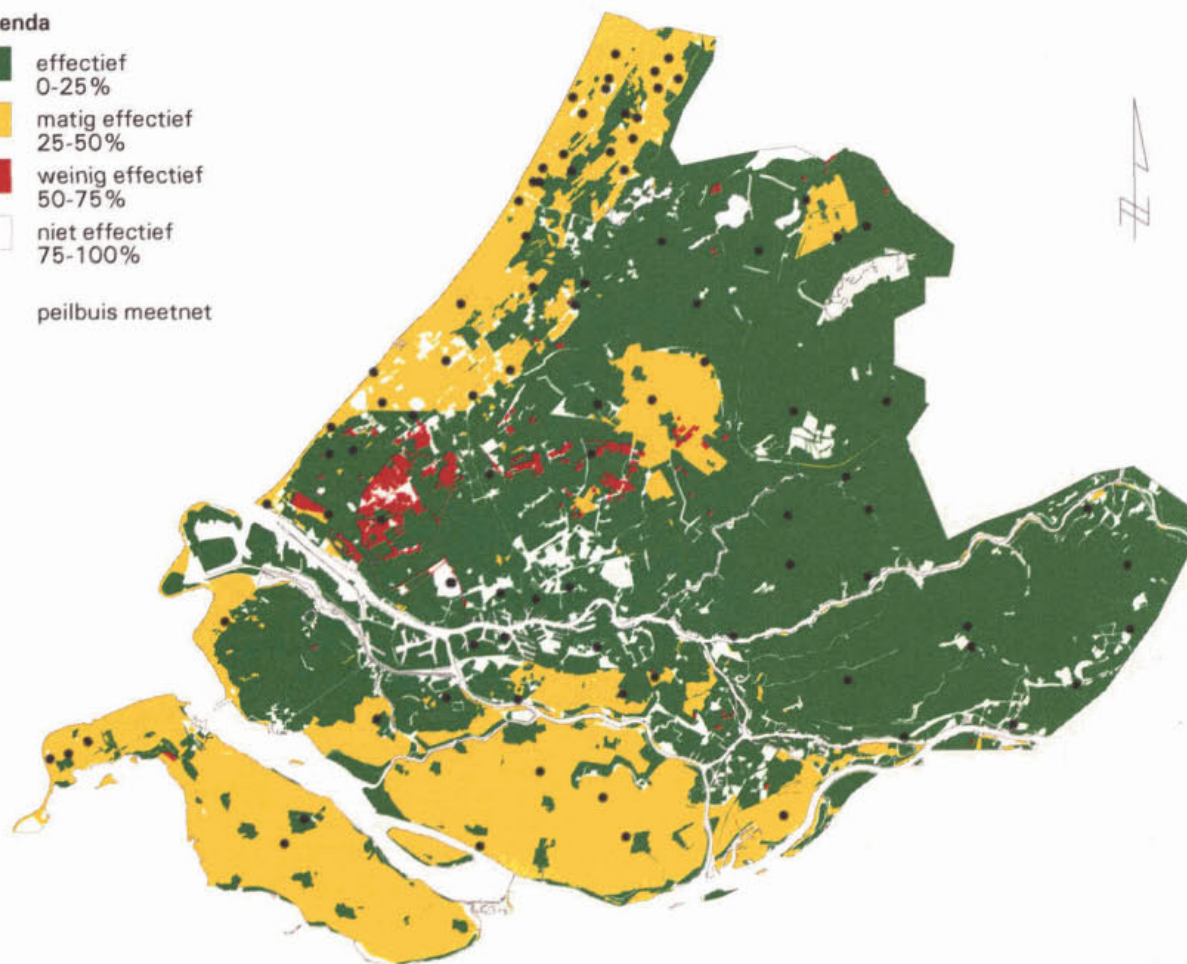
namelijk als trends in afzonderlijke meetpunten of als gebiedstrend. Het voorbeeld gaat in op trenddetectie in afzonderlijke meetpunten, omdat er nog geen goede methode voorhanden is voor het schatten van een gebiedstrend. Ook is ten opzichte van een gebiedstrend het onderscheidend vermogen van trenddetectie in afzonderlijke meetpunten groter omdat positieve en negatieve trends niet worden uitgemiddeld.

Als voorbeeld wordt ingegaan op de detectiekans van trends in de concentratie sulfaat in afzonderlijke meetpunten in de klei-/veengebieden in Zuid-Holland met als landgebruik 'grasland', 'bouwland' en 'overig'. Er wordt van uitgegaan dat de kansverdeling van meetwaarden in de tijdreeks benaderd kan worden met een normale kansverdeling.

Zoals in paragraaf 7.2.2 vermeld, kunnen de hardheid, aluminium en sulfaat als gidsparemeter voor verzuring dienen. Voor aluminium geldt dit met name in kalkloze zandgronden en voor de hardheid met name in kalkrijke zandgronden, zodat sulfaat overblijft als mogelijke gidsparemeter voor verzuring in de klei-/veengebieden.

## Legenda

-  effectief  
0-25%
-  matig effectief  
25-50%
-  weinig effectief  
50-75%
-  niet effectief  
75-100%
-  peilbuis meetnet



Figuur 7.5b: Effectiviteit voor waarnemen van normoverschrijding, diepte 12 m -m.v.

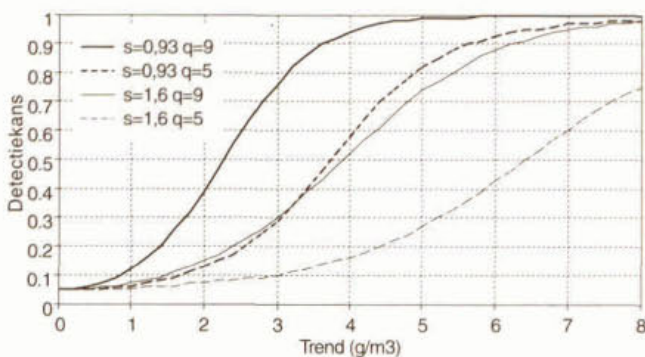
Bij de aangenomen normale kansverdeling van meetwaarden vormt lineaire regressie een geschikte trendtoets. De benodigde meetfrequentie om een bepaalde trend te kunnen detecteren hangt dan nog slechts af van de standaardafwijking van het trendloze proces ( $s_e$ ). De meetreeks vormt hierbij een steekproef uit dit proces. Om een indruk te krijgen van de huidige meetneteffectiviteit ten aanzien van de detectie van trends in de concentratie sulfaat, hebben we  $s_e$  geschat voor een aantal meetpunten in de Zuid-Hollandse klei-/veengebieden [Baggelaar en Van Beek, 1995]. De resultaten zijn vermeld in tabel 7.5.



Tabel 7.5: Geschatte temporele standaardafwijking ( $s_e$  in  $g/m^3$ ) en gemiddelde ( $x$  in  $g/m^3$ ) van de concentratie sulfaat in meetpunten voor drie soorten landgebruik in de klei-/veengebieden in Zuid-Holland (1987 t/m 1992).

| Landgebruik | Grasland          |      | Bouwland |      | Overige |      |      |
|-------------|-------------------|------|----------|------|---------|------|------|
|             | $s_e$             | $x$  | $s_e$    | $x$  | $s_e$   | $x$  |      |
| Parameters  |                   |      |          |      |         |      |      |
|             | Geschatte waarden | 0,62 | 6,60     | 0,43 | 0,76    | 0,75 | 0,83 |
|             |                   | 0,65 | 0,84     | 1,44 | 4,98    | 0,93 | 0,95 |
|             |                   | 0,69 | 0,56     | 1,61 | 37,0    | 3,74 | 8,88 |
|             |                   | 0,76 | 0,68     |      |         |      |      |
|             |                   | 1,14 | 0,70     |      |         |      |      |
|             | 1,19              | 1,08 |          |      |         |      |      |
|             | 1,59              | 1,29 |          |      |         |      |      |
| Minimum     | 0,62              | 0,56 | 0,43     | 0,76 | 0,75    | 0,83 |      |
| Mediaan     | 0,76              | 0,84 | 1,44     | 4,98 | 0,93    | 0,95 |      |
| Maximum     | 1,59              | 6,60 | 1,61     | 37,0 | 3,74    | 8,88 |      |

De mediaan van de temporele standaardafwijking van de concentratie sulfaat verschilt per landgebruik en neemt toe in de volgorde grasland, overige, bouwland. Als we geen onderscheid naar landgebruik maken en de 13 schattingen samenvoegen, dan bedraagt de mediaan  $0,93 g/m^3$  en het 90-percentiel  $1,60 g/m^3$ . Deze kunnen worden gezien als karakteristieke waarden van de temporele standaardafwijking van de concentratie sulfaat in de Zuid-Hollandse klei-/veengebieden. Aan de hand van deze karakteristieke waarden kunnen we een beeld schetsen van de huidige meetneteffectiviteit ten aanzien van de detectie van sulfaattrends in afzonderlijke meetpunten. In figuur 7.6 is de detectiekans bij een gehanteerde betrouwbaarheid van 95% weergegeven (Y-as), als functie van de verandering in



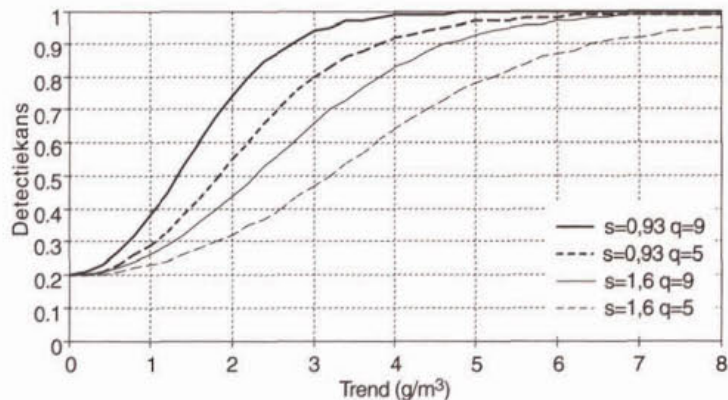
het procesgemiddelde (op de X-as), de twee karakteristieke waarden van de standaardafwijking van de concentratie sulfaat ( $s_e=0,93$  of  $1,60$ ) en het aantal onafhankelijke waarnemingen ( $q=5$  of  $9$ ).

Figuur 7.6: Detectiekansen van een trend in sulfaat bij 95% betrouwbaarheid - Zuid-Hollandse klei-/veengebieden.

De keuze van deze aantallen waarnemingen sluit aan op het feit dat er vierjaarlijks een provinciaal beleidsplan wordt opgesteld. Bij jaarlijks bemonsteren komen er over een dergelijke periode dan 5 en over twee perioden 9 waarnemingen beschikbaar, terwijl er bij tweejaarlijks bemonsteren over twee van dergelijke perioden 5 waarnemingen beschikbaar komen.

Uit figuur 7.6 blijkt, dat een verandering in een proces moeilijker te detecteren valt, naarmate de natuurlijke variatie van dat proces groter is en naarmate er minder waarnemingen beschikbaar zijn. Het verhogen van de meetfrequentie biedt verder nauwelijks uitkomst, omdat er bij meer dan één waarneming per jaar seriële afhankelijkheid tussen de waarnemingen wordt geïntroduceerd, zodat er nauwelijks informatiewinst kan worden geboekt. Uit deze figuur kunnen we tevens afleiden wat voor de geschetste processen de prijs is van het verlagen van een jaarlijkse meetfrequentie naar een tweejaarlijkse meetfrequentie. Stel dat we binnen 8 jaar een trend van  $3 \text{ g/m}^3$  willen kunnen detecteren in een proces met standaardafwijking  $0,93 \text{ g/m}^3$ . Bij jaarlijks meten ( $q=9$ ) bedraagt de detectiekans dan 75%, maar bij tweejaarlijks meten ( $q=5$ ) slechts 30%.

We kunnen de detectiekans van een trend natuurlijk ook opschroeven door genoeg te nemen met minder betrouwbaarheid, bijvoorbeeld 80% (zie figuur 7.7). De prijs daarvoor is echter dat de kans op onterechte trenddetectie (de detectiekans als er helemaal geen trend is) vrij hoog wordt, namelijk 20%.



Figuur 7.7: Detectiekansen van een trend in sulfaat bij 80% betrouwbaarheid - Zuid-Hollandse klei-veengebieden.

## 7.5 Voorgestelde procedure voor evaluatie van grondwaterkwaliteitsmeetnetten

Optimalisatie van meetnetten is in dit rapport opgevat als een proces, waarbij het meetnet in fasen wordt verbeterd (zie hoofdstuk 4). Door Bagelaar en Van Beek [1995] is voor de optimalisatie van grootschalige grondwaterkwaliteitsmeetnetten een procedure opgesteld. Het hier gepresenteerde stappenplan voor evaluatie van de meetnetten kan worden beschouwd als een eerste stap in een dergelijk optimalisatie proces. Hierbij wordt de vraag beantwoord: 'Hoe effectief is het meetnet ingericht?'



In het onderhavige onderzoek (hoofdstuk 7) is een aanzet gegeven voor evaluatie van PMG's ten opzichte van de primaire doelstellingen: signalering van de knelpunten in de grondwaterkwaliteit en detectie van trends in de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit. De aangegeven werkwijze voor het doen van uitspraken over de effectiviteit van PMG's is in deze paragraaf uitgewerkt tot een algemeen bruikbaar stappenplan.

### ***Stap 1: Vaststelling van de meetdoelstellingen***

De meetdoelstellingen worden bepaald door de provinciale taken en thema's, waarvoor de informatie nodig is. De doelstellingen moeten voor elk van deze taken of beleidsthema's in principe worden gespecificeerd (zie hoofdstuk 4). Zoals boven aangegeven zijn de doelstellingen voor de grondwater kwaliteitsmeetnetten primair 'het vaststellen van knelpunten (normoverschrijding)' en 'het signaleren van trends'.

### ***Stap 2: Inventarisatie van potentiële probleemgebieden en vaststelling van het aantal meetpunten per homogeen gebied***

Voor een gekozen beleidsthema (vermesting, verzuring, verspreiding, algemene verontreiniging) moet worden vastgesteld welke gebieden potentieel kunnen zijn verontreinigd. In deze gebieden zal bemonstering moeten plaatsvinden om op de kernvragen betreffende normoverschrijding of de aanwezigheid van trends te kunnen beantwoorden. De selectie van potentiële probleemgebieden vindt grotendeels plaats op basis van het landgebruik. Voor het thema vermesting, bijvoorbeeld, worden de gebieden geselecteerd waar vermesting op kan treden, dus in het algemeen de landbouwgebieden. Bij de ernst van de problemen spelen evenwel ook andere condities in het gebied, zoals de bodemgesteldheid en de geohydrologische condities een rol (zie 7.2.2). Het heeft dus zin om ook deze condities in kaart te brengen. Uit een indeling van de gebieden naar de genoemde condities volgt een overzicht van zogenaamde 'homogene gebieden'. Tenslotte moet worden nagegaan hoe de meetpunten over de verschillende homogene gebieden zijn verdeeld. Het is zinvol gebleken daarbij de condities van hun ligging opnieuw te controleren [Broers, 1996].

### ***Stap 3: Keuze van gidsparameters***

Voor het geselecteerde beleidsthema en de potentiële verontreinigingsgebieden moeten vervolgens gidsparameters worden gekozen die het meest in aanmerking komen voor het toetsen van de normoverschrijding of trends. Gidsparameters zijn parameters die karakteristiek zijn voor een bepaald milieuthema. Een parameter mag een geschikte gidsparameter voor een milieuthema worden genoemd, als zijn concentratie sterk bepalend is voor de mate van verontreiniging en minder wordt beïnvloed door andere factoren, zoals de interactie met de bodem. Omdat met name de bodemsamenstelling en de grondwatersituatie sterk kunnen variëren per gebiedstype, wordt de geschiktheid van de parameter als gidsparameter mede bepaald door deze condities in het gebied. Baggelaar en Van Beek [1995] hebben voor de milieuthema's vermesting, verspreiding, verzuring en algemene verontreiniging een overzicht gegeven van de bruikbare gidsparameters met een specificatie van de condities (zie tabel 7.1 en bijlage C).

#### ***Stap 4: Clustering van homogene gebieden***

Ga na of het clusteren van gebieden zinvol en mogelijk is. Clusteren heeft zin als door het samenvoegen van gegevens over een parameter uit verschillende gebieden hardere uitspraken gedaan kunnen worden over het milieuthema waarvoor deze parameter representatief wordt geacht. Daarbij mag geen zinvolle informatie verloren gaan.

Om uitspraken te doen over toestand of trend behoeven niet altijd alle homogene gebieden afzonderlijk te worden beschouwd. Als de frequentieverdelingen daar aanleiding toe geven, kunnen gegevens uit verschillende gebieden worden gecombineerd. Baggelaar en Van Beek [1995] geven aanwijzingen omtrent het verantwoord uitvoeren van een dergelijke clustering van gebieden.

#### ***Stap 5: Vaststelling van relatie tussen meetinspanning en meetneteffectiviteit***

Kies een maat voor de meetneteffectiviteit die aansluit op de doelstellingen en informatiebehoefte en leid de relatie af tussen de meetinspanning en de meetnet-effectiviteit. Baggelaar en Van Beek [1995] doen voor de genoemde primaire doelstellingen een aantal suggesties voor effectiviteitsmaten, waarvan in dit hoofdstuk de volgende besproken zijn: a) het percentage normoverschrijding, waarbij het meetnet normoverschrijding detecteert en b) de detectiekans van een trend van een bepaalde grootte over een bepaalde periode.

#### ***Stap 6: Vaststelling van gewenste meetneteffectiviteit en evaluatie van bestaande meetneteffectiviteit***

Stel de wensen van de gebruikers vast ten aanzien van meetneteffectiviteit en ga na of het bestaande meetnet aan de gewenste meetneteffectiviteit voldoet. De evaluatie omvat verder het trekken van conclusies over de bestaande meetneteffectiviteit met betrekking tot het onderzochte thema en het doen van aanbevelingen ten aanzien van meetnetverbeteringen.

#### ***Stap 7: Evaluatie van het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet***

Het provinciale meetnet voor grondwaterkwaliteit kan in zijn totaliteit worden geëvalueerd aan de hand van een inventarisatie van de bij de verschillende provinciale aandachtsvelden behorende meetnetspecificaties. Bij de besluiten ten aanzien van uitbreidingen en veranderingen in het meetnet zullen ook de beschikbare middelen in beschouwing moeten worden genomen. Dit betekent in het algemeen dat moet worden gezocht naar een zo goed mogelijk evenwicht tussen de kosten en de verkregen informatie.



***Opmerking:***

De volgorde van de activiteiten in een evaluatieprocedure behoeft niet noodzakelijkerwijs precies dezelfde te zijn als bovenstaand aangegeven. Bij een evaluatie van het meetnet voor verscheidene milieuthema's tegelijk kan het bijvoorbeeld zinvol zijn om eerst een overzicht te maken van de veronderstelde homogene gebieden en een degelijke controle uit te voeren van de ligging van de meetpunten binnen die gebieden [Broers, 1996a], voordat wordt overgegaan tot een uitwerking van de benodigde meetneteigenschappen voor de verschillende thema's. De evaluatieprocedure blijft daarbij echter in principe hetzelfde.

## 8 Integratie van meetnetten

### 8.1 Doel en opzet van het hoofdstuk

Uit de provincies is de vraag naar voren gekomen of de integratie van meetnetten een logische stap is in verband met de in gebruik zijnde watersysteembenadering en of daarmee efficiëntieverbetering en kostenverlaging kunnen worden bereikt.

Enigszins vooruitlopende op de resultaten, blijkt dat onderlinge afstemming van de meetinspanningen in de twee provinciale grondwatermeetnetten helaas geen goed financieel perspectief biedt. De verschillen in meetfrequentie en bemonsteringstechniek zijn daarvoor in het algemeen te groot. Vanuit een technisch perspectief zijn de voordelen van een goede afstemming van de meetnetten echter heel evident. Met name het integrale waterbeheer kan van een goede afstemming profiteren. Door voldoende aandacht te besteden aan de gewenste combinatie van gegevens in het onderzoek, zullen op de lange termijn beter afgestemde gegevensbestanden ontstaan, die de efficiëntie in het onderzoek ten goede komen. In dit hoofdstuk zal daarom vooral aan het afstemmen van de meetnetten in technische zin aandacht worden besteed.

De onderkenning van 'grondwatersystemen' en, in breder verband, van 'watersystemen' wordt algemeen gezien als een goede basis om de samenhang tussen de geohydrologische en geochemische processen aan te geven. Het waterbeheer maakt steeds intensiever gebruik van de kennis betreffende de watersystemen om de ontwikkelingen in natuur en milieu te sturen. De kennis van de watersystemen is dan ook van groot belang voor de afstemming van de meetnetten op de processen en op de vragen uit het waterbeheer. Hoewel het onderzoek naar de watersystemen in Nederland nog bepaald niet is voltooid en verstoringen van de systemen het verband tussen de processen en bijbehorende gegevens in sterke mate kunnen camoufleren, is een analyse van de processen volgens de watersysteembenadering in principe logisch. In dit hoofdstuk zal daarom worden nagegaan wat de watersysteembenadering voor de afstemming van de meetnetten betekent.

In paragraaf 8.2 wordt ingegaan op de definities van integratie en op de historie van de ontwikkelingen. In paragraaf 8.3 wordt de wenselijkheid van de integratie besproken volgens de onder provincies gehouden enquête en interviews. Paragraaf 8.4 besteedt aandacht aan de integratie van grondwatermeetnetten en oppervlaktewatermeetnetten vanuit een technisch perspectief. In paragraaf 8.5 worden de mogelijkheden van de watersysteembenadering als basis voor waterbeheer en afstemming van de meetnetten beschouwd. Paragraaf 8.6 beschrijft de procedure voor afstemming van grondwatermeetnetten en oppervlaktewatermeetnetten. In paragraaf 8.7 volgen aanbevelingen.

Vanwege de prioriteiten in het onderzoek wordt volstaan met een betrekkelijk beknopte bespreking met enkele aanbevelingen. Verder wordt uitvoering van een vervolgonderzoek aanbevolen, waarin de integrale evaluatie van meetnetten in een tweetal proefgebieden kan worden uitgewerkt op basis van de voorgestelde procedure.



## 8.2 Achtergronden en definities

Er zijn verschillende vormen denkbaar voor het afstemmen van de meetnetten op het onderzoek, variërend tussen totale onafhankelijkheid en volledige afstemming. De onderstaande definities geven de vorm van afhankelijkheid weer. Van *'gecombineerd gebruik van de meetnetten'* wordt gesproken als de meetgegevens uit de meetnetten wel voor dezelfde onderzoeksdoelen worden gebruikt, maar de meetnetten niet op elkaar zijn afgestemd. Van *'integratie van meetnetten'* wordt gesproken indien de meetnetinrichting en/of het meet- en bemonsteringsprogramma van de verschillende meetnetten op elkaar zijn afgestemd.

De keuze tussen gecombineerd gebruik of meetnetintegratie wordt medebepaald door de voordelen die meetnetintegratie op kan leveren. Deze kunnen zijn:

- *technische voordelen*: een meerwaarde van de gegevens door onderlinge afstemming van de meetnetten en de meetfrequentie.
- *logistieke voordelen*: een hogere efficiëntie in het meten en het onderhoud door afstemming van de meetprogramma's en onderhoudsprogramma's.
- *financiële voordelen*: geringere investeringen in meetnetten, meet- en onderhoudsprogramma's.

In het verleden hebben deze mogelijke voordelen niet geleid tot meetnetintegratie bij de grondwatermeetnetten. In een door RIVM en TNO in 1986 georganiseerde workshop, waaraan alle provincies deelnamen, bestond één van de vier besproken thema's uit de integratie van grondwaterkwantiteits- en grondwaterkwaliteitsmeetnetten [Van Duijvenbooden et al, 1986]. Hoewel het algemene nut van integratie werd ingezien (conclusies 3, 5, 6 en 8), werd vastgesteld dat "aan meetpunten van een kwaliteits- of geïntegreerd meetnet hogere eisen worden gesteld dan aan de meetnetten van grondwaterstanden" (conclusie 2). Bij het ontwerp van de provinciale meetnetten voor de grondwaterkwaliteit, waarvan installatie nog moest plaatsvinden, is duidelijk geoordeeld dat integratie met de stijghoogtemeetnetten in dat stadium niet mogelijk of niet wenselijk was, want van integratie van de beide meetnetten is het niet gekomen.

Met name uit het oogpunt van kostenbeperking is er nu, anno 1997, opnieuw belangstelling voor integratie van de meetnetten. Aangezien het bestaan van de primaire grondwaterstijghoogte- en grondwaterkwaliteitsmeetnetten nu een feit is, zijn de mogelijkheden van integratie, bijvoorbeeld van de afstemming van locaties, voor deze combinatie beperkt tot de aanpassingen die de lopende budgetten nog toelaten.

## 8.3 Wenselijkheid van integratie volgens de enquête

In de beginfase van het project zijn door middel van een enquête onder de provincies over de mogelijkheden en wenselijkheden van de integratie van meetnetten vragen gesteld. De vragen zijn in tabelvorm gesteld waarbij werd gevraagd naar de mogelijkheid en wenselijkheid van integratie van de verschillende meetnetten vanuit technisch en logistiek perspectief. Daarnaast werd gevraagd de hoogste

prioriteiten aan te geven. De uit de enquête verkregen indrukken zijn vervolgens via de interviews met de provincies Drenthe, Gelderland, Zuid-Holland en Noord-Brabant opnieuw ter sprake gebracht. Hoewel op verschillende punten waardevolle aanvullingen op de antwoorden konden worden gegeven, werden geen nieuwe elementen toegevoegd.

Acht provincies hebben de gestelde vragen in de tabellen beantwoord. Een samenvatting van de resultaten is als volgt.

1. In het algemeen werd aan de wenselijkheid van integratie van meetnetten vanuit een technisch perspectief het meeste gewicht (de hoogste waardering) gegeven. Hoog op de lijst staan een goede afstemming van de grondwatermeetnetten onderling (zowel kwantiteits- als kwaliteitsmeetnetten) en de afstemming van het grondwaterstandsmeetnet met dat van oppervlaktewaterpeilen. Ook de afstemming van de meetnetten van grondwaterstanden en ecologie, en van bodem- en grondwaterkwaliteit scoren hoog. Tenslotte wordt ook de relatie tussen oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit als belangrijk gezien.
2. De wenselijkheid van integratie vanuit een logistiek perspectief wordt aanmerkelijk lager aangeslagen. De hoogste scores zijn voor de afstemming van meetnetten van grondwaterstijghoogte en freatische grondwaterstanden, en grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen. Ook uit de gesprekken blijkt dat men in logistieke integratie, met uitzondering van de bovengenoemde voorbeelden, weinig mogelijkheden ziet. De redenen zijn de technische belemmeringen, de totaal verschillende frequenties van waarnemen bij kwantiteits- en kwaliteitsmeetnetten, de verschillen in vereiste expertise bij bemonstering en gevaren van verontreiniging.
3. Bij het toekennen van de prioriteiten zijn het dezelfde groepen die hoog scoren: enerzijds de relatie tussen grondwatermeetnetten onderling en grondwatermeetnetten en oppervlaktewaterpeilen, en anderzijds de meetnetten van grondwaterstanden, ecologie en bodem- en grondwaterkwaliteit.

Resumerend kan worden gesteld dat een logistieke afstemming van het meten (of de bemonstering) in de waterkwaliteits- en waterkwantiteitsmeetnetten, vanwege de grote verschillen in meetfrequentie en analysemethoden, niet als een goede mogelijkheid wordt gezien. Dit geldt voor de grondwatermeetnetten en, naar verwachting, evenzeer voor de oppervlaktewatermeetnetten. Het afstemmen van het meten van grondwaterstanden, de grondwaterstijghoogte en de oppervlaktewaterpeilen is wellicht mogelijk en zal verder moeten worden nagegaan.

De noodzaak van onderlinge afstemming van de meetnetten hangt tevens af van het belang dat het meetnet voor integraal onderzoek vertegenwoordigt. Voor de meetnetten van grondwater en kleine oppervlaktewateren geldt het (geo)hydrologisch onderzoek in het kader van beleid en beheer als een zodanig belangrijke gebruiker dat een goede afstemming een duidelijke winst kan betekenen. Voor de meteorologische meetnetten is het hydrologisch onderzoek slechts een betrekkelijk kleine en weinig-eisende gebruiker. Afstemming van deze meetnetten met die van grondwater en oppervlaktewater ligt daarom minder voor de hand.



De verdere bespreking zal zich in eerste instantie concentreren op de mogelijkheden van een technische afstemming van de meetnetten voor de relaties die door de provincies als het belangrijkste werden gekenmerkt.

#### 8.4 Integratie van meetnetten vanuit technisch perspectief

Bij onderzoek naar de mogelijkheden van de integratie van meetnetten is gekozen voor een eerste beoordeling vanuit technisch perspectief. De doelstelling daarbij is om na te gaan of integratie van meetnetten mogelijk en zinvol is vanwege de *meerwaarde van de gegevensbestanden voor de het onderzoek in het kader van waterbeheer en -beleid*. Integratie van meetnetten betekent in dit verband de afstemming van de meetnetten (meetpuntlocaties, meetmethoden en meetfrequentie) ten behoeve van een optimale gegevensinwinning. Op basis van de huidige situatie en kennis (anno 1997), wordt een visie gegeven op de mogelijkheden om een betere afstemming van de meetnetten te verkrijgen voor toekomstig onderzoek. Daarbij is onderscheid gemaakt naar 'thematisch onderzoek' en 'regionaal of gebiedsgewijs onderzoek'.

##### *Thematisch onderzoek*

Bij thematisch onderzoek worden de ontwikkelingen in de toestand van het grondwater of oppervlaktewater onderzocht in relatie met bijvoorbeeld landontwikkeling, verdroging, vermesting, verzuring en verspreiding van stoffen. De relaties tussen de invloeden en effecten worden tamelijk globaal onderzocht. Dit geldt zowel voor het verkennende stadium als voor het vervolgstadium waarin het effect van maatregelen wordt onderzocht. De ontwikkelingen van representatieve kwantiteits- of kwaliteitsparameters worden daarbij afgezet tegen de gestelde normen. Voor zover van verschillende gegevenssoorten gebruik wordt gemaakt, kan dit proces worden gekenschetst als 'gecombineerd gebruik'. De ervaringen met dit onderzoek zullen hier op een rij worden gezet.

De ervaring met het landelijke meetnet van grondwaterkwaliteit is dat de gegevens tot nu toe vooral voor thematische studies zijn gebruikt (zie de rapporten van RIVM). Uit het onderzoek valt niet af te leiden dat integratie van meetnetten, met uitzondering wellicht van de meetnetten voor bodem- en grondwaterkwaliteit, tot belangrijke technische voordelen zou leiden.

Bij het onderzoek naar de waterkwaliteit in de provincies, met belangrijke thema's als *vermesting, verzuring en verspreiding*, wordt met enig succes gebruik gemaakt van de inzichten in watersystemen. Een voorbeeld hiervan is het onderzoek 'Evaluatie van het meetnet voor grondwaterkwaliteit van de provincie Drenthe' [Broers, 1996], waarin, voorafgaand aan de meetnetevaluatie (deel 3), een uitgebreide analyse is gemaakt van de grondwaterkwaliteit in de provincie (deel 1) en van de trends daarin (deel 2) als gevolg van verschillende invloeden. In het rapport worden 'homogene deelgebieden' benoemd op basis van een combinatie van karakteristieke kenmerken. Een homogeen deelgebied wordt gekenmerkt door de geohydrologische situatie (*infiltratiegebieden, intermediaire gebieden en kwel-*

gebieden), het bodemtype (zand, veen, klei) en het landgebruik (bouwland, gras en bos/natuurgebied). De grondwaterkwaliteit binnen de deelgebieden houdt een duidelijk verband met de specifieke combinatie van de drie kenmerken. De trends in de waterkwaliteit waren lastiger uit te leggen. Het aantal meetpunten per homogeen deelgebied is in het laatste deel van de studie afgestemd op de betrouwbaarheid waarmee de grondwaterkwaliteit moet kunnen worden vastgelegd. De studie laat zien dat de elementen van de watersysteembenadering een belangrijk onderdeel vormen voor de analyses. De meetnetaanpassingen kunnen evenwel beperkt blijven tot een geringe uitbreiding van het aantal meetpunten in enkele van de homogene gebieden. Het afstemmen van meetnetten is niet nodig, met uitzondering wellicht van de meetnetten voor bodemkwaliteit en grondwaterkwaliteit.

Bij verdrogingsstudies blijkt dat grotendeels wordt uitgegaan van de situatie in natuurgebieden. Bij de landelijke thematische aanpak wordt niet verder gegaan dan het inrichten van enkele grondwaterstandsbuizen in de natuurterreinen.

*Uit het merendeel van deze onderzoeken ontstaat de indruk dat binnen het thematisch onderzoek naar de gevolgen van waterbeheers- en milieubeschermdende maatregelen, waarbij het gaat om toestandbeschrijvingen en trendanalyses in relatie tot normen, slechts een heel beperkte behoefte bestaat aan afstemming van meetnetten op elkaar.*

#### *Regionaal of gebiedsgewijs onderzoek*

In het regionale onderzoek wordt, veel meer dan in het thematische onderzoek, gewerkt op basis van de kwantificering van geo-hydrologische en geo-chemische processen binnen een gebied. Daarbij ligt de nadruk meer op de situatie in het betreffende gebied en op een kwantitatieve uitwerking van de positieve en negatieve effecten van maatregelen in het betreffende gebied. Voorbeelden zijn studies van de geohydrologie in een gebied en van het effect van ingrepen in de waterhuishouding voor verschillende belanghebbenden in het gebied. Ook regionale modelstudies van verontreinigingen in het grond en oppervlaktewater vallen hieronder. De provinciale meetnetten vormen hiervoor, tezamen met de meetnetten van oppervlaktewaterafvoeren, oppervlaktewaterkwaliteit en de meetnetten van neerslag en verdamping de belangrijkste gegevensbronnen.

Aangezien water van een goede kwaliteit relatief schaars is, en de effecten van beheersmaatregelen voor verschillende gebruikers consequenties hebben, wordt het *integraal waterbeheer* voor de regio's steeds belangrijker. Deze vorm van waterbeheer vraagt om een aanpak, waarbij de kennis van de watersystemen in de betreffende regio een basisvoorwaarde vormen [Engelen en Kloosterman, 1996]. In deze context kan de afstemming van meetnetten, waarbij aan de samenhang van de gegevens grote zorg wordt besteed, tot een grotere betrouwbaarheid van de onderzoeksresultaten leiden. Door het vermijden van de inwinning van overbodige gegevens worden bovendien een hogere efficiëntie en op termijn een kostenbesparing in het meten en de gegevensverwerking en -opslag bereikt. Deze integrale aanpak betekent een belangrijke drijfveer voor het afstemmen van de meetnetten op elkaar.



## 8.5 Watersystemen als basis voor waterbeheer en afstemming van meetnetten

Het beleids- en beheersondersteunend onderzoek is gebaat bij een goede afstemming van de meetnetten van grondwater en oppervlaktewater, vanwege de meerwaarde die kan worden bereikt met op elkaar afgestemde gegevens. Men moet zich daarbij afvragen voor welke analyses de gegevens in combinatie worden gebruikt en hoe de gegevensinwinning afgestemd kan worden op deze doelstellingen, zodanig dat een optimaler resultaat ontstaat. De basis voor onderlinge afstemming van metingen wordt gevormd door de samenhang in de geohydrologische en geochemische processen, die naar de huidige inzichten in belangrijke mate plaatsvinden binnen de zogenaamde 'hydrologische systemen' of 'watersystemen'.

Onderstaand wordt ingegaan op de kenmerken van de watersystemen en de wijze waarop ze kunnen worden onderscheiden en begrensd. Ook worden de mogelijkheden om ze te benutten voor de onderlinge afstemming van meetnetten besproken.

### *Watersystemen als bindend element*

De interactie tussen grondwater en oppervlaktewater verloopt via de hydrologische, chemische en biologische processen die deels aan het aardoppervlak en deels in de ondergrond plaatsvinden. Het onderzoek naar deze processen heeft geleid tot het onderscheiden van de bekende 'hydrologische' of 'watersystemen' [Engelen en Kloosterman, 1996]. De watersystemen vormen belangrijke eenheden voor de ontwikkeling van de waterkwaliteit en van de daarvan afhankelijke flora en fauna. Kennis van de systemen is daarom van groot belang voor het evenwichtig gebruik van het water. In het beleid en beheer ten aanzien van water, milieu en infrastructuur wordt dan ook in toenemende mate gebruik gemaakt van deze kennis. Zowel in de verkennende fase als in het vervolgtraject van planning van ingrepen en controle van de effecten van de ingrepen wordt met de systemen rekening gehouden. *Bij de afstemming van de meetnetten op de vragen uit het water- en milieubeheer vormen de watersystemen dan ook een belangrijk bindend element.* Dit geldt in toenemende mate als het waterbeheer het stadium van integraal waterbeheer bereikt.

Een 'hydrologisch systeem' of 'watersysteem' wordt door Engelen gedefinieerd als 'een geografisch onderscheiden, samenhangende, functionele eenheid van subsystemen van oppervlaktewater, bodemvocht en grondwater, waterbodems, oevers, en technische infrastructuur, inclusief de biotische samenleving/component en de ermee samenhangende natuurlijke en kunstmatige, fysische, chemische en biologische eigenschappen en processen.' Zonder aan deze uitgebreide formulering af te doen, wordt de term 'watersysteem' hier vooral gebruikt voor een samenhangend geheel van een 'oppervlaktewatersysteem' en de daarmee verbonden 'grondwatersystemen'.

Er is, zoals kan worden aangetoond, een duidelijke samenhang in de schalen van oppervlaktewatersystemen en grondwatersystemen. De reden is dat de grondwaterstromingssystemen in belangrijke mate door verschillen in topografische hoogte worden gevormd, waarbij de schaal van de grondwatersystemen mede afhankelijk

is van de 'drainagebasis' van het systeem. Dit is het minimale peil van een waterloop of een kweloppervlak waarop het systeem ontwaterd. Deze ontwateringsdrempels liggen voor de kleine watersystemen van een gebied topografisch hoger dan voor de grotere systemen. Kleine, ondiepe grondwatersystemen vormen zich daardoor om de kleine waterlopen van het oppervlaktewater, of zelfs in de omgeving van drainageleidingen, terwijl middelgrote en grote grondwatersystemen zich vormen naar de grotere waterlopen.

Het afstemmen van de meetnetten op de watersystemen en de processen die deze genereren staat of valt met de mogelijkheden om deze watersystemen te kunnen onderscheiden en in kaart te brengen. Terwijl de begrenzing van de oppervlaktewatersystemen in het algemeen goed is aan te geven, is het begrenzen van grondwatersystemen een minder gemakkelijke taak. In het onderstaande wordt op deze indeling verder ingegaan.

#### *Indeling en begrenzing van watersystemen op basis van oppervlaktewateren*

In opdracht van RIZA is door IWACO de '*Leidraad begrenzing watersystemen en bewerking watersysteeminformatie*' opgesteld [IWACO, 1996]. Het rapport is volgens de inleiding bedoeld om een uniforme wijze van onderscheid van de watersystemen tot stand te brengen op de verschillende niveaus van het waterbeheer. In het rapport worden richtlijnen gegeven voor het begrenzen van watersystemen, voornamelijk op basis van de indeling van oppervlaktewateren. Deze indeling is op haar beurt gebaseerd op de 'Handleiding Waterstaatkundig Informatie Systeem' van de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat [Rijkswaterstaat, 1995]. De in het rapport voorgestelde indeling wordt ook voor wat betreft de indeling van grondwatersystemen als een goede aanzet beschouwd, reden waarom een aantal relevante zaken van het IWACO rapport hier worden samengevat.

- Het rapport maakt zich sterk voor een indeling van de watersystemen op basis van de oppervlakte wateren. De oppervlaktewateren kunnen worden gerangschikt van een laag schaalniveau (afwateringseenheid), via tussenniveaus (afwateringsgebied, deelstroomgebied, stroomgebied) naar het hoogste schaalniveau (het hoofdsysteem). Dit is een zogenaamd genest systeem, waarbij verschillende kleinere systemen in principe steeds een groter systeem vormen. De indeling komt overeen met die van de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat.
- Het rapport benadrukt de noodzaak van aggregatie van watersystemen in verband met de mogelijkheden die dit verschaft voor de ondersteuning van het water- en milieubeheer op de verschillende niveaus (rijks, regionaal, subregionaal en lokaal). Voor de uniformiteit in de indeling wordt aanbevolen steeds de ontvangende wateren als basis voor de aggregatie te nemen. Dit is een belangrijk punt: de indeling neemt hier in feite de oorspronkelijk natuurlijke indeling van de waterlopen als basis voor aggregatie van gegevens. Andere indelingen, bijvoorbeeld volgens het systeem van wateraanvoer kunnen niet op deze wijze worden gebruikt en worden daarom als minder geschikt beschouwd.

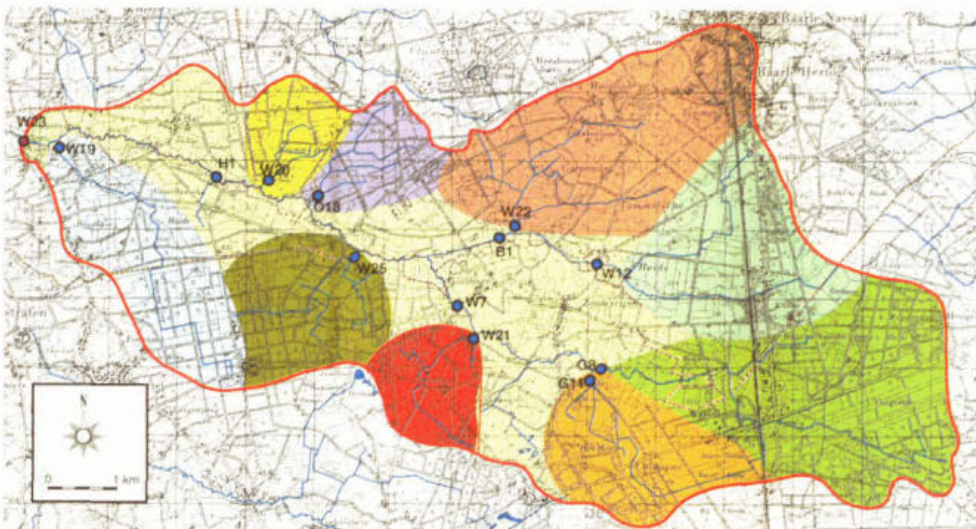


- Het rapport benadrukt verder de voor de hand liggende relatie tussen watersystemen en meetnetten. Terecht wordt opgemerkt dat de onderscheiden watersystemen essentieel zijn voor de inrichting van meetnetten, waarmee vervolgens een meer optimale inwinning van gegevens kan ontstaan die beter is afgestemd op de behoefte van het water- en milieubeheer op de verschillende niveaus.

De in het rapport beschreven samenhang tussen oppervlaktewateren en grondwater is te summier om als basis te dienen voor een beschouwing over meetnetintegratie. Daarom volgt hier een nadere beschouwing.

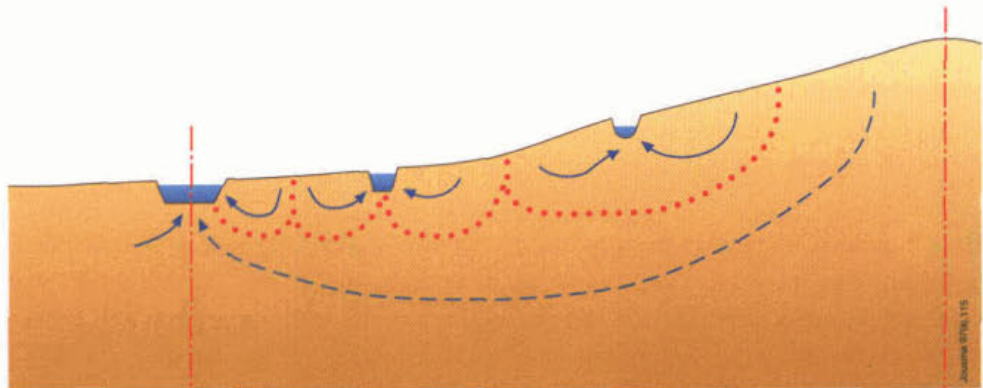
#### *Relatie tussen oppervlaktewatersystemen en grondwatersystemen*

Een grondwaterstromingssysteem is een stromingssysteem dat een infiltratiezone verbindt met één (of meer) exfiltratiezone(s). De infiltratiezones liggen op de waterscheiding van stroomgebieden (zie de kleurovergangen in figuur 8.1), terwijl de exfiltratiezones aan de waterlopen liggen.



*Figuur 8.1: Substroomgebieden in stroomgebied 't Merkske*

Grondwatersystemen worden onderscheiden in lokale, sub-regionale en regionale systemen. Ze vormen in het algemeen een hiërarchie van geneste systemen, waarvan de kleine, dynamische systemen boven de grote, minder dynamische liggen. De lokale systemen vormen zich om ondiepe waterlopen of depressies en verbinden aan elkaar grenzende infiltratie- en exfiltratiegebieden. De grotere sub-regionale systemen verbinden infiltratie- en exfiltratiezones die op enige afstand van elkaar liggen (vanwege hun geïsoleerde ligging ook wel vensters genoemd). Het water van deze systemen wordt afgevoerd via de grotere, topografisch lager gelegen, waterlopen. De grootste systemen zijn de regionale grondwatersystemen, die ontwateren via de grootste oppervlaktewateren met de laagste topografische ligging. Zij verbinden een infiltratiezone met exfiltratiezone(s) die op relatief grote afstand kunnen liggen (figuur 8.2). Voor meer gedetailleerde beschrijvingen wordt



Figuur 8.2: Doorsnede grondwatersysteem

verwezen naar handboeken als *'Hydrological Systems Analysis, methods and applications'* [Engelen en Kloosterman, 1996]. Hier zal worden ingegaan op een aantal aspecten van de watersystemen die van belang zijn voor het afstemmen van meetnetten.

De hydrogeologische gelaagdheid van de ondergrond is van invloed op de diepte van de grondwatersystemen. Met name slechtdoorlatende lagen, zoals dikke kleilagen, kunnen de scheiding vormen tussen de bovenliggende kleine grondwatersystemen en de grootschalige systemen daaronder. Het samenstel van watervoerende en waterscheidende lagen is dus van belang bij de verkenning en begrenzing van de grondwatersystemen.

De grondwatersystemen worden verder in sterke mate beïnvloed door kunstmatige ingrepen in de waterhuishoudkundige situatie of in het grondwater zelf. Zo kunnen nieuwe grondwatersystemen worden gecreëerd door installatie van winningen of door aanleg van sloten en kanalen. Hierdoor kunnen situaties ontstaan waarin de samenhang tussen de nog in de bodem voorkomende grondwaterkwaliteit en het nieuwe grondwaterstromingssysteem onduidelijk is. De gevoeligheid van de grondwatersystemen voor oppervlakkige verstoringen is het grootst bij weinig topografisch reliëf. In vlakke gebieden kunnen door aanleg van greppels en drainage nieuwe ondiepe systemen worden gecreëerd die een groot deel van het infiltrerend water opvangen en op het oppervlaktewater afvoeren. Grote winningen kunnen een zelfstandig grondwatersysteem aansturen waardoor de situatie in de wijde omgeving volledig en voor een lange periode verandert. Het is daarom nodig om de ontwikkeling van de grondwatersystemen en de bijbehorende grondwaterkwaliteit ook in historisch perspectief te plaatsen. Ondanks de soms grote verstoringen blijkt uit onderzoek naar de grondwaterkwaliteit dat in grote delen van het land de relatie tussen de grondwatersystemen, grondwaterkwaliteit, bodem en landgebruik goed te traceren is.



### *Onderscheid en begrenzing van grondwatersystemen*

Uit het bovenstaande blijkt al dat voor het gedetailleerd bepalen van de grondwatersystemen de geohydrologische situatie inclusief de drijvende krachten nodig zijn. Dit is het ideaalbeeld waaraan meestal niet geheel kan worden voldaan.

Bij het onderscheiden van de grondwatersystemen kan de volgende aanpak worden gevolgd:

1. Analyse van de topografische hoogteligging vormt het uitgangspunt. Zowel het oppervlaktewater als het grondwater stromen volgens wetten van de zwaartekracht van hogere naar de lagere delen.
2. Het analyseren en in kaart brengen van het oppervlaktewaterstelsel met de daarbij behorende peilen vormt een tweede belangrijke stap. Op grond van de hoogteligging van het terrein en het verloop van de oppervlaktewateren kunnen de (oppervlakte)waterscheidingen worden ingetekend.
3. Met behulp van de geohydrologische gegevens (boor- en grondwatergegevens) kunnen nu op een kwalitatieve wijze reeds de grondwatersystemen met de bijbehorende grondwaterscheidingen worden geanalyseerd.
4. Grondwaterkwaliteitsgegevens worden vervolgens tezamen met bodemgegevens en historische gegevens van het landgebruik benut om de grondwatersystemen verder te detailleren. Grondwaterkwaliteitsparameters kunnen zijn chemische parameters, temperatuur, isotopen, enz.
5. De grondwatersystemen kunnen vervolgens kwantitatief worden doorgerekend met behulp van wiskundige modellen om de begrenzing en de eigenschappen van de grondwatersystemen nader te specificeren.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar de betreffende standaardwerken. Met betrekking tot het begrenzen van de grondwatersystemen kunnen nog de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- Als hulp bij het identificeren en begrenzen van de grondwatersystemen spelen grondwaterstandsgegevens een belangrijker rol dan stijghoogtegegevens. Zodra evenwel een betere kwantificering van de systemen nodig is met behulp van modellen worden ook stijghoogtegegevens belangrijker.
- Een vlakdekkend beeld ontstaat pas als ook de kleinste watersystemen zijn geanalyseerd. Bij de kaartering van de grondwatersystemen op een grote schaal worden de kleinere systemen verwaarloosd. De schaal van het onderzoek (de resolutie) moet op de kaarten duidelijk kenbaar worden gemaakt, omdat anders bij het gebruik van de kaarten gemakkelijk fouten kunnen worden geïntroduceerd.
- De kleine grondwatersystemen kunnen gezamenlijk een groot deel van het oppervlak uitmaken, zoals bijvoorbeeld in een goed gedraineerd poldergebied. De invloed daarvan op de diepe grondwaterstroming en de daarvan afhankelijke natuur is groot.

## 8.6 Procedure voor afstemming van grondwatermeetnetten en oppervlaktewatermeetnetten

De afstemming van de meetnetten ten behoeve van het integrale waterbeheer dient naar de overtuiging van de geraadpleegde deskundigen uit te gaan van hydrologisch goed gedefinieerde eenheden. De indeling in beheerseenheden van het oppervlaktewater (oppervlaktewatersystemen) komt hiervoor als uitgangspunt het meest in aanmerking (zie ook paragraaf 8.5). De indeling in grondwatersystemen vormt daarop een noodzakelijke aanvulling. De meetnetafstemming op basis van de watersystemen verlangt in principe de volgende aanpak:

1. Indeling van de oppervlaktewatersystemen volgens de waterstaatskaart (of het Waterstaatkundige Informatie Systeem van de Meetkundige Dienst).
2. Verdere indeling van het oppervlaktewatersysteem volgens de gegevens van de waterschappen. Voor zover deze gegevens niet volledig zijn, is aanvulling noodzakelijk (deze informatie is deels opgenomen in REGIS).
3. Analyse en indeling van de grondwatersystemen volgens de methode aangegeven in 8.5.
4. Keuze van een watersysteemindeling die past bij de regionale schaal van onderzoek op grond van de bovengenoemde informatie. De watersystemen zullen, wat omvang betreft, een passende detaillering moeten geven binnen de betreffende regio.
5. Integrale evaluatie van de oppervlaktewatermeetnetten en de grondwatermeetnetten. De afvoermeetpunten moeten zodanig gesitueerd zijn, dat zij de afvoer uit de gekozen watersystemen registreren. De meetpunten van het grondwaterstands- en stijghoogtemeetnet moeten gesitueerd zijn op representatieve locaties binnen de grondwatersystemen.
6. Afstemming van de frequentie van meten op de waar te nemen processen en de gewenste nauwkeurigheid van de informatie. Als het wenselijk is om met verschillende frequenties waar te nemen dan kan overeenstemming worden gezocht in de basisfrequenties.

Het bovenstaande stappenplan is tamelijk summier, omdat niet alle onderdelen opnieuw gedetailleerd zijn weergegeven (zie de andere hoofdstukken) en omdat er nog geen ervaring is opgedaan. Een meer gedetailleerde uitwerking van de bovenstaande aanpak valt buiten de mogelijkheden van het project. Om ervaring op te doen wordt aanbevolen om na te gaan of de mogelijkheden en de voordelen van afstemming van meetnetten op basis van watersystemen in enkele proefgebieden nader kunnen worden onderzocht. Vanwege de specifieke waterproblematiek in hoog en laag Nederland wordt aanbevolen minimaal twee proefgebieden te nemen, één in het hoge deel van Nederland en één in het poldergebied.

## 8.7 Aanbeveling

Aanbevolen wordt om na te gaan of de mogelijkheden en de voordelen van afstemming van meetnetten op basis van watersystemen in een voorbeeldgebied verder kunnen worden onderzocht.





## 9 Onderwerpen voor nadere beschouwing

### 9.1 Overzicht

Er is uit de enquête en interviews een aantal vragen naar voren gekomen, die niet binnen het kader van het project konden worden beantwoord of uitgewerkt en die om verschillende redenen (voorlopig) terzijde moesten worden gelegd. Deze vragen zijn van zeer verschillende aard. Bij de verwerking van de vragen is de volgende benadering gekozen:

- Vragen over de dichtheid van de meetnetten en de frequentie van meten, die met name betrekking hebben op het functioneren van de provinciale meetnetten in hun bestaande vorm zijn zoveel mogelijk behandeld in de hoofdstukken 5, 6 en 7.
- Vragen met betrekking tot het afstemmen van de meetnetten op de watersystemen (grondwatersystemen worden voor het huidige waterbeheer als cruciaal beschouwd) zijn, voor zover zij niet aan bod komen in de hoofdstukken 5, 6 en 7, besproken in hoofdstuk 8 en opgenomen in het voorstel voor verlenging van het project. Daarin zal het integraal afstemmen van de meetnetten op de watersystemen centraal staan.
- De overige vragen die in het onderzoek niet goed aan bod zijn gekomen en volledigheidshalve wel in het rapport thuis horen worden onderstaand kort besproken.

### 9.2 Grondwaterstandsmmeetnetten

Algemene adviezen over de inrichting van provinciale of primaire meetnetten van de freatische grondwaterstand kunnen pas worden gegeven als er over de noodzaak en de doelstellingen van het meten met betrekking tot de provinciale taakstelling consensus bestaat. Volledigheidshalve volgt hier een korte bespreking van het onderwerp.

#### *De freatische grondwaterstand*

Er bestaat in het algemeen een sterke relatie tussen de freatische grondwaterstand en het waterpeil in waterlopen en drains. Bij het vastleggen van het freatisch vlak kan dan ook van beide typen gegevens gebruik gemaakt worden. De freatische grondwaterstanden geven daarbij de extra informatie over de toestand van de grondwaterstandsberging. De relatie wordt behalve door geohydrologische parameters beïnvloed door de bodemweerstand van de waterlopen. Het verwaarlozen van deze weerstanden voor een gebiedsdekkend beeld van de grondwaterstand is, met uitzondering meestal wel toelaatbaar.

Voor wat betreft de functie van de grondwaterstandsgegevens in het provinciale waterbeheer kan onderscheid gemaakt worden naar a) gebieden met vrije afwatering, b) gebieden met een beheerste afwatering en c) poldergebied met volledig beheerste ontwatering en afwatering.



- In gebieden met een vrije of deels beheerste afwatering vormen de freatische grondwaterpeilen een belangrijke gegevensbron over de toestand van de grondwaterstandsberging die sterk kan verschillen van jaar tot jaar (zie bijvoorbeeld de Veluwereeksen, hoofdstuk 6).
- In de poldergebieden geven de freatische grondwaterstanden eveneens inzicht in de toestand van de grondwaterberging, maar deze is door de sterke beheersing van de oppervlaktewaterpeilen van jaar tot jaar relatief constant.

Het resultaat is dat de gegevens over de freatische grondwaterstand voor het vaststellen van de toestand van het grondwaterpeil en de grondwaterberging op regionale schaal met name belangrijk zijn voor gebieden waar de beheersing van het oppervlaktewaterpeil niet of niet intensief mogelijk is. In de poldergebieden is de fluctuatie in het algemeen binnen duidelijke grenzen en wordt reeds een redelijk gemiddeld beeld verkregen aan de hand van gehandhaafde oppervlaktewaterpeil.

#### *Meetnetten van de freatische grondwaterstand*

Er zijn voor zover bekend geen provinciedekkende meetnetten van de freatische grondwaterstand. Enkele belangrijke redenen daarvoor zijn:

1. De freatische grondwaterstand vertoont, in vergelijking met de stijghoogte op grotere diepte, een zeer onregelmatig beeld dat een gigantisch aantal meetpunten zou vergen om met een vergelijkbare nauwkeurigheid landsdekkend vast te leggen.
2. In grote delen van Nederland (met name het poldergebied) bestaat uit het oogpunt van grondwaterbeheer op provinciaal en rijksniveau geen noodzaak om de freatische grondwaterstand in detail te kennen.

Wel wordt bij diepe peilbuizen dikwijls ook een ondiepe peilbuis waargenomen. Verder wordt in enkele provincies, waaronder Drenthe, in een aantal over de provincie verspreid liggende karakteristieke gebieden de freatische grondwaterstand gepeild. Voor het overige is in de meeste provincies het meten van de freatische grondwaterstand beperkt tot het waarnemen in deelgebieden met een specifiek doel. Voorbeelden daarvan zijn:

- landbouwgebieden, waar ten behoeve van de gewenste grondwaterstand bij herinrichting en ruilverkaveling tijdelijk een dichter meetnet is ingericht,
- waterschappen, of delen daarvan, waar het operationele waterbeheer wordt afgestemd op een optimale grondwaterstand ten behoeve van landbouw en/of natuurbeheer (recente ontwikkelingen).
- natuurterreinen, waarin de grondwaterstand wordt gepeild ter bewaking van het natuurlijke grondwaterregiem in het gebied.
- het duingebied, waarin ten behoeve van een combinatie van waterwinning en natuurbeheer grondwaterstandsmetingen plaats vinden. De metingen hebben daar tot doel een goede balans tussen beide activiteiten te vinden.
- stedelijk gebied, waar de grondwaterstand wordt gepeild ten behoeve van de controle op grondwateroverlast en in verband met schade.

Voor al deze meetnetten geldt een lokaal of specifiek belang.

### *Relatie tot grondwaterbeheer op provinciaal niveau*

Vanuit het oogpunt van een gedegen grondwaterkwantiteitsbeheer moet gezocht worden naar een evenwicht in de vele vormen van beïnvloeding van de grondwatersituatie. De belangrijkste gebruikers zijn de openbare watervoorziening, de industriële watervoorziening en indirect de landbouw. Belangrijke bedreigingen bij een geleidelijke vermindering van de grondwatervoorraad zijn verdroging en aantasting van de grootte en kwaliteit van de grondwatervoorraad door intrusie en opkwalling van zout of brak water.

Voor wat betreft de grondwaterstandsmeetnetten zouden de provincies zich moeten beraden over de rol van deze metingen in het provinciale grondwaterbeheer. De beleids- en beheerstaken van het rijk en de provincies zijn vooral gericht op het grondwaterbeheer op regionale schaal en lange termijn. Freatische grondwaterstandsreeksen zouden daarbij hooguit dienst doen voor het karakteriseren van de grondwatersituatie en om een vinger aan de pols te houden, zoals in het geval van verdroging, en vooral *nièt* voor het gedetailleerde waterbeheer op sub-regionale schaal.

Indien freatische grondwaterstandsmeetpunten gewenst zouden zijn, dan is het zinvol onderscheid te maken naar gebieden met een vrije afwatering, gebieden met een (deels) beheerste afwatering en poldergebieden met een volledig beheerste ontwatering en afwatering.

Met betrekking tot de taakverdeling in het meten is het denkbaar dat waterschappen, natuurterreinbeheerders en andere instanties, die het grondwater op een of andere wijze beïnvloeden of in detail controleren, verzocht worden om ten behoeve van een goede controle een beperkte maar nuttige aanvulling van gegevens te leveren, zoals dat nu het geval is voor de drinkwatervoorziening.

### *Conclusie*

Een degelijk advies over freatische meetpunten kan pas worden gegeven, als eerst wordt gedefinieerd welke functie deze meetpunten in het provinciale waterbeheer zouden moeten vervullen. Daarna zou de rol van grondwaterstandsmeetpunten in de bovenstaande context nader moeten worden geanalyseerd.

## **9.3 Stijghoogtemetingen in relatie tot verdroging**

Door de meeste provincies werd in de enquête 'verdrogingsbestrijding' aangevoerd als een van de nieuwe aandachtsvelden, waarbij de provinciale stijghoogtemeetnetten onvoldoende of onvoldoend nauwkeurige gegevens leveren. Dit werd echter in het algemeen geen reden gevonden voor bijstelling van de basisdoelstellingen van de stijghoogtemeetnetten. In de interviews werd gevraagd na te gaan of het onderwerp verdroging extra stijghoogtemeetpunten vereist of dat in het algemeen kan worden volstaan met de beschikbare. Daarnaast wilde men weten of het gestelde doel met enkele meetpunten zou kunnen worden bereikt of dat daarvoor een betrekkelijk groot aantal nodig zouden zijn. De antwoorden op deze vragen zijn niet zonder nader onderzoek te geven.



Het vraagstuk van verdroging speelt vooral in de natuurgebieden in de hogere delen van Nederland. De belangrijkste aspecten van verdroging zijn de veranderende standplaatsfactoren die worden bepaald door veranderingen in de grondwaterstand en het voorkomen van kwel. Naast een goed beeld van de freatische grondwaterstand (oppervlaktewaterpeil en freatische grondwaterstand) is voor de berekening van veranderingen in de kwel ook de diepe stijghoogte van belang.

De nauwkeurigheid waarmee de diepe stijghoogte kan worden geïnterpoleerd volgt uit de sir-waarden kaart. Aan de hand van de sir-waarden kan ook worden bepaald hoe nauwkeurig de stijghoogte in bijvoorbeeld een beekdal kan worden bepaald. Helaas is deze methode van schatten relatief grof. Weliswaar kan door middel van kriging voor elke meetdatum een stand worden geschat, maar de standaardafwijkingen zijn in de regel in de orde van 20 cm of meer, hetgeen voor de bepaling van stijghoogteverschillen tussen grondwaterstand en stijghoogte relatief grof is. Extra meetpunten kunnen dus noodzakelijk zijn.

De beste lokaties voor extra stijghoogtemeetpunten zijn in de directe omgeving van de beek. Een aantal langs de beek tot in het watervoerend pakket geplaatste stijghoogtebuizen zou in vele gevallen een aanzienlijke gegevenswinst geven. Voor het kwelgebied langs de beek zou het verschil tussen geïnterpoleerde en werkelijke waarde tot nul reduceren, terwijl de schattingen op afstand iets onnauwkeuriger worden, maar voor infiltratiegebieden is dit verschil minder belangrijk. De winst aan nauwkeurigheid kan uit de meeste variogrammen worden afgeleid. Belangrijke winst bij de interpolatie kan worden geboekt met inschakeling van een grondwatermodel, zoals uit onderzoek in andere projecten is gebleken [Jousma, 1994]. Het onderwerp kon vanwege de ruimte in het budget niet verder worden onderzocht. Bij verlenging van het project kan hieraan, indien de proefgebieden en de gegevens dit toelaten, meer aandacht worden besteed.

#### **9.4 Correlatie tussen meetreeksen uit verschillende filters van een waarnemingsput**

De correlatie tussen meetreeksen van filters op verschillende diepte in waarnemingsputten is genoemd in verband met besparing van kosten van waarnemen en opslag van gegevens (o.a. bij de Provincie Noord-Brabant). Dit punt is in het verleden op de technische mogelijkheid onderzocht door Van Geer [Van Geer, 1992]. De correlatie tussen stijghoogtemeetreeksen in filters op verschillende diepte is soms bijzonder sterk, met name als slechtdoorlatende lagen ontbreken of onbetekenend zijn. Met betrekking tot dit onderwerp kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- In feite zijn er weinig technische bezwaren tegen het reduceren van het waarnemen van verschillende filters, indien tussen de meetreeksen een goede correlatie is berekend en het gemiddelde verschil eenmaal is vastgesteld. Als de correlatie aan bepaalde eisen voldoet kan het waarnemen worden beperkt tot het waarnemen van één of meer filters met een hoge frequentie (de basisreeksen) en het waarnemen van de andere met een lagere frequentie of helemaal niet.

Volledige stopzetting van het meten in bepaalde filters heeft het nadeel dat er geen controle meer bestaat op het verloop van de niet gemeten reeksen. Daarom kan worden besloten om de niet geselecteerde filters met een lagere frequentie waar te nemen. Het betreffende rapport [Van Geer, 1992] is beschikbaar bij het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

- Geheel of gedeeltelijk stoppen van de metingen heeft wel een aantal bezwaren, die van geval tot geval moeten worden bekeken. In de eerste plaats moet zeer goed worden bijgehouden welke filters op welke datum worden gemeten en welke filters niet. In de tweede plaats is de besparing in de kosten van het waarnemen nogal beperkt, omdat deze alleen bestaat uit het niet openen en peilen van de betreffende peilbuizen, terwijl de reistijd hetzelfde blijft. In de derde plaats worden enerzijds mogelijk kosten bespaard met het meten en de opslag van gegevens, maar vergen eventuele controle- en herberekeningen van de niet geselecteerde of uitgedunde reeksen op een later tijdstip extra berekeningstijd en -kosten. Tenslotte neemt afhankelijk van de hoogte van de correlatie ook de onbetrouwbaarheid in het gegevensbestand toe.

#### *Conclusie*

De reductie van metingen in verschillende filters van een waarnemingsput is op grond van een goede correlatie tussen de meetreeksen technisch gezien dikwijls aanvaardbaar. Deze reductie heeft evenwel een aantal praktische bezwaren die de voordelen in de weg staan, en van geval tot geval moeten worden bekeken.





## **10 Methodiek voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten**

### **10.1 Opzet van het hoofdstuk**

In dit hoofdstuk wordt de methodiek voor meetnetevaluatie gepresenteerd aan de hand van een schema en stappenplannen.

Het hoofdschema (paragraaf 10.1) geeft een algemene aanpak weer die betrekkelijk onafhankelijk is van het type meetnet. Deze aanpak leent zich zowel voor de stijghoogtemeetnetten als voor de kwaliteitsmeetnetten.

Voor elk van de meetnetten geldt dat er verscheidene doelstellingen kunnen zijn, waaraan een bepaalde informatiebehoefte is gerelateerd. Dit betekent herhaling van de onderdelen van het hoofdschema. Bij de opstelling van een meetplan zal dan uiteindelijk een inventarisatie van alle meetneteisen moeten plaatsvinden.

Bij de presentatie van de stappenplannen wordt, evenals in de ondersteunende hoofdstukken, onderscheid gemaakt naar de stijghoogte- en kwaliteitsmeetnetten. Voor elk van de stappenplannen is door middel van een figuurtje aangegeven welk deeltraject of elementen uit het hoofdschema ze beslaan.

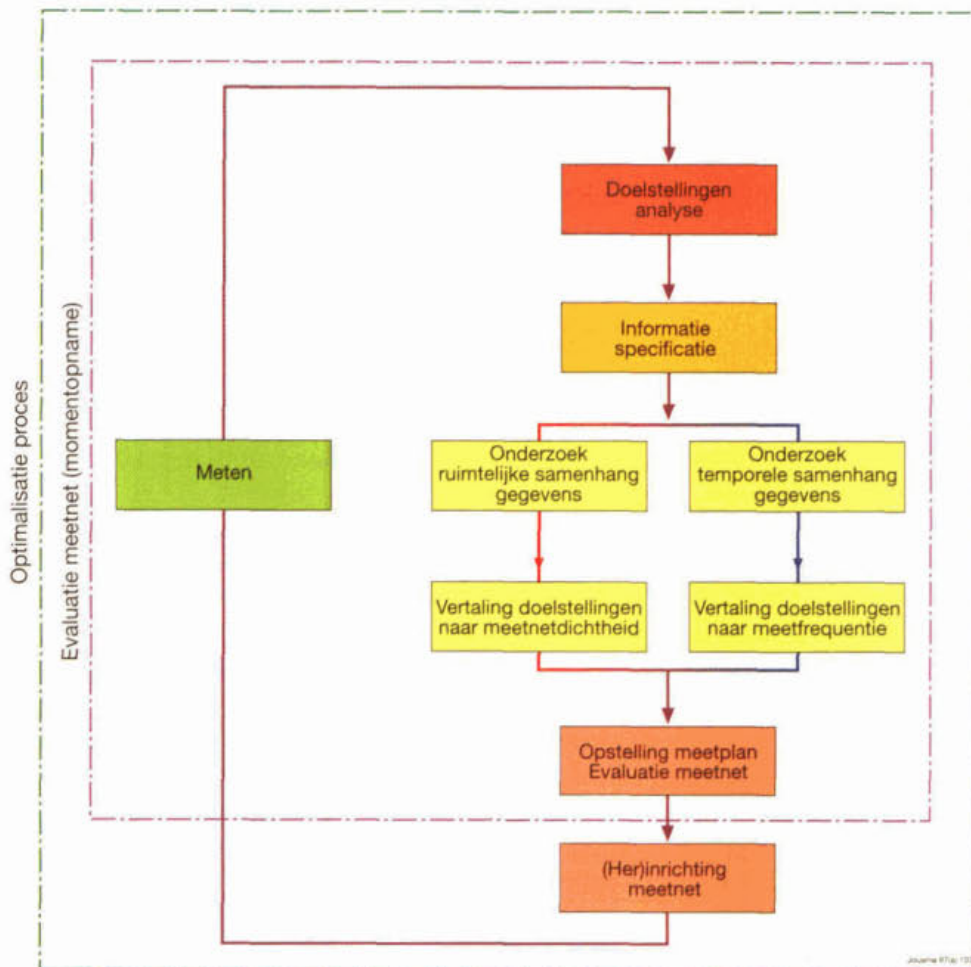
Een bijzonder geval is het voorgestelde stappenplan voor integrale evaluatie van oppervlaktewater- en grondwatermeetnetten. Dit stappenplan bestaat uit hoofdlijnen die nog een nadere uitwerking behoeven en waarvoor aanvullend middelen worden gezocht. Dit stappenplan staat buiten het hoofdschema voor de evaluatie van grondwatermeetnetten.



## 10.2 Algemeen schema voor evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten

Het schema voor evaluatie van de provinciale grondwatermeetnetten geeft de volgorde van de belangrijkste activiteitenblokken weer (figuur 10.1). Voor de uitleg van het schema wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van dit rapport.

Dit generieke schema is onafhankelijk van het type meetnet en de problematiek. De activiteiten zelf zijn uitgewerkt in stappenplannen die aansluiten bij de gekozen thema's of problemen. De volgorde van activiteiten kan enigszins verschillen per situatie; bij verandering van de volgorde kunnen de stappenplannen worden gezien als hulp- of checklijsten.

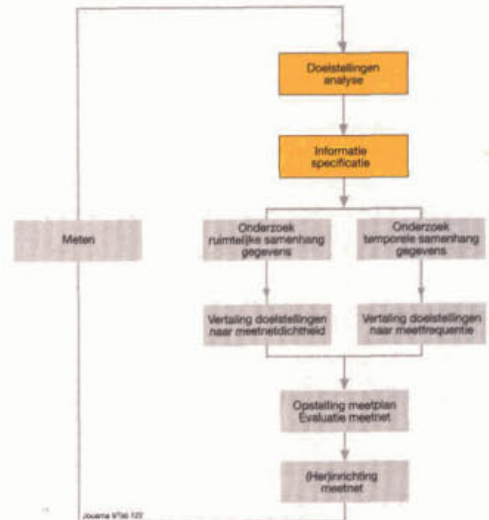


Figuur 10.1: Hoofdschema evaluatie meetnetten

### 10.3 Schema voor analyse van meetdoelstellingen en specificatie van informatiebehoefte

#### Positie binnen het evaluatieproces

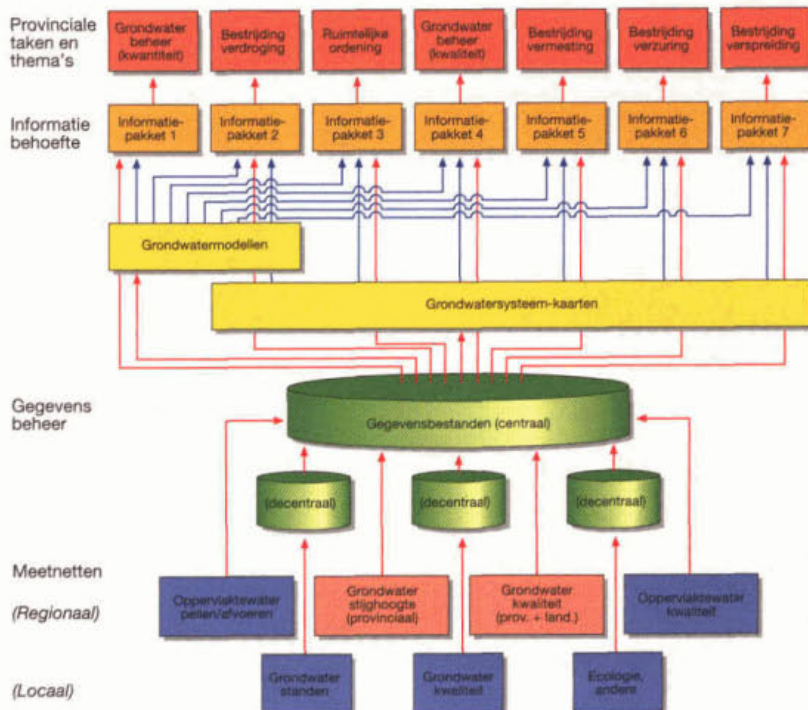
Het schema voor analyse van meetdoelstellingen en specificatie van informatie-behoefte (figuur 10.2) concentreert zich op de in figuur 10.3 aangeduide elementen uit het algemene schema.



Figuur 10.3: Positie binnen evaluatieproces

#### Het schema

In figuur 10.2 wordt een princieschema gegeven voor de analyse van meetdoelstellingen voor provinciale grondwatermeetnetten. Het schema geeft een beeld van de gegevens- en informatiestromen ten behoeve van provinciale beleids- en beheerstaken die aan het grondwater gerelateerd zijn.



Figuur 10.2: Grondwatergegevens in het provinciale takenveld



Deze taken (bovenste laag) vormen de doelen waarvoor de gegevens uit de meetnetten nodig zijn. Bij de *algemene* taken 'Grondwaterbeheer-kwantiteit' en 'Grondwaterbeheer-kwaliteit' behoren informatie-eisen die passen bij de regionale schaal en de lange termijn van het grondwaterbeheer. De *specifieke* taken of aandachtsvelden betreffen actuele thema's zoals verdroging, vermesting, verzuring en verspreiding. De thema's vragen om inwinning van specifieke gidsparameters, die per thema en per situatie kunnen worden gespecificeerd.

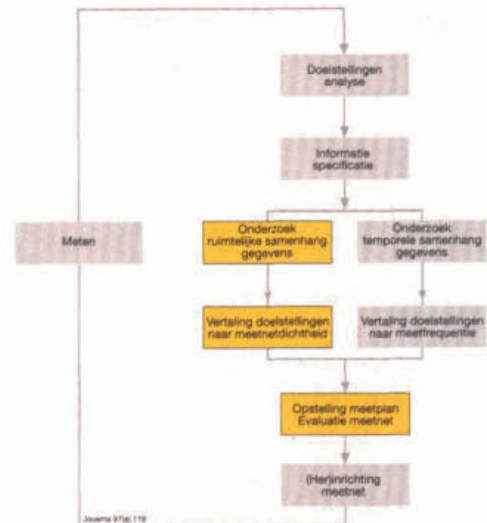
Verder wordt bij de voorbereiding van beleidsnota's en beheersplannen door de provincies en het rijk gebruik gemaakt van grondwatersysteemkaarten en van de uitkomsten van grondwatermodellen. Deze 'tussenproducten' vertegenwoordigen niet een doel op zich zelf. Ze kunnen evenwel als hulpmiddel dienen om de specificatie van benodigde gegevens aan te scherpen, mits de schaal van de vraagstelling in het oog wordt gehouden.

Voor elke taak zal een benodigd meetprogramma's moeten worden afgeleid. Voor de vertaling van de informatiebehoefte naar de meetnetspecificaties wordt verwezen naar de hoofdstukken 5, 6 en 7. De meetnetbeheerders zullen tenslotte het totale pakket van eisen moeten inventariseren en een afweging moeten maken in hoeverre aan de verschillende eisen tegemoet kan worden gekomen.

## 10.4 Stappenplan voor evaluatie van meetnetdichtheid bij provinciale meetnetten grondwaterstijghoogte

### Positie binnen het evaluatieproces

Het onderstaande stappenplan voor evaluatie van de meetnetdichtheid van stijghoogtemeetnetten concentreert zich op de in figuur 10.4 aangeduide elementen uit het algemene schema.



Figuur 10.4:  
Positie binnen  
evaluatieproces

### Het stappenplan

De volgende stappen zijn nodig voor de evaluatie van de meetnetdichtheid bij stijghoogtemeetnetten:

1. *Selectie van statistisch homogeen gebieden.* Selecteer een statistisch homogeen deelgebied waarvoor het onderzoek zal worden uitgevoerd en selecteer de bij de meetnet-inrichting geschatte kriging (covariantie) parameters.
2. *Selectie van waarnemingspunten.* Selecteer de waarnemingsbuizen van het primaire meetnet binnen het gekozen deelgebied en watervoerende pakket voor de periode na de inrichting. Deze selectie kan plaatsvinden met behulp van OLGA en REGIS. De geselecteerde meetreeksen moeten een minimale lengte hebben van ca. 5 jaar.
3. *Conversie van bestanden.* Converteer de tijdreeksen van de peilbuizen naar files waarin de metingen per datum zijn gegroepeerd.
4. *Uitvoering cross-validatie berekening.* Voer per tijdstip een cross-validatie berekening uit. Dit geschiedt door de meetpunten één voor één weg te laten en vervolgens voor het weggelaten meetpunt met behulp van kriging-interpolatie een geschatte waarde te berekenen. De verschillen tussen gemeten en berekende waarden worden gebruikt voor de z-score matrix.
5. *Berekening en evaluatie van 'rapportcijfers'.* Stel de z-score matrix op, door per punt en per tijdstip de genormeerde verschillen (verschilwaarde gedeeld door de standaardafwijking van de verschillen voor het betreffende punt) in te voeren. Bereken de 'rapportcijfers'  $\bar{\epsilon}_1$  en  $\bar{\epsilon}_2$  en plot de puntenkaart. Evalueer  $\bar{\epsilon}_1$  en  $\bar{\epsilon}_2$ , en onderzoek de puntenkaart op positieve en negatieve uitschieters.

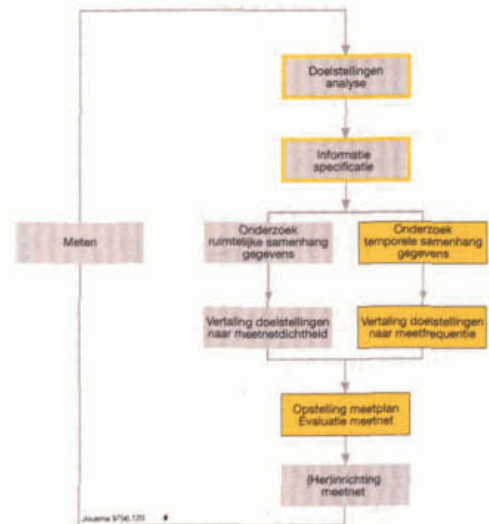


6. *Analyse van uitzonderlijke afwijkingen.* Selecteer de punten met uitzonderlijke afwijkingen en ga na wat de reden van de afwijking is. Als er fysische redenen voor de verschillen zijn, bijvoorbeeld een bijzondere locatie, dan moet men zich afvragen of het punt geschikt is als primair meetpunt.

## 10.5 Stappenplan voor evaluatie van de meetfrequentie bij provinciale meetnetten grondwaterstijghoogte

### *Positie binnen het evaluatieproces*

Het onderstaande stappenplan voor evaluatie van de meetfrequentie bij stijghoogtmeetnetten concentreert zich op de in figuur 10.5 aangeduide elementen uit het algemene schema.



*Figuur 10.5:  
Positie binnen  
evaluatieproces*

### *Het stappenplan*

Voor een gedetailleerde beschrijving van het stappenplan wordt verwezen naar hoofdstuk 6. De voorgestelde procedure voor het afstemmen van de meetfrequentie op de doelstellingen van het meten en het karakter van de meetreeksen is als volgt:

1. *Vaststelling van de meetdoelstellingen (waterbeheer, andere).* De meetdoelstellingen worden afgeleid uit de provinciale taken en thema's, door de informatiebehoefte voor elk van deze taken of beleidsthema's te analyseren (zie hoofdstuk 4).
2. *Decompositie van de meetreeksen in de verschillende deelcomponenten.* Door middel van meetreeksdecompositie wordt nagegaan welke fluctuaties in de meetreeksen kunnen worden onderscheiden (meerjarige, periodieke en korte) en hoe de verhoudingen tussen deze fluctuaties zijn. Het verdient aanbeveling de procedure van decompositie standaard uit te voeren, omdat de verschillende effecten dan min of meer standaard te voorschijn komen.
3. *Analyse van de relatie tussen de meetfrequentie en standaardafwijking van de meetreekscomponenten.* Door de standaardafwijkingen van de verschillende meetreekscomponenten (voortschrijdend jaargemiddelde, seizoensreeks en residureeks) te vergelijken met die van de oorspronkelijke reeks kan worden vastgesteld welk percentage van de oorspronkelijke meetreeks uit de delen kan worden verklaard. Door de procedure te herhalen bij lagere meetfrequenties kan worden nagegaan tot welk informatieverlies een lagere frequentie leidt.

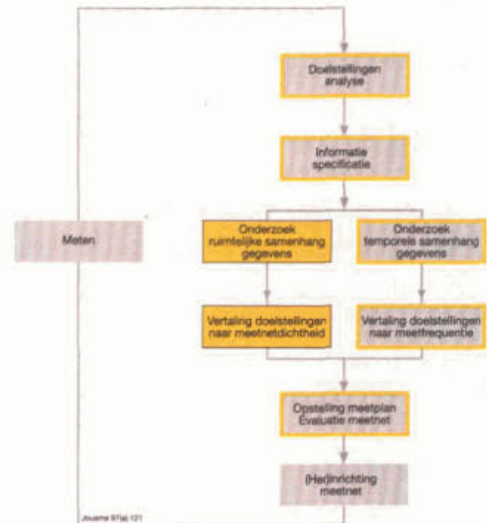


4. *Analyse van de relatie tussen meetfrequentie en betrouwbaarheid bij interpolatie en berekening van gemiddelden.* Deze stap betreft de analyse van de betrouwbaarheid waarmee een interpolatie of de berekening van grootheden, zoals jaargemiddelden, seizoensgemiddelden, etc. kunnen worden vastgesteld. De betrouwbaarheid wordt berekend bij verschillende meetfrequenties.
5. *Vaststelling van de doelfrequenties bij de verschillende doelstellingen.* In deze stap worden de doelfrequenties bij de verschillende doelstellingen bepaald. Bij de keuze van een frequentie van meten kan in principe differentiatie plaatsvinden naar de verkenningsfase en de vervolgfases.
6. *Selectie van de benodigde meetfrequentie per regio.* Evaluatie van de benodigde meetfrequentie kan geschieden aan de hand van een schema waarin zowel de verschillende doelstellingen en criteria als de onderzochte regio's zijn opgenomen. De meetfrequentie kan vervolgens regiogewijs worden afgestemd op de informatiebehoefte. Daarbij dient de continuïteit van de meetreeksen in het oog te worden gehouden.

## 10.6 Stappenplan voor evaluatie provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit

### Positie binnen het evaluatieproces

Het onderstaande stappenplan voor evaluatie van de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG's) concentreert zich op de in figuur 10.6 aangeduide elementen uit het algemene schema.



Figuur 10.6:  
Positie binnen  
evaluatieproces

### Het stappenplan

Het voorgestelde stappenplan kan worden beschouwd als een eerste stap in het optimalisatie proces. Voor meer details ten aanzien van de procedure en de uitwerkingen wordt verwezen naar hoofdstuk 7. Voor een evaluatie van provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten worden de volgende stappen voorgesteld:

1. *Vaststelling van meetdoelstellingen.* De meetdoelstellingen worden bepaald door de provinciale taken en thema's, waarvoor de gegevens uit het meetnet nodig zijn. De doelstellingen moeten voor elk van deze taken of beleidsthema's in principe worden vastgesteld. Uit de enquête (hoofdstuk 4) blijkt dat de doelstellingen, anno 1997, primair bestaan uit: a) het signaleren van de knelpunten in de grondwaterkwaliteit (normoverschrijding) en b) het detecteren van trends in de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit.
2. *Inventarisatie van potentiële probleemgebieden en specificatie van de doelstellingen naar homogene gebieden.* Voor de beleidsthema vermessing, verzuring, verspreiding, algemene verontreiniging moet worden vastgesteld welke gebieden potentieel kunnen zijn verontreinigd en waar dus bemonstering zal moeten plaatsvinden om normoverschrijding of trends te kunnen detecteren. De selectie van potentiële probleemgebieden vindt grotendeels plaats op basis van het landgebruik, de bodemgesteldheid en de geohydrologische situatie. Dit leidt tot de selectie van 'homogene gebieden' voor elk gekozen milieuthema.
3. *Keuze van gidsparameters.* Voor het geselecteerde beleidsthema en de potentiële probleemgebieden moeten vervolgens gidsparameters worden gekozen, die het meest in aanmerking komen voor het toetsen van normoverschrijding of trends.



4. *Clustering van homogene gebieden.* Hierbij wordt nagegaan of het clusteren van homogene gebieden zinvol en mogelijk is om de beoordeling van kwaliteitsparameters te versterken. De condities voor het clusteren zijn dat de omstandigheden in de te clusteren gebieden vergelijkbaar zijn, zodat mag worden aangenomen dat de betreffende gidsparameter in de gebieden aan dezelfde frequentieverdeling voldoet.
5. *Vaststelling van de relatie tussen meetinspanning en meetneteffectiviteit.* In hoofdstuk 7 worden voorbeelden gegeven van a) het percentage normoverschrijding dat door een meetnet gedetecteerd kan worden en b) de detectiekans van een trend.
6. *Vaststelling gewenste meetneteffectiviteit en evaluatie bestaande meetneteffectiviteit.* Stel de wensen van de gebruikers vast ten aanzien van meetneteffectiviteit en ga na of het meetnet daaraan voldoet. Hierbij worden conclusies getrokken over de mate waarin het meetnet voldoet en over nodig geachte meetnetaanpassingen.
7. *Evaluatie van het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet.* Het provinciale meetnet grondwaterkwaliteit kan in zijn totaliteit worden geëvalueerd aan de hand van een inventarisatie van alle voor de verschillende provinciale aandachtsvelden opgestelde meetnetspecificaties.

*Opmerking:*

De volgorde van de activiteiten hoeft niet noodzakelijkerwijs precies dezelfde te zijn als bovenstaand aangegeven. Bij een evaluatie van het meetnet voor verscheidene milieuthema's tegelijk kan het bijvoorbeeld zinvol zijn om eerst een overzicht te maken van de veronderstelde homogene gebieden en een degelijke controle uit te voeren van de ligging van de meetpunten binnen de homogene gebieden [Broers, 1996a]. De procedure van evaluatie blijft daarbij echter hetzelfde.

## 10.7 Stappenplan voor meetnetintegratie op basis van watersystemen

De afstemming van de meetnetten voor oppervlaktewater en grondwater ten behoeve van het integrale waterbeheer dient naar de overtuiging van de geraadpleegde deskundigen uit te gaan van hydrologisch goed gedefinieerde eenheden. De indeling in beheerseenheden van het oppervlaktewater (oppervlaktewatersystemen) komt hiervoor als uitgangspunt het meest in aanmerking (zie ook paragraaf 8.5). De indeling in grondwatersystemen vormt daarop een noodzakelijke aanvulling.

De procedure voor meetnetafstemming op basis van de watersystemen verlangt in principe de volgende aanpak (geldt alleen voor de kwantiteitsmeetnetten):

1. Indeling van de oppervlaktewatersystemen volgens de waterstaatskaart (of het Waterstaatkundige Informatie Systeem van de Meetkundige Dienst).
2. *Verdere indeling van het oppervlaktewatersysteem volgens de gegevens van de waterschappen.* Voor zover deze gegevens niet volledig zijn, is aanvulling noodzakelijk (de informatie is deels opgenomen in REGIS).
3. Analyse en indeling van de grondwatersystemen volgens de methode aangegeven in 8.5.
4. *Keuze van een watersysteemindeling die past bij de regionale schaal van onderzoek op grond van de bovengenoemde informatie.* De watersystemen zullen, wat omvang betreft, een passende detaillering moeten geven binnen de betreffende regio.
5. *Doorlichten van de oppervlaktewatermeetnetten.* De afvoermeeptpunten moeten zodanig gesitueerd zijn, dat zij de afvoer uit de gekozen watersystemen registreren.
6. *Doorlichten van de grondwatermeetnetten.* De meetpunten van het grondwaterstands- en stijghoogtemeetnet moeten gesitueerd zijn op representatieve locaties binnen de grondwatersystemen. Dit houdt in dat zij bij een minimale meetnetdichtheid bij voorkeur op of nabij de waterscheidingen moeten staan; bij grotere aantallen beschikbare meetpunten dient over het algemeen naar een representatieve verdeling over het gebied te worden gestreefd.
7. *Afstemming van de frequentie van meten op de waar te nemen processen en de gewenste nauwkeurigheden voor onderzoeksdoeleinden.* Als het wenselijk is om met verschillende frequenties waar te nemen dan dient overeenstemming te worden gezocht in de basisfrequenties.

Een meer gedetailleerde uitwerking van de bovenstaande aanpak viel buiten de mogelijkheden van het project. Daarom is aanbevolen om na te gaan of de mogelijkheden en de voordelen van afstemming van meetnetten op basis van watersystemen in een voorbeeldgebied verder kunnen worden onderzocht.





## 11 Conclusies en aanbevelingen

De hier gepresenteerde conclusies hebben betrekking op het proces van meetnetevaluatie, voor zover van toepassing op de provinciale grondwatermeetnetten. Voor conclusies ten aanzien van de resultaten in de voorbeeldgebieden wordt verwezen naar de betreffende hoofdstukken.

### 11.1 Conclusies

1. *Er bestaat een duidelijke parallel in de basisdoelstellingen van de provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en grondwaterkwaliteit (zie hoofdstuk 3).*

Uit de analyse van meetnetdoelstellingen blijkt dat zowel voor de stijghoogtemeetnetten als voor de kwaliteitsmeetnetten de volgende doelstellingen gelden:

- Het karakteriseren van het grondwaterregiem of de 'toestandsbeschrijving';
- Het signaleren van trends in de ontwikkeling van de grondwatersituatie.
- Het leveren van referentiewaarden voor lokaal onderzoek.

2. *Er bestaan belangrijke verschillen in het ontwikkelingsstadium van de provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en grondwaterkwaliteit. Deze verschillen zijn van invloed op het evaluatieproces (zie hoofdstuk 4).*

Bij de provinciale stijghoogtemeetnetten bestaat een ruime ervaring met de analyse van gegevens in relatie tot ruimte en tijd, die wordt mogelijk gemaakt doordat in de veelal lange meetreeksen alle relevante fluctuaties van de stijghoogte terug te vinden zijn (zie ook hoofdstuk 6).

Bij de provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten bestaat een relatief korte ervaring met de analyse van gegevens, die bovendien praktisch beperkt is tot het ruimtelijke beeld. Het analyseren van tijdseffecten en trends op de diepte tussen 10 en 25 m is nog niet mogelijk vanwege de korte meetreeksen en de trage reacties van de kwaliteitsprocessen.

3. *Er bestaat een achterstand in de afstemming van de provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte op de provinciale aandachtsvelden (zie hoofdstuk 4).*

Bij de kwaliteitsmeetnetten zijn de doelstellingen reeds bij de inrichting mede ontleend aan de landelijke en provinciale thema's, zoals vermesting, verzuring en verspreiding.

Bij het ontwerp van de provinciale stijghoogtemeetnetten is oorspronkelijk een veel basaler doelstelling gebruikt, namelijk het karakteriseren van het regionale regime van de grondwatersituatie. Hoewel deze doelstelling in zijn algemeenheid nog geldt, is de relatie tot provinciale aandachtsvelden zoals verdroging niet duidelijk. Ook de relatie tot de visie op de watersystemen vraagt in dit kader om verduidelijking.



4. *De meetnetdichtheid bij stijghoogtemeetnetten kan worden geëvalueerd met behulp van de methode van cross-validatie, indien de ruimtelijke interpolatienauwkeurigheid als criterium wordt genomen (zie hoofdstuk 5).*
5. *De meetfrequentie voor stijghoogtemetingen kan worden geëvalueerd door het decomponeren van de meetreeksen en het uitvoeren van gevoeligheidsberekeningen voor verschillende meetfrequenties (zie hoofdstuk 6).*

Door decompositie van de meetreeksen in meerjarige fluctuaties, seizoensfluctuaties en een residureeks bestaande uit kortlopende variaties, wordt inzicht verkregen in de componenten van de meetreeksen. Gevoeligheidsberekeningen bij verschillende frequenties kunnen een indruk geven van de onzekerheden in de geanalyseerde componenten. Aan de hand van de doelstellingen kan vervolgens een duidelijke keuze worden gemaakt ten aanzien van het benodigde inzicht en nauwkeurigheid en van de daarbij behorende meetfrequentie.

6. *Er zijn geen zwaarwegende technische bezwaren tegen een regio-gewijze aanpassing van de meetfrequentie bij stijghoogtemeetnetten, mits de nieuwe meetfrequenties een duidelijke relatie hebben met de landelijke basisfrequentie van half-maandelijkse metingen (zie hoofdstuk 6).*

Zoals uit de decompositie van verschillende typen stijghoogtereeksen blijkt, kan de standaard meetfrequentie in sommige regio's, zoals de Veluwe, worden gereduceerd zonder noemenswaardig nauwkeurighedsverlies. Het is denkbaar dat aanpassingen van de meetfrequentie ook in andere regio's tot een zinvoller kosten/prestatieverhouding van het meetnet zullen leiden. Daarbij dient er voor te worden gewaakt dat de samenhang met het historische deel van de reeksen en, in ruimtelijke zin, met de naburige reeksen behouden blijft. Een dergelijke goed gestructureerde aanpassing behoeft niet tot degeneratie van de landelijke en provinciale stijghoogtebestanden te leiden.

7. *Voordat een evaluatie van de meetneteffectiviteit bij provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG's) met behulp van statistische methoden mogelijk wordt, zal eerst ervaring met de gegevensverwerking en -rapportage moeten worden opgedaan (zie hoofdstuk 7 en aanbeveling 3).*
8. *Ondanks de beperkingen in de evaluatie van provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnetten kan op basis van de gegevens en de geohydrologische condities een reductie in de bemonsterings-frequentie bij diepere meetpunten worden bepleit (zie hoofdstuk 7).*

In de kwaliteitsgegevens van de diepere waarnemingsfilters tussen 10 en 25 m onder maaiveld blijkt over een periode van 5 tot 10 jaar een zeer geringe tot niet aantoonbare variatie te bestaan. In kwel- en intermediaire gebieden zal op deze diepte 'oud' water worden aangetroffen waarin geen snelle veranderingen te verwachten zijn. In die gebieden kan de bemonsteringsfrequentie worden teruggebracht naar bijvoorbeeld eens per vier jaar.

9. *De logistieke integratie van de bemonstering in provinciale meetnetten voor grondwaterstijghoogte en grondwaterkwaliteit stuit op grote praktische problemen en zal naar verwachting niet leiden tot belangrijke kostenreducties (zie hoofdstukken 4 en 8).*

Vanwege de grote verschillen in de frequenties van bemonstering bij stijghoogte-meetnetten en kwaliteitsmeetnetten en vanwege de verschillen in de benodigde kennis en ervaring bij het bemonsteren, zijn er naar verwachting geen grote logistieke en financiële winsten te behalen bij het integreren van de bemonsteringsprogramma's voor beide meetnetten.

10. *Een integrale evaluatie van grondwatermeetnetten en oppervlaktewatermeetnetten die rekening houdt met de watersystemen zal naar verwachting leiden tot een betere afstemming van de meetnetten en op de lange termijn tot doelmatiger gegevensbestanden en een gunstiger prijs/prestatie-verhouding (zie hoofdstuk 8).*

Een integrale evaluatie van de grondwater- en oppervlaktewatermeetnetten (zowel kwantiteit als kwaliteit) op basis van de watersysteemindeling zal inzicht geven in de optimale locaties van meetpunten en in de benodigde opzet van meetprogramma's. Indien een dergelijke evaluatie wordt opgevolgd door aanpassingen in de meetnetten en de meetprogramma's, zullen beter op de doelstellingen afgestemde gegevensbestanden ontstaan. Dit leidt op de lange termijn tot een betere besteding van de middelen en een gunstiger prijs/prestatieverhouding van de meetnetten.

## 11.2 Aanbevelingen

1. *Ten behoeve van een overzichtelijke analyse van de monitoringsdoelstellingen wordt aanbevolen om de aan het water gerelateerde taken en aandachtsvelden van de provincie in een schema uit te zetten en de benodigde informatie voor elk van deze taken en aandachtsvelden te specificeren.*

In de hoofdstukken 3 en 4 zijn schema's gepresenteerd waarin de opzet van een meetnetevaluatie en doelstellingenanalyse is aangegeven; deze schema's kunnen voor de evaluatieprocedure door de provincies worden gevolgd.



2. *Ten aanzien van de evaluatie van stijghoogtemeetnetten wordt aanbevolen de ligging van de meetpunten nader te evalueren met betrekking tot hun positie en functie in de grondwatersystemen, in verband met de daaraan gerelateerde problematiek.*

Een analyse van de meetpuntfunctie in relatie tot de grondwatersystemen was te omvangrijk om binnen de beschikbare middelen van het bestaande project uit te voeren. Daarom is een vervolgproject gedefinieerd waarin deze problematiek aandacht krijgt.

3. *Met betrekking tot de grondwaterkwaliteit in de provincies wordt aanbevolen om zo spoedig mogelijk een begin te maken met de rapportage over de samenstelling van het grondwater. Dit wordt gezien als de enige mogelijkheid om meer inzicht en ervaring op te doen met de verwerking van de gegevens, hetgeen de basis vormt voor meetnetevaluatie.*
4. *Ten behoeve van de evaluatie van de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG'S) worden de volgende activiteiten aanbevolen:*
  - a) *per milieuthema of provinciale taak de monitoringsdoelstellingen (normoverschrijding, trenddetectie of andere) vaststellen en naar homogene gebieden specificeren;*
  - b) *per milieuthema de passende gidsparameters vaststellen;*
  - c) *per gidsparameter effectiviteitseisen formuleren bij de gekozen doelstellingen;*
  - d) *de bestaande meetinspanning (meetnetdichtheid, parameterpakket en meetfrequentie) evalueren en in overeenstemming brengen met de doelstellingen.*
7. *In relatie tot de integratie van meetnetten wordt aanbevolen om de mogelijkheden en de voordelen van afstemming van meetnetten op basis van watersystemen in een voorbeeldgebied nader te onderzoeken. Daarbij zullen zowel de grondwatermeetnetten als de oppervlaktewatermeetnetten in beschouwing moeten worden genomen.*

## 12 Referenties

- Baggelaar, P.K. en C.G.E.M. van Beek (1995). 'Suggesties voor optimalisatie van grootschalige meetnetten grondwaterkwaliteit'. KIWA rapport KOA 95.107, Nieuwegein.
- Bloemendaal, S., P.R. Defize en W.J.M.K. Senden (1988). 'Inrichting van het provinciale meetnet grondwaterkwaliteit van Zuid-Holland'. Dienst Grondwaterverkenning TNO, rapportnr.: OS 88-46.
- Bracht, M.J. van, en J. Kreling (1985). 'Ontwerp primair provinciaal grondwatermeetnet Drenthe. TNO-DGV'. Dienst grondwaterverkenning rapportnr.: OS 84-31, Delft, 35 pp.
- Bracht, M.J. van (1994). 'Demands for information as the basis for groundwater monitoring strategies'. Proceedings international workshop Monitoring Tailormade, RIZA, Lelystad, The Netherlands.
- Bracht, M.J. van (1996). 'Expected Damage: A surrogate measure for quantifying the advantages of groundwater monitoring networks for water management'. Proceedings international workshop Monitoring Tailormade II, RIZA, Lelystad, The Netherlands.
- Broers, H.P. (1996a). 'De grondwaterkwaliteit van Drenthe'. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, rapportnr. GG R 96-78(A).
- Broers, H.P. (1996b): 'Evaluatie van het meetnet grondwaterkwaliteit van de provincie Drenthe'. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, rapportnr. GG R 96-79(A).
- Cochran, W.G. (1953): 'Sampling Techniques'. John Wiley & Sons, New York, 330 blz.
- Defize, P.R. (1985). 'Optimalisatie van een bestaand meetnet met behulp van kriging. CHO-TNO, Rapporten en Nota's.
- Defize, P.R. (1986). 'Informal guide to the use of the kriging program ARKI'. TNO-DGV Inst. Appl. Geoscience, Rep. No. OS 86-06, 11 pp.
- Duijvenbooden, W. van, J. Kooijman, A.A. Peeters en H.L.M. Rolf (1986). 'Grondwatermeetnetten en Databestanden, Verslag van een workshop'. RIVM, Leidschendam, Rapportnummer 728600001. DGV-TNO, Delft, Rapportnummer PN 86-11.
- Engelen, G.B. en F.A. Kloosterman (1996). 'Hydrological system analyses: methods and applications'. Water Science and Technology Library - Volume 20. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.



- Geer, F.C. van, C.B.M. te Stroet (1996). 'Experimenten met betrekking tot het primaire meetnet met behulp van het numeriek laboratorium, ervaringen en resultaten'. TNO-GG, Rap. no. GG R-96-26(A), Delft, 25 pp.
- Geer, F.C. van (1992). 'Samenhang in stijghoogtereeksen van filters in de verticaal'. Rapportnummer OS 92-86A, Delft.
- Gehrels, J.C., F.C. van Geer en J.J. de Vries (1994). 'Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones'. *Journal of Hydrology* 157 (1994), pp 105-138.
- Isaaks, E. and Srivastava, R. (1989). 'An introduction to applied geostatistics'. Oxford University Press, New York.
- IWACO B.V. (1996). 'Leidraad begrenzing watersystemen en bewerking watersysteeminformatie'. IWACO B.V. Afdeling Noord, 2E conceptrapportage, Groningen.
- Jousma, G. en A.H.M. Kremers (1994). 'Optimalisatie-onderzoek Grondwatermeetnet DZH'. TNO Grondwater en Geo-Energie, Rapportnummer OS 94-01B, Delft.
- Kafritsas, J. and Bras, R.L. (1981). 'The practice of kriging'. Tech. Rep. 263, Ralph M. Parsons Lab., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Marsily, G. de (1986). 'Quantitative Hydrogeology: Groundwater Hydrology for Engineers'. Academic Press, INC; Harcourt Brace Jovanovich Publishers, London.
- Sanders, Th.G., R.C. Ward, J.C. Loftis, T.D. Steele, D.D. Adrian en V. Vevjevich (1987). 'Design of Networks for Monitoring Water Quality'. Water Resources Publications, Littleton, Colorado-USA.
- Stuyfzand, P.J. (1993). 'Hydrochemistry and hydrology of coastal dunes of the Western Netherlands'. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Stuyfzand, P.J. (1994): 'Behavior of phosphate in eutrophic surface water upon artificial recharge in the Western Netherlands'. In: Artificial Recharge of Groundwater. Proc. Int. Symp., Orlando (USA), 17 - 22 July 1994. Editors: Johnson, A.I. and Finlayson, D.J. Am.
- TNO-IWIS (1983). 'Kriging, een ruimtelijke interpolatiemethode'. TNO Inst. Wiskunde, Informatieverwerking en Statistiek, Den Haag, 4 pp.

## Bijlage A Begrippenlijst

*ARIMA-model.* Auto Regressive Integrated Moving Average model.

*Auto-correlatie.* De relatie die de temporele samenhang van een grootheid (bijvoorbeeld stijghoogte op één locatie) aangeeft als functie van het (toenemende) tijdsinterval.

*Cross-validatie.* Een statistische techniek waarbij geschatte en gemeten waarden met elkaar kunnen worden vergeleken, uitsluitend gebruikmakend van de gegevens beschikbaar op bestaande locaties.

*Gidsparameter.* Parameter die als indicator genomen mag worden voor een bepaalde verontreiniging in een (homogeen) gebied.

*Homogeen gebied.* Een gebied waarin de eigenschappen van het grondwatersysteem, bijvoorbeeld de grondwaterkwaliteit, een geringe variatie vertonen.

*Kriging interpolatie.* Een interpolatie-techniek waarbij een schatting wordt verkregen van een bepaalde grootheid (bijvoorbeeld de stijghoogte) op een willekeurige locatie, met minimale variantie, door gebruik te maken van metingen op naburige locaties.

*Mediaan.* Een maat voor het centrum van een kansverdeling, zijnde de waarde die door 50 % van de waarden wordt onderschreden (en door 50 % van de waarden wordt overschreden).

*Onafhankelijke metingen.* Metingen die geen relatie vertonen tot metingen in hun omgeving (in ruimtelijke zin) of tot voorafgaande metingen (in temporele zin).

*Percentiel.* Een kengetal van een kansverdeling. Zo is het 95-percentiel van een kansverdeling de waarde die door 5% van de waarden wordt overschreden.

*Seriële afhankelijkheid.* Het verschijnsel dat de waarde van een proces op een bepaald tijdstip afhangt van de voorgaande waarden.

*Sir-waarde.* Standaardafwijking van de interpolatiefout in de ruimte, gebruikt als maat voor de onzekerheid bij de inrichting van de provinciale of primaire stijghoogtemeetnetten.

*SPSS.* Statistical Package for the Social Sciences.

*Standaardafwijking.* Een maat voor de spreiding van de waarden in een kansverdeling.

*Statistisch homogeen gebied.* Gebied waar binnen de statistische verdeling van bepaalde gebiedseigenschappen als constant verondersteld mag worden.



*Variogram.* Grafiek die de ruimtelijke samenhang van een grootheid (bijvoorbeeld stijghoogte op één tijdstip) aangeeft, in de vorm van variantie van het verschil, als functie van de (toenemende) afstand.

*Verwachtingswaarde.* Het (werkelijke) gemiddelde van een kansverdeling.

*Z-score.* Criterium gehanteerd bij cross-validatie, waarin het verschil tussen schatting en gemeten waarde op een meetlocatie worden gerelateerd aan de standaardafwijking van de schatting.

## Bijlage B      Methode voor berekening van de nauwkeurigheid van het jaargemiddelde bij gecorreleerde metingen

### Principe van de benadering

In deze bijlage is aangegeven hoe het jaargemiddelde en de nauwkeurigheid daarvan bij reeksen met een sterke autocorrelatie kan worden berekend. Daarbij is de relatie gelegd tussen de meetfrequentie en de standaardafwijking van het jaargemiddelde. Er wordt aangenomen dat de lezer bekend is met basis statistiek en met de beginselen van Kriging interpolatie (zie bv. De Marsily, 1981).

In de geostatistiek is het een bekend probleem om het gemiddelde over een bepaalde oppervlakte in de ruimte te schatten uit omliggende puntwaarnemingen. De methodiek hiervoor staat bekend als Block Kriging. Het schatten van het jaargemiddelde kan worden gezien als een één-dimensionale variant van Block Kriging, waarbij het Block overeenkomt met een jaar. Het jaargemiddelde kan dan bepaald worden met:

$$h_{T_0}^* = \sum_{i=1}^m \lambda_0^i h_i$$

hierin is:  $h_{T_0}^*$  de schatting van het gemiddelde over de periode  $T_0$   
 $\lambda_0^i$  het gewicht van de waarneming op tijdstip  $t_i$   
 $h_i$  de waarneming op tijdstip  $t_i$   
 $m$  het aantal waarnemingen.

Voor het jaargemiddelde is de periode  $T_0$  gelijk aan een jaar. In het algemeen is  $m$  het aantal waarnemingen binnen het jaar, maar er is geen enkel bezwaar om voor het schatten van een jaargemiddelde ook waarnemingen uit het voorafgaande jaar en het volgende jaar te gebruiken.

De gewichten worden bepaald uit de vergelijking:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_0^j \gamma(t_i - t_j) + \mu = \bar{\gamma}(t_i, T_0) \quad i=1, \dots, m$$

en:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_0^j = 1$$

hierin is:  $\gamma(t_i - t_j)$  de temporele semi-variantie tussen de metingen op  $t_i$  en  $t_j$   
 $\mu$  de Lagrange multiplier  
 $\bar{\gamma}(t_i, T_0)$  de semi-variantie tussen de meting op  $t_i$  en de periode  $T_0$ .



De semi-variantie is gedefinieerd als:

$$\bar{\gamma}(t_i, T_o) = \frac{1}{T_o} \int_{T_o}^i \gamma(t_i - t) dt$$

De temporele semi-variantie is gedefinieerd analoog aan de ruimtelijk semi-variantie als de helft van de variantie van het verschil tussen twee waarden op verschillende tijdstippen. Uit de formule voor de semi-variantie tussen een meting en een periode blijkt dat dit de gemiddelde semi-variantie is tussen de meting en alle punten binnen de periode.

De variantie van de fout in de schatting van het jaargemiddelde is gegeven met de uitdrukking:

$$\text{var}(h_{T_o}^* - h_{T_o}) = \sum_{i=1}^m \lambda_o^i \bar{\gamma}(t_i, T_o) + \mu - \bar{\bar{\gamma}}(T_o, T_o)$$

met

$$\bar{\bar{\gamma}}(T_o, T_o) = \frac{1}{T_o^2} \int_{T_o}^i \int_{T_o}^i \gamma(t - \tau) dt d\tau$$

### Opmerkingen

1. Tussen de temporele semi-variantie en de auto-correlatie van een reeks bestaat het volgende verband:

$$\gamma(\Delta t) = \sigma_h^2 \{1 - \rho_h(\Delta t)\}$$

hierin is:  $\sigma_h^2$  de variantie van de reeks h  
 $\rho_h(\Delta t)$  de auto-correlatie met time lag  $\Delta t$

2. De uitdrukking voor de variantie van de schattingsfout laat zien dat deze variantie afhankelijk is van de periode  $T_o$ , de variantie en correlatie van de reeks (via de semi-variantie en de wegingsfactoren) en van de meetfrequentie (het aantal metingen  $m$  en de tijdstippen hiervan). De variantie en de correlatie zijn eigenschappen van een bepaalde reeks. Voor het schatten van het jaargemiddelde is  $T_o$  een periode van één jaar. Met de uitdrukking kan derhalve de relatie tussen de variantie en de meetfrequentie worden geanalyseerd.
3. Bij de hierboven gevolgde procedure wordt het jaargemiddelde geschat door middel van een gewogen gemiddelde. De wegingsfactoren hangen af van de correlatie in de reeks. Door deze weging is de procedure ook geschikt voor waarnemingsreeksen met een niet constante meetfrequentie.
4. Voor het schatten van het jaargemiddelde kan in principe elk Kriging programma worden gebruikt waarbinnen een optie is voor Block Kriging.

## Bijlage C Onderbouwing gidsparameters

### Gidsparameters voor vermisting

Afhankelijk van de omstandigheden kunnen de parameters nitraat, ammonium, fosfaat en kalium als gidsparameter voor vermisting fungeren.

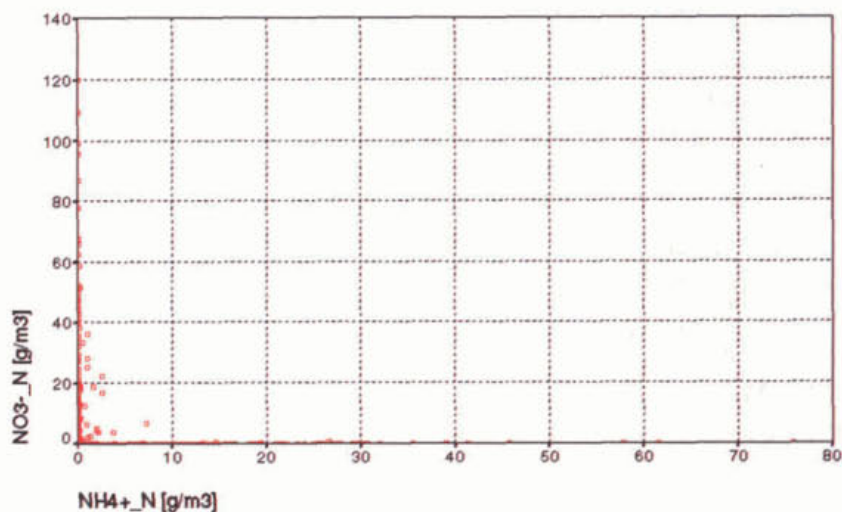
#### Nitraat

Omdat nitraat onder anaerobe omstandigheden denitrificeert (omzetting tot stikstofgas en water), hoeven we het niet te verwachten in klei-/veengebieden met een ondiepe grondwaterspiegel, of in zandgebieden met een ondiepe grondwaterspiegel, waar ook organisch materiaal voorkomt, zoals wortelresten. In klei-/veengebieden met een diepere grondwaterspiegel kan de concentratie nitraat daarentegen zeer hoog oplopen door oxydatie van het veen. Nitraat zal derhalve slechts een geschikte gidsparameter voor vermisting zijn in zandgebieden waar de grondwaterspiegel onder de wortelzone ligt.

Enkele voorbehouden moeten worden gemaakt voor natuurgebieden en duingebieden. Voor wat betreft natuurgebieden moet er namelijk rekening mee worden gehouden dat een hoge concentratie nitraat ook kan zijn veroorzaakt door afsterving van bos. En in duingebieden kan een hoge concentratie nitraat zijn ontstaan door fixatie van atmosferisch stikstofgas door duindoorn en stikstof-fixerende bacteriën [Stuyfzand, 1993].

#### Ammonium

Omdat ammonium kan voorkomen onder omstandigheden waaronder nitraat niet kan voorkomen (zie figuur C1), kan het soms als vervangende gidsparameter voor vermisting dienen. Dit is het geval in klei-/veengebieden, vooropgesteld dat er infiltratie optreedt. Maar omdat ammonium ook van nature kan optreden in dergelijke gebieden, is het geen optimale gidsparameter voor vermisting te noemen.



Figuur C1: De concentratie nitraat-N uitgezet tegen de concentratie ammonium-N, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1).



### *Kalium*

Kalium kan door fixatie worden geadsorbeerd aan kleimineralen, onder desorptie van een ander kation. In kleiarne zandgronden zal kalium dus als geschikte gidsparameter voor vermessing kunnen dienen. Een voorbehoud moet echter worden gemaakt voor die gebieden waar kalium vrijkomt door desorptie ten gevolge van zeewaterverdringing.

### *Fosfaat*

Fosfaten worden vooral vastgelegd door ijzer- en aluminiumhydroxyden, die in hoge gehalten aanwezig kunnen zijn in de onverzadigde zone van gronden met een diepe grondwaterstand. Verder kunnen kleimineralen fosfaten vastleggen. Omdat kleigronden ook ijzer- en aluminiumhydroxiden bevatten, zal het fosfaat daar slechts langzaam doorspoelen naar het grondwater. In hoogveengronden komen geen kleimineralen voor en komen ook geen ijzer- en aluminiumhydroxyden voor, zodat het fosfaat daar vrij kan doorspoelen naar het grondwater en als gidsparameter voor vermessing kan fungeren. Men moet er echter op bedacht zijn dat het veen zelf ook grote hoeveelheden fosfaat kan leveren, door mineralisatie onder anaerobe omstandigheden.

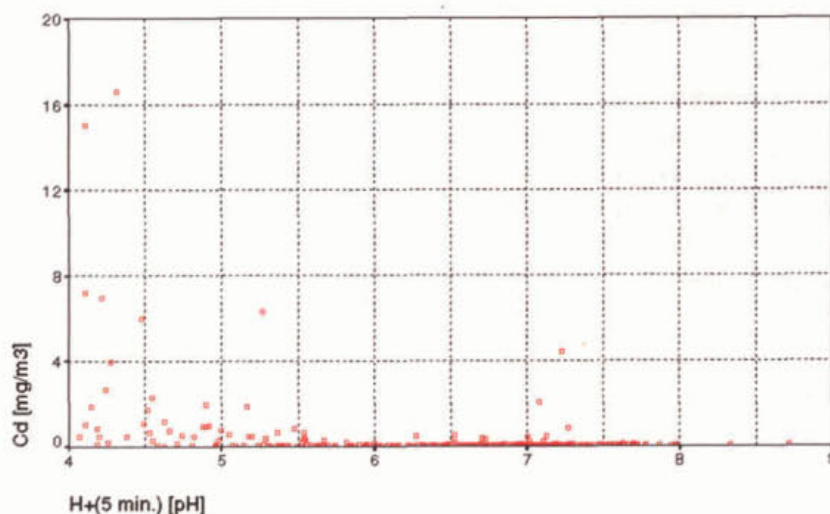
Fosfaat wordt verder nog vastgelegd door kalk, via adsorptie en door precipitatie als apatiet. Zo blijkt er in kalkhoudende zandgronden een flinke retentie op te treden van fosfaat [Stuyfzand, 1994]. Fosfaat kan daarom ook als gidsparameter voor vermessing dienen in kalkloze en kleiarne zandgronden, mits de grondwaterspiegel ondiep is, zodat er slechts geringe hoeveelheden ijzer- en aluminiumhydroxiden voor kunnen komen.

## **Gidsparameters voor verspreiding**

Als gidsparameter voor verspreiding komen meerdere anorganische en organische microparameters in aanmerking. We zullen ons hier echter beperken tot cadmium, arseen en DCP (dichloorpropan).

### *Cadmium*

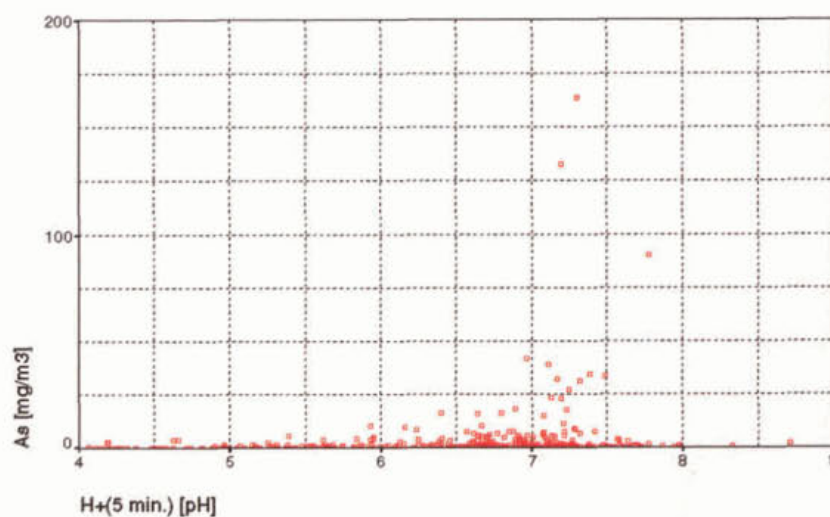
Cadmium wordt zowel op kleigronden als op gronden met veel organische stof gebonden aan de bodem. Verantwoordelijk daarvoor zijn in het ene geval het omwisselcomplex en in het andere geval de organische stof. Voor wat betreft laatstgenoemde wordt cadmium sterker aan de bodem geadsorbeerd naarmate het gehalte organische stof van de bodem hoger is en naarmate de pH hoger is. Cadmium zal dus geen geschikte gidsparameter vormen voor verspreiding in klei-/veengebieden, maar daarentegen wel in humusarme en kalkloze zandgebieden, waar de pH laag is ( $< 5,5$ ). In figuur C2 hebben we voor het LMG en de PMG's (filter 1) de concentratie cadmium uitgezet tegen de pH. Uit de figuur blijkt dat de concentratie cadmium met name bij lagere pH's ( $< 5,5$ ) relevante waarden kan gaan aannemen.



Figuur C2: De concentratie cadmium uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1).

#### Arseen

Arseen bereikt binnen het neutrale pH-bereik doorgaans hogere concentraties in het grondwater. Bij lage pH (< 6) wordt het sterk gebonden aan de bodem, terwijl het bij hoge pH's (> 8) neer zal slaan. Opgelost arseen is daarom slechts in hogere concentraties te verwachten als de pH tussen 6 en 8 ligt. Dit blijkt ook uit figuur C3, waar we voor het LMG en de PMG's (filter 1) de concentratie arseen hebben uitgezet tegen de pH.



Figuur C3: De concentratie arseen uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1).

Omdat arseen mobiel is in het neutrale pH-bereik, kan het in kalkrijke zandgronden als gidsparameter voor verspreiding dienen. Men moet er echter op bedacht zijn dat het voorkomen van arseen niet altijd hoeft te duiden op atmosferische depositie, omdat het ook al van nature aanwezig kan zijn.



### DCP (dichloorpropan)

In de meeste gevallen is er vermoedelijk geen interactie tussen DCP en het bodemmateriaal en is het ook niet onderhevig aan biotransformatie. Een voorbehoud moet wellicht worden gemaakt voor sterk anoxische milieus, waar zelfs PCB's worden omgezet. In principe gaan we er echter van uit dat DCP bijna overal kan fungeren als gidsparameter voor verspreiding.

### Gidsparameters voor verzuring

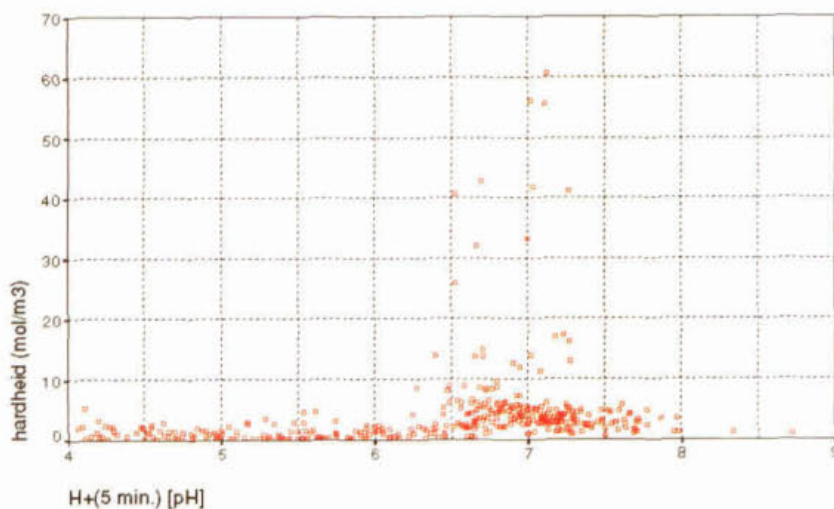
De effecten van verzuring worden in de bodem tegengegaan door een reeks van bufferingen. Dit gaat in de volgorde [Stuyfzand, 1993]:

- 1)  $6,2 < \text{pH} < 8,0$ : buffering door kalk;
- 2)  $4,2 < \text{pH} < 6,2$ : buffering door adsorptie aan het omwisselcomplex;
- 3)  $\text{pH} < 5$ : buffering door oplossing van aluminiumhydroxide.

Op kalkhoudende zandgronden zal dus vooral de kalkbuffer worden aangesproken, op kleigronden de omwisselbuffer en op kalkloze zandgronden de aluminiumbuffer. De pH is daardoor slechts stapsgewijs gerelateerd aan de mate van verzuring, wat deze een onvolledige gidsparameter voor verzuring maakt. Afhankelijk van de omstandigheden zullen de hardheid, de concentratie aluminium of de concentratie sulfaat aanvullende informatie over verzuring kunnen leveren.

### Hardheid

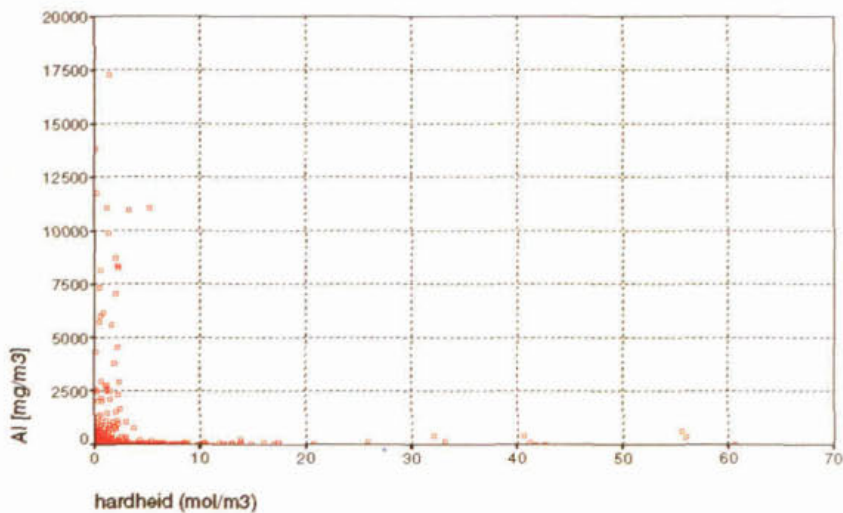
Als de pH tussen 6,2 en 8,0 ligt, wordt verzuring gebufferd door het oplossen van kalk, wat zal leiden tot grotere hardheid (een maat voor de hoeveelheid calcium en magnesium). De waarnemingen van het LMG en de PMG's (filter 1) tonen ons dan ook dat de hardheid pas relevant wordt als de pH binnen genoemd bereik ligt (zie figuur C4).



Figuur C4: De hardheid uitgezet tegen de pH, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1).







*Figuur C6: De concentratie aluminium uitgezet tegen de hardheid, zoals in 1992 gemeten in het LMG en de PMG's (filter 1).*

### *Sulfaat*

In de meeste gevallen zal sulfaat geen interactie vertonen met het bodemmateriaal. Voorbehouden moeten echter worden gemaakt voor sterk anoxische milieus, waar het kan reduceren tot ijzersulfide en voor zure milieus (pH 4,0 -5,5), waar het kan reageren met aluminiumhydroxide. Normaal gesproken kan sulfaat daarmee toch nog in veel gebiedstypen een gidsparameter zijn voor verzuring. Een waarschuwing is verder nog op zijn plaats voor bodems die ijzersulfiden, zoals pyriet, kunnen bevatten. Onder bepaalde omstandigheden (verlaging van de grondwaterspiegel, oxydatie door nitraat) kunnen dergelijke sulfiden namelijk omgezet worden naar sulfaat. Verder kan sulfaat in verhoogde mate aanwezig zijn in gebieden waar mariene invloeden zijn opgetreden.

### **Gidsparameter voor algemene verontreiniging**

#### *Chloride*

Omdat chloride geen interactie vertoont met bodemmateriaal of andere parameters, kan het in principe in alle gebiedstypen als gidsparameter dienen voor algemene verontreiniging. Uiteraard geldt dit niet voor die gebieden waar brak of zout grondwater van mariene oorsprong voorkomt.

## Bijlage D: Resultaten van de cross-validatie

Tabel D1: Ruimtelijk gemiddelde z-scores per tijdstap

De ruimtelijk gemiddelde z-scores per tijdstap komen overeen met de horizontale kolom onderaan de matrix in Fig. 5.4 ( $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$ ). In de tabel zijn weergegeven: de standaardfout  $\sigma$  van  $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\varepsilon}_{2,j}$ , de minimum (*min*) en maximum (*max*) waarde voor  $\bar{\varepsilon}_{1,j}$ , en de fracties van  $\bar{\varepsilon}_{1,j}$  die binnen 1 en 2 maal de standaarddeviatie vallen.

| No | datum  | n  | $\bar{\varepsilon}_{1,j}$ | $\sigma(\varepsilon_{1,j})$ | $\bar{\varepsilon}_{2,j}$ | $\sigma(\varepsilon_{2,j})$ | <i>min</i> ( $\varepsilon_{1,j}$ ) | <i>max</i> ( $\varepsilon_{1,j}$ ) | $ \varepsilon_{1,j}  \leq 2\sigma$ | $ \varepsilon_{1,j}  \leq \sigma$ |
|----|--------|----|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | 910114 | 53 | -0.05                     | 1.24                        | 1.54                      | 2.29                        | -3.02                              | 3.30                               | 0.87                               | 0.62                              |
| 2  | 910128 | 56 | -0.08                     | 1.03                        | 1.07                      | 1.26                        | -2.15                              | 2.15                               | 0.93                               | 0.68                              |
| 3  | 910214 | 54 | -0.08                     | 0.99                        | 0.99                      | 1.21                        | -2.13                              | 2.06                               | 0.94                               | 0.70                              |
| 4  | 910228 | 56 | -0.06                     | 1.02                        | 1.05                      | 1.41                        | -2.01                              | 2.76                               | 0.95                               | 0.64                              |
| 5  | 910314 | 55 | -0.06                     | 1.07                        | 1.16                      | 1.49                        | -2.12                              | 2.72                               | 0.93                               | 0.67                              |
| 6  | 910328 | 55 | -0.06                     | 1.03                        | 1.07                      | 1.41                        | -2.17                              | 2.68                               | 0.95                               | 0.67                              |
| 7  | 910414 | 56 | -0.04                     | 0.94                        | 0.89                      | 1.38                        | -2.01                              | 2.74                               | 0.96                               | 0.75                              |
| 8  | 910428 | 57 | -0.06                     | 1.00                        | 1.00                      | 1.40                        | -2.19                              | 2.63                               | 0.95                               | 0.70                              |
| 9  | 910514 | 64 | 0.02                      | 0.96                        | 0.92                      | 1.13                        | -1.81                              | 2.63                               | 0.98                               | 0.64                              |
| 10 | 910528 | 65 | 0.02                      | 0.95                        | 0.91                      | 1.19                        | -1.91                              | 2.75                               | 0.98                               | 0.68                              |
| 11 | 910614 | 58 | -0.03                     | 0.91                        | 0.83                      | 1.17                        | -1.87                              | 2.38                               | 0.97                               | 0.74                              |
| 12 | 910628 | 64 | 0.02                      | 0.98                        | 0.96                      | 1.11                        | -1.69                              | 2.37                               | 0.98                               | 0.64                              |
| 13 | 910714 | 64 | 0.04                      | 0.95                        | 0.91                      | 1.17                        | -2.04                              | 2.55                               | 0.97                               | 0.69                              |
| 14 | 910728 | 64 | 0.03                      | 0.98                        | 0.96                      | 1.26                        | -1.98                              | 2.62                               | 0.97                               | 0.69                              |
| 15 | 910814 | 62 | 0.03                      | 0.95                        | 0.91                      | 1.35                        | -2.22                              | 2.60                               | 0.95                               | 0.77                              |
| 16 | 910828 | 62 | 0.03                      | 0.91                        | 0.83                      | 1.20                        | -2.07                              | 2.67                               | 0.97                               | 0.74                              |
| 17 | 910914 | 66 | -0.03                     | 0.82                        | 0.67                      | 1.14                        | -1.86                              | 2.71                               | 0.98                               | 0.79                              |
| 18 | 910928 | 63 | -0.03                     | 0.78                        | 0.61                      | 1.06                        | -1.74                              | 2.69                               | 0.98                               | 0.81                              |
| 19 | 911014 | 61 | -0.01                     | 0.90                        | 0.81                      | 1.23                        | -1.83                              | 2.79                               | 0.98                               | 0.72                              |
| 20 | 911028 | 63 | -0.04                     | 0.95                        | 0.91                      | 1.25                        | -1.91                              | 2.72                               | 0.98                               | 0.68                              |
| 21 | 911114 | 65 | -0.03                     | 0.87                        | 0.77                      | 1.00                        | -1.67                              | 2.46                               | 0.98                               | 0.72                              |
| 22 | 911128 | 64 | -0.03                     | 0.97                        | 0.94                      | 1.24                        | -1.97                              | 2.81                               | 0.97                               | 0.64                              |
| 23 | 911214 | 64 | -0.05                     | 0.95                        | 0.91                      | 1.35                        | -2.23                              | 2.76                               | 0.95                               | 0.73                              |
| 24 | 911228 | 66 | -0.03                     | 1.02                        | 1.05                      | 1.53                        | -2.69                              | 2.82                               | 0.97                               | 0.65                              |
| 25 | 920114 | 64 | -0.03                     | 1.01                        | 1.02                      | 1.23                        | -2.06                              | 2.66                               | 0.97                               | 0.58                              |
| 26 | 920128 | 68 | -0.04                     | 1.03                        | 1.07                      | 1.37                        | -2.26                              | 2.78                               | 0.96                               | 0.65                              |
| 27 | 920214 | 67 | -0.03                     | 1.09                        | 1.19                      | 1.63                        | -2.36                              | 2.75                               | 0.91                               | 0.72                              |
| 28 | 920228 | 66 | -0.05                     | 1.12                        | 1.26                      | 1.70                        | -3.14                              | 2.76                               | 0.97                               | 0.61                              |
| 29 | 920314 | 65 | -0.03                     | 1.24                        | 1.53                      | 2.22                        | -2.77                              | 3.43                               | 0.89                               | 0.58                              |
| 30 | 920328 | 66 | -0.02                     | 1.13                        | 1.27                      | 1.61                        | -2.45                              | 2.66                               | 0.91                               | 0.62                              |
| 31 | 920414 | 66 | -0.02                     | 1.05                        | 1.10                      | 1.46                        | -2.36                              | 2.73                               | 0.94                               | 0.65                              |
| 32 | 920428 | 68 | -0.04                     | 1.02                        | 1.03                      | 1.41                        | -2.57                              | 2.79                               | 0.97                               | 0.63                              |
| 33 | 920514 | 65 | -0.04                     | 1.09                        | 1.20                      | 1.55                        | -2.84                              | 2.64                               | 0.94                               | 0.62                              |
| 34 | 920528 | 68 | -0.04                     | 1.00                        | 1.01                      | 1.25                        | -2.39                              | 2.57                               | 0.97                               | 0.66                              |



|    |        |    |       |      |      |      |       |      |      |      |
|----|--------|----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 35 | 920614 | 67 | -0.02 | 0.94 | 0.89 | 1.24 | -2.22 | 2.66 | 0.96 | 0.73 |
| 36 | 920628 | 65 | -0.02 | 0.99 | 0.98 | 1.43 | -2.36 | 2.78 | 0.95 | 0.72 |
| 37 | 920714 | 68 | -0.04 | 0.91 | 0.83 | 1.21 | -2.11 | 2.71 | 0.97 | 0.71 |
| 38 | 920728 | 67 | -0.03 | 0.88 | 0.78 | 1.14 | -2.06 | 2.51 | 0.97 | 0.78 |
| 39 | 920814 | 67 | -0.05 | 0.90 | 0.81 | 1.14 | -1.98 | 2.60 | 0.97 | 0.75 |
| 40 | 920828 | 68 | -0.04 | 0.89 | 0.80 | 1.08 | -1.61 | 2.72 | 0.99 | 0.72 |
| 41 | 920914 | 71 | -0.03 | 0.91 | 0.83 | 1.27 | -2.52 | 2.60 | 0.96 | 0.79 |
| 42 | 920928 | 71 | -0.04 | 0.82 | 0.67 | 0.85 | -1.82 | 2.04 | 0.99 | 0.77 |
| 43 | 921014 | 67 | -0.04 | 0.83 | 0.69 | 1.07 | -1.56 | 2.77 | 0.99 | 0.76 |
| 44 | 921028 | 68 | -0.04 | 0.97 | 0.94 | 1.35 | -1.82 | 2.71 | 0.96 | 0.68 |
| 45 | 921114 | 69 | -0.02 | 1.01 | 1.03 | 1.29 | -1.88 | 2.41 | 0.97 | 0.67 |
| 46 | 921128 | 67 | 0.01  | 1.17 | 1.36 | 2.68 | -3.15 | 4.37 | 0.96 | 0.63 |
| 47 | 921214 | 68 | 0.01  | 1.04 | 1.08 | 1.22 | -2.09 | 2.28 | 0.97 | 0.63 |
| 48 | 921228 | 68 | -0.03 | 1.21 | 1.46 | 1.65 | -2.43 | 2.58 | 0.91 | 0.59 |
| 49 | 930114 | 67 | -0.02 | 1.04 | 1.09 | 1.30 | -2.12 | 2.35 | 0.96 | 0.67 |
| 50 | 930128 | 66 | -0.03 | 1.13 | 1.28 | 1.48 | -2.48 | 2.27 | 0.92 | 0.59 |
| 51 | 930214 | 67 | -0.04 | 1.21 | 1.46 | 1.60 | -2.65 | 2.60 | 0.93 | 0.54 |
| 52 | 930228 | 67 | -0.04 | 1.17 | 1.37 | 1.61 | -2.73 | 2.66 | 0.94 | 0.54 |
| 53 | 930314 | 66 | -0.01 | 1.12 | 1.26 | 1.60 | -2.73 | 2.67 | 0.91 | 0.61 |
| 54 | 930328 | 68 | -0.05 | 1.08 | 1.16 | 1.41 | -2.63 | 2.50 | 0.94 | 0.62 |
| 55 | 930414 | 68 | -0.05 | 1.05 | 1.11 | 1.36 | -2.49 | 2.46 | 0.94 | 0.63 |
| 56 | 930428 | 68 | -0.05 | 1.05 | 1.11 | 1.35 | -2.48 | 2.37 | 0.94 | 0.63 |
| 57 | 930514 | 67 | -0.03 | 1.03 | 1.06 | 1.38 | -2.19 | 2.62 | 0.93 | 0.67 |
| 58 | 930528 | 68 | -0.05 | 0.98 | 0.96 | 1.21 | -2.08 | 2.78 | 0.97 | 0.62 |
| 59 | 930614 | 68 | -0.05 | 0.96 | 0.93 | 1.20 | -1.94 | 2.51 | 0.97 | 0.69 |
| 60 | 930628 | 66 | -0.03 | 0.95 | 0.90 | 1.26 | -2.14 | 2.54 | 0.95 | 0.77 |
| 61 | 930714 | 68 | -0.06 | 1.00 | 1.01 | 1.56 | -2.62 | 2.94 | 0.93 | 0.71 |
| 62 | 930728 | 68 | -0.04 | 0.97 | 0.95 | 1.30 | -2.05 | 2.55 | 0.94 | 0.66 |
| 63 | 930814 | 67 | -0.05 | 0.88 | 0.77 | 1.10 | -1.83 | 2.59 | 0.99 | 0.78 |
| 64 | 930828 | 67 | -0.05 | 0.88 | 0.78 | 1.15 | -2.03 | 2.64 | 0.97 | 0.76 |
| 65 | 930914 | 70 | -0.04 | 0.92 | 0.85 | 1.09 | -1.97 | 2.51 | 0.97 | 0.70 |
| 66 | 930928 | 69 | -0.02 | 0.97 | 0.95 | 1.25 | -2.02 | 2.47 | 0.96 | 0.65 |
| 67 | 931014 | 68 | -0.04 | 1.14 | 1.30 | 1.55 | -2.50 | 2.48 | 0.93 | 0.56 |
| 68 | 931028 | 68 | -0.05 | 1.21 | 1.46 | 1.78 | -2.61 | 2.70 | 0.88 | 0.53 |
| 69 | 931114 | 70 | -0.05 | 1.15 | 1.33 | 1.68 | -2.58 | 2.62 | 0.90 | 0.56 |
| 70 | 931128 | 67 | -0.04 | 1.15 | 1.33 | 1.69 | -2.40 | 2.92 | 0.91 | 0.61 |
| 71 | 931214 | 67 | -0.03 | 1.15 | 1.32 | 1.59 | -2.42 | 2.42 | 0.90 | 0.66 |
| 72 | 931228 | 67 | -0.06 | 1.24 | 1.53 | 1.99 | -2.91 | 2.77 | 0.87 | 0.54 |
| 73 | 940114 | 64 | -0.05 | 1.25 | 1.55 | 2.20 | -3.00 | 3.00 | 0.89 | 0.59 |
| 74 | 940128 | 67 | -0.08 | 1.28 | 1.64 | 2.24 | -2.74 | 3.53 | 0.87 | 0.51 |
| 75 | 940214 | 66 | -0.10 | 1.24 | 1.56 | 1.83 | -2.36 | 2.78 | 0.88 | 0.56 |
| 76 | 940228 | 67 | -0.11 | 1.17 | 1.37 | 1.58 | -2.33 | 2.52 | 0.91 | 0.61 |
| 77 | 940314 | 66 | -0.05 | 1.20 | 1.45 | 1.67 | -2.41 | 2.52 | 0.91 | 0.59 |
| 78 | 940328 | 65 | -0.06 | 1.30 | 1.71 | 2.21 | -2.73 | 3.30 | 0.86 | 0.51 |
| 79 | 940414 | 64 | -0.06 | 1.33 | 1.76 | 2.19 | -2.58 | 3.45 | 0.86 | 0.52 |

|     |        |    |       |      |      |      |       |      |      |      |
|-----|--------|----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 80  | 940428 | 64 | -0.05 | 1.22 | 1.49 | 1.81 | -2.47 | 2.74 | 0.89 | 0.58 |
| 81  | 940514 | 64 | -0.05 | 1.04 | 1.08 | 1.29 | -2.24 | 2.16 | 0.95 | 0.67 |
| 82  | 940528 | 65 | -0.04 | 1.11 | 1.23 | 1.50 | -2.27 | 2.72 | 0.94 | 0.58 |
| 83  | 940614 | 64 | -0.06 | 1.14 | 1.31 | 1.55 | -2.28 | 2.63 | 0.92 | 0.62 |
| 84  | 940628 | 65 | -0.05 | 1.05 | 1.11 | 1.35 | -2.02 | 2.53 | 0.94 | 0.68 |
| 85  | 940714 | 64 | -0.02 | 1.02 | 1.05 | 1.33 | -2.19 | 2.53 | 0.97 | 0.69 |
| 86  | 940728 | 65 | -0.04 | 1.01 | 1.03 | 1.31 | -2.18 | 2.54 | 0.95 | 0.68 |
| 87  | 940814 | 66 | -0.04 | 1.10 | 1.21 | 2.21 | -2.43 | 3.86 | 0.92 | 0.71 |
| 88  | 940828 | 66 | -0.04 | 1.08 | 1.17 | 2.17 | -2.46 | 3.83 | 0.94 | 0.71 |
| 89  | 940914 | 70 | -0.06 | 1.07 | 1.16 | 1.87 | -2.44 | 3.30 | 0.94 | 0.66 |
| 90  | 940928 | 70 | -0.05 | 0.94 | 0.89 | 1.19 | -1.98 | 2.64 | 0.97 | 0.69 |
| 91  | 941014 | 66 | -0.02 | 1.09 | 1.20 | 1.38 | -2.01 | 2.56 | 0.94 | 0.62 |
| 92  | 941028 | 68 | -0.04 | 1.09 | 1.20 | 1.80 | -3.14 | 2.75 | 0.93 | 0.63 |
| 93  | 941114 | 69 | -0.06 | 1.03 | 1.07 | 1.36 | -2.59 | 2.19 | 0.94 | 0.67 |
| 94  | 941128 | 68 | -0.03 | 1.21 | 1.46 | 1.62 | -2.57 | 2.12 | 0.88 | 0.54 |
| 95  | 941214 | 66 | -0.01 | 1.22 | 1.49 | 1.66 | -2.54 | 2.30 | 0.91 | 0.52 |
| 96  | 941228 | 68 | -0.01 | 1.24 | 1.53 | 1.71 | -2.49 | 2.30 | 0.84 | 0.54 |
| 97  | 950114 | 66 | -0.05 | 1.25 | 1.57 | 1.86 | -2.76 | 2.61 | 0.89 | 0.53 |
| 98  | 950128 | 66 | -0.06 | 1.27 | 1.60 | 1.95 | -2.76 | 3.07 | 0.89 | 0.53 |
| 99  | 950214 | 65 | -0.08 | 1.40 | 1.97 | 2.51 | -2.95 | 3.49 | 0.83 | 0.49 |
| 100 | 950228 | 67 | -0.08 | 1.33 | 1.78 | 2.28 | -3.23 | 3.08 | 0.85 | 0.51 |
| 101 | 950314 | 66 | -0.08 | 1.42 | 2.02 | 2.48 | -3.49 | 3.01 | 0.83 | 0.47 |
| 102 | 950328 | 66 | -0.08 | 1.26 | 1.58 | 2.19 | -3.24 | 3.16 | 0.89 | 0.56 |
| 103 | 950414 | 65 | -0.08 | 1.22 | 1.51 | 1.94 | -3.01 | 2.73 | 0.91 | 0.57 |
| 104 | 950428 | 65 | -0.07 | 1.26 | 1.60 | 1.99 | -3.27 | 2.53 | 0.89 | 0.55 |
| 105 | 950514 | 65 | -0.07 | 1.26 | 1.59 | 2.21 | -3.07 | 3.06 | 0.88 | 0.57 |
| 106 | 950528 | 66 | -0.07 | 1.10 | 1.21 | 1.60 | -3.06 | 2.43 | 0.94 | 0.61 |
| 107 | 950614 | 65 | -0.06 | 1.26 | 1.58 | 1.94 | -2.92 | 2.44 | 0.89 | 0.58 |
| 108 | 950628 | 65 | -0.05 | 1.19 | 1.41 | 1.68 | -2.63 | 2.71 | 0.94 | 0.54 |
| 109 | 950714 | 65 | -0.05 | 1.20 | 1.43 | 2.36 | -3.99 | 2.71 | 0.92 | 0.62 |
| 110 | 950728 | 66 | -0.06 | 1.04 | 1.08 | 1.42 | -2.49 | 2.60 | 0.94 | 0.68 |
| 111 | 950814 | 64 | -0.05 | 0.97 | 0.94 | 1.24 | -2.38 | 2.37 | 0.95 | 0.72 |
| 112 | 950828 | 64 | -0.04 | 0.93 | 0.87 | 1.26 | -2.17 | 2.37 | 0.95 | 0.75 |
| 113 | 950914 | 68 | -0.06 | 0.91 | 0.84 | 1.20 | -2.04 | 2.69 | 0.97 | 0.76 |
| 114 | 950928 | 67 | -0.05 | 0.86 | 0.75 | 1.10 | -1.85 | 2.57 | 0.99 | 0.75 |
| 115 | 951014 | 68 | -0.05 | 0.91 | 0.83 | 1.08 | -1.85 | 2.47 | 0.99 | 0.72 |
| 116 | 951028 | 68 | -0.05 | 0.87 | 0.75 | 0.93 | -1.87 | 2.23 | 0.99 | 0.69 |
| 117 | 951114 | 70 | -0.06 | 0.89 | 0.79 | 1.01 | -1.83 | 2.46 | 0.99 | 0.70 |
| 118 | 951128 | 68 | -0.05 | 0.88 | 0.78 | 1.07 | -1.83 | 2.53 | 0.99 | 0.76 |
| 119 | 951214 | 63 | -0.05 | 0.87 | 0.76 | 1.13 | -1.87 | 2.72 | 0.98 | 0.78 |
| 120 | 951228 | 68 | -0.05 | 0.93 | 0.87 | 1.38 | -2.34 | 2.93 | 0.97 | 0.74 |



Tabel D2: *Temporeel gemiddelde z-scores per locatie*

De tabel geeft de temporeel gemiddelde z-scores per locatie die overeenkomen met de verticale kolom aan de rechterzijde van de matrix in Fig. 5.4 ( $\bar{\epsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\epsilon}_{2,j}$ ). Tevens zijn gegeven de standaard fout  $\sigma$  van  $\bar{\epsilon}_{1,j}$  en  $\bar{\epsilon}_{2,j}$ , de kleinste (*min*) en grootste (*max*) waarde voor  $\bar{\epsilon}_{1,j}$ , en de fracties van  $\bar{\epsilon}_{1,j}$  die binnen 1- en 2- maal de standaarddeviatie vallen.

| No | peilbuis id. | $n$ | $\bar{\epsilon}_{1,j}$ | $\sigma(\epsilon_{1,j})$ | $\bar{\epsilon}_{2,j}$ | $\sigma(\epsilon_{2,j})$ | $\min(\epsilon_{1,j})$ | $\max(\epsilon_{1,j})$ | $ \epsilon_{1,j}  \leq 2\sigma$ | $ \epsilon_{1,j}  \leq \sigma$ |
|----|--------------|-----|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1  | 16fb001101   | 120 | -0.69                  | 0.49                     | 0.72                   | 0.83                     | -2.15                  | 0.61                   | 0.99                            | 0.72                           |
| 2  | 16fp000503   | 119 | -0.12                  | 0.45                     | 0.22                   | 0.29                     | -0.99                  | 1.41                   | 1.00                            | 0.98                           |
| 3  | 16fp001403   | 72  | 1.56                   | 0.41                     | 2.60                   | 1.42                     | 0.80                   | 2.92                   | 0.88                            | 0.08                           |
| 4  | 16fp001503   | 120 | 0.48                   | 0.24                     | 0.29                   | 0.27                     | -0.14                  | 1.19                   | 1.00                            | 0.96                           |
| 5  | 16fp006205   | 44  | -0.22                  | 0.40                     | 0.21                   | 0.33                     | -1.28                  | 0.57                   | 1.00                            | 0.95                           |
| 6  | 16gp008802   | 99  | -0.94                  | 0.63                     | 1.28                   | 1.38                     | -2.43                  | 0.30                   | 0.94                            | 0.54                           |
| 7  | 16gp012302   | 117 | -0.84                  | 0.22                     | 0.75                   | 0.34                     | -1.41                  | -0.13                  | 1.00                            | 0.80                           |
| 8  | 16hb002501   | 119 | 2.55                   | 0.26                     | 6.56                   | 1.27                     | 1.64                   | 3.30                   | 0.03                            | 0.00                           |
| 9  | 16hb002701   | 118 | -1.66                  | 0.35                     | 2.89                   | 1.11                     | -3.02                  | 0.08                   | 0.90                            | 0.03                           |
| 10 | 16hb003401   | 6   | -0.31                  | 0.32                     | 0.20                   | 0.29                     | -0.91                  | 0.04                   | 1.00                            | 1.00                           |
| 11 | 16hb004401   | 120 | 1.65                   | 0.44                     | 2.92                   | 1.60                     | 0.32                   | 3.43                   | 0.79                            | 0.08                           |
| 12 | 16hp005503   | 119 | -1.53                  | 0.43                     | 2.52                   | 1.34                     | -2.84                  | -0.34                  | 0.86                            | 0.08                           |
| 13 | 16hp007002   | 117 | 0.33                   | 0.27                     | 0.18                   | 0.25                     | -0.30                  | 1.29                   | 1.00                            | 0.98                           |
| 14 | 16hp008903   | 94  | -0.77                  | 0.40                     | 0.75                   | 1.00                     | -2.77                  | 0.02                   | 0.98                            | 0.79                           |
| 15 | 16hp009003   | 120 | -0.42                  | 0.50                     | 0.43                   | 0.42                     | -1.32                  | 1.28                   | 1.00                            | 0.86                           |
| 16 | 16hp010503   | 120 | -0.93                  | 0.41                     | 1.04                   | 0.93                     | -2.38                  | -0.06                  | 0.98                            | 0.61                           |
| 17 | 17ab002801   | 120 | 0.59                   | 0.32                     | 0.45                   | 0.42                     | -0.65                  | 1.35                   | 1.00                            | 0.88                           |
| 18 | 17ap003003   | 96  | 1.29                   | 0.38                     | 1.81                   | 0.92                     | 0.07                   | 2.27                   | 0.98                            | 0.19                           |
| 19 | 17ap003104   | 120 | -1.48                  | 0.45                     | 2.40                   | 1.29                     | -2.43                  | -0.38                  | 0.83                            | 0.17                           |
| 20 | 17ap004202   | 111 | -0.70                  | 0.53                     | 0.78                   | 0.83                     | -1.88                  | 0.66                   | 1.00                            | 0.70                           |
| 21 | 17ap004502   | 15  | 0.55                   | 0.72                     | 0.82                   | 1.92                     | -0.38                  | 2.81                   | 0.93                            | 0.87                           |
| 22 | 17ap009805   | 120 | -0.11                  | 0.67                     | 0.46                   | 0.57                     | -1.88                  | 1.44                   | 1.00                            | 0.89                           |
| 23 | 17ap009905   | 120 | -0.28                  | 0.42                     | 0.25                   | 0.36                     | -1.62                  | 1.19                   | 1.00                            | 0.96                           |
| 24 | 17bb001701   | 116 | -0.11                  | 0.64                     | 0.43                   | 0.64                     | -1.22                  | 2.26                   | 0.99                            | 0.93                           |
| 25 | 17bp009502   | 111 | 1.46                   | 0.93                     | 3.00                   | 3.01                     | -1.21                  | 3.53                   | 0.70                            | 0.31                           |
| 26 | 17bp009602   | 111 | 1.14                   | 0.39                     | 1.45                   | 0.92                     | 0.25                   | 1.99                   | 0.99                            | 0.39                           |
| 27 | 17bp009701   | 111 | -0.78                  | 0.30                     | 0.70                   | 0.50                     | -1.66                  | -0.09                  | 1.00                            | 0.78                           |
| 28 | 17bp014405   | 120 | -1.87                  | 0.46                     | 3.71                   | 1.80                     | -3.15                  | -1.09                  | 0.64                            | 0.00                           |
| 29 | 17bp014905   | 97  | -0.86                  | 0.38                     | 0.89                   | 0.62                     | -1.66                  | 0.21                   | 1.00                            | 0.61                           |
| 30 | 17cb000401   | 120 | 1.28                   | 0.38                     | 1.77                   | 0.86                     | -0.31                  | 2.25                   | 0.99                            | 0.19                           |
| 31 | 17cp009302   | 120 | -0.54                  | 0.34                     | 0.41                   | 0.36                     | -1.54                  | 1.22                   | 1.00                            | 0.94                           |
| 32 | 17cp009902   | 119 | -0.45                  | 0.80                     | 0.85                   | 2.02                     | -1.92                  | 3.86                   | 0.97                            | 0.77                           |
| 33 | 17cp017104   | 120 | 0.47                   | 0.29                     | 0.31                   | 0.25                     | -0.88                  | 1.16                   | 1.00                            | 0.97                           |
| 34 | 17cp017304   | 120 | 0.36                   | 0.53                     | 0.41                   | 0.82                     | -2.46                  | 1.47                   | 0.98                            | 0.93                           |

|    |            |     |       |      |      |      |       |       |      |      |
|----|------------|-----|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 35 | 17cp017404 | 120 | 0.76  | 0.49 | 0.81 | 0.69 | -1.07 | 1.66  | 1.00 | 0.71 |
| 36 | 17cp017705 | 99  | 0.95  | 0.52 | 1.16 | 0.99 | -1.71 | 2.37  | 0.99 | 0.54 |
| 37 | 17db000601 | 111 | 1.33  | 0.49 | 2.00 | 1.98 | 0.61  | 4.37  | 0.91 | 0.24 |
| 38 | 17db001301 | 113 | 1.03  | 0.18 | 1.09 | 0.35 | 0.28  | 1.55  | 1.00 | 0.38 |
| 39 | 17dp002402 | 120 | 1.30  | 0.30 | 1.77 | 0.74 | 0.26  | 2.12  | 0.98 | 0.16 |
| 40 | 17dp003003 | 95  | 0.18  | 0.34 | 0.15 | 0.21 | -0.63 | 1.05  | 1.00 | 0.99 |
| 41 | 17dp003902 | 119 | -0.10 | 0.36 | 0.14 | 0.23 | -1.11 | 0.78  | 1.00 | 0.98 |
| 42 | 17dp004002 | 119 | -1.15 | 0.37 | 1.45 | 0.80 | -2.07 | 0.23  | 0.98 | 0.32 |
| 43 | 17dp006705 | 120 | -0.02 | 0.36 | 0.13 | 0.34 | -1.51 | 1.47  | 1.00 | 0.97 |
| 44 | 17dp007105 | 120 | -0.15 | 0.27 | 0.09 | 0.16 | -1.00 | 0.60  | 1.00 | 1.00 |
| 45 | 17eb005601 | 20  | 0.14  | 0.43 | 0.20 | 0.35 | -0.64 | 1.28  | 1.00 | 0.95 |
| 46 | 17gb000601 | 112 | 0.69  | 0.28 | 0.55 | 0.40 | -0.34 | 1.52  | 1.00 | 0.88 |
| 47 | 17gb000701 | 120 | -2.19 | 0.49 | 5.05 | 2.31 | -3.99 | -1.00 | 0.30 | 0.01 |
| 48 | 17gb001601 | 97  | 0.94  | 0.62 | 1.27 | 1.49 | -0.46 | 2.69  | 0.91 | 0.62 |
| 49 | 17gp002302 | 111 | 0.36  | 0.48 | 0.37 | 0.44 | -0.72 | 1.34  | 1.00 | 0.89 |
| 50 | 17gp006403 | 120 | -0.50 | 0.27 | 0.32 | 0.30 | -1.22 | 0.12  | 1.00 | 0.95 |
| 51 | 18cp006104 | 120 | -0.27 | 0.30 | 0.16 | 0.13 | -0.72 | 0.71  | 1.00 | 1.00 |
| 52 | 21eb001501 | 99  | 0.95  | 0.51 | 1.17 | 1.15 | -0.04 | 2.52  | 0.97 | 0.53 |
| 53 | 21ep013701 | 104 | -0.75 | 0.47 | 0.78 | 0.81 | -2.18 | 0.22  | 0.98 | 0.72 |
| 54 | 21fp013203 | 119 | -1.00 | 0.58 | 1.33 | 1.49 | -3.14 | 0.17  | 0.96 | 0.50 |
| 55 | 21fp013301 | 104 | -0.82 | 0.56 | 0.99 | 0.88 | -2.11 | 1.99  | 0.98 | 0.63 |
| 56 | 21fp015504 | 110 | 1.01  | 0.46 | 1.24 | 0.85 | -1.07 | 2.22  | 0.99 | 0.42 |
| 57 | 21fp015603 | 120 | 0.52  | 0.32 | 0.37 | 0.34 | -0.32 | 1.52  | 1.00 | 0.98 |
| 58 | 22ab000601 | 117 | -0.44 | 0.49 | 0.44 | 0.46 | -1.52 | 1.05  | 1.00 | 0.90 |
| 59 | 22ab005901 | 120 | -0.21 | 0.47 | 0.27 | 0.31 | -1.25 | 0.96  | 1.00 | 0.98 |
| 60 | 22ap007402 | 107 | 0.00  | 0.73 | 0.54 | 0.54 | -1.71 | 1.28  | 1.00 | 0.82 |
| 61 | 22ap009303 | 119 | 1.53  | 0.23 | 2.40 | 0.71 | 0.93  | 2.15  | 0.97 | 0.03 |
| 62 | 22ap013503 | 120 | -1.34 | 0.41 | 1.96 | 1.09 | -2.19 | -0.39 | 0.98 | 0.26 |
| 63 | 22bp002202 | 119 | 0.47  | 0.31 | 0.31 | 0.31 | -0.25 | 1.11  | 1.00 | 0.97 |
| 64 | 22bp003303 | 120 | -1.52 | 0.69 | 2.80 | 2.09 | -3.00 | 0.67  | 0.76 | 0.18 |
| 65 | 22bp009603 | 120 | -1.09 | 0.63 | 1.59 | 1.65 | -2.58 | 0.13  | 0.88 | 0.57 |
| 66 | 22bp011003 | 53  | 1.60  | 0.51 | 2.83 | 1.63 | 0.69  | 2.55  | 0.74 | 0.17 |
| 67 | 22eb005201 | 120 | 0.21  | 0.37 | 0.18 | 0.22 | -0.99 | 0.98  | 1.00 | 1.00 |
| 68 | 22ep009503 | 120 | -0.30 | 0.34 | 0.21 | 0.29 | -1.14 | 0.54  | 1.00 | 0.96 |
| 69 | 22fp008404 | 95  | 0.14  | 0.13 | 0.04 | 0.06 | -0.06 | 0.52  | 1.00 | 1.00 |
| 70 | 22fp008504 | 95  | -0.90 | 0.10 | 0.81 | 0.19 | -1.24 | -0.69 | 1.00 | 0.86 |
| 71 | 23ap001902 | 120 | -0.05 | 0.23 | 0.06 | 0.10 | -0.74 | 0.50  | 1.00 | 1.00 |
| 72 | 23ap003104 | 120 | 0.06  | 0.15 | 0.03 | 0.04 | -0.45 | 0.59  | 1.00 | 1.00 |
| 73 | 23ap003204 | 118 | -0.14 | 0.13 | 0.04 | 0.04 | -0.43 | 0.22  | 1.00 | 1.00 |

Gemiddelde uitkomst over alle peilbuizen:

$\epsilon_1$ : -0.04;  $\sigma(\epsilon_1)$ : 1.01;  $\bar{\epsilon}_2$ : 1.06;  $\sigma(\epsilon_2)$ : 1.51;





