

# Definitiestudie achtergrondverlaging in de provincie Overijssel



Modellering en Optimalisatie



# Definitiestudie achtergrondverlaging in de provincie Overijssel

Opdrachtgever: Provincie Overijssel

Auteurs:

drs. Paul K. Baggelaar (*Icastat*)

ir. Eit C.J. van der Meulen (*AMO*)

27 maart 2014



Modellering en Optimalisatie

Niagara 18  
1186 JP AMSTELVEEN  
Tel.: 020 641 52 11  
[paul.baggelaar@planet.nl](mailto:paul.baggelaar@planet.nl)



# INHOUD

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMENVATTING.....</b>                                                        | <b>3</b>  |
| <b>1 INLEIDING.....</b>                                                         | <b>6</b>  |
| 1.1 VRAAGSTELLING PROVINCIE OVERIJSSSEL.....                                    | 6         |
| 1.2 OVER DIT RAPPORT.....                                                       | 6         |
| <b>2 VOORSTEL DEFINITIE ACHTERGRONDVERLAGING.....</b>                           | <b>8</b>  |
| 2.1 HERKOMST BEGRIJ ACHTERGRONDVERDROGING.....                                  | 8         |
| 2.1.1 Grootchalige verlagingsstudie periode 1950 - 1986.....                    | 8         |
| 2.1.2 Actualisering grootchalige verlagingsstudie over periode 1955 – 2000..... | 11        |
| 2.1.3 Regionale verlagingsstudies.....                                          | 11        |
| 2.1.4 Kernpunten van deze verlagingsstudies.....                                | 13        |
| 2.1.5 Andere verwijzingen naar achtergrondverdroying.....                       | 14        |
| 2.2 DEFINITIE ACHTERGRONDVERLAGING.....                                         | 15        |
| 2.2.1 Beter niet koppelen aan verdroying.....                                   | 15        |
| 2.2.2 Essentiële elementen van definitie achtergrondverlaging.....              | 15        |
| 2.2.3 Hóe achtergrondverlaging vast te stellen?.....                            | 16        |
| 2.3 SAMENVATTENDE CONCLUSIES OVER HET BEGRIJ ACHTERGRONDVERLAGING.....          | 18        |
| <b>3 BEOORDELEN GRONDWATERSTANDSGEGEVENS.....</b>                               | <b>20</b> |
| 3.1 STRUCTUUR PMG OVERIJSSSEL.....                                              | 20        |
| 3.2 HOOFDLIJNEN GEOHYDROLOGISCHE OPBOUW OVERIJSSSEL.....                        | 21        |
| 3.3 BESCHRIJVING BESCHIKBAAR GESTELDE GRONDWATERSTANDSGEGEVENS.....             | 23        |
| 3.3.1 Geleverde bestanden en dimensies meetnetten.....                          | 23        |
| 3.3.2 Verdeling peilfilters over geohydrologische lagen.....                    | 25        |
| 3.3.3 Filterdiepten.....                                                        | 26        |
| 3.3.4 Filterlengten.....                                                        | 26        |
| 3.4 KWALITEIT VAN DE GRONDWATERSTANDSGEGEVENS.....                              | 27        |
| 3.4.1 Informatiegehalte metadata.....                                           | 27        |
| 3.4.2 Meetfrequenties.....                                                      | 28        |
| 3.4.3 Gecensureerde, verdachte, of foute meetwaarden.....                       | 28        |
| 3.4.4 Coderingen van ontbrekende meetwaarden.....                               | 33        |
| 3.4.5 Lengten van beschikbare meetreeksen.....                                  | 34        |
| 3.4.6 Geschiktheid van reeksen voor analyse langetermijn-ontwikkelingen.....    | 34        |
| 3.5 CONTROLE DEELREEKSEN GEMETEN MET DRUKOPNEMERS.....                          | 36        |
| 3.5.1 Beoordelen kwaliteitsborging drukopnemermetingen door de Provincie.....   | 36        |
| 3.5.2 Empirisch controleren kwaliteit drukopnemermetingen Provincie.....        | 38        |
| 3.6 CONCLUSEREND OORDEEL OVER GRONDWATERSTANDSGEGEVENS.....                     | 40        |
| <b>4 BEOORDELEN GEGEVENS GRONDWATERONTTREKKINGEN.....</b>                       | <b>42</b> |
| 4.1 BESCHIKBAARHEID GRONDWATERWINNINGSREEKSEN.....                              | 42        |
| 4.1.1 Grondwaterwinningsreeksen beschikbaar bij Vitens.....                     | 42        |
| 4.1.2 Grondwaterwinningsreeksen beschikbaar bij de Provincie Overijssel.....    | 45        |
| 4.2 BENODIGDE GEGEVENS INVLOEDSGEBIEDEN GRONDWATERWINNINGEN.....                | 47        |
| 4.3 CONCLUSEREND OORDEEL OVER DATA GRONDWATERONTTREKKINGEN.....                 | 47        |
| <b>5 MOGELIJKHEDEN RUIMTELIJKE PRESENTATIE.....</b>                             | <b>48</b> |
| 5.1 EERSTE VERKENNING ACHTERGRONDVERLAGING.....                                 | 48        |
| 5.2 CONCLUSEREND OORDEEL MOGELIJKHEDEN PRESENTATIE.....                         | 57        |
| <b>6 AANBEVELINGEN.....</b>                                                     | <b>58</b> |
| <b>AANGEHAALDE LITERATUUR.....</b>                                              | <b>60</b> |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BIJLAGE 1: TRENDANALYSE MET HET PROGRAMMA <i>TRENDANALIST</i> .....</b> | <b>62</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|

## Samenvatting

De Provincie Overijssel heeft behoefte aan een ruimtelijk beeld van de achtergrondverlaging in Overijssel, dat is gebaseerd op statistische analyse van grondwaterstandsreeksen. Als een eerste verkenning gaat dit rapport in op afbakening, aanpak, mogelijkheden en beperkingen van het daarvoor benodigde onderzoek.

### *Voorstel definitie achtergrondverlaging*

Het begrip achtergrondverlaging is een licht gecorrigeerde versie van het begrip achtergrondverdroging, dat werd geïntroduceerd bij een grootschalige studie naar de verlaging van de niet aan neerslagoverschot en grondwaterwinning gerelateerde component van de grondwaterstand/stijghoogte in Oost-, Midden- en Zuid-Nederland, in de periode vanaf 1950. Tot dusverre ontbrak echter een eenduidige definitie van het begrip, die voldoende houvast biedt om empirisch vast te stellen óf en in welke mate er sprake is van achtergrondverlaging en die ook verdisconteert dat er specifieke invloedsfactoren zijn die in ieder geval níet verantwoordelijk zijn te stellen voor de betreffende achtergrondverlaging (de ‘voorgroedsfactoren’).

Wij stellen daartoe de volgende definitie voor:

- **Achtergrondverlaging** is een structurele verlaging van een component van de grondwaterstand/stijghoogte, die over een bepaalde periode optreedt en niet samenhangt met bepaalde specifiek benoemde invloedsfactoren (aan te duiden als de ‘voorgroedsfactoren’).

De volgende aanpak is dan geschikt om empirisch vast te kunnen stellen over welke periode en wáár er sprake is van achtergrondverlaging, zoals boven gedefinieerd.

1. Selecteer lange en kwalitatief goede meetreeksen van de stijghoogte, gemeten in een aantal peilbuizen gelegen buiten invloedsgebieden van de relevant geachte grondwaterwinningen, met voldoende ruimtelijke spreiding en met filters die voldoende diep zijn, zodat het regionale beeld niet te zeer wordt vertroebeld door lokale invloeden.
2. Corrigeer elke meetreeks voor variaties in de meteorologische grondwateraanvulling, door deze te modelleren met tijdreeksanalyse, waarbij het potentieel neerslagoverschot dient als invoerreeks.
3. Analyseer elke aldus gecorrigeerde meetreeks op langetermijn-ontwikkelingen.
4. Ga na of geconstateerde trends te verklaren zijn uit andere mogelijke invloedsfactoren in de omgeving (de kandidaat-achtergrondsfactoren) en of dat een uitsplitsing van het algemene beeld mogelijk maakt.
5. Presenteer de resultaten op verschillende wijzen, zo mogelijk ook onderscheiden naar kandidaat-achtergrondsfactoren.

### *Beoordelen geschiktheid grondwaterstandsgegevens*

De peilbuizen van het Primair Meetnet Grondwaterstanden van Overijssel vertonen een goede ruimtelijke spreiding over de provincie Overijssel en bevatten ook veel peilfilters in de drie onderscheiden watervoerende pakketten.

Maar volgens opgave van de Provincie bevinden 68 peilfilters zich in slecht doorlatende lagen, wat ongebruikelijk zou zijn. Dit verdient nog een nadere controle.

Bij de inrichting van het meetnet is nergens expliciet vermeld of verdisconteerd dat het meetnet ook bruikbare informatie moet kunnen leveren over langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte. Dit betekent dat daar ook geen specifieke beheersprocedures of kwaliteitsborgingsprocedures op zijn afgestemd en dat niet geborgd is dat deze reeksen vrij

zijn van ongedocumenteerde trendbreuken, zoals door het horizontaal of verticaal verplaatsen van het peilfilter, of door het niet of verkeerd verdisconteren van een wijziging van de meetpuntshoogte.

Bij een visuele beoordeling van de meetreeksen op verdachte, of foute meetwaarden bleken er dan ook meerdere aanwijzingen voor dergelijke trendbreuken. Er bleken 74 reeksen dermate discutabel, dat ze ongeschikt zijn te achten voor een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte. Daarvan zijn er 64 reeksen waar de discrepanties hoogstwaarschijnlijk zijn veroorzaakt door wijzigingen van positie, filterstelling en/of meetpuntshoogte en twee reeksen waar sprake is van filterverwisseling. Bij de andere 8 reeksen zijn de discrepanties veroorzaakt door het plaatsen en/of het functioneren van een automatische drukopnemer. Uit onze beoordeling concluderen we dat het in principe is af te raden om meetreeksen van landbouwbuizen te gebruiken bij een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand. Maar ook de meetreeksen uit peilbuizen van het PMG zijn niet zondermeer geschikt te achten voor studies naar lange-termijnontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte, aangezien het aannemelijk is dat er fouten zijn gemaakt bij het verwerken van administratieve wijzigingen van metadata.

Tenslotte zijn er nog de volgende dataproblemen gevonden: gecensureerde meetwaarden (47 waarden gelijk aan de onderkant van het filter, in 14 reeksen en 3.203 waarden gelijk aan de meetpuntshoogte, in 79 reeksen), 1.482 gevallen (in 12 reeksen) waarbij een meetwaarde van een bepaald tijdstip tweemaal voorkomt en 1.078 gevallen (in 68 reeksen) waarbij meetwaarden van hetzelfde tijdstip verschillen.

Het aantal geschikte reeksen voor het bepalen van achtergrondverlaging loopt sterk terug, naarmate het startjaar verder terug wordt gekozen. Als dan ook nog het criterium wordt gehanteerd dat de peilbuis minstens 5 km van een drinkwaterwinning moet liggen, worden die aantallen zelfs nog gehalveerd. Dit houdt in dat er slechts zeer weinig reeksen geschikt zijn om een beeld van de achtergrondverlaging vanaf 1953 of 1965 te schetsen. Voor een analyse vanaf het startjaar 1980 is er daarentegen wel een redelijk te achten aantal reeksen geschikt.

Vitens hanteert nog geen procedure voor kwaliteitsborging van de drukopnemermetingen, zodat de kwaliteit van de hoogfrequente metingen van 205 van de peilfilters van het PMG niet gegarandeerd is. De procedure die de Provincie daarvoor hanteert is zeer gedegen. Alleen de frequentie van handmatige controlemetingen (eens per half jaar) is wellicht wat laag, aangezien er dan bij uitval tot een half jaar meetwaarden kan ontbreken.

### ***Beoordelen gegevens grondwateronttrekkingen***

Gegevens over de grondwateronttrekkingen in Overijssel zijn beschikbaar bij de Provincie en ten dele ook bij Vitens (de grondwateronttrekkingen voor de drinkwatervoorziening).

De Provincie beheert een database van alle vergunde en geregistreerde onttrekkingen, waarvan de oudste reeksen starten in 1969. De database bevat per onttekening de winningscijfers op maand-, kwartaal- en jaarbasis, zij het dat tot begin jaren tachtig alleen jaaronttrekkingen zijn geregistreerd. Dit betekent dat de eventueel voor tijdreeksanalyses geschikte winningsreeksen in deze database pas begin jaren tachtig starten.

De winningscijfers die Vitens beschikbaar heeft, zijn nog onvolledig op hogere aggregatieniveaus (zoals op week-, of maandbasis). Er is inmiddels wel een traject ingezet om ze volledig te krijgen. Dit zal vermoedelijk in 2014 gebeuren.

Het is ons inziens af te raden om bij het empirisch bepalen van achtergrondverlaging middels tijdreeksmodellering te corrigeren voor de invloed van grondwaterwinning, aangezien er een

groot risico is dat de achtergrondverlaging dan onterecht wordt toegeschreven aan de grondwaterwinning en daardoor uit beeld verdwijnt. Het is beter de achtergrondverlaging te bepalen aan de hand van peilbuizen buiten invloedsstralen van de grotere grondwaterwinningen, zodat er geen correctie middels tijdreeksmodellering nodig is. Er zijn dus gegevens nodig over de invloedsgebieden van de grondwaterwinningen in de Provincie Overijssel, met onderscheid naar de watervoerende pakketten. Deze gegevens kunnen bijvoorbeeld worden afgeleid met regionale grondwatermodellen.

### ***Mogelijkheden om achtergrondverlaging te presenteren***

Bruikbare manieren om de resultaten te presenteren van een studie naar de achtergrondverlaging, die is uitgevoerd volgens de hier aanbevolen stapsgewijze aanpak, zijn de volgende:

- Een spreidingsdiagram waarin de geschatte verandering van de grondwaterstand / stijghoogte is uitgezet tegen de minimale afstand tot een relevante grondwateronttrekking. Dit diagram kan inzichtelijke informatie geven over alle resultaten, waarbij nog niet is gefilterd op minimale afstand tot een relevante grondwateronttrekking.
- Een ruimtelijke bubbelplot van de geschatte verandering. In een dergelijke plot is de grootte van het plotsymbool gerelateerd aan de geschatte verandering. De richting van de verandering (verlaging of verhoging) kan daarbij worden aangegeven met een kleur. Als de bubbelplot wordt weergegeven via Google Earth kan worden ingezoomd op de directe omgeving van een peilbuis, bijvoorbeeld om te beoordelen of de lokale geohydrologische situatie een verklaring kan geven voor de geconstateerde langetermijn-ontwikkeling van de stijghoogte. Verder kan er voor worden gezorgd dat bij het aanklikken van een bubbel allerlei details worden getoond van het betreffende peilfilter (zoals filterstelling, geohydrologische pakket, etc.) en van de betreffende stijghoogtereeks (zoals tijdreeksplot, trendplot en details van de trendanalyseresultaten).

Er is ook nog de mogelijkheid om de op puntniveau verkregen resultaten te vertalen naar een vlakvullend ruimtelijk beeld van de achtergrondverlaging, middels ruimtelijke interpolatie (zoals met de geostatistische methode kriging). Maar vermoedelijk zal dat vlakvullende beeld niet meer dan speculatief zijn, omdat het geen rekening houdt met de geohydrologische opbouw van de ondergrond en de afstanden tot factoren die bijdragen aan de achtergrondverlaging.

# 1 Inleiding

## 1.1 Vraagstelling Provincie Overijssel

De Provincie<sup>1</sup> Overijssel heeft behoefte aan een ruimtelijk beeld van de achtergrondverlaging in Overijssel, dat is gebaseerd op statistische analyse van grondwaterstandsreeksen<sup>2</sup>. Er moet echter eerst nog een aantal vragen worden beantwoord over afbakening, aanpak, mogelijkheden en beperkingen van het daarvoor benodigde onderzoek. Het betreft de vier onderstaande vragen:

1. Wat is een geschikte definitie van het begrip achtergrondverlaging, die ook in staat stelt om statistisch te beoordelen of er sprake is van achtergrondverlaging?
2. In welke mate zijn de meetreeksen uit de dataset van de Provincie Overijssel geschikt om middels tijdreeksmodellering gecorrigeerd te worden voor neerslag en verdamping? En welke verbeteringen zijn eventueel nodig om dergelijke correcties mogelijk te maken?
3. In welke mate zijn de beschikbare gegevens over grondwateronttrekkingen voor de openbare drinkwatervoorziening geschikt om deze onttrekkingen te hanteren als invoerreeksen bij tijdreeksmodellering van de grondwaterstandsreeksen van de Provincie Overijssel? En welke verbeteringen zijn eventueel nodig om dergelijke modelleringen mogelijk te maken?
4. In welke mate stelt de ruimtelijke opbouw van het provinciale grondwatermeetnet in staat om, na het bepalen van de achtergrondverlaging per peilfilter, tot een statistisch verantwoord ruimtelijk beeld van die achtergrondverlaging te komen? En hoe moet dat ruimtelijke beeld worden afgeleid?

De Provincie<sup>3</sup> heeft ons verzocht de vragen te beantwoorden middels een definitiestudie. Deze dient tevens een realistisch verwachtingspatroon te schetsen van het soort beeld dat het onderzoek naar de achtergrondverlaging kan opleveren en van de inspanning die daarvoor vereist zal zijn, gegeven de mogelijkheden en beperkingen van de beschikbare gegevens en de randvoorwaarden van de verwerkingsmethoden. Verder dient de definitiestudie te bewerkstelligen dat het daadwerkelijke onderzoek naar de achtergrondverlaging snel en efficiënt kan worden uitgevoerd, zonder onverwachte tegenvallers.

Dit rapport beschrijft de definitiestudie, die is op te vatten als een verkennende eerste fase van het onderzoek naar de achtergrondverlaging.

## 1.2 Over dit rapport

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 een definitie van het begrip achtergrondverlaging voorgesteld en wordt aangegeven hoe empirisch vastgesteld kan worden of en waar er sprake is van achtergrondverlaging. In hoofdstuk 3 wordt beoordeeld in welke mate de grondwater-

---

<sup>1</sup> Als in dit rapport het woord 'provincie' begint met een hoofdletter wordt daarmee (een vertegenwoordiger van) het bestuur bedoeld en als het begint met een kleine letter wordt daarmee het gebied bedoeld.

<sup>2</sup> Voor de leesbaarheid zal de term 'grondwaterstand' hier veelal ook worden gebruikt om de stijghoogte aan te duiden, tenzij het duidelijker is om de term 'stijghoogte' apart te gebruiken.

<sup>3</sup> Bij deze vertegenwoordigd door ir. Thomas de Meij, beleidsmedewerker geohydrologie van de Provincie Overijssel.

standsgegevens in de Provinciale database geschikt zijn voor een empirisch onderzoek naar achtergrondverlaging. In hoofdstuk 4 wordt dit beoordeeld voor de gegevens over grondwateronttrekkingen die beschikbaar zijn bij de Provincie en bij Vitens. Hoofdstuk 5 gaat dan in op de mogelijkheden om de resultaten van een empirisch onderzoek naar achtergrondverlaging te presenteren. Ter illustratie van die mogelijkheden is al een eerste verkenning uitgevoerd van de achtergrondverlaging in Overijssel, voor verschillende perioden. Hoofdstuk 6 geeft de aanbevelingen die we op basis van deze definitiestudie kunnen doen. Dit rapport sluit af met de alfabetische lijst van de aangehaalde literatuur.

Het rapport bevat één bijlage. Daarin wordt het programma *Trendanalist* beschreven, dat is toegepast bij de eerste verkenning van de achtergrondverlaging in Overijssel, die is beschreven in hoofdstuk 5.

## 2 Voorstel definitie achtergrondverlaging

Dit hoofdstuk behandelt de vraag:

- Wat is een geschikte definitie van het begrip achtergrondverlaging, die ook in staat stelt om statistisch te beoordelen of er sprake is van achtergrondverlaging?

Aangezien het begrip achtergrondverlaging een gecorrigeerde versie is van het begrip achtergrondverdroging, staan we in § 2.1 eerst stil bij de herkomst van dat begrip en bij de eerste grootschalige verlagingstudies. Daarbij beschouwen we ook enkele andere grootschalige studies naar langetermijnveranderingen van de grondwaterstand/stijghoogte, die in zekere mate aansluiten op de door de Provincie Overijssel geformuleerde vraagstelling. Op basis van deze beschouwingen komen we tot een definitie van het begrip achtergrondverlaging en tot aanbevelingen hoe empirisch vast te stellen óf en in welke mate er sprake is van achtergrondverlaging (§ 2.2). Dit hoofdstuk sluit af met enkele samenvattende conclusies (§ 2.3).

### 2.1 Herkomst begrip achtergrondverdroging

#### 2.1.1 Grootschalige verlagingstudie periode 1950 - 1986

Het begrip achtergrondverdroging stamt uit 1989, toen het werd gehanteerd in het kader van een grootschalige studie naar verlaging van de grondwaterstand/stijghoogte in het bovenste watervoerende pakket op de hogere zandgronden in Oost-, Midden- en Zuid-Nederland, over de periode 1950 - 1986 [Rolf, 1989b]. Het startpunt 1950 is gekozen omdat er vooral in de periode 1950 – 1980 veel ingrepen in de waterhuishouding waren.<sup>4</sup>

De grondwaterstand en stijghoogte werden beschouwd als belangrijkste indicatoren voor verdroging, dat daarbij als volgt werd omschreven:

- **verdroging** omvat alle nadelige effecten als gevolg van grondwaterstandsdeling, zowel door vochttekort als door mineralisatie en veranderingen in de invloed van kwel en neerslag.

Voor de studie werden 110 meetlocaties geselecteerd, waarbij het streven was om alleen meetlocaties buiten de directe invloedsgebieden van grondwaterwinningen te nemen, met lange, aaneengesloten meetreeksen van de stijghoogte tussen 10 en 40 meter onder maaiveld. Van deze 110 waren er 75 brandputten. Maar om tot de gewenste ruimtelijke dichtheid te kunnen komen zijn toch 28 landbouwbuizen of zeer ondiepe peilfilters geselecteerd, ondanks het streven die te vermijden. Om dezelfde reden zijn 46 meetlocaties geselecteerd waar à priori een invloed door grondwaterwinning mocht worden verwacht.

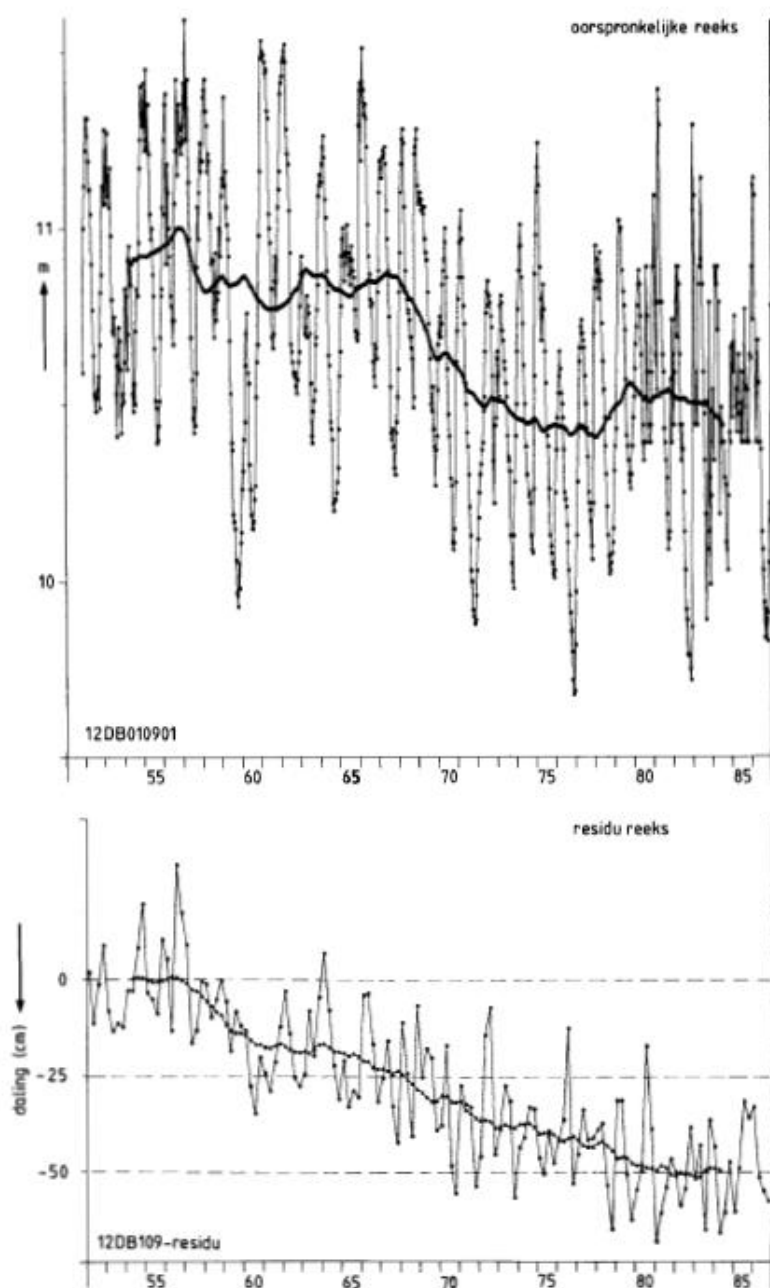
Om de ruimtelijke verspreiding van de verdroging in beeld te kunnen brengen werd uit praktisch oogpunt vooral aandacht besteed aan de verlaging van de stijghoogte, aangezien de

---

<sup>4</sup> In het kader van de schaalvergroting van de landbouw zijn globaal vanaf de jaren vijftig op grote schaal ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten uitgevoerd. Belangrijke landbouwkundige doelstellingen van die projecten waren onder meer de verbetering van de hydrologische omstandigheden, zoals een betere beheersing van het grondwaterpeil, het voorkomen van overstromingen en de aanvoer van water in droge perioden. Bron: Website van *Compendium voor de Leefomgeving*, Grondwaterstijghoogte 1950 – 1999. Samenwerkingsverband van PBL, CBS en Wageningen UR.

verlaging van de (freatische grondwaterstand) vaak ook zeer lokale invloeden heeft. De studie richtte zich op structurele dalingen die geen verband houden met de natuurlijke variatie van de meteorologische omstandigheden. Dit werd bewerkstelligd door eerst elke stijghoogtereeks middels Box-Jenkins-tijdreeksmodellering te corrigeren voor de relatie met het neerslagoverschot. Daarvoor zijn gegevens over neerslag en verdamping gebruikt van verschillende KNMI-hoofdstations in Nederland, namelijk Beek, Venlo, Gemert, Oudenbosch, de Bilt, Winterswijk, Dedemsvaart en Eelde. De resultaten bleken echter vrijwel onafhankelijk van de keuze van het hoofdstation. Vervolgens werd aan de hand van het voortschrijdend vijfjaarsgemiddelde van de aldus gecorrigeerde reeks (aangeduid als residureeks) de 'niet-natuurlijke' trend in beeld gebracht (zie figuur 2.1).

*Figuur 2.1: Illustratie van de aanpak bij de studie van [Rolf, 1989b]. Boven: oorspronkelijke meetreeks en het voortschrijdend vijfjaarsgemiddelde daarvan. Onder: reeks en het voortschrijdend vijfjaarsgemiddelde daarvan na correctie voor het potentieel neerslagoverschot.*



De trendanalyse ging dus niet verder dan een beschrijvende statistische methode. Een statistische toets op trend is immers ook erg lastig als wordt uitgegaan van een voortschrijdend gemiddelde, aangezien het voortschrijdend middelen een zeer sterke autocorrelatie introduceert.

Bij voorkeur werden directe omgevingen van hydrologische ingrepen, zoals grondwaterwinningen of ontwateringen vermeden, zodat vooral de diffuse daling in beeld kon worden gebracht.

Om te kunnen vaststellen welke peilbuizen mogelijk beïnvloed zijn door grondwaterwinning, werden de invloedszones van alle permanente grondwaterwinningen (zowel particuliere als openbare) in Hoog-Nederland afgeleid. De metagegevens en onttrekkingsgegevens van die winningen werden overgenomen uit VEWIN-overzichten en provinciale bestanden, maar hadden alleen betrekking op de jaren tachtig. Vervolgens werd per ecohydrologisch district voor verschillende lagen de theoretische stationaire verlaging afgeleid als functie van de afstand, per miljoen m<sup>3</sup>/jaar grondwaterwinning, op basis van de formule van De Glee en de hydrologische kenmerken van dat district. Elk ecohydrologisch district is namelijk, behalve op ecologische kenmerken, gebaseerd op een globale indeling naar de volgende hydrologische kenmerken:

- aanwezigheid oppervlaktewater: geen, extensief of veel;
- aanwezigheid afdekkend pakket: overal, matig of geen;
- aanwezigheid 1<sup>e</sup> slecht doorlatende laag: overal, matig of geen.

Het uitgangspunt daarbij was dat deze drie hydrologische kenmerken grotendeels het gedrag bepalen van de grondwaterstand/stijghoogte, evenals de mate waarin en wijze waarop hydrologische effecten optreden als gevolg van menselijke ingrepen. De invloedszone is dan gedefinieerd als het cirkelvormig gebied waar volgens deze berekening verlagingen in het bovenste watervoerende pakket optreden groter dan 10 cm.

Uit deze analyse bleek het aantal onderzochte locaties waar à priori een invloed door grondwaterwinning mocht worden verwacht 46 van de 110 te zijn (42% van alle locaties). Desondanks werd besloten deze locaties mee te nemen, omdat anders de ruimtelijke dekking te klein zou zijn geworden.

Om zonodig achteraf ook oorzaken aan te kunnen wijzen of afwijkende resultaten te kunnen verklaren, werden voor elke geselecteerde peilbuis de volgende lokale kenmerken geregistreerd: 1) ligging ten opzichte van open water, 2) ligging al of niet in bosgebied, 3) ligging in of nabij ruilverkavelingsgebied, 4) gemiddelde grondwaterdiepte, 5) verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen de perioden 1951 - 1957 en 1978 - 1986, 6) verwachte invloed van permanente grondwaterwinning.

De studie concludeerde dat de gemiddelde daling van de stijghoogte binnen de (veronderstelde) invloedsgebieden van grondwaterwinningen circa 35 cm bedroeg en daarbuiten circa 25 cm. Verder bleek de gemiddelde daling van de stijghoogte binnen ruilverkavelingsprojecten circa 35 cm te bedragen en daarbuiten circa 20 cm. Dit lag ook in de lijn der verwachting, aangezien de waterhuishoudkundige werken binnen ruilverkavelingsprojecten vaak als doel hadden om de grondwaterstand te verlagen. Maar zelfs buiten de invloedsgebieden van grondwaterwinningen en ruilverkavelingsprojecten bleek er nog sprake van een structurele daling van de stijghoogte, van gemiddeld 20 cm. Deze daling werd bij die studie aangeduid als 'achtergrondverdroging'. Op blz. 36 staat:

- Verdroging is daarmee niet een probleem van uitsluitend lokaal karakter; er bestaat daarboven een duidelijke diffuse component welke hierna wordt aangeduid als ‘**achtergrondverdroging**’. Dit perspectief heeft belangrijke consequenties, ook voor de mogelijke oplossingen.

De studie concludeerde ook dat de achtergrondverdroging is begonnen in de jaren vijftig en midden jaren zestig is gestabiliseerd. Als meest waarschijnlijke verklaring voor deze diffuse daling werd de permanente verandering van de regionale ontwateringsbasis aangewezen.

### 2.1.2 Actualisering grootschalige verlagingsstudie over periode 1955 – 2000

In 2000 is - eveneens door TNO - een actualisering uitgevoerd van de boven beschreven verlagingsstudie van Rolf, weer in opdracht van het toenmalige RWS-RIZA [Kremers en Van Geer, 2000]. Ditmaal is de periode 1955 – 2000 beschouwd, dus een 14 jaar langere periode dan bij de eerdere studie. Verder zijn ook locaties in het Holocene deel van Nederland beschouwd en is deels ingezoomd op verdroogde gebieden. Op hoofdlijnen was de aanpak van beide studies echter dezelfde, dus met correctie voor de meteorologische invloed en met het streven om de directe invloedsgebieden van grondwaterwinningen te vermijden en alleen peilfilters tussen 10 en 40 meter onder maaiveld te beschouwen.

Er werden 130 peilfilters geselecteerd en ter aanvulling ook nog 29 landbouwbuizen of zeer ondiepe filters, om zodoende toch tot een voldoende ruimtelijke dichtheid te komen, dit ondanks het streven om ondiepe filters te vermijden. Op 41 van de locaties kon à priori al invloed van een winning worden verwacht (32% van alle locaties). Van de 159 geselecteerde peilfilters lagen er 15 in de provincie Overijssel.<sup>5</sup>

Eerst werd elke stijghoogtereeks weer gecorrigeerd voor de meteorologische invloed, middels tijdreeksmodellering met het potentieel neerslagoverschot (van meteorostation De Bilt) als invoerreeks. Vervolgens werd van de modelresidue reeks per vijfjaarsblok het gemiddelde bepaald, waarbij werd aangenomen dat het verloop van dat blokgemiddelde het gevolg is van menselijke ingrepen in de grond- en/of oppervlaktewaterhuishouding. Maar ditmaal werd ook statistisch getoetst, namelijk op verschillen tussen de gemiddelden van de volgende drie vijfjaarsblokken: 1955 – 1960, 1965 – 1970 en 1975 – 2000. Deze toetsing trachtte rekening te houden met mogelijke autocorrelatie, door per blokgemiddelde het effectief aantal meetwaarden te berekenen (als maat voor de precisie van het gemiddelde), uitgaande van de empirisch afgeleide autocorrelatiestructuur.

De studie gaf aan dat er gebieden waren waar de stijghoogte nog steeds daalde, maar ook gebieden waar een stabilisatie optrad, of zelfs een stijging. Maar gemiddeld over alle locaties bleek de grootste daling zich te hebben voorgedaan vóór 1965, met daarna een stabilisatie op een lager niveau.

### 2.1.3 Regionale verlagingsstudies

Er zijn ook nog twee regionale studies uitgevoerd naar langetermijn-veranderingen van de stijghoogte. Maar daarbij ging vooral de belangstelling uit naar de verlaging door diepe

---

<sup>5</sup> Uit de provincie Overijssel zijn er uiteindelijk 15 meetreeksen geanalyseerd. Daarvan waren er echter 8 gemeten in landbouwbuizen en daarmee mogelijk sterk beïnvloed door lokale omstandigheden. Van deze 15 meetreeksen komen er 6 voor in het PMG van Overijssel, waarvan 5 gemeten in landbouwbuizen en de andere in een brandput. Wij hebben voor in ieder geval 3 van die 6 meetreeksen sterke verdenkingen dat ze beïnvloed zijn door tussentijdse wijzigingen van coördinaten, filterstelling, maaivelds- en/of meetpuntshoogte. Dit maakt ze ons inziens ongeschikt zijn om langetermijnontwikkelingen vast te stellen (zie ook § 3.4.3). Van de overige 9 meetreeksen beschikken we niet over de data, zodat we hun geschiktheid voor dit soort studies niet hebben kunnen controleren.

grondwaterwinningen, zodat geen selectie is toegepast op basis van de vermoede invloedsgebieden van grondwaterwinningen. Er is wel gecorrigeerd voor de meteorinvloed op de grondwaterstand/stijghoogte. Door de grote invloed van de grondwaterwinningen in Brabant op de stijghoogte zijn de bij deze studies geconstateerde verlagingen veel groter dan die geconstateerd bij de twee hiervoor beschreven landelijke studies, waar de invloedsgebieden van grondwaterwinningen zoveel mogelijk zijn vermeden.

- Van Geer, F.C., Bloemendaal, S., Kremers, A.H.M. en Lourens, A. (1993): *Ontwikkeling van de diepe stijghoogte en de relatie met de ondiepe stijghoogte in Noord-Brabant*. TNO-Milieu en Energie, rapport OS 93-67B, juni 1993, 105 blz. en bijlage-rapport.

Deze studie beschouwde de ontwikkeling van de diepe stijghoogte en de relatie tussen de diepe en de ondiepe stijghoogte. Onder 'diepe' stijghoogte wordt hier verstaan de stijghoogte in de watervoerende pakketten onder de Tegelen-klei en in westelijk Noord-Brabant onder de Kallo-klei. In het uiterste zuidoosten van de Centrale Slenk is de Brunssum-klei de scheiding als de Tegelen-klei ontbreekt.

De studie had de volgende vier onderdelen:

1. Trendanalyse diepe stijghoogtereeksen. Daarvoor is eerst de meteorinvloed weggefilterd, omdat deze anders de resultaten van de trendanalyse kan beïnvloeden, vooral bij korte reeksen (circa 10 jaar). De meteorinvloed is weggefilterd met tijdreeksmodellering, waarbij het potentieel neerslagoverschot fungeerde als invoerreeds. Vervolgens is de trend bepaald van de modelresidueeks, voor perioden van 5, 10, 15 en 20 jaar. Daarbij is met een enigszins arbitrair beslis-criterium afgegaan op het verschil tussen het modelresidu en het voortschrijdend tweejaarsgemiddelde van de modelresidueeks. Uit de analyse van de 124 diepe stijghoogtereeksen bleek ondermeer dat er in de periode 1989 t/m 1991 soms extreem lage zomerstanden optraden, die niet te verklaren zijn uit het potentieel neerslagoverschot. Aangezien deze nog niet optraden in het zeer droge jaar 1976, zijn ze vermoedelijk veroorzaakt door grootschalige beregning, die vooral ná 1976 is ingezet.
2. Relateren diepe stijghoogtereeksen in Centrale Slenk aan diepe grondwaterwinningen, middels geohydrologische responsfuncties, gebaseerd op sterk vereenvoudigde analytische hydrologische modellen voor de relatie tussen stijghoogte en winningen. Daartoe is eerst voor elke winning van minstens 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (dit zijn er 52) de invloeds-sfeer geraamd in verschillende watervoerende pakketten. Hiervoor zijn bodemconstanten verzameld uit pompproeven en grondwatermodellen en is de formule van Hantush toegepast, met als aanname dat aan de bovenrand een vast peil is. Vervolgens is op elk van 21 modelresidueeks (dat wil zeggen diepe stijghoogtereeksen na correctie voor meteorinvloed) een stelsel van responsfuncties gecalibreerd, waarbij iteratief de gewichtsfactoren van de verschillende winningen zodanig zijn aangepast dat de pasvorm optimaal is. Dit bleek echter vaak geen bevredigende resultaten op te leveren, zodat handmatig bodemconstanten moesten worden aangepast om tot betere pasvormen te komen. Dat introduceerde uiteraard de nodige subjectiviteit.
3. Opstellen prognoses diepe stijghoogten in Centrale Slenk met de geohydrologische responsfuncties en prognoses van de winningshoeveelheden.
4. Analyseren doorwerking diepe trend naar ondiepe stijghoogte. Daartoe is een tijdreeksmodel ontwikkeld van elke ondiepe stijghoogtereeks, met als invoerreeds het potentieel neerslagoverschot en de dichtstbijzijnde diepe stijghoogte (gecorrigeerd voor meteorinvloed). Het bleek daarbij echter niet mogelijk de richting van de relatie (van diep naar

ondiep of van ondiep naar diep) vast te stellen, aangezien de meetfrequentie (halfmaandelijks) te laag was ten opzichte van de procesdynamiek.

- Van Geer, F.C. en Lourens, A. (2001): *Trends in de stijghoogte en relatie tussen verschillende dieptes*. TNO-NITG, rapport NITG 01-125-B, juli 2001, 47 blz. en bijlagen.

Deze studie betrof een actualisering van de boven beschreven studie van [Van Geer et al., 1993] en beschouwde eveneens de provincie Noord-Brabant. Het richtte zich op de recente ontwikkelingen van de diepe, middeldiepe en ondiepe stijghoogte.

Er zijn 562 stijghoogtereeksen geanalyseerd van minstens 20 jaar lengte, waarvan 129 uit het diepe, 181 uit het middeldiepe en 252 uit het ondiepe watervoerende pakket.

Centraal stond weer het uitsplitsen van de stijghoogtereeksen naar een natuurlijke en een niet-natuurlijke component, middels tijdreeksmodellering met het potentieel neerslagoverschot als invoerreeds. Voor het statistisch toetsen op trend is een andere methode gebruikt dan in 1993. Er zijn namelijk gemiddelden van vijfjaarsblokken vergeleken, waarbij rekening is gehouden met de autocorrelatiestructuur (zie ook de beschrijving van de studie van [Kremers en Van Geer, 2000] in § 2.1.2).

Net als bij de voorgaande studie uit 1993 is weer getracht de diepe stijghoogtereeksen in de Centrale Slenk te relateren aan diepe grondwaterwinningen, middels geohydrologische responsfuncties. Ditmaal is gekozen voor een zo objectief mogelijke aanpak, dus zonder handmatig aanpassen van bodemconstanten. Dit bleek echter weinig bevredigende resultaten op te leveren.

Als aanvullend onderdeel is nu ook per watervoerend pakket de ruimtelijke samenhang van de stijghoogtereeksen beschouwd, uitgedrukt in correlatiecoëfficiënten. Dit is gedaan ná correctie voor de meteorologische invloed, want die geeft al een dermate grote ruimtelijke samenhang, dat de samenhang door andere invloeden daardoor moeilijk is te onderkennen.

#### 2.1.4 Kernpunten van deze verlagingsstudies

Uit de vier boven beschreven verlagingsstudies valt het volgende op over de aanpak:

- De beschouwde langetermijn-verandering is die van de grondwaterstand/stijghoogte ná correctie voor de meteorologische invloed. Met uitzondering van [Rolf, 1989b] is daar echter niet de term achtergrondverdroging voor gebruikt.
- Bij de twee landelijke verlagingsstudies is er zoveel mogelijk naar gestreefd meetreeksen te beschouwen die buiten de invloedsstraal liggen van grondwaterwinningen (wat echter vaak niet is gelukt, zie vierde bullet). Die invloedsstralen zijn afgeleid met analytische modellen.
- Ook freatische grondwaterstandsreeksen zijn bij voorkeur niet beschouwd, aangezien die doorgaans het meest worden beïnvloed door zeer lokale factoren en ingrepen, waardoor het daaruit volgende beeld van langetermijn-veranderingen zeer grillig kan worden.
- Bij de twee landelijke verlagingsstudies had het behalen van de gewenste ruimtelijke informatiedichtheid prioriteit, zodat toch een relevant aantal landbouwbuizen en zeer ondiepe filters moest worden geselecteerd (25% en 22% van het totaal aantal), evenals peilbuizen binnen invloedsgebieden van grondwaterwinningen (42% en 32% van het totaal aantal). De studies gingen niet in op een mogelijke vertekening van de resultaten door het gebruik van landbouwbuizen. En alleen de eerste landelijke studie [Rolf, 1989b] maakte onderscheid tussen de resultaten binnen en buiten de invloedsgebieden van grondwaterwinningen.
- Bij de twee landelijke verlagingsstudies is niet uitvoerig nagegaan of er een koppeling is te leggen tussen de geconstateerde verlagingen en mogelijke lokale invloedsfactoren (anders

dan ruilverkavelingen). De gegeven verklaring voor de achtergrondverdroging is daarom nog slechts vrij algemeen.

- Bij de twee regionale verlagingstudies is getracht de diepe stijghoogten van de Centrale Slenk te relateren aan de diepe grondwaterwinningen, middels geohydrologische responsfuncties, maar dit bleek zonder (subjectief) handmatig aanpassen van bodemconstanten geen bruikbare modellen op te leveren.
- De gebruikte statistische methoden bij het bepalen van de trend zijn voor geen van deze studies optimaal. Zo is bij de studie van [Rolf, 1989b] niet statistisch getoetst op trend. Bij de studie van [Van Geer et al., 1993] is een enigszins arbitrair beslis criterium toegepast. En de twee andere studies hanteerden een methode die toetst op een verschil in gemiddelden van vijfjaarsblokken, na correctie voor de autocorrelatiestructuur. Deze methode leunt echter heel sterk op de precisie van de geschatte 1<sup>e</sup>-orde autocorrelatiecoëfficiënt. Aangezien die precisie zeer gering is (zie bijvoorbeeld [Thiebaut and Zwiers, 1984]), is de methode af te raden.

### 2.1.5 Andere verwijzingen naar achtergrondverdroging

Andere verwijzingen naar achtergrondverdroging zijn ondermeer te vinden in [Van Leeuwen, 1991], CDG [1996], [Maas et al., 2008] en [Van der Gaast, 2012].

- De CDG [CDG, 1996] veronderstelde dat de achtergrondverdroging, die optrad in gebieden zonder aanwijsbare grondwateronttrekkingen of ingrepen in de waterhuishouding, veroorzaakt werd door de geaccumuleerde effecten van een groot aantal ingrepen, die afzonderlijk geen meetbare verlagingen veroorzaken. Hierbij kan gedacht worden aan de invloeden van verstedelijking (toename verhard oppervlak), bebouwing, toename verdamping van landbouwgewassen en kleinschalige waterhuishoudkundige ingrepen. Deze resulteren immers alle in een verminderde voeding van het grondwater. Verder kunnen ook regionale effecten van (vooral diepe) grondwateronttrekkingen een verdrogende invloed hebben. De CDG gaf aan behoefte te hebben aan nader onderzoek naar deze achtergrondverdroging, om zo tot een betere grondslag te kunnen komen bij de behandeling van concrete schadesituaties door wél duidelijk aanwijsbare oorzaken. Bij het bepalen van de schade als gevolg van een grondwaterwinning wordt er door de CDG immers van uitgegaan dat de grondwaterstands daling deels is veroorzaakt door andere invloeden.
- Een zeer compacte omschrijving is afkomstig van [Maas et al., 2008], die achtergrondverdroging omschreven als een min of meer autonome daling van de grondwaterstand, die niet aan onderkende oorzaken is toe te schrijven, maar die natuurlijk wel oorzaken moet hebben.
- Onlangs kwam [Van der Gaast, 2012] nog met een verruiming van de omschrijving die het CDG in 1996 gaf van achtergrondverdroging. De verruiming komt er op neer dat ook rekening wordt gehouden met eventuele tegengestelde diffuse invloeden. Zo stelt hij dat er in het verleden ook ontwikkelingen zijn geweest die tot gevolg hadden dat de voeding van het grondwater is toegenomen. Om grond geschikt te maken voor de landbouw zijn bijvoorbeeld storende lagen door middel van diepe grondbewerking ‘gebroken’ waardoor de grondwateraanvulling is toegenomen. Ook stelt hij dat de neerslag in de loop van de afgelopen anderhalve eeuw is toegenomen van gemiddeld circa 700 naar 800 mm/jaar.

Uit bovenstaande omschrijvingen die zijn gehanteerd voor het begrip *achtergrondverdroging* komt naar voren dat het in alle gebiedssoorten kan optreden, dus niet alleen in natuurgebied. Verder blijkt het betrekking te hebben op het deel van de verandering van de grondwaterstand dat niet logischerwijs is toe te schrijven aan concrete en duidelijk gelocaliseerde invloedsfactoren, maar aan diffusere invloedsfactoren die de voeding van het grondwater veranderen. Voorbeelden daarvan zijn waterhuishoudkundige maatregelen, cumulatieve effecten van op grotere afstand gelegen diepe grondwaterwinningen, beregening, verstedelijking (toename van het verhard oppervlak), of een verdampingswijziging door andere landbouwgewassen of door bebossing.

## 2.2 Definitie achtergrondverlaging

### 2.2.1 Beter niet koppelen aan verdroging

Er bestaat geen officiële definitie van het begrip *achtergrondverdroging*, zoals die er bijvoorbeeld wel is van het begrip *verdroging*. Het Rijk hanteert namelijk de volgende definitie van verdroging [V&W, 1994]:

- Een natuurgebied wordt als **verdroogd** aangemerkt als de hoeveelheid beschikbaar grondwater van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen, of als water van een andere, gebiedsvreemde kwaliteit moet worden aangevoerd ter compensatie van een te lage grondwaterstand of een te geringe kweldruk.

Volgens deze definitie kan verdroging alleen optreden in natuurgebied. In het geval van vochttekort in de landbouw is het dus niet juist te spreken van verdroging. Beter is dit dan aan te duiden als droogteschade.

Op de keper beschouwd is de term *achtergrondverdroging* dus enigszins ongelukkig gekozen. Dit komt vooral doordat het een verband suggereert met de term *verdroging*. Maar de verschillen zijn aanzienlijk. Zo is de term *achtergrondverdroging* blijkbaar ook toepasbaar op andere gebieden dan natuurgebieden, maar heeft daarentegen alleen betrekking op een grondwaterstandsverlaging en dus niet ook op aanvoer van gebiedsvreemd water. Gezien deze verwarring is het ons inziens beter om de term *achtergrondverdroging* te vervangen door de term *achtergrondverlaging*.

Het is ook nog mogelijk om de term neutraler te formuleren als *achtergrondverandering*, omdat dit meer ruimte laat voor zowel verlagingen als verhogingen. Maar tot dusverre is vooral achtergrondverlaging aangetoond en ligt die aanduiding daarom meer voor de hand. Mocht ergens een verhoging worden geconstateerd dan kan deze alsnog als *achtergrondverhoging*, of desnoods zelfs als *negatieve achtergrondverlaging* worden aangeduid.

### 2.2.2 Essentiële elementen van definitie achtergrondverlaging

Om tot een operationele definitie van achtergrondverlaging te kunnen komen, bespreken we eerst de essentiële elementen die zo'n definitie dient te omvatten. Dat zijn de volgende:

1. Het moet een structurele verlaging betreffen. Dit houdt in dat het langjarig gemiddelde van de grondwaterstand/stijghoogte daalt. Het moet dus geen kortstondige, of toevallige verlagingen betreffen.

2. Het moet een verlaging betreffen van een component van de grondwaterstand/stijghoogte, die niet samenhangt met bepaalde specifiek benoemde invloedsfactoren, zoals naburige grondwaterwinningen en de meteorologische omstandigheden. De invloeden van deze factoren, die we kunnen aanduiden als de 'voorgrondsfactoren', dienen bij het empirisch vaststellen van achtergrondverlaging concreet vermeden of weggefilterd te worden. Dit impliceert dat er zelfs sprake zou kunnen zijn van achtergrondverlaging als een grondwaterstand/stijghoogte is gestegen (bijvoorbeeld door het stoppen van een grondwaterwinning). De trend van de grondwaterstand/stijghoogte is immers de som van de trends van zijn componenten en het teken van die som (positief of negatief) kan verschillen van het teken van de trend van een afzonderlijke component.
3. Er moet rekening mee worden gehouden dat zowel de grootte, als de ruimtelijke omvang van de verlaging een functie is van de tijd. De grootte en omvang kunnen dus per periode anders zijn. Daarmee is er niet zoiets als 'de' achtergrondverlaging'. Dit laatste volgt overigens ook al uit bovengenoemd punt 2, aangezien de achtergrondverlaging mede afhangt van de invloedsfactoren die als voorgrondsfactoren dienen.

Dit leidt tot de volgende definitie:

- **Achtergrondverlaging** is een structurele verlaging van een component van de grondwaterstand/stijghoogte, die over een bepaalde periode optreedt en niet samenhangt met bepaalde specifiek benoemde invloedsfactoren (aan te duiden als de 'voorgrondsfactoren').

Deze definitie laat ruimte bij het empirisch in beeld brengen van achtergrondverlaging, aangezien er afhankelijk van de keuze van de 'voorgrondsfactoren' sprake kan zijn van verschillende soorten achtergrondverlaging.

### 2.2.3 Hóe achtergrondverlaging vast te stellen?

De volgende vraag is dan h oe de achtergrondverlaging te bepalen. Want hoe stellen we vast: 1) dat er een dalende component is van de grondwaterstand/stijghoogte en 2) dat deze niet logischerwijs is toe te schrijven aan concrete en duidelijk gelocaliseerde invloedsfactoren, maar aan diffusere invloedsfactoren die de voeding van het grondwater veranderen? Wat zijn hierbij dan de concrete en duidelijk gelocaliseerde invloedsfactoren van een grondwaterstands-/stijghoogtereeks? Die reeks zal namelijk eerst moeten worden gecorrigeerd voor hun invloeden, bijvoorbeeld middels tijdreeksmodellering. Maar de praktijk heeft inmiddels geleerd dat het extreem veel inspanning kan vergen, of in veel gevallen zelfs onmogelijk is, om voldoende gedetailleerde informatie over dergelijke invloedsfactoren te verzamelen om daarvoor op verantwoorde wijze te kunnen corrigeren. Zo werd bij een case-studie in het kader van de studie naar de landelijke achtergrondverdroging in 1989 geconcludeerd dat kwantificering van oorzaken op lokale schaal moeilijk is en zeer intensieve studie vereist [Rolf, 1989a]. Als het bijvoorbeeld naburige grondwaterwinningen betreft zal het al veel inspanning vergen, maar als het waterhuiskundige maatregelen betreft die actief waren gedurende de periode die de reeks beslaat, dan is het vaak niet meer mogelijk daar voldoende gedetailleerde informatie over te verzamelen. Deze ervaring hebben ook wij inmiddels al meermalen opgedaan bij studies waarbij tijdreeksmodellering van de grondwaterstand is toegepast.

Een bijkomend probleem is dat het lastig kan zijn om middels tijdreeksanalyse te corrigeren voor invloeden, als er onderlinge correlaties zijn tussen invloedsfactoren, ongeacht of ze wel of niet allemaal als invoerreeksen worden meegenomen. Zo moeten we er rekening mee houden

dat vooral in het hogere deel van Nederland de achtergrondverlaging verstrengeld kan zijn met de effecten van grondwaterwinning. Er is sinds de jaren vijftig namelijk een diffuus stelsel van waterhuishoudkundige ingrepen geweest, terwijl veel grondwaterwinningen over deze periode ook geleidelijk zijn toegenomen (zeker tot de jaren negentig, zie § 4.1.1). Het kan daardoor zeer moeilijk zijn om de invloeden van deze twee factoren onafhankelijk van elkaar te schatten met tijdreeksmodellering, zoals hieronder is geïllustreerd.

Een goede illustratie van de complexiteit van het scheiden van achtergrondverlaging en het effect van grondwaterwinning is het geval Terwisscha, uitvoerig beschreven in [Maas, 2012]. Het bleek lange tijd namelijk zeer problematisch om de invloed van de grondwaterwinning Terwisscha op de grondwaterstand/stijghoogte in de omgeving eenduidig vast te stellen. Die invloed is in de loop der tijden geraamd met een twaalfal verschillende studies, waarbij de studies gebaseerd op grondwatermodellering steeds een circa 30 cm geringere invloed van de winning aangaven dan de studies gebaseerd op tijdreeksmodellering. Pas nadat bleek dat met tijdreeksmodellering zelfs voor peilbuizen ver buiten het aannemelijke invloedsgebied van de winning (op meer dan 10 km afstand) nog steeds verlagingen van circa 30 cm door de winning werden geschat, kon met enig recht worden geconcludeerd dat dit overschattingen betrof. Blijkbaar kwam dit doordat het effect van de winning Terwisscha – die in de loop der tijden geleidelijk is toegenomen – met tijdreeksmodellering niet meer te onderscheiden is van de achtergrondverlaging in de omgeving, die ook geleidelijk moet zijn toegenomen. Door de sterke correlatie van deze twee belangrijke invloedsfactoren werd de achtergrondverlaging van circa 30 cm bij de tijdreeksmodellering onterecht gerelateerd aan de winning Terwisscha.

Een ander aandachtspunt voor het opstellen van een strategie om achtergrondverlaging vast te stellen, is dat ontwikkelingen van de (freatische grondwaterstand) vaak sterk worden bepaald door zeer lokale invloeden. De grote ruimtelijke variatie die dat geeft zal het veel lastiger maken om daaruit een regionaal beeld te destilleren. Het is daarom aan te bevelen achtergrondverlaging vast te stellen aan de hand van langjarige meetreeksen van de stijghoogte op voldoende grote diepte, zoals tussen 10 en 60 meter onder maaiveld (zie ook hoofdstuk 5). Dit laatste impliceert dat het voor delen van het oosten van Overijssel (Twente) lastiger kan worden om de achtergrondverlaging in beeld te brengen, aangezien het watervoerend pakket daar soms niet dieper voorkomt dan 10 meter onder maaiveld. Bij gebruik van meetreeksen uit ondiepere filters is er namelijk meer risico op vertroebeling van het beeld door invloeden van lokale ingrepen.

Op basis van al het hiervoor besprokene komen wij op de volgende aanpak om empirisch vast te kunnen stellen over welke periode en wáár er sprake is van achtergrondverlaging.

1. Verzamel de volgende basisinformatie:

- Lange en kwalitatief goede meetreeksen van de stijghoogte, gemeten in een aantal peilbuizen met voldoende ruimtelijke spreiding en met filters die voldoende diep zijn, zodat het regionale beeld niet te zeer wordt vertroebeld door lokale invloeden. Meetreeksen van landbouwbuizen en ondiepe filters moeten dus niet worden meegenomen.
- De invloedsgebieden van alle relevant te achten grondwaterwinningen in alle geohydrologische lagen waarvan meetreeksen worden meegenomen.
- Het verloop van de meteorologische grondwateraanvulling nabij elke beschouwde peilbuis. Deze kan worden benaderd met het potentieel neerslagoverschot, zoals berekend uit neerslag en verdamping.

- Voor elke beschouwde meetreeks informatie over andere mogelijke invloedsfactoren in de omgeving van de betreffende peilbuis over de beschouwde periode. Aangezien het zeer veel inspanning zal vergen om hierover voldoende bruikbare informatie te vergaren, is te overwegen dit slechts uit te voeren voor de peilbuizen met meetreeksen waarvan bij stap 4 blijkt dat ze een duidelijke trend vertonen.
2. Selecteer alleen de meetreeksen afkomstig van peilfilters die buiten de invloedsgebieden van de relevant te achten grondwaterwinningen liggen.
  3. Corrigeer elke meetreeks voor variaties in de meteorologische grondwateraanvulling, door deze te modelleren met tijdreeksanalyse, waarbij het potentieel neerslagoverschot dient als invoerreeks. Als kan worden aangetoond dat het neerslagoverschot over de beschouwde periode geen trend vertoont, is deze correctie mogelijk minder relevant. Houd er verder rekening mee dat een correctie met behulp van tijdreeksanalyse niet altijd succesvol hoeft te zijn, bijvoorbeeld als er sprake is van een zeer diffuse en vertraagde relatie tussen de grondwaterstand en de meteorologische grondwateraanvulling (zoals op stuwwallen), of als er sprake is van een uitgesproken niet-lineaire relatie.
  4. Analyseer elke aldus gecorrigeerde meetreeks op langetermijn-ontwikkelingen (zie § 5.1).
  5. Ga na of geconstateerde trends te verklaren zijn uit andere mogelijke invloedsfactoren in de omgeving (de kandidaat-achtergrondsfactoren) en of dat een uitsplitsing van het algemene beeld mogelijk maakt.
  6. Presenteer de resultaten op verschillende wijzen (zie § 5.1), indien mogelijk ook onderscheiden naar kandidaat-achtergrondsfactoren. Maar houd er rekening mee dat zelfs als trends geheel ontbreken, er bij het toetsen op trend met 95% betrouwbaarheid in circa 5% van de meetreeksen onterecht een trend zal worden gedetecteerd.

## 2.3 Samenvattende conclusies over het begrip achtergrondverlaging

Het begrip achtergrondverlaging is een licht gecorrigeerde versie van het begrip achtergrondverdroging, dat werd geïntroduceerd bij een grootschalige studie naar de verlaging van de niet aan neerslagoverschot en grondwaterwinning gerelateerde component van de grondwaterstand/stijghoogte in Oost-, Midden- en Zuid-Nederland, in de periode vanaf 1950. Tot dusverre ontbrak echter een eenduidige definitie van het begrip, die voldoende houvast biedt om empirisch vast te stellen óf en in welke mate er sprake is van achtergrondverlaging en die ook verdisconteert dat er specifieke invloedsfactoren zijn die in ieder geval níet verantwoordelijk zijn te stellen voor de betreffende achtergrondverlaging (de ‘voorgroundsfactoren’).

Wij stellen daartoe de volgende definitie voor:

- **Achtergrondverlaging** is een structurele verlaging van een component van de grondwaterstand/stijghoogte, die over een bepaalde periode optreedt en niet samenhangt met bepaalde specifiek benoemde invloedsfactoren (aan te duiden als de ‘voorgroundsfactoren’).

De volgende aanpak is dan geschikt om empirisch vast te kunnen stellen over welke periode en wáár er sprake is van achtergrondverlaging, zoals boven gedefinieerd.

1. Selecteer lange en kwalitatief goede meetreeksen van de stijghoogte, gemeten in een aantal peilbuizen gelegen buiten invloedsgebieden van de relevant geachte grondwaterwinningen, met voldoende ruimtelijke spreiding en met filters die voldoende diep zijn, zodat het regionale beeld niet te zeer wordt vertroebeld door lokale invloeden.
2. Corrigeer elke meetreeks voor variaties in de meteorologische grondwateraanvulling, door deze te modelleren met tijdreeksanalyse, waarbij het potentieel neerslagoverschot dient als invoerreeks.
3. Analyseer elke aldus gecorrigeerde meetreeks op langetermijn-ontwikkelingen.
4. Ga na of geconstateerde trends te verklaren zijn uit andere mogelijke invloedsfactoren in de omgeving (de kandidaat-achtergrondsfactoren) en of dat een uitsplitsing van het algemene beeld mogelijk maakt.
5. Presenteer de resultaten op verschillende wijzen, zo mogelijk ook onderscheiden naar kandidaat-achtergrondsfactoren.

## 3 Beoordelen grondwaterstandsgegevens

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag:

- In welke mate zijn de meetreeksen uit de dataset van de Provincie Overijssel geschikt om middels tijdreeksmodellering gecorrigeerd te worden voor neerslag en verdamping? En welke verbeteringen zijn eventueel nodig om dergelijke correcties mogelijk te maken?

De dataset van de Provincie Overijssel omvat meetreeksen van het Primair Meetnet Grondwaterstanden (PMG) en van het Provinciaal Meetnet Verdroging (PMV). De structuur van het PMG wordt behandeld in § 3.1. In § 3.2 schetsen we de hoofdlijnen van de geohydrologische opbouw van Overijssel, als referentie. De voor deze definitiestudie beschikbaar gestelde grondwaterstandsgegevens worden beschreven in § 3.3. De kwaliteit van deze gegevens wordt beschouwd in § 3.4. En § 3.5 beschrijft onze controle van de deelreeksen die hoogfrequent zijn gemeten met automatische drukopnemers. Dit hoofdstuk sluit af met een concluderend oordeel over de grondwaterstandsgegevens (§ 3.6).

### 3.1 Structuur PMG Overijssel

Door de vanaf 1982 van kracht geworden Grondwaterwet kregen de Provincies meer taken op het gebied van grondwaterbeheer en daardoor ook meer belang bij betrouwbare gegevens over grondwaterstanden. Als uitvloeisel daarvan is in 1988 het Primair Meetnet Grondwaterstanden van de provincie Overijssel ingericht door TNO [Van Bracht et al., 1988].

Als doelstellingen van het PMG zijn toen geformuleerd:

1. een zodanige karakterisering te geven van het regionale grondwaterregiem dat de Provincie in staat wordt gesteld haar beheerstaken naar behoren uit te voeren;
2. een basis te verschaffen voor onderzoek ten behoeve van dat beheer;
3. een referentiemogelijkheid te bieden voor andere meetnetten (de secundaire en tertiaire meetnetten), zodanig dat een koppeling mogelijk is voor huidig en toekomstig grondwaterbeheer- en onderzoek;
4. gegevens aan te kunnen leveren voor het doen van onderzoek aan grondwatersystemen door derden. Dit laatste gezien het maatschappelijk belang van goede kennis van de grondwaterstand.

Dit zijn abstract geformuleerde gebruiksdoelstellingen, die nauwelijks houvast bieden voor de inrichting van het PMG. Want welke ‘karakterisering van het regionale grondwaterregiem’ is bijvoorbeeld nodig om de Provincie ‘in staat te stellen haar beheerstaken naar behoren uit te voeren’? En hoe verschaft een meetnet bijvoorbeeld ‘een basis voor onderzoek ten behoeve van dat beheer’? Een meetnet kan immers slechts voorzien in informatiedragers als tabellen, kaarten, grafieken en resultaten van statistische toetsen. De meetnetinrichting dient dan ook te worden afgestemd op de gewenste vorm (en zonodig ook gewenste betrouwbaarheid) van dergelijke concrete informatiedragers. In het ideale geval worden de wensen daaromtrent gespecificeerd door de doelgroepen van de meetnetinformatie.

Het inrichtingsrapport maakt echter geen melding van een dergelijke informatieanalyse. Er is dus niet uit de gebruiksdoelstellingen en/of specifieke wensen van de doelgroepen afgeleid hoe het meetnet moet functioneren en hoe de meetgegevens verwerkt moeten worden om de Provincie te ondersteunen bij haar beheerstaken.

Het rapport legt de relatie tussen gebruiksdoelen en inrichting van het meetnet slechts via een grote (en niet toegelichte) gedachtensprong en stelt dat het meetnet zodanig moet zijn

ingericht dat de nauwkeurigheid waarmee de grondwaterstand in de ruimte en tijd kan worden voorspeld voldoet aan bepaalde criteria. Daarbij dienen een rol te spelen: i) de karakteristieken van het betreffende gebied, ii) de financiële middelen en iii) de prioriteiten van het grondwaterbeheer.

Om de nauwkeurigheid van ruimtelijke interpolatie op een bepaald tijdstip vast te stellen is kriging toegepast (een geostatistische interpolatiemethode), terwijl de nauwkeurigheid van temporele interpolaties op een bepaalde locatie is afgeleid met een Kalmanfilter (een stochastisch ruimte-tijd-model). De nauwkeurigheid is daarbij uitgedrukt in de standaardfout van de interpolatie. Deze statistische exercities zijn uitgevoerd voor elke onderscheiden geohydrologische laag afzonderlijk.

Uiteindelijk is door TNO voorgesteld om uit te gaan van 405 peilbuizen, met 787 filters, waarvan 57 in de deklaag, 549 in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket, 48 in watervoerend pakket 1b en 133 in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket. Er bleken reeds 366 bestaande peilbuizen geschikt voor het meetnet, zodat het advies luidde om er binnen 5 à 10 jaar nog 39 bij te plaatsen.

Het inrichtingsrapport heeft zich dus alleen gericht op de fysieke inrichting van het meetnet. Het doet nog wel een aanbeveling om het meetnetbeheer en de informatiestroom te optimaliseren, maar het ware beter geweest dat direct parallel aan de inrichting te regelen. De doeltreffendheid en efficiëntie van een meetinspanning is namelijk niet alleen een functie van ruimtelijke en temporele meetdichtheid, maar wordt evenzeer bepaald door de procedures rond het hele meetgebeuren. Dit zijn niet alleen de procedures rond het beheer van de meetlocaties, maar ook de procedures die worden gehanteerd voor alle onderdelen van de informatiestroom die loopt van het meten tot en met het rapporteren van de informatie.

In 2003 is door Royal Haskoning een meetnetevaluatie uitgevoerd, waarbij de opzet is beoordeeld met ondermeer ruimtelijke statistiek [Grobbe, 2003]. Dat heeft tot kleine aanpassingen van het meetnet geleid, waarbij is uitgedund waar informatieoverlap bleek op te treden en is uitgebreid waar een gebrek aan informatie kon worden geconstateerd. Verder is mede op basis van informatie uit REGIS en boorbeschrijvingen een aantal filters aan een ander watervoerend pakket toegedeeld dan tot dusverre aangenomen.

We constateren dat het PMG van Overijssel is ingericht door zoveel mogelijk gebruik te maken van reeds bestaande peilbuizen en dat zonodig ook peilbuizen zijn bijgeplaatst. Daarbij is per geohydrologische laag (of combinatie van laag en deelgebied) gestreefd naar een zodanige ruimtelijke meetdichtheid, dat zowel de ruimtelijke als de temporele interpolatiefout voldoet aan de daaraan gestelde eis. Dit komt neer op een model-gebaseerde inrichting. Er is dus geen verlotingsprincipe toegepast (ontwerp-gebaseerde inrichting). Dit impliceert dat er geen statistisch onderbouwde uitspraken kunnen worden gedaan over kenmerken van de kansverdeling van variabelen die per peilbuis worden vastgesteld (zoals de achtergrondverlaging). Er kunnen desgewenst wel vlakdekkende kaarten van die variabelen worden samengesteld, al zal per kaart ook de interpolatiefout inzichtelijk moeten worden gemaakt.

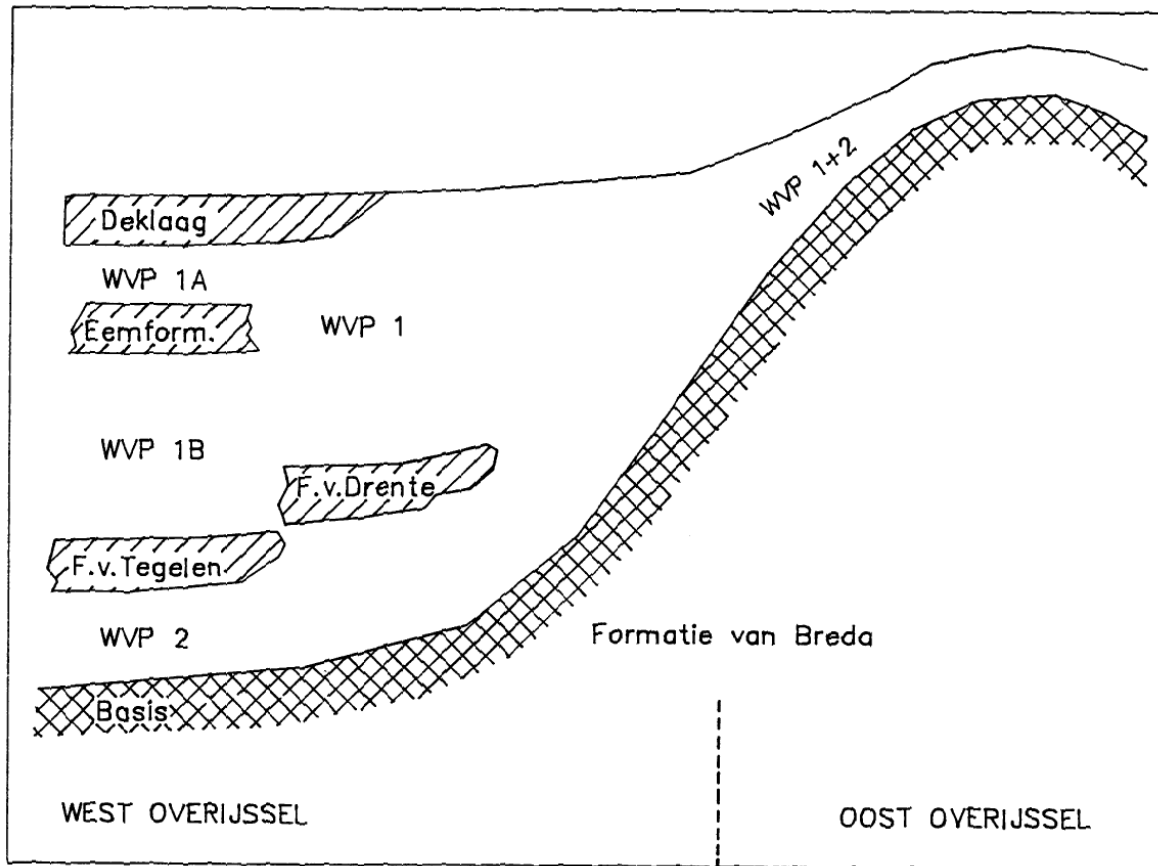
### 3.2 Hoofdpijnen geohydrologische opbouw Overijssel

Geohydrologisch gezien kan Overijssel worden onderverdeeld in twee deelgebieden (zie ook figuur 3.1):

1. Oost-Overijssel, gelegen ten oosten van Almelo. Hier ligt de geohydrologische basis ondiep. Deze bestaat uit kleiige afzettingen van de Formatie van Breda. Daarboven vormen de

Formaties van Twente, Drenthe en Enschede één watervoerend pakket. Plaatselijk zijn deze formaties gestuwd door het landijs van de voorlaatste ijstijd (het Saalien).

*Figuur 3.1: Schematisch profiel van de geohydrologische opbouw van de ondergrond van Overijssel. Overgenomen uit [Van Bracht et al., 1988].*



2. West-Overijssel, gelegen ten westen van Almelo. De geohydrologische basis ligt hier vrij diep en er kunnen meerdere watervoerende pakketten worden onderscheiden. Van boven naar beneden kunnen de volgende lagen voorkomen:
  - a. Deklaag - Ten westen van de lijn Zwolle-Steenwijk en in het IJsseldal bestaat de deklaag voornamelijk uit veen en kleiïge afzettingen uit het Holocene en is daar maximaal enkele meters dik. De deklaag bij Slagharen bestaat uit kleiïge afzettingen van de Formatie van Drente en kan tot tien meter dik zijn.
  - b. WVP1 – Het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket wordt gevormd door de Formaties van Twente, Kreftenheye, Drenthe, Enschede en Eem. Plaatselijk kunnen kleiïge afzettingen van de Formatie van Eem dit 1<sup>e</sup> watervoerende pakket opsplitsen in twee pakketten, namelijk WVP1a en WVP1b.
  - c. SDL1 – De eerste slechtdoorlatende laag bestaat ten noordwesten van de lijn Zwolle-Ommen-De Krim vooral uit kleiïge afzettingen van de Formatie van Tegelen en lokaal uit afzettingen van de Formatie van Harderwijk. Elders bestaat het uit kleiïge afzettingen van de Formatie van Drenthe.
  - d. WVP2 – Waar het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket wordt afgesloten door de Formatie van Tegelen bestaat het uit de Formaties van Maassluis, Oosterhout en Scheemda. En waar het wordt afgesloten door de kleiïge afzettingen van de Formatie van Drenthe bestaat het voornamelijk uit afzettingen van de Formaties van Urk, Enschede en Harderwijk. De dikte van dit pakket loopt van oost naar west op van circa 60 meter tot circa 120 meter.

- e. Geohydrologische basis – De slibhoudende zanden en de kleien van de Formatie van Breda worden beschouwd als de geohydrologische basis van de ondergrond van Overijssel.

### 3.3 Beschrijving beschikbaar gestelde grondwaterstandsgegevens

#### 3.3.1 Geleverde bestanden en dimensies meetnetten

De gegevens van het PMG en het PMV zijn door de Provincie opgeslagen in het programma Menyanthes. Voor onze studie is daaruit een exportbestand beschikbaar gesteld, in csv-formaat. Het bevat een blok metadata en een blok meetwaarden. Het blok met metadata vermeldt per peilfilter X- en Y-coördinaten, maaiveldshoogte, meetpuntshoogte en onder- en bovenkant peilfilter. Indien de metadata van een peilfilter zijn veranderd, zijn deze gegevens in meerdere records vermeld, met daarbij per record ook de startdatum van de nieuwe situatie. Dit laatste is belangrijk, omdat daarmee kan worden vastgesteld of de representativiteit van de metingen over de hele reeks wel gelijk kan worden verondersteld. Zeker bij een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte is dat een absolute voorwaarde.

Het blok meetwaarden geeft voor elk peilfilter records van datum en meetwaarde (in cm NAP).

Verder is een Excelbestand geleverd dat voor de meeste peilfilters vermeldt welke instantie de betreffende peilbuis beheert (Provincie Overijssel of Vitens) en binnen welke geohydrologische laag het zich bevindt. Daarbij zijn acht van dergelijke lagen onderscheiden.

Tenslotte is een Excelbestand geleverd dat apart aangeeft welke van de peilbuizen (en peilfilters) deel uitmaken van het PMV, dat in 2012 met metingen is gestart. Dat meetnet richt zich op de grondwaterstanden in natte natuurgebieden, die hoogfrequent worden geregistreerd (op uurbasis), aangezien de grondwaterdynamiek in dit soort gebieden groot kan zijn.

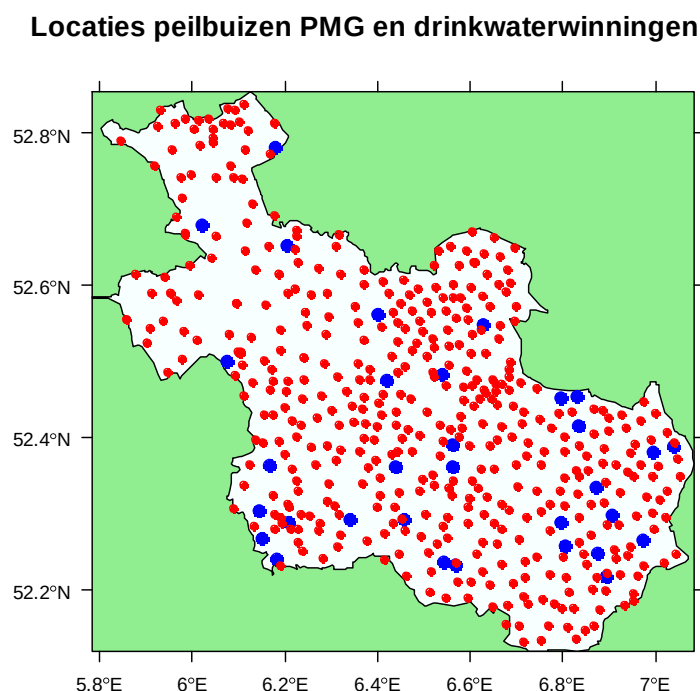
De metadata omvatten gegevens van 532 peilbuizen, die gezamenlijk 820 peilfilters hebben. De peilfilters van een peilbuis zijn genummerd van 1 t/m maximaal 8. Van de 532 peilbuizen worden er 391 beheerd door de Provincie en 106 door Vitens. Van de overige 35 peilbuizen is de beheerder niet vermeld in het metabestand.

Van de 391 peilbuizen die door de Provincie worden beheerd, behoren er 59 tot het PMV.

Van de 820 peilfilters zijn er 802 operationeel, in de zin dat daarvan daadwerkelijk metingen zijn geregistreerd. Dit betreft 524 peilbuizen, waarvan er 465 behoren tot het PMG (332 beheerd door de Provincie, 106 door Vitens en 27 met onbekende beheerder). De overige 59 operationele peilbuizen behoren tot het PMV.

Figuur 3.2 toont de locaties van de 465 operationele peilbuizen van het PMG, alsmede de locaties van de 32 grondwaterwinningen van Vitens. En figuur 3.3 toont de locaties van de 59 operationele peilbuizen van het PMV en die van de grondwaterwinningen.

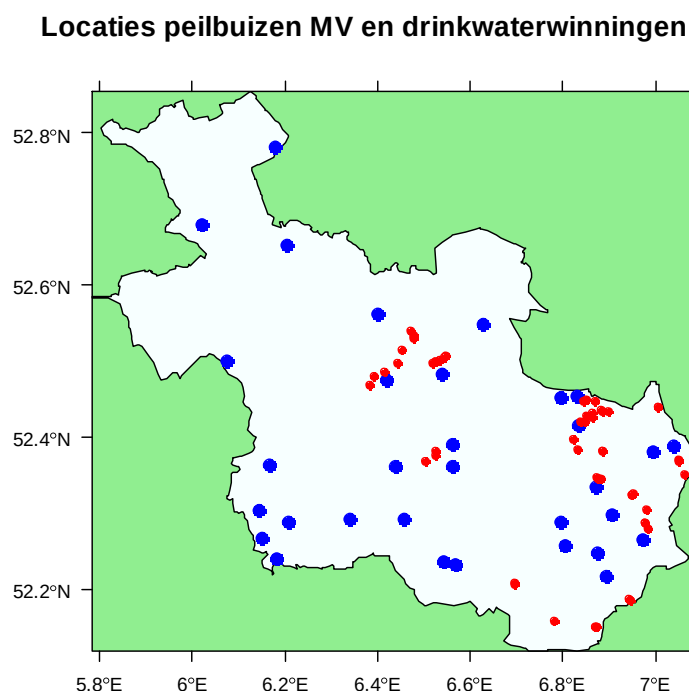
*Figuur 3.2: Locaties van de 465 operationele peilbuizen van het PMG (rood) en die van de 32 grondwaterwinningen van Vitens (blauw).*



Uit figuur 3.2 blijkt dat de 465 peilbuizen van het PMG ruimtelijk goed zijn verspreid over de provincie, al is de dichtheid in het noordwestelijke deel enigszins geringer dan in de andere delen.

En uit figuur 3.3 blijkt dat de 59 peilbuizen van het PMV zich grotendeels beperken tot enkele clusters. Die zijn gelegen in natuurgebieden.

*Figuur 3.3: Locaties van de 59 operationele peilbuizen van het PMV (rood) en die van de 32 grondwaterwinningen van Vitens (blauw).*



### 3.3.2 Verdeling peilfilters over geohydrologische lagen

Van 620 van de 820 peilfilters geven de metadata aan binnen welke geohydrologische laag het filter zich bevindt. Er zijn daarmee 200 peilfilters waarvan niet bekend is binnen welke laag het zich bevindt. Ruim de helft daarvan (102) betreft de peilfilters van het PMV, verder betreft het 34 peilfilters beheerd door de Provincie, 11 beheerd door Vitens en 53 waarvan de beheerder onbekend is.

Van 616 van de 802 operationele peilfilters, afkomstig van 524 peilbuizen, is bekend binnen welke geohydrologische laag het filter zich bevindt. Tabel 3.1 geeft de kruistabel van filternummer en laag, met per cel het aantal beschikbare reeksen.

*Tabel 3.1: Kruistabel van filternummer en geohydrologische laag, met per cel het aantal beschikbare reeksen. Het betreft de 802 peilfilters waar meetwaarden van beschikbaar zijn (van de 820 peilfilters zijn er 18 zonder meetwaarden).*

| Filter | Laag     |          |            |            |            |            |            |           |        | Totaal |
|--------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|--------|--------|
|        | 1<br>FRP | 2<br>DKL | 3<br>WVP1a | 4<br>SDL1a | 5<br>WVP1b | 6<br>SDL1b | 7<br>WVP1c | 8<br>SDL1 | ?<br>? |        |
| 1      | 115      | 54       | 80         | 19         | 82         | 1          | 13         | 5         | 122    | 491    |
| 2      | 1        | 3        | 9          | 2          | 65         | 2          | 29         | 6         | 51     | 168    |
| 3      | 0        | 0        | 2          | 0          | 30         | 3          | 28         | 1         | 11     | 75     |
| 4      | 0        | 0        | 0          | 1          | 6          | 5          | 17         | 3         | 2      | 34     |
| 5      | 0        | 0        | 0          | 0          | 0          | 3          | 8          | 6         | 0      | 17     |
| 6      | 0        | 0        | 0          | 0          | 0          | 1          | 5          | 6         | 0      | 12     |
| 7      | 0        | 0        | 0          | 0          | 0          | 1          | 1          | 2         | 0      | 4      |
| 8      | 0        | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 1         | 0      | 1      |
| Totaal | 116      | 57       | 91         | 22         | 183        | 16         | 101        | 30        | 186    | 802    |

Uit tabel 3.1 blijkt dat in elk van de onderscheiden geohydrologische lagen minstens één bovenste peilfilter (filternummer 1) voorkomt. En naarmate het laagnummer hoger is, komen er doorgaans meer verschillende filternummers in die laag voor.

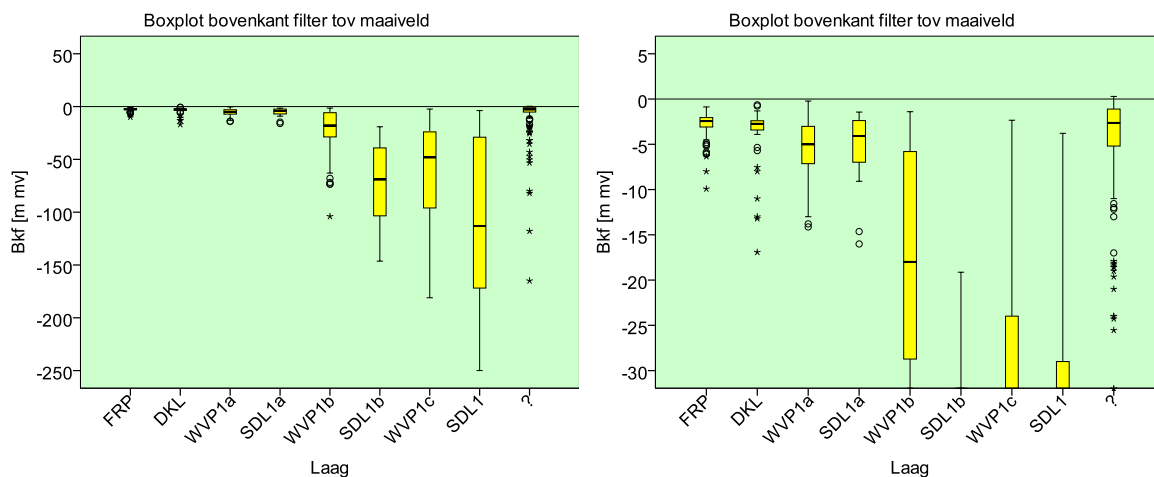
We gaan er van uit dat WVP1c hier de aanduiding is van het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket dat is aangegeven in figuur 3.1.

De meeste peilfilters komen voor in WVP1b (183), het freatisch pakket (FRP, 116), WVP1c (101) en WVP1a (91). Opvallend is overigens dat er ook 68 peilfilters voorkomen in de slecht doorlatende lagen (SDL1a, SDL1b en SDL1). Aangezien dit ongebruikelijk is, is het aan te bevelen na te gaan of dit wel klopt.

### 3.3.3 Filterdiepten

Figuur 3.4 toont voor elke onderscheiden geohydrologische laag de boxplot van de bovenkant van het peilfilter ten opzichte van maaiveld.

*Figuur 3.4: De boxplot van de bovenkant van het peilfilter ten opzichte van maaiveld, met onderscheid naar geohydrologische laag. In de rechterfiguur is de verticale as uitgerekt, om de boxplots van de eerste vier lagen beter zichtbaar te maken.*



Als we afgaan op de ligging van de onderkant van de box (het 25-percentiel), dan blijkt uit figuur 3.4 dat in het freatisch pakket en de deklaag de peilfilters meestal (in 75% van de gevallen) binnen 3 à 4 meter onder maaiveld beginnen. Bij WVP1a en SDL1a beginnen ze doorgaans binnen 6 à 7 meter onder maaiveld. In de overige pakketten beginnen de peilfilters vaak meters (WVP1b) tot tientallen meters (WVP1c, SDL1b en SDL1) dieper.

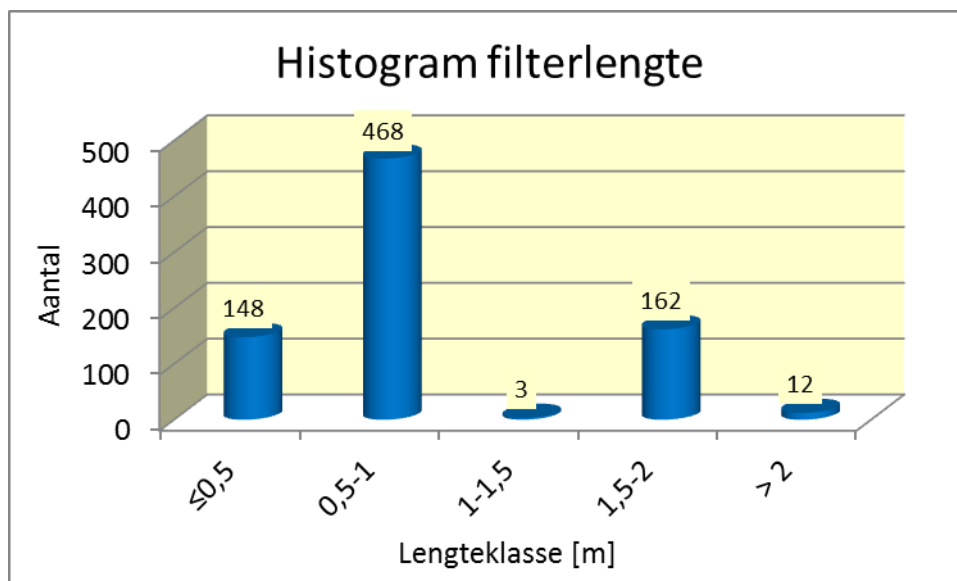
### 3.3.4 Filterlengten

De filterlengte bedraagt minimaal 0,15 en maximaal 34 meter (peilbuis 21EP0140, filter 2), maar veruit de meeste filters (59%) zijn 0,5 tot 1 meter lang. Verder is circa 20% van de filters 1,5 tot 2 meter lang en circa 19% is niet langer dan 0,5 meter (zie tabel 3.2 en figuur 3.5).

*Tabel 3.2: Verdeling van de lengten van de peilfilters over enkele lengteklassen. Het betreft alleen de peilfilters waar lengtegegevens van zijn. Een klasse omvat de lengten die groter zijn dan de ondergrens en kleiner dan of gelijk zijn aan de bovengrens.*

| Klasse [m] | Aantal | Relatief |
|------------|--------|----------|
| ≤0,5       | 148    | 18,7%    |
| 0,5-1      | 468    | 59,0%    |
| 1-1,5      | 3      | 0,4%     |
| 1,5-2      | 162    | 20,4%    |
| > 2        | 12     | 1,5%     |
| Totaal     | 793    | 100,0%   |

*Figuur 3.5: Histogram van de peilfilterlengte. Het betreft alleen de peilfilters waar lengtegegevens van zijn. Een klasse omvat de lengten die groter zijn dan de ondergrens en kleiner dan of gelijk zijn aan de bovengrens.*



Er zijn slechts zeven peilfilters langer dan 5 meter, met lengten in het bereik 9,7 tot 34,0 meter. Hiervan bevinden zich er zes in de diepere watervoerende pakketten WVP1b en WVP1c en één in het eerste slechtdoorlatende pakket (SDL1).

### 3.4 Kwaliteit van de grondwaterstandsgegevens

Om de kwaliteit van de gegevens van de grondwaterstand/stijghoogte te beoordelen zijn in de volgende subparagrafen de volgende kenmerken van deze gegevens beschouwd:

1. informatiegehalte van de metadata;
2. meetfrequenties;
3. gecensureerde, verdachte, of foute meetwaarden;
4. coderingen van ontbrekende meetwaarden;
5. lengten van meetreeksen;
6. geschiktheid van meetreeksen voor analyse langetermijn-ontwikkelingen.

#### 3.4.1 Informatiegehalte metadata

De geleverde metadata van de grondwaterstandsgegevens vermelden per peilfilter X- en Y-coördinaten, maaiveldshoogte, meetpuntshoogte en onder- en bovenkant peilfilter. Indien de metadata van een peilfilter zijn veranderd, zijn deze gegevens in meerdere records vermeld, met daarbij per record ook de startdatum van de nieuwe situatie. Dit maakt een betere kwaliteitsbeoordeling van de grondwaterstandsreeksen mogelijk, aangezien een relevante verandering van coördinaten, maaiveldshoogte of filterstelling tot onvergelykbaarheid van reeksdelen kan leiden. Dergelijke reeksen zijn dan ongeschikt te achten voor een studie naar langetermijn-ontwikkelingen (zie verder ook § 3.4.3).

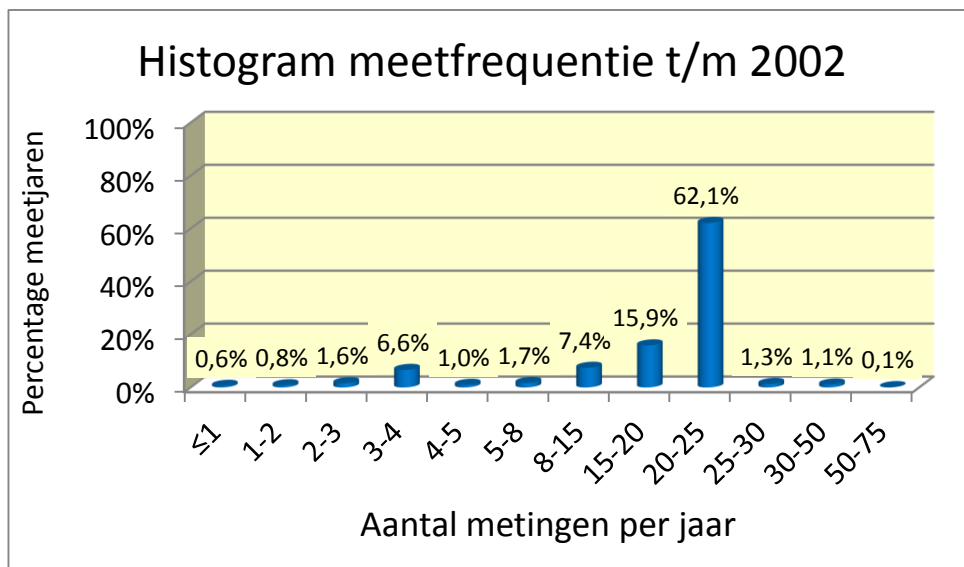
Bij de meetgegevens zijn geen coderingen gebruikt voor het overstroomn van de peilbuis (zie § 3.4.4), zodat een gebruiker middels vergelijking met de meetpuntshoogte zelf moet vaststellen of en wanneer de peilbuis overstroomde.

### 3.4.2 Meetfrequenties

Enigszins globaal kan worden gesteld dat een grondwaterstand die halfmaandelijks of vaker is bemeten doorgaans redelijke perspectieven biedt voor tijdreeksmodellering. Maar bij lagere meetfrequenties kan het problematisch worden om de dynamiek van de grondwaterstand en de relatie met het neerslagoverschot op geschikte wijze te modelleren. Dit geldt in het bijzonder als er slechts viermaal per jaar is gemeten, zoals tot het begin van de jaren negentig nog wel gebeurde. De metingen waren dan niet alleen gering in aantal, maar ook nog niet-equidistant, aangezien jaarlijks werd gemeten op (of nabij) 28 april, 28 augustus, 14 oktober en 14 december. Dit betrof dus één meting in de eerste jaarhelft en drie in de tweede. Aangezien (klassieke) tijdreeksmodellering uitgaat van equidistante metingen, zal de meting van 14 oktober daarvoor afvallen en resteren er slechts drie metingen per jaar.

Van de 802 ontvangen meetreeksen zijn er 790 met vanaf eind 2003 of later hoogfrequente (dagelijkse of uurlijkse) metingen, die zijn geregistreerd door automatische drukopnemers. Daarom beoordelen we hier alleen de meetfrequenties die zijn gehanteerd tot en met 2002. Figuur 3.6 toont het histogram van de jaarlijkse meetfrequentie zoals bepaald over alle combinaties van peilfilter en meetjaar t/m 2002 waar het aantal metingen minstens één bedraagt (de niet bemeten jaren van een peilfilter doen dan niet mee).

*Figuur 3.6: Histogram van de jaarlijkse meetfrequentie, zoals bepaald over alle combinaties van peilfilter en meetjaar t/m 2002 waar het aantal metingen minstens één bedraagt. Een klasse omvat een aantal metingen per jaar dat groter is dan de ondergrens en kleiner dan of gelijk is aan de bovengrens.*



In circa 65% van de combinaties van peilfilter en meetjaar t/m 2002 is er minstens halfmaandelijks gemeten. Dit betekent dat t/m 2002 ongeveer tweederde van de meetinspanning aansloot op de vereisten voor tijdreeksmodellering. De lagere meetfrequenties komen vanaf 1995 overigens nog maar nauwelijks voor.

### 3.4.3 Gecensureerde, verdachte, of foute meetwaarden

Gecensureerde meetwaarden zijn waarden gelijk aan de onderkant van het filter of gelijk aan de meetpuntshoogte. Er zijn 47 waarden gelijk aan de onderkant van het filter, afkomstig van 14 meetreeksen. En er zijn 3.203 waarden gelijk aan de meetpuntshoogte, afkomstig van 79

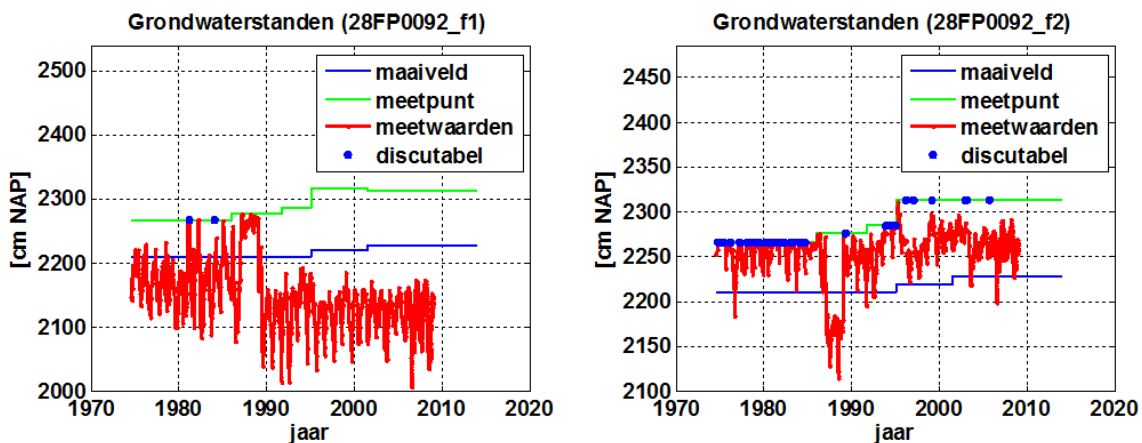
meetreeksen. Als een reeks veel gecensureerde waarden bevat, kan dit leiden tot minder onderscheidend vermogen bij het analyseren op langetermijn-veranderingen. Verder zijn er 10.347 meetwaarden kleiner dan de onderkant van het filter, afkomstig van 18 meetreeksen en 8.561 meetwaarden groter dan de meetpuntshoogte, afkomstig van 24 meetreeksen. Dergelijke meetwaarden zijn fysisch onlogisch en worden waarschijnlijk veroorzaakt door foute metadata. Een belangrijke bijdrage aan deze verdachte waarden wordt geleverd door de meetreeks van 29CP0113, filter 1. Deze bevat 2.741 waarden kleiner dan de onderkant van het filter en 8.189 waarden groter dan de meetpuntshoogte.

Alle 802 meetreeksen zijn visueel beoordeeld op verdachte, of foute meetwaarden. Daarbij is zoveel mogelijk afgegaan op hydrologisch inzicht. Dat is ons inziens de enige manier om tot zinvolle oordelen te kunnen komen. Zo was bijvoorbeeld het najaar van 1998 extreem nat en vertoonden veel grondwaterstandsreeksen in die periode duidelijke uitschieters. Maar aangezien die te verklaren zijn, betreft het dan geen verdachte, of foute meetwaarden.

De visuele beoordeling van alle meetreeksen leidde tot de volgende bevindingen:

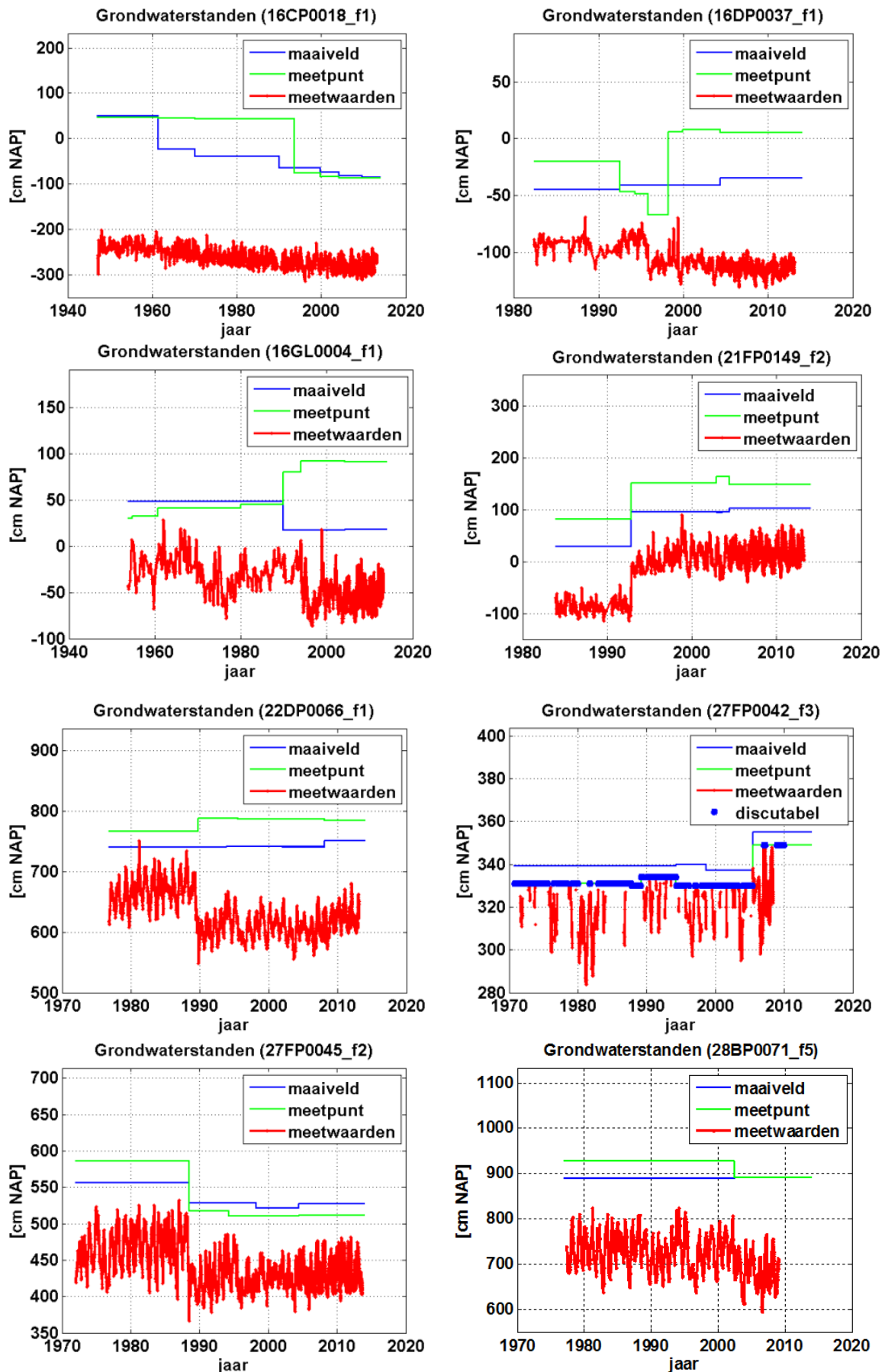
1. Er zijn 33 duidelijke uitschieters die op zijn minst verdachte en zeer waarschijnlijk zelfs foute meetwaarden zijn. Deze zijn afkomstig van 33 meetreeksen.
2. Er zijn twee meetreeksen waarvan deelreeksen zijn verwisseld. Het betreft een zogenaamde filterverwisseling (zie figuur 3.7).

*Figuur 3.7: Twee reeksen van verschillende filters van dezelfde peilbuis, waarvan de meetwaarden over circa 1987 tot medio 1989 zijn verwisseld. Bij filter 1 is er ook sprake van een grote verlaging vanaf circa 1990 (na correctie voor de filterverwisseling is dat vanaf circa 1987). En bij filter 2 is er tot circa 1985 sprake van veel aan de bovenkant gecensureerde meetwaarden.*



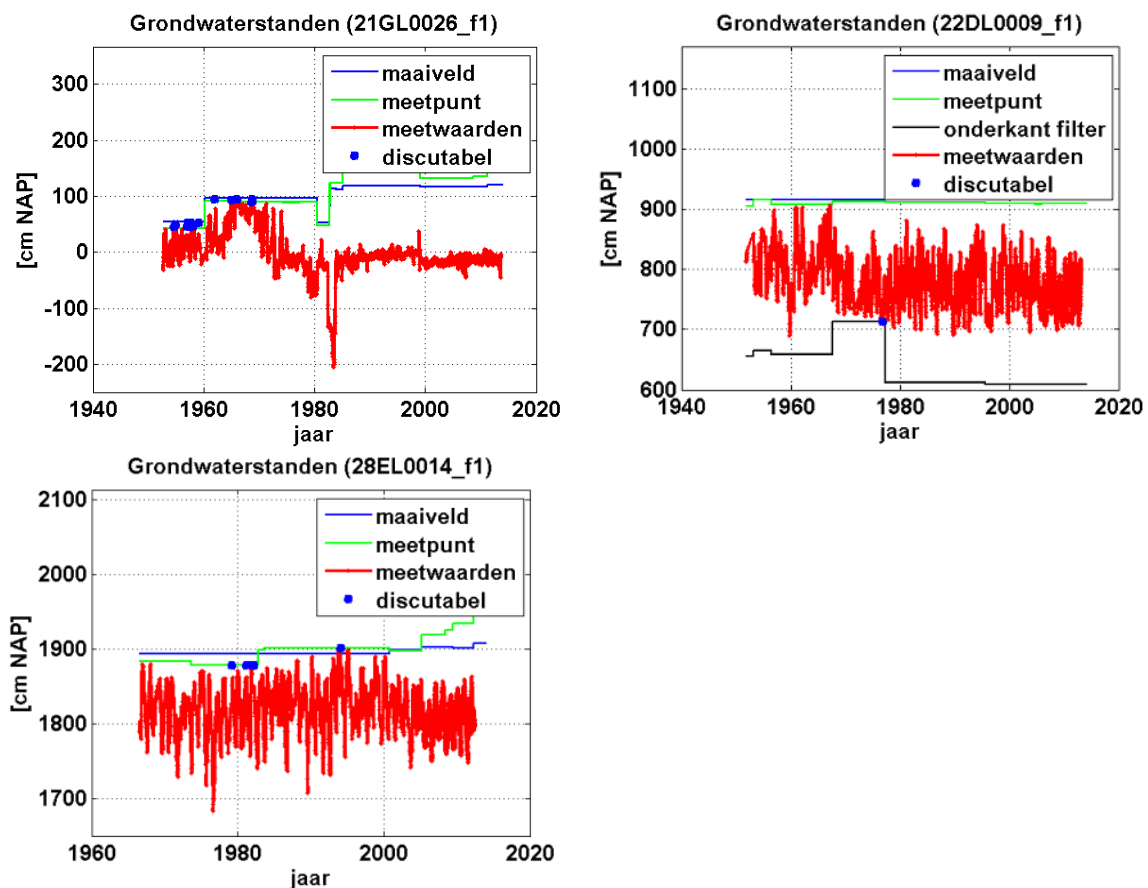
3. In 64 meetreeksen valt een niveauverandering samen met het wijzigen van metadata, zoals maaivelds- en/of meetpuntshoogte. Figuur 3.8 toont daarvan acht voorbeelden. Het betreft niet alleen landbouwbuizen, maar ook peilbuizen. De deelreeksen sluiten dan niet meer goed op elkaar aan. Vooral bij landbouwbuizen treedt dit vaak op, door het horizontaal en/of verticaal verplaatsen van het de buis. Maar het kan een administratieve fout zijn, bijvoorbeeld doordat een wijziging van de meetpuntshoogte niet (goed) is verdisconteerd in het meetproces. Er moet dus rekening mee worden gehouden dat deze reeksen een vertekend beeld kunnen geven van de langetermijn-ontwikkeling van de grondwaterstand.

Figuur 3.8: Voorbeelden van grondwaterstandsreeksen met mogelijke invloed van wijzigingen van de metadata (zoals maaivelds- en/of meetpuntshoogte) op de meetwaarden.



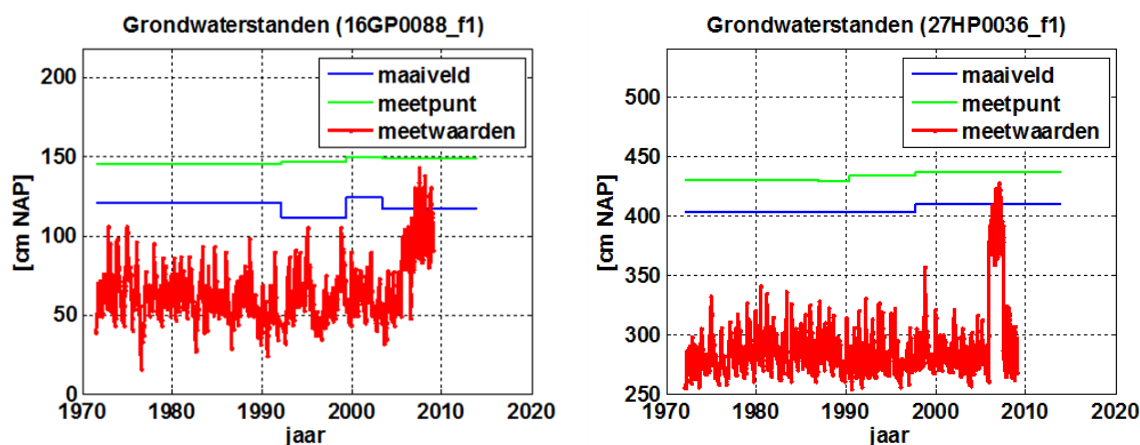
Figuur 3.9 toont nog drie voorbeelden. Het betreft drie van de Overijsselse grondwaterstandsreeksen die zijn gebruikt voor de grootschalige landelijke verdrogingsstudies (zie ook § 2.1). De studie van [Rolf, 1989b] gebruikte hiervan 22DL0009 en 28EL0014 en de studie van [Kremers en Van Geer, 2000] gebruikte ze alle drie. Maar deze reeksen zijn zeer vermoedelijk ongeschikt om langetermijn-ontwikkelingen te schetsen. Ze hebben namelijk meerdere verticale filterverplaatsingen gehad. Verder is 21GL0026 viermaal horizontaal verplaatst (over zelfs 150 meter) en hebben 21GL0026 en 28EL0014 nog diverse wijzigingen van de maaivelds- en/of meetpuntshoogte gehad. Een aantal van die verplaatsingen en/of wijzigingen lijkt de betreffende reeks te hebben beïnvloed.

*Figuur 3.9: Drie Overijsselse grondwaterstandsreeksen die zijn gebruikt voor de grootschalige landelijke verdrogingsstudies (zie ook § 2.1). Ze zijn mogelijk beïnvloed door wijzigingen van de metadata (zoals coördinaten, maaivelds- en/of meetpuntshoogte).*



4. Er zijn 8 meetreeksen waar er sinds het plaatsen van een automatische drukopnemer duidelijke discrepanties zijn opgetreden met de daarvóór nog met de hand gemeten deelreeks. Van deze reeksen vallen er zes onder het beheer van Vitens en twee onder het beheer van de Provincie. Figuur 3.10 toont twee voorbeelden hiervan.

Figuur 3.10: Illustratie van wat er mis kan gaan bij drukopnemermetingen. Deze peilfilters zijn in 2005 door Vitens voorzien van een automatische drukopnemer en daarna zijn duidelijke discrepanties opgetreden met de voorgaande deelreeks, die handmatig halfmaandelijks is gemeten.



Uit deze visuele beoordeling kwam dus naar voren dat 74 reeksen dermate discutabel moeten worden geacht, dat ze ongeschikt zijn voor een studie naar ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte. Dit betreft ruim 9% van alle reeksen (inclusief die van het PMV).

Daarvan zijn er 64 reeksen waar de discrepanties hoogstwaarschijnlijk zijn veroorzaakt door wijzigingen van positie, filterstelling en/of meetpuntshoogte en twee reeksen waar sprake is van filterverwisseling. Bij de andere 8 reeksen zijn de discrepanties veroorzaakt door het plaatsen en/of het functioneren van een automatische drukopnemer. Tabel 3.3 vermeldt hoe deze discutabele reeksen zijn verdeeld over het soort waarnemingsput.

Tabel 3.3: Verdeling over het soort waarnemingsput van de 74 discutabel geachte reeksen.

| Soort | Aantal | Discutabel | %Discutabel |
|-------|--------|------------|-------------|
| P     | 595    | 26         | 4,4%        |
| L     | 203    | 48         | 23,6%       |
| B     | 3      | 0          | 0,0%        |
| W     | 1      | 0          | 0,0%        |
| Tot   | 802    | 74         | 9,2%        |

#### Toelichting

P: peilbuis | L: landbouwbuis | B: brandput | W: welput<sup>6</sup>

Het merendeel van de discutabele reeksen (48 van de 74) blijkt afkomstig van landbouwbuisen. Dit betreft circa 24% van alle reeksen die zijn gemeten in landbouwbuisen. Als we in aanmerking nemen dat: 1) dit nog alleen de visueel waarneembare discrepanties betreft en 2) de meeste landbouwbuisen horizontale en/of verticale verplaatsingen en wijzigingen van maaivelds- en/of meetpuntshoogte hebben gehad, is het in principe af te raden om meetreeksen van landbouwbuisen te gebruiken bij een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand.

<sup>6</sup> Een welput is een waterput die reikt tot onder de grondwaterspiegel. Deze is vaak opgebouwd uit in een cirkel gestapelde losliggende baksteentjes die functioneren als een filter waardoor het grondwater naar binnen stroomt. Bron: Wikipedia.

Opvallend is verder dat ook nog een niet onaanzienlijk aantal reeksen afkomstig van peilbuizen discutabel is, namelijk 26, oftewel ruim 4% van het totaal aantal reeksen afkomstig van peilbuizen (inclusief die van het PMV). Aangezien die discrepanties vaak bleken samen te vallen met wijzigingen van metadata (vooral de meetpuntshoogte), zijn er vermoedelijk fouten gemaakt bij het verwerken van die wijzigingen. Dit geldt overigens zowel voor reeksen beheerd door de Provincie als reeksen beheerd door Vitens. Blijkbaar zijn (of waren) er geen procedures voor kwaliteitsborging voor het omzetten van de metingen ten opzichte van meetpuntshoogte tot metingen ten opzichte van NAP. De meetreeksen uit peilbuizen van het PMG zijn daarom niet zondermeer geschikt te achten voor studies naar lange-termijnontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte.

Tenslotte zijn er nog de volgende dataproblemen gevonden:

- 1.482 gevallen waarbij een meetwaarde van een bepaald tijdstip tweemaal in een reeks voorkomt. Dit treedt op in 12 reeksen, bij metingen van automatische drukopnemers, met als vroegste 22 december 2003. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het uitvoeren van statistische analyses, omdat anders enige vertekening kan ontstaan.
- 1.078 gevallen waarbij meetwaarden van hetzelfde tijdstip verschillen. Dit treedt op in 68 reeksen, maar alleen bij metingen van automatische drukopnemers, met als vroegste 23 februari 2005. Tabel 3.4 geeft een voorbeeld van dergelijke discrepanties. De metingen van filter 3 van peilbuis 16EP0089 ontbreken tussen 23 april en 28 juli 2011 en lopen daarna door tot 11 januari 2012. Maar daarna zijn er opnieuw metingen vermeld vanaf 28 juli 2011, zij het met waarden die alle exact 2,5 cm lager zijn dan de eerder vermelde waarden voor die datums (en tijdstippen).

*Tabel 3.4: Voorbeeld van een meetreeks met verschillende meetwaarden voor hetzelfde tijdstip.*

| LOCATION | FILTER NR | DATE           | VALUE [m-ref] |
|----------|-----------|----------------|---------------|
| 16EP0089 | 3         | 21-4-2011 8:00 | 0.05059       |
| 16EP0089 | 3         | 22-4-2011 8:00 | 0.051837      |
| 16EP0089 | 3         | 23-4-2011 8:00 | 0.035314      |
| 16EP0089 | 3         | 28-7-2011 8:00 | -0.13629      |
| 16EP0089 | 3         | 29-7-2011 8:00 | -0.13196      |
| 16EP0089 | 3         | 30-7-2011 8:00 | -0.11727      |
| 16EP0089 | 3         | 31-7-2011 8:00 | -0.11326      |
| .....    | .....     | .....          | .....         |
| 16EP0089 | 3         | 9-1-2012 8:00  | 0.39231       |
| 16EP0089 | 3         | 10-1-2012 8:00 | 0.38553       |
| 16EP0089 | 3         | 11-1-2012 8:00 | 0.40552       |
| 16EP0089 | 3         | 28-7-2011 8:00 | -0.16129      |
| 16EP0089 | 3         | 29-7-2011 8:00 | -0.15696      |
| 16EP0089 | 3         | 30-7-2011 8:00 | -0.14227      |
| 16EP0089 | 3         | 31-7-2011 8:00 | -0.13826      |

#### 3.4.4 Coderingen van ontbrekende meetwaarden

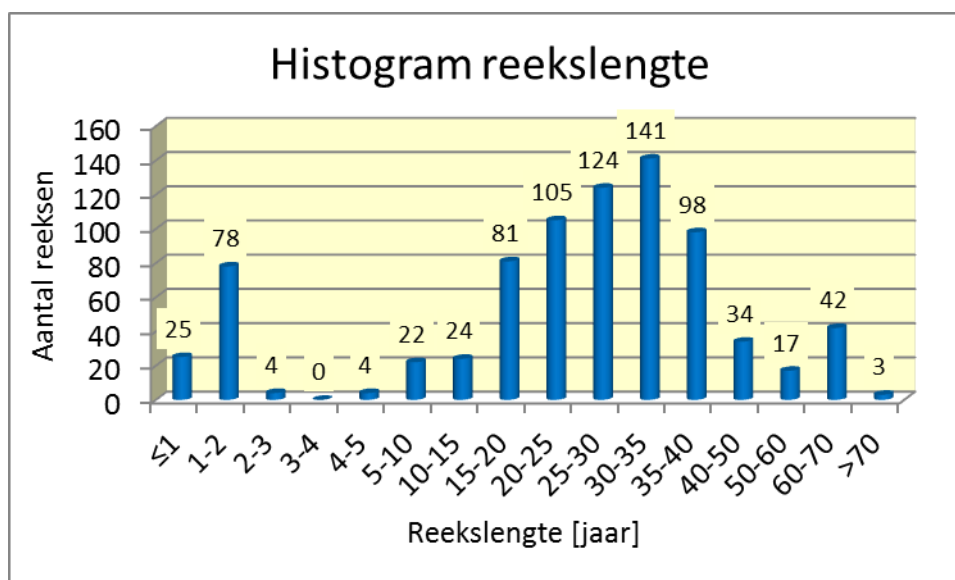
Een meetwaarde kan om verschillende redenen ontbreken. Maar als deze ontbreekt door een fysieke belemmering van het meetproces, kan het voor de interpretatie en/of statistische analyse van de gegevens van pas komen als is aangegeven welk soort belemmering dat betreft. Mogelijke belemmeringen zijn ondermeer ijsvorming, overstrooming van de peilbuis en

droogvallen van het filter. Als bijvoorbeeld bij een ontbrekende waarde is aangegeven dat dit kwam door overstromen van de peilbuis, was de grondwaterstand blijkbaar hoger dan de bovenkant van de peilbuis. En als is aangegeven dat dit kwam door droogvallen van het filter, was de grondwaterstand blijkbaar lager dan de onderkant van het filter. De verstrekte meetgegevens bevatten echter geen coderingen van ontbrekende waarden.

### 3.4.5 Lengten van beschikbare meetreeksen

De eerste reeks start 1 juni 1935 en de laatste 25 oktober 2012. Het vroegste reekseinde is 28 april 1958 en het laatste 6 september 2013. Figuur 3.11 toont het histogram van de reekslengte. De langste reeks beslaat 77,7 jaar. Het grootste deel van de reeksen – circa 70% (549) – is tussen de 15 en 40 jaar lang. En circa 42% van de reeksen (335) is minstens 30 jaar lang. De korte reeksen (tot twee jaar lengte) zijn vrijwel alle afkomstig van het PMV.

*Figuur 3.11: Histogram van de reekslengte van de verzameling van 802 meetreeksen. Een klasse omvat reekslengten die groter zijn dan de ondergrens en kleiner dan of gelijk zijn aan de bovengrens.*



### 3.4.6 Geschiktheid van reeksen voor analyse langetermijn-ontwikkelingen

Om een beeld te kunnen schetsen van de achtergrondverlaging, dienen - zoals toegelicht in § 2.2.3 - langjarige meetreeksen van bij voorkeur de stijghoogte statistisch te worden geanalyseerd met trendanalyse, na correctie voor de meteorologische invloed met tijdreeksanalyse. Daarom zijn we voor verschillende startjaren (1953, 1965, 1970, 1975 en 1980) nagegaan hoeveel reeksen er beschikbaar zijn, met ook onderscheid naar de informatiedichtheid van de reeks. Daartoe is afgegaan op de meetdichtheidsmatrix van alle meetgegevens. De rijen van deze matrix zijn de peilfilters en de kolommen de kalenderjaren. Elke cel vermeldt dan het aantal meetwaarden per combinatie van peilfilter en kalenderjaar. Met deze matrix kunnen de mogelijkheden en beperkingen van de beschikbare meetgegevens beter worden beoordeeld.

Voor elk van de startjaren 1953, 1965, 1970, 1975 en 1980 is in tabel 3.5 vermeld:

1. het aantal reeksen dat meetwaarden bevat in het betreffende startjaar, of anders in het eerste of tweede jaar daarna en dat geen hiaat langer dan 10 jaar bevat;
2. het aantal van die reeksen dat in elk jaar vanaf het startjaar meetwaarden bevat;
3. het aantal van die reeksen dat in elk jaar vanaf het startjaar minstens 6 meetwaarden bevat.

De 74 op basis van een visuele beoordeling discutabel te achten reeksen (zie § 3.4.3) zijn hierbij weggelaten.

*Tabel 3.5: Boven: aantal meetreeksen met bepaalde kenmerken, voor verschillende startjaren. De kenmerken zijn bepaald t/m 2008, aangezien de beschikbaar gestelde Vitens-reeksen niet verder gaan dan 2008. Onder: Het aantal geschikte meetreeksen per startjaar, uitgesplitst naar de verschillende geohydrologische pakketten*

| Kenmerk reeks                           | Startjaar |      |      |      |      |
|-----------------------------------------|-----------|------|------|------|------|
|                                         | 1953      | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 |
| Geschikt startjaar                      | 24        | 35   | 80   | 196  | 315  |
| Elk jaar t/m 2008 bevat meetwaarden     | 12        | 25   | 62   | 154  | 262  |
| Elk jaar t/m 2008 bevat > 5 meetwaarden | 5         | 10   | 37   | 112  | 212  |

| Pakket | Startjaar |      |      |      |      |
|--------|-----------|------|------|------|------|
|        | 1953      | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 |
| FRP    | 10        | 11   | 16   | 26   | 39   |
| DKL    | 1         | 3    | 6    | 11   | 19   |
| WVP1a  | 2         | 4    | 12   | 24   | 36   |
| SDL1a  | 0         | 0    | 2    | 4    | 9    |
| WVP1b  | 8         | 10   | 23   | 63   | 98   |
| SDL1b  | 0         | 0    | 1    | 4    | 4    |
| WVP1c  | 2         | 5    | 10   | 33   | 58   |
| SDL1   | 1         | 1    | 4    | 9    | 18   |
| ?      | 0         | 1    | 6    | 22   | 34   |
| Totaal | 24        | 35   | 80   | 196  | 315  |

De reeksen die lang genoeg zijn, kunnen in principe worden geanalyseerd op trend, met trendanalyse. Maar om daarbij ook te kunnen corrigeren voor het neerslagoverschot, moet tijdreeksanalyse worden toegepast. Als een reeks in elk jaar meetwaarden bevat zal deze minstens geschikt zijn voor een rudimentaire vorm van tijdreeksanalyse op jaarbasis. En als een reeks in elk jaar minstens 6 min of meer gelijkmatig over het jaar verdeelde meetwaarden bevat is deze ook geschikt te achten voor geavanceerdere vormen van tijdreeksanalyse.

Uit tabel 3.5 blijkt dat het aantal geschikte reeksen sterk terugloopt, naarmate het startjaar verder terug wordt gekozen. Als dan ook nog het criterium wordt gehanteerd dat de peilbuis minstens 5 km van een drinkwaterwinning moet liggen, worden die aantallen zelfs nog gehalveerd (zie daarvoor § 5.1). Dit houdt in dat er slechts zeer weinig reeksen geschikt zijn om een beeld van de achtergrondverlaging vanaf 1953 of 1965 te schetsen. Voor een analyse vanaf het startjaar 1980 is er daarentegen wel een redelijk te achten aantal reeksen geschikt.

### 3.5 Controle deelreeksen gemeten met drukopnemers

Van de 802 ontvangen meetreeksen zijn er 790 die vanaf eind 2003 of later hoogfrequente metingen bevatten. Deze metingen zijn geregistreerd door automatische drukopnemers. In de meeste gevallen (658 van de 790) betreft het dagelijkse metingen. In de overige 132 gevallen zijn uurlijkse metingen geregistreerd.

De meeste peilfilters die door de Provincie Overijssel worden beheerd zijn in de periode van eind 2003 tot najaar 2004 voorzien van een automatische drukopnemer van het merk Keller, type DCX 22 AA (deze compenseert voor luchtdruk). Dit betreft in ieder geval 448 peilfilters en mogelijk 483 (er zijn namelijk 35 peilfilters met hoogfrequente metingen waarvan de beheerder niet bekend is). Verder zijn in 2012 de 102 peilfilters van het PMV uitgerust met automatische drukopnemers. De overige 205 peilfilters met automatische drukopnemers zijn van Vitens.

De dagelijkse metingen in de door de Provincie beheerde peilfilters met automatische drukopnemers zijn steeds uitgevoerd om 08:00 uur 's ochtends, aangezien er dan nog de minste invloed van verdamping en naburige winningen is te verwachten. De uurlijkse metingen zijn alleen uitgevoerd in peilbuizen in natte natuurgebieden, waar de dynamiek van het grondwater doorgaans groter is.

Aangezien inmiddels is gebleken dat drukopnemermetingen onbetrouwbaar kunnen zijn zonder een geschikte kwaliteitsprocedure, is in het kader van deze definitiestudie ook nagegaan wat de kwaliteit is van de drukopnemermetingen die onder beheer van de Provincie vallen. Daartoe zijn de volgende paden gevolgd:

1. beoordelen van de wijze waarop de Provincie de kwaliteit borgt van de drukopnemermetingen (§ 3.5.1);
2. beoordelen van de kwaliteit van de drukopnemermetingen (§ 3.5.2).

#### *Hoogfrequente metingen Vitens*

Vitens hanteert nog geen procedure voor kwaliteitsborging van de drukopnemermetingen, zodat de kwaliteit van de hoogfrequente metingen van 205 van de peilfilters van het PMG niet kan worden vastgesteld en deze metingen vooralsnog onbetrouwbaar moeten worden geacht. Enkele illustraties van fouten in deze reeksen zagen we al in figuur 3.10.

Er zijn door Vitens wel met enige regelmaat handmatige controlemetingen uitgevoerd, maar die zijn tot dusverre niet gebruikt om de drukopnemerreeksen te calibreren. Dat kan alsnog gebeuren, maar een probleem daarbij is dat er slechts één drukopnemermeting per dag is bewaard, zodat er meestal geen direct gepaarde vergelijking meer mogelijk is met de handmatige controlemeting. Verder kan het lastig zijn om een hoogfrequente meetreeks pas na meerdere jaren te calibreren. Er moeten dan soms subjectieve keuzen worden gemaakt.

#### *3.5.1 Beoordelen kwaliteitsborging drukopnemermetingen door de Provincie*

De procedure die de Provincie volgt om de kwaliteit van de drukopnemermetingen te borgen is beschreven in een interne notitie [Gooijer en De Meij, 2013]. De notitie stelt dat de procedure is ontworpen om het optreden van afwijkingen en fouten in de meetreeksen te voorkomen en de noodzaak voor validatie en correctie achteraf te minimaliseren. Bovendien worden controlemetingen en correcties systematisch vastgelegd, zodat de gebruiker desgewenst iedere meetreeks weer kan herleiden tot de oorspronkelijke meetwaarden.

De procedure omvat de volgende onderdelen:

1. Bepalen van de gewenste kabellengte van de logger op basis van de filterstelling en de gemeten hoogste en laagste grondwaterstand.
2. Gedetailleerd schriftelijk en fotografisch vastleggen van de topografische en technische kenmerken van het meetpunt.
3. Bevestigen plaatjes met peilbuiscodes op de schutkokers van de peilbuizen.
4. Één keer per halfjaar uitlezen van de drukopnemers. In de praktijk blijkt het verlies van gegevens daarbij 1 à 3% te zijn.
5. Direct opslaan van de bij het veldbezoek verzamelde gegevens in Menyanthes, zoals per locatie:
  - a. datum en tijd;
  - b. handmatige controlemeting van de grondwaterstand;
  - c. gelijktijdige meting van de drukopnemer;
  - d. eventuele aanpassing van de kabellengte;
  - e. gecorrigeerde meting van de drukopnemer.
6. Opslaan van de uitgelezen reeks in Menyanthes en toevoegen aan de voorgaande reeks.
7. Bijhouden logboek van veldbezoek. Welke locaties zijn bezocht en wanneer, welke reeksen zijn goed bevonden, welke zijn gecorrigeerd en welke zijn onbetrouwbaar. Wanneer is een drukopnemer vervangen en waarom.
8. Één keer per halfjaar versturen van alle meetgegevens naar TNO, voor opname in DINO.
9. Uitvoeren onderhoud van de meetpunten (en bijhouden werkzaamheden in een logboek). Dit omvat eens per 5 jaar schoonmaken van het filter en eens per 10 jaar waterpassen van de meetpuntshoogte. Zonodig worden ook kleine reparaties uitgevoerd.

### *Gehanteerde besliscriteria bij de controle*

Als de handmatige controlemeting meer dan 4 cm verschilt van de gelijktijdige drukopnemermeting wordt de drukopnemer direct vervangen. De uitgelezen gegevens worden op verschillende wijzen beoordeeld (bijvoorbeeld door ze visueel te vergelijken met die van een naburige drukopnemer), zodat kan worden vastgesteld tot wanneer ze nog betrouwbaar zijn. Dat deel wordt dan opgenomen in Menyanthes.

Bij een afwijking van meer dan 5 mm besluit de waarnemer of correctie nodig is. Een correctie wordt uitgevoerd door het aanpassen van de waarde van de kabellengte in de software.

Bij een afwijking van 5 – 20 mm wordt de helft van de afwijking gecorrigeerd.

Bij een afwijking van 20 – 40 mm wordt het geïmporteerde databestand met Menyanthes direct gecorrigeerd door lineaire interpolatie. Daarna wordt de volledige afwijking gecorrigeerd door aanpassen van de kabellengte in de software.

Na het uitvoeren van een softwarematige correctie van de kabellengte worden alle metingen vanaf het voorgaande uitleesmoment door de Keller-uitleessoftware direct gecorrigeerd voor de aangepaste kabellengte. Dit gebeurt door middel van lineaire interpolatie tussen de laatste en de voorlaatste handmatige controlemeting.

Slechts bij hoge uitzondering wordt een drukopnemer opnieuw gecalibreerd, waarbij de waterdruksensor en de luchtdruksensor op dezelfde luchtdrukweergave worden ingesteld.

Ons oordeel over deze procedure voor kwaliteitsborging is zondermeer positief. Het is namelijk een zeer gedegen procedure, die voorziet in directe herstelacties zodra de drukopnemermetingen uit de pas gaan lopen. Alleen de frequentie van handmatige controlemetingen

(eens per half jaar) is wellicht wat laag, aangezien er dan bij uitval tot een half jaar meetwaarden kan ontbreken.

### **3.5.2 Empirisch controleren kwaliteit drukopnemermetingen Provincie**

De kwaliteit van de drukopnemermetingen van de Provincie hebben wij ook empirisch gecontroleerd en wel op de volgende twee manieren:

1. vergelijken gepaarde meetwaarden drukopnemers en handmatige controlemetingen;
2. vergelijken semigepaarde meetwaarden drukopnemers en handmatige controlemetingen.

Er is sprake van gepaarde meetwaarden als bij een handmatige controlemeting de drukopnemermeting van exact hetzelfde tijdstip beschikbaar is. Deze paren zijn beschikbaar gekomen als uitvloeisel van de hiervoor beschreven procedure voor kwaliteitsborging.

En we spreken van semigepaarde meetwaarden als de meettijdstippen van een handmatige controlemeting en een drukopnemermeting niet samenvallen, maar ook niet meer dan 24 uur verschillen. Deze semiparen zijn door ons samengesteld door voor elke handmeting de in tijd dichtstbijzijnde drukopnemermeting uit de meetreeks te selecteren.

Voor deze exercities heeft de Provincie het databestand geleverd waar Menyanthes alle handmatige controlemetingen en de daaraan direct gepaarde drukopnemermetingen in bewaart (de zogenaamde H-structure). Het bestand bevat gegevens van 574 meetreeksen.

De belangrijkste resultaten van deze controle-exercitie zijn vermeld in tabel 3.6.

Tabel 3.6: Frequentieverdeling van het verschil tussen een handmatige controlemeting en de bijbehorende drukopnemermeting, zowel voor de gepaarde, als voor de semigepaarde waarden. Elke klasse loopt vanaf de bovengrens van de voorgaande klasse en is inclusief de bovengrens van de eigen klasse.

| Bovengrens klasse [m] | Verskil gepaarde waarden |            | Verskil semigepaarde waarden |            |
|-----------------------|--------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                       | Aantal                   | Percentage | Aantal                       | Percentage |
| -1                    | 5                        | 0,1%       | 12                           | 0,2%       |
| -0,5                  | 3                        | 0,0%       | 12                           | 0,2%       |
| -0,2                  | 45                       | 0,5%       | 47                           | 0,6%       |
| -0,1                  | 51                       | 0,6%       | 46                           | 0,6%       |
| -0,05                 | 103                      | 1,2%       | 85                           | 1,1%       |
| -0,04                 | 57                       | 0,7%       | 55                           | 0,7%       |
| -0,03                 | 123                      | 1,4%       | 136                          | 1,7%       |
| -0,02                 | 325                      | 3,8%       | 319                          | 4,1%       |
| -0,01                 | 725                      | 8,4%       | 972                          | 12,5%      |
| 0                     | 2888                     | 33,5%      | 2783                         | 35,7%      |
| 0,01                  | 2553                     | 29,6%      | 2225                         | 28,5%      |
| 0,02                  | 956                      | 11,1%      | 582                          | 7,5%       |
| 0,03                  | 344                      | 4,0%       | 197                          | 2,5%       |
| 0,04                  | 161                      | 1,9%       | 98                           | 1,3%       |
| 0,05                  | 60                       | 0,7%       | 54                           | 0,7%       |
| 0,1                   | 103                      | 1,2%       | 80                           | 1,0%       |
| 0,2                   | 75                       | 0,9%       | 45                           | 0,6%       |
| 0,5                   | 25                       | 0,3%       | 24                           | 0,3%       |
| 1                     | 11                       | 0,1%       | 17                           | 0,2%       |
| 100                   | 5                        | 0,1%       | 12                           | 0,2%       |
| Totaal                | 8618                     | 100,0%     | 7801                         | 100,0%     |

De absolute verschillen van de gepaarde waarden bedragen in 83,4% van de gevallen niet meer dan 2 cm en in 93,8% van de gevallen niet meer dan 4 cm. Bij de semigepaarde waarden is dat in respectievelijk 84,1% en 93,7% van de gevallen. Het overgrote deel van de drukopnemermetingen heeft dus een goede tot redelijke kwaliteit.

Opvallend is dat er soms toch wel forse verschillen kunnen optreden, tot zelfs vele meters. Dit verdient nader onderzoek.

Van de 574 meetreeksen met gepaarde waarden zijn er 315 reeksen waarbij het maximale absolute verschil van de gepaarde waarden hooguit 4 cm bedraagt. En er zijn 259 reeksen waar de maximale absolute afwijking meer dan 4 cm bedraagt.

Van de 562 meetreeksen met semigepaarde waarden zijn er 280 reeksen waarbij het maximale absolute verschil van de semigepaarde waarden hooguit 4 cm bedraagt. En er zijn 282 reeksen waar de maximale absolute afwijking meer dan 4 cm bedraagt.

Tenslotte is op alle verschilreeksen trendanalyse toegepast, met ons programma *Trendanalist* [Baggelaar en Van der Meulen, 2012], dat voor elke reeks de trendtoets hanteert die het best aansluit op de reekskarakteristieken (zie ook bijlage 1). Daarbij is elke reeks tweezijdig getoetst op trend, met een betrouwbaarheid van 95%.

Er bleken 397 verschilreeksen van gepaarde waarden voldoende informatie te bevatten voor de trendanalyse. Daarvan vertoonden 45 een statistisch significante trend, wat neerkomt op 10,2% van het geanalyseerde aantal reeksen. Als geen van de reeksen een trend vertoont, dan zal er bij toetsen met 95% betrouwbaarheid in 5% van de gevallen toch nog onterecht een statistisch significante trend worden gedetecteerd (dit noemt met het toetsrisico van de 1<sup>e</sup> soort). Hier is echter in tweemaal zoveel gevallen een statistisch significante trend gedetecteerd. Uit de binomiale kansverdeling volgt dat er bij het uitvoeren van 397 toetsen een kans is van slechts 0,001% op een dergelijk percentage trenddetecties, onder de nulhypothese dat geen van de reeksen een trend vertoont. Die nulhypothese moet daarom worden verworpen. Blijkbaar is er in meerdere reeksen sprake van een structurele trend in het verschil van de gepaarde waarden. Dit kan bijvoorbeeld wijzen op drift.

Er bleken 419 verschilreeksen van semigepaarde waarden voldoende informatie te bevatten voor de trendanalyse. Daarvan vertoonden 31 een statistisch significante trend, wat neerkomt op 7,4% van het geanalyseerde aantal reeksen. Er is een kans van slechts 2,1% op een dergelijk percentage trenddetecties bij het uitvoeren van 419 toetsen, onder de nulhypothese dat geen van de reeksen een trend vertoont. Ook op basis van trendanalyse van de verschilreeksen van de semigepaarde waarden moet die nulhypothese dus worden verworpen.

### 3.6 Concluderend oordeel over grondwaterstandsgegevens

De peilbuizen van het PMG vertonen een goede ruimtelijke spreiding over de provincie Overijssel en bevatten ook veel peilfilters in de drie onderscheiden watervoerende pakketten. Maar volgens opgave van de Provincie bevinden 68 peilfilters zich in slecht doorlatende lagen, wat ongebruikelijk zou zijn. Dit verdient nog een nadere controle.

Bij de inrichting van het meetnet is nergens expliciet vermeld of verdisconteerd dat het meetnet ook bruikbare informatie moet kunnen leveren over langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte. Dit betekent dat daar ook geen specifieke beheersprocedures of kwaliteitsborgingsprocedures op zijn afgestemd en dat er dus aanmerkelijke risico's zullen zijn op ongedocumenteerde trendbreuken in reeksen, zoals door het horizontaal of verticaal verplaatsen van het peilfilter, of door het niet of verkeerd verdisconteren van een wijziging van de meetpuntshoogte.

Bij een visuele beoordeling van de meetreeksen op verdachte, of foute meetwaarden bleken er dan ook meerdere aanwijzingen voor dergelijke trendbreuken. Er bleken 74 reeksen dermate discutabel, dat ze ongeschikt zijn te achten voor een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte. Daarvan zijn er 64 reeksen waar de discrepanties hoogstwaarschijnlijk zijn veroorzaakt door wijzigingen van positie, filterstelling en/of meetpuntshoogte en twee reeksen waar sprake is van filterverwisseling. Bij de andere 8 reeksen zijn de discrepanties veroorzaakt door het plaatsen en/of het functioneren van een automatische drukopnemer. Uit de beoordeling concluderen we dat het in principe is af te raden om meetreeksen van landbouwbuizen te gebruiken bij een studie naar langetermijn-ontwikkelingen van de grondwaterstand. Maar ook de meetreeksen uit peilbuizen van het PMG zijn niet zondermeer geschikt te achten voor studies naar lange-termijnontwikkelingen van de grondwaterstand/stijghoogte, aangezien het aannemelijk is dat er fouten zijn gemaakt bij het verwerken van administratieve wijzigingen van metadata.

Tenslotte zijn er nog de volgende dataproblemen gevonden: gecensureerde meetwaarden (47 waarden gelijk aan de onderkant van het filter, in 14 reeksen en 3.203 waarden gelijk aan de

meetpuntshoogte, in 79 reeksen), 1.482 gevallen (in 12 reeksen) waarbij een meetwaarde van een bepaald tijdstip tweemaal voorkomt en 1.078 gevallen (in 68 reeksen) waarbij meetwaarden van hetzelfde tijdstip verschillen.

Het aantal geschikte reeksen voor het bepalen van achtergrondverlaging loopt sterk terug, naarmate het startjaar verder terug wordt gekozen. Als dan ook nog het criterium wordt gehanteerd dat de peilbuis minstens 5 km van een drinkwaterwinning moet liggen, worden die aantallen zelfs nog gehalveerd. Dit houdt in dat er slechts zeer weinig reeksen geschikt zijn om een beeld van de achtergrondverlaging vanaf 1953 of 1965 te schetsen. Voor een analyse vanaf het startjaar 1980 is er daarentegen wel een redelijk te achten aantal reeksen geschikt.

Vitens hanteert nog geen procedure voor kwaliteitsborging van de drukopnemermetingen, zodat de kwaliteit van de hoogfrequente metingen van 205 van de peilfilters van het PMG niet kan worden beoordeeld en deze reeksen vooralsnog onbetrouwbaar moeten worden geacht. De procedure die de Provincie hanteert is zeer gedegen. Alleen de frequentie van handmatige controlemetingen (eens per half jaar) is wellicht wat laag, aangezien er dan bij uitval tot een half jaar meetwaarden kan ontbreken.

## 4 Beoordelen gegevens grondwateronttrekkingen

De te beantwoorden vraag luidt:

- In welke mate zijn de beschikbare gegevens over grondwateronttrekkingen voor de openbare drinkwatervoorziening geschikt om deze onttrekkingen te hanteren als invoerreeksen bij tijdreeksmodellering van de grondwaterstandsreeksen van de Provincie Overijssel? En welke verbeteringen zijn eventueel nodig om dergelijke modelleringen mogelijk te maken?

In § 2.3 stelden we dat het af te raden is om bij het empirisch bepalen van achtergrondverlaging middels tijdreeksmodellering te corrigeren voor de invloed van grondwaterwinning. Er ontstaat dan namelijk een groot risico dat de achtergrondverlaging onterecht wordt toegeschreven aan de grondwaterwinning en daardoor uit beeld verdwijnt. Het is dus beter de achtergrondverlaging te bepalen aan de hand van peilbuizen buiten invloedsstralen van de grotere grondwaterwinningen, zodat er geen correctie middels tijdreeksmodellering nodig is. Daarom beschouwen we in dit hoofdstuk niet alleen de beschikbaarheid van meetreeksen van grondwaterwinningen (§ 4.1), maar geven ook aan welke gegevens er nodig zijn over de invloedsstralen van deze winningen (§ 4.2).

### 4.1 Beschikbaarheid grondwaterwinningsreeksen

We beschouwen hier de grondwaterwinningsreeksen zoals beschikbaar bij Vitens en bij de Provincie Overijssel.

#### 4.1.1 Grondwaterwinningsreeksen beschikbaar bij Vitens

Vitens beschikt over allerlei cijfers over hun grondwaterwinningen in Overijssel, zij het dat de volledigheid daarvan afneemt als het aggregatieniveau toeneemt. De volledigheid neemt doorgaans ook af naarmate verder wordt teruggegaan in de tijd. In 2002 is een exercitie uitgevoerd om alle winningsdata vanaf 1974 zo goed mogelijk te aggregeren tot weekdata en deze vervolgens op te slaan in de database Dawaco [Vitens, 2002]. Tabel 4.1 toont per combinatie van winning en jaar over de periode 1974 t/m 2002 welk soort winningsgegevens beschikbaar zijn. De reeksen zijn daarna nog in Dawaco bijgehouden tot en met 2006.<sup>7</sup>

Inmiddels is bij Vitens een traject ingezet om de kwaliteit van hydrologische data op te waarderen en de hydrologische informatie ook beter te ontsluiten. Dit betreft ondermeer de grondwaterstandsmetingen en de winningsgegevens. Het is de bedoeling alle hydrologische data onder te brengen in de momenteel in aanbouw zijnde Geohydrologische Monitoringdatabase (GMD), die Dawaco bij Vitens gaat vervangen. De winningsreeksen wil men daarbij opslaan op dagniveau, uitgesplitst naar de pompputten. Ook wil men alle reeksen aanvullen vanaf de start van de betreffende winning. Er zal eerst een pilot worden uitgewerkt voor de winningen Nijverdal en Holten, alvorens alle winningen zullen worden meegenomen. Dit traject zal mogelijk pas ergens in de tweede helft van 2014 zijn afgerond.

---

<sup>7</sup> Persoonlijke mededeling in e-mail van Jan Hoogendoorn (hydroloog van Vitens), 12 oktober 2013.

Tabel 4.1: Beschikbaarheid van winningsdata van Vitens in Dawaco, per combinatie van winning en jaar over de periode 1974 t/m 2002. Overgenomen uit [Vitens, 2002].

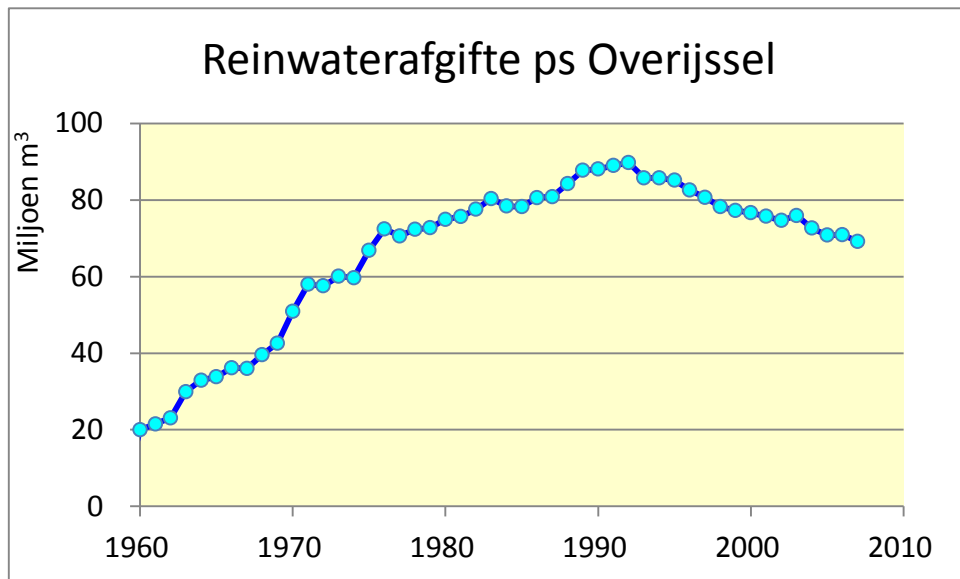
| nr. | pompstation           | Jaartal |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----|-----------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|     |                       | 74      | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 |
| 1   | Archemerberg          |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2   | Boerhaar              |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3   | Brucht                |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4   | Ceintuurbaan          |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5   | Denekamp              |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6   | Deventer Zuthpenseweg |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7   | Diepenveen            |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8   | Engelse werk          |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9   | Enschede Centrum      |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10  | Espelo                |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11  | Goor                  |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12  | Hammerflir            |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13  | Hasselo               |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14  | Havelterberg          |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15  | Hengelo               |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16  | Herikerberg           |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17  | Hoge Hexel            |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18  | Holten                |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19  | Losser                |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20  | Manderveen            |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21  | Nijverdal             |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 22  | Oldenzaal             |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 23  | Rodenmors             |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 24  | St jansklooster       |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 25  | Staphorst             |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 26  | Vasserheide           |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 27  | Weerselo              |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 28  | Weerseloseweg         |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 29  | Wierden               |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30  | Witharen              |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

|  |                                                     |
|--|-----------------------------------------------------|
|  | Geen data beschikbaar, of pompstation onttrekt niet |
|  | Analoge weekrapporten (gedigitaliseerd)             |
|  | Digitale weekrapporten van de M schijf              |
|  | Reinwatergegevens dagbasis (van M schijf)           |
|  | Reinwatergegevens maandbasis (van M schijf)         |
|  | Berekening vindt nog plaats in digitaal weekrapport |

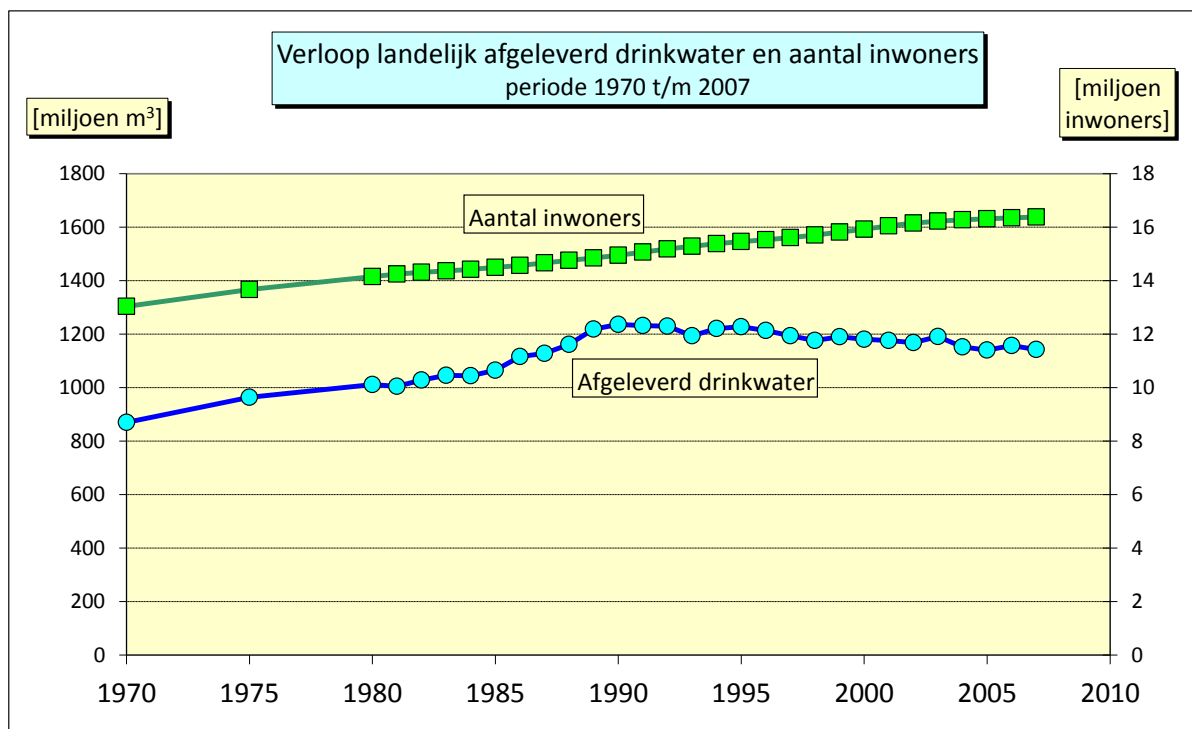
Vitens heeft ons een Excelbestand beschikbaar gesteld dat voor elk van de Overijsselse Vitenswinningen de reinwaterafgifte per jaar t/m 2007 vermeldt. Voor de winning Oldenzaal starten deze gegevens in 1940, maar voor de meeste andere oude winningen starten ze pas in 1960 of later, zodat er nog grote hiaten in die reeksen aanwezig zijn.

Figuur 4.1 toont het verloop van de jaarlijkse reinwaterafgifte van 1960 t/m 2007, zoals afgeleid uit dit Excelbestand. Het verloop van de reinwaterafgifte vertoont overeenkomsten met dat van het totale drinkwatergebruik in Nederland (zie figuur 4.2), met een trendbreuk in begin jaren negentig, na een lange periode van toename. De trendbreuk komt vooral door het intreden van verzadiging van het drinkwatergebruik, aangevuld met de effecten van technische waterbesparing, die vooral begin jaren negentig is ingezet. De daling in Overijssel is echter dramatischer dan op landelijk niveau. In principe moet de afname van de grondwaterwinning vanaf begin jaren negentig in bepaalde gebieden tot een verhoging van de winningscomponent van de grondwaterstand/stijghoogte hebben geleid.

Figuur 4.1: Verloop van de jaarlijkse reinwaterafgifte door de pompstations van Vitens in Overijssel, over de periode 1960 t/m 2007.



Figuur 4.2: Verloop van het jaarlijks landelijk afgeleverde drinkwater en van het aantal inwoners, over de periode 1970 t/m 2007 [Baggelaar en Geudens, 2008].



We gaan er van uit dat bij Vitens ook de relevante metadata van de winningen beschikbaar zijn, zoals coördinaten, capaciteiten en filterstellingen van de pompputten, watervoerend pakket of pakketten waaruit wordt onttrokken en geohydrologische opbouw van de ondergrond.

Als een winning pompfilters heeft in verschillende watervoerende pakketten is het overigens nodig dat de onttrekkingscijfers ook zijn uitgesplitst naar die pakketten.

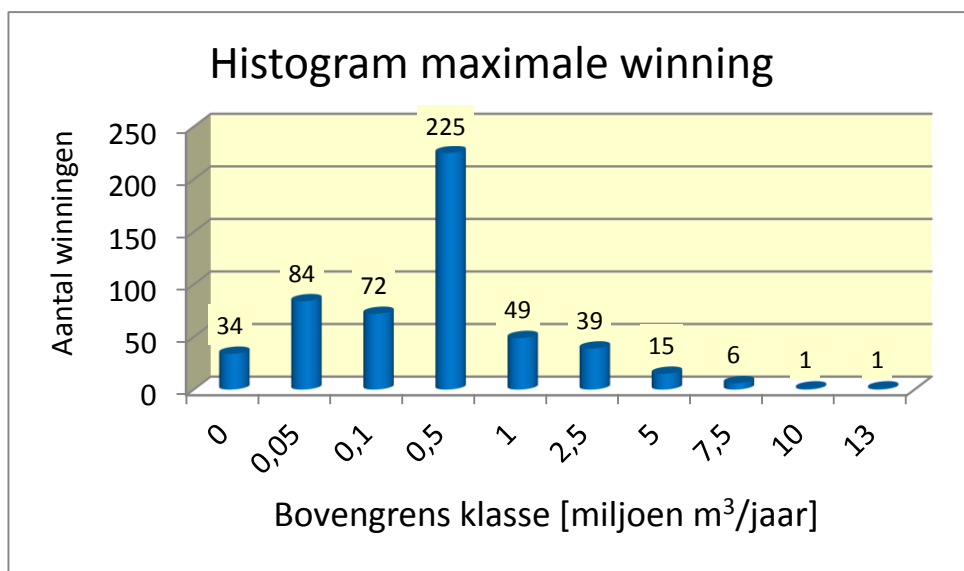
#### 4.1.2 Grondwaterwinningsreeksen beschikbaar bij de Provincie Overijssel

in het kader van de vergunningverlening voor grondwateronttrekking beheert de Provincie Overijssel een database van alle vergunde en geregistreerde onttrekkingen, het Landelijk Grondwater Register (LGR). De oudste reeksen starten in 1969, maar de oudste reeksen van Vitenswinningen starten pas in 1976 of 1977.

We ontvingen van de Provincie een XML-bestand met een dump van de gegevens in deze database.<sup>8</sup> Dit bestand vermeldt per onttrekking de metadata, zoals naam vergunninghouder, adres, omschrijving onttrekking, doel onttrekking, X- en Y-coördinaten, filterstelling, watervoerend pakket, etc. Verder bevat het per onttrekking de winningscijfers op maand-, kwartaal- en jaarbasis, zij het dat tot begin jaren tachtig alleen jaaronttrekkingen zijn geregistreerd.

Het bestand bevat gegevens van 545 onttrekkingen, maar na handmatige correcties voor inconsistente schrijfwijzen blijken dit er 526 te zijn. Figuur 4.3 toont het histogram van de maximale jaarlijkse winning van deze onttrekkingen. De meeste onttrekkingen zijn relatief gering van omvang, met een maximale winning van minder dan 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Dit betreft 415 onttrekkingen, oftewel 79% van het totaal van 526. Er zijn 62 onttrekkingen met een winning groter dan 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, 23 met een winning groter dan 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar en 8 met een winning groter dan 5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De grootste is die van pompstation Engelse Werk, een oevergrondwaterwinning van Vitens langs de IJssel, die maximaal 12,7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar onttrok.

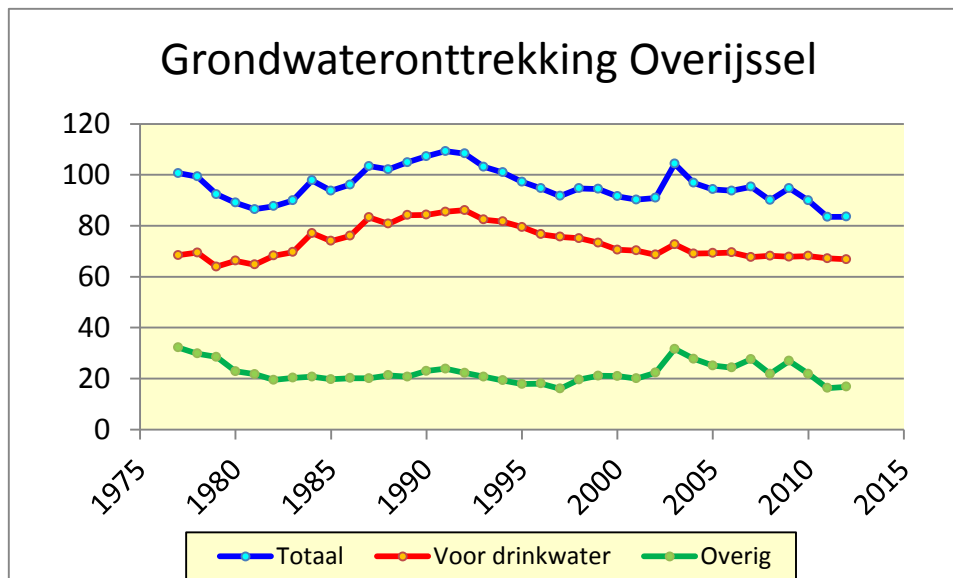
*Figuur 4.3: Histogram van de maximale jaarlijkse winning van de 526 in het ontvangen Provinciale databestand vermelde onttrekkingen. Een klasse loopt van de bovengrens van de voorgaande klasse t/m de bovengrens van de betreffende klasse.*



En figuur 4.4 toont het verloop van de totale onttrekking van de bij de Provincie geregistreerde grondwateronttrekkingen in Overijssel, van 1977 t/m 2012, tevens uitgesplitst naar onttrekkingen voor drinkwatervoorziening en overige onttrekkingen.

<sup>8</sup> Bestand ontvangen van Thomas de Meij, op 11 november 2013.

*Figuur 4.4: Verloop van de totale onttrekking van de bij de Provincie geregistreerde grondwater-onttrekkingen in Overijssel, van 1977 t/m 2012, tevens uitgesplitst naar onttrekkingen voor drinkwatervoorziening en overige onttrekkingen.*

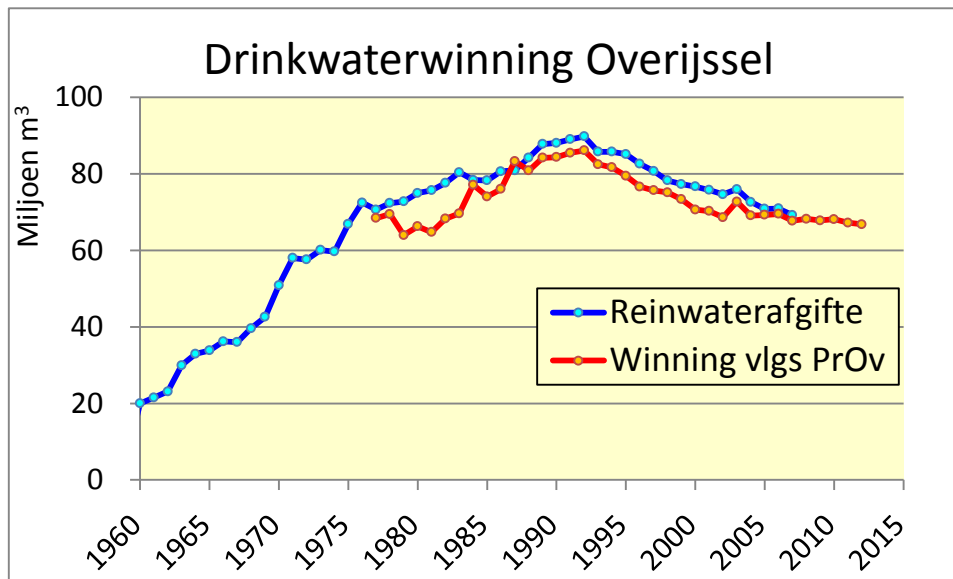


De totale jaarlijkse onttrekking varieerde in de periode 1977 t/m 2012 tussen 84 en 109 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Aangezien de onttrekking voor drinkwatervoorziening steeds tussen de 70% en 80% bedroeg van de totale onttrekking, wordt het patroon van de totale onttrekking sterk bepaald door dat van de onttrekking voor drinkwatervoorziening, met een daling vanaf het begin van de jaren negentig. De overige onttrekkingen bedroegen vanaf 1977 tussen 16 en 32 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

De gegevens in de database zijn overigens niet per definitie betrouwbaar. Zo constateerden wij dat meerdere onttrekkingsgegevens dubbel voorkwamen, terwijl er andere ontbraken. Ook de coördinaten van winningen zijn niet altijd precies.

Ter vergelijking is in figuur 4.5 zowel het verloop weergegeven van de reinwaterafgifte van Vitens (bron: Vitens), als van de onttrekking voor drinkwaterwinning (bron: Provincie Overijssel). Het blijkt dat de reinwaterafgifte steeds hoger is dan de onttrokken hoeveelheid, maar de patronen van de twee reeksen zijn vergelijkbaar.

Figuur 4.5: Verloop van de reinwaterafgifte van Vitens van 1960 t/m 2007 (bron: Vitens) en van de geregistreerde onttrekking voor drinkwater van 1977 t/m 2012 (bron: Provincie Overijssel).



## 4.2 Benodigde gegevens invloedsgebieden grondwaterwinningen

Om voor het bepalen van achtergrondverlaging te kunnen vaststellen welke peilfilters onbeïnvloed kunnen worden geacht door grondwaterwinningen, zijn de invloedsgebieden nodig van de grondwaterwinningen in de Provincie Overijssel, met onderscheid naar de watervoerende pakketten. Deze gegevens kunnen bijvoorbeeld worden afgeleid met grootschalige grondwatermodellen.

## 4.3 Concluderend oordeel over data grondwateronttrekkingen

Gegevens over de grondwateronttrekkingen in Overijssel zijn beschikbaar bij de Provincie en ten dele ook bij Vitens (de grondwateronttrekkingen voor de drinkwatervoorziening).

De Provincie beheert een database van alle vergunde en geregistreerde onttrekkingen, waarvan de oudste reeksen starten in 1969. De database bevat per onttrekking de winningscijfers op maand-, kwartaal- en jaarbasis, zij het dat tot begin jaren tachtig alleen jaaronttrekkingen zijn geregistreerd. Dit betekent dat de eventueel voor tijdreeksanalyses geschikte winningsreeksen in deze database pas begin jaren tachtig starten.

De winningscijfers die Vitens beschikbaar heeft, zijn nog onvolledig op hogere aggregatieniveaus (zoals op week-, of maandbasis). Er is inmiddels wel een traject ingezet om ze volledig te krijgen. Dit zal vermoedelijk ergens in 2014 beslag krijgen.

Het is ons inziens af te raden om bij het empirisch bepalen van achtergrondverlaging middels tijdreeksmodellering te corrigeren voor de invloed van grondwaterwinning, aangezien er een groot risico is dat de achtergrondverlaging dan onterecht wordt toegeschreven aan de grondwaterwinning en daardoor uit beeld verdwijnt. Het is beter de achtergrondverlaging te bepalen aan de hand van peilbuizen buiten invloedsstralen van de grotere grondwaterwinningen, zodat er geen correctie middels tijdreeksmodellering nodig is. Er zijn dus gegevens nodig over de invloedsgebieden van de grondwaterwinningen in de Provincie Overijssel, met onderscheid naar de watervoerende pakketten. Deze gegevens kunnen bijvoorbeeld worden afgeleid met grootschalige grondwatermodellen.

## 5 Mogelijkheden ruimtelijke presentatie

De te beantwoorden vraag luidt:

- In welke mate stelt de ruimtelijke opbouw van het provinciale grondwatermeetnet in staat om, na het bepalen van de achtergrondverlaging per peilfilter, tot een statistisch verantwoord ruimtelijk beeld van die achtergrondverlaging te komen? En hoe moet dat ruimtelijke beeld worden afgeleid?

In dit hoofdstuk geven wij praktische invulling aan het beantwoorden van deze vraag door een eerste verkenning van de achtergrondverlaging uit te voeren en vervolgens de resultaten daarvan op verschillende wijzen te presenteren.

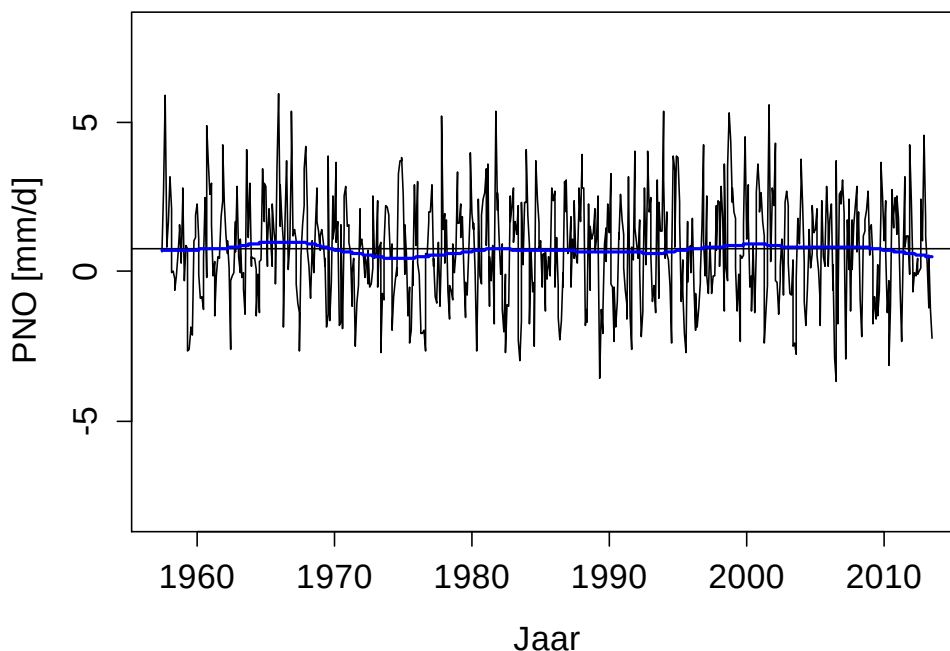
### 5.1 Eerste verkenning achtergrondverlaging

Om een eerste indruk te kunnen krijgen van de achtergrondverlaging in Overijssel, is op hoofdlijnen de stapsgewijze aanpak gevolgd die is aanbevolen in § 2.2.3, uitgaande van de meetreeksen van de grondwaterstand/stijghoogte van het PMG.

Om de meetreeksen te kunnen corrigeren voor de meteorologische invloed is een langjarige reeks van het potentieel neerslagoverschot samengesteld. Daartoe is uitgegaan van de neerslag en de Makkink-verdamping te De Bilt, waar metingen op dagbasis van beschikbaar zijn (verkregen via de website van het KNMI). Daaruit konden wij het verloop van het maandgemiddeld PNO afleiden van juli 1957 t/m juli 2013 (zie figuur 5.1).

Figuur 5.1: Verloop maandgemiddeld potentieel neerslagoverschot, berekend uit dagcijfers van de neerslag en verdamping te De Bilt van juli 1957 t/m juli 2013 (deze dagcijfers zijn afkomstig van de website van het KNMI). De horizontale zwarte lijn is het gemiddelde (0,76 mm/d) en de blauwe lijn is de LOWESS-lijn (hier met gladheidsfactor 0,2, zie ook het tekstkader).

### Maandgemiddeld PNO te De Bilt



#### Toelichting op de LOWESS-lijn

De LOWESS-lijn beschrijft een lokaal gemiddelde van de meetwaarden, op basis van lokale gewogen regressie [Cleveland, 1979]. LOWESS staat voor LOcally WEighted Scatterplot Smoothing. Het is een zeer flexibele en bruikbare manier om de langetermijn-veranderingen van een tijdreeks te tonen. Op iteratieve wijze wordt voor elk tijdstip de bijbehorende waarde van de LOWESS-lijn geschat met gewogen regressie, waarbij de gewichten zowel een functie zijn van de afstand tot het betreffende tijdstip, als van het modelresidu van de vorige modeliteratie. De gladheidsfactor  $f$  bepaalt het venster dat aan weerskanten van elk tijdstip bij de modellering wordt betrokken en bepaalt daarmee mede de gladheid van de resulterende lijn.

Let wel op dat de LOWESS-lijn nog louter beschrijvend is. Er kunnen dus geen uitspraken over statistisch significante trends mee worden gedaan. Daarvoor moeten trendtoetsen worden gebruikt.

Voor vijf oplopende startpunten is de betreffende deelreeks van het potentieel neerslagoverschot statistisch getoetst op trend, met het programma *Trendanalist* [Baggelaar en Van der Meulen, 2012]. Voor elke deelreeks bleek de verdelingsvrije seizoenale Mann-Kendalltoets het meest geschikt, volgens de selectieprocedure van *Trendanalist* (zie de toelichting in bijlage 1). Er is tweezijdig getoetst met 95% betrouwbaarheid. Maar voor geen van de deelreeksen is een statistisch significante trend gedetecteerd (zie tabel 5.1).

*Tabel 5.1: Resultaten van de trendanalyses van het potentieel neerslagoverschot over vijf perioden. Per deelreeks is vermeld startdatum, einddatum, lengte, gemiddelde PNO, geschatte lineaire jaartrend en het al of niet statistisch significant zijn van de geschatte trend (bij tweezijdig toetsen met een betrouwbaarheid van 95%).*

| Start    | Eind     | Lengte<br>[jaar] | Gemidd<br>[mm/d] | Trend<br>[(mm/d)/jr] | Statistisch<br>significant |
|----------|----------|------------------|------------------|----------------------|----------------------------|
| jan 1958 | dec 2012 | 55               | 0,756            | 0,0001               | Nee                        |
| jan 1965 | dec 2012 | 48               | 0,765            | -0,0006              | Nee                        |
| jan 1970 | dec 2012 | 43               | 0,717            | 0,0064               | Nee                        |
| jan 1975 | dec 2012 | 38               | 0,726            | 0,0071               | Nee                        |
| jan 1980 | dec 2012 | 33               | 0,769            | 0,0024               | Nee                        |

Er is weliswaar over geen van de vijf perioden een statistisch significante trend van het potentieel neerslagoverschot gedetecteerd, maar dat hoeft nog niet te impliceren dat er ook over geen van deze perioden een verandering is opgetreden. De fluctuatie van het neerslagoverschot is immers groot (zie figuur 5.1), zodat alleen grotere veranderingen statistisch significant kunnen worden gedetecteerd. Maar voor deze eerste - globale - verkenning van de achtergrondverlaging gaan we er vooralsnog van uit dat voor geen van deze perioden correcties van de grondwaterstands-/stijghoogtereeksen nodig zijn. Dit impliceert dat we dan met trendanalyse van de ongecorrigeerde grondwaterstands-/stijghoogtereeksen al een globaal beeld kunnen schetsen van de achtergrondverlaging.

De trendanalyse is uitgevoerd met *Trendanalist* op elk van de 650 deelreeksen van de grondwaterstand/stijghoogte die daarvoor geschikt zijn vanaf minstens één van de startpunten 1953, 1965, 1970, 1975 en 1980 (zie § 3.4.6). Het bleek dat in 64% van de gevallen een toets gebaseerd op lineaire regressie het meest geschikt was (in 81% van die gevallen was dat de lineaire regressietoets met correctie voor seizoenaliteit en autocorrelatie). In de overige 36% van de gevallen bleek een verdelingsvrije toets van de Mann-Kendall-groep het meest geschikt (in 76% van die gevallen was dat de Mann-Kendalltoets met correctie voor seizoenaliteit en autocorrelatie). De resultaten van deze trendanalyses zijn vermeld in tabel 5.2, met onderscheid naar het startjaar van de analyse. Tevens zijn daarbij de resultaten voor de middeldiepe filters (tussen 10 en 60 meter onder maaiveld) apart vermeld.

Tabel 5.2: Trendanalyseresultaten van meetreeksen van de grondwaterstand / stijghoogte, met onderscheid naar het startjaar van de trendanalyse. De bovenste deeltabel geeft de resultaten van alle geschikte reeksen, terwijl de onderste deeltabel alleen de resultaten geeft van de geschikte reeksen gemeten in peilfilters tussen 10 en 60 meter onder maaiveld. Als het gemiddelde statistisch significant is (met 95% betrouwbaarheid) is dat vetgedrukt en is de cel blauw.

| Startjaar        | Reeksen | Gemidd     | Mediaan | Standafw | Minimum | Maximum |
|------------------|---------|------------|---------|----------|---------|---------|
| Verandering [cm] |         |            |         |          |         |         |
| 1953             | 24      | <b>-26</b> | -25     | 16       | -60     | 10      |
| 1965             | 35      | <b>-12</b> | -11     | 17       | -53     | 41      |
| 1970             | 80      | <b>1</b>   | 2       | 27       | -114    | 83      |
| 1975             | 195     | <b>1</b>   | -1      | 23       | -88     | 114     |
| 1980             | 315     | <b>-6</b>  | -7      | 22       | -71     | 127     |

| Filter tussen 10 en 60 m onder maaiveld |         |            |         |          |         |         |
|-----------------------------------------|---------|------------|---------|----------|---------|---------|
| Startjaar                               | Reeksen | Gemidd     | Mediaan | Standafw | Minimum | Maximum |
| Verandering [cm]                        |         |            |         |          |         |         |
| 1953                                    | 7       | <b>-28</b> | -33     | 20       | -52     | 10      |
| 1965                                    | 12      | <b>-14</b> | -21     | 22       | -39     | 41      |
| 1970                                    | 26      | <b>3</b>   | 0       | 25       | -30     | 83      |
| 1975                                    | 77      | <b>2</b>   | -1      | 24       | -36     | 114     |
| 1980                                    | 114     | <b>-6</b>  | -7      | 22       | -71     | 124     |

Uit tabel 5.2 blijkt dat voor elk van de startjaren 1953, 1965 en 1980 bij het meenemen van alle resultaten de gemiddelde verandering statistisch significant is, terwijl dit met de resultaten van de middeldiepe stijghoogten alleen nog geldt voor de startjaren 1953 en 1980. Hier past echter wel de kanttekening dat er strikt genomen geen uitspraken over statistische significantie van het gemiddelde mogen worden gedaan, aangezien de betreffende peilbuislocaties niet via het verlotingsprincipe zijn verkregen (zie ook § 3.1).<sup>9</sup> Verder blijkt dat het aantal resultaten circa tweederde daalt als alleen middeldiepe stijghoogtereeksen worden beschouwd. Maar dit heeft nauwelijks invloed op de grootte van de geschatte gemiddelde verandering.

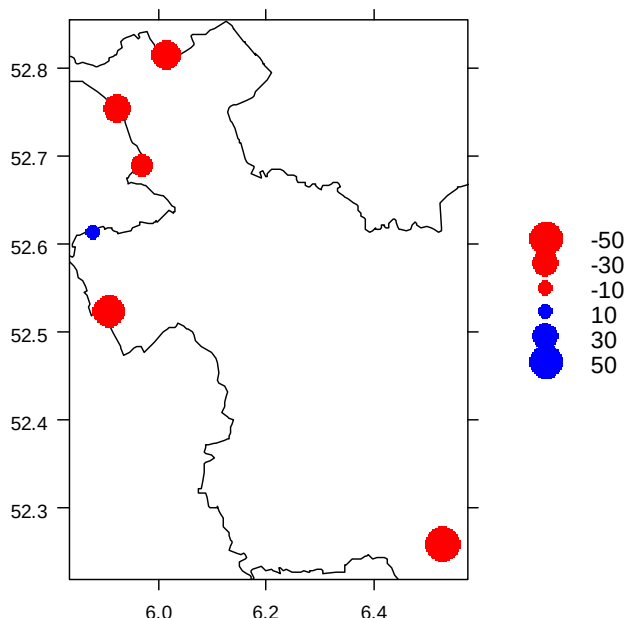
Tabel 5.2 geeft aan dat er voor de periode vanaf 1953 maar zeven stijghoogtereeksen gemeten in middeldiepe filters geschikt zijn voor trendanalyse. De resultaten van die analyse zijn in figuur 5.2 ruimtelijk weergegeven in een bubbelplot.<sup>10</sup> Zes van de zeven resultaten geven een daling aan (met als maximale daling 52 cm) en slechts één geeft een stijging aan (van 10 cm). De gemiddelde verandering over de periode vanaf 1953 bedraagt -28 cm.

<sup>9</sup> Daar komt nog bij dat er in bepaalde gevallen resultaten van twee peilfilters van dezelfde peilbuis waren. Deze kunnen sterk gecorreleerd zijn, waardoor het effectief aantal resultaten lager zal zijn dan het aantal resultaten. Dit zal het risico op een onterechte statistische significantie groter maken dan 5%.

<sup>10</sup> In een bubbelplot is de grootte van het plotsymbool gerelateerd aan de weer te geven waarde.

*Figuur 5.2: Ruimtelijke bubbelpplot van de resultaten van de trendanalyse van de zeven stijghoogtereeksen gemeten in middeldiepe peilfilters, die daarvoor vanaf 1953 geschikt zijn. Twee resultaten betreffen verschillende peilfilters van dezelfde peilbuis en aangezien ze dezelfde verlaging aangeven (21 cm) zijn ze getoond als één bubbel.*

**Verandering gws vanaf 1953 [cm] - filters 10 - 60 m onder mv**

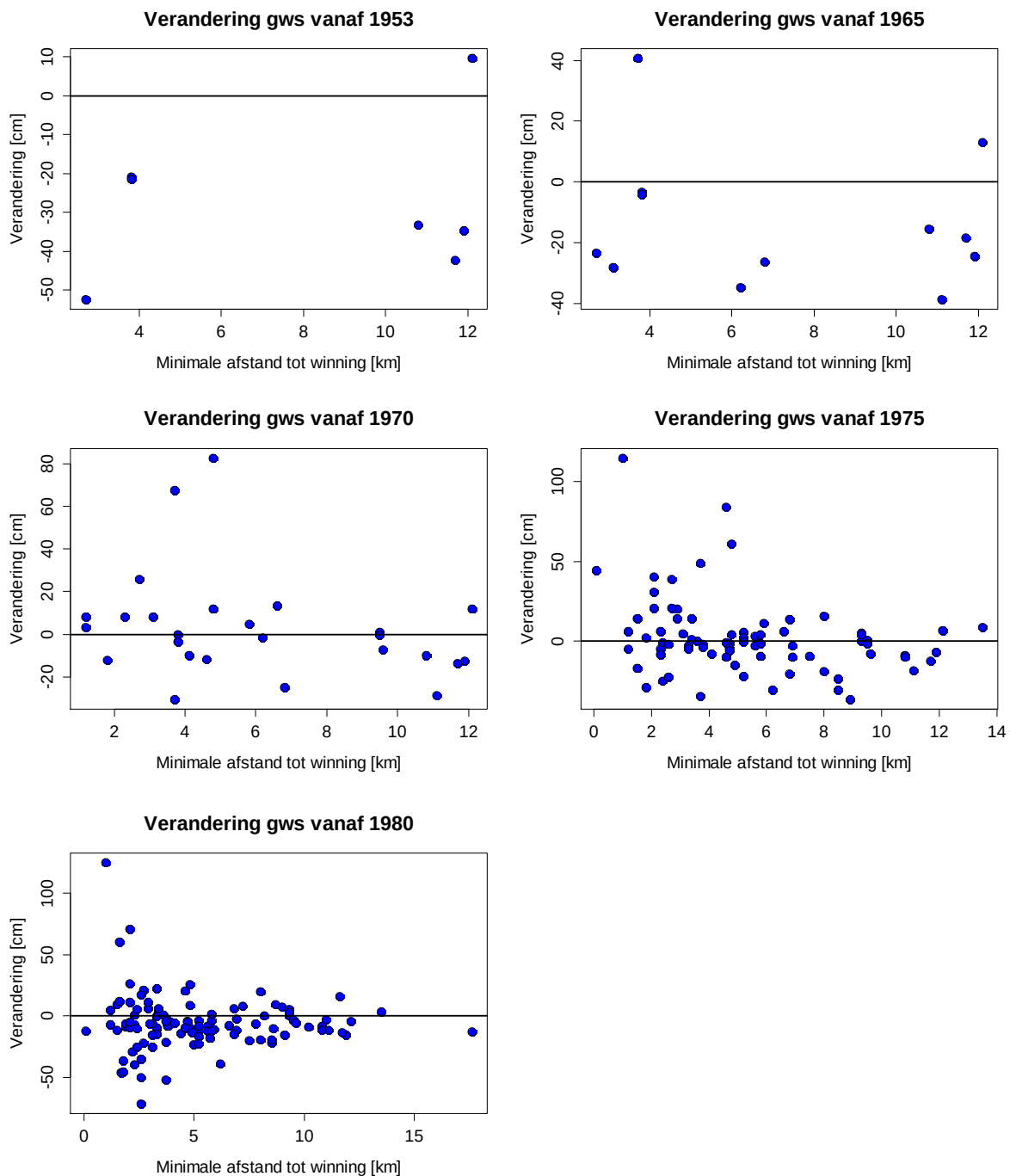


Om visueel te kunnen beoordelen in hoeverre de trendanalyseresultaten mogelijk beïnvloed zijn door naburige grondwaterwinningen, is in figuur 5.3 voor elk startjaar afzonderlijk de geschatte verandering van de middeldiepe stijghoogte uitgezet tegen de minimale afstand tot een grondwaterwinning van Vitens. Ook dit is uiteraard niet meer dan een globale controle, aangezien hierbij nog niet alle grondwaterwinningen zijn meegenomen en er ook nog geen onderscheid is gemaakt naar onttrekkingsgrootte en winpakket.

Uit figuur 5.3 komt voor geen van de startjaren een duidelijke relatie naar voren tussen de geschatte verandering van de middeldiepe stijghoogte en de minimale afstand tot een Vitens-winning. Wel valt op dat er voor de startjaren vanaf 1965 ook grote verhogingen zijn geschat binnen circa 5 km van Vitens-winningen. Mogelijk speelt daar mee dat winningen zijn gereduceerd of zelfs gestopt. Het voert echter te ver voor deze eerste verkenning om dat nog specifieker uit te zoeken.

Verder valt uit figuur 5.3 op dat voor het startjaar 1980 de grootste verlagingen optreden binnen circa 5 km afstand van een Vitens-winning.

*Figuur 5.3: Verandering van de middeldiepe grondwaterstand over de periode vanaf het startjaar, uitgezet tegen de minimale afstand tot een grondwaterwinning van Vitens. Het betreft alleen de peilfilters binnen 10 en 60 meter onder maaiveld.*



Volgens de in § 2.2.3 aanbevolen stapsgewijze aanpak, is een belangrijke stap bij het bepalen van het beeld van de achtergrondverlaging het alleen beschouwen van de resultaten van peilfilters gelegen buiten het invloedsgebied van de relevant geachte winningen. Aangezien het hier nog slechts een verkennende exercitie betreft, gaan we er als ruwe benadering van uit dat op afstanden van meer dan 5 km de invloed van Vitens-winningen niet relevant meer is. Tabel 5.3 toont de resultaten van trendanalyse van de middeldiepe stijghoogtereeksen gemeten in peilbuizen op minstens 5 km van een Vitens-winning, met onderscheid naar het startjaar van de trendanalyse.

Tabel 5.3: Trendanalyseresultaten van middeldiepe stijghoogtereeksen (peilfilter tussen 10 en 60 meter onder maaiveld) gemeten in peilbuizen op minstens 5 km van een Vitens-winning, met onderscheid naar het startjaar van de trendanalyse. In de onderste deeltabel zijn de resultaten ook nog uitgesplitst naar het geohydrologische pakket. Als het gemiddelde statistisch significant is (met 95% betrouwbaarheid) is dat vetgedrukt en is de cel blauw.

| Filter tussen 10 en 60 m onder maaiveld, afstand winning > 5 km |         |            |         |          |         |         |
|-----------------------------------------------------------------|---------|------------|---------|----------|---------|---------|
| Startjaar                                                       | Reeksen | Gemidd     | Mediaan | Standafw | Minimum | Maximum |
| Verandering [cm]                                                |         |            |         |          |         |         |
| 1953                                                            | 4       | <b>-25</b> | -34     | 23       | -42     | 10      |
| 1965                                                            | 7       | <b>-21</b> | -25     | 17       | -39     | 13      |
| 1970                                                            | 12      | <b>-6</b>  | -4      | 13       | -29     | 14      |
| 1975                                                            | 35      | <b>-6</b>  | -3      | 13       | -36     | 16      |
| 1980                                                            | 48      | <b>-7</b>  | -8      | 11       | -38     | 20      |

| Filter tussen 10 en 60 m onder maaiveld, afstand winning > 5 km |        |         |            |         |          |         |         |
|-----------------------------------------------------------------|--------|---------|------------|---------|----------|---------|---------|
| Startjaar                                                       | Pakket | Reeksen | Gemidd     | Mediaan | Standafw | Minimum | Maximum |
| Verandering [cm]                                                |        |         |            |         |          |         |         |
| 1953                                                            | WVP1a  | 1       | <b>-33</b> | -33     | .        | -33     | -33     |
|                                                                 | WVP1b  | 3       | <b>-22</b> | -35     | 28       | -42     | 10      |
| 1965                                                            | WVP1a  | 1       | <b>-16</b> | -16     | .        | -16     | -16     |
|                                                                 | WVP1b  | 4       | <b>-17</b> | -21     | 22       | -39     | 13      |
|                                                                 | WVP1c  | 2       | <b>-30</b> | -30     | 6        | -35     | -26     |
| 1970                                                            | WVP1a  | 1       | <b>-10</b> | -10     | .        | -10     | -10     |
|                                                                 | WVP1b  | 6       | <b>-8</b>  | -10     | 14       | -29     | 12      |
|                                                                 | SDL1b  | 1       | <b>-1</b>  | -1      | .        | -1      | -1      |
|                                                                 | WVP1c  | 4       | <b>-2</b>  | 1       | 16       | -25     | 14      |
| 1975                                                            | DKL    | 1       | <b>-30</b> | -30     | .        | -30     | -30     |
|                                                                 | WVP1a  | 2       | <b>-3</b>  | -3      | 9        | -9      | 3       |
|                                                                 | WVP1b  | 17      | <b>-3</b>  | -3      | 9        | -19     | 14      |
|                                                                 | SDL1b  | 3       | <b>5</b>   | -1      | 10       | -1      | 16      |
|                                                                 | WVP1c  | 9       | <b>-7</b>  | 2       | 17       | -36     | 11      |
|                                                                 | SDL1   | 1       | <b>-24</b> | -24     | .        | -24     | -24     |
| 1980                                                            | DKL    | 1       | <b>-22</b> | -22     | .        | -22     | -22     |
|                                                                 | WVP1a  | 2       | <b>-10</b> | -10     | 3        | -12     | -8      |
|                                                                 | WVP1b  | 28      | <b>-6</b>  | -6      | 9        | -20     | 16      |
|                                                                 | SDL1b  | 3       | <b>0</b>   | -3      | 18       | -17     | 20      |
|                                                                 | WVP1c  | 9       | <b>-10</b> | -11     | 13       | -38     | 9       |
|                                                                 | SDL1   | 1       | <b>-19</b> | -19     | .        | -19     | -19     |

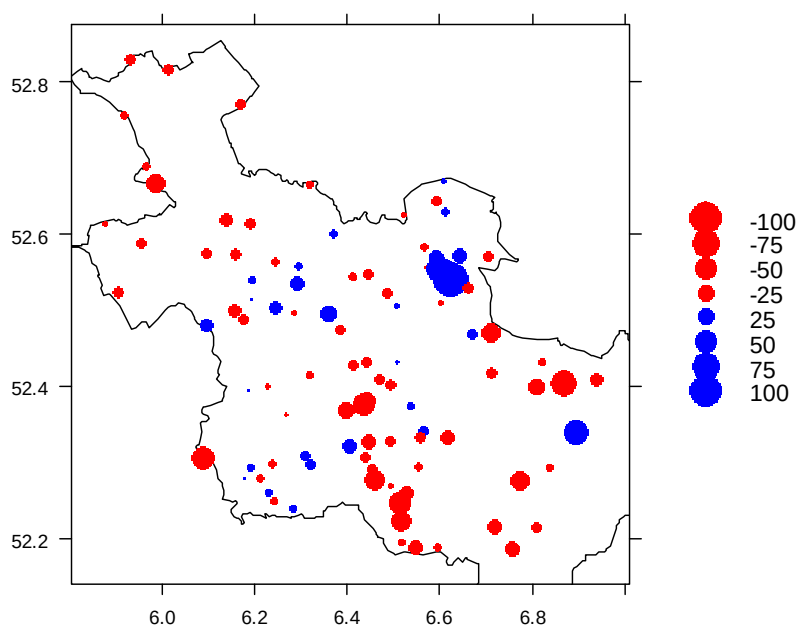
Uit een vergelijking van de tabellen 5.2 en 5.3 blijkt dat door het afstandscriterium nog eens circa de helft van de resultaten afvalt. Uit tabel 5.3 blijkt verder dat de middeldiepe filters zich vooral bevinden in WVP1b en WVP1c.

In het vervolg richten we ons op de resultaten voor startjaar 1980, aangezien die de grootste ruimtelijke dichtheid hebben. Er zijn 48 resultaten voor dat startjaar (van vier daarvan is het pakket onbekend). De gemiddelde verandering bedraagt -7 cm. Het minimum bedraagt -38 cm en het maximum 20 cm. De bubbelplots voor startjaar 1980 zijn weergegeven in figuur 5.4

(alle resultaten van middeldiepe filters) en figuur 5.5 (idem, maar alleen voor peilbuizen op meer dan 5 km afstand van een Vitens-winning).

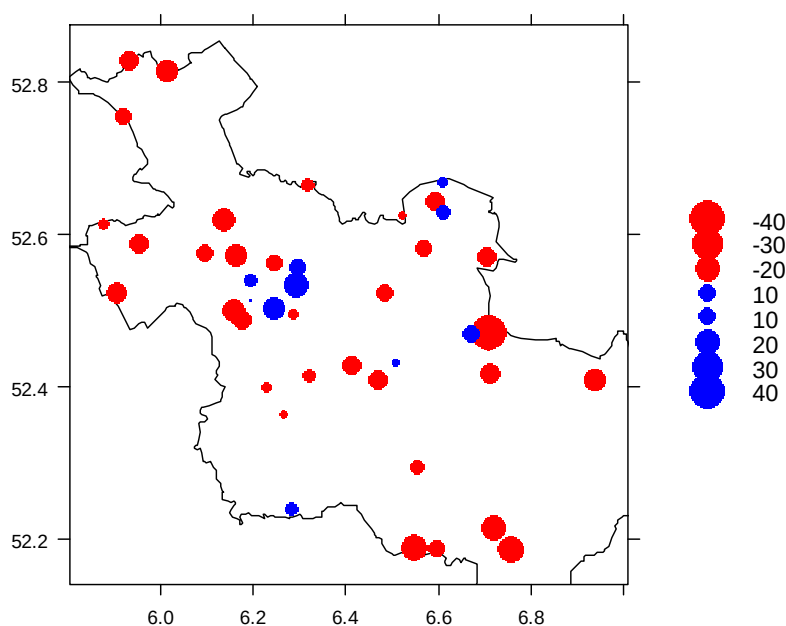
*Figuur 5.4: Ruimtelijke bubbelpplot van trendanalyseresultaten van stijghoogtereeksen gemeten in middeldiepe peilfilters, die daarvoor vanaf 1980 geschikt zijn. De veranderingen zijn aangegeven in cm verandering over de periode vanaf 1980 (afhankelijk van de reeks loopt deze minimaal t/m 2008 en maximaal t/m 2012).*

**Verandering gws vanaf 1980 [cm] - filters 10 - 60 m onder mv**



*Figuur 5.5: Als figuur 5.4, maar nu alleen de resultaten van de 48 reeksen gemeten in peilbuizen op minstens 5 km afstand van een Vitens-winning.*

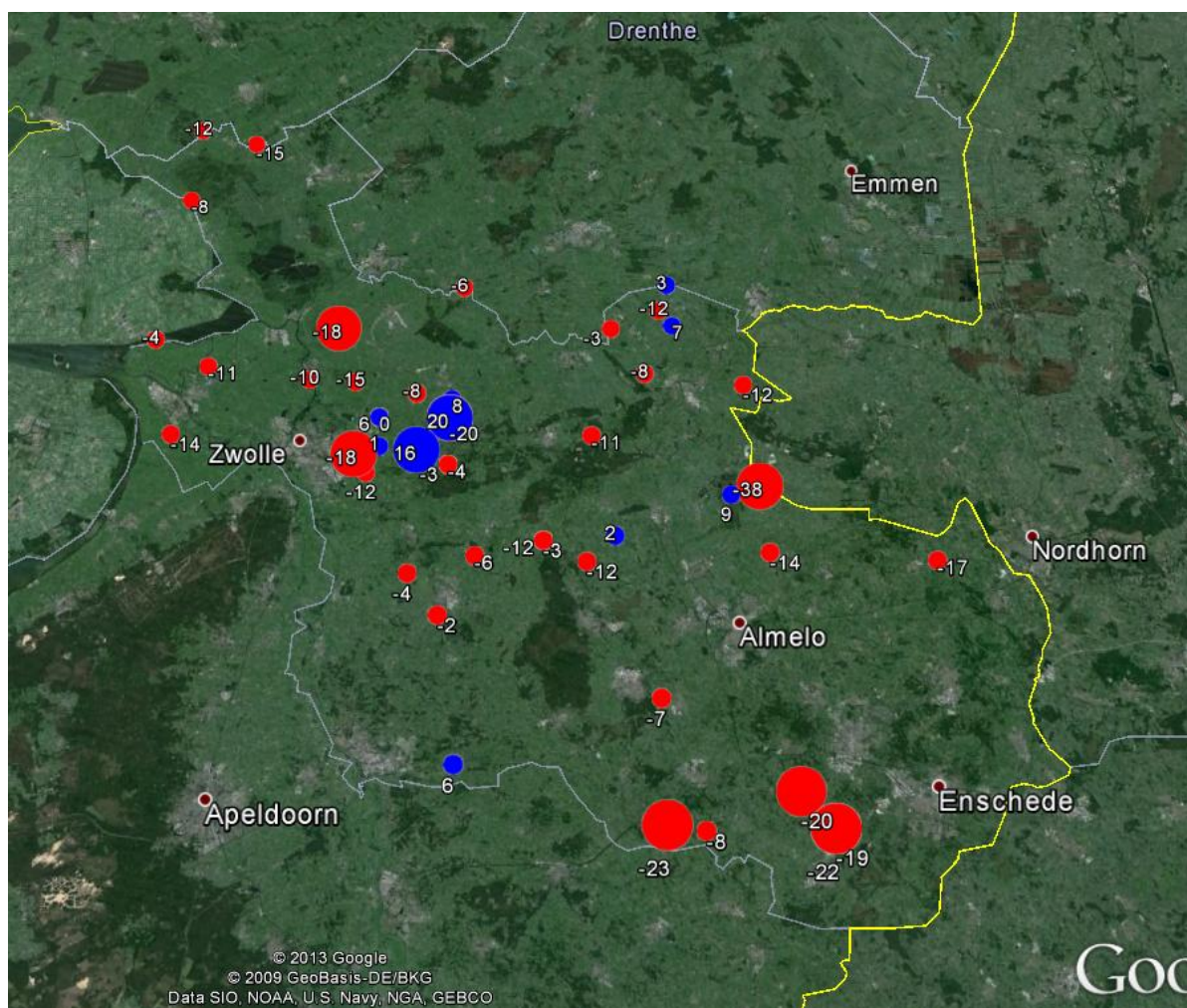
**Verandering gws vanaf 1980 [cm], filters 10 - 60 m onder mv, > 5km**



Als we de figuren 5.4 en 5.5 vergelijken, valt op dat de aanzienlijke verhogingen nabij Hardenberg verdwijnen als alleen resultaten van peilbuizen op meer dan 5 km afstand van een Vitens-winning worden meegenomen. Die verhogingen betreffen dan ook peilbuizen nabij de winning Brucht die in 2006 is gestopt. De maximale grondwateronttrekking aldaar bedroeg in de periode vanaf 1980 5,4 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

De bubbelplot kan ook via Google Earth worden gepresenteerd. Figuur 5.6 toont dit voor de resultaten van de 48 reeksen gemeten in peilbuizen op minstens 5 km afstand van een Vitens-winning. Een belangrijk voordeel van deze presentatievorm is dat kan worden ingezoomd op de directe omgeving van een peilbuis, bijvoorbeeld om te beoordelen of de lokale geohydrologische situatie een verklaring kan geven voor de geconstateerde langetermijn-ontwikkeling van de stijghoogte. Verder kan er voor worden gezorgd dat bij het aanklikken van een bubbel allerlei details worden getoond van het betreffende peilfilter (zoals filterstelling, geohydrologische pakket, etc.) en van de betreffende stijghoogtereeks (zoals tijdreeksplot, trendplot en details van de trendanalyseresultaten).

*Figuur 5.6: Bubbelplot in Google Earth van de trendanalyseresultaten voor startjaar 1980, van de 48 reeksen gemeten in peilbuizen op minstens 5 km afstand van een Vitens-winning. Geschatte verlagingen zijn rood gekleurd en geschatte verhogingen zijn blauw gekleurd. De veranderingen zijn aangegeven in cm verandering over de periode vanaf 1980 (afhankelijk van de reeks loopt deze minimaal t/m 2008 en maximaal t/m 2012).*



Het beeld zoals gepresenteerd in figuur 5.5 en in figuur 5.6 mogen we aanduiden als een eerste verkennende impressie van de achtergrondverlaging van de middeldiepe stijghoogte in de periode vanaf 1980. We zien dat er voor het grootste deel verlagingen zijn geschat die één à twee decimeter bedragen. Maar lokaal is er ook sprake van verhogingen die in dezelfde ordegrrootte liggen. De verhogingen tot circa 20 cm ten oosten van Zwolle betreffen een gebied rond Dalfsen.

Volgens de in § 2.2.3 aanbevolen stapsgewijze aanpak om achtergrondverlaging vast te stellen, zou nu als volgende stap moeten worden nagegaan of de geconstateerde trends te verklaren zijn uit andere mogelijke invloedsfactoren in de omgeving van de betreffende peilbuis over de beschouwde periode (de kandidaat-achtergrondsfactoren). Maar aangezien het veel inspanning zal vergen om hierover voldoende bruikbare informatie te vergaren, voert dat nog te ver voor deze eerste verkenning.

## 5.2 Concluderend oordeel mogelijkheden presentatie

Bruikbare manieren om de resultaten te presenteren van een studie naar de achtergrondverlaging, die is uitgevoerd volgens in § 2.2.3 aanbevolen stapsgewijze aanpak, zijn de volgende:

- Een spreidingsdiagram waarin de geschatte verandering van de grondwaterstand / stijghoogte is uitgezet tegen de minimale afstand tot een relevante grondwateronttrekking. Dit diagram kan inzichtelijke informatie geven over alle resultaten, waarbij nog niet is gefilterd op minimale afstand tot een relevante grondwateronttrekking.
- Een ruimtelijke bubbelplot van de geschatte verandering. In een dergelijke plot is de grootte van het plotsymbool gerelateerd aan de geschatte verandering. De richting van de verandering (verlaging of verhoging) kan daarbij worden aangegeven met een kleur. Als de bubbelplot wordt weergegeven via Google Earth kan worden ingezoomd op de directe omgeving van een peilbuis, bijvoorbeeld om te beoordelen of de lokale geohydrologische situatie een verklaring kan geven voor de geconstateerde langetermijn-ontwikkeling van de stijghoogte. Verder kan er voor worden gezorgd dat bij het aanklikken van een bubbel allerlei details worden getoond van het betreffende peilfilter (zoals filterstelling, geohydrologische pakket, etc.) en van de betreffende stijghoogtereeks (zoals tijdreeksplot, trendplot en details van de trendanalyseresultaten).

Er is ook nog de mogelijkheid om de op puntniveau verkregen resultaten te vertalen naar een vlakvullend ruimtelijk beeld van de achtergrondverlaging, middels ruimtelijke interpolatie (zoals met de geostatistische methode kriging). Maar vermoedelijk zal dat vlakvullende beeld niet meer dan speculatief zijn, omdat het geen rekening houdt met de geohydrologische opbouw van de ondergrond en de afstanden tot factoren die bijdragen aan de achtergrondverlaging. Mogelijk is dit ook de reden dat bij de eerder aangehaalde grootschalige studies naar langetermijn-veranderingen van de grondwaterstand/stijghoogte (zie § 2.1) slechts puntenkaarten zijn gepresenteerd en geen vlakvullende kaarten.

## 6 Aanbevelingen

De eerste zeven aanbevelingen hebben betrekking op het beheer en gebruik van de grondwaterstands- / stijghoogtegegevens.

1. Voeg een codering toe in het geval dat een meetwaarde ontbreekt door een fysieke belemmering. Dit kan zijn het overstromen van de peilbuis, het droogvallen van het peilfilter, of ijsvorming. Dergelijke coderingen stellen namelijk in staat daar rekening mee te houden bij de statistische verwerking van de meetdata.
2. Stel een procedure (en bijbehorende criteria) op voor het omgaan met veranderingen van metadata die kunnen leiden tot trendbreuken in meetreeksen. Als aannemelijk is dat een dergelijke verandering een inhomogene meetreeks veroorzaakt, dient de procedure te waarborgen dat gebruikers daar een duidelijke melding van krijgen, bijvoorbeeld in de vorm van een kwaliteitslabel. De procedure kan bijvoorbeeld ook gebruik maken van een visuele beoordeling. Geef ter ondersteuning van die beoordeling het verloop van de relevante metadata (zoals maaiveldshoogte, meetpuntshoogte, filterstelling en coördinaten) weer in de tijdreeksplot van de grondwaterstand. Als er sprake lijkt van een correlatie van de grondwaterstand / stijghoogte met metadata is dat minimaal als verdacht aan te merken.
3. Pas deze procedure ook met terugwerkende kracht toe op alle provinciale meetreeksen. Op basis van een visuele beoordeling lijken 64 meetreeksen beïnvloed door veranderingen van de metadata, zoals maaiveldshoogte, meetpuntshoogte en filterstelling. Maar als het een structurele onvolkomenheid betreft, is te verwachten dat het bij meer reeksen optreedt, zij het visueel minder duidelijk herkenbaar.
4. Pas de meetpunten met gecensureerde meetwaarden aan, door verlengen of herplaatsen van het filter of door verhogen van het meetpunt. Er zijn 14 meetreeksen met ondermeer waarden gelijk aan de onderkant van het filter en 79 meetreeksen met ondermeer waarden gelijk aan de meetpuntshoogte.
5. Controleer of het klopt dat 68 van de peilfilters van het PMG voorkomen in slecht doorlatende lagen (SDL1a, SDL1b en SDL1). Dit is namelijk niet gebruikelijk.
6. Doe nader onderzoek naar het voorkomen van structurele trends in provinciale drukopnemerreeksen. Bij 45 van 397 verschilreeksen van gepaarde waarden (drukopnemermeting en bijbehorende handmatige controlemeting) bleek er namelijk sprake van een statistisch significante trend, wat neerkomt op 10,2% van het geanalyseerde aantal reeksen. Dit is circa tweemaal zoveel als verwacht mag worden als geen van de reeksen een trend vertoont. Er kan dan bijvoorbeeld sprake zijn van drift.
7. Gebruik vooralsnog geen meetwaarden die door Vitens zijn verkregen met automatische drukopnemers. Vitens hanteert namelijk geen procedure voor kwaliteitsborging van die metingen. Inmiddels heeft de praktijk al meermalen uitgewezen dat dit onbetrouwbare deelreeksen oplevert. Vitens heeft wel de intentie een dergelijke procedure in te voeren en

ook om alle historische metingen van drukopnemers te valideren. Dit zal in 2014 zijn beslag krijgen.

8. Als er behoefte is aan een verder uitgewerkt beeld van de achtergrondverlaging in Overijssel, volg dan de stapsgewijze aanpak beschreven in § 2.2.3. Doe dit eventueel voor verschillende startjaren, maar houd er rekening mee dat er voor de vroegst mogelijke startjaren – zoals 1953 en 1965 – slechts weinig resultaten beschikbaar zullen komen. Corrigeer alle geschikte meetreeksen daarbij voor het neerslagoverschot, middels tijdreeksmodellering met het potentieel neerslagoverschot als invoerreeks. Het potentieel neerslagoverschot vertoont over de lange termijn weliswaar geen statistisch significante trend, maar het is niet uit te sluiten dat er toch een geringe trend is opgetreden, met doorwerking naar de grondwaterstands-/stijghoogtereeksen. En tracht de resultaten zoveel mogelijk te duiden, mede aan de hand van informatie over alle mogelijke invloedsfactoren in de omgeving van elk van de beschouwde peilfilters. Dat biedt de mogelijkheid het verschijnsel achtergrondverlaging meer te ontleden.

# Aangehaalde literatuur

Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2012): *Handleiding Trendanalist*. Icastat-AMO, februari 2012, 43 blz.

Baggelaar, P.K. en Geudens, P.J.J.G. (2008): *Prognose landelijke drinkwatervraag t/m 2025*. Vewin-rapport 2008/85/6222, oktober 2008, 49 blz.

CDG (1996): *Jaarverslag 1995 en 1996*. Commissie Deskundigen Grondwaterwet, Utrecht, 17 blz.

Cleveland, W.S. (1979): *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*. Journal of American Statistical Association 74, blz. 829 t/m 836.

Conover, W.J. (1980): *Practical nonparametric statistics*. John Wiley, New York.

Gooijer, J. en De Meij, Th. (2013): *Werkproces meten grondwaterstanden provincie Overijssel*. Interne notitie Provincie Overijssel (nog in conceptvorm), 3 juni 2013, 7 blz.

Grobbe, H.W. (2003): *Evaluatie primaire grondwatermeetnet Overijssel*. Royal Haskoning, rapport 9M3210.A0, 22 oktober 2013, 97 blz.

Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A. (1982): *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*. Water Resources Research, vol. 18, no. 1, February 1982, blz. 107 – 121.

Hirsch, R.M., Alexander, R.B. and Smith, R.A. (1991): *Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality*. Water Resources Research, vol. 27, no. 5, May 1991, blz. 803 – 813.

Kremers, A.H.M. en Van Geer, F.C. (2000): *Trendontwikkeling grondwater 2000. Analyseperiode 1955 - 2000*. TNO-NITG, rapport NITG 00-184-B, augustus 2000, 13 blz. en bijlagen.

Maas, C., Von Asmuth, J.R. en Runhaar, J. (2008): *Kanttekeningen bij 'Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging'*. H<sub>2</sub>O/9-2008, blz. 22 t/m 24.

Maas, C. (2012): *Valkuilen in de tijdreeksanalyse: Het geval Terwisscha*. Stromingen 18 (2012), nummer 2, blz. 43 t/m 75.

Rolf, H.L.M. (1989a): *Daling van de Nederlandse grondwaterstand, fase II: Case-studie Eindhoven verbonden met ingrepen*. Rapport no. OS 89-14, DGV-TNO.

Rolf, H.L.M. (1989b): *Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: analyse periode 1950 – 1986*. DGV-TNO, in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, maart 1989, 46 blz. en bijlagen.

Sen, P.K. (1968): *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. Journ. Am. Statist. Assoc., 63, blz. 1379 - 1389, 1968.

Theil, H. (1950): *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, 1,2 and 3*. Ned. Akad. Wetensch. Proc., 53, blz. 386 - 392, 521 - 525 en 1397 - 1412.

Thiebaut, H.J. and Zwiers, F.W. (1984): *The interpretation and estimation of effective sample size*. Journal of Climate and Applied Meteorology 23, blz. 800 t/m 811.

Van Bracht, M.J, Lourens, A. en Tienstra, H.A. (1988): *Inrichtingsplan primaire grondwaterstandsmeetnet provincie Overijssel*. TNO-DGV rapportnr. OS 88-35, juni 1988, 34 blz.

Van der Gaast, J.W.J. (2012): *Numerieke verdroging en schadeonderzoek voor grondwateronttrekkingen*. Stromingen 18 (2012), nummer 1, blz. 21 t/m 34.

Van Geer, F.C., Bloemendaal, S., Kremers, A.H.M. en Lourens, A. (1993): *Ontwikkeling van de diepe stijghoogte en de relatie met de ondiepe stijghoogte in Noord-Brabant*. TNO-Milieu en Energie, rapport OS 93-67B, juni 1993, 105 blz. en bijlagerapport.

Van Geer, F.C. en Lourens, A. (2001): *Trends in de stijghoogte en relatie tussen verschillende dieptes*. TNO-NITG, rapport NITG 01-125-B, juli 2001, 47 blz. en bijlagen.

Van Leeuwen, P.E.R.M. (1991): *Achtergrondverdroging, ruis of signaal?* Volume 4 van Verdroging in Gelderland, Provincie Gelderland 1991, Arnhem, 23 blz.

Vitens (2002): *Berekening putonttrekkingen*. Rapport 02Vrst101-Brf, Marcel Boerefijn, Afdeling Strategie en Grondstof, 12 november 2002, 20 blz.

V&W (1994): *Evaluatienota Water; regeringsbeslissing; aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994-1998*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, SDU, Den Haag.

## Bijlage 1: Trendanalyse met het programma *Trendanalist*

Voor de eerste verkenning van de achtergrondverlaging in Overijssel, beschreven in hoofdstuk 5, is trendanalyse toegepast. Daarvoor is het programma *Trendanalist* gebruikt. Deze bijlage licht de werking van dat programma toe.

*Trendanalist* is een programma om trendanalyse uit te voeren [Baggelaar en Van der Meulen, 2012]. Trendanalyse is een statistische techniek om objectief vast te kunnen stellen of een bepaalde meetreeks een trend vertoont, waarbij tevens een schatting voor de grootte van de trend wordt gegeven. Onder het begrip trend verstaan we hier een verandering van het centrum van de kansverdeling van de meetwaarden over tenminste enkele jaren. Seizoensmatige veranderingen vallen daar dus niet onder.

Trends kunnen door *Trendanalist* objectief worden vastgesteld als er meerjarige meetreeksen beschikbaar zijn. Daarbij houdt het programma rekening met de bijzondere karakteristieken die vaak kenmerkend zijn voor meetreeksen van milieuparameters, zoals niet-normale kansverdelingen, seizoenseffecten, autocorrelatie<sup>11</sup>, ontbrekende meetwaarden en gecensureerde meetwaarden. Het programma kan de analyse volledig automatisch uitvoeren, zodanig dat er voor de analyse van grote aantallen meetreeksen – zoals bijvoorbeeld verzameld met een meetnet – slechts één druk op de knop nodig is. Maar de gebruiker kan een meetreeks desgewenst ook handmatig analyseren, aangezien *Trendanalist* daarvoor een uitgebreide statistische toolbox bevat.

De automaat van *Trendanalist* zal voor elke meetreeks de trendtoets hanteren die het best aansluit op de karakteristieken van die reeks. De daartoe ter beschikking staande trendtoetsen zijn in te delen in twee groepen, namelijk:

1. de *lineaire regressietoets* en zijn uitbreidingen;
2. de *Mann-Kendall-toets* en zijn uitbreidingen.

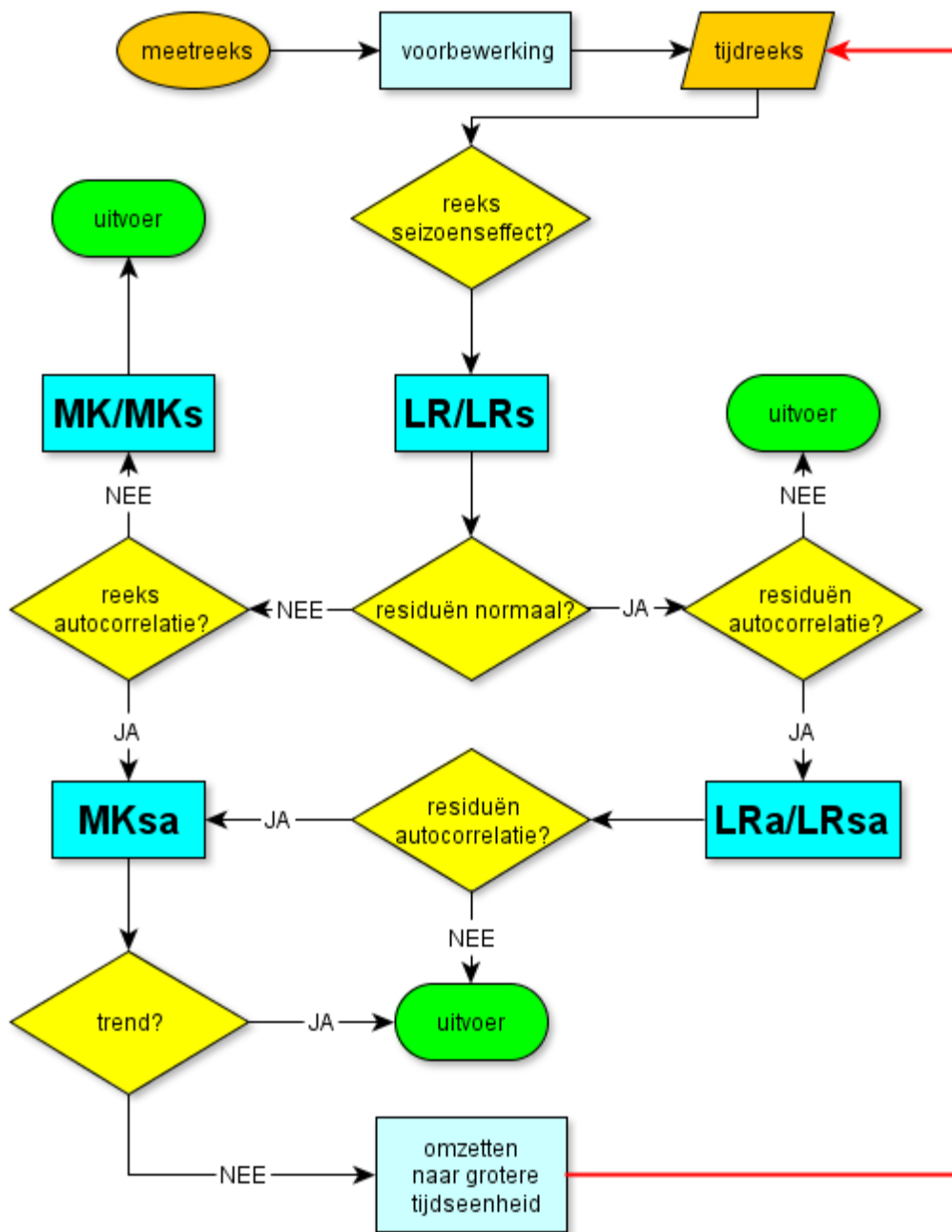
Een toets uit de eerste groep is van toepassing als de waarden van de meetreeks afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Als dat niet het geval is, is een toets uit de tweede groep van toepassing. De Mann-Kendalltoetsen zijn zogenaamde verdelingsvrije toetsen, die geen voorwaarden stellen aan het soort achterliggende kansverdeling. Voor beide groepen zijn de uitbreidingen bedoeld om ook rekening te kunnen houden met seizoenseffecten en/of autocorrelatie.

Om te bewerkstelligen dat voor elke meetreeks de meest geschikte trendtoets wordt gehanteerd, volgt de automaat van *Trendanalist* een selectieprocedure (zie figuur b1.1).

---

<sup>11</sup> Het verschijnsel dat opeenvolgende meetwaarden doorgaans minder van elkaar verschillen dan meetwaarden die op grotere tijdsintervallen van elkaar liggen.

Figuur b1.1: Hoofdpijnen van de procedure om de meest geschikte trendtoets voor een meetreeks te selecteren.



De verschillende onderdelen van de selectieprocedure zijn als volgt onderscheiden door vormen en kleuren: | oranje ellips: invoer | oranje parallellogram: bewerkte invoer | lichtblauwe rechthoek: actie | gele ruit: beslismoment | blauwe rechthoek: trendtoets | groene ellips: uitvoer | Trendtoetsen: | **LR**: lineaire regressietoets | **MK**: Mann-Kendalltoets | **s**: met verdiscontering seizoenseffecten | **a**: met verdiscontering autocorrelatie | **sa**: met verdiscontering seizoenseffecten en autocorrelatie |

### Trendkwantificering

Voor wat betreft de *trendkwantificering* zijn de volgende drie trendschatters beschikbaar:

1. de lineaire regressiehelling in het geval van een normale kansverdeling;
2. de Theilhelling in het geval van een niet-normale kansverdeling en geen seizoenseffecten;
3. de Kendall-seizoenshelling in het geval van een niet-normale kansverdeling en seizoenseffecten.

Voor elke reeks wordt een trend geschat, ongeacht of er met de trendtoets een statistisch significante trend in de tijdreeks is gedetecteerd. Aangezien ook bij de selectie van een trendtoets wordt afgegaan op kansverdeling, seizoenseffecten en autocorrelatie, worden altijd dezelfde combinaties van trendtoets en trendschatter gehanteerd. Deze combinaties zijn vermeld in onderstaande tabel b1.1.

*Tabel b1.1: De vaste combinaties van trendtoets en trendschatter die de selectieprocedure hanteert.*

| Trendtoets                                                | Trendschat                |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------|
| LR, LR <sub>s</sub> , LR <sub>a</sub> of LR <sub>sa</sub> | Lineaire regressiehelling |
| MK                                                        | Theilhelling              |
| MK <sub>s</sub> of MK <sub>sa</sub>                       | Kendall-seizoenshelling   |

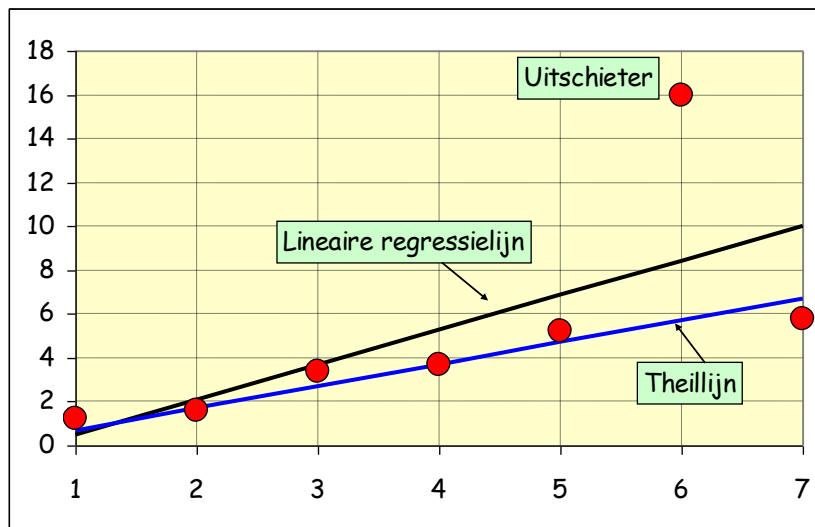
### Theilhelling

In het geval van een niet-normale kansverdeling en geen seizoenseffecten wordt een trend geschat als de Theilhelling [Theil, 1950, Sen, 1968]. Dit is de mediaan van alle mogelijke hellingen tussen de afzonderlijke waarden in de tijdreeks:

$$b_{Th} = \text{mediaan} \left[ \frac{Z_t - Z_k}{X_t - X_k} \text{ voor alle } 1 \leq k < t \leq n \right]$$

waarin  $b_{Th}$  de Theilhelling (meeteenheid/jaar),  $Z$  de waarden van de beschouwde variabele (meeteenheid),  $X$  de tijd (jaar, met ook de jaarfractie),  $t$  en  $k$  waarden van de tijdsindex en  $n$  het aantal waarden in de reeks. Er zijn  $n \cdot (n-1)/2$  hellingen te bepalen bij  $n$  tijdreekswaarden. De Theilhelling is op te vatten als een verdelingsvrije schatter, die vrij resistent is tegen de invloed van extremen, omdat de mediaan van alle individuele hellingen wordt gebruikt (zie het voorbeeld in figuur b1.2).

Figuur b1.2: Illustratie van de robuustheid van de Theilhelling ten opzichte van de lineaire regressiehelling bij een uitschieter in de reeks.



Verder is deze hellingschatter zuiver – dat wil zeggen zonder systematische fout - en met een grotere nauwkeurigheid dan die van de lineaire regressiehelling bij tijdreeksen met waarden afkomstig uit een scheve kansverdeling. Dit speelt zelfs al bij geringe afwijkingen van normaliteit, die op steekproefniveau praktisch niet visueel zijn te onderkennen. Dit laatste is bijvoorbeeld met een simulatiestudie geïllustreerd door [Hirsch et al, 1991].

### Kendall-seizoenshelling

Als er sprake is van een niet-normale kansverdeling en er ook seizoenseffecten optreden, wordt een trend geschat als de Kendall-seizoenshelling [Sen, 1968; Hirsch et al, 1982], gedefinieerd als:

$$b_{Ks} = \text{mediaan} \left[ \frac{Z_{tj} - Z_{kj}}{X_t - X_k} \text{ voor alle } 1 \leq k < t \leq n_j \text{ en voor } j = 1, \dots, s \right]$$

waarin  $b_{Ks}$  de Kendall-seizoenshelling (meeteenheid/jaar),  $t$  en  $k$  waarden van de jaarindex,  $j$  de seizoensindex,  $n_j$  het aantal jaar met een tijdreekswaarde in seizoen  $j$  en  $s$  het aantal tijdreekswaarden in een jaar (bij analyse op maandschaal is  $s$  bijvoorbeeld 12). Het is dus de mediaan van alle hellingen tussen tijdreekswaarden die precies een heel aantal jaren uit elkaar liggen.

Deze schatter wordt niet beïnvloed door seizoenseffecten, omdat de hellingen slechts worden bepaald voor waarden uit hetzelfde seizoen, die één of meer jaren uit elkaar liggen. Het betreft een zuivere schatter en met een grotere nauwkeurigheid dan die van de lineaire regressiehelling bij tijdreeksen met seizoenseffecten, autocorrelatie en een scheve kansverdeling [Hirsch et al, 1982].

### Trendlijn

Om de geschatte trend van een tijdreeks grafisch te kunnen weergeven in een trendlijn, is tevens een schatting van het intercept ( $b_0$ ) nodig. Dit is het snijpunt van de trendlijn met de Y-as voor het nulpunt van  $X$  (de tijd).

Als er sprake is van een normale kansverdeling, dan maakt de schatting van het intercept al deel uit van de schatting van het lineaire regressiemodel. Als er daarbij ook sprake is van een

seizoenseffect en het uitgebreide lineaire regressiemodel is gebruikt, dan moet het geschatte intercept worden gecorrigeerd voor het daarin vervatte seizoenseffect.

Als er geen sprake is van een normale kansverdeling, dan wordt het intercept verdelingsvrij geschat, volgens [Conover, 1980]:

$$b_0 = \text{mediaan}[Z_t \text{ voor } 1 \leq t \leq n] - b_1 \cdot \text{mediaan}[X_t \text{ voor } 1 \leq t \leq n]$$

waarin  $Z$  de waarden van de beschouwde variabele (meeteenheid),  $X$  de tijd (jaar, met daarbij ook de jaarfractie),  $t$  de tijdsindex,  $n$  het aantal waarden in de reeks en  $b_1$  de geschatte helling (dit is dan de Theilhelling of de Kendall-seizoenshelling).

Met het geschatte intercept en de geschatte helling kan tenslotte de trendlijn worden geconstrueerd, volgens:

$$\hat{Z}_t = b_0 + b_1 \cdot X_t$$