

TNO-rapport
NITG 00-184-B

Trendontwikkeling Grondwater 2000
(Analyseperiode 1955-2000)

Datum

Augustus 2000

Auteur(s)

ing. A.H.M. Kremers
dr.ir. F.C. van Geer

Projectnummer

005.50275

Schoemakerstraat 97
Postbus 6012
2600 JA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 256 48 00

Opdrachtgever

RWS – RIZA, Lelystad

Goedgekeurd


Projectleider

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor
onderzoeksopdrachten aan TNO', dan
wel de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
is gevestigd in Delft en Utrecht en heeft nevenvestigingen in
Heerlen, Nuenen en Zwolle.

Het instituut is het centrale geowetenschappelijke informatie-
en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het
duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de
ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.



Samenvatting

Het doel van de studie "Trends grondwater 2000" is een evaluatie van het hydrologisch systeem op basis van analyse van grondwaterstandsreeksen, ten einde een landelijk beeld te krijgen van het grondwaterstandsverloop van 1955 tot 2000. Om een landsdekkend beeld te krijgen, zijn 159 grondwaterstandsreeksen geanalyseerd. De analyse heeft zich vooral gericht op een vergelijking van de grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 met de grondwaterstand in de perioden 1955 – 1960 en 1985 – 1990.

De analyse van de reeksen bestond uit twee onderdelen. Allereerst is een tijdreeksanalyse uitgevoerd, om zoveel mogelijk de effecten van natuurlijke weersvariatie te elimineren. De overblijvende residureeksen bevatten alle structurele veranderingen in de grondwaterstand. Van deze residureeksen is vervolgens vastgesteld of de verschillen tussen de verschillende perioden structureel zijn.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- In een ruime meerderheid van de locaties is de grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 significant lager dan in de periode 1955 – 1960 (binnen verdroogd gebied 60% en buiten verdroogd gebied 72%).
- In een ruime meerderheid van de locaties is de grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 niet significant veranderd ten opzichte van de periode 1985 – 1990 (binnen verdroogd gebied 69% en buiten verdroogd gebied 61%).
- Ondanks dat de grondwaterstand op een aantal locaties is gestegen geldt, gemiddeld over alle locaties, dat de grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 lager is dan in alle voorgaande perioden. De grootste daling gemiddeld over alle locaties heeft zich voorgedaan vóór 1965. Er is de laatste 30 jaar sprake van een stabilisatie op een lager niveau.
- Vrijwel nergens is het grondwaterniveau terug op het niveau van de periode 1950-1955.
- Er lijkt een verschil te zijn tussen de locaties binnen en buiten de verdroogde gebieden. Binnen de verdroogde gebieden is het percentage met een hogere grondwaterstand groter en het percentage met een lagere grondwaterstand kleiner dan buiten de verdroogde gebieden.

Inhoud

Samenvatting	i
Lijst van figuren	iii
Lijst van tabellen	iv
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	1
2 Aanpak en onderzoeksmethode.....	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Uitgangssituatie voor selectie van meetreeksen.....	3
2.3 Onderzoeksmethode.....	4
2.3.1 Correctie van de reeksen.....	4
2.3.2 Berekening blokgemiddelde	5
2.3.3 Significantie van het verschil in blokgemiddelde	6
2.3.4 Betrouwbaarheid van de methode.....	6
3 Gebruikte gegevens.....	7
3.1 Meteo gegevens	7
3.2 Meetreeksen	7
4 Resultaten, conclusies en aanbevelingen	9
4.1 Resultaten.....	9
4.2 Conclusies.....	11
4.3 Aanbevelingen	12
5 Referenties	14
Bijlagen:	
A	Onderzoeksmethode “Verlagingsonderzoek naar de grondwaterstanden in Nederland: analyseperiode 1955 – 1986”
B	De methode van transfer/ruis-modellering
C	Betrouwbaarheid en significantie
D	Geselecteerde meetreeksen
E	Vershil in gemiddelden tussen de periode 1995 – 2000 en de perioden 1985 – 1990 en 1955 – 1960.

Lijst van figuren

Figuur 1.	Voorbeeld van de presentatie van het verloop van de residu-reeks in blokken van 5 jaar.	5
Figuur 2.	Meetreeks 'Meteorologische omstandigheden'	7
Figuur 3.	Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor alle meetpunten.	9
Figuur 4.	Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor meetpunten binnen verdroogd gebied.	9
Figuur 5.	Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor meetpunten buiten verdroogd gebied.	10
Figuur A-1.	Principe-schema van het transfer/ruis-model.	2
Figuur A-2.	Transfer/ruis-model van een grondwaterstandreeks met neerslagoverschot en grondwateronttrekking als verklarende factoren.	3

Losse kaarten

Kaart 1	Bladindeling en Overzicht van meetreeksen	
Kaart 2A	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 1	
Kaart 2B	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 2	
Kaart 2C	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 3	
Kaart 2D	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 4	
Kaart 2E	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 5	
Kaart 2F	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 6	
Kaart 2G	Ontwikkeling van het grondwaterniveau: Blad 7	
Kaart 3	Grondwater Trends 2000: Grondwater Trends 2000 Ontwikkeling van het grondwaterniveau	

Lijst van tabellen

Tabel 1.	Overzicht van beschikbare meetreeksen uit voorgaande studies.	8
Tabel 2.	Overzicht van meetreeksen per provincie.	8
Tabel 3.	Samenvatting van de recente ontwikkeling (1995 – 2000 ten opzichte van 1985 – 1990).	10
Tabel 4.	Samenvatting van de eerder opgetreden ontwikkeling (1995 – 2000 ten opzichte van 1955 – 1960).	11
Tabel E1.	Vershil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1985 – 1990, voor reeksen binnen verdroogd gebied.	2
Tabel E2.	Vershil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1985 – 1990, voor reeksen buiten verdroogd gebied.	3
Tabel E3.	Vershil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1955 – 1960, voor reeksen binnen verdroogd gebied.	5
Tabel E4.	Vershil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1955 – 1960, voor reeksen buiten verdroogd gebied.	6

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Bij het ingaan van de 21^e eeuw is het een goed moment om landsdekkend de grondwatertoestand met daarin voorkomende trends en ontwikkelingen in beeld te brengen. Lokaal en regionaal is de afgelopen tijd onderzoek gedaan, o.a. ten behoeve van provinciale waterhuishoudingsplannen en studies naar het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR). Een landsdekkend onderzoek is echter al ca. tien jaar niet meer verricht. Als onderdeel van een landelijke studie is in 1989 de studie "Verlaging van de Grondwaterstanden in Nederland - analyse periode 1950-1986" verricht, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA (Rolf, 1989). Het huidige onderzoek is een vervolg op deze studie.

De redenen om een studie "Trends grondwater 2000" te verrichten zijn:

- het beantwoorden van de vraag of de dalende tendensen in de grondwaterstand die in de jaren '60 en '70 werden waargenomen, gevolgd door een zekere stabilisatie in de jaren '80, zich nog steeds voortzetten;
- het verkrijgen van een "ijkpunt grondwaterstanden/grondwatersituatie 2000" als houvast voor studies naar zeespiegelrijzing en klimaatverandering;
- een bouwsteen te leveren waarvan zinvol gebruik kan worden gemaakt bij het komende onderzoek "Waterhuishouding 21^e eeuw", als aangekondigd in de Notitie Wateroverlast (gevoegd bij 4^e Nota waterhuishouding, Tweede Kamer, febr. '99);
- nagaan in hoeverre de invloed van de aanpak van de verdroging al in de grondwaterstandsreeksen kan worden vastgesteld.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie "Trends grondwater 2000" is een evaluatie van het hydrologisch systeem op basis van analyse van uitgevoerde grondwaterstandsmetingen om zodoende een landelijk beeld te krijgen van het grondwaterstandsverloop van 1955 tot 2000. De resultaten van deze studie kunnen dienen als basis voor diverse andere onderzoeken.

Hierbij zijn de volgende 3 motieven van toepassing:

- Het voorgestelde onderzoek is relatief eenvoudig en snel uit te voeren, waarbij gebruik gemaakt wordt van reguliere grondwaterstandsmetingen. De toevoeging bestaat uit een statistische correctie voor de invloed van neerslag (natte en droge jaren). Na vele modeloefeningen en gezien de recente discussies over meten en modelleren is een onderzoek op basis van objectieve metingen te prefereren, zeker met het oog op het doelstellingsjaar 2000.

- In het onderzoek kunnen veel beter dan destijds (Rolf, 1989) accenten worden gelegd, bijvoorbeeld door naast een landsdekkende evaluatie in te zoomen op de verdroogde gebieden.
- Het onderzoek is vooral evaluerend van aard. Directe beleidsconsequenties zijn niet te verwachten. Wel kan het richting geven aan de vervolgonderzoeken, die bijvoorbeeld in het kader van "Waterbeheer in de 21^e eeuw" zullen worden opgesteld. Mede daarom is het juist een pré in dit onderzoek niet al te veel ballast mee aan boord te nemen.

2 Aanpak en onderzoeksmethode

2.1 Algemeen

Elementen die in het onderzoek aan bod komen zijn:

- Een analyse van de stijghoogten vanaf 1985 tot heden in tenminste die meetreeksen die destijds in het onderzoek "Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland" (Rolf, 1989) zijn betrokken en waar mogelijk aangevuld met nieuwe meetreeksen waarvan een voldoende lange meetreeks beschikbaar is om een statistische correctie op een verantwoorde wijze te kunnen uitvoeren.
De uitkomst hiervan bestaat uit een trend van het stijghoogteverloop sedert 1955 per meetreeks. Hieruit is vervolgens een landsdekkend c.q. regionaal beeld te schetsen.
- Een soortgelijke analyse van het verloop van (ondiepe) grondwaterstijghoogten in of nabij verdroogde gebieden.

Het onderzoek is beschrijvend van aard. Er is geen verband gelegd tussen het verloop van de grondwaterstijghoogte en de ingrepen in het watersysteem.

In de volgende paragrafen worden de uit te voeren activiteiten nader uitgewerkt.

2.2 Uitgangssituatie voor selectie van meetreeksen

Uitgangspunt voor de selectie van meetreeksen die in het onderzoek beschouwd zijn, wordt gevormd door de meetreeksen die zijn gebruikt in de studie 'Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland' (Rolf, 1989). In deze studie zijn 110 reeksen in de trendanalyse betrokken. Voor de selectiecriteria wordt verwezen naar bijlage A. Samengevat komen deze criteria neer op het volgende:

- regelmatig waargenomen meetreeksen zonder onderbrekingen;
- geen technische defecten;
- de meetpunten liggen buiten de directe invloedssfeer van grondwaterwinningen;
- de meetpunten hebben filters in het ondiepe watervoerende pakket;
- in het bijzonder locaties in "Hoog-Nederland".

Om toch een voldoende ruimtelijke spreiding te krijgen is een aantal malen hiervan afgeweken (zie ook bijlage A).

Het bovengenoemde bestand is aangevuld met de locaties die gebruikt zijn voor het project 'Monitoring Actuele Grondwaterstanden 1998' (Kremers en Van Geer, 1999). Binnen deze studie zijn zoveel mogelijk meetreeksen (57) gezocht die in of

nabij 'verdroogde gebieden' (Verdrogingskaart van Nederland, 1998 - IPO/RWS-RIZA) liggen. Dit zijn voornamelijk meetpunten in het ondiepe pakket die minimaal 10 tot 15 jaar waargenomen zijn.

Aanvullend op bovengenoemde reeksen is, voornamelijk in "Laag-Nederland", nog een aantal meetlocaties toegevoegd teneinde een zo compleet mogelijk landsdekkend beeld te verkrijgen.

2.3 Onderzoeksmethode

2.3.1 Correctie van de reeksen

Bij de uitvoering van het onderzoek naar de verlaging van de grondwaterstanden in Nederland (Rolf, 1989) is een methode ontwikkeld om de structurele verandering in een grondwaterstandreeks vast te stellen. Het uitgangspunt van deze methode is dat er van nature (lees: door variaties in het weer) geen structurele verandering van de grondwaterstand optreedt. Met andere woorden het lange termijn-gemiddelde van de grondwaterstand is constant. Een structurele verandering in het gemiddelde van de grondwaterstand wordt dus veroorzaakt door menselijke invloeden. In principe kunnen we voor verschillende perioden van een lange grondwaterstandreeks het gemiddelde bepalen en vervolgens toetsen of het gemiddelde van de ene periode anders is dan dat van de andere periode. Hiervoor is een periode van 5 jaar gekozen.

Echter, om het gemiddelde kunnen aanzienlijke fluctuaties optreden, die voor een (groot) deel veroorzaakt worden door variaties in het weer (seizoensschommelingen, droge en natte jaren, enz.). Bovendien vertonen grondwaterstandsreeksen een temporele samenhang die kan oplopen tot vele jaren. De fluctuaties rond het gemiddelde en de temporele samenhang bemoeilijken het schatten van het gemiddelde in een beperkte periode. De betrouwbaarheid waarmee een gemiddelde van een reeks geschat kan worden is afhankelijk van de lengte van de periode, het aantal waarnemingen, de variatie om het gemiddelde (standaard afwijking) en de temporele samenhang (correlatie). Naarmate de variatie groter en de temporele samenhang groter is kan het gemiddelde over een periode van 5 jaar minder goed worden vastgesteld. Om zoveel mogelijk deze variatie te elimineren worden de reeksen eerst 'gecorrigeerd'. Dit houdt in dat met behulp van een transfer/ruis-model getracht wordt om het deel van de fluctuatie in de grondwaterstandsreeks dat wordt veroorzaakt door de natuurlijke invloeden vast te stellen en van de originele reeks af te trekken. Wat er overblijft (de residu-reeks) bevat alle niet-natuurlijke invloeden. Aangezien de standaardafwijking en de correlatie in de residu-reeks kleiner is dan in de oorspronkelijke reeks kan een structurele verandering in het gemiddelde beter worden vastgesteld.

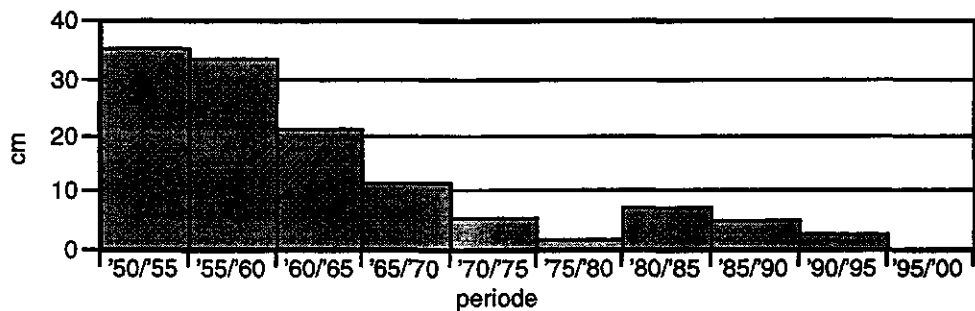
De transfer/ruis-modellering die in dit onderzoek is gevolgd is globaal als volgt te beschrijven:

Bij de transfer/ruis-modellering wordt een grondwaterstandsreeks gesplitst in een aantal componenten dat te relateren is aan de natuurlijke invloeden (meteorologische omstandigheden). Het verschil tussen de som van deze componenten en de grondwaterstandsreeks is de residu-reeks (ook wel ruiscomponent of onverklaard deel genoemd). De residu-reeks bevat dus alle variaties in de grondwaterstand die niet aan de meteorologische omstandigheden gerelateerd kunnen worden. Een in deze reeks voorkomende trend kan worden toegeschreven aan antropogene invloeden (bv. polderpeilverlagingen, grondwateronttrekkingen).

In bijlage B wordt de transfer/ruis-modellering uitvoeriger beschreven.

2.3.2 Berekening blokgemiddelde

Van de residu-reeksen worden vervolgens de gemiddelden berekend over blokken van 5 jaar. De blokgemiddelden zijn grafisch weergegeven. Een voorbeeld van de presentatie van de blokgemiddelden is gegeven in figuur 1. Omdat niet alle meetreeksen even lang zijn waargenomen is gekozen voor een presentatie waarbij de 'blok-gemiddelden' van het residu van de verschillende perioden ten opzichte van de referentieperiode 1995-2000 zijn uitgezet op een assenstelsel. Met andere woorden het gemiddelde van het blok 1995 – 2000 is altijd gelijk aan nul. Hierdoor wordt een onderlinge vergelijking van reeksen makkelijker. De horizontale as geeft de tijdsperiode aan, terwijl de verticale as de verschillen aangeeft in centimeters. In figuur 1 is te zien dat de waarnemingen zijn gestart in de periode 1950 – 1955. De blokken van alle perioden voorafgaande aan de periode 1995 – 2000 liggen boven de nul as. Dit houdt in dat in de periode 1995 – 2000 het laagste gemiddelde is opgetreden. Verder kan worden geconstateerd dat het hoogste gemiddelde is opgetreden in de periode 1950 – 1955. Hierna daalt het blokgemiddelde, met een kleine verhoging in de perioden 1980 – 1985, 1985 – 1990 en 1990 – 1995.



Figuur 1. Voorbeeld van de presentatie van het verloop van de residu-reeks in blokken van 5 jaar.

2.3.3 Significantie van het verschil in blokgemiddelde

Het gaat vooral om vast te stellen hoe het blokgemiddelde in de periode 1995 – 2000 verschilt van de blokgemiddelden in de perioden 1985 – 1990 (recente ontwikkeling) en 1955 – 1960 (eerder opgetreden ontwikkeling). Deze verschillen kunnen eenvoudig worden bepaald door de blokgemiddelden van de twee perioden van elkaar af te trekken. Het zal zelden of nooit voorkomen dat twee blokgemiddelden precies gelijk zijn. Een klein verschil wil echter nog niet zeggen dat het verschil ook een structurele verandering in de stijghoogte representeert. Daarom is onderzocht of de verschillen statistisch significant zijn. Hiervoor is een 95% betrouwbaarheidsinterval aangehouden.

Indien het verschil binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt, zijn de blokgemiddelden niet significant verschillend. Indien het verschil buiten het betrouwbaarheidsinterval ligt, zijn de blokgemiddelden wel significant verschillend. Een positief verschil betekent een structureel hogere grondwaterstand en een negatief verschil een structureel lagere grondwaterstand. In bijlage C is aangegeven hoe de significantie voor de verschillen is berekend.

2.3.4 Betrouwbaarheid van de methode

Voor Nederlandse omstandigheden is de methode in de meeste gevallen goed bruikbaar. De betrouwbaarheid van de transfer/ruis-modellen kan wellicht verbeterd worden door rekening te houden met niet-lineaire effecten, maar in de meeste gevallen is dit nauwelijks van invloed op het eindresultaat.

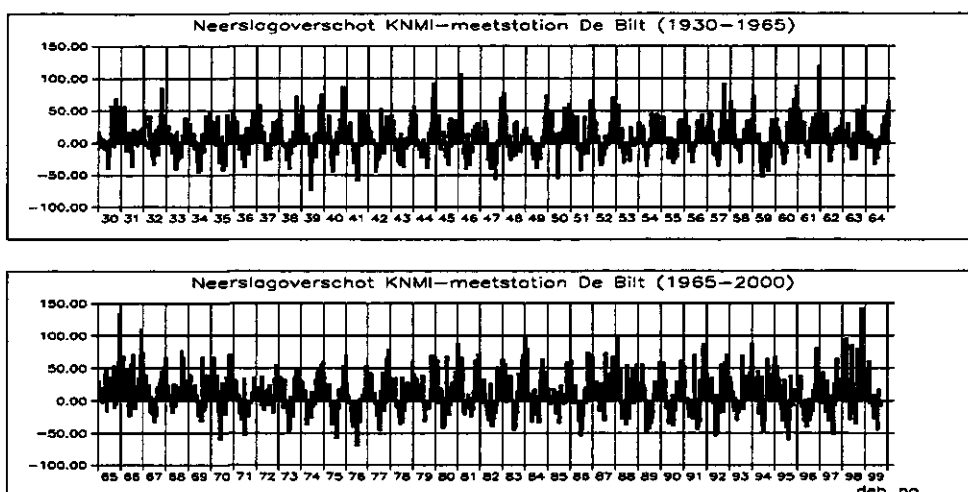
In 'Hoog Nederland' zijn enkele punten als verdacht aan te merken, zeker als de meetreeks korter is dan 30 jaar. Naast punten in Hoog Nederland (bijv. op de Veluwe), zijn er ook locaties in het duingebied die een karakteristiek niet-lineair verloop vertonen. Echter, indien de reeksen lang genoeg zijn (> 30 jaar), zullen de eindconclusies over een structurele daling of stijging in de orde van decimeters voldoende betrouwbaar zijn.

Een uitgebreidere beschouwing ten aanzien van de betrouwbaarheid van de methode is gegeven in bijlage C.

3 Gebruikte gegevens

3.1 Meteo gegevens

De transfer/ruis-modellering op neerslagoverschot (zie ook Bijlage B) beschrijft de natuurlijke fluctuaties van de grondwaterstand, samenhangend met de variatie van de natuurlijke, meteorologische omstandigheden. In dit onderzoek is gewerkt met de neerslag- en verdampingsreeks van het meteo-station 'De Bilt'. Voor een algemene indicatie van de natuurlijke, meteorologische omstandigheden volstaan deze tijdreeksen goed.



Figuur 2. Meetreeks 'Meteorologische omstandigheden'.

3.2 Meetreeksen

In de studie van Rolf zijn 110 stijghoogte reeksen gebruikt, terwijl er in het onderzoek "Monitoring actuele grondwaterstanden 1998" 57 reeksen zijn gebruikt. Twaalf reeksen zijn in beide studies gebruikt, zodat uit beide studies in totaal 155 verschillende reeksen zijn. Van 43 meetreeksen is de (regelmatige) waarneming gestopt in de afgelopen jaren (na 1986). Van 18 van deze meetreeksen is het waarnemen van de grondwaterstand in de laatste 5 jaar gestopt. Deze 18 meetreeksen zijn wel meegenomen in dit onderzoek.

Het aantal geschikte meetreeksen uit de twee studies komt hiermee op 130. Van deze meetreeksen liggen er 34 in verdroogde gebieden. Aanvullend zijn 29 'nieuwe' meetpunten toegevoegd, waarvan 6 in verdroogde gebieden liggen. In

totaal zijn er derhalve in deze studie 159 meetreeksen gebruikt, waarvan er 40 in verdroogde gebieden liggen.

Tabel 1. Overzicht van beschikbare meetreeksen uit voorgaande studies.

<i>Aantal meetfilters</i>	<i>Opmerkingen</i>
57	Monitoring Actuele Grondwaterstand – '98 (Kremers ea., 1999)
110	Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland – analyseperiode 1950 - 1986 (Rolf, 1989)
155	Samengevoegd totaal
130	Geschoond totaal
29	Nieuwe meetreeksen
159	Totaal

Op kaart 1 zijn de locaties van de meetreeksen weergegeven. Daarbij wordt een indeling in 'bladen' gepresenteerd volgens welke de resultaten in het volgende hoofdstuk zullen worden uitgewerkt. Er is een indeling gemaakt van meetreeksen die binnen en buiten de verdroogde gebieden liggen.

In onderstaande tabel is een en ander samengevat.

Tabel 2. Overzicht van meetreeksen per provincie.

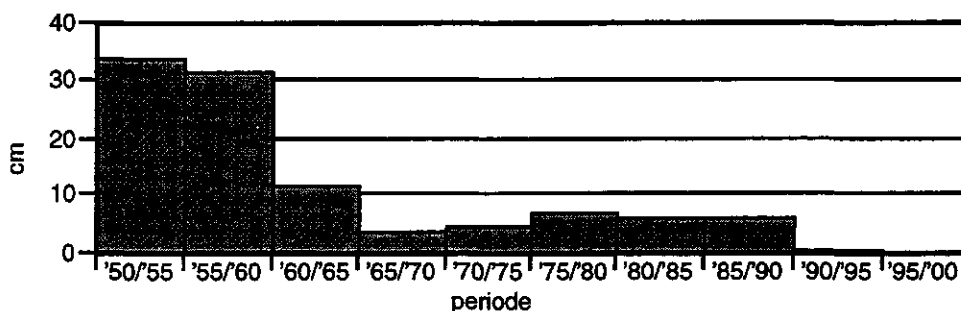
<i>Aantal reeksen</i>	<i>Procentuele verdeling</i>	<i>Provincie</i>	<i>Aantal reeksen in 'verdroogd' gebied</i>
17	11 %	Drenthe	2
11	7 %	Friesland	1
23	14.5 %	Gelderland	6
9	6 %	Groningen	4
20	12.5 %	Limburg	2
28	17.5 %	Noord-Brabant	9
13	8 %	Noord-Holland	6
15	9.5 %	Overijssel	4
11	7 %	Utrecht	2
5	3 %	Zeeland	3
1	0.5 %	Flevoland	0
6	3.5 %	Zuid-Holland	1
159	100 %	Totaal	40

4 Resultaten, conclusies en aanbevelingen

4.1 Resultaten

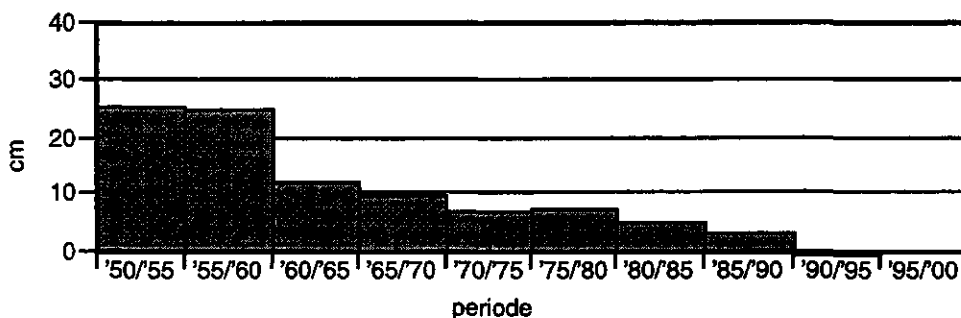
De ontwikkeling van het grondwaterniveau is op de kaarten 2A t/m 2G in beeld gebracht. Op deze kaarten is per meetreeks de ontwikkeling weergegeven volgens het voorbeeld van figuur 1. Er is onderscheid gemaakt tussen meetlocaties die binnen en buiten een verdroogd gebied liggen. Uit de figuurtjes op de kaarten 2A t/m 2G blijkt dat er in veel gevallen geen sprake is van een continue daling of stijging van het blokgemiddelde.

Ook is getracht een beeld te krijgen van de "algemene" ontwikkeling van het grondwaterniveau. Hiertoe is voor elke periode van 5 jaar een gemiddeld verschil berekend voor alle meetpunten die in de betreffende periode zijn waargenomen. De gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor alle meetpunten is gegeven in figuur 3.

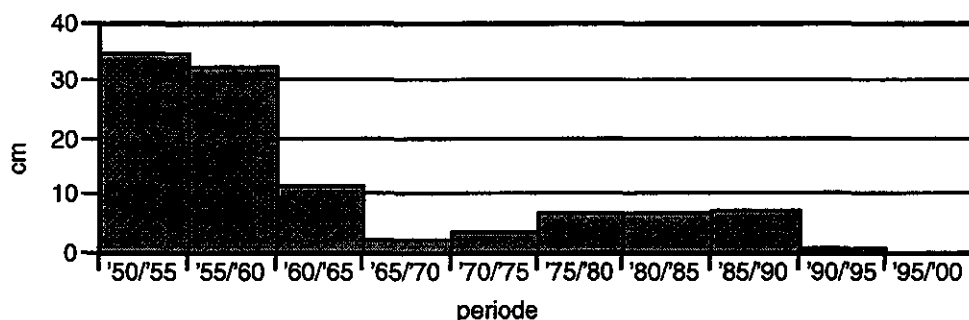


Figuur 3. Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor alle meetpunten.

Daarnaast is de gemiddelde ontwikkeling bepaald voor meetlocaties binnen en buiten verdroogd gebied. De ontwikkeling van het grondwaterniveau binnen en buiten verdroogd gebied is gegeven in figuur 4 en 5.



Figuur 4. Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor meetpunten binnen verdroogd gebied.



Figuur 5. Gemiddelde ontwikkeling van het grondwaterniveau voor meetpunten buiten verdroogd gebied.

In deze studie is ook het gemiddelde niveau in de periode 1995 tot 2000 beschouwd ten opzichte van twee verschillende perioden, namelijk 1985 – 1990 (recente ontwikkeling) en 1955– 1960 (eerder opgetreden ontwikkeling). De resultaten zijn in de vorm van bolletjeskaarten weergegeven op kaart 3. Hier is onderscheid gemaakt tussen locaties binnen en buiten een verdroogd gebied.

De verschillen in het blokgemiddelde voor de recente ontwikkeling en voor de eerder opgetreden ontwikkeling zijn getalsmatig gegeven in de tabellen van bijlage E. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen reeksen binnen en buiten verdroogd gebied. In de tabellen zijn ook de 95% betrouwbaarheidsintervallen aangegeven. De verschillen zijn ingedeeld in drie klassen:

- hoger = het blokgemiddelde in de periode 1995 – 2000 is significant hoger dan in de beschouwde periode,
- neutraal = het blokgemiddelde in de periode 1995 – 2000 is niet significant verschillend van dat in de beschouwde periode,
- lager = het blokgemiddelde in de periode 1995 – 2000 is significant lager dan in de beschouwde periode

De resultaten zijn in de tabellen 3 en 4 samengevat. In tabel 3 zijn de aantallen en procenten gegeven van de verschillen in blokgemiddelden voor de recente ontwikkeling (1985 – 1990). In tabel 4 zijn deze gegevens samengevat voor de eerder opgetreden ontwikkeling (periode 1955 – 1960).

Tabel 3. Samenvatting van de recente ontwikkeling (1995 – 2000 ten opzichte van 1985 – 1990).

	hoger	neutraal	lager
Binnen verdroogd gebied	7 (18%)	26 (69%)	5 (13%)
Buiten verdroogd gebied	12 (10%)	71 (61%)	33 (29%)

Tabel 4. *Samenvatting van de eerder opgetreden ontwikkeling (1995 – 2000 ten opzichte van 1955 – 1960).*

	hoger	neutraal	lager
Binnen verdroogd gebied	3 (20%)	3 (20%)	9 (60%)
Buiten verdroogd gebied	8 (10%)	15 (18%)	58 (72%)

4.2 Conclusies

Bij het trekken van conclusies op grond van de kaarten en de samenvatting in de tabellen 3 en 4, dient enige voorzichtigheid in acht genomen te worden. Dit wordt veroorzaakt doordat het aantal punten, zeker binnen verdroogd gebied, gering is. Dit geldt vooral voor de vergelijking met de periode 1955 – 1960, waar er maar 15 punten binnen verdroogd gebied aanwezig zijn. Bovendien zijn er zeer waarschijnlijk meetpunten geplaatst om effecten van ingrepen te monitoren. Het is de vraag in hoeverre deze punten een representatieve steekproef vormen. Met enige voorzichtigheid kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is geen tegenspraak gevonden met de conclusies uit Rolf (1989), over de periode 1950 - 1990. De aanvullende meetreeksen geven globaal het zelfde beeld als de meetreeksen die in die studie zijn gebruikt. Dit houdt in een behoorlijke daling in het begin van de onderzoeksperiode (1950 tot 1965) en vervolgens een stabilisatie op een lager niveau.
- Rolf (1989) constateert een lichte stijging na een aanvankelijke daling (conclusie 8). Vanaf de jaren 70 tot begin 90 is er inderdaad sprake van een lichte stijging van het periodegemiddelde. Echter, in de jaren 90 is het periode gemiddelde in het algemeen (zie figuur 3) weer lager. Het is niet onderzocht in hoeverre dit verschijnsel veroorzaakt kan zijn doordat er in het huidige onderzoek meer meetpunten zijn mee genomen (zie ook Rolf conclusie 10).
- In een ruime meerderheid van de locaties is er sprake van een lager gemiddelde in de periode 1995 – 2000 ten opzichte van de periode 1955 – 1960 (binnen verdroogd gebied 60% en buiten verdroogd gebied 72%).
- In een ruime meerderheid van de locaties is het gemiddelde in de periode 1995 – 2000 ten opzichte van de periode 1985 – 1990 niet significant veranderd (binnen verdroogd gebied 69% en buiten verdroogd gebied 61%).
- In een deel van de locaties is het gemiddelde in de laatste 15 jaar gestegen (binnen verdroogd gebied 18% en buiten verdroogd gebied 10%). Dit kan worden geclassificeerd als recent opgetreden stijging.
- Ondanks dat de grondwaterstand op een aantal locaties is gestegen geldt, gemiddeld over alle locaties, dat de grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 lager is dan in alle voorgaande perioden. De grootste daling gemiddeld over

alle locaties heeft zich voor gedaan vóór 1965. Dit is te zien in de figuren 3, 4 en 5, waar de gemiddelde ontwikkeling van de periodegemiddelden is gegeven. Bij de interpretatie van deze figuren moet worden bedacht dat de grootte van de periodegemiddelden van de individuele locaties een grote rol spelen. Zo kan een grote daling op één locatie het effect van een kleine stijging op een aantal andere locaties compenseren.

- Op basis van de kaarten 2A t/m 2G en kaart 3 kan geconcludeerd worden dat er in het algemeen de laatste 30 jaar sprake is van een stabilisatie op een lager niveau. Vrijwel nergens is het grondwaterniveau terug op het niveau van de periode 1950-1955. Hierbij moet worden bedacht dat er tussen de verschillende meetpunten grote verschillen bestaan.
- Er lijkt een verschil te zijn tussen de locaties binnen en buiten verdroogd gebied. Binnen verdroogd gebied is het percentage hogere gemiddelden hoger en het percentage lagere gemiddelden lager.
- Er zijn regionale verschillen aan te wijzen. In de regio Noord Limburg / Oost Brabant is sprake van een steeds lager wordend periodegemiddelde, terwijl in midden Gelderland, met name in de laatste 20 jaar, een steeds hoger wordende periodegemiddelde is waar te nemen.
- De vorm van de ontwikkeling van het grondwaterniveau is niet uniform verdeeld over Nederland. Er lijken hier en daar regionale patronen aanwezig te zijn. Bijvoorbeeld in Noord-Limburg en Oost Brabant is sprake van een stijging ten opzichte van het begin van de jaren 90, maar het huidige niveau is lager dan in de periode 1985-1990 en eerder.

4.3 Aanbevelingen

- Van een aantal meetlocaties is het verloop redelijk eenvoudig te verklaren, onder meer door verandering van grondwaterwinning in Twente of in de duinen. In het algemeen zijn de oorzaken van een bepaald verloop echter niet zondermeer aan te geven. Het kan voor de verdere analyse van oorzaken en effectiviteit van maatregelen nuttig zijn om die locaties waar een merkwaardig verloop optreedt nader te onderzoeken.
- Eén van de conclusies is dat er grote verschillen bestaan in de vorm van het verloop van het periodegemiddelde. De door Rolf geconstateerde "achtergrondverdroging" (Rolf, 1989; conclusie 11) kan veroorzaakt zijn door diverse oorzaken. De oorzaken van de lagere periodegemiddelde zullen behalve een regionaal karakter (achtergrondverdroging) ook een lokale component hebben. Om de stijging van het grondwaterniveau te

bewerkstelligen zal derhalve een gedetailleerd, lokaal onderzoek plaats moeten vinden.

- Voor die regio's waar een duidelijk patroon te herkennen is, kan een herstelonderzoek zich in eerste instantie richten op regionale oorzaken.
- Ten einde de reikwijdte van de conclusies goed in te kunnen schatten dient te worden onderzocht in hoeverre de meetpunten een representatieve steekproef zijn. Indien dit niet het geval is, verdient het aanbeveling om hier rekening mee te houden.
- Tijdens de analyse zijn de variantie en de autocorrelatie van de vijfjarige perioden bepaald. Het bleek dat de verschillen in variantie en autocorrelatie tussen de perioden aanzienlijk kunnen zijn. Dit zou kunnen inhouden dat niet alleen het gemiddelde van een reeks verandert, maar ook de dynamiek. Dit zou kunnen betekenen dat er ook veranderingen zijn in het seizoensverloop, duurlijnen en de snelheid waarmee de grondwaterstand reageert op neerslag en oppervlaktewaterstanden. Het paste niet binnen het kader van dit onderzoek om veranderingen in de dynamiek te analyseren. Naast mogelijke verschillen in dynamiek als gevolg van veranderingen in het watersysteem, hebben missende waarnemingen ook een invloed op de variantie en de autocorrelatie. Er is niet onderzocht hoe gevoelig de intervallen hiervoor zijn.

5 Referenties

Kremers, A.H.M. en Geer, F.C. van, 1999.

Monitoring Actuele Grondwaterstanden (1998). Het grondwaterstandverloop afgezet tegen de historische grondwaterkarakteristiek voor een aantal meetlocaties in Nederland en in 'verdrogingsgebieden'.

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geo-wetenschappen TNO, rapport nr. GW-99-103 (B), februari 1999.

RIZA/IPO, 1999.

Verdrogingskaart 1998 van Nederland. Landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden en projecten verdrogingsbestrijding.

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, in samenwerking met Interprovinciaal Overleg, IPO-publicatienummer 117, februari 1999.

Rolf, 1989.

Verlaging van de Grondwaterstanden in Nederland. Analyseperiode 1950-1986. Dienst grondwaterverkenning TNO, rapport nr. OS 89 – 15. Uitgave Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad, maart 1989.

Bijlage A Onderzoeksmethode “Verlaging van de Grondwaterstanden in Nederland – analyseperiode 1950 – 1986”

1. Algemeen

Het onderzoek is in belangrijke mate gebaseerd op een statistische modellering van tijdreeksen van de grondwaterstijghoogte. Als resultaat van deze modellering kan een nieuwe tijdreeks worden afgeleid die is gecorrigeerd voor de natuurlijke meteorologische omstandigheden zoals droge en natte jaren. Deze gecorrigeerde tijdreeks wordt ook wel "residu-reeks" genoemd.

Door van deze residureeks een meerjarig voortschrijdend gemiddelde te nemen ontstaat een beeld van de "trend". Deze geeft de veranderingen op meerjarige schaal die niet uit de natuurlijke en toevallige omstandigheden zijn te verklaren en waarvan dus mag worden aangenomen dat ze het gevolg zijn van menselijke ingrepen in de grond- en/of oppervlaktewaterhuishouding.

Deze tijdreeksanalyse is uitgevoerd voor een aantal "representatieve" meetlocaties in Nederland. Na vastlegging van de resultaten op een topografische kaart (1 :400.000) is vervolgens globaal onderzocht of er een ruimtelijke samenhang bestaat met bepaalde typen ingrepen in de grond- en/of oppervlaktewaterhuishouding of met (geo)hydrologische factoren.

Van belang is de invulling van het begrip "representatief". In dit geval dient het meetreeks representatief te zijn voor veranderingen in de grondwaterstand in de ruime omgeving; met andere woorden, de in het meetreeks vastgestelde verandering mag bij voorkeur niet het gevolg zijn van een puur lokale situatie. Om deze reden is de voorkeur gegeven aan:

- meetreeksen van de stijghoogte in het bovenste watervoerende pakket;
- meetreeksen buiten het directe invloedsgebied rond waterwinningen.

Het eerste punt betekent dat bij voorkeur geen landbouwbuizen in de analyse zijn betrokken. Het verloop van het freatisch vlak kan zeer grillig zijn, beïnvloed door lokale bodemomstandigheden, sloten, greppels, drainbuizen, etc.

De ruimtelijke representativiteit van landbouwbuizen (metingen van de freatische grondwaterstand in de deklaag) is in het algemeen kleiner dan die van de stijghoogte in het bovenste watervoerende pakket. De effecten van verdroging vinden echter wel plaats op het niveau van de freatische grondwaterstand. Het is dus uiteindelijk toch deze grondwaterstand waar de interesse naar uitgaat. Een belangrijk uitgangspunt is dat regionaal optredende dalingen zich in eerste instantie manifesteren en verspreiden via de stijghoogte in het bovenste watervoerende

pakket ook als de (lokale) oorzaak een ingreep aan het freatisch vlak betreft, zoals in het geval van een ontwaterd perceel. Ook cumulaties van invloeden van verschillende herkomst manifesteren zich in de eerste plaats in het bovenste pakket. In eerste instantie is dus gezocht naar het ruimtelijke beeld van stijghoogteveranderingen in het bovenste watervoerende pakket.

De exacte diepte van dit pakket is niet voor elke gekozen locatie vastgesteld. Een filterdiepte van 10 à 40 meter geeft in het algemeen een goede representatie van de stijghoogte in het bovenste pakket.

Voor zover er geen sprake is van een overheersende lokale ingreep aan het freatisch vlak (zie onder) is de daling van de freatische grondwaterstand in het algemeen kleiner of gelijk aan de stijghoogtedaling in het bovenste watervoerende pakket. Dit is afhankelijk van de hydraulische eigenschappen van de deklaag en de aanwezigheid van oppervlaktewater. Bij een zandige, goed doorlatende deklaag en ontbrekend oppervlaktewater is de daling van de freatische grondwaterstand nagenoeg identiek aan de stijghoogtedaling. De daling van de grondwaterstand kan alleen groter zijn op plaatsen waar de daling het gevolg is van een plaatselijke ingreep aan maaiveld, zoals op een ontwaterd perceel. In het algemeen gaat het op dergelijke plaatsen dus om een "verdroging" die vanzelfsprekend is.

1.1 Probleemdefinitie

Uitgangspunten bij het onderzoek zijn de volgende:

Het onderzoek is gericht op de analyse van de grondwaterstand/ grondwater stijghoogte, als primaire variabelen in het verdrogingsproces. Afgeleide processen en toestanden zoals kwel en watersamenstelling zijn niet in het onderzoek betrokken. Bij de analyse wordt uitgegaan van tijdreeksen zoals die beschikbaar zijn bij het Archief van Grondwaterstanden.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot de hogere gronden in Oost-, Midden- en Zuid-Nederland ("Hoog-Nederland"). Voor het lage deel van Nederland is verondersteld dat het optreden van verdroging overwegend wordt bepaald door veranderingen in de lokale waterhuishoudkundige randvoorwaarden zoals peilbeheer. In die gebieden speelt de beïnvloeding van kwel- en infiltratiestromen een veel grotere rol dan de verandering van de grondwaterstand.

Het onderzoek heeft een algemeen, landelijk karakter. Als een van de resultaten moet een overzichtskaart worden geleverd.

De ruimtelijke representativiteit van de meetreeksen is van groot belang voor de regionale betekenis van de resultaten. Binnen de gekozen werkwijze wordt op verschillende manieren aandacht gegeven aan die representativiteit. Een voorbeeld

hiervan is dat in de onmiddellijke omgeving van een bekende ingreep zoals een grotere grondwaterwinplaats bij voorkeur geen meetreeksen onderzocht worden.

Het onderzoek naar de belangrijkste oorzaken kan op deze schaal niet anders dan globaal en indicatief zijn. Op voorhand is daarom afgezien van een kwantitatieve aanpak. Bij het onderzoek fase 11 (casestudie Eindhoven) is gebleken dat zelfs op lokale schaal kwantificering van oorzaken moeilijk is en in elk geval zeer intensieve studie vereist.

Er vindt afstemming plaats met ander (verdrogings)onderzoek; in de eerste plaats met het project "Verdroging van natuur en landschap in Nederland" (IVM-VU, CML, RIN, DGV-TNO). De gehanteerde indeling van Nederland in ecohydrologische districten (hoofdstuk 3.3) is gemeenschappelijk voor beide onderzoeken ontwikkeld. Hetzelfde geldt in zekere zin ook voor de inventarisatie van gegevens van ingrepen zoals de grondwaterwinning.

Verder is de aanpak van dit onderzoek vooral gebaseerd op de ervaringen van de Fase I en 11.

Tenslotte is gebruik gemaakt van de resultaten van het verdrogingsonderzoek in de provincie Noord-Brabant (Lambert, 1988).

2 Selectie van meetreeksen

Als criteria voor de selectie van meetreeksen uit het Archief van Grondwaterstanden gelden de technische kwaliteit van de meetreeksen, de reekslengte en de representativiteit zoals besproken in de voorgaande paragraaf.

Als basis is uitgegaan van een bestand van ca. 5300 voldoende lange meetreeksen in Nederland waarvan waarnemingen voor 1958 bekend zijn. Na verschillende controle- en selectiestappen bleven voor het te onderzoeken deel van Nederland ca. 600 meetreeksen over van een zodanige technische kwaliteit dat ze in principe bruikbaar zijn voor de tijdreeksanalyse. In het algemeen zijn deze punten over de periode 1955-1986 regelmatig waargenomen en verschoond gebleven van technische defecten. De feitelijke juistheid van de waarnemingen is gecontroleerd bij de tijdreeksmodellering zelf; eventuele waarnemingsfouten zijn in de residu-reeks namelijk beter zichtbaar dan in de oorspronkelijke reeks zoals blijkt uit figuur 3.1. Vooruitlopend op de bespreking van de resultaten is in deze figuur ook reeds het rendement te zien van de tijdreeksmodellering: de oorspronkelijke reeks is duidelijk beïnvloed door perioden met natte of droge jaren. In de gecorrigeerde reeks is deze invloed verdwenen.

Van de ca. 600 reeksen is vervolgens op kaarten aangegeven in welke meetreeksen de stijghoogte vermoedelijk beïnvloed is door grondwaterwinning. Hiertoe is op

kaart 1:250.000 een inschatting gemaakt van de invloedszones van permanente grondwaterwinning in Hoog-Nederland. Een globale versie van deze kaart is gegeven in figuur 3.2. Ter illustratie is een deel van deze kaart (Overijssel) overgenomen in figuur 3.3. In paragraaf 3.3 is nader toegelicht op welke wijze de invloedszones van grondwaterwinning zijn bepaald.

Vervolgens zijn bij voorkeur meetreeksen geselecteerd in gebieden waar op deze grondslag geen invloed is van grondwaterwinning. Rekening houdend met de beoogde dichtheid blijkt dat op deze wijze gemiddeld ongeveer een meetreeks per ecohydrologisch district kan worden gevonden.

In veel delen van Nederland is de invloed van grondwaterwinning op grote schaal merkbaar. Dit is met name het geval in de grotere stuwwallen zoals de Hondsrug, de Holterberg, de Veluwe en de Utrechtse heuvelrug. In deze gebieden moesten dan ook meetreeksen worden gekozen waarvan a priori wordt verwacht dat beïnvloeding door grondwaterwinning is opgetreden.

In totaal zijn via deze procedure 130 meetfilters geselecteerd, waarvan uiteindelijk voor 110 gevallen een tijdreeksanalyse werd uitgevoerd. In de overige gevallen bleek gedurende de analyse dat de kwaliteit van de waarnemingen onvoldoende was of dat tijdreeksmodellering niet mogelijk was vanwege extreme karakteristieken van de tijdreeks.

Hoewel de voorkeur uitging naar filters in het ondiepe watervoerende pakket bleek het in 29 van de 110 gevallen toch nodig om landbouwbuizen of zeer ondiepe peilfilters te selecteren teneinde een voldoende ruimtelijke dichtheid te bereiken. In enkele gevallen zijn landbouwbuizen geselecteerd in de directe omgeving van een (diepere) brandput. Op deze locaties kan dus worden vergeleken in hoeverre de situatie in het bovenste pakket overeenkomt met het freatische water.

Het aantal onderzochte locaties waar a priori een invloed door grondwaterwinning mocht worden verwacht kwam uit op 41.

Het is dus niet gelukt om, bij een gelijkmatige dichtheid, uitsluitend "niet beïnvloede" punten te selecteren. Van de 41 zijn er 6 punten bij met verscheidene filters op verschillende dieptes. In het kader van dit onderzoek zijn daarvan alleen de bovenste filters geanalyseerd.

Bijlage B De methode van transfer/ruis-modellering

Ten geleide

Transfer/ruis-modellering is een statistische methode waarmee het verband wordt gelegd tussen een gegeven tijdreeks (bijvoorbeeld een grondwaterstijghoogtereeks) en één of meer "verklarende" reeksen.

Voor een transfer/ruis-modellering wordt uitgegaan van een stijghoogte reeks met een equidistant meetinterval. In Nederland wordt de stijghoogte vaak twee maal per maand waargenomen, wat overeenkomt met een gemiddeld meetinterval van ca. 15,2 dagen. Deze meetfrequentie wordt meestal als basis-frequentie genomen voor de transfermodellering. De stijghoogte op het tijdstip t wordt genoteerd als h_t , en wordt in de terminologie van de tijdreeksanalyse de 'outputreeks' genoemd. De verklarende reeksen kunnen waarnemingen zijn van gemeten of berekende hydrologische variabelen, zoals bv. neerslag, oppervlaktewaterstanden en winningsdebieten. De verklarende reeksen worden 'inputreeksen' genoemd. Voor de transfer/ruis-modellering moeten de inputreeksen op dezelfde frequentie beschikbaar zijn als de outputreeks. Bij een afwijkende frequentie zal de betreffende inputreeks door interpolatie geconverteerd moeten worden naar een reeks met een overeenkomende basisfrequentie. De waarde van i^{de} inputreeks op het tijdstip t wordt genoteerd als $x_{i,t}$.

Het principe en de werking van transfer/ruis-modellering

Bij de transfer/ruis-modellering wordt de outputreeks h_t gesplitst in een aantal componenten dat te relateren zijn aan de inputreeksen. Het verschil tussen de som van deze componenten en de outputreeks is de residu-reeks (ook wel ruiscomponent of onverklaard deel genoemd). De residu-reeks bevat dus alle variaties in de stijghoogte die niet aan de inputreeksen gerelateerd kunnen worden. Elke component wordt met de corresponderende inputreeks gemodelleerd via een lineair model (een transfermodel). De algemene vorm van een transfermodel is:

$$h_{i,t} = \delta_{i,1} h_{i,t-1} + \delta_{i,2} h_{i,t-2} + \dots + \omega_{i,0} x_{i,t} - \omega_{i,1} x_{i,t-1} - \dots$$

Hierin is:

- $h_{i,t}$ de component van de outputreeks, corresponderende met de i^{de} inputreeks op het tijdstip t .
- $x_{i,t}$ de i^{de} inputreeks op het tijdstip t .
- $\delta_{i,j}$ autoregressieve coëfficiënten
- $\omega_{i,j}$ moving average coëfficiënten

Voor de modellering wordt de residu-reeks beschouwd als een component die wordt veroorzaakt door een niet gemeten, onbekend witte ruis-proces. Dit ruismodel heeft de vorm:

$$n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + \dots + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots$$

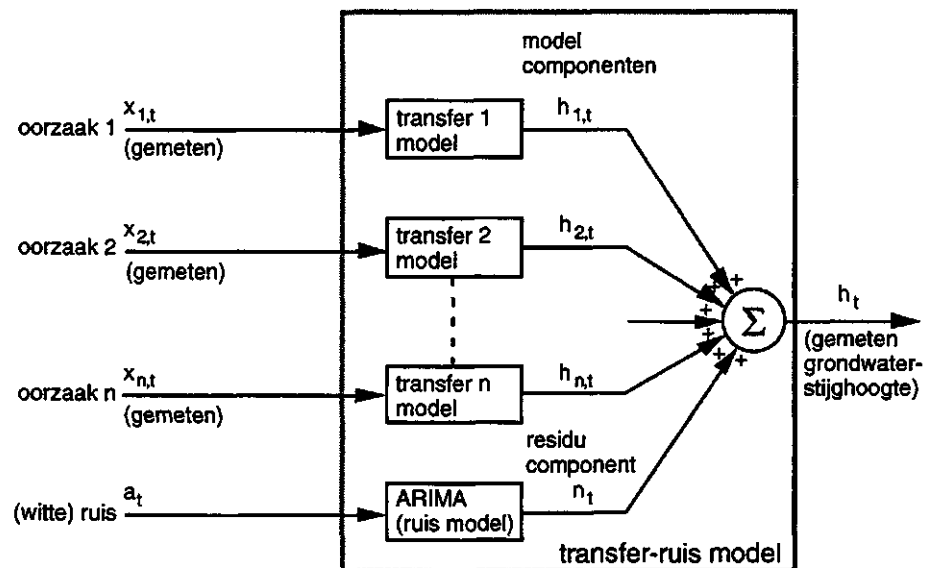
Hierin is:

- n_t de residu-reeks
- a_t de witte ruisreeks
- ϕ_j autoregressieve coëfficiënten
- θ_j moving average coëfficiënten

De te modelleren outputreeks is de som van alle componenten:

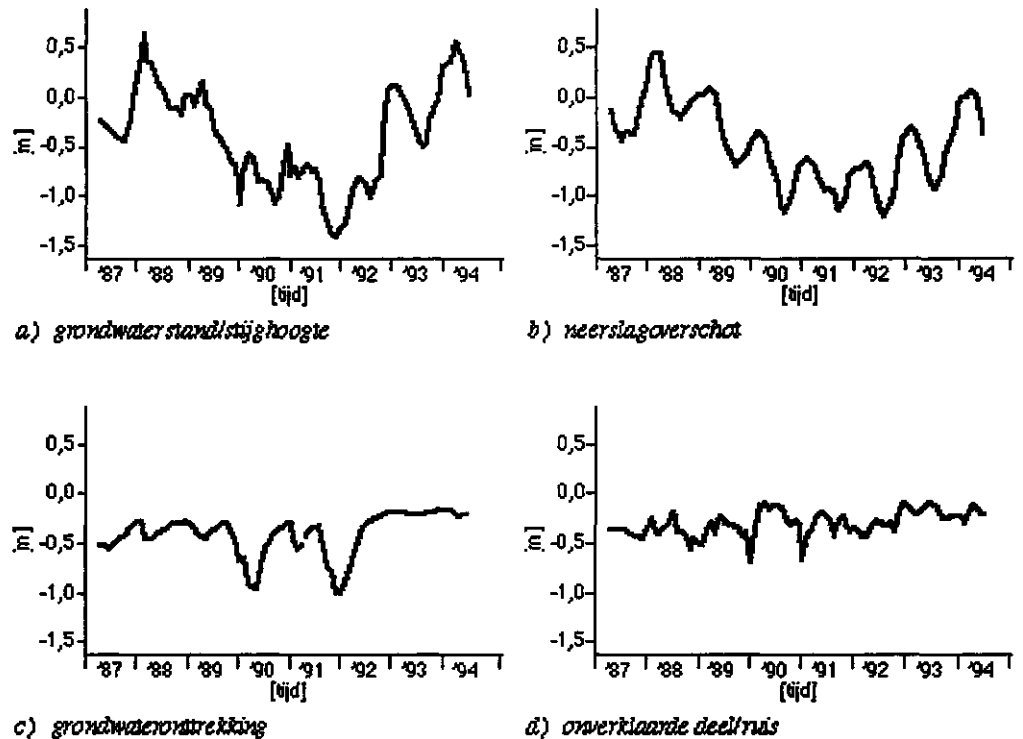
$$h_t = \sum_{i=1}^k h_{i,t} + n_t$$

In veel situaties moet onderscheid worden gemaakt tussen 'natuurlijke' en 'antropogene' oorzaken/verklarende factoren van grondwaterstandreeksen. Neerslag-overschot kan hierbij als de 'natuurlijke' verklarende component van de grondwaterstand worden beschouwd. In figuur A-1 is het principe-schema van de transfer/ruis-modellering weergegeven.



Figuur A-1. Principe-schema van het transfer/ruis-model.

In figuur A-2 is een praktijkvoorbeeld gegeven. In deze figuur is de grondwaterstandreeks gesplitst in een deel dat verklaard wordt door neerslagoverschot en een deel dat verklaard wordt door grondwateronttrekking. Het restdeel dat niet verklaard wordt uit deze bekende invloeden, is terug te vinden in de residu-reeks.



Figuur A-2. *Transfer/ruis-model van een grondwaterstandreeks met neerslagoverschot en grondwateronttrekking als verklarende factoren.*

Het proces van transfer/ruis-modellering

Het feitelijke modelleringsproces bestaat uit de volgende stappen:

1. Selectie van het model (aantal autoregressieve en moving average coëfficiënten) voor elke input-component, aan de hand van auto- en kruiscorrelatie van de input- en outputreeksen.
2. Schatting van de waarde van alle coëfficiënten, volgens een statistische procedure. In de praktijk worden de coëfficiënten van meerdere modelvormen geschat. De schattingsprocedure geeft behalve de waarde van de coëfficiënten ook de corresponderende standaardfout van de schatting (= de standaardafwijking van de coëfficiënt), de correlatie tussen de schattingsfouten van de verschillende coëfficiënten en de innovaties (= de schatting van de witte ruisreeks).
3. Controle of de geschatte modellen voldoen aan de onderliggende aannamen. De belangrijkste hiervan is de controle of het onverklaarde deel ongecorrleerd is. Ook de significantie van de coëfficiënten en de correlatie van de schattingsfouten speelt een rol bij de beoordeling van de modellen.

4. Selectie van het als het best beoordeelde model uit één van de geaccepteerde modellen. In het algemeen zal dat het model zijn met de laagste innovatie variantie en een zo groot mogelijke significantie van de coëfficiënten.

Het vaststellen van significante invloeden

Vaak is het de bedoeling de transfermodellen van de verschillende componenten afzonderlijk te gebruiken. Zo is bij een onttrekking als input-reeks de betreffende component te interpreteren als de verlaging van de stijghoogte op de betreffende locatie. Bij het apart gebruik van de componenten mogen de schattingsfouten van de coëfficiënten in het betreffende transfermodel en die van de andere modellen binnen het transfer/ruis-model niet gecorreleerd zijn. Bij een transfer/ruis-model met als input-reeksen het neerslagoverschot en een onttrekking, kan de onttrekkingscomponent alleen als verlaging worden geïnterpreteerd als de coëfficiënten van het onttrekkingsmodel niet gecorreleerd zijn met die van het neerslagoverschotmodel en het ruismodel.

Behalve de correlatie tussen coëfficiënten van verschillende transfer-modellen zijn ook de standaardafwijkingen en de correlaties van de coëfficiënten binnen hetzelfde model van belang. Deze bepalen namelijk wat de onzekerheid is in het gevonden transfermodel.

Als voorbeeld kan het volgende, meest eenvoudige transfermodel dienen:

$$h_{1,t} = \omega_{1,0} x_{1,t}$$

Bij een standaardfout van bv. 0.2 kunnen de grenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval worden berekend als de waarde van de betreffende coëfficiënt, plus of minus 1.96×0.2 (dit is 0.39).

Bij een coëfficiënt van bv. 1.3 betekent dit dat - met 95% betrouwbaarheid - de werkelijke waarde van de coëfficiënt zal liggen tussen 0.91 en 1.69. Voor het geval de coëfficiënt berekend is op 0.2, kan de werkelijke waarde liggen tussen -0.19 en 0.59. In dit laatste geval verschilt de coëfficiënt niet significant van nul (nul als waarde voor de coëfficiënt valt in het betrouwbaarheidsinterval) en moet worden geconcludeerd dat het model geen significante relatie tussen input- en outputreeks aangeeft.

Bijlage C Betrouwbaarheid en significantie

1. Betrouwbaarheid van de gebruikte periodegemiddelde methode

Het doel van de transfer/ruis modellering is het zoveel mogelijk elimineren van natuurlijke variatie van de stijghoogte. Transfer/ruis modellering gaat uit van een lineaire response van de stijghoogte op het neerslagoverschot. Het is echter niet uit te sluiten dat er in de residu-reeks toch nog variaties aanwezig zijn die door natuurlijke invloeden worden veroorzaakt. Dit kan optreden bij een niet-lineaire respons van de grondwaterstand op het neerslagoverschot en in het bijzonder voor die grondwatersystemen met een lang "geheugen". De wijze waarop de neerslag in een bepaalde periode valt, kan een reden zijn van niet-lineair gedrag.

Voor de perioden van 5 jaar waarover het gemiddelde wordt bepaald, kunnen deze niet-lineaire verschijnselen alleen een probleem opleveren als er een persistentie in zit over meer perioden (dus minimaal 10 jaar). In dit geval kan de methode geen onderscheid maken tussen een structurele verandering, en een langzame variatie door een hoge autocorrelatie. Echter, over een voldoende lange periode is het gemiddelde ook voor reeksen met zg. niet-lineaire-effecten nog steeds constant.

De beoordeling in hoeverre de niet-lineaire effecten de schatting van het gemiddelde verstoren, is niet eenvoudig. In principe zou dat kunnen als de autocorrelatie-structuur bekend is. Deze zal echter geschat moeten worden uit de waarnemingen. Schattingsroutines voor het bepalen van de autocorrelatie gaan ervan uit dat het gemiddelde (eventueel als functie van de tijd) bekend is. Nu is de verandering van het gemiddelde juist wat we zoeken en ontstaat er een vicieuze cirkel. Toch is het wel mogelijk om goede indicaties te krijgen.

Om als "verdacht" aangemerkt te worden (dat wil zeggen een reeks die last zou kunnen hebben van de niet-lineaire effecten) moet de reeks een aantal eigenschappen hebben:

- a) De autocorrelatie in de residu-reeks dient groot te zijn (correlatielengte van minimaal 5 tot 10 jaar). De correlatie wordt bepaald met een beste schatting voor het gemiddelde per 5 jaar. Met andere woorden, de niet-lineaire effecten uiten zich in een geleidelijke variatie en niet in plotselinge sprongen.
- b) De vorm van de variatie vertoont een bepaald karakteristiek patroon. Immers we zijn op zoek naar effecten die door meteorologische omstandigheden zijn veroorzaakt (bv. extreme jaren of een afwijkende vorm van regenval). De vorm van het verloop zal afhankelijk zijn van de geohydrologische gesteldheid (bv. dikte onverzadigde zone, drainage, etc.) maar moet wel stroken met de meteorologische omstandigheden en zal daarom een karakteristiek verloop vertonen. Wellicht is het mogelijk een dergelijk karakteristiek verloop vast te stellen. Een uitgebreid onderzoek hiernaar valt echter buiten het kader van deze studie.

- c) Ook niet-lineaire effecten hebben een constant lange termijn gemiddelde. Dat betekent dat op lange termijn (bijvoorbeeld dan 25 jaar) de variaties van het vijfjarige gemiddelde rond een constante waarde variëren en dat deze variaties in de tijd dezelfde orde van grootte moeten houden.

De mate waarin een trendmatig patroon (daling of stijging) van natuurlijke niet-lineaire invloeden kan worden onderscheiden is afhankelijk van de verhouding tussen de volgende drie punten:

- a. de geohydrologische en waterhuishoudkundige omstandigheden
- b. de lengte van de meetperiode
- c. de grootte van de trend

De geohydrologische en waterhuishoudkundige omstandigheden resulteren in karakteristieke patronen in het grondwaterstandverloop. De belangrijkste karakteristieken zijn de grootte van de variatie (standaard afwijking) en de temporele samenhang (autocorrelatie). In het algemeen kan worden gesteld dat naar mate de standaardafwijking en de autocorrelatie kleiner is, de niet-lineaire effecten een kleinere rol spelen. Een 'polder'-reeks (in een peilbeheerst gebied) met een totale variatie van enkele decimeters en een "geheugen" van enkele weken heeft bijvoorbeeld geen last van niet lineaire effecten, terwijl een 'Veluwe'-reeks met een variatie van enkele meters en een geheugen van meer dan 10 jaar wel gevoelig is voor niet-lineaire effecten. Het geheugen is de periode waarop de reeks nog samenhang vertoont.

Naarmate de totale lengte van de meetperiode groter wordt, worden ook de niet-lineaire effecten minder belangrijk. Immers, op lange termijn hebben de niet-lineaire effecten een gemiddelde gelijk aan nul. Als de grondwaterstand nu structureel is gedaald ten opzichte van de jaren vijftig, zal een lineair effect zich uiten als een variatie om een blijvende verlaging. Deze variatie kan afhankelijk van het geheugen van het grondwatersysteem over een periode van tien tot vijftien jaar lopen. Hierdoor zullen voor kortere reeksen (bv. < 25 jaar) met een lang geheugen (bv. > 10 jaar) de minst betrouwbare uitspraken gedaan kunnen worden.

Het spreekt vanzelf dat een grotere trend makkelijker te detecteren is dan een kleinere trend.

2. Significantie van het verschil in gemiddelde.

Het doel is vast stellen of het gemiddelde van de reeks in één periode van vijf jaar verschilt van het gemiddelde in een andere periode van vijf jaar. Met de term "gemiddelde" wordt hier bedoeld de verwachtingswaarde van het onderliggende proces. Het rekenkundig gemiddelde van de waarnemingen in de periode van vijf jaar is de schatting van deze verwachtingswaarde. Het verschil tussen de

verwachtingswaarde en het rekenkundig gemiddelde is de schattingsfout. De orde van grootte van de schattingsfout wordt gekarakteriseerd met de variantie, en is afhankelijk van de variantie van de reeks en de autocorrelatie. Doorgaans wordt de variantie van de schattingsfout aangeduid als variantie van het gemiddelde. De variantie van het gemiddelde van een reeks x in periode A met n waarnemingen met een meetinterval Δt , een variantie $\sigma_{x,A}^2$ en autocorrelatie functie $\rho(i\Delta t, A)$ kan berekend worden met:

$$\sigma_{\bar{x},A}^2 = \frac{\sigma_{x,A}^2}{n} \left[1 + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) * \rho(i\Delta t, A) \right]$$

De variantie van het verschil in gemiddelde tussen twee perioden (A en B) is gelijk aan de som van de variantie van het gemiddelde in beide perioden. Indien onafhankelijkheid tussen beide perioden kan worden aangenomen geldt:

$$\sigma_{\text{verschil}}^2 = \sigma_{\bar{x},A}^2 + \sigma_{\bar{x},B}^2$$

Indien we aannemen dat de schattingsfouten normaal verdeeld zijn kan het 95% betrouwbaarheidsinterval eenvoudig worden afgeleid volgens:

$$\pm 1.96 * [\sigma_{\bar{x},A}^2 + \sigma_{\bar{x},B}^2]$$

Bijlage D Geselecteerde meetreeksen

Locatie	Provincie	Begin-datum (jijmdd)	Water-voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
12BB004101	Drenthe	530814	1CD+2+3	-8250	
12EB007601		511015	2+3A	-7656	
12EL004901		500427	1CD	864	
12DB010901		511114	1+2+3	?	
17BB000701		410604	1CD+2+3	-5169	
17EB000901		511015	1CD+2+3	-4187	
17AB002801		491129	1+2+3	-4490	
17GB000701		480611	1+2+3	-4230	
17CB000401		471101	1CD+2+3	-5205	
17HB001701		511015	1CD+2+3	-5478	
17HL002301		530228	1+2	1289	
22AB000601		500807	1CD+2AB	-3808	
21FB006001		511114	1B+2	-2874	+
22EB005201		511015	1BCD+2+3	-3296	
21FP006801		700116	1BCD+2AB	-97	+
23AB000901		481130	1+2	-2508	
23AL001001		521114	1+2A	985	

Locatie	Provincie	Begin-datum	Water-voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
16CL001001	Flevoland	670428	We25kv	-259	

Locatie	Provincie	Begin-datum	Water-voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
01HL003101	Friesland	540528	-	-58	
06BP002401		590204	1CD+2	-2515	
11BP001101		590318	1CD	-1115	
11EB002601		540114	2	-7146	
11GL001301		521016	Dr17I	-122	
10HP006001		701001	Dr17I	-850	
11HP002001		530831	1CD+2	-480	+
15EP002601		580806	1B	-656	
16EB000101		510516	1CD+2	-3839	
16BL002401		521014	Dr17I	-166	
16CP000501		461201	1AB	-660	

Locatie	Provincie	Begin-datum	Water-voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
27AL003301	Gelderland	490720	1B	-180	+
26HL003401		480827	1+2AB	275	+
27DB001701		510314	1BC+2AB	-2400	
27CP005401		720107	1	2250	
33BB002001		500428	1+2AB	-3566	
33AP001501		340522	1+2AB	1835	
32EB004401		510714	1C	-3298	
33EL002001		660228	1A	713	+
33FL002201		530428	1BC	562	+
32FB002101		510714	2AB	-4888	
34DB001601		260316	1B	421	
34CL002401		531128	0+1A	1327	
33GB008301		500328	1C	-1874	
33HB002701		500328	1BC	-1223	
34CL008301		710914	Tw16lv	1221	+
40EB006601		500530	1AB	-745	
39EL003001		540315	Be39kv	113	
41CB000701		501214	1BC+2+3	-224	
40DP003801		520214	1+2AB	299	
39CL000701		521013	We25kv	-129	
40HB000701		430827	1C+2+3A	-1002	
45AL001501		531128	Be39kv	5	
46BL000501		521013	1	1574	+

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
07EL000101	Groningen	500605	D	-205	
06FL000601		500507	We25kv	-156	
06HL000901		521215	1+2+3A	-302	+
08CP001401		570521	1	-532	
12BP002901		291025	1CD+2+3	-6292	
13AL003001		780605	1	-24	+
13DB002501		530114	2BC+3	-8081	
13DP000401		720728	1+2A	178	+
31FP002701		550604	1	-775	+
18AL001301		520828	1+2+3	936	

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
46DP008201	Limburg	490915	1+2	235	
52EP003601		550713	1+2	1219	
52BP004701		550614	1B	725	
52BB002001		460930	1+2	953	
52BL008101		520515	D	2594	
52DP003201		521128	1+2	1712	
52GP002501		541028	1	918	
58BB001201		510314	1+2	1180	
58AB001401		510314	1+2	-684	
57FP001201		551020	1	-530	
58DB000701		511112	1	-89	
58DP007201		830614	1	1028	
57HB002501		500504	1A	370	
57HB002701		510628	Nu51lv	471	
58GP004501		550128	1+2	5048	+
58DB009301		550704	1	-1995	+
60BL000201		521130	D	2576	
60CP000701		520813	D	9316	
61FB003901		510714	2	3452	
62BP051401		521109	2	8768	

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
45FB001301	Noord-Brabant	501214	1+2+3	-223	
46AB001101		500530	1+2+3	-1337	
45BP001501		480106	1A	-60	
45EB000201		510314	1AB	-3005	
44CL002401		521014	1	-230	
45HB001001		510314	1+2+3	253	
43HP002701		690101	1AB	-702	
44HB000801		500911	1AB	-3127	
44DW001201		540914	1	?	
45GL003301		600628	Nu51lv	424	+
45GB001801		510316	1A	-1030	
45DL001401		500429	Nu51lv	586	
44GL002601		521014	1AB	416	+
45CL011501		570228	Nu51lv	409	
51BB000301		501228	1AB	-3275	
51AB000601		520128	1AB	-3016	
49EP014201		730115	1	-475	
51FB003301		500828	1B	-3053	
50AP015401		730413	Nu51lv	365	+
50FP011001		731005	Kd31k	835	+
50EB000201		540729	1C	-786	+
51CB000301		520715	1AB	-729	+
50GB001001		511114	2+3	-4275	
52CL003901		700227	Nu51lv	1634	+
51HB002701		500914	1AB	-402	
56FP000701		820212	1BC	2255	+
57AB001701		510314	1AB	2053	
57BP001401		570314	1A	3012	+

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
09BL000601	Noord-Holland	500602	0	-114	+
09DL001101		610526	0	-69	+
14FP001201		311222	We25kv	-590	
14DL001501		520428	We25kv	-309	
14HL000701		710928	We25kv	-359	
19BP001401		130815	We25kvAB	-800	+
19CL004201		390310	D	?	+
19HP007401		580602	We25kvAB	-959	+
25BL001301		500705	D	-273	
25CP029501		691119	1	-3166	
25HL004601		640214	We25kv	-266	+
32AP008801		711114	1	-882	

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
21FL001501	Overijssel	521128	IBCD+2AB	-16	+
21BL001601		520828	We25kv	-219	
22DL000901		511116	1A	609	
21HL000901		500625	1A	106	+
21GL002601		520828	IBC+2AB	-257	
27FB001301		500328	1	-2554	
28BP000701		490613	1B	-124	
28FP011401		760514	1B	1860	+
28EL001401		510630	Tw16lv	1681	
28CB003401		431022	IBC+2+3	-1117	
27HP003501		720127	Tw16lv	559	
28HP004401		510714	1+2+3	-542	
33FB000501		500530	1BC	-1834	
34EL000101		521219	1A	1233	
35AL000701		521013	Dr171	4547	+

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
32AB006201	Utrecht	511015	1	-3320	
32AP007801		560128	-	408	+
31GL000701		500531	We25kv	-176	
31GL003001		681114	We25kv	-297	+
32CL006401		520607	Be39kv	-83	
38FL000101		510416	We25kv	-79	
39EB002001		461126	1	-1692	
39AL000201		510414	1	6	
39BP001901		560119	1	-1064	
39EB000201		530302	2	-5987	
39EP005601		590530	1+2AB	-1650	

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
42EP000901	Zeeland	130827	-	-100	+
42DP004001		130827	-	0	+
48EL004501		500113	-	-99	
49CP000401		670320	-	-1443	
54FL000201		720528	-	-178	+

Locatie	Provincie	Begin- datum	Water- voerende Pakket	Filter- stelling (tov NAP)	Ligging in verdroogd gebied
30EL002401	Zuid-Holland	580314	0	239	+
30GL006801		490120	B	-210	
37EP027401		620101	1	-1981	
37DP013401		650503	We25kvAB	-1190	
38GL000401		500619	We25kv	-200	
37DP007201	630101	We25kvAB	-1697		

Bijlage E Verschil in gemiddelden tussen de periode 1995 – 2000 en de perioden 1985 – 1990 en 1955 – 1960.

In deze bijlage zijn vier tabellen gegeven:

- E1. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 – 2000 en 1985 – 1990, voor reeksen binnen verdroogd gebied
- E2. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 – 2000 en 1985 – 1990, voor reeksen buiten verdroogd gebied
- E3. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 – 2000 en 1955 – 1960, voor reeksen binnen verdroogd gebied
- E4. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 – 2000 en 1955 – 1960, voor reeksen buiten verdroogd gebied

Elke tabel bestaat uit vier kolommen.

1. De eerste kolom is de reeksidentificatie.
2. De tweede kolom geeft het verschil tussen de gemiddelden van de betreffende periode. Een negatief verschil wil zeggen dat de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1995 – 2000 lager is dan de gemiddelde grondwaterstand in de betreffende periode.
3. In de derde kolom is het significantie interval gegeven. Een interval van 7.203 cm wil zeggen dat als het verschil zich binnen het interval van - 7.203 cm en + 7.203 cm bevindt er geen sprake is van een significant verschil.
4. De laatste kolom geeft de score weer. De score -1 betekent significant lager in de periode 1995 – 2000, de score 1 significant hoger en de score 0 niet significant verschillend.

Tabel E1. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1985 – 1990, voor reeksen binnen verdroogd gebied.

reeks	verschil (cm)	interval(cm)	score
06hl000901	-1.468	7.203	0
09dl001101	-6.369	9.231	0
11hp002001	-15.165	18.922	0
13al003001	16.433	14.382	1
13dp000401	3.841	7.320	0
19bp001401	0.837	8.069	0
19cl004201	-3.186	15.645	0
19hp007401	8.118	5.711	1
21fb006001	-43.637	9.393	-1
21fl001501	-12.733	29.678	0
21fp006801	-43.153	19.372	-1
21hl000901	10.848	7.705	1
25hl004601	-5.998	3.774	-1
26hl003401	18.340	19.557	0
27al003301	-7.115	10.234	0
28fp011401	-3.597	20.211	0
30el002401	6.720	14.666	0
31fp002701	3.263	2.985	1
31gl003001	-16.207	17.724	0
32ap007801	9.781	31.560	0
33el002001	5.484	20.624	0
33fl002201	5.854	9.704	0
34cl008301	-13.879	31.601	0
35al000701	-2.664	19.303	0
42dp004001	19.531	15.764	1
42ep000901	13.222	7.940	1
44gl002601	1.370	7.734	0
45gl003301	5.201	19.993	0
46bl000501	-22.670	24.761	0
50ap015401	-13.705	13.909	0
50eb000201	-71.326	24.960	-1
50fp011001	-50.071	24.433	-1
51cb000301	-21.501	22.745	0
52cl003901	5.237	9.704	0
54fl000201	34.111	11.614	1
56fp000701	1.203	8.753	0
57bp001401	-0.512	9.402	0
58db009301	2.560	30.816	0

Tabel E2. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 – 2000 en 1985 – 1990, voor reeksen buiten verdroogd gebied.

reeks	verschil (cm)	interval (cm)	score
01hl003101	11.023	9.462	1
06bp002401	-3.579	9.256	0
06fl000601	-1.256	11.663	0
07el000101	-34.082	15.487	-1
08cp001401	11.544	42.202	0
10hp006001	-15.380	3.580	-1
11bp001101	-3.556	9.973	0
11eb002601	0.239	11.979	0
11gl001301	-16.555	15.498	-1
12bb004101	-2.589	11.040	0
12bp002901	11.619	19.999	0
12db010901	1.938	10.801	0
12eb007601	1.988	9.915	0
12el004901	-15.163	38.085	0
13db002501	6.121	9.272	0
14dl001501	-9.429	9.322	-1
14fp001201	-13.594	11.409	-1
14hl000701	-3.726	13.706	0
15ep002601	-28.044	10.611	-1
16bl002401	2.725	16.547	0
16cl001001	5.283	9.993	0
16cp000501	-16.949	5.763	-1
16eb000101	-4.132	18.005	0
17ab002801	1.092	13.918	0
17bb000701	-12.045	16.594	0
17cb000401	-19.818	17.184	-1
17eb000901	1.302	22.459	0
17gb000701	-20.839	20.011	-1
17hb001701	10.219	21.593	0
17hl002301	11.106	11.954	0
18al001301	-16.277	14.259	-1
21bl001601	23.659	11.229	1
21gl002601	8.414	5.095	1
22ab000601	0.589	14.746	0
22dl000901	2.427	22.433	0
22eb005201	-0.995	14.727	0
23ab000901	-44.049	9.118	-1
23al001001	-5.529	9.964	0
25bl001301	27.200	9.225	1
25cp029501	5.273	3.876	1
27cp005401	7.361	12.593	0
27db001701	19.958	15.070	1
27fb001301	-5.723	21.849	0
27hp003501	1.983	16.908	0
28bp000701	-8.126	16.517	0
28cb003401	-5.305	19.694	0

28el001401	8.636	19.292	0
28hp004401	-14.102	30.767	0
30gl006801	1.408	8.184	0
31gl000701	-17.442	13.991	-1
32ab006201	29.051	12.977	1
32ap008801	0.704	15.839	0
32cl006401	-1.479	6.959	0
32eb004401	-3.747	13.362	0
32fb002101	8.425	21.231	0
33bb002001	11.335	17.083	0
33fb000501	6.985	8.080	0
33gb008301	18.479	30.603	0
33hb002701	0.861	15.254	0
34cl002401	2.090	14.443	0
34db001601	2.915	12.203	0
34el000101	3.530	11.780	0
37dp007201	-6.842	2.374	-1
37dp013401	-4.990	2.589	-1
37ep027401	-3.738	24.902	0
38fl000101	1.435	4.774	0
38gl000401	-11.428	8.036	-1
39al000201	-3.589	13.756	0
39bp001901	-6.600	16.882	0
39cl000701	-5.594	7.435	0
39eb000201	11.100	11.062	1
39eb002001	48.948	34.644	1
39el003001	30.637	6.022	1
40dp003801	-33.262	33.584	0
40eb006601	-66.651	25.125	-1
40hb000701	-7.799	22.239	0
41cb000701	-1.518	13.347	0
43hp002701	-14.533	11.540	-1
44cl002401	11.870	10.636	1
44dw001201	-10.679	12.709	0
44hb000801	-43.970	47.598	0
45bp001501	17.370	37.888	0
45cl011501	-0.038	10.729	0
45dl001401	-13.278	22.489	0
45eb000201	7.062	8.131	0
45fb001301	-5.557	12.908	0
45gb001801	-2.787	10.007	0
45hb001001	-29.997	20.654	-1
46ab001101	-19.577	14.798	-1
46dp008201	-5.223	29.795	0
48el004501	13.852	15.336	0
49cp000401	0.753	6.735	0
49ep014201	-28.641	7.758	-1
50gb001001	6.448	30.626	0
51ab000601	-10.863	15.141	0
51bb000301	-19.714	19.691	-1
51fb003301	-18.676	12.128	-1

51hb002701	-33.286	21.823	-1
52bb002001	-78.772	27.645	-1
52bl008101	-19.404	25.964	0
52bp004701	-11.451	14.649	0
52dp003201	-43.963	22.094	-1
52ep003601	-10.132	9.355	-1
52gp002501	-30.793	30.214	-1
57ab001701	-32.201	22.197	-1
57fp001201	-20.610	31.587	0
57hb002501	-2.001	19.252	0
57hb002701	-12.448	30.230	0
58ab001401	-66.995	54.645	-1
58bb001201	-13.521	37.135	0
58db000701	-46.103	32.842	-1
58dp007201	-10.339	9.527	-1
60bl000201	-20.363	18.985	-1
60cp000701	-119.834	30.582	-1
61fb003901	37.134	30.931	1
62bp051401	-18.615	31.634	0

Tabel E3. Verschil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1955 – 1960, voor reeksen binnen verdroogd gebied.

reeks	verschil (cm)	interval (cm)	score
11hp002001	-47.625	11.314	-1
19bp001401	-1.212	5.155	0
19cl004201	-5.495	8.708	0
19hp007401	-19.271	9.823	-1
21fb006001	-53.630	17.378	-1
27al003301	-18.989	9.714	-1
30el002401	39.360	21.920	1
31fp002701	3.774	2.993	1
32ap007801	-18.806	27.542	0
33fl002201	-37.641	10.361	-1
42ep000901	26.692	7.787	1
50eb000201	-108.006	17.274	-1
51cb000301	-40.202	16.613	-1
57bp001401	-43.535	7.556	-1
58db009301	-53.462	12.131	-1

Tabel E4. *Verskil in gemiddelde tussen de periode 1995 –2000 en 1955 – 1960, voor reeksen buiten verdroogd gebied.*

reeks	verschil (cm)	interval (cm)	score
08cp001401	-34.125	44.141	0
11eb002601	-5.240	10.276	0
11gl001301	-4.590	16.295	0
12bb004101	-37.261	8.445	-1
12bp002901	-23.662	15.386	-1
12db010901	-45.220	12.091	-1
12eb007601	-55.032	8.091	-1
13db002501	-30.741	10.423	-1
14dl001501	-33.236	8.997	-1
14fp001201	-37.223	14.134	-1
15ep002601	-54.747	10.377	-1
16bl002401	-71.059	14.265	-1
16cp000501	-62.572	4.306	-1
16eb000101	-60.176	25.526	-1
17ab002801	-42.254	13.062	-1
17bb000701	-37.490	16.692	-1
17cb000401	-32.882	11.544	-1
17eb000901	-52.210	26.625	-1
17gb000701	-49.226	10.087	-1
17hb001701	-34.980	19.166	-1
17hl002301	-42.482	9.458	-1
22ab000601	-52.324	12.247	-1
22dl000901	-34.463	31.335	-1
22eb005201	-23.416	18.120	-1
23ab000901	-95.272	9.903	-1
23al001001	-17.351	9.392	-1
25bl001301	27.046	5.909	1
27db001701	-6.013	9.363	0
27fb001301	-30.341	16.782	-1
28bp000701	-31.751	14.915	-1
28cb003401	-26.927	19.247	-1
28hp004401	106.237	37.094	1
30gl006801	3.413	12.990	0
32ab006201	-41.341	7.550	-1
32eb004401	-26.630	11.583	-1
32fb002101	-6.818	22.320	0
33bb002001	-19.639	20.869	0
33fb000501	52.646	10.544	1
33gb008301	13.681	27.002	0
33hb002701	-55.213	12.001	-1
34cl002401	-15.444	15.649	0
34db001601	39.419	7.938	1
39bp001901	-37.756	19.424	-1
39eb000201	9.817	9.497	1
39eb002001	28.935	19.231	1
39el003001	27.486	14.710	1
40dp003801	-58.668	28.609	-1

Bijlage E

40eb006601	-40.310	24.881	-1
40hb000701	-43.279	16.266	-1
41cb000701	-22.978	14.863	-1
44dw001201	-27.403	16.157	-1
44hb000801	-37.561	44.838	0
45bp001501	30.375	36.573	0
45cl011501	-1.068	12.941	0
45eb000201	-14.858	12.576	-1
45fb001301	-18.037	11.870	-1
45gb001801	-5.030	11.211	0
45hb001001	-82.828	23.979	-1
46ab001101	-37.004	14.090	-1
46dp008201	-45.149	29.042	-1
48el004501	-6.176	13.524	0
50gb001001	65.424	22.562	1
51ab000601	-47.862	14.470	-1
51bb000301	-51.981	14.571	-1
51fb003301	-18.079	10.655	-1
51hb002701	-53.981	13.537	-1
52bb002001	-102.227	23.968	-1
52bl008101	-45.991	21.315	-1
52bp004701	-41.464	15.074	-1
52dp003201	-66.320	13.865	-1
52ep003601	-26.804	8.240	-1
52gp002501	-115.728	20.163	-1
57ab001701	-75.136	8.808	-1
57fp001201	-41.014	22.497	-1
57hb002501	-24.781	14.468	-1
57hb002701	-32.647	24.849	-1
58ab001401	-97.686	43.980	-1
58bb001201	-79.922	23.842	-1
58db000701	-127.262	29.558	-1
60cp000701	12.308	68.369	0
61fb003901	-24.356	29.261	0
62bp051401	-229.505	38.848	-1