

Nieuwe informatie over de grondwaterdynamiek: wensen en mogelijkheden

Nieuwe informatie over de grondwaterdynamiek: wensen en mogelijkheden

**M. Knotters
T. Hoogland
J. van der Gaast**

Alterra-rapport 548

Alterra, Wageningen, 2003

REFERAAT

Knotters, M., T. Hoogland, J. van der Gaast, 2003. *Nieuwe informatie over de grondwaterdynamiek: wensen en mogelijkheden*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 548. 50 blz. 4 fig.; 23 ref.

Medewerkers van vier verschillende waterschappen hebben in interviews hun wensen kenbaar gemaakt naar nieuwe informatie over de grondwaterdynamiek. De mogelijkheden om aan deze wensen te voldoen in systematische karteringen van de grondwaterdynamiek zijn geanalyseerd. In het Holocene deel van Nederland, met beheerste peilen, is behoefte naar informatie over de relatie tussen grondwaterstand en oppervlaktewaterstand, om het grondwaterafhankelijk peilbeheer af te kunnen stemmen op de risiconormering voor wateroverlast. Een ontwerp van een karteermethodiek is geschetst, waarin de inventarisatie van de opbolling van de grondwaterstand en de schatting van drainageweerstanden een belangrijke rol spelen.

Trefwoorden: grondwatertrap, GHG, GLG, grondwaterafhankelijk peilbeheer, time domain reflectometry, drainageweerstand, opbolling, kwel

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 548. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	17
1.1 Probleemstelling	17
1.2 Achtergrond	18
1.3 Doel	19
1.4 Opbouw	19
2 Opzet van de behoefteninventarisatie	21
3 Resultaten van de behoefteninventarisatie	Error! Bookmark not defined.
3.1 Waterschap Reest en Wieden	23
3.2 Waterschap Noorderzijlvest	26
3.3 Waterschap Westfriesland	28
3.4 Waterschap Rivierenland	30
3.5 Samenvatting van de wensen	31
4 Mogelijkheden voor verzameling van nieuwe Gd-informatie	35
4.1 Nieuwe meetinstrumenten	35
4.1.1 Monitoring van het vochtgehalte van de bovengrond met TDR	35
4.1.2 Monitoring van de bodemtemperatuur	37
4.1.3 Meting van de kwelintensiteit	37
4.1.4 Meting van concentraties macro-ionen	37
4.2 Nieuwe inventarisatiemethoden	38
4.2.1 Nieuwe inventarisatiemethoden voor holoceen Nederland	38
5 Ontwerp karteringsmethodiek Gd in holoceen Nederland	43
5.1 Inleiding	43
5.2 Ontwerp proefkartering	44
6 Conclusies en aanbevelingen	47
Literatuur	49

Woord vooraf

De opdracht tot een inventarisatie van de wensen op het gebied van informatie over de grondwaterdynamiek (Gd) en een verkenning van de mogelijkheden om aan deze wensen te kunnen voldoen is gegeven door LNV-programma 395 'Basis- en kerngegevens bovengrond'. De resultaten van het project dienen als vertrekpunt voor de uitbreiding van de Gd-methodiek.

Het rapport kon niet tot stand komen zonder de medewerking van gebruikers van Gd-informatie. Graag bedanken wij Henk Post, Hans ter Horst en Jacques Esenkbrink van het waterschap Reest en Wieden, Gert Leene van het waterschap Noorderzijlvest, Jan Strijker van het waterschap Westfriesland en Jan van de Braak van het waterschap Rivierenland voor hun bijdrage aan dit onderzoek. Willy de Groot en Erik van den Elsen (Alterra) bedanken wij voor de informatie die zij mij hebben verstrekt over time domain reflectometry en meetinstrumenten voor automatische waarneming van de grondwaterstand. Fokke Brouwer, Rolf Kemmers en John Mulder (Alterra) bedanken wij voor de informatie over de toepassingsmogelijkheden van metingen van het elektrische geleidingsvermogen van water.

Samenvatting

Inleiding

De grondwaterstand wordt sinds het begin van de jaren vijftig systematisch in Nederland waargenomen. De grondwaterstand zelf is vaak echter niet de variabele waar men geïnteresseerd in is; bij veel toepassingen gaat het om variabelen die met de grondwaterstand samenhangen, zoals het vochtgehalte in de wortelzone, temperatuur, aeratiegraad, kwel- en infiltratie-intensiteit, chemische samenstelling van het bodemvocht en dergelijke. Deze variabelen waren in het begin van de jaren vijftig echter moeilijk meetbaar tegen geringe kosten, in tegenstelling tot de grondwaterstand die tegen relatief lage kosten was waar te nemen. Inmiddels zijn er nieuwe meettechnieken ontwikkeld en met nieuwe, kwantitatieve methoden is het mogelijk om de set parameters waarmee de dynamiek van het freatische grondwatersysteem kan worden beschreven uit te breiden. Samengevat is de probleemstelling:

1. om welke parameters is het de gebruikers van informatie van de grondwaterdynamiek feitelijk te doen?
2. kunnen deze parameters op een meer rechtstreekse manier worden gekarteerd?

Het *doel* van dit project is om een overzicht te krijgen van de parameters waar de gebruikers van inventarisaties van de grondwaterdynamiek behoefte aan hebben, en om karteringsmethodiek af te stemmen en te ontwerpen op deze parameters. Eerst wordt de behoefteninventarisatie onder vier waterschappen beschreven en vervolgens wordt een nieuwe karteringsmethodiek geschetst.

Opzet van de behoefteninventarisatie

Met medewerkers van de waterschappen Reest en Wieden, Noorderzijlvest, Westfriesland en Rivierenland werden gesprekken gevoerd op basis van de volgende vijf vragen:

1. Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?
2. Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)
3. Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie? (zoals opbrengstdepressies, vochtgehalte e.d.)
4. Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?
5. Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?

Resultaten van de behoefteninventarisatie

De antwoorden op de vijf vragen zijn als volgt samengevat:

1. *Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?*

- *Forecasting* 3 tot 7 dagen vooruit voorspellen van de grondwaterstand, m.b.v. neerslagradarbeelden. Doel: actueel, grondwaterafhankelijk peilbeheer en doorvertaling in adviezen aan boeren (grondwater-/weerbericht);
- IJking van regionale grondwatermodellen;
- Eenvoudig inzicht verkrijging in het grondwatersysteem;
- Ondersteuning in discussies over mineralenboekhouding, Minas-wetgeving waarbij waterschap betrokken is geraakt;
- Rendementsberekeningen voor inrichtingsmaatregelen;
- Toepassing van HELP-tabellen bij peilbesluiten;
- Vaststellen GGOR (gewenste grond- en oppervlaktewaterregime);
- Landbouwgeschiktheidskaart ten behoeve van Stroomgebiedsvisie Provincie Gelderland.

2. *Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)*

- Gt-klassen, GHG, GLG.

3. *Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie?*

- gras: draagkracht;
- gras: zuurstofhuishouding;
- bouwland: natschade;
- bouwland: antwoord op de vraag "Kan ik oogsten?";
- opbrengstdepressies;
- bewerkbaarheid;
- bodemtemperatuur;
- kwelintensiteit.

4. *Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?*

- diepte waartoe het profiel op veldcapaciteit is;
- vochttoestand toplaag;
- grondwaterregime natuurterreinen;
- waterkwaliteitsparameters;
- samenstelling bodemvocht wortelzone;
- verhouding tussen regenwater en gerijpt grondwater;
- diepte actuele freatische vlak 3-7 dagen vooruit;
- rasterbestanden GxG, gedetailleerde, continue patrooninformatie GxG;
- Chloridegehalte;
- GVG;
- draindieptes;
- droogleggingen;
- relaties grond-oppervlaktewaterafvoer;
- drainageweerstand;

- bodemsoorten, patronen die in detail aansluiten bij de geactualiseerde Gd-informatie;
- slempgevoeligheid bodem;
- kwelintensiteiten;
- Gd-informatie in stedelijke gebieden.

5. Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?

- Bedrijfseconomische risico's van boeren;
- Risico van desinvesteringen;
- Risico van foute inrichtingsbeslissingen;
- Risico van nadelige gevolgen van desinvesteringen of foute inrichtingsbeslissingen;
- Risico van "mist" als gevolg van onzekerheid en daardoor risico van trage besluitvorming.

Mogelijkheden voor verzameling van nieuwe Gd-informatie

Nieuwe meetinstrumenten

Er zijn nieuwe meettechnieken ontwikkeld waarmee het wellicht mogelijk is om de variabelen, die voorheen werden afgeleid van grondwaterstands-informatie, rechtstreeks waar te nemen tegen geringe kosten. Draagkracht, zuurstofhuishouding, bewerkbaarheid en bodemtemperatuur hangen sterk samen met het vochtgehalte van de bovengrond. Uit satellietbeelden kunnen relatieve bodemvochtgehalten (%), verdampingstekorten (mm/week) en neerslagoverschotten (mm/week) worden berekend. De nieuwste instrumenten voor *time domain reflectometry* (TDR) zijn toepasbaar voor de monitoring van het vochtgehalte van de bovengrond. Via een ijkcurve die afhangt van de bodemdichtheid en de samenstelling van de vaste fase kan het bodemvochtgehalte worden afgeleid. Deze zijn door de fabrikant gegeven, of kunnen lokaal worden bepaald, wat zeker raadzaam is als een TDR-instrument voor langere tijd op een locatie wordt geïnstalleerd, vooral in klei- en veengronden. Met behulp van draadloze GSM-telefonie kunnen de data van verschillende locaties en tijdstippen verzameld worden. Van belang zijn de volgende vragen:

1. hoe vaak, op welke locaties en op welke dieptes, volgens welk *design*, moet het bodemvochtgehalte worden gemonitord?
2. wat is de samenhang tussen het bodemvochtgehalte en de grondwaterstand (sturende variabele in het waterbeheer)?
3. met welke gebiedsdekkend beschikbare hulpinformatie hangt het bodemvochtgehalte samen?

De temperatuur van de bovengrond is in principe te monitoren op vergelijkbare wijze als het vochtgehalte van de bovengrond.

Van de vele vormen van kwel die er zijn, werden tijdens de behoefteninventarisatie *brakke kwel* rond het IJsselmeer genoemd, en *kwel van gerijpt grondwater* die vanuit ecologisch oogpunt interessant is (waterschap Reest en Wieden, waterschap Rivierenland). Er is een instrument om zeer lokaal in bodems van waterlopen de kwelintensiteit te meten, met behulp van een ring die in de bodem wordt gestoken en een ballon die zich vult met kwelwater. De methode blijft beperkt tot bodems van waterlopen. In veengronden zou een relatief snel beeld van de kwelintensiteit kunnen

worden verkregen met behulp van prikstokken, die het verticale verloop van het elektrische geleidingsvermogen en de temperatuur meten, waaruit het voorkomen van kwel kan worden afgeleid. In zandgronden en gerijpte kleigronden is deze methode vanwege de hoge indringingsweerstand echter niet bruikbaar. Concluderend kan worden gesteld dat er momenteel geen meetinstrumenten beschikbaar zijn om kwelintensiteit in het veld gebiedsdekkend waar te nemen.

De behoefte naar informatie over kwel hangt samen met het streven naar grondwaterregimes waarbij de planten gevoed worden door grondwater van een bepaalde samenstelling. In plaats van het meten van de kwelintensiteit zou daarom informatie over de grondwatersamenstelling ook direct kunnen worden verzameld. Er is apparatuur ontwikkeld om relatief snel en nauwkeurig de concentraties van macro-ionen in grond- en oppervlaktewater te meten. Met een instrument met ion-selectieve elektroden kunnen temperatuur, elektrische geleidingsvermogen, pH, K^+ , Na^+ , Ca^{++} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- en HCO_3^- worden gemeten met een snelheid van ongeveer tien monsters per uur en een nauwkeurigheid van 90-95 % over het totale meetbereik. Het instrument is draagbaar, en kan ook voor *on line-monitoring* worden geïnstalleerd. Het elektrische geleidingsvermogen (EGV) geeft voor waarden boven de 60 mS/m een nauwkeurige indicatie van het chloridegehalte. EGV-meters kunnen daarom worden gebruikt bij de inventarisatie van brakke en zoute kwel.

Nieuwe inventarisatiemethoden

Tot nu toe bleven de projecten waarbij de Gd-informatie werd geactualiseerd vooral beperkt tot het pleistocene deel van Nederland. Uit de behoefteninventarisatie bleek dat er bij de wensen voor nieuwe Gd-informatie onderscheid moet worden gemaakt tussen het holocene en het pleistocene deel van Nederland, waarbij voor het holocene deel de meeste behoefte is aan nieuwe informatie:

- Cl-gehalten;
- draandieptes;
- drooglegging;
- relatie grond-/oppervlaktewaterafvoer, drainageweerstanden;
- kwelintensiteiten;
- bergingscapaciteit van het bodemprofiel.

Zoals opgemerkt, geeft het elektrische geleidingsvermogen een goede indicatie van het chloridegehalte voor waarden vanaf 60mS/m. Draandieptes zijn in periodes van afvoer en 100 % drooglegging in het veld waar te nemen, evenals de afstand tussen de drains en het drain- en omhullingsmateriaal. Drooglegging, de verticale afstand tussen het maaiveld en het oppervlaktewaterpeil, is te karteren door gebruik te maken van het AHN of 1:10 000-hoogtecijferkaarten en waarnemingen van oppervlaktewaterpeilen.

Er is voor holocene gebieden behoefte aan informatie over de relatie tussen grond- en oppervlaktewaterstand en aan drainageweerstanden, die in deze relatie een belangrijke rol spelen. Drainageweerstanden zijn niet direct meetbaar. Dwarsprofielen van de grondwaterstand in percelen geven echter wel een beeld van de relatie tussen grond- en oppervlaktewaterstand. Deze dwarsprofielen zouden moeten worden gemeten op momenten dat de grondwaterstand hoog is en enigszins stabiel (ca. GHG-niveau) en er afvoer plaatsvindt (de drains 'lopen'). De opname van deze 'opbollingsprofielen' zou dus gelijktijdig met de gerichte opname voor de GHG

plaats kunnen vinden. De omvang en vorm van de opbolling geven een indicatie over de intreeweerstand en de doorlatendheden in de bodem. Deze informatie gaat bij Gd-karteringen doorgaans verloren, omdat het informatie op perceelsniveau is. Belangrijk bij de kartering van opbollingen is nauwkeurige informatie over de NAP-hoogte van maaiveld en meetpunt.

De waarneming van opbollingsprofielen kan uit kostenoogpunt waarschijnlijk niet in elk perceel plaatsvinden. In een proefkartering moet daarom onder meer worden onderzocht of door middel van een stratificatie karakteristieke opbollingsprofielen voor deelgebieden kunnen worden bepaald. De bodemkaart is een denkbare bron van stratificatie, alsmede de top-10-vectorkaart die informatie geeft over de dichtheid en breedte van waterlopen en informatie over drainage die in het veld is verzameld.

Bij de huidige Gd-karteringen wordt gebruik gemaakt van transfer-ruismodellen die de relatie beschrijven tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand, die fysisch kunnen worden geïnterpreteerd. Als het drainageniveau bekend is, dan kunnen de parameters van een gekalibreerd transfer-ruismodel voor de relatie tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand worden vertaald in schattingen van de gemiddelde ondergrondflux (kwel/wegzijging), de drainageweerstand en de effectieve porositeit. Omgekeerd kunnen parameters van het transfer-ruismodel worden geschat uit schattingen van fysische parameters die op basis van veldwaarnemingen en hulpinformatie zijn verkregen. Samengevat moet een nieuwe karteringsmethodiek met de volgende informatie ruimtelijke voorspellingen van drainageweerstanden en kwelfluxen verbeteren:

- 1) drainageweerstanden en gemiddelde kwelfluxen die zijn geschat uit gekalibreerde transfer-ruismodellen, en
- 2) drainageweerstanden en kwelfluxen die zijn geschat uit gerichte veldwaarnemingen van de opbollingen van het freatisch vlak in percelen bij verschillende afvoersituaties.

Ontwerp karteringsmethodiek Gd in holoceen Nederland

Voor een proefkartering moet een studiegebied in een of meerdere waterschappen in holoceen Nederland worden geselecteerd, om inzicht te krijgen in het ontwerp van de kartering en het aantal waarnemingen dat nodig is om nauwkeurige ruimtelijke voorspellingen te kunnen doen. Het ontwerp van de proefkartering voor informatie over de relatie grondwaterstand-oppervlaktewaterstand en het voorkomen van kwel bestaat uit twee onderdelen: een test van de meetopstelling op een proefbedrijf en een proefkartering. Bij de test van de meetopstelling wordt op een proefbedrijf met een experiment bepaald welke diameter, filterdiepte en -lengte grondwaterstandsbuizen het best kunnen hebben om de grondwaterstand nauwkeurig te meten in holocene afzettingen met geringe doorlatendheid. Verder wordt onderzocht welke waarnemingsdichtheid gewenst is om opbollingsprofielen waar te nemen in raaien van grondwaterstandsbuizen die loodrecht op een ontwateringsmiddel zijn geplaatst. De proefkartering in een of enkele waterschappen heeft de volgende onderdelen:

Ontwateringsmiddelen, drainageniveaus

1. De draindiepten en -afstanden worden in het veld gekarteerd;
2. Droogleggingen (drainageniveaus) worden in het veld gekarteerd, en geïnterpoleerd met behulp van het AHN-bestand.

Grondwaterstandswaarnemingen in holocene gebieden

1. Er worden strata onderscheiden, waarvan verwacht wordt dat daarbinnen de relatie grond- oppervlaktewaterstand niet of nauwelijks varieert;
2. In elk stratum wordt in circa twee tot vijf percelen een raai geboord, haaks op een ontwateringsmiddel en op voldoende afstand van andere ontwateringsmiddelen;
3. Bij het selecteren van de locaties van de raaien wordt ernaar gestreefd dat er langjarig gemeten grondwaterstandsbuizen in de buurt zijn, zodat gebruik kan worden gemaakt van fysische parameterwaarden die uit kalibratie van een transfer-ruismodel zijn geschat;
4. In de boorgaten worden automatische meetssystemen, bijvoorbeeld *divers* geïnstalleerd, waarmee hoogfrequente tijdreeksen worden verzameld gedurende periodes van enkele weken met hoge en lage afvoer (respectievelijk GHG- en GLG-situatie).

Aanvullende metingen aan het hydrologische systeem

1. Tegelijkertijd met de grondwaterstandswaarnemingen wordt de oppervlaktewaterstand automatisch geregistreerd;
2. De neerslag wordt lokaal geregistreerd, of uit neerslagradarbeelden lokaal geschat;
3. Het elektrische geleidingsvermogen wordt gemeten, om te kunnen beoordelen of er een verband bestaat tussen het vóórkomen van kwel en de opbolling, met name rond het GLG-tijdstip.

Schatting van drainageweerstanden

Uit de grond- en oppervlaktewaterstandswaarnemingen worden een aantal componenten van de drainageweerstand geschat, met name de horizontale en de combinatie van radiale en intreeweerstand. De verticale drainageweerstand zou kunnen worden geschat uit informatie over doorlatendheden van het substraat. Tezamen vormen de componenten de totale drainageweerstand over de monitoringperiode. Deze totale drainageweerstand hoeft niet tijdsinvariant te zijn, omdat niet op ieder moment alle drainagemiddelen actief behoeven te zijn. Een gemiddelde, tijdsinvariante drainageweerstand die niet afhangt van de grondwaterstand kan worden geschat met behulp van een transfer-ruismodel en het drainageniveau. Deze drainageweerstand kan met behulp van geregionaliseerde tijdreeksmodellen voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand gebiedsdekkend worden voorspeld. In de proefkartering moet op de volgende vragen een antwoord worden gevonden:

1. Gaan we bij ruimtelijke interpolatie van drainageweerstanden gebruik maken van de tijdsinvariante, gemiddelde, drainageweerstand die voortkomt uit fysisch geïnterpreteerde tijdreeksmodellen en zo ja, hoe?

2. Is de ruimtelijke voorspelling van fysisch geïnterpreteerde tijdreeksmodelparameters te verbeteren door gebruik te maken van drainageweerstanden die uit opbollingen zijn geschat en hoe?
3. Samengevat: hoe leggen we een link tussen drainageweerstanden en de gebiedsdekkende beschrijving van de grondwaterdynamiek?

Conclusies en aanbevelingen

Uit de inventarisatie blijkt dat in het holocene deel van Nederland, met beheerste peilen, behoefte is aan informatie over de relatie grondwaterstand-oppevlaktewaterstand, om een afweging te kunnen maken tussen enerzijds een gewenst grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) in het kader van de Waternoodsystematiek en anderzijds de risiconormering in het kader van het waterbeheer in de 21^{ste} eeuw (WB21). De mogelijkheden om de relatie grondwaterstand-oppevlaktewaterstand gebiedsdekkend te karakteriseren moeten worden onderzocht in een proefkartering. Voor het actuele, grondwaterafhankelijke peilbeheer is het van belang om over voorspellingen van de grondwaterstand van ca. 3 tot 7 dagen vooruit te beschikken. Hiervoor zou het geregionaliseerde tijdreeksmodel voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand in combinatie met een Kalman-filteralgoritme verder moeten worden ontwikkeld. Bij de voorspellingen kan gebruik worden gemaakt van neerslagradarbeelden. Ten slotte verdient het aanbeveling om te onderzoeken of met nieuwe, rechtstreekse, meetmethoden nauwkeuriger ruimtelijke voorspellingen kunnen worden verkregen van het bodemvochtgehalte, de bodemtemperatuur en concentraties van macro-ionen in het grondwater dan met indirecte schattingen op basis van o.a. Gd-informatie.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

De grondwaterdynamiek (fluctuatie van de grondwaterstand, afgekort Gd) wordt sinds het begin van de jaren vijftig systematisch geïnventariseerd in Nederland. Lange tijd werd de grondwaterdynamiek beschreven met een classificatie van de hoogste en laagste grondwaterstanden die jaarlijks op kunnen treden. Voorbeelden hiervan zijn de COLN-kaarten (Visser, 1958) en de grondwatertrappen- of Gt-kaarten (Van Heesen, 1970). Aanvankelijk dienden de kaarten voornamelijk specifieke agrarische doeleinden, waarvoor de genoemde classificatie van hoogste en laagste grondwaterstanden goed voldeed. In de loop van de tijd ontstond er behoefte aan meer parameters, zowel vanuit de landbouw als vanuit nieuwe toepassingen op het gebied van vegetatiekunde, ecologie, ecohydrologie en milieukunde. Dat leidde tot een meer complete en kwantitatieve beschrijving van de grondwaterdynamiek, die mogelijk werd gemaakt door nieuwe methoden en het gebruik van computers. Voorbeelden van nieuwe parameters zijn regimecurves en duurlijnen van de grondwaterstand. Maar ook werd er 'nieuwe' informatie weergegeven, zoals kwel- en infiltratieklassen (Finke *et al.*, 1999). De 'kaart' evolueerde tot een geografisch informatiesysteem waarmee gebiedsdekkend de grondwaterdynamiek met een groot scala van parameters kon worden weergegeven. In de oorspronkelijke methode van Gt-kartering speelden waarnemingen van hydromorfe profielkenmerken en veldkenmerken, naast grondwaterstandswaarnemingen een belangrijke rol (Van Heesen, 1970). Bij de Gd-actualisaties (bijvoorbeeld Finke *et al.*, 2002) richt het veldwerk zich vooral op de waarneming van grondwaterstanden, en speelt in de nabewerking tot ruimtelijke voorspellingen tot karakteristieken van de grondwaterdynamiek hulpinformatie een belangrijke rol. Deze hulpinformatie bestaat uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), de Gt-kaart 1 : 50 000, de Landelijke Grondgebruikskaart van Nederland (LGN3+) en het top10-vectorbestand. Verder wordt er bij de nabewerking van statistische technieken zoals tijdreeksmodellering en geostatistische interpolatie gebruik gemaakt. Hierdoor is het mogelijk kwantitatieve informatie te geven over de nauwkeurigheid van voorspellingen van de grondwaterdynamiek.

Met de nieuwe, kwantitatieve methoden is het mogelijk om de set parameters waarmee de dynamiek van het freatische grondwatersysteem kan worden beschreven uit te breiden. De eerste vraag is dus aan welke nieuwe parameters bij de gebruikers behoefte is, zodat de methoden en producten daarop eventueel kunnen worden afgestemd. Een bezinning op de gebruiksdoelen van grondwaterstands-informatie is daarbij echter op zijn plaats. De grondwaterstand zelf is immers meestal niet de variabele waar men geïnteresseerd in is. Uiteindelijk willen de gebruikers informatie over variabelen die met de grondwaterstand samenhangen, zoals het vochtgehalte in de wortelzone, temperatuur, aeratiegraad, kwel- en infiltratie-intensiteit, chemische samenstelling van het bodemvocht en dergelijke (Jansen, 2001; Knotters, 2001). Deze variabelen waren in het begin van de jaren vijftig echter moeilijk meetbaar tegen

geringe kosten, in tegenstelling tot de grondwaterstand die tegen relatief lage kosten was waar te nemen. Intussen hebben de technische ontwikkelingen niet stilgestaan, en wat in het begin van de jaren vijftig nog niet tegen relatief lage kosten in het veld waar te nemen was kan nu misschien wel. De vraag is daarom in welke informatie de gebruikers feitelijk geïnteresseerd zijn. Aansluitend daarop is het de vraag of deze parameters waar uiteindelijk behoefte aan is nog steeds geschat moeten worden via waarnemingen aan de grondwaterstand of inmiddels meer rechtstreeks en nauwkeuriger uit veldwaarnemingen en/of hulpinformatie kunnen worden geschat. Met andere woorden, moeten nieuwe parameters worden gekarteerd door te rekenen, door waar te nemen of door een combinatie van beide? Bij de beantwoording van deze vraag spelen kosten en nauwkeurigheid, tegen de achtergrond van risico's en onzekerheid, een belangrijke rol.

De probleemstelling kan met de volgende twee vragen worden samengevat:

1. om welke parameters is het de gebruikers van informatie van de grondwaterdynamiek feitelijk te doen?
2. kunnen deze parameters op een meer rechtstreekse manier worden gekarteerd?

1.2 Achtergrond

Tijdens de onderzoeksprojecten op het gebied van de grondwaterdynamiek die de afgelopen jaren in het kader van de DWK-programma's 328 "Geodata Groene Ruimte" en 395 "Bodem- en grondwatergegevens" zijn uitgevoerd, zijn nieuwe wensen van de gebruikers ontstaan. Bovendien werden de mogelijkheden die nieuwe methoden bieden steeds bekender. Dit heeft geleid tot het idee om op een systematische manier de behoeften naar nieuwe parameters voor de grondwaterdynamiek te inventariseren, en te komen tot een ontwerp-karteringsmethodiek voor volgende projecten.

De meeste activiteiten op het gebied van gebiedsdekkende hydrologische beschrijvingen vinden plaats in de vorm van deterministisch-fysische modelstudies, waarbij effectvoorspelling een belangrijk doel is. De actuele hydrologische uitgangssituatie wordt hierbij vaak benaderd met de grondwatertrappenkaart, of een inventarisatie van de actuele grondwaterdynamiek, indien deze beschikbaar is. Niet alleen als nulsituatie in scenariostudies, maar ook bij het verifiëren (falsifiëren) alsook het valideren van het model is een betrouwbare beschrijving van de actuele grondwaterdynamiek van groot belang. Verder is informatie over de grondwaterdynamiek van belang bij planningsvraagstukken, zoals het aanwijzen van ecologisch kansrijke gebieden, en bij milieuvraagstukken zoals op het gebied van de uitspoeling van nutriënten. De ontwikkeling van karteringsmethodiek waarmee accurate informatie over de grondwaterdynamiek kan worden verzameld is dus van belang, zeker als het gaat om nieuwe parameters.

1.3 Doel

Het doel van dit project is om een overzicht te krijgen van de parameters waar de gebruikers van inventarisaties van de grondwaterdynamiek behoefte aan hebben, en om karteringsmethodiek af te stemmen en te ontwerpen op deze parameters.

Het project levert een innovatieve bijdrage aan de set methoden waarmee vragen op het gebied van de ruimtelijk-temporele (freatische) grondwaterdynamiek adequaat kunnen worden beantwoord.

1.4 Opbouw

Hoofdstuk 2 beschrijft de wijze waarop de wensen voor nieuwe informatie zijn geïnventariseerd bij vier verschillende waterschappen. Hoofdstuk 3 geeft een opsomming van deze wensen. In hoofdstuk 4 worden de mogelijkheden besproken om aan deze wensen te voldoen. Op basis hiervan worden in hoofdstuk 5 proefkarteringen voorgesteld. Hoofdstuk 6 eindigt met conclusies en aanbevelingen.

2 Opzet van de behoefteninventarisatie

De wensen naar nieuwe informatie over de grondwaterdynamiek zijn geïnventariseerd tijdens gesprekken met medewerkers van vier verschillende waterschappen. De medewerkers houden zich bezig met grondwaterbeheer. De waterschappen zijn gericht gekozen, waarbij is gestreefd naar een vertegenwoordiging van verschillende hydrologische situaties. Het aantal geselecteerde waterschappen is beperkt tot vier, om voldoende tijd te kunnen geven aan de gesprekken. Er is niet gekozen voor een enquête onder alle waterschappen en provincies of een bijeenkomst van vertegenwoordigers uit waterschappen en provincies omdat het belang van een goede gedachtewisseling over wensen en mogelijkheden ten aanzien van nieuwe informatie voorop is gesteld. De volgende waterschappen werden geselecteerd:

1. Waterschap Reest en Wieden (in de provincies Drenthe en Overijssel);
2. Waterschap Noorderzijlvest (in Groningen en Drenthe);
3. Waterschap Westfriesland (Noord-Holland);
4. Waterschap Rivierenland (Gelderland).

Ter voorbereiding van de gesprekken kregen de medewerkers een inleiding op het onderwerp en vijf gespreksvragen toegestuurd. De inleiding die is toegestuurd kwam overeen met de inleiding die in hoofdstuk 1 van dit rapport is gegeven. De volgende gespreksvragen zijn voorgelegd:

1. *Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?*
2. *Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)*
3. *Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie? (zoals opbrengstdepressies, vochtgehalte e.d.)*
4. *Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?*
5. *Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?*

De laatste vraag is van belang voor het ontwerpen van karteringsmethodiek, omdat de kosten van de kartering in verhouding moeten staan tot de 'inkomsten', d.w.z. risico's die de gebruiker van Gd-informatie ermee kan vermijden. Een voorbeeld is de uitkering van schade als gevolg van grondwateronttrekkingen: opbrengstdepressies kunnen nauwkeuriger geschat worden naarmate Gt's beter bekend zijn. Voor de boer neemt het risico van een te lage uitkering af, en voor de uitkerende instantie vermindert het risico van een onterecht hoge uitbetaling.

Omdat alleen het waterschap Reest en Wieden ten tijde van de behoefteninventarisatie beschikte over geactualiseerde Gd-informatie, ging het bij vraag 1 in de gesprekken vooral over toepassingen van de huidige Gt-kaarten en verwachte toepassingen van geactualiseerde Gd-informatie. Bij vraag 2 ging het om dezelfde reden vooral om parameters die tot het huidige Gd-product behoren en waarvan wordt verwacht dat deze gebruikt zullen worden. Vraag 3 was bedoeld om een beeld te krijgen van de informatie waaraan feitelijk behoefte is en die nu indirect

wordt afgeleid van onder andere de Gt- of Gd-informatie. Een voorbeeld hiervan zijn opbrengstdepressiepercentages, die op basis van bodem- en Gt-kaarten in de HELP-tabellen worden opgezocht (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Aan de hand van de gesprekken naar aanleiding van de eerste drie vragen ontstaat een beeld van de toepassingsgebieden van Gd-informatie. Vraag 4 vraagt vervolgens expliciet welke wensen naar nieuwe informatie er zijn. Vraag 5 is bedoeld om inzicht te krijgen in de eisen die worden gesteld aan de nauwkeurigheid die de gewenste nieuwe informatie moet hebben. Om een idee te krijgen van de vereiste nauwkeurigheid wordt bij vraag 5 ingegaan op de risico's die door onderzoek naar de Gd beperkt moeten worden. Van elk gesprek is een verslag gemaakt. Dit is toegestuurd aan de gespreksdeelnemers, zodat zij de mogelijkheid kregen commentaar te leveren en aanvullingen aan te brengen.

3 Resultaten van de behoefteninventarisatie

3.1 Waterschap Reest en Wieden

In het gesprek kwamen alle vijf gespreksvragen aan de orde, maar niet in volgorde. Veel aandacht ging uit naar gespreksvraag 3: *Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie? (zoals opbrengstdepressies, vochtgehalte e.d.)*, en gespreksvraag 4: *Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?* Bij de beantwoording van vraag 3 en 4 wordt onderscheid gemaakt tussen grasland en bouwland. Bij grasland is behoefte aan informatie over de draagkracht en de zuurstofhuishouding. Bij bouwland wordt met onder meer Gd-informatie de natschade bepaald. Antwoord op vraag 'Kan ik oogsten?' is bij bouwland belangrijk. Een belangrijke vraag is tot welke diepte het profiel op veldcapaciteit is. De vochttoestand van de toplaag/bouwvoor/wortelzone is van belang. Satellietbeelden kunnen hierover informatie leveren.

Voor natuurbeheer is het grondwaterstandsregime van belang (Waterlood: GGR, gewenst grondwaterregime). Daarnaast zijn waterkwaliteitsparameters belangrijk. Ook bij natuurbeheer geldt dat de vochttoestand in de wortelzone het belangrijkste is, alsmede de samenstelling van het bodemvocht. De verhouding tussen regenwater en gerijpt grondwater (balans) is belangrijk en vooral of gerijpt grondwater bij de wortels komt. 'Samenvattende' informatie over de herkomst van het water dat bij de plantenwortels komt is belangrijker dan informatie over afzonderlijke concentraties van ionen.

Vervolgens kwam gespreksvraag 1 aan de orde: *Voor welke toepassingen gebruiken jullie GD-informatie?* Een belangrijke toepassing is *forecasting*, d.w.z. 3 tot 7 dagen vooruit voorspellen wat de grondwatersituatie is, m.b.v. neerslagradarbeelden. *Forecasting* is van belang voor het actuele, grondwaterafhankelijke, peilbeheer (anticiperen op trends, realiseren GGR). Daarnaast wil het waterschap *forecasts* doorvertalen in adviezen aan de boeren over beregening, draagkracht e.d. Samenvattend is de volgende vraag voor het waterschap relevant: *Hoe kun je zo goedkoop en betrouwbaar mogelijk het actuele freatische vlak 3-7 dagen vooruit voorspellen?* De mogelijkheid wordt genoemd om satellietbeelden die informatie geven over de vochttoestand van de bovengrond als hulpinformatie te gebruiken bij de *forecasts*. Actuele satellietbeelden zouden kunnen worden gebruikt bij de *update* van de grondwaterstand. De Gd-kaart zou dus informatie moeten bieden over de samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand. Het geregionaliseerde tijdreeksmodel (Knotters, 2001) en de implementatie hiervan in een Kalmanfilteralgoritme (Bierkens *et al.*, 2001; Knotters en Bierkens, 2002) zou voor *forecasting* van de grondwatersituatie kunnen worden gebruikt.

Een ruimtelijk continu beeld wordt belangrijk gevonden. Nauwkeurigheid, precisie en betrouwbaarheid worden vooral in verband gebracht met het detail waarmee een ruimtelijk patroon is weergegeven. Naar aanleiding van gespreksvraag 3 wordt opgemerkt dat de bodemkaart niet het ruimtelijke detail heeft van de Gd-informatie. Er is behoefte aan gedetailleerde, continue, patrooninformatie over de bodem,

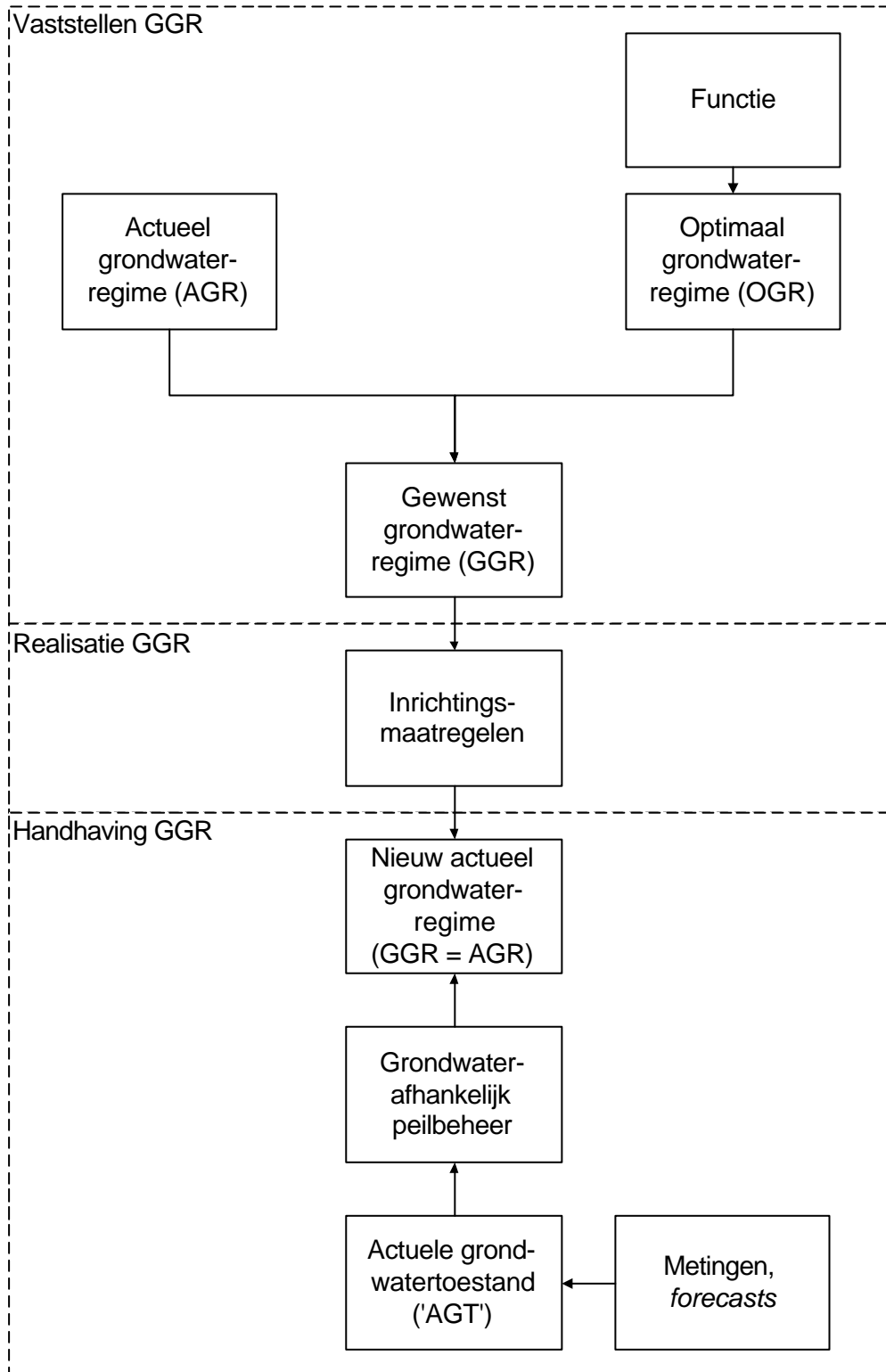
teneinde deze te kunnen combineren met continue Gd-informatie bij de berekening van opbrengstdepressies e.d. In het gesprek wordt vaak de Waternood-systematiek genoemd. Een toelichting van ing. Henk Post bij deze systematiek is ter verduidelijking weergegeven in figuur 1. Het grondwaterafhankelijk peilbeheer is erop gericht het gerealiseerde GGR (nieuwe AGR) te handhaven. Daarvoor moet geanticipeerd worden op trends in de actuele grondwatertoestand ('AGT'). Om deze trends vast te stellen is een dagelijkse *update* van de grondwaterstand nodig en een *forecast* van 3-7 dagen op basis van deze *update* en lokale neerslag- en verdampingsdata. Deze informatie is niet alleen nodig om het grondwaterafhankelijke peilbeheer te ondersteunen, maar ook om boeren te kunnen adviseren over bereikbaarheid, berekening e.d. Het is dus belangrijk dat de *forecasts* van grondwaterstand, lokale neerslag en verdamping worden vertaald in *forecasts* van de vochttoestand van de bovengrond, die kunnen worden vertaald in adviezen aan de boeren.

Voor keileemgronden geldt dat het vochtgehalte van de wortelzone van belang is bij het vaststellen van de AGR en de OGR. Dit vochtgehalte is echter moeilijk te beïnvloeden met peilbeheer. Door deze beperkte sturingsmogelijkheden is informatie over de AGT de toekomstige grondwatersituatie in keileemgronden voor het waterschap minder relevant. Niet alleen in keileemgronden is de freatische grondwaterstand met de huidige meetmethode moeilijk vast te stellen, maar ook in veengronden. Ook in deze veengronden geldt dat met peilbeheer de vochttoestand in de wortelzone moeilijk is te beïnvloeden.

Ten slotte komt gespreksvraag 5 aan de orde: *Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?* Er is interesse naar een rationele afweging tussen de nauwkeurigheid en kosten van grondwaterinformatie enerzijds en de opbrengsten in termen van vermeden risico's anderzijds. Op dit moment wordt echter deze afweging niet gemaakt, waardoor er geen inzicht is in de eisen die moeten worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de parameters waarmee de Gd-informatie eventueel wordt uitgebreid. Een argument dat wordt genoemd om geen gebruik te maken van informatie over betrouwbaarheid of onzekerheid is dat tot nu toe deze informatie geen rol speelde bij rechterlijke uitspraken. De geschatte en voorspelde waarden waren tot nog toe doorslaggevend, de nauwkeurigheid van schattingen en voorspellingen speelde juridisch gezien geen rol.

In het kader van het project 'WB21' (waterbeheer in de 21^{ste} eeuw) worden er zgn. waterkansenkaarten gemaakt. Er wordt over gediscussieerd of en in hoeverre de kansen (mogelijkheden) op deze kaarten zijn uit te drukken als waarschijnlijkheden.

Tijdens het gesprek kwamen enkele onderwerpen aan de orde die niet direct met wensen en mogelijkheden voor nieuwe Gd-informatie te maken hebben, maar die wel in verband staan met de ontwikkeling van Gd-producten. Gd-actualisaties moeten regelmatig plaatsvinden, zo mogelijk eens per 5 à 10 jaar, omdat de praktijk uitwijst dat grondwaterregimes vaak worden gewijzigd. Er wordt gesproken over de verschillen tussen een regionaal model voor de grondwaterstroming en de Gd-kaart. Een regionaal grondwatermodel is vooral geschikt voor het voorspellen van effecten van ingrepen. Informatie over de actuele grondwaterdynamiek is daarbij nodig, zowel om een regionaal grondwatermodel te kunnen verifiëren als om een voorspelling te maken van de grondwaterstanden na een ingreep.



Figuur 1 Samenvatting van de Waternoodsystematiek (naar ing. H. Post, waterschap Reest en Wieden)

3.2 Waterschap Noorderzijlvest

Globaal kan het waterschap in drie delen worden verdeeld: 1) de hoge kleigronden in het noorden; 2) de lage klei- en veengronden in het midden, en 3) de zandgronden met keileem en potklei in de ondergrond in het zuiden. In de waterschapslasten komt deze verdeling terug: 1) een laag tarief voor de gronden met vrije afwatering in het zuiden; 2) een gemiddeld tarief voor gronden die door een boezembemaling worden bemalen (hoge kleigronden in het noorden), en 3) een hoog tarief voor gronden die via zowel een poldergemaal als een boezemgemaal afwateren (de lage gronden).

Veiligheid, dat wil zeggen bescherming tegen wateroverlast, speelt de hoofdrol in het Noorderzijlvest. De zeespiegel is de beperkende factor in de afwateringsmogelijkheden. De toekomstige ontwikkelingen in de zeespiegel zijn erg relevant voor het waterschap. De nadruk op veiligheid brengt met zich mee dat de verdrogingsproblematiek een veel geringere rol speelt dan in bijvoorbeeld de provincie Noord-Brabant of in het waterschap Reest en Wieden. De kleiboeren in het noorden van het waterschap ervaren doorgaans geen droogteproblematiek. De zandboeren in het zuiden herkennen enerzijds wel de droogteproblematiek, maar kunnen anderzijds terughoudend tegenover de invoering van hogere peilen staan.

Ligt elders de nadruk op vernieuwend onderzoek naar grondwaterafhankelijk peilbeheer, in het waterschap Noorderzijlvest gaat men pragmatisch om met bestaande technieken en informatie. Op deze manier wordt getracht om de gewenste grondwaterregimes zoveel mogelijk te realiseren, gegeven de nadruk van het waterschap op het voorkómen van wateroverlast en de strijd met de zee.

1. Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?

In het waterschap Noorderzijlvest wordt de methode 'Doeland' toegepast. Doeland staat voor doelrealisatie landbouw. Het is ontworpen door DLG-Groningen, de waterschappen Hunze en Aa's en Noorderzijlvest en Geon (Remy van Oosterhoudt). Doeland wordt op dit moment (2002) geïmplementeerd in het Waternoodinstrumentarium. Doeland is feitelijk een verfijning van de HELP-tabellen. Door de uitvoer van een grondwatermodel (Triwaco) na te bewerken, worden in combinatie met bouwplan en bodemtypen opbrengstdepressies berekend. Per combinatie van bodemtype en bouwplan is er in Doeland een tabel waarin de depressiepercentages zijn uitgezet tegen GHG en GLG. Van een aantal cellen uit deze tabel is op basis van onderzoek dat voor de HELP-tabellen is uitgevoerd een relatief nauwkeurige schatting van het depressiepercentage bekend. Daartussen kan worden geïnterpoleerd. Er is echter ook een gebied in de tabellen waarin alleen door extrapolatie percentages te schatten zijn. In het kader van de ontwikkeling van het Waternoodinstrumentarium worden de delen die alleen met extrapolatie zijn te vullen, verder ingevuld met aanvullende informatie die mede is gefundeerd op de HELP-tabellen. Dit is geïllustreerd in figuur 2. Voor Doeland is digitale bodem- en Gt-informatie nodig. Cruciaal is gebiedsdekkende, continue informatie van de GxG, die nu met behulp van het grondwatermodel Triwaco wordt verkregen.

De verfijnde HELP-tabel uit Doeland wordt ingebouwd in het nieuwe HELP-instrumentarium van Waternood. Met Doeland wordt het GGOR (gewenste grond- en oppervlaktewaterregime) onderbouwd.

De bestaande Gt-kaarten worden gebruikt voor:

- regionale grondwatermodellering, ijking (Triwaco, zie boven);
- eenvoudig verkrijgen van inzicht in het systeem;
- discussies over de mineralenboekhouding, MINAS-wetgeving, waarbij het waterschap betrokken is.

2. Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie?

Gt-klassen. Alle andere parameters worden gegenereerd met behulp van Triwaco.

3. Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie?

Opbrengstdepressies. Het doel is vnl. om het GGOR te bereiken door inrichting van het gebied, niet door ingrepen in de waterhuishouding en operationeel beheer. Actief peilbeheer zou kunnen worden gezien als het corrigeren van een verkeerde inrichting. De Waternoodsystematiek is nu vnl. op het zandgebied gericht. Binnenkort start een onderzoek naar de vraag in hoeverre de grondwaterstand in het kleigebied van het waterschap Noorderzijlvest van belang is. Dan zal duidelijker worden welke rol informatie over de grondwaterdynamiek in kleigebieden kan spelen.

4. Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?

Er is behoefte aan databestanden, met name rasterbestanden van de GxG. Informatie dus die ruimtelijk zo continu mogelijk is. In het zuidelijke zandgebied is niet zozeer behoefte aan nieuwe parameters, maar aan meer gedetailleerde, continue, patrooninformatie van de GxG. In het noordelijke kleigebied ligt dat anders: hier is naast de GxG ook de waterkwaliteit, met name Cl, in de toekomst van belang. Nu speelt de waterkwaliteit nog geen rol van betekenis. Het detail van de patrooninformatie lijkt hier, althans voor de GxG, minder van belang te zijn dan in het zuidelijke zandgebied. Alleen in natuurgebieden is behoefte aan informatie over de grondwaterkwaliteit. Het Fochteloërveen ligt grotendeels in het waterschap Noorderzijlvest.

Monitoring van de grondwaterstand is nu niet actueel, gezien de nadruk op de hoogwaterproblematiek in het waterschap.

Hn 21 Bouwland													
		GHG											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
GLG	50												
	55												
	60												
	65												
	70												
	75												
	80												
	85												
	90												
	95												
	100												

Figuur 2 Deel van een verfijnde HELP-tabel uit Doeland, op basis van toelichting door ir. Gert Leene. Zwart: cellen waarvoor relatief nauwkeurige depressiepercentages bekend zijn uit HELP-onderzoek. Donkergrijs: gebied waarvoor percentages door middel van interpolaties kunnen worden geschat. Lichtgrijs: gebied waarvoor percentages moeten worden geëxtrapoléerd

5. Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?

- Minder desinvesteringen en minder nadelige gevolgen van desinvesteringen of foute inrichtingsbeslissingen;
- Minder klachten;
- Je kunt een aantal dingen snel ontzenuwen, waardoor er sneller besluiten worden genomen. Door de "mist" die als gevolg van onzekerheid rond onderwerpen hangt kunnen besluiten namelijk telkens worden uitgesteld.

3.3 Waterschap Westfriesland

Het waterschap Westfriesland fuseert met vijf andere waterschappen tot een nieuw waterschap dat het gehele gebied ten noorden van het IJ beslaat. Het waterschap Westfriesland bestaat uit een gebied met grillige bodemkundige en hydrologische patronen. Een aantal vaarpolders zijn in het verleden veranderd in rijpolders, waardoor het percentage open water is afgenomen van 7 naar 3 %. Er wordt uitgewaterd op het IJsselmeer. Er zijn problemen met brakke kwel. Zoet beregeningswater en zoet water voor doorspoeling van verzilte gebieden wordt ingelaten vanuit het IJsselmeer. De beschikbaarheid van voldoende zoet water is onzeker gezien de toekomstplannen voor het IJsselmeer.

1. Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?

- Rendementsberekeningen in verkavelingen (DLG);
- Toepassing van de HELP-tabellen voor peilbesluiten (pré-GGOR/Waternood);
- Vaststellen GGOR (nieuwe generatie peilbesluiten, toepassing Waternoodssystematiek).

In het waterschap Westfriesland is informatie over de draandieptes minstens zo relevant als de Gt. Het is van belang dat de Gt-informatie ruimtelijk gedetailleerd is. De vraag is in hoeverre grondwaterafhankelijk peilbeheer toepasbaar is in het waterschap, gezien het grote belang dat aan veiligheid (bescherming tegen wateroverlast) wordt gehecht. Als veiligheid niet kan worden gegarandeerd kan het GGOR vanuit bestuurlijk oogpunt niet gerealiseerd worden.

2. Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)
Er is in het waterschap Westfriesland nog geen geactualiseerde Gd-kaart. De Gt-klassen van de bestaande Gt-kaarten (1:50000 en groter voor zover beschikbaar voor landinrichtingsprojecten) worden gebruikt.

3. Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie?
Opbrengstdepressies, landbouwkundige rendementen op basis van de HELP-tabellen.

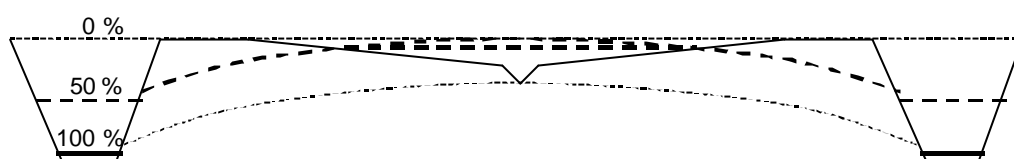
4. Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?

- Naar verwachting wordt in de toekomst de GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) heel belangrijk, omdat deze parameter een cruciale rol speelt in de tegenstelling tussen het belang van landbouw en van natuur. Voor de landbouw is de draagkracht in het voorjaar belangrijk terwijl de natuurbeheerders het water zo lang mogelijk willen vasthouden;
- draandieptes;
- droogleggingen;
- Cl⁻-gehaltenes (i.v.m. brakke kwel);
- relaties tussen grond- en oppervlaktewaterafvoer, drainageweerstanden etc.;
- bodemsoorten, met name slempgevoeligheid is belangrijk in verband met wateroverlast. Het oppervlakte open water is afgenomen van 7 naar 3 %. In het verleden werd aangenomen dat de afname van de openwaterberging werd gecompenseerd door toename van berging in de bodem; de peilen waren immers verlaagd. Door verslemping komt het regenwater echter niet in de bodem maar rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht. In 1995 en tot twee maal toe in 1998 heeft dit tot wateroverlast met (dreigende) inundaties geleid. De geringe infiltratiecapaciteit van de bodem viel lange tijd niet op omdat zich geen hoge neerslagpieken voordeden.

5. Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?

Er wordt niet gedacht in termen van risico's, ondanks het feit dat de veiligheid een belangrijke rol speelt in het waterschap. De indruk bestaat dat nauwkeuriger informatie over de Gd niet zoveel oplevert, omdat de boeren de Gd-situatie zelf kunnen beïnvloeden. Zoals gezegd is het ruimtelijk detail van de informatie wel belangrijk. Met name peilvakgrenzen moeten in het patroon tot uiting komen en mogen dus niet worden weggegeneraliseerd. Er zijn veel kleine peilvakken in het waterschap, waardoor een hoog detail vereist is.

Van groot belang is de schatting van de kans op falen bij inundatie, in verband met de normering van de Unie van Waterschappen en de Stroomgebiedsvisies. Kennis over de relatie tussen oppervlaktewaterafvoer en grondwaterafvoer is hierbij erg belangrijk en schiet momenteel te kort. Er werd gedacht dat de inundatieproblemen zich voordeden als de drooglegging met 100 % terugliep. De problemen treden echter al in de perceelsmiddens op bij een afname van de drooglegging met 50 %, zoals geïllustreerd is in figuur 3. Als de inundatieproblemen zich al bij 50 % afname van de drooglegging voordoen, dan doet het traject 50-100 % afname er niet meer zo toe. Dat kan betekenen dat dit traject kan worden benut voor oppervlaktewaterberging zonder dat dit veel extra gevolgen heeft voor inundaties.



Figuur 3 Afname van de drooglegging met 50 en 100 %, gevolgen voor inundatie

3.4 Waterschap Rivierenland

Het waterschap Rivierenland is ontstaan door de fusie van het polderdistrict Betuwe en het polderdistrict Groot Maas en Waal. Het waterschap Rivierenland bestaat uit een groot deel van het Gelderse rivierengebied en het Rijk van Nijmegen met stuwwallen en rivierduinen. Er is geen geactualiseerde Gd-kaart van het waterschap of een deel ervan. Een AHN-bestand komt binnenkort beschikbaar.

1. Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?

Omdat er geen Gd-kaart is, heeft deze vraag uitsluitend betrekking op de Gt's zoals deze is weergegeven op de bodemkaarten die op diverse schalen beschikbaar zijn voor het gehele waterschap of delen. De Gt's worden heel summier gebruikt. Veel aandacht gaat momenteel nog uit naar het oppervlaktewaterbeheer. De Gt-kaarten zijn recent gebruikt bij de vervaardiging van een landbouwgeschiktheidskaart die onderdeel is van de Stroomgebiedsvisie voor de provincie Gelderland. Met behulp van de Gt-kaarten zijn de draagkracht, bodemtemperatuur, bewerkbaarheid e.d. geschat. In het overleg met natuurbeheerders over natuurdoeltypen wordt gebruik gemaakt van Gt-kaarten. In 2003 wordt Gd-informatie belangrijk als getracht wordt het GGOR te realiseren met nieuwe peilbesluiten (grondwaterafhankelijk peilbeheer). Ook voor inrichtingsmaatregelen is Gd-informatie van belang (zie bijvoorbeeld de Stroomgebiedsvisie).

2. *Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)*
Deze vraag is niet zo van toepassing, omdat de Gt-kaarten worden gebruikt. Duurlijnen worden hier niet toegepast, wel GHG en GLG.

3. *Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie?*

Bij vraag 1 zijn al genoemd draagkracht, bewerkbaarheid en bodemtemperatuur. Toegevoegd kan nog worden kwelintensiteit, die modelmatig als 'sluitpost' wordt geschat. Monitoring van de grondwaterstand wordt steeds belangrijker in verband met het evalueren van het effect van antiverdrogingsmaatregelen.

4. *Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?*

Deze vraag is niet zonder meer te beantwoorden, omdat er eerst een duidelijk beeld moet zijn van wat er kan met bijvoorbeeld *remote sensing* en *time domain reflectometry*. Er is belangstelling voor methoden om kwelintensiteiten te meten. Ook is er belangstelling naar Gd-informatie voor de stedelijke gebieden. Het waterschap wil het peilbeheer ook in stedelijke gebieden uitvoeren. Gemeenten zijn alleen verantwoordelijk voor ontwatering en niet voor het peilbeheer. Oppervlaktewater-peilbeheer heeft gevolgen voor de grondwaterstand, dus het waterschap heeft behoefte aan informatie over de grondwaterstand in stedelijke gebieden.

Kennis over de relatie tussen grond- en oppervlaktewater is erg belangrijk. Hier ligt een belangrijk beslissingsprobleem: kortere tijd een hoog percentage van de drooglegging benutten voor oppervlaktewaterberging of langere tijd een laag percentage. Ergens moet er een optimum liggen.

5. *Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?*

Het risico dat een boer nadeel ondervindt als gevolg van beheers- en inrichtingsmaatregelen neemt af, als met behulp van gedetailleerdere Gd-informatie opbrengstdepressies worden berekend voor de evaluatie van deze maatregelen. Dit is uiteengezet door Knotters *et al.* (2002). Naarmate de patrooninformatie gedetailleerder is, neemt het risico af dat schades worden onderschat of meer-opbrengsten worden overschat, omdat fouten als gevolg van kaartonzuiverheden zich binnen de oppervlaktes van bedrijven zullen uitmiddelen.

3.5 Samenvatting van de wensen

1. *Voor welke toepassingen gebruiken jullie Gd-informatie?*

- *Forecasting*: 3 tot 7 dagen vooruit voorspellen van de grondwaterstand, m.b.v. neerslagradarbeelden. Doel: actueel, grondwaterafhankelijk peilbeheer en doorvertaling in adviezen aan boeren (grondwater-/weerbericht);
- IJking van regionale grondwatermodellen;
- Eenvoudig inzicht verkrijging in het grondwatersysteem;
- Ondersteuning in discussies over mineralenboekhouding, Minas-wetgeving waarbij waterschap betrokken is geraakt;

- Rendementsberekeningen voor inrichtingsmaatregelen;
 - Toepassing van HELP-tabellen bij peilbesluiten;
 - Vaststellen GGOR (gewenste grond- en oppervlaktewaterregime);
 - Landbouwgeschiktheidskaart ten behoeve van Stroomgebiedsvisie Provincie Gelderland.
2. *Welke parameters uit de huidige Gd-informatie gebruiken jullie? (zoals GHG, GLG, duurlijn)*
- Gt-klassen, GHG, GLG.
3. *Welke parameters schatten/herleiden jullie (mede) op basis van de Gd-informatie?*
- gras: draagkracht;
 - gras: zuurstofhuishouding;
 - bouwland: natschade;
 - bouwland: antwoord op de vraag "Kan ik oogsten?";
 - opbrengstdepressies;
 - bewerkbaarheid;
 - bodemtemperatuur;
 - kwelintensiteit.
4. *Van welke parameters die verband houden met het freatische grondwater zouden jullie graag kwantitatieve, gebiedsdekkende informatie willen hebben?*
- diepte waartoe het profiel op veldcapaciteit is;
 - vochttoestand toplaag;
 - grondwaterregime natuurterreinen;
 - waterkwaliteitsparameters;
 - samenstelling bodemvocht wortelzone;
 - verhouding tussen regenwater en gerijpt grondwater;
 - diepte actuele freatische vlak 3-7 dagen vooruit;
 - rasterbestanden GxG, gedetailleerde, continue patrooninformatie GxG;
 - Chloridegehalte;
 - GVG;
 - draandieptes;
 - droogleggingen;
 - relaties grond-oppervlaktewaterafvoer;
 - drainageweerstanden;
 - bodemsoorten, patronen die in detail aansluiten bij de geactualiseerde Gd-informatie;
 - slempgevoeligheid bodem;
 - kwelintensiteiten;
 - Gd-informatie in stedelijke gebieden.

5. *Welke risico's nemen af naarmate de nauwkeurigheid van Gd-informatie (bestaand en nieuw) toeneemt?*

- Bedrijfseconomische risico's van boeren;
- Risico van desinvesteringen;
- Risico van foute inrichtingsbeslissingen;
- Risico van nadelige gevolgen van desinvesteringen of foute inrichtingsbeslissingen;
- Risico van "mist" als gevolg van onzekerheid en daardoor risico van trage besluitvorming.

4 Mogelijkheden voor verzameling van nieuwe Gd-informatie

4.1 Nieuwe meetinstrumenten

Zoals gesteld in hoofdstuk 1, werd in het begin van de jaren vijftig de grondwaterstand beschouwd als een aantrekkelijke variabele, omdat die tegen relatief geringe kosten meetbaar was, en verband hield met variabelen die slechts tegen hoge kosten waren waar te nemen. Inmiddels zijn er nieuwe meettechnieken ontwikkeld waarmee het wellicht mogelijk is om de variabelen, die voorheen werden afgeleid van grondwaterstands-informatie, rechtstreeks waar te nemen tegen geringe kosten. In hoofdstuk 3 is bij de antwoorden op vraag 3 een opsomming gegeven van variabelen die worden afgeleid van Gd-informatie:

1. gras: draagkracht;
2. gras: zuurstofhuishouding;
3. bouwland: natschade;
4. bouwland: antwoord op de vraag "Kan ik oogsten?";
5. opbrengstdepressies;
6. bewerkbaarheid;
7. bodemtemperatuur;
8. kwelintensiteit.

4.1.1 Monitoring van het vochtgehalte van de bovengrond met TDR

Draagkracht, zuurstofhuishouding, bewerkbaarheid en bodemtemperatuur hangen sterk samen met het vochtgehalte van de bovengrond. Uit satellietbeelden kunnen relatieve bodemvochtgehalten (%), verdampingstekorten (mm/week) en neerslagoverschotten (mm/week) worden berekend. Knotters *et al.* (2001) gebruikten deze informatie bij de ruimtelijke interpolatie van grondwaterstanden in de provincie Gelderland. Zij concludeerden dat satellietbeelden niet bruikbaar zijn bij de ruimtelijke interpolatie van grondwaterstanden in de provincie Gelderland, ongeacht de datum waarop de grondwaterstand, de relatieve bodemvochtgehalten, verdampingstekorten en neerslagoverschotten bepaald zijn. Er blijkt nauwelijks samenhang te zijn tussen de grondwaterstand en de variabelen die van de satellietbeelden zijn afgeleid. Dit kan het volgende betekenen:

1. De veronderstelling dat de grondwaterstand samenhangt met het vochtgehalte van de bovengrond is onjuist of onvoldoende gespecificeerd;
2. De veronderstelling dat de grondwaterstand samenhangt met het vochtgehalte van de bovengrond is juist, maar de satellietbeelden geven een zodanig onnauwkeurige schatting van het vochtgehalte dat deze samenhang nauwelijks uit de data is vast te stellen;
3. Een combinatie van 1 en 2.

Binnen een bepaalde geografisch-hydrologische situatie zal een bepaalde samenhang gelden tussen de grondwaterstand en het vochtgehalte van de bovengrond. In het onderzoek van Knotters *et al.* (2001) zijn op basis van onder meer de bodem- en

grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50 000, vijf geografisch-hydrologische strata onderscheiden in de provincie Gelderland. Het is de vraag of deze indeling specifiek genoeg is om een verband tussen de grondwaterstand en het vochtgehalte van de bovengrond vast te kunnen stellen. In kleinere gebieden dan de provincie Gelderland, die geografisch-hydrologisch gezien homogener zijn, is het wellicht wel mogelijk om een samenhang vast te stellen tussen de grondwaterstand en het vochtgehalte van de bovengrond. Maar ook op kleinere schaal blijft het de vraag of de informatie uit de satellietbeelden wel voldoende nauwkeurig is om een relatie tussen de grondwaterstand en het vochtgehalte van de bovengrond vast te stellen.

De nieuwste instrumenten voor *time domain reflectometry* (TDR) zijn toepasbaar voor de monitoring van het vochtgehalte van de bovengrond (mondelijke informatie van Erik van den Elsen en Willy de Groot, Alterra). Een TDR-instrument bestaat uit twee of drie staafjes die in de grond worden gestoken. Door de staafjes lopen stroompulsjes. De vertraging waarmee de verzonden pulsjes weer worden ontvangen hangt af van de diëlectrische constante van het medium tussen en rond de staafjes. Via een ijkcurve die afhangt van de bodemdichtheid en de samenstelling van de vaste fase kan het bodemvochtgehalte worden afgeleid. De fabrikanten van TDR-apparatuur hanteren ijkcurves die zijn gebaseerd op een gemiddelde samenstelling van de vaste fase van de bodem en een gemiddelde bodemdichtheid. De ijkcurves kunnen echter ook lokaal worden bepaald, hetgeen zeker raadzaam is als een TDR-instrument voor langere tijd op een locatie wordt geïnstalleerd. Met name in klei- en veengronden is deze lokale ijking van belang. Met behulp van draadloze GSM-telefonie kunnen de data van verschillende locaties en tijdstippen verzameld worden. TDR-instrumenten zijn er in verschillende uitvoeringen en een aantal zijn in principe geschikt voor *on line-monitoring* van het vochtgehalte in de bovengrond, zoals de miniatuur-, hand en boorgatsondes die kunnen worden aangesloten op de uitleesapparaten TRIME FM-2¹ en TRIME-FM3¹. De verzameling van de waarnemingen kan met het e-SENSE¹ systeem, waarbij via een GSM-telefoon, een SMS-modem en het internet de data centraal verzameld worden en het proces op afstand kan worden bestuurd.

Van belang zijn de volgende vragen:

1. hoe vaak, op welke locaties en op welke dieptes, volgens welk *design*, moet het bodemvochtgehalte worden gemonitord? Deze vragen komen aan de orde bij het ontwerpen van een monitoringplan;
2. wat is de samenhang tussen het bodemvochtgehalte en de grondwaterstand? De grondwaterstand is immers een sturende variabele in het waterbeheer;
3. met welke gebiedsdekkend beschikbare hulpinformatie hangt het bodemvochtgehalte samen? TDR-instrumenten geven puntinformatie over het bodemvochtgehalte. Bij het ontwerpen van een monitoringplan moet rekening worden gehouden met de eis om over gebiedsdekkende voorspellingen te beschikken. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van hulpinformatie, zoals een bodemkaart, het AHN en satellietbeelden.

¹De vermelding van een handelsnaam heeft als doel technische informatie te verschaffen en betekent niet de ondersteuning van een product.

4.1.2 Monitoring van de bodemtemperatuur

De temperatuur van de bovengrond is in principe te monitoren op vergelijkbare wijze als het vochtgehalte van de bovengrond (4.1.1). Met behulp van draadloze GSM-telefonie kunnen de data centraal worden verzameld. De drie onderzoeksvragen die in paragraaf 4.1.1 zijn vermeld ten aanzien van de monitoring van het bodemvochtgehalte doen zich ook voor ten aanzien van bodemtemperatuur.

4.1.3 Meting van de kwelintensiteit

Van de vele vormen van kwel die er zijn, werden de volgende genoemd tijdens de behoefteninventarisatie:

- *brakke kwel*: als gevolg van relatief hoge waterstanden in het IJsselmeer treedt kwelstroming op waarbij brak grondwater naar boven komt (waterschap Westfriesland);
- *kwel van gerijpt grondwater*: grondwater met lange verblijftijd en hoog calciumbicarbonaatgehalte. Deze vorm van kwel is vanuit ecologisch oogpunt interessant (waterschap Reest en Wieden, waterschap Rivierenland).

Zuiderveen Borgesius en Lambrechtse (1981) beschrijven een instrument om de kwel te meten die optreedt in de bodem van een waterloop, gebaseerd op een ring die in de bodem wordt gestoken en een ballon die zich vult met kwelwater. Dit instrument meet zeer lokaal de kwel en is niet toepasbaar om gebiedsdekkend de kwelintensiteit te monitoren. Bovendien blijft de methode beperkt tot bodems van waterlopen. In veengronden zou een relatief snel beeld van de kwelintensiteit kunnen worden verkregen met behulp van zogenaamde prikstokmetingen (Van Wirdum, 1991; Van Wirdum en Joosten, 1997). Met de prikstok kan het verticale verloop van het elektrische geleidingsvermogen en de temperatuur worden gemeten, waaruit het voorkomen van kwel kan worden afgeleid. In zandgronden en gerijpte kleigronden is deze methode vanwege de hoge indringingsweerstand echter niet bruikbaar. Concluderend kan worden gesteld dat er momenteel geen meetinstrumenten beschikbaar zijn om kwelintensiteit in het veld gebiedsdekkend waar te nemen.

4.1.4 Meting van concentraties macro-ionen

De behoefte naar informatie over kwel hangt samen met het streven naar grondwaterregimes waarbij de planten gevoed worden door grondwater van een bepaalde samenstelling. Bij natuurgebieden wordt bijvoorbeeld gestreefd naar voeding door gerijpt grondwater met een hoge basenbezetting, terwijl in landbouwgebieden gestreefd wordt naar de aanvoer van zoet grondwater. In plaats van het meten van de kwelintensiteit zou daarom informatie over de grondwatersamenstelling ook direct kunnen worden verzameld. Er is apparatuur ontwikkeld om relatief snel en nauwkeurig de concentraties van macro-ionen in grond- en oppervlaktewater te meten. Een voorbeeld is het instrument Hydri¹

¹De vermelding van een handelsnaam heeft als doel technische informatie te verschaffen en betekent niet de ondersteuning van een product.

(www.hydrion.nl) met ion-selectieve elektroden, waarmee temperatuur, elektrisch geleidingsvermogen, pH, K^+ , Na^+ , Ca^{++} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- en HCO_3^- kunnen worden gemeten met een snelheid van ongeveer tien monsters per uur en een nauwkeurigheid van 90-95 % over het totale meetbereik. Het instrument is draagbaar en kan dus in het veld worden gebruikt. Ook kan het instrument worden geïnstalleerd voor *on line-monitoring*.

Het elektrische geleidingsvermogen (EGV) geeft voor waarden boven de 60 mS/m een nauwkeurige indicatie van het chloridegehalte. EGV-meters kunnen daarom worden gebruikt bij de inventarisatie van brakke en zoute kwel (mondelijke informatie Rolf Kemmers, Kemmers *et al.*, 1993).

4.2 Nieuwe inventarisatiemethoden

Om te kunnen beantwoorden aan de wensen voor nieuwe Gd-informatie kan het nodig zijn dat nieuwe inventarisatie- en verwerkingsmethoden worden ontwikkeld. Tot nu toe bleven de projecten waarbij de Gd-informatie werd geactualiseerd vooral beperkt tot het pleistocene deel van Nederland. Uit de behoefteninventarisatie bleek dat er bij de wensen voor nieuwe Gd-informatie onderscheid moet worden gemaakt tussen het holocene en het pleistocene deel van Nederland, waarbij voor het holocene deel de meeste behoefte is aan nieuwe informatie. Paragraaf 4.2.1 gaat in op de ontwikkeling van nieuwe methoden voor de inventarisatie van Gd-informatie in het holocene deel van Nederland.

4.2.1 Nieuwe inventarisatiemethoden voor holoceen Nederland

Uit de behoefteninventarisatie blijkt dat in het holocene deel van Nederland behoefte is aan de volgende extra parameters/informatie:

- Cl^- -gehalten;
- draandieptes;
- drooglegging;
- relatie grond-/oppervlaktewaterafvoer, drainageweerstand;
- kwelintensiteiten;
- bergingscapaciteit van het bodemprofiel.

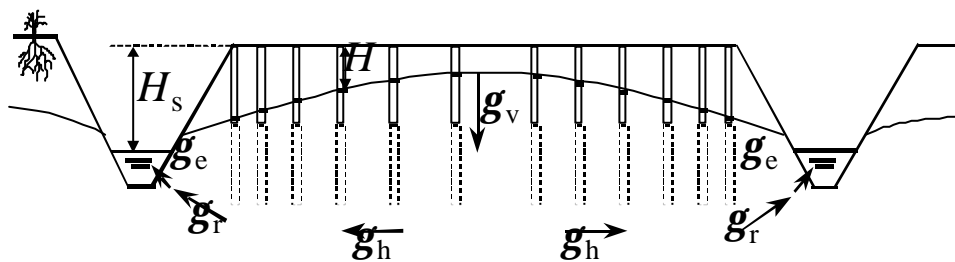
Zoals in paragraaf 4.1.4 is opgemerkt, geeft het elektrische geleidingsvermogen een goede indicatie van het chloridegehalte voor waarden vanaf 60mS/m. Er is in diverse inventarisaties (o.a. Mulder *et al.*, 1992; Kemmers *et al.*, 1993; Mulder en Spoelstra, 1995; Brouwer *et al.*, 2002) ervaring opgedaan met het meten van het elektrische geleidingsvermogen in grond- en oppervlaktewater. In de landinrichtingsprojecten Bergen-Schoorl, Zeevang (Westfriesland) en Schouwen is ervaring opgedaan met gebiedsdekkende kartering van brakke kwel met behulp van het elektrische geleidingsvermogen en bodemkundig-hydrologische informatie (John Mulder, persoonlijke informatie). Deze inventarisaties hadden het karakter van ecohydrologische systeembeschrijvingen, waarbij bodem, hydrologie en vegetatie in onderlinge samenhang werden beschreven.

Draindieptes zijn in periodes van afvoer en 100 % drooglegging in het veld waar te nemen. Niet alleen de dieptes van de drains, maar ook de afstand tussen de drains en het drain- en omhullingsmateriaal kunnen in het veld worden geïnventariseerd.

Onder drooglegging wordt verstaan de verticale afstand tussen het maaiveld en het oppervlaktewaterpeil. De drooglegging is te karteren, door gebruik te maken van het AHN of 1:10 000-hoogtecijferkaarten en waarnemingen van oppervlaktewaterpeilen. Belangrijk is dat hierbij wordt uitgegaan van *waargenomen* peilen en niet van streefpeilen, omdat het inventariserend onderzoek betreft.

Er is voor holocene gebieden behoefte aan informatie over de relatie tussen grond- en oppervlaktewaterstand en aan drainageweerstand, die in deze relatie een belangrijke rol spelen. Drainageweerstand zijn niet direct meetbaar. Dwarsprofielen van de grondwaterstand in percelen geven echter wel een beeld van de relatie tussen grond- en oppervlaktewaterstand. Deze dwarsprofielen zouden moeten worden gemeten op momenten dat de grondwaterstand hoog is en enigszins stabiel (ca. GHG-niveau) en er afvoer plaatsvindt (de drains 'lopen'). De opname van deze 'opbollingsprofielen' zou dus gelijktijdig met de gerichte opname voor de GHG plaats kunnen vinden. De omvang en vorm van de opbolling geven een indicatie over de intreeweerstand en de doorlatendheden in de bodem. Hoe groter de weerstanden en hoe kleiner de doorlatendheden, hoe minder de grondwaterstand te beïnvloeden zal zijn door de oppervlaktewaterstand. In figuur 4 is een opbollingsprofiel schematisch weergegeven. De opbollingsprofielen moeten de informatie bevatten die nodig is om in combinatie met bodeminformatie de relatie vast te stellen tussen grond- en oppervlaktewaterstand. Deze informatie gaat bij Gd-karteringen doorgaans verloren, omdat het informatie op perceelsniveau is.

Belangrijk is dat de maaiveldshoogte en de hoogte van de meetpunten van de grondwaterstand t.o.v. een vaste referentie, bijvoorbeeld NAP, bekend is. De hoogte-informatie uit het AHN-bestand is onvoldoende nauwkeurig om de opbolling van de grondwaterstand in een perceel te beschrijven. Daarom zal de hoogte ter plekke van de raaien moeten worden gewaterpast. Gezien de tijd en kosten die hiermee gemoeid zijn, is dit een belangrijk operationeel aspect.



Figuur 4 Schematische voorstelling van een opbollingsprofiel. H_s : drainageniveau of drooglegging [L]; H : grondwaterstand [L]; g_v : verticale drainageweerstand [T]; g_h : horizontale drainageweerstand [T]; g_r : radiale drainageweerstand [T]; g_e : intreeweerstand [T]

De waarneming van opbollingsprofielen kan uit kosten oogpunt waarschijnlijk niet in elk perceel plaatsvinden. In een proefkartering moet daarom onder meer worden onderzocht of door middel van een stratificatie karakteristieke opbollingsprofielen voor deelgebieden kunnen worden bepaald. De bodemkaart is een denkbare bron van stratificatie, alsmede de top-10-vectorkaart die informatie geeft over de dichtheid en breedte van waterlopen en informatie over drainage die in het veld is verzameld. Bij de huidige Gd-karteringen wordt gebruik gemaakt van transfer-ruismodellen die de relatie beschrijven tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand (zie bijvoorbeeld Finke *et al.*, 2002). Deze modellen kunnen fysisch worden geïnterpreteerd (Knotters, 2001). Als het drainageniveau bekend is, dan kunnen de parameters van een gekalibreerd transfer-ruismodel voor de relatie tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand worden vertaald in schattingen van de gemiddelde ondergrondflux (kwel/wegzijing), de drainageweerstand en de effectieve porositeit. Omgekeerd kunnen parameters van het transfer-ruismodel worden geschat uit schattingen van fysische parameters die op basis van veldwaarnemingen en hulpinformatie zijn verkregen.

Een eenvoudig lineair transfer-ruismodel voor de relatie tussen het neerslagoverschot P en de grondwaterstand H kan met de volgende formules worden weergegeven:

$$H_t = H_t^* + N_t,$$

$$H_t^* = dH_{t-\Delta t}^* + wP_t,$$

$$N_t - c = f(N_{t-\Delta t} - c) + e_t,$$

waarin:

H_t is de grondwaterstand op tijdstip t [L];

P_t is het gemiddelde neerslagoverschot tussen $t - \Delta t$ en t [LT^{-1}];

H_t^* is de *transfer*-component, oftewel het deel van de grondwaterstand H_t dat kan worden verklaard uit het neerslagoverschot P_t [L];

d is de autoregressieve parameter van het transfermodel [-];

w is de *moving average*-parameter van het transfermodel [T];

N_t is de ruiscomponent, oftewel het resterende deel van de grondwaterstand H_t dat *niet* kan worden verklaard uit het neerslagoverschot P_t [L];

f is de autoregressieve parameter van het ruismodel [-];

c is een constante die het gemiddelde niveau weergeeft [L], en

e_t is een fout, die een proces vormt van onafhankelijke en gelijk verdeelde fouten met gemiddelde 0 en variantie s_e^2 [L] (witte ruis).

Dit model is onderdeel van de methodiek voor actualisatie van de grondwaterdynamiek (zie bijvoorbeeld Finke *et al.*, 2002). Hierbij is het neerslagoverschot P_t op dagbasis ingevoerd, dus $\Delta t = 1$ dag. De fysische interpretatie van de parameters van het transfermodel op basis van een gelineariseerde waterbalans voor een bodemkolom is als volgt (Knotters, 2001):

$$\mathbf{d} = e^{-\Delta z / (jg)},$$

$$\mathbf{w} = \mathbf{g}(1 - \mathbf{d}),$$

$$c = \mathbf{g}q_b + H_s,$$

met:

\mathbf{j} = de effectieve porositeit (bergingscoëfficiënt) van de bodem waarin de grondwaterstand fluctueert [-];

\mathbf{g} = de drainageweerstand [T];

q_b = de ondergrondflux [LT^{-1}], en

H_s = het drainageniveau [L].

De termen \mathbf{j} , \mathbf{g} , q_b en H_s worden verondersteld onafhankelijk te zijn van de grondwaterstand H_r , teneinde te voldoen aan een lineaire modelstructuur. Bovendien is verondersteld dat \mathbf{j} , \mathbf{g} , q_b en H_s tijdinvariant zijn.

Een interessante uitdaging voor een nieuwe karteringsmethodiek is om met de fysische basis van transfer-ruismodellen, gerichte veldwaarnemingen en hulpinformatie een nauwkeurig ruimtelijk beeld te krijgen van drainageweerstanden en kwelfluxen. Samengevat houdt deze uitdaging in om met de volgende informatie ruimtelijke voorspellingen van drainageweerstanden en kwelfluxen te verbeteren:

- 1) drainageweerstanden en gemiddelde kwelfluxen die zijn geschat uit gekalibreerde transfer-ruismodellen, en
- 2) drainageweerstanden en kwelfluxen die zijn geschat uit gerichte veldwaarnemingen van de opbollingen van het freatisch vlak in percelen bij verschillende afvoersituaties.

Het volgende hoofdstuk schetst een ontwerp voor de methodiek waarmee de Gd-informatie kan worden toegespitst op de relatie tussen de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand en het voorkomen van kwel in holoceen Nederland.

5 Ontwerp karteringsmethodiek Gd in holoceen Nederland

5.1 Inleiding

Projecten om de Gd te actualiseren vonden tot nu toe voornamelijk in het pleistocene deel van Nederland plaats. Grondwaterbeheerders gebruiken de Gd-informatie bij het grondwaterafhankelijk peilbeheer, volgens de systematiek die ontwikkeld is in het project Waternood. Hierbij wordt gestreefd naar het realiseren van een gewenst grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR). De Projectgroep Waternood De Leijen (2001) geeft een praktische toepassing van de Waternoodsystematiek.

In relatief weinig gebieden in het holocene deel van Nederland is tot nu toe de Gd geactualiseerd. In gebieden met een beheerst peil, waar het holocene deel van Nederland overwegend uit bestaat, is weinig ervaring met grondwaterafhankelijk peilbeheer volgens de Waternoodsystematiek. Het blijkt dat er behoefte is aan meer informatie over de relatie tussen de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand, voordat in peilbeheerste gebieden de Waternoodsystematiek in praktijk kan worden gebracht. Een probleem voor waterbeheerders in holocene gebieden is dat zij bij het realiseren van de GGOR rekening moeten houden met de risiconormering door de Commissie Waterbeheer 21e eeuw (WB21) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000; Unie van Waterschappen, 2002). De mogelijke opzet en inhoud van een normeringsstelsel voor de bescherming tegen wateroverlast is beschreven door Stowa (2001). Hierin wordt een methodiek voorgesteld waarbij voor verschillende vormen van grondgebruik basisnormen worden bepaald. Deze basisnormen geven een maximaal toelaatbare frequentie van wateroverlast voor verschillende vormen van grondgebruik. De basisnormen zijn gebaseerd op de maaiveldshoogte, het grondgebruik, de frequenties van waterstanden en de verhouding tussen schade en kosten van beschermingsmaatregelen.

De Waternoodsystematiek geeft aan alle functies een GGOR. Als de actuele grond- en oppervlaktewaterregimes niet overeenstemmen met de gewenste, dan worden er maatregelen genomen om de GGOR's te realiseren. Het realiseren van de GGOR's leidt tot veranderingen in de dynamiek van watersystemen waardoor risico's van wateroverlast veranderen. De risiconormering is gericht op inundaties en extreem hoge grondwaterstanden als gevolg van extreme neerslag-events, waarbij de afwateringsmiddelen de neerslag niet kunnen afvoeren.

Om GGOR's te kunnen afstemmen op de risiconormering voor wateroverlast (WB21), is inzicht nodig in de relatie tussen grond- en oppervlaktewaterstand. Met name is van belang vanaf welke drooglegging zich inundatieproblemen voordoen als gevolg van extreme neerslag-events. Als bekend is in welke mate inundatierisico's zijn te verkleinen door een diepe drooglegging, dan kan een betere afweging worden gemaakt tussen maatregelen om de GGOR te realiseren, handhaven van oppervlaktewaterberging door diepe drooglegging en vergroting van de maalcapaciteit.

Dit hoofdstuk geeft een ontwerp van een karteringsmethodiek waarmee informatie kan worden gegeven waaraan in holoceen Nederland behoefte is: 1) de relatie tussen de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand, en 2) de waterkwaliteit, met name het voorkomen van brakke kwel. Er moet een studiegebied in een of meerdere waterschappen in holoceen Nederland worden geselecteerd waar de proefkartering moet plaatsvinden. Deze kartering levert het waterschap naast Gd-informatie extra informatie op over de relatie grondwaterstand-oppervlaktewaterstand en over het voorkomen van kwel. Voor Alterra geeft de proefkartering informatie over het ontwerp van de kartering en het aantal waarnemingen dat nodig is om nauwkeurige ruimtelijke voorspellingen te kunnen doen.

5.2 Ontwerp proefkartering

Het ontwerp van de proefkartering voor informatie over de relatie grondwaterstand-oppervlaktewaterstand en het voorkomen van kwel is in twee onderdelen gesplitst: een test van de meetopstelling op een proefbedrijf en een proefkartering.

Onderdeel 1: test van de meetopstelling

Op een proefbedrijf wordt een experiment uitgevoerd om de meetapparatuur en de meetopstelling te testen. De grondwaterstand wordt waargenomen in grondwaterstandsbuizen met verschillende diameters, filterdiepten en -lengtes, om te kunnen bepalen wat het best kan worden toegepast om in holocene afzettingen met geringe doorlatendheid de grondwaterdynamiek te beschrijven in relatie tot neerslag-*events* en het oppervlaktepeil. In de proefopstelling wordt onderzocht welke waarnemingsdichtheid in een raai loodrecht op het ontwateringsmiddel nodig is om een opbollingsprofiel te kunnen beschrijven en de drainageweerstand te kunnen schatten.

Onderdeel 2: proefkartering

In de proefkartering wordt het volgende geïnventariseerd:

Ontwateringsmiddelen, drainageniveaus

1. De draandieptes en -afstanden worden in het veld gekarteerd. Veldwaarnemingen genieten de voorkeur boven informatie uit drainagevergunningen. Het gaat bij inventarisatie immers om het vastleggen van een toestand;
2. Droogleggingen (drainageniveaus) worden in het veld gekarteerd, door bij waterlopen het peil t.o.v. maaiveld waar te nemen, deze te verifiëren met peilen die door het waterschap zijn opgegeven en deze peilen ruimtelijk te interpoleren met behulp van het AHN-bestand.

Grondwaterstandswaarnemingen in holocene gebieden

1. Er worden strata onderscheiden, waarvan verwacht wordt dat daarbinnen de relatie grond- oppervlaktewaterstand niet of nauwelijks varieert. De stratificatie is op basis van 1) de bestaande bodem- en grondwatertrappenkaart, 2) het top-10-vectorbestand, waarmee gebieden kunnen worden onderscheiden met gelijke afwateringspatronen, dat wil zeggen met gelijke breedtes van waterlopen en met

- gelijke afstanden tussen de waterlopen, en 3) veldwaarnemingen van drainafstanden en draindieptes;
2. In elk stratum wordt in circa twee tot vijf percelen een raai geboord, haaks op een ontwateringsmiddel en op voldoende afstand van andere ontwateringsmiddelen. Zo wordt ervoor gezorgd dat de waargenomen opbolling overwegend kan worden verklaard uit stroming naar het ontwateringsmiddel. De afstand tussen de boorgaten in de raai is kort, bijvoorbeeld enkele meters, zodat geëxperimenteerd kan worden met het effect van verschillende afstanden op de nauwkeurigheid van informatie over componenten van de drainageweerstand;
 3. Bij het selecteren van de locaties van de raaien wordt ernaar gestreefd dat er langjarig gemeten grondwaterstandsbuizen in de buurt zijn, zodat bij de interpretatie van metingen gebruik kan worden gemaakt van fysische parameterwaarden die uit kalibratie van een transfer-ruismodel zijn geschat;
 4. In de boorgaten worden automatische meetssystemen, bijvoorbeeld *divers* geïnstalleerd, zodat m.b.v. dataloggers tijdreeksen kunnen worden verzameld met een hoge frequentie, bijvoorbeeld eenmaal per uur, gedurende periodes van enkele weken met hoge en lage afvoer (respectievelijk GHG- en GLG-situatie).

Aanvullende metingen aan het hydrologische systeem

1. Tegelijkertijd met de grondwaterstandswaarnemingen wordt de oppervlaktewaterstand automatisch geregistreerd;
2. De neerslag wordt lokaal geregistreerd, of uit neerslagradarbeelden lokaal geschat. Welke van deze twee mogelijkheden vanuit kosten- en nauwkeurigheidsoogpunt de voorkeur verdient moet worden onderzocht. Locale informatie over de neerslag is van belang om uit hoogfrequente waarnemingen van de grond- en oppervlaktewaterstand informatie af te kunnen leiden over de relatie grondwaterstand-oppervlaktewaterstand;
3. Naast de grond- en oppervlaktewaterstand wordt ook het elektrische geleidingsvermogen gemeten, om te kunnen beoordelen of er een verband bestaat tussen het vóórkomen van kwel en de opbolling, met name rond het GLG-tijdstip. Onderzocht dient te worden of er een verband kan worden gelegd tussen de opbolling rond GLG-tijdstip en de gemiddelde kwelflux die volgt uit de kalibratie van een fysisch geïnterpreteerd transfer-ruismodel.

Schatting van drainageweerstanden

Uit de grond- en oppervlaktewaterstandswaarnemingen worden een aantal componenten van de drainageweerstand geschat, met name de horizontale en de combinatie van radiale en intreeweerstand. De verticale drainageweerstand zou kunnen worden geschat uit informatie over doorlatendheden van het substraat (bijvoorbeeld in Bierkens, 1996). Tezamen vormen de componenten de totale drainageweerstand over de monitoringperiode. Deze totale drainageweerstand behoeft niet tijdsinvariant te zijn, omdat niet op ieder moment alle drainagemiddelen actief behoeven te zijn. Een gemiddelde, tijdsinvariante drainageweerstand die niet afhangt van de grondwaterstand kan worden geschat met behulp van een transfer-ruismodel en het drainageniveau, door gebruik te maken van de formules die zijn gegeven in paragraaf 4.2.1. Deze drainageweerstand kan met behulp van

geregionaliseerde tijdreeksmodellen voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand gebiedsdekkend worden voorspeld.

In de proefkartering moet op de volgende vragen een antwoord worden gevonden:

1. Gaan we bij ruimtelijke interpolatie van drainageweerstanden gebruik maken van de tijdsinvariante, gemiddelde, drainageweerstand die voortkomt uit fysisch geïnterpreteerde tijdreeksmodellen en zo ja, hoe?
2. Is de ruimtelijke voorspelling van fysisch geïnterpreteerde tijdreeksmodelparameters te verbeteren door gebruik te maken van drainageweerstanden die uit opbollingen zijn geschat?
3. Samengevat: hoe leggen we een link tussen drainageweerstanden en de gebiedsdekkende beschrijving van de grondwaterdynamiek?

Het verschil tussen de drainageweerstand, geschat uit transfer-ruismodellen en de drainageweerstand, geschat uit waarnemingen, kan een indicatie geven over de onzekerheid over de werkelijke drainageweerstand.

Evaluatie van de inventarisatiemethode

Om het effect van stratificatie te kunnen beoordelen wordt de variatie binnen en tussen strata onderzocht van de geschatte componenten van de drainageweerstand en eventuele parameters die kwel kwantificeren en die uit de grondwaterstands-waarnemingen zijn afgeleid. De benodigde waarnemingsafstand binnen een raai wordt geanalyseerd door bij verschillende dichtheden parameters te schatten en de schattingen met elkaar te vergelijken.

6 Conclusies en aanbevelingen

Uit de inventarisatie van de wensen op het gebied van informatie over de grondwaterdynamiek blijkt dat in het holocene deel van Nederland, met beheerste peilen, behoefte is aan informatie over de relatie grondwaterstand-oppevlaktewaterstand. Deze informatie is nodig om een afweging te kunnen maken tussen enerzijds een gewenst grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) in het kader van de Waterloodsystematiek en anderzijds de risiconormering in het kader van het waterbeheer in de 21^{ste} eeuw (WB21). De mogelijkheden om de relatie grondwaterstand-oppevlaktewaterstand gebiedsdekkend te karakteriseren moeten worden onderzocht in een proefkartering. Een opzet hiervoor is beschreven in hoofdstuk 5.

Voor het actuele, grondwaterafhankelijke peilbeheer is het van belang om over voorspellingen van de grondwaterstand van ca. 3 tot 7 dagen vooruit te beschikken. Het verdient aanbeveling om het geregionaliseerde tijdreeksmodel voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand in combinatie met een Kalman-filteralgoritme (Bierkens *et al.*, 2001; Knotters en Bierkens, 2002) hiervoor verder te ontwikkelen. Bij de voorspellingen kan gebruik worden gemaakt van neerslagradarbeelden.

Verschillende variabelen die nu van Gd-informatie worden afgeleid kunnen ook rechtstreeks worden gemeten. Potentieel zijn er mogelijkheden voor rechtstreekse monitoring van het bodemvochtgehalte (*time domain reflectometry*), de bodemtemperatuur en concentraties van macro-ionen in het grondwater (ion-selectieve elektroden). Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of met nieuwe, rechtstreekse, meetmethoden nauwkeuriger ruimtelijke voorspellingen kunnen worden verkregen van het bodemvochtgehalte, de bodemtemperatuur en concentraties van macro-ionen in het grondwater dan met indirecte schattingen op basis van o.a. Gd-informatie.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P., 1996. Modeling hydraulic conductivity of a complex confining layer at various spatial scales. *Water Resources Research* **32**(8): 2369-2382.
- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en T. Hoogland, 2001. Space-time modeling of water table depth using a regionalized time series model and the Kalman filter. *Water Resources Research* **37**(5): 1277-1290.
- Brouwer, F., S.P.J. van Delft en R.H. Kemmers, 2002. *Landinventarisatie en ruimtelijke systeemanalyse van het herinrichtingsgebied De Vechtstreek, fase 2* Alterra Rapport 379, Wageningen, 84 blz.
- Finke, P.A., T. Hoogland, M.F.P. Bierkens, D.J. Brus, M. Knotters en F. de Vries, 1999. *Pilot naar een nieuwe beschrijving van grondwaterkaarten in het Weerijds-gebied. Methodiekontwikkeling met extrapolatie naar een Plan van Aanpak voor Noord-Brabant*. Staring Centrum, Wageningen, 66 blz.
- Finke, P.A., M.F.P. Bierkens, D.J. Brus, J.W.J. van der Gaast, T. Hoogland en F. de Vries, 2002. *Klimaatsrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap Mark en Weerijds*. Alterra Rapport 387, Wageningen, 146 blz.
- Heesen, H.C. van, 1970. Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. *Geoderma* **4**: 257-278.
- Jansen, P.C., 2001. *Inventarisatie van waterkwaliteit voor ecologische doeleinden*. Alterra Rapport 185, Wageningen.
- Kemmers, R.H., F. Brouwer en J.R. Mulder, 1993. Kartering van waterkwaliteit; het elektrisch geleidingsvermogen als voorspeller van ecologisch relevante watertypen. *Landschap* **10**(2): 47-60.
- Knotters, M., 2001. *Regionalised time series models for water table depths*. Proefschrift Wageningen Universiteit/Alterra Scientific Contributions nr. 3, Wageningen, 167 pp.
- Knotters, M., M.F.P. Bierkens en T. Hoogland, 2001. *Optimalisatie primair meetnet grondwaterstand Gelderland. Haalbaarheid gebruik hulpinformatie*. Alterra Rapport 234, Wageningen, 97 pp.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens, 2002. Accuracy of spatio-temporal RARX model predictions of water table depths. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* **16**(2): 112-126.

Knotters, M., H. Vroon, A. van Kekem en T. Hoogland, 2002. Hoe noodzakelijk is patroononderzoek voor een goede uitvoering van de Grondwaterwet? *H₂O* **35**(21): 30-32.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000. *Anders omgaan met water. Waterbeleid in de 21^e eeuw*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

Mulder, J.R., E.T.M. Overkamp, F. Brouwer en M. Knotters, 1992. *Een ecohydrologische systeembeschrijving van het landinrichtingsgebied Ochten-Opheusden*. SC-DLO Rapport 166, Wageningen, 229 blz. (2 dln.).

Mulder, J.R. en J. Spoelstra, 1995. *Een geohydrologische systeembeschrijving van het noordelijke deel van het herinrichtingsgebied Bergen-Schoorl*. SC-DLO Rapport 325, Wageningen, 127 blz.

Projectgroep Waterlood De Leijen, 2001. *Beter werken met 'Waterlood'. Een proeftoepassing in het herinrichtingsgebied 'De Leijen'*. Alterra-rapport 267, Wageningen, 106 blz.

Stowa, 2001. *Normering regionale wateroverlast: opzet en inhoud van het normeringssysteem*. Stowa, Utrecht.

Unie van Waterschappen, 2002. *Waterbeheer 21^e eeuw. WB21: aanleiding, afspraken en maatregelen*. Unie van Waterschappen, Den Haag, 12 blz.

Visser, W.C., 1958. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. COLN-TNO, Delft, 159 pp.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.

Wirdum, G. van, 1991. *Vegetation and Hydrology of Floating Rich-Fens*. Datawyse, Maastricht.

Wirdum, G. van en V. Joosten, 1997. *De proef 'Grondwater als waterbron' in De Weerribben. Basisrapport over de periode 1989-1995*. IBN-rapport 298, Wageningen.

Zuiderveen Borgesius, N.W. en J.W. Lambrechtse, 1981. *Onderzoek naar een directe meetmethode ter bepaling van kwel of inzijging in een aantal Limburgse kanalen*. Nota Directie Waterhuishouding en Waterbeweging Rijkswaterstaat no. 81.8, 21 blz.