

2002-32_relatie-grond-oppervlaktewater

Relatie grond- en oppervlaktewater

waterlood

03

stowa

Relatie grond- en oppervlaktewater

03

Methoden voor het bepalen van gebiedsdrainageweerstand

stowa

Colofon:

Utrecht, 2002

Uitgave:

STOWA, Utrecht

Tekst:

ir. L.Brouwer (Royal Haskoning)

drs. G. Winters (Arcadis)

dr. W.J. Zaadnoordijk (Royal Haskoning)

Vormgeving:

Nicoline Caris, grafische vormgeving

Druk:

Kruyt Grafisch Adviesbureau

Rapportnummer 2002-32, (STOWA)

Waternoodrapport 3

ISBN nummer 90.5773.186.x

Bestelwijze STOWA publicaties

Publicaties en publicatieoverzicht van de STOWA is uitsluitend te bestellen bij:

Hageman Fulfilment, adres: Postbus 1110, 3330 CC Zwijndrecht

Telefoonnummer 078 6231754, faxnummer 078 610 42 87, e-mail info@hageman.nl

O.v.v. ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

Samenvatting

Als onderdeel van het Waternoodinstrumentarium is in dit rapport invulling gegeven aan het thema "Relatie grond- en oppervlaktewater". Het doel van deze studie is het vergroten van inzicht in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater, om hiermee te komen tot een verbeterd ontwerp van het watersysteem en het waterbeheer.

Centraal hierbij staat het begrip drainageweerstand. Het begrip drainageweerstand kan worden gezien als maat voor het "lekvermogen" van een gebied. De bodem wordt daarbij opgevat als een spons waar het neerslagoverschot, kwel en infiltratie vanuit het oppervlaktewatersysteem voor voeding kunnen zorgen, en waaruit water kan verdwijnen via het afwateringssysteem (inclusief het oppervlaktewatersysteem), verdamping en wegzijging naar het diepe grondwater. De drainageweerstand van een gebied is een samengestelde waarde (vervangingswaarde) met bijdragen vanuit de verschillende orde drainage-niveau's. In het kader van deze studie wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Eerste orde: rivieren, beken (w_1)
- Tweede orde: (perceel)sloten (w_2)
- Derde orde: droogvallende sloten, greppels, buisdrainage (w_3)
- Oppervlakte-afvoer (w_{mv})

In het kader van het onderzoek is een drietal modules ontwikkeld, te weten:

Module Meetreeksen (Qh-relaties)

Via deze module is het mogelijk om weerstandswaarden af te leiden uit meetreeksen, te weten grondwaterstanden en afvoeren (Qh-relatie). De meetreeksenbenadering levert voor specifieke punten in het interessegebied weerstandswaarden op voor de verschillende drainageniveau's alsmede vervangingswaarden voor de drainageweerstand.

Module Gebiedskenmerken

Via deze module is het mogelijk om aan de hand van geografische gebiedsinformatie vlakdekkende weerstandswaarden te berekenen voor de verschillende drainageniveau's alsmede afgeleide vervangingswaarden.

Module Simland

De module Simland kan, naast programma's zoals Sobek en Duflow aan de hand van neerslag-, verdampingsgegevens en bodemparameters het hydrologisch proces (de relatie tussen grondwaterstand en afvoer) simuleren. De drainageweerstand zoals berekend in de module Qh-relaties en/ Door deze drie modules in onderlinge samenhang te gebruiken wordt optimaal gebruik gemaakt van beschikbare informatie. Op verschillende wijzen kunnen drainageweerstand worden afgeleid, de berekende weerstandswaarden kunnen met elkaar worden vergeleken en, via de simulatie van het hydrologisch

proces, worden getoetst. Dit draagt ertoe bij dat het inzicht in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater wordt vergroot.
of gebiedskenmerken kunnen aan de hand van deze simulatie worden gecontroleerd.

Naast vergroting van het inzicht in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater draagt het onderzoek mede bij aan een verbeterd ontwerp van het watersysteem en waterbeheer. De modules gebiedskenmerken en Simland bieden hier mogelijkheden voor. De module Simland biedt de optie om bepaalde beheersvarianten door te rekenen en de effecten hiervan op grondwaterstand en afvoer te simuleren. Deze optie is operationeel binnen de huidige 'versie' van Simland. De module gebiedskenmerken biedt mogelijkheden om het effect van zowel inrichtings- als beheersingrepen in het watersysteem op de drainageweerstand te bekijken. Deze effecten kunnen worden vertaald naar veranderingen in grondwaterstand en afvoer (deze vertaling is nog niet beschikbaar binnen de huidige 'versie').

In het kader van dit onderzoek zijn bovengenoemde modules ontwikkeld en toegepast op een proefgebied (de Baakse beek). Ondanks de beperkte hoeveelheid meetgegevens wordt geconcludeerd dat de uitkomsten van de verschillende deelonderzoeken elkaar bevestigen. Aanbevolen wordt de modules op meerdere proefgebieden toe te passen en aan de hand hiervan verder te ontwikkelen.

De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefte-inventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

Inhoud

Colofon
Samenvatting
Stowa in het kort

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond en doelstelling	1
1.2	Aanpak en uitwerking	4
1.3	Uitvoering en begeleiding van het onderzoek	6
1.4	Keuze proefgebied	6
1.5	Resume	7
1.6	Leeswijzer rapportage	7
2	Drainageweerstand.....	9
3	Drainageweerstanden op basis van meetreeksen	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Beschrijving methode Qh-relaties	13
3.3	Toepassing methode Qh-relatie op proefgebied	17
3.4	Conclusies en aanbevelingen	27
4	Drainageweerstanden op basis van gebiedskenmerken.....	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Beschrijving methode gebiedskenmerken	29
4.3	Toepassing methode gebiedskenmerken op proefgebied	34
4.4	Conclusies en aanbevelingen	40
5	Verificatie drainageweerstand op basis van neerslag- /afvoermodel (Simland).....	43
5.1	Inleiding	43
5.2	Beschrijving methode Simland	44
5.3	Toepassing methode Simland op proefgebied	45
5.4	Conclusies en aanbevelingen	49

Nawoord begeleidingscommissie	51
-------------------------------------	----

Verdrogingsbestrijding middels het verondiepen van watergangen	52
---	----

Literatuur	53
------------------	----

Bijlage 1: Beschrijving proefgebieden

Bijlage 2: Module Qh-relatie

Bijlage 3: Module Simland

Bijlage 4: Module Gebiedskenmerken

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling

Als onderdeel van het Waternoodinstrumentarium wordt in dit rapport invulling gegeven aan het thema "Relatie grond- en oppervlaktewater". Het doel van deze studie is het vergoten van inzicht in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater, om hiermee te komen tot een verbeterd ontwerp van het watersysteem en waterbeheer.

De relatie tussen oppervlaktewater en grondwater is gebiedsspecifiek. Het doorgronden van deze relatie vraagt inzicht in het hele hydrologische systeem van het gebied. De aangewezen weg om deze relatie te kwantificeren is daarom het maken van een hydrologisch model, waarbij gebruik wordt gemaakt van alle relevante kennis en metingen van het gebied. Het hydrologisch model moet zowel het grondwater als het oppervlaktewater en het neerslag-afvoer proces simuleren. De interactie tussen grond- en oppervlaktewater kan plaats vinden via waterlopen, drainagemiddelen en het maaiveld. Hun werking is verschillend, waardoor de interactie afhankelijk is van bijvoorbeeld grondwaterstand of oppervlaktewaterpeil. De resulterende interactie is daarom meestal niet te vangen in een enkele drainageweerstand, maar levert een drainagerelatie ofwel een drainageweerstand als functie van een grondwaterstand. Een model simuleert deze relatie vanzelf als de verschillende klassen van waterlopen, drainagemiddelen en het maaiveld worden ingevoerd, zodat dit niet-lineaire karakter op zich geen complicerende factor is. Binnen het Waternoodinstrumentarium is echter niet gekozen voor een gebiedsspecifiek hydrologisch model, maar voor een meer generieke aanpak. In deze aanpak wordt van algemeen beschikbare gegevens uitgegaan.

Basis voor het onderzoek zijn (meet)gegevens die een relatie hebben met het onderwerp. Deze gegevens variëren van dynamische datasets met puntinformatie (tijdstijghoogtelijnen, afvoermetingen, meteorologische metingen) tot meer statische informatie die vaak in een ruimtelijk dekkend kaartbeeld voorhanden is (bodemkaart, geohydrologische kaart etc.).

Achterliggende gedachte van de uitwerking is dat:

- er geen *nieuwe relaties* voor de wisselwerking tussen grond- en oppervlaktewater gedefinieerd worden, maar dat gebruik wordt gemaakt van bestaande methoden en kaarten die voor iedereen toegankelijk zijn;
- de toepassing in het instrumentarium "open" moet zijn, dat wil zeggen als er meer of nieuwere data beschikbaar komt dit als vanzelfsprekend zonder software aanpassing kan worden gebruikt;
- dé beschrijving van de relatie grond- oppervlaktewater niet bestaat. De gebruiker moet er bewust van worden gemaakt dat er meerdere correcte wegen zijn die verschillende antwoorden opleveren. Hierbij spelen schaalniveau, gehanteerde schematisatie en kwali-

teit van de (meet)gegevens een belangrijke rol. Het instrument werkt zo als bewustwordingstool, waarbij de gebruiker inzicht krijgt in keuzes die gedaan moeten worden en in de bandbreedte waarmee de relatie gekwantificeerd kan worden.

Intermezzo 1: Meten is weten

Bij de start van de toepassing van het waternoodinstrument zal in veel gebieden blijken dat de gegevens die voorhanden zijn, niet toereikend zijn voor een volledige en betrouwbare toepassing van het instrument. GT-kaarten zijn vaak verouderd en niet met veldgegevens geactualiseerd, meetpunten voor grondwaterstanden zijn doorgaans niet ingericht om deze met afvoeren te kunnen vergelijken. Een doelmatige toepassing vergt dan ook voortdurende actualisatie van meetgegevens. In het project "Meetnet Waternood", dat door TNO-NITG, WL en Alterra wordt uitgewerkt wordt invulling gegeven aan meetprotocollen.

De in dit rapport uitgewerkte instrumenten zijn zo ingericht dat naar mate er meer of nieuwere gegevens (metingen grondwaterstand, geactualiseerde kaarten, etc) beschikbaar komen de geautomatiseerde processen ervoor zorgen dat deze informatie direct kan worden toegepast. Dat betekent concreet dat tijdreeksen per definitie dynamisch mogen zijn. Elke keer als er nieuwe metingen beschikbaar komen kan de procedure om weerstanden te bepalen eenvoudig herhaald worden. De procedure levert door het combineren van de informatie op basis van hydrologische principes een drainagerelatie.

In het onderdeel gebiedskenmerken betekent dit dat er geen kaart met de beste drainageweerstand naar de huidige informatie wordt geproduceerd, maar dat de procedure om tot die kaart te komen geautomatiseerd wordt (bij Alterra is hier uitvoerig onderzoek naar gedaan door J. van Bakel e.a., zie intermezzo 2). De gebruiker kan zo steeds met nieuwe gegevens en eigen veldinformatie (delen van) zijn gebied actualiseren. Het vertrekpunt is de beschikbare informatie, die bij het beschikbaar komen van nieuwe informatie geactualiseerd kan worden. Vanuit dit vertrekpunt kan steeds de drainagerelatie bepaald worden.

Intermezzo 2: Hydrologie voor STONE

In het kader van het landelijke nutriënten uitspoelingsmodel STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) hebben Alterra, RIZA en RIVM een studie uitgevoerd naar de hydrologische randvoorwaarden als input voor dit nutriëntenmodel (Hydrologie voor STONE –schematisatie en parametrisatie-, Alterra rapport 038, 2000 [ref. 8]). Op grond van de aanbevelingen uit deze studie is een vervolgonderzoek uitgevoerd waarbij de gehanteerde hydrologische schematisatie verder is uitgewerkt. De rapportage van dit onderzoek is verschenen ten tijde van de uitvoering van het deelonderzoek 'Relatie grond- en oppervlaktewater' (Redisign STONE, maart 2001 [ref. 9]).

Het rapport Hydrologie voor STONE (2000) geeft drainageweerstand voor heel Nederland op een niveau van 250 x 250 meter. Daarvoor is het land ingedeeld op basis van geohydrologie ('hydrotypen'), ontwateringsmiddelen ('landschapsregio's') en de grondwatertrappen uit de bodemkaart (Gt). Deze drie landsdekkende kaarten zijn gecombineerd tot homogene deelgebieden. Uit de combinaties van het hydrotype, de landschapsregio en de Gt van de deelgebieden is een lijst samengesteld met zogenaamde 'Unieke Combinaties' (UC). Voor elke UC is de drainageweerstand bepaald. Bij deze bepaling zijn de verhoudingen tussen de drainageweerstand voor de primaire, secundaire en tertiaire ontwateringsystemen gelijk gehouden aan de verhoudingen tussen de slootafstanden van de betreffende systemen. De berekende weerstanden in dagen varieerden van 0,4 tot 2,5 maal de slootafstand in meters.

In de studie Redisign STONE (2001) is het hydrologische model op diverse punten verfijnd. Zo wordt nu onderscheid gemaakt in vijf ontwateringssystemen, zijn de kwel- en inzijgingsfluxen variabel gemaakt en wordt onder meer rekening gehouden de mogelijkheid van kunstmatige wateraanvoer. Met de nieuwe hydrologische schematisatie kunnen uitspraken bij beleidsondersteuning worden gedaan voor regionale gebieden met een gemiddelde omvang van naar schatting 2500 hectare. Afhankelijk van de mate van regionale geohydrologische homogeniteit kunnen met de hydrologie uitspraken worden gedaan voor kleinere gebieden (tot minimaal 1000 hectare), of moeten uitspraken worden gedaan over grotere gebieden.

Overeenkomsten/verschillen met onderzoek 'Relatie grond- en oppervlaktewater'

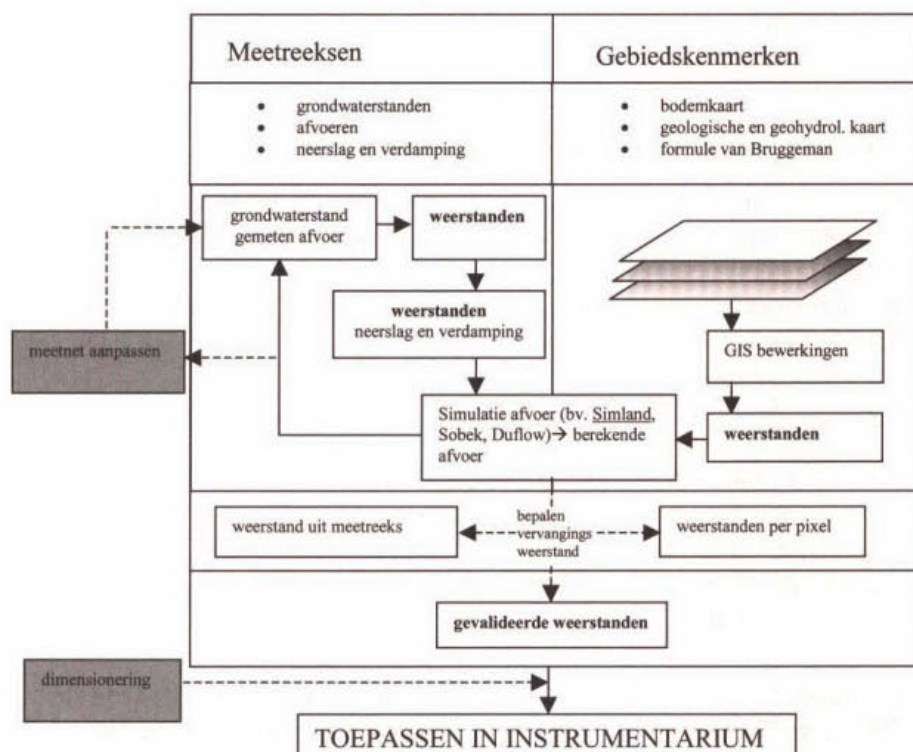
De ontwikkelde methode binnen het deelonderzoek 'Gebiedskenmerken' vertoont grote overeenkomsten met die van STONE (formularium, wijze van schematiseren). Op grond van het recent verschenen onderzoeksrapport kan verdere afstemming plaatsvinden (bijvoorbeeld wat betreft keuze voor parameterwaarden). De verschillen tussen beide onderzoeken zijn met name gelegen in de toepassing van de ontwikkelde methoden. Hydrologie voor STONE is met name bedoeld voor beleidsondersteuning op regionaal/landelijk niveau. Het onderzoek 'Relatie grond- en oppervlaktewater' wil vooral lokale waterbeheerders instrumenten bieden om daarmee het inzicht in hun lokale watersystemen te vergroten. Het instrument moet de gebruiker de mogelijkheid geven om met 'eigen, gebiedsspecifieke gegevens' aan de slag te gaan, waarbij niet alleen inzicht wordt verkregen in de huidige situatie (zoals beschouwd in STONE) maar ook in de effecten van wijzigingen in ontwerp en beheer. Dit laatste punt is iets wat binnen Redisign STONE wordt aangemerkt als een aandachtspunt (analyseren van effecten van belangrijke veranderingen in het hydrologische systeem).

In figuur 1.1 is schematisch aangegeven welke positie het deelonderzoek Relatie Grondoppervlaktewater in het grotere geheel heeft, in welke onderdelen het is uitgesplitst en de onderlinge samenhang tussen deze onderdelen. Bij het doorlopen van de procedure om te komen tot gevalideerde weerstanden heeft de gebruiker de keuze voor de benadering via meetreeksen of voor de benadering via kaarten (gebiedskennmerken).

1.2 Aanpak en uitwerking

Bij de module meetreeksen worden weerstandswaarden afgeleid uit grondwaterstanden en afvoeren (Qh-relatie). Als het traject via de meetreeksen niet voldoet (bijvoorbeeld omdat onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn om de weerstand te bepalen of omdat de berekende weerstand niet goed 'fit' met het gesimuleerde hydrologische proces) wordt verwezen naar het onderdeel "Meetnet Waterlood". Het meetnet kan via dat protocol worden geoptimaliseerd. Zodra uit het nieuwe meetnet gegevens beschikbaar komen, kan de procedure om weerstanden te bepalen worden herhaald. Deze methode is alleen toepasbaar als de meetlocatie representatief is voor het omliggende gebied. In de praktijk betekent dit het veelal zal gaan om kleinere, uniforme gebieden.

De meetreeksbenadering levert voor een aantal specifieke punten in het interessegebied gebiedswaarden op voor de weerstand die naar verwachting overeenkomen met de berekende weerstanden via de methode met kaarten (gebiedskennmerken). Bij deze methode wordt aan de hand van geografische gebiedsinformatie een vlakdekkende weerstandswaarde berekend. Dit is uitgewerkt in de module gebiedskennmerken, die op basis van informatie over het oppervlaktewaterstelsel en de ondergrond een drainage-relatie afleidt. Ook kan binnen de module gebiedskennmerken het effect van ingrepen (inrichting en beheer) in het watersysteem op de drainageweerstand worden bekeken door gegevens uit basiskaarten aan te passen. Aan de gebruiker wordt de keuze gelaten welke set weerstanden het meeste vertrouwen geniet. In de rapportage wordt een handreiking gegeven voor de interpretatie van de berekende waarden en de begrenzing van de toepassingsgebieden van de genoemde methoden.



Figuur 1.1 Samenhang deelonderzoeken Relatie Grond- en Oppervlaktewater

Via modellen waarmee de afvoer wordt gesimuleerd kunnen aan de hand van neerslag- en verdampingsgegevens en bodemparameters de berekende weerstanden worden gecontroleerd. In het kader van deze studie is de module Simland ontwikkeld. In plaats van Simland zou ook gebruik gemaakt kunnen worden van overeenkomstige modules uit bijvoorbeeld Sobek of Duflo. Hierbij wordt het hydrologisch proces (relatie grondwaterstand – afvoer) gesimuleerd. De gesimuleerde grondwaterstand en afvoer kan worden vergeleken met de gemeten grondwaterstand en afvoer. Tevens biedt deze module de mogelijkheid om een aantal beheersvarianten door te rekenen en de effecten hiervan op grondwaterstand en afvoer te simuleren. Voordelen van Simland zijn de relatief eenvoudige opzet (ééndimensionale modellering, beperkte hoeveelheid invoerparameters) en het feit dat gebruik is gemaakt van Excel. Dit biedt de gebruiker de mogelijkheid om desgewenst aanpassingen en uitbreidingen aan het model door te voeren. Welk model men uiteindelijk gebruikt zal sterk afhangen van de eisen/wensen van de gebruiker, de hoeveelheid beschikbare gegevens, tijd, etc. In dit rapport wordt, daar waar het gaat om de simulatie van het hydrologisch proces gesproken over Simland. Op grond van bovenstaande mag duidelijk zijn dat hier ook andere modellen kunnen worden bedoeld.

'Qh-relaties' en 'Simland' zijn Excel-applicaties. 'Gebiedskenmerken' is een ArcView-applicatie. De applicaties zijn bedoeld voor waterbeheerders met (geo)hydrologische kennis van het gebied. Enige ervaring met Excel en ArcView is nodig om met de applicaties te kunnen werken. Met name de ArcView-applicatie kent een aantal 'vrijheidsgraden'. Hierdoor laat de applicatie ruimte voor diverse soorten invoer van gegevens. Benutting van deze 'vrijheidsgraden' vergt echter wel enige kennis van ArcView.

1.3 Uitvoering en begeleiding van het onderzoek

Het onderdeel *Meetreeksen* is uitgevoerd door Arcadis en Haskoning (sinds 1 september 2001 Royal Haskoning). Het onderdeel *Gebiedskenmerken* is uitgevoerd door IWACO (sinds 1 september 2001 Royal Haskoning).

Het onderzoek is begeleid door een commissie bestaande uit de volgende personen:

ir. H. Post (vz.) (Waterschap Reest en Wieden)
drs. G.E. Arnold (RIZA)
ir. F.R. Goossensen (namens STOWA)
ir. S.C.C. Helmyr (namens STOWA)
ir. G. Leene (Waterschap Noorderzijlvest)
ir. J. Peerboom (Waterschap Peel & Maasvallei)
ir. G. Soppe (Waterschap Rivierenland)
ir. J. Strijker (Waterschap Westfriesland)
drs. B. van der Wal (STOWA)

Daarnaast zijn in het kader van het onderzoek zijn gesprekken gevoerd met de heren Massop en Bierkens van Alterra, Eesenckbrink van Waterschap Reest en Wieden, Straathof van de Stichting Natuurmonumenten en Geerlink van Dienst Landelijke Gebieden Overijssel. Hun waardevolle bijdrage is waar nodig verwerkt in deze studie.

1.4 Keuze proefgebied

Besloten is om als onderdeel van dit onderzoek de ontwikkelde methoden toe te passen op een proefgebied. In overleg met de begeleidingsgroep is besloten om voor de onderdelen Qh-relaties, gebiedskenmerken en Simland uit te gaan van het proefgebied Baakse Beek. Het gebied is een vrij afwaterende zandgebied in oost-Nederland. De keuze hiervoor is mede ingegeven door de (grond)waterdynamiek in dit soort gebieden in tegenstelling tot poldergebieden. In een later stadium dienen de ontwikkelde methoden ook te worden beproefd op poldergebieden. Bij het ontwikkelen van de methoden wordt wel zoveel mogelijk rekening gehouden met de brede toepassing ervan op watersystemen in Nederland.

Andere criteria die een rol speelden bij de keuze waren de (digitale) beschikbaarheid van voldoende afvoer- en grondwaterstandreeksen en geografische kaartinformatie. Achtergrondinformatie over het proefgebied is opgenomen in bijlage 1 en in de betreffende hoofdstukken.

1.5 Resumé

Naast deze rapportage zijn de volgende producten opgeleverd:

- Excel-applicatie Qh-relaties
- Excel-applicatie Simland
- ArcView-applicatie Gebiedskenmerken

Gebruik van deze drie methoden levert de waterbeheerder inzicht op in de bandbreedte van de drainageweerstanden in een gebied. Binnen deze bandbreedte kan de (deskundige) gebruiker zelf de meest waarschijnlijke drainageweerstand bepalen voor vervolgberekeningen. Voor een eerste schatting van de drainageweerstand komt binnenkort ook via internet de lekweerstand per grid van 250 bij 250 meter beschikbaar (www.alterra.nl)

De totale studie levert inzicht op in de drainageweerstanden van een gebied (via meetgegevens en geografische informatie) en de wijzigingen hiervan ten gevolge van ingrepen in inrichting en beheer. De drainageweerstanden kunnen op pixelniveau binnen het Waternood-instrumentarium worden benut om het watersysteem door te rekenen. De beheerder kan het instrument gebruiken om de effecten van ingrepen in te schatten. De gegevens kunnen ook worden gebruikt als basis voor gedetailleerde vervolgstudies waarbij mogelijk ook numerieke modellen worden toegepast. De studie vormt tevens de basis voor een verdere ontwikkeling van de verschillende onderdelen van het Waternood-instrumentarium en de integratie tussen deze onderdelen.

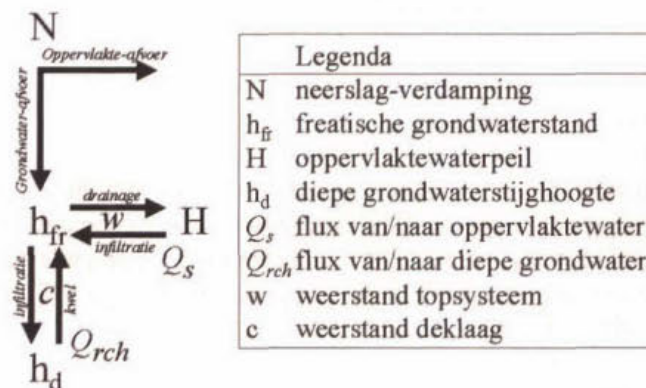
1.6 Leeswijzer rapportage

In hoofdstuk 2 van deze rapportage wordt ingegaan op het begrip drainageweerstand. Vervolgens wordt in de hoofdstukken 3 en 4 ingegaan op de methoden om drainageweerstanden af te leiden uit meetreeksen (Qh-relaties) en uit geografische informatie (Gebiedskenmerken). Per onderdeel is hierbij een beschrijving gegeven van de methode en wordt de methode toegepast op het proefgebied. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op het programma Simland waarmee de berekende drainageweerstanden kunnen worden geverifieerd. Ook hier wordt de methode besproken en toegelicht aan de hand van gegevens uit het proefgebied. Hoofdstuk 6 geeft vervolgens een beschrijving van de resultaten van het onderzoek naar de dimensioneringsaspecten. In hoofdstuk 7 worden de resultaten van de verschillende onderdelen naast elkaar gelegd en worden de verschillende methoden onderling vergeleken. Op basis hiervan zijn conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2 Drainageweerstand

Het begrip *drainageweerstand* kan worden gezien als maat voor het "lekvermogen" van een gebied. De bodem wordt daarbij opgevat als een spons waar het neerslagoverschot, kwel en infiltratie vanuit het oppervlaktewatersysteem voor voeding kunnen zorgen, en waaruit water kan verdwijnen via het afwateringsstelsel (inclusief het oppervlaktewatersysteem), verdamping en wegzijging naar het diepe grondwater.

Schematisatie topsysteem



Figuur 2.1 Schematisatie topsysteem

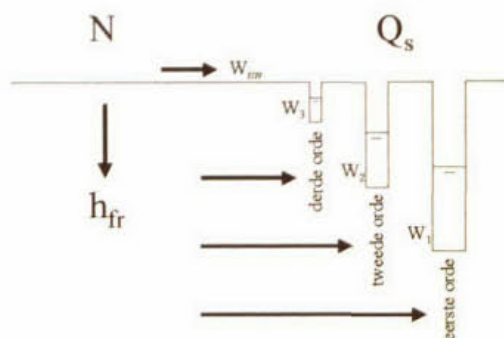
In figuur 2.1 is een algemene schematisatie gegeven van de verschillende parameters die bijdragen aan de aanvoer en afvoer van water naar/uit een gebied. Afhankelijk van de gebiedskenmerken en de hydrologische situatie zal dit systeem op een bepaalde manier reageren.

Van de nuttige neerslag zal een deel via oppervlakte-afvoer (surface-runoff) uit gebied verdwijnen. Het overige deel infiltreert naar het (freatische grondwater). Vanuit het freatische grondwater kan grondwater infiltreren naar het diepe grondwater of draineren naar oppervlaktewater. Anderzijds kan diep grondwater ook opkwellen naar het freatische grondwater of kan water vanuit het oppervlaktewatersysteem infiltreren naar het freatisch grondwater.

De verhouding tussen de fluxen naar het oppervlakte- water (Q_s) en het diepe grondwater (Q_{rch}) is afhankelijk van de verhouding tussen de (grond)waterstands-verschillen (respectievelijk $h_{fr}-H$ en $h_{fr}-h_d$) en de verhouding tussen bodemweerstand 'c' en drainageweerstand 'w'. Zodra door een ingreep in de inrichting of het beheer de hydrologische situatie

verandert zal ook de verhouding tussen Q_s en Q_{ch} veranderen. De afvoer naar het oppervlaktewater kan dus niet los worden gezien van de afvoer naar het diepe grondwater. In poldergebieden met een aanzienlijke bodem(deklaag)weerstand en een intensief drainagenetwerk zal de verhouding Q_{ch}/Q_s klein zijn terwijl in vrijafwaterende zandgebieden met extensieve diepe sloten de verhouding Q_{ch}/Q_s juist groot zal zijn.

Schematisatie oppervlaktewaterafvoer



Figuur 2.2 Schematisatie oppervlaktewaterafvoer

Deze studie richt zich op de relatie tussen grondwater en oppervlaktewater. Centraal hierbij staat de drainageweerstand 'w'. De drainageweerstand van een gebied is afhankelijk van de drainageniveau's die bijdragen aan de afvoer van grondwater. In figuur 2.2 is dit schematisch weergegeven. In het kader van deze studie worden drie orden drainageniveau's onderscheiden, te weten:

- Eerste orde: rivieren, beken (w_1)
- Tweede orde: (perceel)sloten (w_2)
- Derde orde: droogvallende sloten, greppels, buisdrainage (w_3)

Daarnaast kan oppervlakte-afvoer een bijdrage leveren aan de drainageweerstand (w_{mv}).

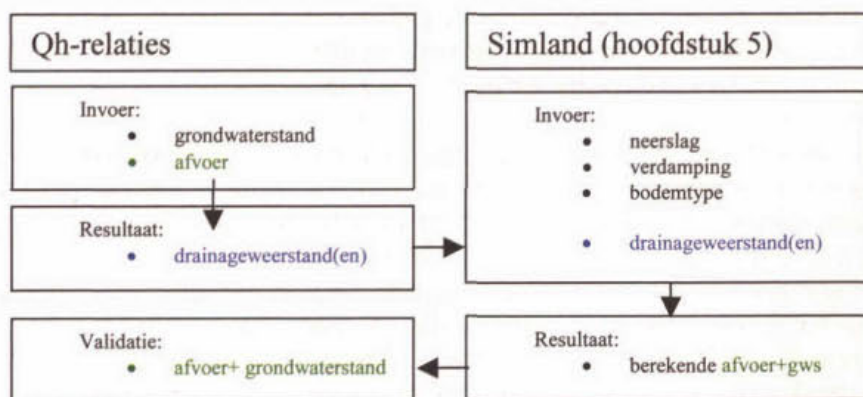
De drainageweerstand van een gebied is een samengestelde waarde met bijdragen vanuit de verschillende orde drainageniveau's. In deze studie wordt hierbij gesproken over de vervangingsweerstand van een (deel)gebied. Afhankelijk van de actuele grondwaterstand en de bodemhoogte of het drainageniveau, doet een deelsysteem wel of niet mee in de afwatering op een bepaald tijdstip. Alleen bij hoge grondwaterstanden bevat de bovenste laag van de eerder genoemde spons water en dragen alle drainageniveau's bij aan de drainageweerstand. Daarnaast heeft de bodemweerstand van de watergangen en het onderhoud aan watergangen invloed op de waarde van de drainageweerstand. De drainageweerstand van een gebied is geen constante waarde in de tijd, maar afhankelijk van de (grond)waterdynamiek, de inrichting en het onderhoud. Veranderingen in de waterhuishouding of veranderingen in de waterbalans door bijvoorbeeld een drinkwaterwinning, leiden tot veranderingen in het lekvermogen omdat deelsystemen (drainageniveau's) juist wel of niet meer meedoen in de afwatering bij een langdurige stijging of daling van het grondwaterniveau.

Interpretatie van meetreeksen (tijdreeksanalyse) levert, meer dan het gebruik/interpretatie van geografisch kaartmateriaal de mogelijkheid om de meest actuele waarden voor het lekvermogen te bepalen. Door deze informatiebronnen (meetreeksen en geografische informatie) naast elkaar te gebruiken, ontstaat een zo compleet mogelijk beeld van het lekvermogen. De actualiteit van meetgegevens wordt hierbij gecombineerd met het ruimtelijke inzicht vanuit geografische informatie.

3 Drainageweerstanden op basis van meetreeksen

3.1 Inleiding

Voor dit onderdeel van het instrumentarium Waternood is gezocht naar een bruikbare methode om drainageweerstanden uit meetreeksen af te leiden. Er is gekozen voor een gecombineerde aanpak waarbij enerzijds weerstanden worden afgeleid uit meetreeksen (Qh-relaties) en anderzijds de berekende weerstanden worden toegepast in een neerslag-afvoermode (Simland). Op deze wijze wordt een validatie van de weerstanden verkregen. In figuur 3.1 is de onderlinge samenhang tussen beide sporen weergegeven. Het onderdeel Qh-relaties wordt in dit hoofdstuk beschreven, het onderdeel Simland in hoofdstuk 5.



Figuur 3.1 Samenhang projectonderdelen Qh-relaties en Simland

3.2 Beschrijving methode Qh-relaties

In het rapport "Hydrologisch onderzoek naar de drainageweerstanden van het tertiair ontwateringstelsel in Oost Gelderland" (SC-DLO, 1994), wordt een methode beschreven op basis van een relatie tussen grondwaterstand en afvoer via oppervlaktewater. Besloten is deze methode te gebruiken voor dit onderzoek. In deze paragraaf wordt de inhoud van deze methode nader toegelicht en geïmplementeerd in een geautomatiseerde omgeving. De toepassing van deze methode levert waarden voor de drainageweerstand op. De methode is toegepast op het proefgebied 'De Baakse Beek'. De beschrijving en resultaten van deze toepassing staan beschreven in paragraaf 3.3. Voor achtergrondinformatie over het proefgebied 'De Baakse Beek' wordt verwezen naar bijlage 1.

Relatie afvoer en grondwaterstand (Qh-relatie)

Volgens de wet van Darcy leidt een potentiaalverschil in het grondwater tot een flux (q), recht evenredig met het hydraulisch gradiënt (dh/dx) en de doorlatendheid (k) van de bodem:

$$q = k * \frac{dh}{dx}$$

Analoog daaraan is:

$$q = \frac{dh}{c}$$

waarbij c = weerstand [dagen].

Als het potentiaalverschil (dh) veroorzaakt wordt door een verschil in oppervlaktewaterpeil in een watergang en een grondwaterstand in het naastliggende gebied, treedt een afvoer van grondwater op naar het oppervlaktewater. Als q en het potentiaalverschil bekend zijn, kan de waarde voor de weerstand bepaald worden.

In figuur 3.2 is van een voorbeeldgebied in het stroomgebied van de Overijsselse Vecht de afvoer uitgezet tegen de grondwaterstand ('metingen'). In deze figuur is te zien dat er een exponentiële relatie bestaat tussen de grondwaterstand en de afvoer. Door voor verschillende diepteklassen van de grondwaterstand de afvoer te berekenen bij bijbehorend potentiaalverschil, kan de weerstand worden bepaald.

Er zijn verschillende verklaringen voor dit algemene verband. Gegeven een evenwichts-situatie onder drainerende omstandigheden leidt een diepere grondwaterstand tot een afname van het potentiaalverschil, en dus tot een lagere afvoer. De maximale afvoer is aan de bovenzijde begrensd. Bij een bepaalde maximale grondwaterstand gaan er andere afvoerprocessen, zoals oppervlakkige afstroming een rol spelen. Bij neerslag intensiteiten die de infiltratiecapaciteit overtreffen, vindt ook oppervlakkige afstroming plaats. Voor een correcte analyse moet deze afvoerterm van de gebiedsafvoer worden afgetrokken. In de praktijk zal dat vaak niet objectief mogelijk zijn omdat informatie omtrent de grootte van deze term moeilijk in het veld te bepalen is. Ook berging van water in terreindepressies leidt tot een andersoortige relatie tussen afvoer en grondwaterstand. Een ander verschijnsel is het optreden van hysteresis. De curve waarmee de Qh-relatie wordt beschreven vanuit een situatie met hoge grondwaterstanden en afvoeren naar een situatie met lage grondwaterstanden en afvoeren, kan een andere curve zijn dan die waarbij de situatie wordt beschreven vanuit lage grondwaterstanden en afvoeren naar een situatie met hoge grondwaterstanden en afvoeren. In de toepassing van de methode wordt hier geen rekening mee gehouden.

Voor bodemtypes met een relatief kleine invloed van hysteresis is de afgeleide drainage-weerstand gebaseerd op een smallere bandbreedte in waarnemingen, dan voor bodemtypes met een sterke hysteresis. Het effect daarvan op de drainageweerstand uit zich in een meer nauwkeurige waarde voor bodemtypes met een geringe hysteresis in vergelijking met bodemtypes met een sterke hysteresis. Als de meetreeks gesplitst wordt in metingen die dalende grondwaterstanden en metingen die stijgende grondwaterstanden weergeven, kan het effect van hysteresis meegenomen worden. Er moeten dan wel veel meetdata beschikbaar zijn om een betrouwbare functieschatting te kunnen doen.

Of de correlatie significant is, is een functie van het aantal waarnemingen. In de praktijk zijn er zelden veel metingen beschikbaar. Daarnaast neemt de complexiteit in het toepassen van de drainageweerstand sterk toe. De set weerstanden verdubbelt dan. Voor elke orde is dan namelijk weerstand voor dalende en een voor stijgende grondwaterstanden afgeleid. Op basis van deze afwegingen is er voor gekozen hysteresis niet in de afleiding mee te nemen.

Afbakening invloedsgebied meetpunt

Voor het selecteren van meetreeksen is de begrenzing van het representatieve gebied behorend bij een meetpunt belangrijk. In het onderzoek van SC-DLO is gebruik gemaakt van peilbuizen die binnen een afstand van 10 meter van de watergang staan en een gemiddelde peilbuis voor het (sub)stroomgebied. Essentieel voor het toepassen van de methode is de beschikbaarheid van een goede afvoerreeks, die te herleiden is tot een begrensd gebied. Veranderingen in de grondwaterberging moeten een relatie hebben met veranderingen in de afvoer wil de relatie tussen afvoer en grondwaterstand een fysische betekenis hebben (er moet sprake zijn van causaliteit). Oppervlaktewatersystemen zullen daarom altijd op een schaalniveau moeten worden beschouwd waarbij er sprake is van een eenduidig instroompunt en uitstroompunt. Op een meer gedetailleerd niveau kan er sprake zijn van verknoppte oppervlaktewater netwerken, waarbij er geen eenduidige relatie bestaat tussen de grondwaterstand en de oppervlaktewaterafvoer

Exponentiële relatie

Door de gegevens uit figuur 3.2 kan een exponentiële functie bepaald worden. Deze functie heeft de vorm:

$$q = a * \exp^{bh}$$

waarin:

q = berekende afvoer [mm/d]

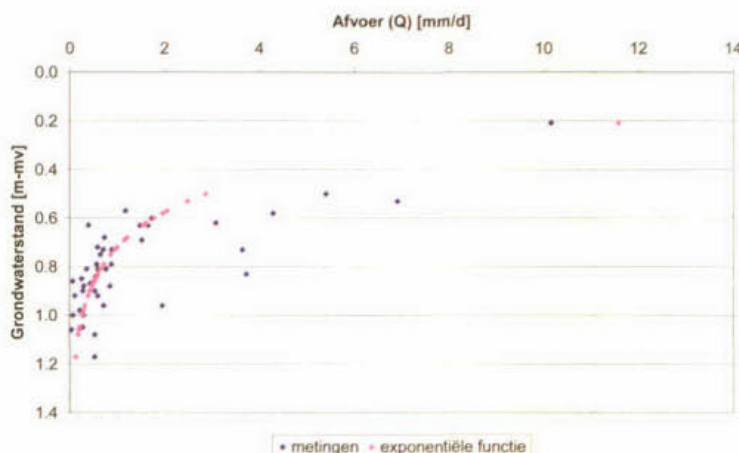
h = gemeten grondwaterstand [m-maaiveld]

a = snijpunt met y-as

b = is de mate van kromming.

Automatische schatting functieparameters exponentiële functie

Eenvoudige toepassing van de methode vraagt een zo automatisch mogelijke werkomgeving waarbij de gebruiker alleen inhoudelijke keuzes hoeft te maken. Om die reden is besloten om de schatting van de parameters van de exponentiële functie automatisch plaats te laten vinden. Het automatisch schatten van de functieparameters is gebaseerd op een kleinste kwadraten optimalisatie van de exponentiële functie. De gebruiker krijgt informatie over de functieparameters a en b en de regressiecoëfficiënt. De functie wordt vervolgens automatisch toegepast in de berekening van het functieverloop. In bijlage 2 wordt deze methode nader toegelicht. Het resultaat van de functieschatting voor het voorbeeldgebied de Overijsselse Vecht is eveneens weergegeven in figuur 3.3.



Figuur 3.2 Resultaat schatting exponentiële functie voorbeeldgebied

Afleiden weerstand

Als de exponentiële functie is geschat, kan op basis van vooraf gekozen diepteklassen van het grondwater, per klasse de drainageweerstand worden geschat. Voor het voorbeeldgebied de Overijsselse Vecht worden daarbij de volgende arbitraire klassen initieel gehanteerd (SC-DLO, 1994 op basis van Ernst, 1978):

- klasse 1 0-65 cm-mv
- klasse 2 65-105 cm-mv
- klasse 3 105-175 cm-mv
- klasse 4 175-270 cm-mv
- klasse 5 270-400 cm-mv

Deze klassengrenzen zijn geen vaste waarden, maar zijn bruikbare beginwaarden bij het bepalen van de drainageweerstand voor verschillende orden deelsystemen. Hoeveel klassen er nodig zijn om een goede bepaling van de weerstanden te krijgen hangt af van de aard van de meetreeksen. Klassegrenzen worden gelegd op de "knikpunten" in de exponentiële relatie. In de praktijk blijken 3 klassen doorgaans voldoende om een klasse-indeling te verkrijgen waarbij de lineaire deelfuncties de meetreeksen zo goed mogelijk volgen. Uit de toepassing van deze methode op het proefgebied de Baakse beek zal blijken dat hier een andere klasse-indeling geldig is (zie paragraaf 3.3).

In figuur 3.3 zijn deze diepteklassen toegepast, voor zover aanwezig binnen de range van grondwaterstanden. Per diepteklasse wordt een delta h en een bijbehorende delta q bepaald, waarmee de weerstand berekend wordt. In tabel 3.1 is voor het voorbeeldgebied de Overijsselse Vecht de uitkomst van deze berekening weergegeven. De weerstanden per range ($\gamma_{1...n}$) zijn "parallel geschakeld" zodat:

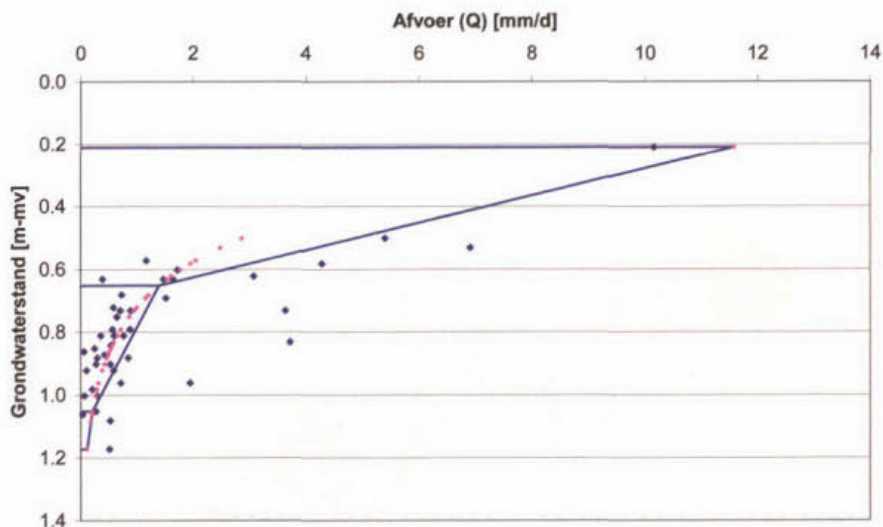
$$\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_3} + \dots + \frac{1}{\gamma_n} = \frac{1}{\gamma_{\text{totaal}}}$$

Bron: Meetnet Waternood, Alterra, TNO-NITG, WL, concept april 2001

De totale vervangingsweerstand voor het voorbeeldgebied bedraagt in dit geval 37 dagen.

Tabel 3.1 Berekening drainageweerstand voorbeeldgebied de Overijsselse Vecht

	Diepte range		delta q	delta h	weerstand •
	Van	Tot			
	[m-mv]	[m-mv]	[mm/d]	[m]	[d]
Range	0.21	1.17			
3	0.21	0.65	10.18	0.44	43
2	0.65	1.05	1.19	0.40	336
1	1.05	1.17	0.09	0.12	1340



Figuur 3.3 Projectie diepteklassen op exponentiële functie voorbeeldgebied

3.3 Toepassing methode Qh-relatie op proefgebied

Inleiding

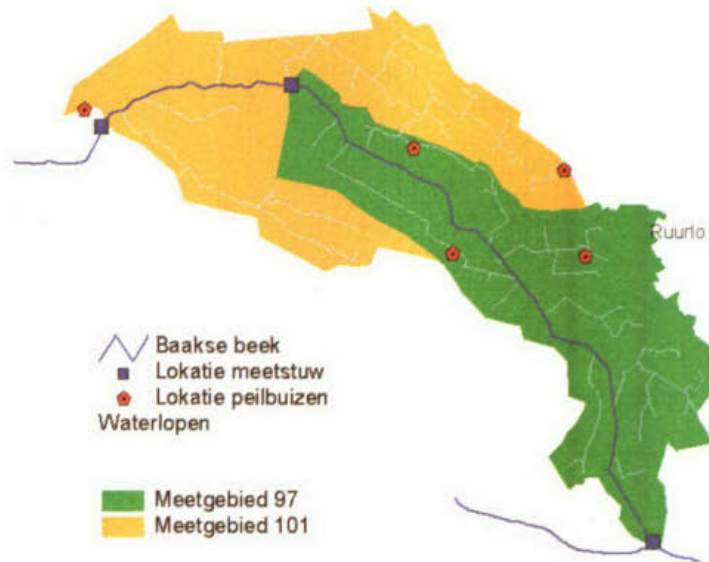
De in paragraaf 3.2 beschreven systematiek is toegepast voor het stroomgebied van de Baakse Beek. De keuze voor deze locatie is gebaseerd op het feit dat er relatief veel meetgegevens beschikbaar waren. Verder heeft Arcadis in dit gebied al een aantal hydrologische studies uitgevoerd waarbij veel systeemkennis is opgebouwd. Een algemene beschrijving van het proefgebied De Baakse Beek is opgenomen in bijlage 1.

Dataverzameling

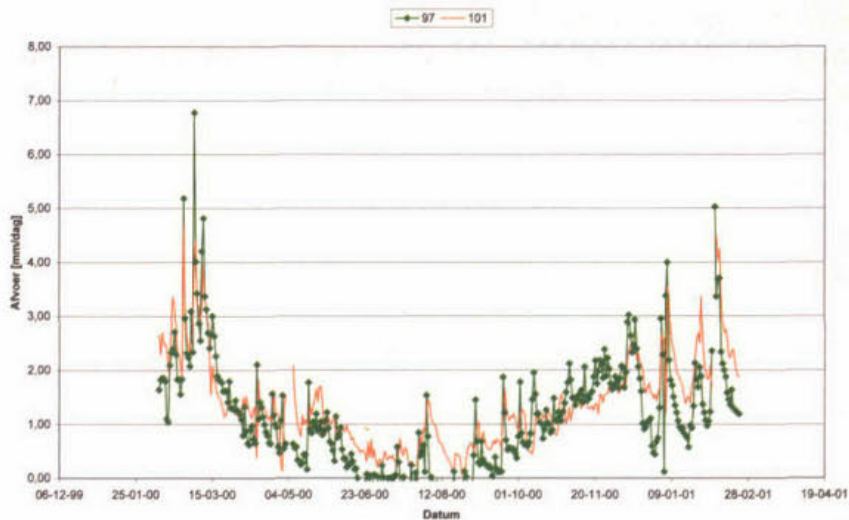
Om de drainageweerstand te berekenen zijn de parametersets afvoer en grondwaterstand benodigd. In de benedenloop van De Baakse Beek zijn twee meetgebieden aanwezig. In deze gebieden wordt de totale aan- en afvoer gemeten. Hierdoor kan per meetgebied worden berekend wat de aanvoer binnen het gebied is. In figuur 3.4 is een overzicht gegeven van deze meetgebieden. Het totale oppervlak van deze meetgebieden is 2032 hectare. Meetgebied 97 heeft een oppervlakte van 1094 hectare en meetgebied 101 heeft een oppervlakte van 938 hectare.

Afvoer

Voor de afvoer zijn gegevens beschikbaar over de periode februari 2000 tot en met februari 2001. De ruwe data in de vorm van gemeten waterstanden zijn aangeleverd door Waterschap Rijn & IJssel. Met behulp van stuwformules zijn deze omgezet naar afvoeren in mm/dag. De bewerking van de gegevens tot eenduidige afvoerreeksen heeft veel tijd gekost aangezien er geen afvoeren worden geregistreerd maar peilen die gekoppeld zijn aan een Qh-relatie. De gegevens in het onderzoeksgebied bevatten boven- en benedenstuwpeil zoals in het veld gemeten. Afwijkingen in metingen door peilen die het meetbereik overschrijden of door tijdelijke storing van het meetstation, zijn eruit gefilterd. In figuur 3.5 is een overzicht gegeven van de resultaten van de gebruikte meetpunten.



Figuur 3.4 Overzicht meetgebieden



Figuur 3.5 Overzicht gemeten debieten [mm/dag]

Grondwaterstand

Gegevens betreffende de grondwaterstand zijn ook aangeleverd door het Waterschap Rijn & IJssel. Een nadeel is dat de grondwaterstand slechts elke twee weken wordt gemeten terwijl de oppervlaktewaterstanden met een interval van 15 minuten worden geregistreerd. De variatie in grondwaterstanden in de tijd is weliswaar geringer dan die in het oppervlaktewater, maar een meetresolutie van 1 dag of enkele dagen biedt meer inzicht in de extremen van de reactie van het grondwater op neerslaggebeurtenissen dan een meetresolutie van twee weken. Omdat in de analyse van de weerstanden gerekend wordt met een statistische relatie tussen afvoer en grondwaterstand, levert een analyse met meer meetwaarden een meer betrouwbare analyse op. Het verdient aanbeveling de meetfrequentie af te stemmen op de dynamiek van het gebied.

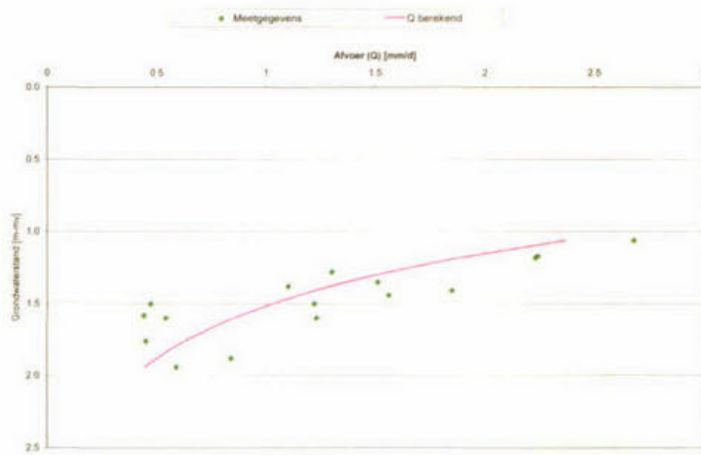
Beschikbaarheid gegevens Baakse beek

Ter plaatse van de stuwen van de twee deelgebieden in het proefgebied zijn afvoerreeksen beschikbaar. Onduidelijk is in hoeverre deze meetreeksen representatief zijn voor de deelgebieden. Ook is informatie uit de meetreeksen verloren gegaan door de relatief lage opnamefrequentie van de grondwaterstanden.

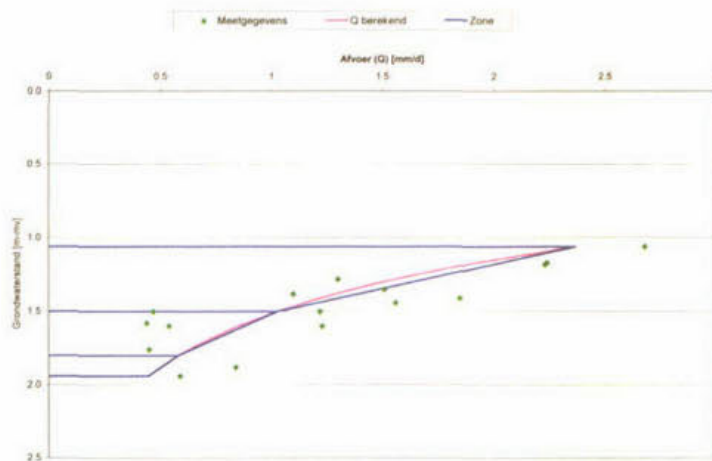
Voor beide meetgebieden geldt dat het aantal beschikbare representatieve meetreeksen beperkt is (met name voor meetgebied 101).

Berekeningsresultaten meetgebied 97

In de figuren 3.6a en 3.6b zijn de berekeningsresultaten weergegeven van meetgebied 97 betreffende peilbuis R27. Voor de ligging van deze en andere peilbuizen wordt verwezen naar figuur 3.10.

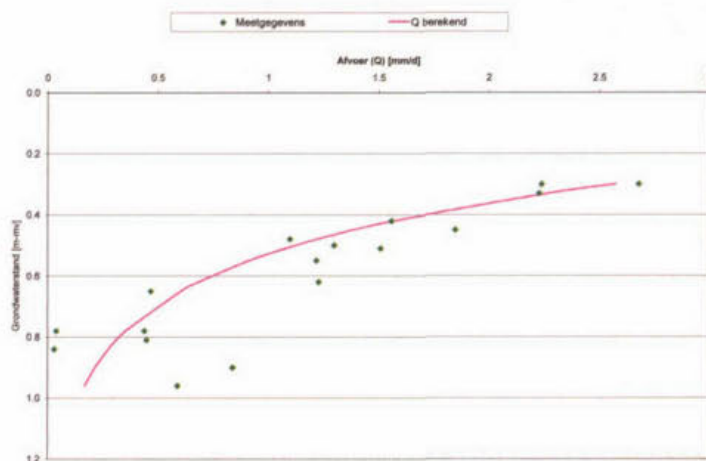


Figuur 3.6a Resultaat schatting exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis R27

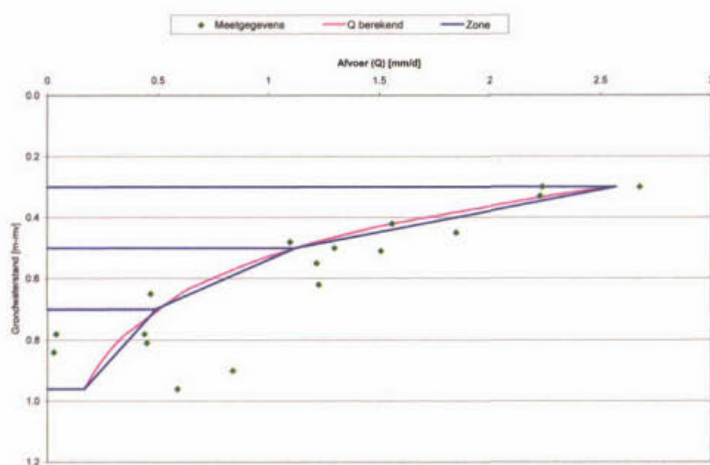


Figuur 3.6b Projectie diepteklassen op exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis R27

In de figuren 3.7a en 3.7b en tabel 3.3 zijn de berekeningsresultaten weergegeven meetgebied 97 betreffende peilbuis L12.

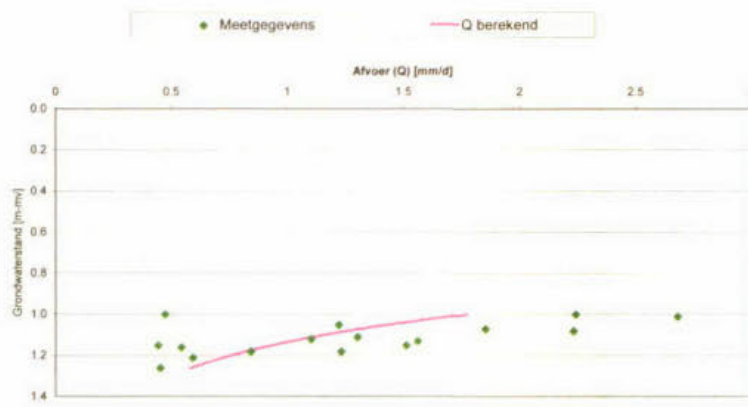


Figuur 3.7a Resultaat schatting exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis L12

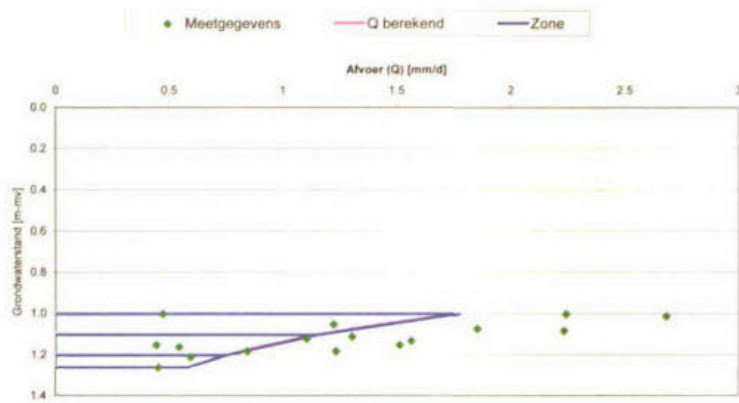


Figuur 3.7b Projectie diepteklassen op exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis L12

In de figuren 3.8a en 3.8b en tabel 3.4 zijn de berekeningsresultaten weergegeven meetgebied 97, peilbuis B10.



Figuur 3.8a Resultaat schatting exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis B10



Figuur 3.8b Projectie diepteklassen op exponentiële functie meetgebied 97, peilbuis B10

Tabel 3.2 Berekening drainageweerstand meetgebied 97, peilbuis R27

	Diepte range		delta q	delta h	Weerstand γ
	Van	Tot			
	[m-mv]	[m-mv]	[mm/d]	[m]	[d]
Range	1.06	1.94			
3	1.06	1.5	1.34	0.44	328
2	1.5	1.8	0.45	0.30	673
1	1.8	1.94	0.14	0.14	1032
Vervangingswaarde					182

Tabel 3.3 Berekening drainageweerstand meetgebied 97, peilbuis L12

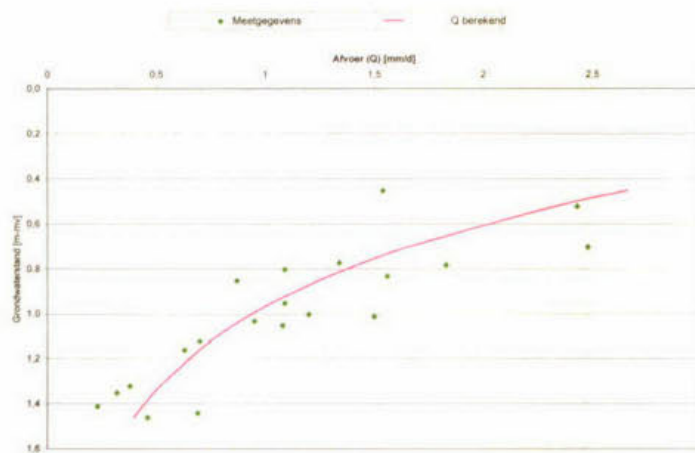
	Diepte range		delta q	delta h	Weerstand γ
	Van	Tot			
	[m-mv]	[m-mv]	[mm/d]	[m]	[d]
Range	0.30	0.96			
3	0.30	0.50	1.45	0.20	138
2	0.50	0.70	0.63	0.20	316
1	0.70	0.96	0.32	0.26	803
Vervangingswaarde					86

Tabel 3.4 Berekening drainageweerstand meetgebied 97, peilbuis B10

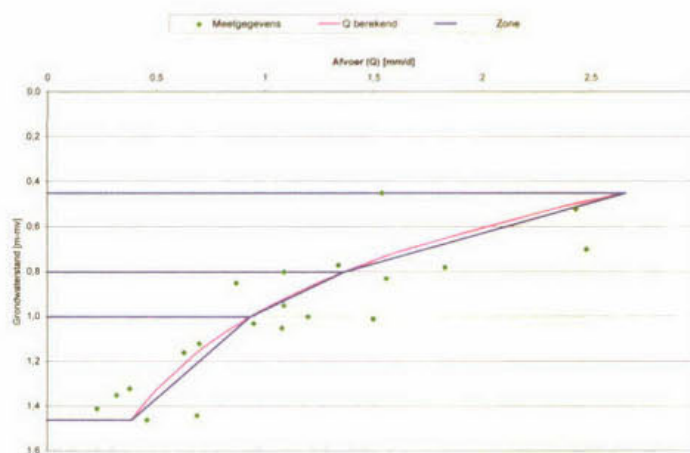
	Diepte range		delta q	delta h	Weerstand γ
	Van	Tot			
	[m-mv]	[m-mv]	[mm/d]	[m]	[d]
Range	1.00	1.26			
3	1.00	1.10	0.62	0.10	161
2	1.10	1.20	0.40	0.10	248
1	1.20	1.26	0.17	0.06	352
Vervangingswaarde					76

Berekeningsresultaten meetgebied 101

In de figuren 3.9a en 3.9b zijn de berekeningsresultaten weergegeven meetgebied 101 betreffende peilbuis R28.



Figuur 3.9a Resultaat schatting exponentiële functie meetgebied 101, peilbuis R28d

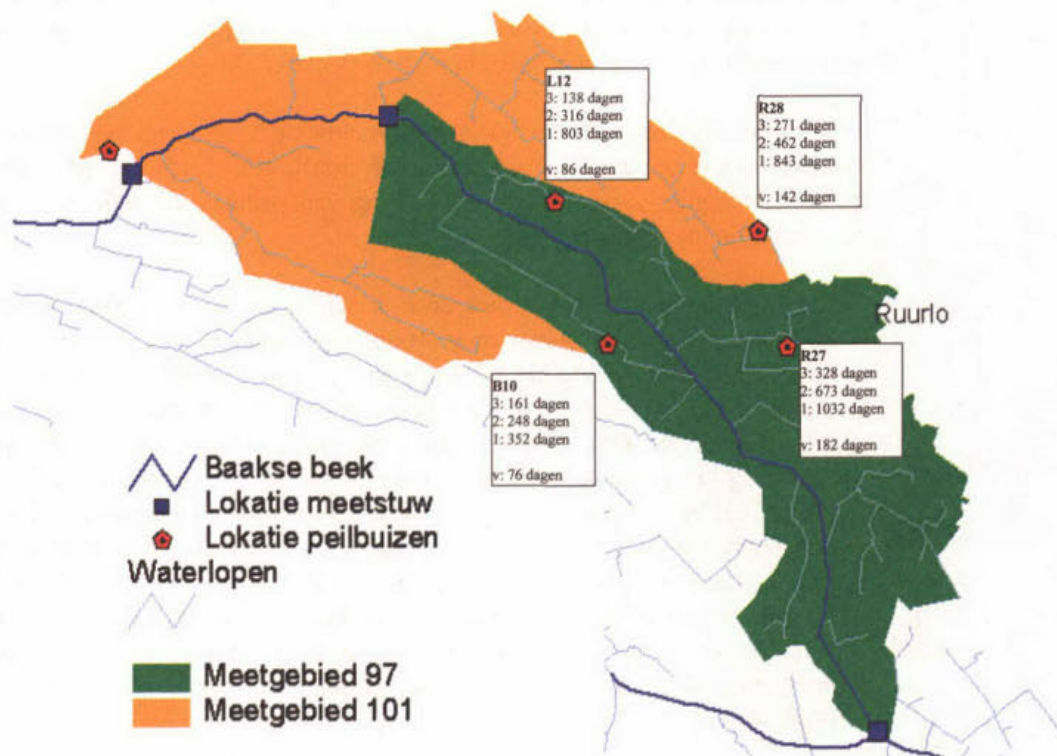


Figuur 3.9b Projectie diepteklassen op exponentiële functie meetgebied 101, peilbuis R28

Tabel 3.5 Berekening drainageweerstand meetgebied 101 peilbuis R28

	Diepte range		delta q	delta h	Weerstand γ
	van	Tot			
	[m-mv]	[m-mv]	[mm/d]	[m]	[d]
Range	0.45	1.46			
3	0.45	0.80	1.29	0.35	271
2	0.80	1.00	0.43	0.20	462
1	1.00	1.46	0.55	0.46	843
Vervangingswaarde					142

In figuur 3.10 is een overzicht van de meetgebieden opgenomen met daarin aangegeven de berekende weerstandswaarden per peilbuis, onderscheiden naar de verschillende drainageniveau's.



Figuur 3.10 Resultaten berekende weerstandswaarden (berekende drainageweerstand range 3, 2, 1 en berekende vervangingswaarde (v))

Bespreking resultaten

De berekende weerstanden (vervangingswaarden) variëren tussen circa 80 en 180 dagen. Deze waarden zijn theoretisch zeer reëel te noemen. Voor de primaire afwateringsniveau's zijn weerstandswaarden berekend tussen circa 350 en 1030 dagen. De gemeten grondwaterstanden liggen hierbij tussen waarden van 1 tot 2 meter beneden maaiveld. De weerstandswaarde bepaald in peilbuis B10 (352 dagen) valt duidelijk lager uit dan de overige waarden. Gezien de vlakheid van de curve is deze afgeleide waarde naar verwachting representatiever voor het secundaire of tertiaire drainageniveau. Dit werd bevestigd door aanvullende informatie van het Waterschap Rijn en IJssel (peilbuis ligt in rabatbos met continu hoge grondwaterstanden). Voor de tertiaire afwateringsniveau's zijn weerstandswaarden berekend tussen circa 160 en 330 dagen. De gemeten grondwaterstanden liggen hierbij tussen circa 0,3 en 1,5 meter.

In het onderdeel 'Meetnet' van Waternood, waarbij de Baakse beek eveneens als casus is meegenomen is ook een (gebiedsdekkende) schatting gegeven van de drainageweerstand (vervangingswaarde). Met uitzondering van peilbuis B10 komen de berekende waarden goed met elkaar overeen.

De spreiding in meetpunten wordt door verschillende factoren bepaald. Meetnauwkeurigheid is een relatief kleine factor als de waarnemingen door dezelfde waarnemers worden gedaan. Een belangrijke bron van spreiding in de meetgegevens is de hydrologische situatie. Een daling van de grondwaterstand verloopt anders dan een stijging in relatie tot de afvoer. Ook de voorgeschiedenis, erg nat of juist extreem droog, bepaald hoe neerslag het grondwater bereikt. Verder is ook een seizoenseffect door al dan niet aanwezig zijn van begroeiing een bron van spreiding in meetgegevens. De afgeleide weerstandswaarden zijn nu bepaald voor de hele beschikbare meetreeks vanwege het geringe aantal metingen. Een significante correlatiefunctie is met minder punten niet passend te maken zonder een afname van de betrouwbaarheid. Komen er meer meetwaarden in een reeks beschikbaar, dan kan een opdeling in een zomer en een winterseizoen een zinvolle aanpassing zijn. Er wordt dan inzicht verkregen in seizoenseffecten in de drainageweerstand.

De grondwaterstanden in de grafiek zijn uitgezet in meter ten opzichte van maaiveld. Het maakt in principe niet uit welk referentiekader wordt gebruikt voor het afleiden van de weerstanden. De linearisatie van de grafiek gaat uit van verschillen in grondwaterstanden [meter] en verschillen in afvoer [mm/dag]. Het is dan ook niet noodzakelijk de exacte ligging van het maaiveld te kennen. Voor het algemene inzicht is het handig om alles uit te drukken in meter t.o.v. maaiveld omdat hiermee uit de grafieken ook de fysische werkelijkheid valt af te leiden (grondwaterstand dicht onder maaiveld of juist een diepe grondwaterstand). De grafieken kunnen dan ook onderling goed worden vergeleken ('natte' gebieden versus 'droge' gebieden).

De continue exponentiële functie is omgezet naar lineaire deelfuncties die in diepteklassen zijn verdeeld. Deze linearisatie wordt gedaan om getalsmatig weerstandswaarden af te leiden. De klassegrenzen zijn arbitrair, maar gekozen vanuit de eigenschappen van bodem en watersysteem. Een praktische vuistregel voor een eerste schatting van de aangrijppunt is de gemiddelde bodemligging van het primaire, secundaire en tertiaire watergangenstelsel in de omgeving van het meetpunt (meter t.o.v. referentiepunt). De totale weerstand blijft in alle gevallen gelijk, de weerstand per diepteklasse varieert.

In Simland worden deze weerstandswaarden en klassegrenzen als invoer gebruikt. De klassegrenzen bepalen hoeveel weerstand tot een orde in het drainageproces wordt gerekend. Uit een simulatie van het neerslag-afvoerproces blijkt of de grenzen goed zijn gekozen. Zonodig kan via een aantal berekeningen het effect van andere klassegrenzen op de drainageweerstand van het primaire, secundaire en tertiare systeem en daarmee op het verloop van het hydrologisch proces worden onderzocht. De berekeningen nemen vrijwel geen tijd in beslag en zijn dus eenvoudig uitvoerbaar. Ook kunnen de berekende weerstanden worden vergeleken met de waarden die volgen uit de methode gebiedskenmerken.

3.4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

De programmatuur die is ontwikkeld om drainageweerstanden af te leiden werkt correct en de berekende weerstanden zijn theoretisch gezien zeer reëel te noemen. Met name de eenvoudige en relatief snelle wijze van berekenen is een groot voordeel. Een punt van aandacht bij de interpretatie van meetreeksen is de ligging van de klassegrenzen voor het primaire, secundaire en tertiare systeem. De keuze hiervoor is tamelijk arbitrair en zal mede door terugkoppeling met bijvoorbeeld Simland moeten worden vastgesteld. Een praktische vuistregel hierbij voor een eerste schatting van de aangrijppunt is de gemiddelde bodemligging van het primaire, secundaire en tertiare watergangenstelsel in de omgeving van het meetpunt (meter t.o.v. referentiepunt).

Een belangrijk aandachtspunt blijft de kwaliteit en kwantiteit van de aangeleverde meetdata. Voor het proefgebied de Baakse beek bleken van de beschikbare metingen uiteindelijk veel gegevens niet te kunnen worden gebruikt doordat afvoeren en grondwaterstanden onvolledig en op verschillende tijdstippen zijn gemeten. Ook de verschillen in meetfrequentie van grondwaterstand en afvoeren dragen ertoe bij dat een deel van de beschikbare gegevens niet kan worden benut.

Een correctie van de afvoer voor oppervlakkige afstroming als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt, is niet opgenomen in de software. In de module Simland is dit proces wel opgenomen. Door middel van een controleberekening met Simland (of via een modellering met Sobek of DufLOW) kan inzicht worden gekregen in de invloed van oppervlakkige afstroming op de hydrologie van het gebied.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt het meetnet in te richten conform het meetprotocol dat in het kader van het deelonderzoek "Meetnet Waternood" (TNO-NITG, WL, Alterra) is opgesteld. Aandachtspunten hierbij zijn:

- de plaats en het aantal peilbuizen (in de nabijheid van de belangrijkste watergangen verdeeld over het beschouwde gebied en een gemiddelde peilbuis voor het (sub)stroomgebied;
- de frequentie van meten van afvoeren/oppervlaktewaterstanden en grondwaterstanden in relatie tot de dynamiek van het (grond)watersysteem. Bij een opnamefrequentie van 1-maal per twee weken zoals gebruikelijk voor grondwaterstanden zal in het algemeen teveel informatie verloren gaan.

- de wijze waarop met name de afvoer van oppervlaktewater wordt geregistreerd. Bij het proefgebied zijn waterstanden gemeten die met behulp van stuwformules zijn omgezet naar afvoeren. Dit heeft veel tijd in beslag genomen. Belangrijk is een eenduidige wijze van omrekenen via een handzaam format.

Daarnaast wordt aanbevolen andere proefgebieden te selecteren om de methode nader te toetsen. Echter in samenhang met de overige methoden die in dit rapport worden beschreven.

4 Drainageweerstanden op basis van gebiedskenmerken

4.1 Inleiding

De module Qh-relaties die in hoofdstuk 3 is beschreven, maakt het mogelijk om de drainagerelatie voor een gebied te berekenen op basis van metingen van grondwaterstand en afvoer. Deze drainagerelatie is uit te drukken in verschillende waarden voor de drainageweerstand, afhankelijk van de grondwaterstand. Een alternatieve weg om deze drainageweerstanden af te leiden is door gebruik te maken van gebiedskenmerken. De gedachte hier achter is dat de inrichting van het oppervlaktewatersysteem en de opbouw van de ondergrond de drainagerelatie bepaalt. Op grond van ervaringen met grondwatermodellering blijkt echter dat de bandbreedte waarmee relevante grootheden, zoals bijvoorbeeld representatieve doorlatendheid, afgeleid kunnen worden uit algemeen beschikbare kaarten, als bodemkaarten of grondwaterkaarten, te ruim is om een bruikbare drainagerelatie te kunnen afleiden. Daarom verdient het aanbeveling om deze aanpak te gebruiken naast de analyse van meetreeksen uit hoofdstuk 3, die weer zijn eigen beperkingen heeft (de representativiteit van de meetgegevens moet daarbij bijvoorbeeld onderzocht worden). Zo wordt het (meten=)weten gecombineerd met het (modelleren=)begrijpen om tot het gewenste inzicht te komen. Dit is vergelijkbaar met het opzetten van een (conceptueel) model en de ijking ervan met meetgegevens, waarbij een niet-geijkt model niet nauwkeurig genoeg is en metingen zonder model niet te interpreteren zijn.

In dit hoofdstuk wordt een ArcView-applicatie beschreven die is ontwikkeld voor de vertaling van algemeen beschikbare gebiedsgegevens naar drainageweerstanden¹. Hierbij is uitgegaan van standaard basisbestanden zoals die doorgaans bij waterschappen aanwezig zijn. De applicatie is echter zo open dat ook standaardwaarden kunnen worden opgegeven als basisbestanden ontbreken (bijvoorbeeld als REGIS niet beschikbaar is) of eigen bestanden kunnen worden gebruikt (bijvoorbeeld als meer gebiedsspecifieke gegevens beschikbaar zijn).

4.2 Beschrijving methode gebiedskenmerken

De basis voor de berekening van de drainageweerstanden wordt gevormd door de formule van Bruggeman. Deze formule geeft een drainageweerstand op basis van een aantal parameters zoals de slootafstand en de doorlatendheid van de ondergrond. Deze parameters worden in de applicatie bepaald op basis van een aantal kaarten met gebiedskenmerken. Zo worden bijvoorbeeld de bodemtypen van de bodemkaart door middel van de Staring-reeks vertaald in doorlatendheden van de ondergrond.

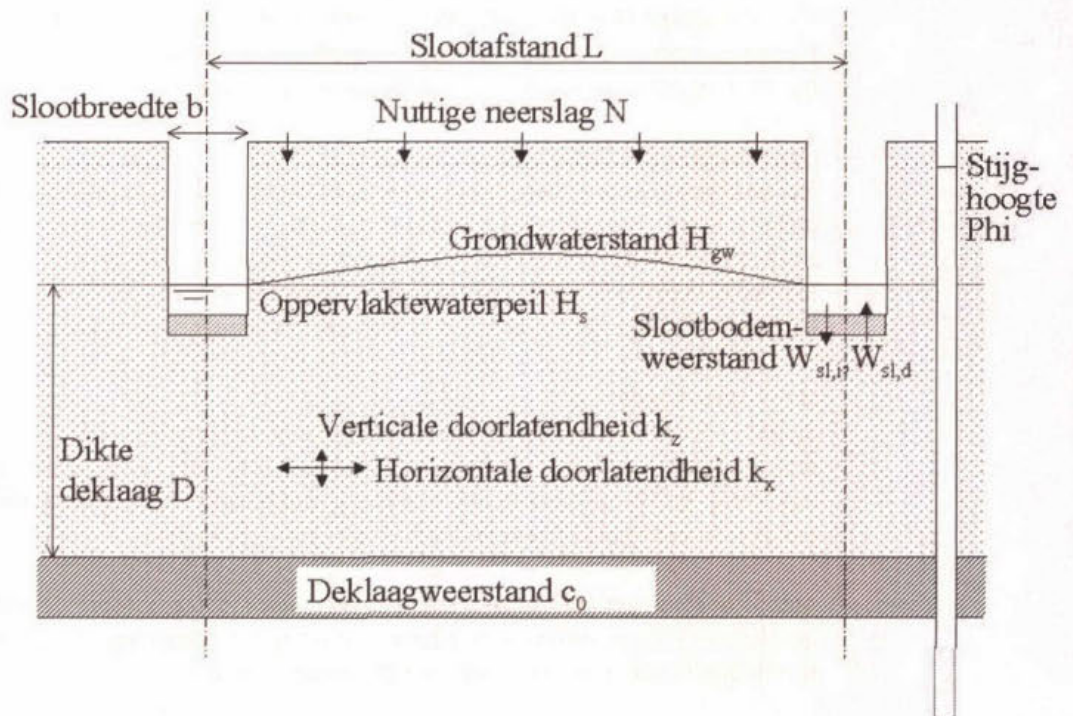
¹ In deze rapportage is de benaming "drainageweerstand" gebruikt, maar het betreft in feite de lekweerstand per cel.

In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de parameters van de formule van Bruggeman en wordt de afleiding van de parameterwaarden uit de kaarten toegelicht. Bij de opzet van deze applicatie is een minimale hoeveelheid informatie gebruikt. Elke parameter uit de formule van Bruggeman is op één manier uit een van de beschikbare kaarten afgeleid. In de praktijk zijn meerdere manieren mogelijk om informatie uit beschikbare kaarten te halen. Het verdient aanbeveling om bij eventuele volgende versies van de applicatie zo veel mogelijk informatie uit alle beschikbare kaarten te halen. Door parameters op verschillende manieren af te leiden, kan een betrouwbaarder waarde worden bepaald.

Formule van Bruggeman

De formule van Bruggeman beschrijft de grondwaterstroming in een verticaal vlak tussen twee parallelle sloten. De schematisatie is gegeven in figuur 4.1. Het toepassingsgebied van deze formule zijn situaties waarbij waterlopen insnijden in redelijk tot goed doorlatende ondergronden. Het formularium en een toelichting hierop zijn opgenomen in bijlage 4. De applicatie gebruikt de implementatie van G. van Drecht uit RID-mededeling 83-3 [ref. 3]². Deze methodiek heeft zich in de praktijk bewezen in een groot aantal studies zowel op regionale schaal als meer lokale schaal. Het RIVM baseert de topsysteem beschrijving van het landelijk grondwatermodel (LGM) op deze formule en IWACO maakt er ook veel gebruik van voor hydrologische modellen. IWACO heeft de methodiek systematisch toegepast bij onder andere de GMN-studie. GMN staat voor Grondwaterbeheer Midden Nederland, een studie uit 1991 in opdracht van de provincies Gelderland, Utrecht, Noord-Holland en Flevoland en de waterleidingbedrijven die in het midden van Nederland actief zijn, waarin het gebied rond de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en het Gooi, de Gelderse Vallei en Flevoland centraal stond. Deze regionale studie vormt nog steeds het uitgangspunt voor hydrologische studies in dit gebied. Ook wordt de formule genoemd in de studie 'Hydrologie voor STONE schematisatie en parametrisatie', die in 2000 door Alterra, RIZA en RIVM is gerapporteerd [ref. 8]. Vanwege de praktijkervaring binnen Royal Haskoning met het gebruik en de bekendheid bij diverse andere partijen is gekozen voor dit formularium.

² Na het gereedkomen van deze studie is een nieuwe, gemodificeerde formule van Bruggeman gepubliceerd in STROMINGEN. Deze is niet meegenomen en kan in een nieuwe versie van het instrumentarium worden ingebouwd.



Figuur 4.1 Schematisatie formule van Bruggeman (naar van Drecht[1983])

De schematisatie wordt toegepast voor elke klasse van waterlopen of drainagesystemen die aanwezig is. Afhankelijk van de grondwaterstand treedt in een systeem infiltratie of drainage op, of is het systeem helemaal niet actief. Voor verschillende niveau's van de grondwaterstand worden de resulterende drainageweerstanden per klasse samengesteld tot een drainageweerstand voor de betreffende grondwaterstand (vervangingswaarde).

De formule van Bruggeman vraagt een waarde voor de volgende parameters:

- Sloop- (of drain)afstand L
- Nuttige neerslag N
- Sloopbreedte b
- Deklaagdikte D
- Horizontale en verticale doorlatendheden k_x en k_z ;
- Deklaagweerstand c_0 ;
- Sloopbodemweerstand $W_{sl,i}$;
- Oppervlaktewaterpeil H_s ;
- Stijghoogte Φ .

Sloopbodemweerstand

De schematisatie van de formule van Bruggeman gaat uit van sloten met verticale zijkanalen, waarbij alleen door de bodem water toe- of wegstroomt. Daarom dient bij de toepassing de natte omtrek van de waterloop te worden gebruikt voor deze breedte b .

Voor deze natte omtrek is naast de breedte ook de diepte van belang. In de praktijk blijkt de slootbodeweerstand W_{sl} belangrijk lager te zijn wanneer de sloot draineert ($W_{sl,d}$) dan wanneer de sloot infiltreert ($W_{sl,i}$). Daarom is de mogelijkheid geschapen om verschillende waarden in te voeren voor de slootbodeweerstand $W_{sl,d}$ en $W_{sl,i}$. Afhankelijk van de stromingssituatie wordt de relevante waarde gebruikt.

Oppervlaktewaterpeilen

De oppervlaktewaterpeilen zijn in poldergebieden meestal goed bekend binnen het hele gebied. In vrij afwaterende gebieden met minder gecontroleerde oppervlaktepeilen zijn vaak minder metingen beschikbaar of wordt uitgegaan van ingestelde stuwhoogtes. Om het peil bovenstrooms constant te veronderstellen is meestal geen goede aanname. Beter kan worden aangenomen dat het peil oploopt samen met het maaiveld.

Sloten versus drains

Bij het opzetten van de applicatie is rekening gehouden met het feit dat naast sloten ook drains kunnen bijdragen aan de afwatering in een gebied. Drains kunnen apart worden ingevoerd. Relevante parameters hierbij zijn draindiepte, drainafstand en buisdiameter. Op grond van de buisdiameter wordt de natte omtrek bepaald.

Met de hiervoor genoemde overwegingen is de lijst van kaarten voor de applicatie geselecteerd die is gegeven in tabel 4.1. In bijlage 4 is aangegeven op welke wijze de ruimtelijke informatie kan worden verzameld en verwerkt.

Tabel 4.1 Gebiedskenmerken van belang voor relatie tussen grond en oppervlaktewater

Afkorting	Omschrijving	Bronbestand
N	Nuttige neerslag	Gebruikersinvoer/LGN3
L_{sl}	Slootafstand	TOP10 vector/ Leggerinformatie
L_{dr}	Drainafstand (indien drains aanwezig)	Gebruikersinvoer
B	Breedte sloot	Leggerinformatie
ϕ_{dr}	Diameter buisdrainage (indien drains aanwezig)	Gebruikersinvoer
M_v	Maaiveld hoogte	AHN (grid)
D_d	Dikte deklaag	REGIS / Geohydrologische kaart
K_x	Horizontale doorlatendheid	Bodemkaart 1:50.000 / 1:10.000
K_z	Vertikale doorlatendheid	Bodemkaart 1:50.000 / 1:10.000
C_d	Weerstand tussen deklaag en watervoerend pakket	REGIS / Geohydrologische kaart
$W_{sl,i}$	Infiltratieweerstand slootbodeweerstand	Onderhoudsgegevens / leggerinformatie
$W_{sl,d}$	Drainageweerstand slootbodeweerstand	Onderhoudsgegevens / leggerinformatie
D_s	Diepte sloot	Leggerinformatie
H_s	Oppervlakte water peil	Peilbesluit/stuwpeilen
H_{gw}	Grondwaterstand (ondiepe GWS)	Bodemkaart 1:50.000 (Gt oud/nieuw)
Phi	Stijghoogte (diepe GWS)	REGIS / Geohydrologische kaart
A	Oppervlakte	Topografische kaart
W	Drainageweerstand	Af te leiden uit formule van Bruggeman
Q	Debiet (afvoer hoeveelheid)	Metingen waterschap, ter controle

Berekeningswijze van de ArcView-applicatie.

De applicatie berekent de drainageweerstand (W) voor het interessegebied in twee stappen:

- W berekenen per gridcel;
- W berekenen voor het interesse gebied; dit kan het stroomgebied zijn, maar bijvoorbeeld ook de homogene deelgebieden.

Voor de eerste stap wordt de waarde van elke parameter per gridcel bepaald, waarmee de drainageweerstand vervolgens voor elke cel wordt berekend met de formule van Bruggeman. Deze berekening wordt uitgevoerd voor de verschillende aanwezige klassen waterlopen (primair, secundair en tertiair). De resulterende weerstanden worden gecombineerd onder de gangbare aanname dat ze werken als parallelle systemen:

$$W = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{W_i}}$$

Drainagebasis

Voordat de berekening wordt uitgevoerd dient de drainagebasis te worden gedefinieerd. Naarmate de hoeveelheid water die uit het gebied moet worden afgevoerd toeneemt, zullen meer waterlopen (primair – secundair – tertiair systeem) een bijdrage leveren aan de afvoer. De applicatie is zo opgebouwd dat voor elk drainageniveau (primair – secundair – tertiair) de drainageweerstand wordt berekend (W_1 , W_2 , W_3). Op grond hiervan kan elke combinatie van weerstanden op basis van de hiervoor genoemde parallel-schakeling worden bepaald te weten:

- W_1 (primair systeem)
- W_{12} (combinatie primair – secundair systeem)
- W_{123} (combinatie primair – secundair – tertiair systeem)

W_1 is representatief voor een zeer droge situatie waarbij alleen het primaire watersysteem bijdraagt aan de afvoer. W_{123} is representatief voor een (zeer) natte situatie waarbij alle orde watersystemen bijdragen aan de afvoer. W_{12} is een situatie die hier tussenin ligt. Bij elke situatie hoort een bepaalde grondwaterstand. Door gebruik van de applicatie en toepassing op verschillende locaties moet duidelijk worden welke grondwaterstand representatief is voor welke situatie. Vooral nog is in de applicatie uitgegaan van de volgende standaardsituaties:

- droge situatie: berekening W_{12} waarbij wordt gerekend met de GLG uit de betreffende grondwatertrap;
- natte situatie: berekening W_{123} waarbij wordt gerekend met de GHG van de betreffende grondwatertrap.

In de tweede stap worden de drainageweerstand uit stap 1 gecombineerd tot een drainageweerstand voor het hele interessegebied:

$$W_{\text{interessegebied}} = \frac{A_{\text{interessegebied}}}{A_{\text{cel}}} \frac{1}{\sum_{\text{interessegebied}} \frac{1}{W_{\text{cel}}}}$$

Er is gekozen voor deze getrapte opbouw waarbij gridcellen als kleinste gemene deler gebruikt worden vanwege een aantal factoren:

- de efficiëntie van het reken werk in GIS;
- het maaiveld dat beschikbaar is als grid;
- het feit dat naast een totale waarde voor het interessegebied een basis gelegd wordt voor detailstudies.

4.3 Toepassing methode gebiedskenmerken op proefgebied

Invoer gegevens

De methode is toegepast op het proefgebied 'De Baakse Beek'. Hierbij is gebruik gemaakt van de, binnen het Waterschap Rijn en IJssel beschikbare informatie. Daar waar gegevens ontbraken zijn andere bronnen geraadpleegd of zijn constante waarden ingevoerd. De volgende gegevens zijn beschikbaar gesteld via het Waterschap:

- hoogtebestanden (AHN, gehele gebied)
- bodemkaart beperkt, 1:50.000 (gehele gebied)
- bodemkaart uitgebreid, 1:10.000 (deel gebied)
- informatie watergangen
- TOP10vector
- peilen ter plaatse van meetstuwen (bovenstrooms/benedenstrooms)

Het waterschap Rijn en IJssel beschikt niet over de landgebruikskaart (LGN3) en REGIS-bestanden. Voor het gehele gebied beschikt men over de bodemkaart 1:50.000. Deze is gebruikt bij toepassing van de applicatie.

- Achtereenvolgens zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:
- Aanmaken interessegebied (shape-file);
- Bepalen grid-size (25x25 meter);
- Vaststellen door te rekenen situatie;
- Verzamelen en invoeren noodzakelijke gegevens (zie hierna);
- Bepalen drainageweerstand W_1 , W_2 , W_3 ;
- Berekenen vervangingsweerstand W_{123} .

Besloten is bij het toepassen van de applicatie op het proefgebied 'de Baakse beek' een natte situatie door te rekenen waarbij alle drainageniveau's een bijdrage leveren aan de afvoer. In tabel 4.2 is omschreven welke bestanden/waarden hiervoor zijn gebruikt. Aan gezien informatie over eventuele aanwezige buisdrainage in het gebied ontbreekt is daar bij het toepassen van de applicatie op het proefgebied geen rekening mee gehouden. Aan het tertiaire systeem (waterlopen) is in dit geval dus geen buisdrainage toegevoegd.

Tabel 4.2 Overzicht invoergegevens berekening (natte situatie)

Parameter	Bestand/waarde	Toelichting
Interessegebied	Interessegebied.shp	Betreft meetgebieden 97 en 101
Gridsize	25 x 25 meter	
Slootafstand	TOP10vector $L_1 = 800$ meter $L_2 = 340$ meter $L_3 = 170$ meter	Bepaald is slootafstand per drainageniveau. In een eerste berekening is gebruik gemaakt van een berekende, gemiddelde waarde per gridcel. In een tweede berekening is de slootafstand per gridcel gevarieerd. Zie onder 'Resultaten berekeningen'.
Maaiveldhoogte	AHN-bestand	
Dikte deklaag	$D_d = 10$ meter (constante)	Dikte geschat op basis van gegevens uit TNO-DGV kaart (34W Enschede, 41W Aalten)
Hor. doorlatendheid	Bodemkaart/Staringreeks	Varieert per bodemtype. Binnen interessegebied komen Hd21, Hn21, cHn21, cHn23, pRn59, Rn62, pZg23, pZn23, vWz, zEZ21, zEZ23 voor (Staringcode B1, B3, B11, B16, Og).
Ver. doorlatendheid	Bodemkaart/Staringreeks	Varieert per bodemtype, zie hiervoor.
Weerstand deklaag	$C_d = 50$ dagen	Ingeschat op basis van gegevens uit TNO-DGV kaart
Inf. weerstand slootbodern	$W_{sl,d-1} = 6$ dagen $W_{sl,d-2} = 6$ dagen $W_{sl,d-3} = 6$ dagen	Inschatting op basis van praktijkervaring modellering
Dr. weerstand slootbodern	$W_{sl,d-1} = 3$ dagen $W_{sl,d-2} = 3$ dagen $W_{sl,d-3} = 3$ dagen	Inschatting op basis van praktijkervaring modellering
Natte omtrek	$b_1 = 10$ meter $b_2 = 3$ meter $b_3 = 1$ meter	In de beschrijving van de applicatie is aangegeven dat de natte omtrek van waterlopen kan worden bepaald. De gemiddelde waarde hiervan voor het interessegebied (alle waterlopen) bedraagt circa 5 meter. Voor het bepalen van de natte omtrek per drainageniveau is deze gemiddelde waarde gedifferentieerd.
Oppervlaktewaterpeil	Gem. 1,0 m-mv	
Ondiepe grondwaterstand	Gt-klassen	Inzicht in Gt-trappen. Betreft de GT-trappen II, III, V, VI en VII
Stijghoogte (diepe gws)	Circa NAP + 14 meter	Vanuit TNO-DGV kaart, stijghoogteverloop ingevoerd (als shape-file). Betreft gedateerde informatie!
Neerslag	0,002 m/dag	Schatting uitgaande van relatief natte periode

Resultaten berekeningen

Er is gerekend met een gemiddelde waarde voor de slootafstand per drainageniveau. Deze gemiddelde slootafstand wordt bepaald door de totale slootlengte van een orde drainageniveau te delen op het oppervlak van het interessegebied. Deze optie is standaard aanwezig in de applicatie. Het resultaat van deze berekening is een drainageweerstand waarvan de variatie sterk gekoppeld is aan het bodemtype (onderscheid klei, zware zavel, zand). De variatie in drainageweerstand per bodemtype is beperkt, veroorzaakt door het gebruik van een gemiddelde waarde voor de slootafstand. Deze bere-

kening is met name zinvol indien de nadruk ligt op het bepalen van drainageweerstand per homogeen deelgebied danwel het afleiden van drainageweerstand voor kleine gebieden met een beperkte variatie wat betreft ligging van waterlopen.

In de figuren 4.2 tot en met 4.4 is voor de drainageniveau's 1, 2 en 3 de berekende drainageweerstand weergegeven. Figuur 4.5 geeft het berekeningsresultaat weer van de vervangingswaarde W_{123} . In het noordelijke deel van het proefgebied worden de hoogste weerstanden berekend ($W_{123} > 350$ dagen). Dit wordt veroorzaakt door de beperkte dichtheid van het oppervlaktewaterstelsel danwel de bodemopbouw (lokaal zware klei en zware zavel aanwezig in de ondergrond). In het overige deel van het gebied ligt de weerstand (W_{123}) vrijwel overal ≤ 200 dagen, lokaal 200 tot 250 dagen.

De peilbuizen waarvoor met de applicatie Qh-relaties via meetreeksen een waarde voor de vervangingsweerstand is berekend zijn gelegen in het midden van het proefgebied. Een vergelijking van berekende vervangingswaarden vanuit de methode gebiedskenmerken en de methode Qh-relaties laat zien dat deze waarden vergelijkbaar zijn (berekende waarden W_{123} 80 – 180 dagen op basis van meetreeksen, 100 – 200 dagen op basis van gebiedskenmerken (voor het overgrote deel van het gebied).

In het deelonderzoek 'Meetnet Waternood' zijn ook schattingen gegeven voor de drainageweerstand. De berekende waarden komen redelijk goed overeen.

Gevoeligheidsanalyse

Bij het opstellen van de applicatie en het uitvoeren van de berekeningen is gebleken dat een aantal parameters van grote invloed is op het resultaat. Met name de slootafstand, de breedte van de sloot (natte omtrek), de infiltratie-/drainageweerstand en de verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid zijn bepalend. De invloed van de neerslag en kwel/infiltratie (deklaagweerstand) is veel minder bepalend.

In de module Qh-relaties (hoofdstuk 3) is onder meer de gemeten afvoer in het proefgebied gebruikt om de weerstand te bepalen. In de module Simland (hoofdstuk 5) is op basis van neerslag- en afvoergegevens het grondwaterstands- en afvoerloop berekend. Het betreft meetgegevens uit 2000 (zie ook de hoofdstukken 3 en 5). De module gebiedskenmerken levert bij de berekening van de weerstand per drainageniveau ook de afvoer van het betreffende deelsysteem.

De gemiddelde afvoer in 2000 ter plaatse van meetstuw 101 bedroeg circa 76 m³/dag. De berekende afvoeren per deelsysteem bedragen:

Q_1	33 m ³ /dag;
Q_2	48 m ³ /dag;
Q_3	54 m ³ /dag.

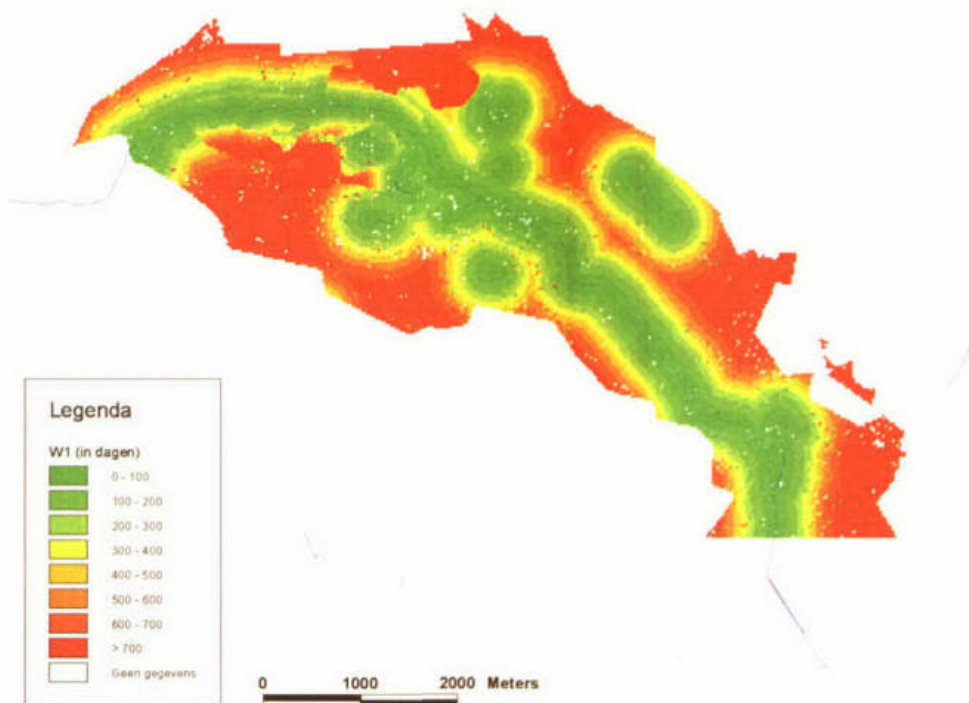
Deze berekende Q -waarden zijn de hypothetische afvoeren die op zouden treden als alleen het betreffende systeem aanwezig zou zijn. Zo is Q_2 de afvoer van het secundaire systeem als er geen primair en tertiair systeem aanwezig is. De werkelijk afvoer van het secundaire systeem is lager.

De werkelijke totale afvoer Q_{123} kan op dit moment nog niet worden afgeleid aangezien hiervoor nog een rekenstap moet worden ingebouwd waarin de samengestelde weerstand is verwerkt. Gegeven het feit dat de grondwaterstand minder opbalt als er meerdere systemen tegelijk actief zijn zal Q_{123} lager zijn dan $Q_1 + Q_2 + Q_3$ ($=135 \text{ m}^3/\text{dag}$) en omdat er extra afvoercapaciteit is zal Q_{123} hoger zijn dan de hoogste van de afzonderlijke afvoeren ($Q_3 = 54 \text{ m}^3/\text{dag}$).

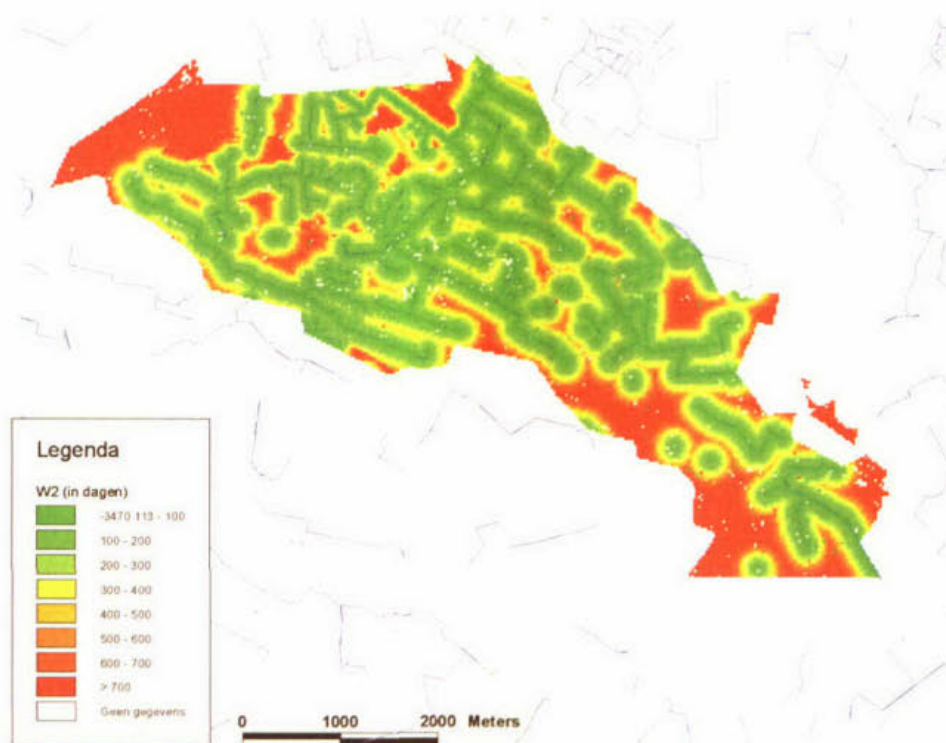
Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat de gemeten afvoeren en de afvoeren op basis van gebiedskenmerken orde grootte overeenkomen. Vergelijking van gemeten en berekende afvoeren biedt goede mogelijkheden voor een ijking van de applicatie op een specifieke situatie. Hiertoe dient de applicatie nog wel enigszins te worden aangepast.

Doorrekenen wijzigingen inrichting en beheer

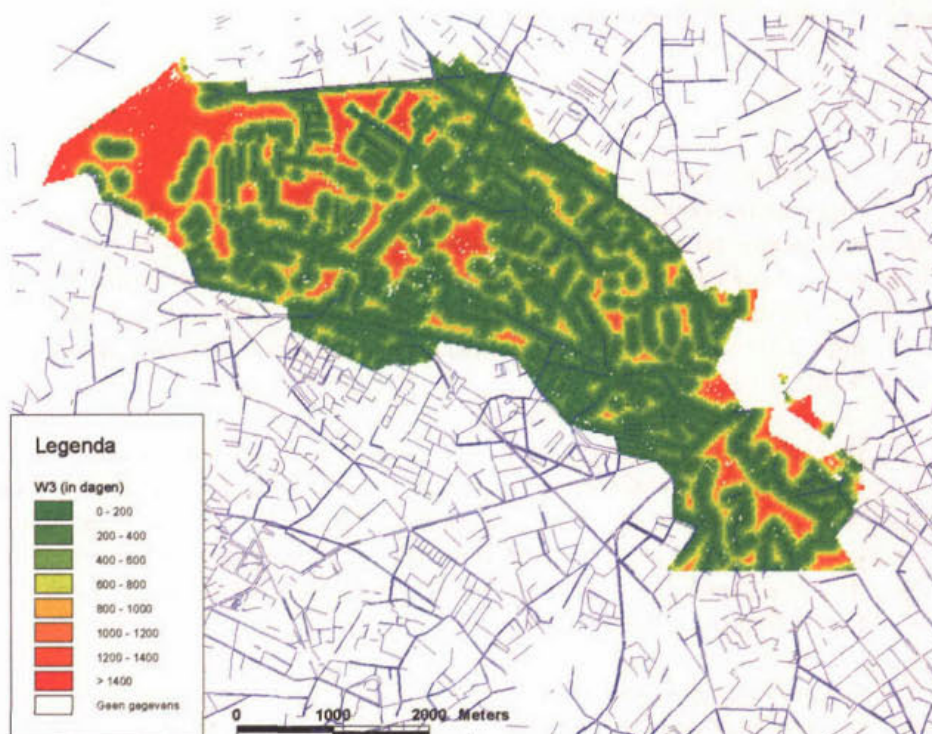
Met het ontwikkelen van deze applicatie bestaat ook de mogelijkheid om effecten van wijzigingen in de inrichting en het beheer in een gebied op de drainageweerstand door te rekenen. Zo zou bijvoorbeeld het effect kunnen worden bekeken van bredere sloten (verandering natte omtrek) of het dempen van bepaalde sloten (lijnelementen weglaten uit TOP1ovector bestand). De gebruiker dient dan de basisinformatie aan te passen en de berekening opnieuw uit te voeren. Ook biedt, zoals hiervoor aangegeven, het formularium aanknopingspunten om de applicatie uiteindelijk om te zetten naar een vorm waarbij vooral inzicht wordt gegeven in veranderingen van afvoeren en grondwaterstanden ten gevolge van ingrepen. Bij een verdere optimalisatie van de applicatie kan dit nader worden uitgewerkt.



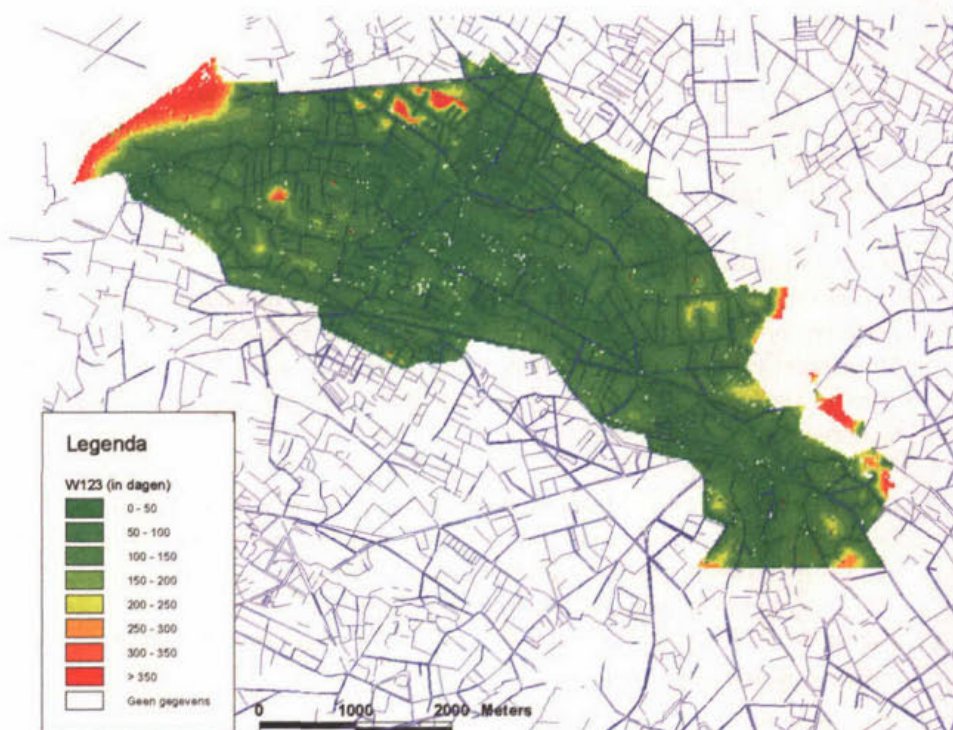
Figuur 4.2 Berekende drainageweerstand W_1



Figuur 4.3 Berekende drainageweerstand W_2



Figuur 4.4 Berekende drainageweerstand W_3



Figuur 4.6 Berekende drainageweerstand W_{123} (vervangingsweerstand)

4.4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Methode algemeen

Met de ontwikkelde methode gebiedskenmerken is het mogelijk gebleken om op basis van geografische informatie gebiedsdekkende weerstandswaarden per drainageniveau te berekenen en vervangingsweerstanden. De methode geeft inzicht in de ruimtelijke variatie van weerstanden in het gebied van interesse. Dit ruimtelijke inzicht kan worden gebruikt om aanvullende meetpunten in te richten voor toepassing van de methode Qh-relatie.

De applicatie presenteert in de huidige vorm alleen drainageweerstand. Intern worden de freatische grondwaterstand (h_{fr}) en de flux naar het oppervlaktewater (Q_s) ook berekend. De applicatie kan eenvoudig worden uitgebreid waarbij ook deze h_{fr} en Q_s aan de gebruiker worden gepresenteerd. Deze resultaten kunnen vervolgens voor een ijkings van de invoerparameters worden gebruikt, door vergelijking met gemeten afvoeren en freatische grondwaterstanden.

Toepassing op proefgebied

De berekende waarden zijn vergelijkbaar met de weerstandswaarden die volgen uit de methode Qh-relatie. Een eerste globale vergelijking van afvoeren laat zien dat gemeten en berekende afvoeren orde grootte overeenkomen.

De methode gebiedskenmerken geeft inzicht in die parameters die met name bijdragen aan de drainageweerstand van een gebied. Op grond van de uitgevoerde berekeningen wordt geconcludeerd dat de slootafstand, natte omtrek, infiltratie- en drainageweerstand van sloten (per orde systeem) en de verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid van de ondergrond belangrijke parameters. Door de (variatie in) waarden van deze parameters goed in beeld te brengen kan de betrouwbaarheid van het berekende resultaat verder worden vergroot.

Bredere toepassing applicatie

De ontwikkelde applicatie kan in de praktijk worden toegepast bij het inschatten van effecten op de drainageweerstand ten gevolge van wijzigingen in het beheer en inrichting in het gebied. In deze studie is hierbij gekeken naar de situatie in een vrijafwaterend gebied. De applicatie is echter zo opgebouwd dat ook poldersystemen eenvoudig kunnen worden doorgerekend.

Een aandachtspunt bij de applicatie is de beschikbaarheid van gegevens en het format waarin deze beschikbaar zijn. Met name de wijze waarop leggerinformatie beschikbaar is en het gebruik van gegevens uit ReGis. Bij het opstellen van de applicatie is zoveel mogelijk aangesloten bij de basisbestanden zoals afgesproken binnen Waternood. Overigens is de applicatie dusdanig 'open' dat elke parameter als constante of willekeurig vlak (shape-file) kan worden ingevoerd.

Aanbevelingen

De methode kan verder worden uitgebreid door deze toe te passen op een aantal andere proefgebieden (waaronder een poldersysteem), waarbij:

- de uitvoer van freatische grondwaterstand (h_f) en slootafvoer (Q_s) wordt gepresenteerd aan de gebruiker;
- ijking plaatsvindt van berekende grondwaterstanden en afvoeren aan gemeten waarden;
- de gevoeligheidsanalyse van parameters expliciet wordt gemaakt;
- het effect van wijzigingen in het beheer en inrichting in het gebied wordt beschouwd.

Het verdient aanbeveling om bij eventuele volgende versies van de applicatie zo veel mogelijk informatie uit alle beschikbare kaarten te halen. In de huidige versie is op één manier informatie uit (kaart)materiaal gehaald. Door parameters op verschillende manieren af te leiden, kan een betrouwbaarder waarde bepaald worden. Genoemd zijn al het ijken op grond van afvoeren en grondwaterstanden. Te denken valt verder aan het gebruik van veldmeetgegevens, specifiek kaartmateriaal en resultaten van modelberekeningen.

Deze nadere uitwerking dient zoveel mogelijk plaats te vinden in samenhang met de overige methoden die in dit rapport worden beschreven.

Verder dient te worden onderzocht in hoeverre leggerinformatie en informatie uit ReGis algemeen en in uniform format beschikbaar is voor toepassing binnen deze applicatie. Zonodig dient de invoer van deze informatie in de applicatie verder te worden gestandaardiseerd.

5 Verificatie drainageweerstand op basis van neerslag/afvoermodel (SIMLAND)

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het neerslag/afvoermodel Simland beschreven. Met Simland kan met behulp van een (niet-stationair) bakmodel, het grondwaterstands- en afvoerloop in een gebied worden gesimuleerd, waarbij de relatie tussen grond- en oppervlaktewater benaderd wordt op basis van de drainageweerstand. Op deze manier kan direct en langs eenvoudige weg op basis van de drainageweerstand van een gebied een modellering van de grond- en oppervlaktewaterafvoer plaats vinden. Zoals in hoofdstuk 1 reeds is aangegeven kan Simland worden gebruikt als alternatief voor de neerslag-afvoermodule van bijvoorbeeld Sobek of Duflow. Deze modules worden gebruikt om het inzicht in het hydrologische proces te vergroten. Welke module wordt toegepast, wordt overgelaten aan de gebruiker. Modules als Sobek en Duflow volgen vaak een ruimtelijke modellering, zodat veel invoer benodigd is met een veelheid aan parameters om te kunnen komen tot een voldoende nauwkeurige procesbeschrijving. Voordeel van Simland hierbij is dat gebruik wordt gemaakt van een één-dimensionale modellering met een beperkte hoeveelheid invoerparameters. Simland kan worden gebruikt als stap voordat wordt besloten of een uitgebreider model nodig is. Een ander voordeel is dat Simland is gemaakt in Excel, een algemeen gebruikt computerprogramma, waarbij de gebruiker de mogelijkheid heeft om zonodig aanpassingen/uitbreidingen door te voeren.

De kan worden afgeleid uit:

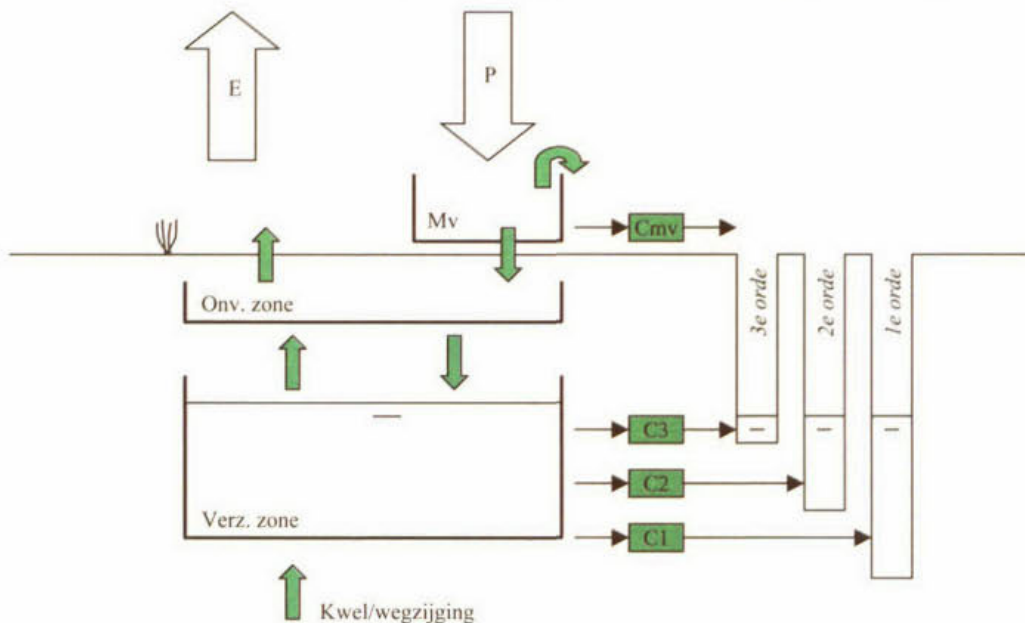
- beschikbare Qh- drainageweerstand relaties (zie hoofdstuk 3). Hierbij wordt op basis van een directe relatie tussen grondwaterstand en afvoer een drainageweerstand afgeleid.
- op basis van gebiedskenmerken (zie hoofdstuk 4). Hierbij wordt op basis van gebiedskenmerken (vastgelegd via (digitale) kaarten) een drainageweerstand afgeleid.
- met Simland zelf, via modelcalibratie op grondwaterstands- en/of afvoerloop.

Nadat op basis van het via Simland berekende grondwaterstands- en afvoerloop in een gebied bekend (en gecalibreerd) is voor een huidige situatie, kan inzicht worden verkregen in het te verwachten grondwaterstandverloop, bij aanpassing van het te voeren peilbeheer. Simland is binnen Waternood daarmee een model waarmee zowel de eigenschappen van een gebied kunnen worden bepaald (zoals drainageweerstand), als waarmee de effecten van een aanpassing van het waterbeheer kunnen worden doorgerekend.

5.2 Beschrijving methode Simland

Modelconcept

Een schematisatie van de gevolgde aanpak in Simland is weergegeven in figuur 5.1



Figuur 5.1 Modelschematisatie

De gehele schematisatie is opgebouwd uit een 3-tal zogenaamde (deel-) bakmodellen.

- **Maaiveld.** Aan maaiveldzijde wordt de input van het model bepaald door neerslag en verdampingsgegevens. De infiltratie van neerslag in het maaiveld wordt – afhankelijk van de bodemopbouw – mogelijk beperkt, waarna stroming over maaiveld kan optreden. Bij de modellering passeert de neerslag een infiltratiebak. Deze infiltratiebak is geschematiseerd via een vulhoogte (in mm) en een infiltratiecapaciteit (in mm/dag). Alle neerslag die in een tijdstap niet kan infiltreren blijft in de maaiveldbak aanwezig. Als de actuele vulling hoger wordt dan de maximale vulhoogte, stort deze bak over, waarna afvoer plaats vindt naar het oppervlaktewater. Deze afvoer wordt berekend als het quotiënt van waterhoogte op maaiveld en de weerstand C_{mv} voor stroming over het maaiveld.
- **De onverzadigde zone.** Bij de modellering van de onverzadigde zone wordt uitgegaan van een benadering via het evenwichtsvochtprofiel, conform de methodiek van Genuchten. Afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld ontstaat er een relatie met het evenwichtsvochtprofiel (pF-curve) en ontstaat er een interactie met de verzadigde zone bak. Een uitgebreide beschrijving van deze methodiek is weergegeven in [ref. 1]
- **De verzadigde zone.** De ontwatering van de verzadigde zonebak, is numeriek gemodelleerd als functie van de drainageweerstand (C_1 t/m C_3 voor diverse te onderscheiden ontwateringssystemen) en de opbolling (zie ook [ref. 2]). De afvoer is gelijk aan het quotiënt van opbolling en drainageweerstand (voor de diverse niveaus afzonderlijk). De modellering van meerdere orden van watergangen (1 t/m 3) geschiedt zodoende parallel.

Een (orde) watersysteem voert af zodra de grondwaterstand boven de onderzijde (ontwa-teringsbasis) uit komt.

Daarnaast kan via een op te geven kwel/inzijingsterm een (constante) hoeveelheid kwel dan wel inzijing worden opgegeven. Per tijdstap wordt de waterbalans van de voor-voemde modelonderdelen berekend en wordt zowel het grondwaterstandsverloop als de afvoer in de tijd berekend. De gehele modellering is in een EXCEL spreadsheet gepro-grammeerd. Voor de theoretische achtergronden van de diverse voornoemde deelsyste-men wordt verwezen naar bijlage 3.

Spreadsheet Simland

In de spreadsheet Simland zijn de diverse modelonderdelen systematisch samengebracht in één totale modelschil. Het spreadsheet is opgebouwd uit diverse tabbladen, waarbij op ieder afzonderlijk tabblad een in-, uitvoer- of rekenroutine is beschreven. Het betreft de volgende tabbladen:

- Invoer
- Grondwaterstanden
- Genuchtentabel
- P & E
- Balans Totalen
- Grafiek grondwaterstand
- Grafiek afvoer

In bijlage 3 is een uitgebreide beschrijving van elk tabblad gegeven.

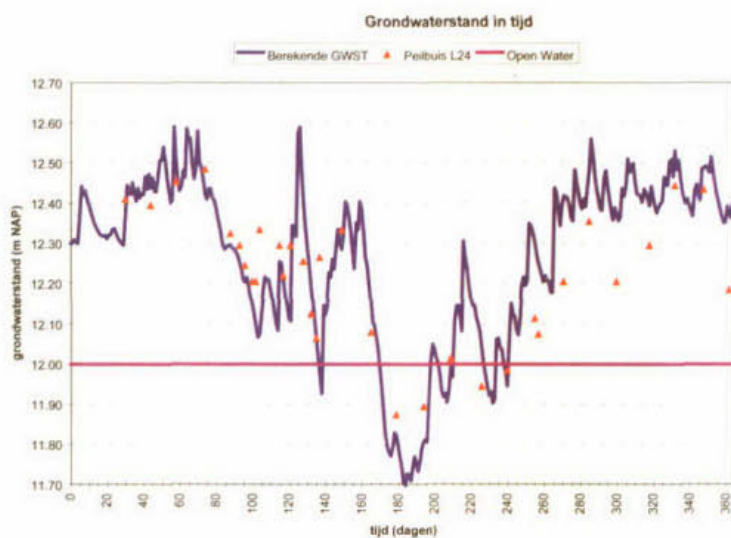
5.3 Toepassing methode Simland op proefgebied

Algemeen

De in paragraaf 5.2 en bijlage 3 beschreven methode is getest op het stroomgebied van de Baakse Beek. Voor een beschrijving van dit gebied wordt verwezen naar bijlage 1 en para-graaf 3.3 Binnen het beschouwde deel van het stroomgebied (totale oppervlakte circa 2000 ha) zijn een tweetal automatische meetstuwen aanwezig (registratie van kwartier-waarden), alsmede een groot aantal peilbuizen. Via deze gegevens (Qh-relatie) is de drai-nageweerstand afgeleid.

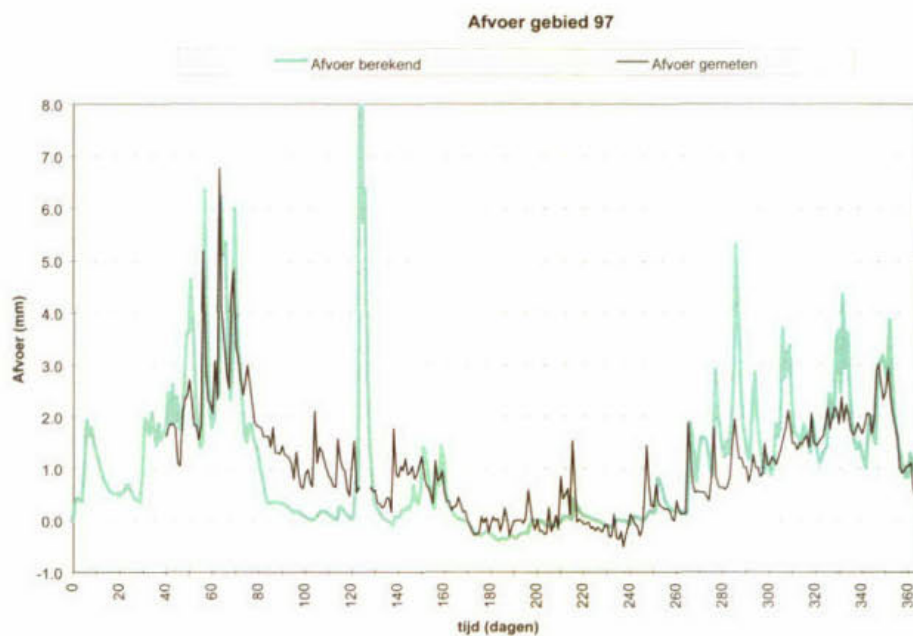
Modellering huidig grondwaterstands- en afvoerverloop

De op basis van de afvoer- en grondwaterstandsreeksen afgeleide drainageweerstand en (zie paragraaf 3.3) zijn ingevoerd in het model Simland. Voor de modellering is uitgegaan van het meetjaar 2000, waarover afvoergegevens beschikbaar zijn. Op basis van neerslag en verdampingsgegevens (KNMI meetstation Lochem respectievelijk verdampingsstation Hupsel) zijn met Simland het grondwaterstands- en het afvoerverloop berekend, en ver-geleken met de gemeten waarden. In de figuren 5.2 en 5.3 zijn de resultaten hiervan weergegeven.



Figuur 52 Gemeten versus berekend grondwaterstandsverloop deelgebied 97

(grondwaterstand gemeten in peilbuis L24, waarvan het verloop redelijk overeenkomt met het gemiddelde in het gebied aanwezige grondwaterstandsverloop alsmede de afvoer zoals gemeten via afvoermeetstuw 97. In figuur 5.3 is hetzelfde gedaan voor de afvoer).



Figuur 5.3 Gemeten versus berekend afvoerverloop deelgebied 97

Resultaten modellering huidige situatie

Uit de figuren blijkt dat zowel ten aanzien van het grondwaterstandsverloop als ten aanzien van het afvoerverloop de gemeten en berekende waarden redelijk met elkaar in overeenstemming zijn.

Tussen dag 80 en dag 120 zijn de berekende grondwaterstand en afvoer lager dan de werkelijke grondwaterstand en afvoer. Uit de gegevens blijkt dat de neerslag in deze periode een sterk buig karakter vertoont met relatief hoge intensiteiten. Mogelijk dat door het lokale karakter hiervan, deze buien zijn 'gemist' op het neerslagstation.

In zijn algemeenheid geldt dat bij lage afvoeren het berekende afvoerproces vloeiender is dan het gemeten afvoerproces, terwijl bij hoge afvoeren het gemeten afvoerproces juist minder grote schommelingen laat zien. Deze verschillen geven de beperking van Simland aan. De gebiedseigenschappen komen te weinig tot uitdrukking in een 1-dimensionaal model.

In algemene zin kan gesteld worden dat het model voldoende representatief is voor de huidige situatie.

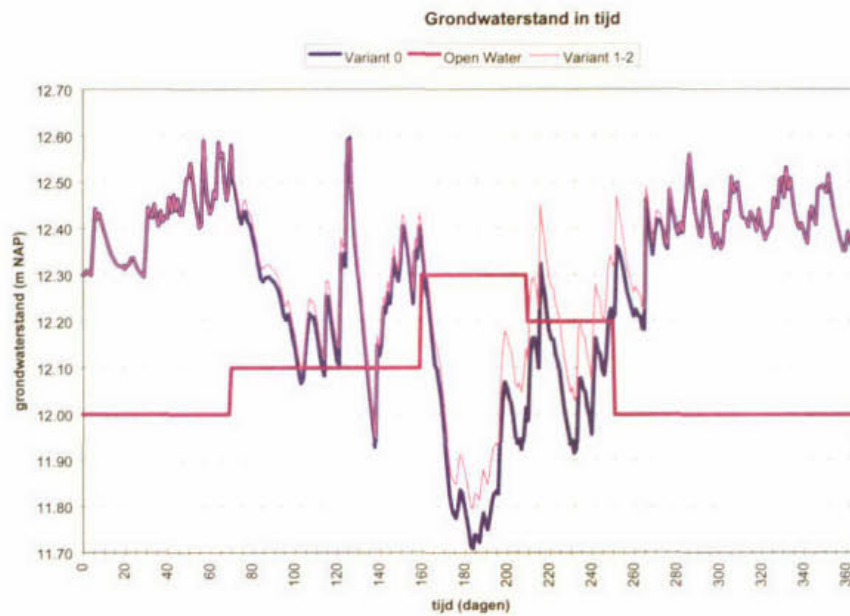
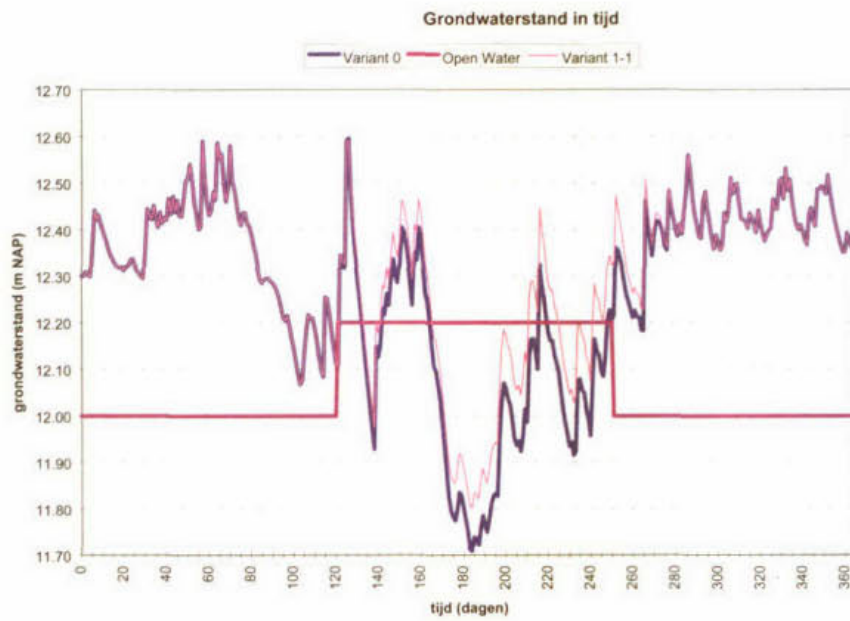
Beoordeling invloed aanpassing peilbeheer

Met behulp van het gecalibreerde model, representatief voor de huidige situatie, kunnen vervolgens varianten worden doorgerekend, die verschillen in het gevoerde peilbeheer. Mogelijkheden die het model biedt zijn onder meer varianten waarbij het (zomer- en winter)peil wordt gevarieerd, varianten waarbij gestuurd wordt op neerslag (bijvoorbeeld peilverlaging na periode met intensieve neerslag) of sturing op grondwater (uitgaande van een bepaalde doelgrondwaterstand het peil opzetten of verlagen, al naar gelang de situatie). In bijlage 3 zijn de alle standaardopties beschreven die beschikbaar zijn binnen Simland.

Ter illustratie wordt de uitgangssituatie zoals weergegeven in figuur 5.2 verder geoptimaliseerd door het peil gedurende het seizoen te variëren. Doel hierbij is het voorkomen van een te diep uitzakkende grondwaterstand door tijdig het peil op te zetten. In twee stappen is een gedifferentieerde peilverhoging doorgevoerd (zie figuur 5.4):

- Variant 1-1: Gedurende de periode dag 120 – dag 250 is het peil verhoogd van NAP + 12 meter naar NAP +12,20 meter. Ten gevolge hiervan neemt de grondwaterstand toe met 5 tot 10 cm.
- Variant 1-2: De peilverhoging wordt eerder doorgevoerd (vanaf dag 70) maar slechts met 10 cm. Vanaf dag 160 komt hier nog eens 20 cm peilverhoging bij. Dit is de periode met de laagste grondwaterstanden. Vervolgens wordt in de nazomer het peil stapsgewijs teruggebracht naar het winterpeil van NAP +12 meter.

Door op deze wijze het peil te variëren kan het oppervlaktewaterpeil worden geoptimaliseerd en afgestemd op het grondwaterpeil. Randvoorwaarde hierbij is natuurlijk de beschikbaarheid van het water om het peil te kunnen verhogen. Ook dient rekening te worden gehouden met het effect van verdamping in de zomermaanden. Een steeds hoger peil zal niet resulteren in steeds hogere grondwaterstanden aangezien de verdamping in deze periode het verhogende effect in belangrijke mate teniet doet.



Figuur 5.4: Effect gedifferentieerde peilverhoging op grondwaterstandsverloop

5.4 Conclusies en aanbevelingen

Uit voorgaande hoofdstukken en de uitgevoerde testen voor het proefgebied de Baakse beek is de toepasbaarheid van het model Simland gebleken voor enerzijds het vaststellen van de drainageweerstand, en anderzijds voor het vervolgens doorrekenen van het grondwaterstands- en afvoerterloop, inclusief de beschouwing van de diverse varianten van het te voeren peilbeheer. Voordeel van de toepassing van Simland is dat het voor een gebruiker langs eenvoudige weg mogelijk is desgewenst aanpassingen in het model door te voeren. Hetzelfde geldt voor het doorvoeren van aanpassingen in het gevoerde of te voeren peilbeheer. Standaard is reeds een aantal beheersvarianten aanwezig. Het staat de gebruiker vrij om met een alternatieve aanpak voor het peilbeheer te komen. De in dit rapport genoemde varianten dienen hierbij als voorbeelden.

Bij beschikbaarheid van zowel afvoer- als grondwaterstandsgegevens kan met behulp van de applicatie Qh-relatie, beschreven in hoofdstuk 3.2 een drainageweerstand worden berekend. Deze drainageweerstand kan worden gebruikt als invoer voor Simland. Desgewenst kan ook direct met Simland gecalibreerd worden op de drainageweerstand. Uit de uitgevoerde pilot studie voor het stroomgebied van de Baakse Beek blijkt dat, ingevoerd in het model Simland, het berekende grondwaterstandsverloop redelijk in overeenstemming is te brengen met het in het gebied gemeten grondwaterstandsverloop. Hier uit zich het nadeel van Simland dat het een 1-dimensionaal model is waarbij ruimtelijke verschillen niet tot uitdrukking gebracht kunnen worden zoals bij modellen als Sobek en Duflow. Dit neemt niet weg dat Simland goed is te gebruiken voor een snelle en eenvoudige analyse van het hydrologisch proces en een eerste inschatting van effecten van beheersmaatregelen op het verloop van de grondwaterstand.

Nawoord begeleidingscommissie

Het voorgaande rapport geeft naar onze mening een waardevolle set praktische tools en handvatten om de drainageweerstand te bepalen. Deze weerstand, hoe ongrijpbaar hij ook is, vormt een cruciaal onderdeel in de relatie tussen grond- en oppervlaktewater.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek bleken er de nodige haken en ogen te zitten aan het begrip "drainageweerstand" en gaandeweg het onderzoek heeft de uiteindelijke doel- en vraagstelling (die voor een groot deel achter de horizon van dit onderzoek liggen) verder vorm gekregen. De actieve instelling en de inzet van de beide bureaus heeft daarbij een belangrijke rol gespeeld, evenals het commentaar van een aantal externe deskundigen, waaronder dr. ir. P.J.T. van Bakel van ALTERRA.

Wij zien de resultaten van deze studie als een eerste stap in de richting van het uiteindelijke doel:

Het beïnvloeden van het grondwaterstandsregime door middel van het sturen van het afvoerverloop

Het grondwaterstandsregime immers vormt een belangrijke randvoorwaarde voor het waterbeheer. Inzicht in de drainageweerstanden in het gebied maakt het mogelijk het regime te beïnvloeden. Vaak is daarbij de doelstelling –zeer algemeen gesteld– de grondwaterstanden niet te diep te laten uitzakken en, zeker bij landbouw, ook niet te dicht tegen maaiveld te laten komen.

Om deze specifieke doelstelling door middel van inrichting van het watersysteem te bereiken, is aanvullend onderzoek nodig. Dit onderzoek zou zich naar onze mening moeten richten op het aanpassen van de profielen, omdat wij het wijzigen van de drainageweerstand en/of het aangrijpingspunt daarvan zien als hét middel om het gewenste grondwaterregime te bereiken. Onder "aangrijpingspunt van de drainageweerstand" verstaan wij het niveau ten opzichte van maaiveld van het waterpeil in gestuwde situaties en/of de slootbodem in vrij afwaterende situaties.

Als begeleidingscommissie zouden wij het zeer toejuichen als hier de komende jaren nader onderzoek naar wordt verricht en dat dit in een volgende versie van het instrumentarium wordt opgenomen.

Verdrogingsbestrijding middels het verondiepen van watergangen

WL | Delft Hydraulics heeft recentelijk een studie uitgevoerd naar de effectiviteit van het ondieper maken van watergangen ter bestrijding van de verdroging in vrij afwaterende gebieden (WL, 2002). In de studie is gebruik gemaakt van SOBEK. De belangrijkste conclusies die uit de studie volgen zijn:

1. Het ondieper maken van watergangen (verondieping) is een adequate maatregel om verdroging in vrij afwaterende gebieden te bestrijden. Voorwaarde is wel dat de watergangen in de huidige situatie wezenlijk moeten bijdragen aan de ontwatering van het gebied.
2. Verondieping leidt zowel in droge als in natte perioden tot hogere grondwaterstanden. De verhoging van de grondwaterstand in droge perioden is duidelijk hoger dan de verhoging van de grondwaterstand in natte perioden. De oorzaak hiervan ligt erin, dat naarmate de grondwaterstand hoger komt er meer drainerende middelen worden aangesneden, die afvlakkend werken op de stijging van de grondwaterstand.
3. Het verbreden van de (verondiepte) watergangen, ten einde de stijging van de grondwaterstand in natte perioden op te heffen, leidt niet tot het gewenste effect. Alleen op beperkte afstand van de watergang wordt de stijging van de grondwaterstand ten dele gecompenseerd. Deze compensatie is echter in droge perioden groter dan in natte perioden. Een maatregel, die meer specifiek gericht is op het neutraliseren van de grondwaterstand in natte perioden, is het aanbrengen van extra drainerende middelen op het gewenste niveau.

Literatuurreferentie: rapport "Verdrogingsbestrijding door verondiepen van watergangen in vrij afwaterende gebieden", WL | Delft Hydraulics, 2002

Literatuur

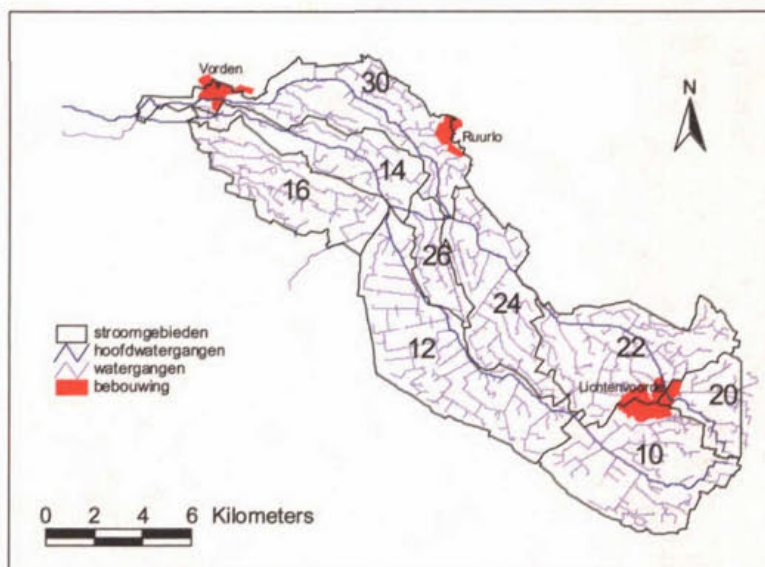
- Eenvoudige stochastische modellen voor grondwaterstandsfluctuaties, Deel 1: Een stochastische differentiaalvergelijking, M. Bierkens, *Stromingen* jaargang 4, nummer 2 [1998].
- Dictaat Niet-stationaire grondwaterstroming, W.H. van der Molen, 1997.
- Berekening van de stationaire grondwaterstroming naar sloten, RID-mededeling '83-3, Rijksinstituut voor de drinkwatervoorziening, G. van Drecht, 1983.
- Handleiding DURAVEG, IWACO, Rotterdam, 1996.
- TRIWACO voor Windows, versie 2.0, IWACO, Rotterdam, 1999.
- Verdrogingsonderzoek Drentsche Aa, projectnummer 2248230, IWACO, Groningen, 2000.
- Handleiding SOBEK, WL | Delft Hydraulics, Delft, 2001.
- Hydrologie voor STONE, schematisatie en parametrisatie, Alterra, RIZA, RIVM, Wageningen, 2000.
- Redesign STONE, Alterra, RIZA, RIVM, Wageningen, 2000.
- Drentsche Aa, WL | Delft Hydraulics, Royal Haskoning, november 2001.
- Watermanagementmodule, IWACO en WL | Delft Hydraulics (1998), 1998

BIJLAGE 1: BESCHRIJVING PROEFGEBIEDEN

Gebiedsbeschrijving proefgebied De Baakse Beek

Het totale stroomgebied van de Baakse Beek heeft een oppervlakte van ruim 18.000 hectare. De maaiveldhoogten variëren van 20 m+NAP bij Lichtenvoorde tot 7 m+NAP bij het instroompunt in de IJssel.

De bovenloop van de Baakse Beek ontspringt ter hoogte van Lichtenvoorde en stroomt vervolgens in noordwestelijke richting. Na ca 12,5 km splitst de Baakse Beek bovenloop zich in de Van Heeckerenbeek en de Baakse Beek benedenloop. De Van Heeckerenbeek stroomt in westelijke richting tot aan de kruising met de Veengoot. De Baakse Beek benedenloop stroomt vanaf de splitsing met De Van Heeckerenbeek langs Ruurlo en Vorden om vervolgens te kruisen met de Veengoot. Het meest benedenstroomse deel van de Baakse Beek loopt richting de IJssel. In figuur B1.1 is een overzicht van het stroomgebied weergegeven. Deelstroomgebied 30 gelegen tussen Vorden en Ruurlo is gekozen als proefgebied voor deze studie.



Figuur B1.1: Stroomgebied van de Baakse Beek en Veengoot

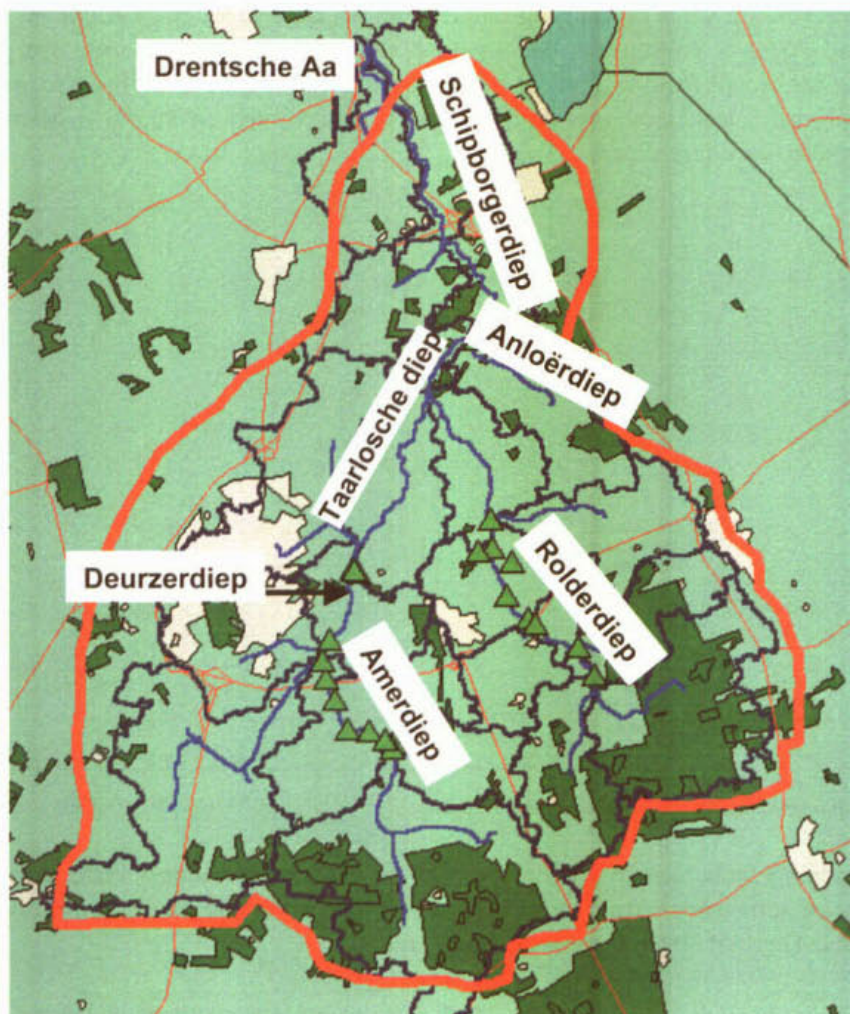
Het bodemgebruik bestaat voornamelijk uit grasland en in mindere mate akkerbouw. Daarnaast komen bos/natuur, open water en verhard oppervlakte voor. De grondsoort van het gebied bestaat uit lemig tot zwak lemig zand.

De afwatering vindt plaats door een stelsel van kleinere watergangen die het overtollige water van de diverse stroomgebieden afvoeren naar de hoofdwatervgangen. In normale

situaties wordt het water via de Baakse Beek onder vrij verval afgevoerd naar de IJssel. Indien de afvoer toeneemt, wordt de Baakse Beek bemalen en wordt tevens een gedeelte onder vrij verval via het Stroomkanaal afgevoerd. Indien de IJsselstand te hoog wordt moet het stroomkanaal gesloten worden. Afhankelijk van de duur en de afvoer gedurende deze situatie zal er inundatie optreden.

Gebiedsbeschrijving proefgebied De Drentsche Aa

Het stroomgebied van de Drentsche Aa beslaat een gebied van ruim 32.000 ha en ligt deels in Drenthe (bovenstrooms) en deels in de provincie Groningen (benedenstrooms). Overigens ligt de Drentsche Aa zelf geheel in Groningen, in Drenthe komen tal van stroompjes een beekjes voor, die uiteindelijk de Drentsche Aa voeden. In Drenthe zijn twee hoofdtakken te onderscheiden: het Taarloschediep en het Gasterschediep (stroomopwaarts Rolderdiep geheten), die samenstromen in het Oudemolenschediep, dat overgaat in het Schipborgerdiep. De loop van deze waterwegen is grotendeels intact gebleven, dat wil zeggen dat er weinig is gekanaliseerd. Om het overtollige regenwater op beheerste wijze af te voeren zijn wel op verschillende plaatsen stuwen aanwezig. In figuur B1.2 zijn de stuwen en de belangrijkste waterwegen in het stroomgebied aangegeven.



Figuur B1.2 Ligging stuwen en belangrijkste waterwegen in stroomgebied Drentsche Aa

Ten oosten van Assen wordt het debiet in de Deurzerdiep verdeeld. Een deel stroomt niet verder af via het Deurzerdiep, maar via het Afleidingskanaal (het enige kanaal in het stroomgebied van de Drentsche Aa) naar het Havenkanaal, dat uiteindelijk uitkomt in het Noord Willemskanaal. In tabel B1.1 staat de gehanteerde verdeelsleutel van het debiet.

Tabel B1.1 Verdeelsleutel debiet Deurzerdiep/ Afleidingskanaal (m³/s)

Q_{totaal}	0-3	3-15	>15
$Q_{\text{Deurzerdiep}}$	0-3	3	$3 + (Q_{\text{totaal}} - 15)/2$
$Q_{\text{Afleidingskanaal}}$	0	0-12	$12 + (Q_{\text{totaal}} - 15)/2$

De ligging van het maaiveld varieert tussen NAP +0,5 m in het uiterste noorden tot ca NAP +15 m bij de bron van het Amerdiep. Het landgebruik bestaat voornamelijk uit weideland en bos. Assen en Rolde vormen de grootste plaatsen, beide gelegen in het zuiden van het stroomgebied. In de ondergrond komt keileem voor, dat afgezet is in de Saale-ijstijd. De bovengrond bestaat in het noordelijke deel van het stroomgebied vooral uit zwak lemig, fijn zand (type 9 uit Staringreeks), in het zuiden is het overwegend lemige keileem en veengrond met zandig veraarde bovengrond (typen 11 en 2 uit de Staringreeks).

BIJLAGE 2: MODULE QH-RELATIE

De module Qh-relaties is opgebouwd met een invoergedeelte voor de tijdreeksen en een uitvoergedeelte waar de resultaten gepresenteerd worden.

Invoer

Voor het invoergedeelte is de volgende informatie vereist:

- kolom met datum in het formaat dd/mm/yy;
- kolom met grondwaterstand in meters minus maaiveld;
- kolom met afvoer oppervlaktewater in mm/d.

Beperkingen:

- de meetreeks met afvoeren mag niet de waarde 0 bevatten in verband met de logaritmische benadering;
- de datareeks mag niet minder dan 2 waarnemingen bevatten;
- de grondwaterstanden en de afvoeren moeten paren vormen op gelijke datum en tijd.

Het invoerformaat is afgeleid van het meest gehanteerde dataformaat in ADVENTUS voor tijdreeksen. In het invoerblad kan de gebruiker zelf nog additionele informatie toevoegen over het gebied en de waarnemingspunten.

Uitvoer

Het uitvoerblad bevat de volgende informatie:

- weerstanden per range, de diepteklassen mogen vrij gekozen worden;
- regressieparameters: correlatiecoëfficiënt, snijpunt Y-as, helling en standaardfout;
- grafiek met grafische weergave gefitte functie en diepteklassen.

Rekenmodule

De rekenmodule is geprogrammeerd in Visual Basic for applications versie 6.0. De berekeningen zijn gebaseerd op een kleinste kwadratenbenadering van een gelineariseerde meetreeks. Van de afvoergegevens wordt de log-waarde genomen in de verdere berekeningen.

De lineaire regressieformule heeft de vorm: $y=a+bx$
 waarin:

x = gemeten waarde variabele 1
 y = geschatte waarde variabele 2
 a = snijpunt met y-as
 b = helling

b wordt berekend met:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

en a wordt berekend met:

berekende
 $a = \bar{y} - b\bar{x}$

Wordt voor y de afvoer q gebruikt en voor x de grondwaterstand h , dan wordt na het terugrekenen van de logaritmen de functie die Q_h beschrijft als volgt:

$$q = a * \exp^{bh}$$

waarin:

q = afvoer [mm/d]
 h = gemeten grondwaterstand [m-maaiveld]
 a = snijpunt met y-as
 b = is de mate van kromming.

De standaardfout is berekend met:

$$stdfout = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - b(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 2}}$$

waarin:

n =aantal waarnemingen

De correlatiecoëfficiënt r is bepaald met:

$$r = \sqrt{\frac{b(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i / n)}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / n}}$$

Beperkingen:

- de array met data is begrenst op 500 waarnemingen, deze kan naar believe worden uitgebreid afhankelijk van het beschikbare geheugen in de PC;
- zinvolle rekenresultaten worden hooguit verkregen bij $n \geq 3$, omdat anders het aantal vrijheidsgraden onderschreden wordt;
- toetsing op significante waarden voor r moet altijd plaatsvinden.

BIJLAGE 3: MODULE SIMLAND

1 Theoretische achtergronden SIMLAND

1.1 Infiltratie in maaiveld

Het eventueel stagneren van neerslag op het maaiveld wordt gesimuleerd via de maaiveldbak. Parameters bij dit proces zijn de "maximale infiltratiecapaciteit" en "maximale berging maaiveld". Er worden twee situaties onderscheiden:

Neerslag > Max. Infiltratiecapaciteit. De actuele infiltratie naar het grondwater is gelijk aan de neerslaghoeveelheid.

Neerslag <= Max. Infiltratiecapaciteit. De actuele infiltratie is gelijk aan infiltratiecapaciteit. Het verschil (Neerslag – Infiltratiecapaciteit) wordt geborgen op maaiveld. Als deze berging groter is dan de "Maximale berging maaiveld" komt het overschot via stroming over maaiveld tot afvoer.

1.2 De onverzadigde zone

De modellering van de onverzadigde zone vindt plaats met behulp van de aanpak zoals beschreven in literatuur 1. In deze benadering wordt uitgegaan van het evenwichtsvochtprofiel.

De actuele verdamping E_a is daarbij afhankelijk van de saturatiegraad $S(h(t))$ van de onverzadigde zone.

De saturatiegraad van de bodem wordt beschreven met de volgende formule:

$$S(h(t)) = \frac{1}{\alpha(z_s - h(t))} \left\{ 1 + [\alpha(z_s - h(t))]^n \right\}^{-1}$$

Waarin:

$S(h(t))$	verzadigingsgraad bodem	[-]
z_s	maaiveldhoogte	[L]

$h(t)$	grondwaterstand op tijdstip t	[L]
α	genuchtenparameter	[L ⁻¹]
n	genuchtenparameter	[-]

De actuele verdamping kan dan als volgt worden vastgesteld:

$$E_a(S, t) = F_c E_r(t) [S(t)]^c$$

Waarin:

E_a	actuele verdamping	[LT ⁻¹]
F_c	gewasfactor	[-]
$E_r(t)$	referentieverdamping volgens Makkink	[LT ⁻¹]
C	constante, circa 0,5	[-]

De freatische opbrengstcoëfficiënt $G(h)$ bepaald het bergingsvolume van het grondwater. De opbrengstcoëfficiënt wordt kleiner naarmate de grondwaterstand hoger wordt. Dit wordt veroorzaakt door de toename van de gemiddelde verzadigingsgraag van de bodem bij ondiepe grondwaterstand. De freatische opbrengstcoëfficiënt wordt als volgt bepaald:

$$G(h) = \varepsilon_0 + (\varepsilon_0 - \varepsilon_r) \left(1 - \left\{ 1 + [\alpha(z_s - h)]^n \right\}^{-\frac{n+1}{n}} \right)$$

Waarin:

ε_0	bergingsparameter aan mv	[-]
θ_r	residuele vochtgehalte	[-]
θ_s	vochtgehalte bij verzadiging	[-]

1.3 De verzadigde zone

De verzadigde zone wordt gemodelleerd per orde van watersystemen, zoals greppels, kavelsloten, A-watgangen, beken etc. Een watersysteem gaat afvoeren zodra de grondwaterstand boven de drainagebasis van het betreffende systeem is gelegen.

De afvoerflux wordt per deelsysteem als volgt bepaald:

$$q_{d_i}(h, t) = \frac{h(t) - H_i(t)}{C_i}$$

Waarin:

q_d	drainageflux	[LT ⁻¹]
i	orde betreffende systeem	[-]
$H(t)$	drainagebasis	[L]
$h(t)$	grondwaterstand	[L]
C	drainageweerstand	[T]

Voor de hogere orden waterlopen is de drainagebasis gelijk aan het gehandhaafde of gerealiseerde peil. Voor ontwateringsmiddelen die droog kunnen vallen, zoals greppels en drains wordt het drainageniveau gelijk gesteld aan de hoogte van de bodem van de greppel of drainhoogte.

Een bijzondere situatie ontstaat wanneer de grondwaterstand beneden het oppervlaktewaterpeil (drainagebasis) is gelegen. Via een keuzemogelijkheid kan worden gekozen voor wel of niet infiltratie naar de bodem vanuit het oppervlaktewater. Dit zal voorkomen, indien het peil in de watergangen (via aanvoer) kan worden gehandhaafd. Voor infiltratie kan een aparte drainageweerstand (of infiltratieweerstand) worden opgegeven.

1.4 Discretisatie in tijd

De modelberekeningen vinden plaats in tijdstappen van 1 dag. De keuze voor deze tijdstap is gebaseerd op het feit dat zowel neerslag als verdampingsgegevens veelal beschikbaar zijn in daggegevens.

Per tijdstap wordt de volgende waterbalans berekend:

$$Q = (P - E_a) + K - \sum_{i=1}^{i=n} q_i + q_{mv}$$

Waarin:

Q	afvoer	[LT ⁻¹]
P	neerslag	[LT ⁻¹]
E _a	actuele verdamping	[LT ⁻¹]
K	kwel	[LT ⁻¹]
q _i	afvoer i ^e orde systeem	[LT ⁻¹]
q _{mv}	afvoer via stroming over maaiveld	[LT ⁻¹]

Wanneer de grondwaterstand lager is dan het oppervlaktewaterpeil, kan eventueel (indien toegestaan) negatieve afvoer (is aanvoer) plaatsvinden.

In principe is het model opgesteld om een periode van 2 jaar door te rekenen (730 dagen). Indien gewenst kan de gebruiker de door te rekenen periode uitbreiden tot iedere door hem gewenst rekenperiode.

2 Beschrijving tabbladen

2.1 Tabblad: Invoer

Alle voor het model benodigde invoerparameters worden ingevoerd via het tabblad INVOER. Daarnaast worden op het invoerblad alle berekeningen uitgevoerd. Het tabblad is onderverdeeld in een tweetal sectoren. Aan de bovenzijde van het tabblad worden de parameters ingevoerd voor de diverse modelonderdelen en worden de resultaten van de berekeningen aangegeven. De onderste sector van het tabblad omvat het rekendeel van het model Simland. In verticale richting bevinden zich de tijdstappen. In horizontale richting van het rekendeel bevinden zich de diverse modelonderdelen en (deel)balansen. De rekenformules zijn zodanig opgesteld, dat een gebruiker met minimale moeite desgewenst de formules kan uitbreiden/aanpassen.

De volgende invoerparameters worden op het tabblad INVOER onderscheiden:

Algemene Gegevens

- Initiële grondwaterstand. Deze waarde (in m NAP) vormt de beginwaarde voor de grondwaterstand op $t=0$.
- Maaiveldhoogte. De in te voeren maaiveldhoogte (in m NAP) is representatief voor de (gemiddelde) hoogte van het maaiveld in een studiegebied. De hoogte van het maaiveld is direct bepalend voor de dikte van de onverzadigde zone (en daarmee op de actuele evapotranspiratie en de freatische bergingscoëfficiënt). Tevens zijn de diepteniveaus van de verschillende orden waterlopen gekoppeld aan maaiveld.
- Maximale infiltratiecapaciteit. De maximale infiltratiecapaciteit bepaald hoeveel neerslag in een dag kan infiltreren naar het grondwater. Indien de hoeveelheid neerslag groter is dan de maximale infiltratiecapaciteit blijft de extra hoeveelheid water op het maaiveld staan. Afhankelijk van de maximale berging op mv wordt dit water eventueel via stroming over het maaiveld afgevoerd.
- Maximale berging maaiveld. De maximale berging (uitgedrukt in mm) bepaald hoeveel water op mv geborgen kan worden, zonder tot afvoer te komen via stroming over het maaiveld.
- Kwel. De kwel beschrijft de flux (in mm/dag) die een gebied binnenkomt via stroming vanuit het diepere grondwater. De in te voeren waarde wordt constant verondersteld over de gehele rekenperiode. Indien sprake is van wegzijging dient een negatieve kwel te worden ingevoerd.
- Aanvoer mogelijk. Deze vlag (J of N) geeft aan of er water vanuit het oppervlaktewater systeem kan infiltreren, in geval dat de grondwaterstand lager is dan het streefpeil van het oppervlaktewater. Indien aanvoer mogelijk wordt gemaakt wordt de aanvoerflux berekend op basis van de opbolling en de infiltratieweerstand (C-infiltratie).

- Gewasfactor. De gewasfactor [-] is de factor waarmee de potentiële verdamping wordt gecorrigeerd. De gewasfactor is afhankelijk van het type gewas. Voor grasland wordt veelal uitgegaan van een factor gelijk aan 1.
- Genuchten bodemtype. Het hier in te voeren nummer refereert aan de bodemcoderingen zoals weergegeven op het tabblad "Genuchtentabel". Bijvoorbeeld: voor een bodem bestaande uit een bovengrond van sterk leemig, zeer fijn tot matig fijn zand (type B3) wordt een 3 ingevoerd.
- Schatting gemiddelde grondwaterstand. Op grond van de geschatte, gemiddelde grondwaterstand wordt, via de parameters van het gekozen Genuchten bodemtype de freatische bergingscoëfficiënt bepaald.

Ontwatering (1)

- Bodem van de diverse orden watersysteem (m-mv). Hier wordt het niveau opgegeven waarboven het grondwater gaat afvoeren. Indien de grondwaterstand gelegen is beneden de alhier op te geven bodemniveau vindt geen ontwatering plaats. De bovenzijde van een orde watersysteem valt samen met de onderzijde van de bovenliggende orde (lagere orde). Indien de grondwaterstand boven de bovenzijde is gelegen is de afvoer gelijk aan het quotiënt van opbolling en drainageweerstand van de betreffende orde. Is de grondwaterstand gelegen tussen boven- en onderzijde wordt de afvoer lineair gecorrigeerd tussen de onder- en bovenzijde.

Peilbeheer

- Type peilbeheer. Door te kiezen voor een nummer tussen 1 en 7 wordt aangegeven op welke wijze het oppervlaktewaterpeil wordt beheerd. Het betreft de volgende keuzen:
- Constant peil. Het peil wordt gedurende de gehele simulatie constant gehouden. Als de grondwaterstand hoger is dan het oppervlaktewaterpeil vindt afvoer plaats. Is de grondwaterstand lager dan het oppervlaktewaterpeil én in het invoerscherm "Algemene gegevens" wordt via de vlag "Aanvoer mogelijk" infiltratie toegestaan, vindt infiltratie vanuit de watergang naar het oppervlaktewater plaats.
- Constant peil met droogval. Als de grondwaterstand hoger is dan het opgegeven waterpeil vindt afvoer plaats. Als de grondwaterstand lager wordt dan het opgegeven waterpeil, daalt het oppervlaktewaterpeil mee met de grondwaterstand. Zodra de grondwaterstand stijgt boven het opgegeven waterpeil vindt weer afvoer plaats.
- Zomer en Winterpeil. Onder optie 3 is het mogelijk om een afzonderlijk zomer- en winterpeil op te geven. Tevens wordt een dagnummer (het nummer van de dag van het jaar van 0 tot 365) opgegeven wanneer zomer en winterpeil ingaan.
- Sturing op neerslag. Uitgaande van een "normaal peil" is het mogelijk om bij een bepaalde "hoeveelheid neerslag" in de voorgaande week een te kiezen "peil bij neerslag" in te stellen. Zo wordt het mogelijk gemaakt om het peil te verlagen zodra er een bepaalde hoeveelheid neerslag in de voorgaande week is gevallen. Zo is alleen het peil lager gedurende een natte periode.
- Sinusbeheer. Het peilbeheer dat wordt gesimuleerd bestaat uit een via een sinusgolf variabel peil. Deze benadering maakt het mogelijk om het peilbeheer (winter laag, zomer hoog) af te stemmen tegengesteld aan het grondwaterstandverloop (zomer laag, winter hoog). Het peil is minimaal op 1 januari en maximaal op 1 juli. De amplitude van de sinusgolf is door de gebruiker op te geven ("amplitude").
- Sturen op grondwater. Afhankelijk of de grondwaterstand hoger of lager is dan een op te geven "Gewenste grondwaterstand" wordt een "normaal peil" en "maximaal peil" opge-

geven. Het "maximaal peil" wordt ingesteld zodra de actuele grondwaterstand lager is dan de "Gewenste grondwaterstand".

- Gemaal met vaste Q . Het peil in het oppervlaktewater is in principe gelijk aan het "Aanslagpeil" tenzij er meer neerslag valt dan de "gemaalcapaciteit" kan verwerken. Op dat moment wordt een nieuw oppervlaktewaterpeil berekend als functie van de niet afgevoerde neerslaghoeveelheid en het "percentage oppervlaktewater".

Ontwatering (2)

- Weerstand Maaiveld. De afvoerflux (q) wordt berekend als het quotiënt van opbolling en C maaiveld.
- C 1e orde. De afvoerflux (q) wordt berekend als het quotiënt van opbolling en C 1e orde.
- C 2e orde. Zie C 1e orde
- C 3e orde. Zie C 1e orde
- C 4e orde. Zie C 1e orde
- C Infiltratie. Als de grondwaterstand lager is dan het oppervlaktewaterpeil en aanvoer is toegestaan wordt de infiltratieflux berekend als het quotiënt van opbolling (negatief) en infiltratieweerstand.

Statistiek

In dit onderdeel worden de statistisch verkregen resultaten op basis van de gemeten en berekende grondwaterstanden weergegeven.

- ME: Mean Error. Het gemiddelde verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstand.
- MAE: Mean Absolute Error. Het gemiddelde absolute verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstand.
- RMSE: Root Mean Square Error. Wortel van de som van de kleinste kwadraten van berekende en gemeten grondwaterstanden.

Totalen

Onder het onderdeel totalen worden de over de totale berekende periode van 2 jaar de som van alle afzonderlijke balanst termen weergegeven. Het betreft de sommen van neerslag, wateraanvoer, kwel, actuele evapotranspiratie, afvoer via grondwaterstroming naar oppervlaktewater en afvoer via stroming over maaiveld.

2.2 Tabblad: Grondwaterstanden

Op het tabblad "Grondwaterstanden" worden alle gemeten grondwaterstanden opgegeven. Getallen zijn gerangschikt op basis van dagnummer (0 tot 730). De statistische analyse vindt eveneens op dit tabblad plaats. In kolom b staat de meetdatum (DD-MMM-YY) aangegeven ter plaatse van het vak corresponderende met het dagnummer. In kolom C staat de gemeten grondwaterstand (in m t.o.v. NAP).

2.3 Tabblad: Genuchtentabel

Op dit werkblad is een tabel met de Genuchtenparameters opgenomen. De keuze voor een bepaald bodemtype wordt in eerste instantie gemaakt op het werkblad invoer (zie Hoofdstuk 0, Algemene gegevens). In de Genuchtentabel worden vervolgens automatische de parameters gezocht, corresponderende met de opgegeven keuze. Het betreft de parameters θ_r , θ_s , α en n .

2.4 Tabblad: Neerslag en Evapotranspiratie

Op het werkblad P&E worden de neerslag en verdampingsgegevens (E potentieel volgens Makkink) opgenomen, die als basis dienen voor de input van de balansberekeningen (werkblad Invoer). De gegevens worden dag per dag ingevoerd. Neerslag [in mm/dag] wordt in kolom c opgenomen. De potentiële verdamping [mm/dag] wordt in kolom d opgenomen.

2.5 Tabblad: Balans totalen

De diverse te onderscheiden berekende balanstermen worden gesommeerd (over een periode van 2 jaar) weergegeven op het werkblad “

Balans Totalen”. Op basis van deze waterbalanstermen ontstaat inzicht in de bijdrage van de diverse balansonderdelen aan het totale hydrologische cyclus. Een eventuele optredende balansfout kan verklaard worden uit het feit dat het verschil in grondwaterberging tussen begin en einde van de berekening een relatie heeft met een variabele (grondwaterstandsafhankelijke) freatische bergingscoëfficiënt. Eveneens worden op dit werkblad de maximale en minimale waarden voor grondwaterstand en afvoer weergegeven.

2.6 Tabblad: Grafiek grondwaterstand

Op het werkblad “Grafiek Grondwaterstand” zijn de gemeten en berekende grondwaterstanden, alsmede het berekende oppervlaktewaterpeil weergegeven. Eveneens is op het werkblad een Default grondwaterstand weergegeven. Dit grondwaterstandsverloop is het grondwaterstandsverloop dat in een bepaalde modelconfiguratie is berekend, waarna op de button “Set as Default” is gedrukt. Met behulp van deze defaultwaarde is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen bijvoorbeeld de huidige en een toekomstige situatie.

2.7 Tabblad: Grafiek Afvoer

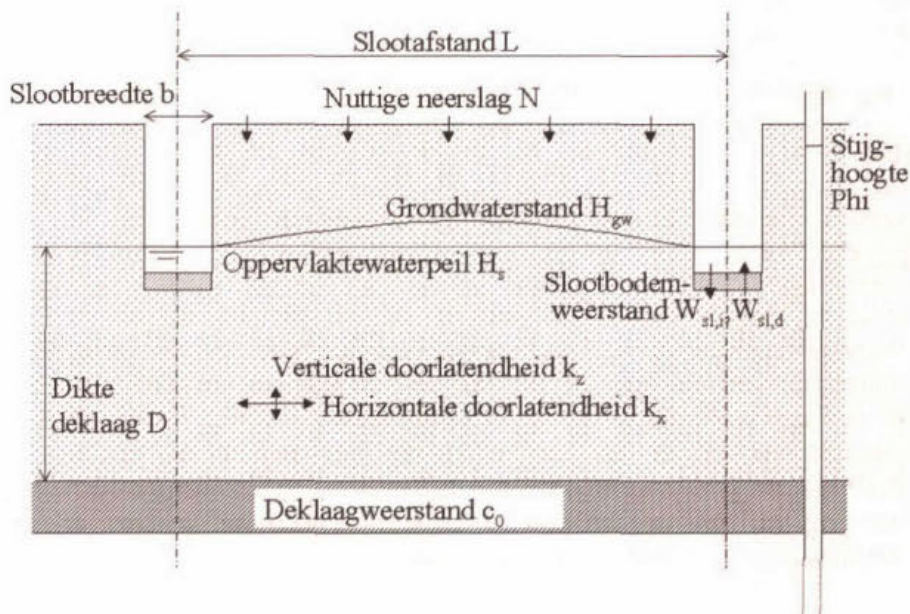
Op het werkblad grafiek afvoer staat het berekende afvoerverloop gepresenteerd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de totale afvoer, de afvoer via het grondwater en de afvoer via stroming over maaiveld. Ook hier is de mogelijkheid aanwezig om een default-grafiek mee te presenteren. De defaultberekening wordt geactiveerd door op het scherm “Invoer” op de button “Set as Default” te drukken.

BIJLAGE 4: MODULE GEBIEDSKENMERKEN

1 Theoretische achtergronden

Formule van Bruggeman

De navolgende beschrijving van de formule van Bruggeman is overgenomen uit van Drecht (1983).



De oorsprong van het coördinaatstelsel is gekozen in het midden van de linker sloot, waarbij de x-as horizontaal naar rechts en de z-as verticaal naar beneden loopt. De oplossing voor de stijghoogte in de deklaag is dan:

$$H(X, Z) = \left\{ N \left(1 - \frac{B}{L} \right) - \frac{Q_d}{L} \right\} \left(C_1 + \frac{D - Z}{k_z} \right) - \frac{Q_d + BN}{\pi^2 B k_z} a L \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin\left(\frac{n\pi B}{L}\right) \sin\left(\frac{2n\pi X}{L}\right) F(n, Z)$$

waarbij de factor a gelijk is aan de wortel uit de anisotropie verhouding:

$$a = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}}$$

en de functie $F(n, Z)$ gelijk is aan:

$$F(n, Z) = \frac{(n\alpha_1 + 1)e^{n\alpha_2} + (n\alpha_1 - 1)e^{-n\alpha_2}}{(n\alpha_1 + 1)e^{n\alpha_3} + (n\alpha_1 - 1)e^{-n\alpha_3}}$$

met

$$a_1 = \frac{2\pi k_z C_1}{aL}$$

$$a_2 = \frac{2\pi(D - Z)}{aL}$$

$$a_3 = \frac{2\pi D}{aL}$$

en de slootafvoer Q_d is gegeven door:

$$Q_d = \frac{\{(C_1 + \frac{D}{k_z})(1 - \frac{B}{L}) - BS\}N - PP}{\frac{W}{B} + \frac{C_1 + \frac{D}{k_z}}{L} + S}$$

De gemiddelde hoogte van het freatisch vlak volgt uit:

$$\bar{H} = (C_1 + \frac{D}{k_z}) \frac{N(L - B) - Q_d}{L}$$

waarmee ten slotte de drainageweerstand c berekend kan worden:

$$c = \frac{\bar{H} - PP}{Q_d} L$$

De berekening vindt iteratief plaats waarbij voor het beëindigen van de berekening een afbreekcriterium is opgenomen. Dit criterium is de relatieve fout in het berekende debiet en bedraagt standaard 0,001. Bij het doorrekenen kan blijken dat dit criterium lange rekentijden veroorzaakt (uren). Verhoging van dit criterium (bijvoorbeeld naar 0,01) kan dan noodzakelijk zijn. Zonodig kan aan de hand van een foutenanalyse inzichtelijk worden gemaakt ten gevolge waarvan de lange rekentijden worden veroorzaakt. Mogelijk dat dit wordt veroorzaakt door enkele rekencellen.

2 Overzicht van de gegevens in de applicatie

In tabel B4.1 is aangegeven welke gegevens noodzakelijk zijn voor het afleiden van de drainageweerstand en waar deze vandaan gehaald kunnen worden. Vervolgens wordt per parameter aangegeven hoe deze wordt toegepast in de applicatie.

Per drainageniveau wordt de weerstand bepaald (W_1 , W_2 , en W_3). Vervolgens wordt de vervangingsweerstand per gridcel berekend en kan de vervangingsweerstand ruimtelijk worden gepresenteerd. Als tussenstap bij het bepalen van de weerstand wordt de slootafvoer berekend. Deze berekende slootafvoer kan worden vergeleken met de gemeten slootafvoer. Bij een wijziging in de inrichting of het beheer kan dus naast het effect op de drainageweerstand ook gekeken worden naar het effect op de slootafvoer. Ook kan worden gekeken naar het effect op de grondwaterstand ten gevolge van een ingreep. In het kader van deze studie stond echter vooral de basisontwikkeling van de applicatie centraal en het inzicht in de drainageweerstanden. In het vervolg kan de applicatie verder worden

uitgebouwd waarbij berekende drainageweerstand op gebiedsniveau worden gekoppeld aan afvoeren en grondwaterstanden.

Tabel B4.1 Gebiedskenmerken van belang voor relatie tussen grond en oppervlaktewater

Symbool	Omschrijving	Gebruik	Bronbestand
N	Nuttige neerslag	In formule	Gebruikersinvoer/LGN3
L	Slootafstand	In formule	TOP10 vector/ Leggerinformatie
L_{dr}	Drainafstand	In formule	Gebruikersinvoer
ϕ_{dr}	Diameter buisdrainage	In formule	Gebruikersinvoer
B	Breedte sloot (natte omtrek)	Resultaat in formule	Leggerinformatie
D_s	Diepte sloot	t.b.v. natte omtrek	Leggerinformatie
Mv	Maaiveld hoogte	Hulpgrootheid	AHN (grid)
K_x	Horizontale doorlatendheid	In formule	Bodemkaart 1:50.000 / 1: 10.000
K_z	Vertikale doorlatendheid	In formule	Bodemkaart 1:50.000 / 1: 10.000
D_d	Dikte deklaag	In formule	REGIS / Geohydrologische kaart
C_o	Deklaagweerstand	In formule	REGIS / Geohydrologische kaart
$W_{sl,j}$	Infiltratieweerstand sloot	t.b.v. W	Onderhoudsgegevens / leggerinformatie
$W_{sl,d}$	Drainageweerstand sloot	t.b.v. W	Onderhoudsgegevens / leggerinformatie
H_s	Oppervlakte water peil	In formule	Peilbesluit/stuwpeilen
H_{gw}	Grondwaterstand	Selectie W_i/W_d	Bodemkaart 1:50.000 (Gt oud/nieuw)
Phi	Stijghoogte	In formule	REGIS / Geohydrologische kaart
A	Oppervlakte	t.b.v. combinatie / verschaling	Topografische kaart
W	Drainageweerstand	Resultaat berekening	Te berekenen
Q	Debiet (afvoer hoeveelheid)	Controle t.z.t.	Metingen waterschap

Nuttige neerslag

Hier wordt een waarde ingevoerd door de gebruiker (constante). Ook zou de gebruiker een neerslag kunnen invoeren die ruimtelijk variabel is in de vorm van een digitale kaart. De applicatie is zo breed opgezet dat voor elke parameter in principe een waarde op gridcelniveau kan worden ingevoerd. De neerslag kan afhankelijk worden gemaakt van type grondgebruik. Hierbij wordt de neerslag vermenigvuldigd met een factor die afhankelijk is van het type grondgebruik. Het type grondgebruik kan worden afgeleid uit het LGN3-bestand. In de huidige versie van de applicatie zijn deze grondgebruiksfactoren nog niet gekwantificeerd.

Slootafstanden

Voor het gehele gebied wordt per drainageniveau (W_1 , W_2 , en W_3) één gemiddelde waarde voor de slootafstand afgeleid. De gemiddelde waarde wordt verkregen door het totale oppervlak te delen door de totale lengte van de waterlopen van het betreffende orde systeem. De watervoerende sloten worden uit de TOP10 vector gehaald en volgens de TOP10 vector onderscheiden in 3 drainageniveau's:

- Sloten breder dan 6 meter (1e orde);
- Sloten met breedte tussen 3 en 6 meter (2e orde);
- Sloten en greppels < 3 meter (3e orde).

Voor ieder type waterloop wordt de weerstand bepaald, waarna de vervangingsweerstand wordt berekend uitgaande van een parallelle schakeling van weerstanden. Deze methode sluit aan bij de methode die wordt voorgesteld in het deelonderzoek 'Meetnet', bijlage A / 1.1. De volgende items hangen samen met de parameter 'Slootafstand':

- Aanwezigheid (buis)drainage
- Invoer natte of droge situatie

De parameter slootafstand is een belangrijke parameter bij het berekenen van de drainageweerstand. Bij toepassing van de applicatie op regionale schaal met aanzienlijke variatie in dichtheden van waterlopen zal bovengenoemde benadering al snel te weinig gedifferentieerde weerstandswaarden opleveren. De gebruiker kan in dat geval gebruik maken van bijvoorbeeld een kaart met homogene deelgebieden (per deelgebied de slootafstand laten variëren) of de slootafstand per gridcel laten variëren (bijvoorbeeld via de functie 'Find Distance for grids' binnen ArcView).

Aanwezigheid drainage

Aan de gebruiker wordt gevraagd of buisdrainage aanwezig is. De gebruiker kan als vlak-informatie buisdrainage invoeren waarbij drainafstand, draindiepte en buisdiameter wordt opgegeven. Mochten gegevens hierover niet beschikbaar zijn dan kan gekozen worden uit default waarden. In de studie 'Hydrologie voor STONE' wordt uitgegaan van de volgende indeling:

- grasland: draindiepte 85-90 cm-mv
- bouwland: draindiepte 100-120 cm-mv

Vorgesteld wordt eventuele buisdrainage toe te voegen aan het derde orde drainage-systeem.

Invoer natte of droge situatie

Aangezien voor elk drainageniveau apart de drainageweerstand wordt berekend (W_1 , W_2 , W_3) kan elke combinatie van weerstanden op basis van parallel-schakeling worden bepaald te weten:

- W_1
- W_{12}
- W_{123}

W_1 is representatief voor een zeer droge situatie waarbij alleen het primaire watersysteem bijdraagt aan de afvoer. W_{123} is representatief voor een zeer natte situatie waarbij alle orde watersystemen bijdragen aan de afvoer. W_{12} is een situatie die hier tussenin ligt. Bij elke situatie hoort een bepaalde grondwaterstand. Door gebruik van de applicatie en toepassing op verschillende locaties moet duidelijk worden welke grondwaterstand representatief is voor welke situatie. Vooralsnog zijn de volgende standaardsituaties verwerkt in de applicatie:

- droge situatie: berekening W_{12} waarbij gebruik wordt gemaakt van de GLG uit de betreffende grondwatertrap;
- natte situatie: berekening W_{123} , inclusief eventuele buisdrainage waarbij wordt gerekend met de GHG van de betreffende grondwatertrap.

De gehanteerde grondwaterstanden zijn weergegeven in tabel B4.2. Te zijner tijd dient met het deelonderzoek Waterkwaliteit afstemming plaats te vinden over de te hanteren waarden.

Tabel B4.2 Gehanteerde freatische grondwaterstanden per grondwatertrap (m-mv)

Grondwatertrap	GLG	GHG
I	40	0
II	65	0
III	100	20
IV	100	60
V	140	30
VI	140	70
VII	140	100

Natte omtrek en slootdiepte

De natte omtrek van de sloot en slootdiepte worden verkregen uit de leggerinformatie. De natte omtrek is de som van het linker talud, de bodembreedte en het rechter talud. De slootdiepte is het gemiddelde van de slootdiepte bovenstrooms en benedenstrooms van het leidingvak. Voor de natte omtrek en de slootdiepte wordt een gemiddelde waarde (gewogen) berekend voor het interessegebied.

bMaaiveldhoogte

Hiervoor wordt het AHN-bestand gebruikt. De gegevens uit dit bestand zijn vooral van belang om in te voeren niveaus om te kunnen zetten van waarden ten opzichte van maaiveld naar waarden ten opzichte van NAP.

Horizontale en verticale doorlatendheid

De doorlatendheid van de bodem wordt bepaald op basis van de bodemkaart. Door middel van de Staringreeksen worden bodemcodes vertaald naar 36 standaard bodems. Aan de standaard bodems wordt een doorlatendheid toegekend. Voor de verhouding tussen verticale en horizontale doorlatendheid is uitgegaan van een verhouding 1:10. De waarden zoals opgenomen in het systeem zijn weergegeven in tabel B4.3.

Tabel B4.3 Representatieve waarden horizontale en verticale doorlatendheid

Bovengrond	pF	K _{hor} (m/dag)	K _{ver} (m/dag)
1	B1	17.46	1.75
2	B2	9.65	0.97
3	B3	17.81	1.78
4	B4	54.8	5.48
5	O5	43.55	4.36
6	O6	5.48	0.55
7	B7	14.07	1.41
8	B8	2.25	0.23
9	O9	2.23	0.22
10	B10	1.17	0.12
11	B11	5.26	0.53
12	B12	15.37	1.54
13	O13	3.32	0.33
14	O14	0.36	0.04
15	O15	3.7	0.37
16	B16	13.44	1.34
17	B17	4.46	0.45
18	B18	6.67	0.67

Dikte en weerstand deklaag

De dikte en weerstand van de deklaag worden afgeleid uit REGIS indien deze informatie voorhanden is. Echter, in veel gevallen is deze informatie nog niet beschikbaar voor de waterbeheerder. De applicatie is zodanig opgebouwd dat ook constante waarden kunnen worden ingevoerd danwel shape-files kunnen worden ingelezen. De weerstand van de deklaag wordt in combinatie met de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van het diepere grondwater gebruikt om de flux van/naar het diepere grondwater te berekenen. Deze flux is dus geen vast gegeven maar een waarde die zal variëren afhankelijk van de plaats en bij ingrepen in het watersysteem.

Infiltratie- en drainageweerstand sloten

Hiervoor worden waarden ingevoerd door de gebruiker. Afhankelijk van kwel of infiltratie wordt één van beide waarden gekozen in de berekening. De toepassing van de applicatie moet uiteindelijk leiden tot standaardwaarden voor verschillende situaties. Met name het onderhoud aan de sloten en de dikte van een eventuele sliblaag zal in sterke mate de infiltratie- en drainageweerstand van de sloten bepalen.

Oppervlaktewater-/slootpeil

Afhankelijk van de hoeveelheid peilmetingen die beschikbaar zijn in het gebied van interesse kunnen verschillende methoden worden toegepast om het slootpeil vast te stellen en toe te kennen.

Indien een beperkt aantal (stuwpeil)metingen beschikbaar is wordt voor het gedefinieerde interessegebied een gemiddeld slootpeil bepaald (meter t.o.v. NAP). Dit slootpeil wordt omgerekend naar een peil ten opzichte van maaiveld (inschatting gebruiker op basis van AHN-hoogten rond meetpunten). Vervolgens wordt dit slootpeil gekoppeld aan het maaiveld. Het slootpeil volgt hiermee de maaiveldhoogte waarmee het verhang van de waterstand in de sloten tot uitdrukking wordt gebracht. Indien in het gedefinieerde

interessegebied te grote verschillen voorkomen, bijvoorbeeld als gevolg van verschillende peilgebieden, dan dienen kleinere eenheden afzonderlijk te worden doorgerekend. Indien voldoende metingen beschikbaar zijn ruimtelijk verdeeld over het gebied (bijvoorbeeld via peilschalen) dan kan binnen Arcview een ruimtelijke interpolatie plaatsvinden van het oppervlaktewaterpeil (peilen ten opzichte van NAP). De koppeling aan het maaiveld kan hiermee achterwege blijven.

Freatische grondwaterstand

De grondwaterstand wordt afgeleid uit de Gt-kaart. Hierbij wordt, afhankelijk van de door te rekenen situatie (natte of droge periode) de hoogste of laagste waarde toegekend. In tabel B4.2 zijn de representatieve waarden weergegeven. Met behulp van het actueel hoogte bestand wordt de grondwaterstand beneden maaiveld omgerekend naar NAP-waarden.

Stijghoogte diepere grondwater

Hiervoor geldt hetzelfde als voor de dikte en weerstand deklaag. De waarden kunnen worden afgeleid uit REGIS. Ook kan specifieke gebiedsinformatie worden ingevoerd of kan gekozen worden voor een constante, gemiddelde waarde.

3 Toelichting bij het gebruik van de applicatie

Plaats de extensie drgw.avx en de bestanden bodstar.txt, staringsreeks.txt en wtrap.txt onder de installatiedirectory van Arcview in de subdirectorie \Arcview\ext32.

Installatie

Gebruik extensie

Na het aanzetten van de extensie wordt een tweetal menu's en een button toegevoegd aan de bestaande menu's, namelijk:

1/ Benodigde informatie Wdr

2/ Drainageweerstand (Wdr)

En de button informatie over de rekensessie.

Werkwijze

Bij het starten van een nieuwe berekening dienen de volgende stappen te worden doorlopen:

- Maak een rekensessie (Menu Drainageweerstand (Wdr) -> Nieuwe rekensessie)
- Bereken slootafstand; wordt bepaald aan de hand van de Top10 vector (veld tdn-code). De berekening gaat uit van het gehele bestand, ook de delen buiten het interessegebied worden meegerekend.
- Bereken slootbreedte; wordt bepaald aan de hand van Leggerinformatie (punten). De berekening gaat uit van het gehele bestand, ook delen buiten het interessegebied worden meegerekend.
- Doorlatendheid (horizontaal en verticaal); aan de hand van de bodemkaart veld (veld cijfer en letter).
- Dikte deklaag; gegevens uit Regis.
- Weerstand deklaag; gegevens uit Regis.
- Grondwaterstand; aan de hand van bodemkaart (veld gwt)

- Drains; polygonenbestand met afstand (velden lengte en diepte drains)
- Handmatige invoer; keuze om een contante, grid of polygonenbestand te gebruiken voor een van de parameters.
- Bereken de weerstand met de optie Drainageweerstand (Wdr) -> Bereken drainage weerstand.
- De berekening wordt uitgevoerd per ordesysteem. Na het berekenen van de ordesystemen wordt met de mapcalculator (Analysis -> map calculator) de totale weerstand bepaald met de formule; $W_{12} = 1 / ((1/w_1) + (1/w_2))$ of $W_{123} = 1 / ((1/w_1) + (1/w_2) + (1/w_3))$.

Tip:

Indien een foutmelding wordt gegeven voor een foute veldnaam dan kan dit worden aangepast door de alias naam aan te maken.

