

~~32/1006(577)~~ 1<sup>e</sup> ex

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

## Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand

Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de  
oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand

H.Th.L. Massop  
L.C.P.M. Stuyt  
P.J.T. van Bakel  
J.M.M. Bouwmans  
H. Prak

Rapport 527.1

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

26 JAN. 1998

Lsm 5018921 x

## REFERAAT

Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. *Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand; leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 527.1. 148 blz.; 49 fig.; 18 tab.; 16 ref.

Voor het evalueren van potentiële inrichtings- en beheersmaatregelen met betrekking tot het waterbeheer is een procedure ontwikkeld met behulp waarmee effecten door veranderingen in oppervlaktewaterstanden op grondwaterstanden kunnen worden geschat. Deze veranderingen betreffen een continue (conservering) of een kortdurende verhoging (afvoergolf) van het oppervlaktewater. Op basis van de geohydrologische opbouw van de ondiepe ondergrond is het landelijk gebied geclassificeerd in hydrologische gebiedstypen ('hydrotypen'). In elk hydrotype wordt een kenmerkend effect op de grondwaterstand verwacht dat kan worden afgeleid uit een bijbehorende 'staalkaart', waarvan er thans drie beschikbaar zijn. Voor de resterende hydrotypen is het effect vooralsnog geschat. Op termijn is evaluatie door middel van een Beslissings Ondersteunend Systeem (BOS) voorzien.

Trefwoorden: BOS, drainageweerstand, grondwaterstand, hydrotype, oppervlaktewaterstand, waterbeheer.

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding en doelstelling	13
1.2 Nadere achtergronden	14
1.3 Aanpak	15
1.4 Leeswijzer	16
2 Theoretische kennis	17
2.1 Inleiding	17
2.2 Aanpassingsmogelijkheden van de oppervlaktewaterstand	19
2.3 De drainageweerstand	21
2.4 De bergingscoëfficiënt	22
2.5 Parameters	22
3 Hydrotypen	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Criteria bij de indeling in profieltypen	24
3.3 Nadere indeling in hydrotypen	26
3.4 Beschrijving van profieltypen en hydrotypen	26
4 Basisgegevens en hydrotypenkaart	31
4.1 Gegevens	31
4.1.1 Geohydrologie	32
4.1.2 Oppervlaktewatersysteem	32
4.1.3 Topografie	34
4.1.4 Bergingscoëfficiënt	34
4.2 De hydrotypenkaart	35
5 Respons van het grondwater op veranderingen van de oppervlaktewaterstand uitgewerkt voor drie hydrotypen	39
5.1 Inleiding	39
5.2 Schatting van effecten van verhoging van de oppervlaktewaterstand	40
5.2.1 Effecten bij hydrotype 12	41
5.2.2 Effecten bij hydrotype 31	48
5.2.3 Effecten bij hydrotype 32	52
5.3 Afvoergolf	54
6 Extrapolatie naar andere hydrotypen, inclusief het holoceen	57
6.1 Profieltype 1	58
6.2 Profieltype 2	60
6.3 Profieltype 3	63
6.4 Profieltype 4	67
6.5 Profieltype 5	68
6.6 Profieltype 6 en 7	69

6.7 Aanvullende opmerkingen	69
7 Toepassingen in de praktijk	73
7.1 Variant 1	75
7.2 Variant 2	75
7.3 Variant 3	77
7.4 Variant 4	77
8 Knelpunten m.b.t de huidige leidraad en kennisleemten bij gebruik	81
8.1 Knelpunten m.b.t de huidige leidraad	81
8.2 Kennisleemten bij het gebruik	83
9 Een BOS voor evaluatie van effecten van beheersmaatregelen	89
Literatuur	91
<b><i>Aanhangsels</i></b>	
1 Staalkaarten	93

## Woord vooraf

De behoefte aan operationeel toepasbare kennis met betrekking tot de relatie grondwater-oppervlaktewater bestaat al lang. In brede kring wordt onderkend dat deze relatie cruciaal is bij het voorspellen van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op het grondwater, maar dat er weinig betrouwbare gegevens beschikbaar zijn en dat de operationeel toepasbare kennis tekort schiet.

Het heeft lang geduurd voordat deze signalen zijn opgepakt. Het eerste voorstel van DLO-Staring Centrum (SC-DLO) om te komen tot een samenwerkingsproject met Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG-TNO) op het gebied van de relatie tussen grond- en oppervlaktewater dateert uit 1990. Tijdens deze studie bleek dat de materie weerbarstig is.

Als vervolg hierop is door SC-DLO in samenwerking met Dienst Landelijk Gebied (DLG) een studie uitgevoerd om te komen tot een nadere invulling. Het resultaat is de voorliggende leidraad. Deze studie geeft hiermee de eerste aanzet tot de ontwikkeling van een flexibele en algemeen toepasbare procedure ter bepaling van dynamische en ruimtelijke veranderingen van grondwaterstanden ten gevolge van veranderingen in de stand van het oppervlaktewater. Een procedure die weliswaar nog in ontwikkeling is, maar die in de huidige vorm in principe al hier en daar door inrichters en waterbeheerders kan worden toegepast.

Het project is uitgevoerd door een projectgroep, bestaande uit de volgende personen:  
dr. ir. P.J.T. van Bakel, projectleider sedert 1 mei 1996 (SC-DLO);  
ir. H.Th.L. Massop (SC-DLO);  
ir. J.M.P.M. Peerboom, projectleider tot 1 mei 1996 (SC-DLO; thans Waterschap Peel en Maasvallei);  
dr. ir. L.C.P.M. Stuyt (SC-DLO).

De projectgroep is begeleid door ing. J.M.M. Bouwmans en ir. H. Prak van de DLG te Utrecht.

Tijdens het project zijn ideeën van de projectgroep getoetst tijdens twee workshops, gehouden op 27 juni en 4 november 1996. In de eerste workshop zijn de opzet van het project, een prototype van een 'staalkaart' en de opbouw van gegevensbestanden besproken. In de tweede workshop zijn de uitgangspunten en de procedure bij de indeling in 'hydrotypen' besproken, alsmede een uitwerking van een prototype van een 'staalkaart' voor kaartblad 52W. Aan deze workshop hebben, naast leden van de projectgroep, de volgende personen deelgenomen:

drs. A.C. Garritsen (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA));  
ir. H. Gieske en ir. T. Negenman (NITG-TNO);  
ing. E. de Gruyter (Waterschap 't Suydeveldt);  
dr. ir. C. Maas (Keurings Instituut voor Waterleiding Artikelen (KIWA));  
ir. M. van Keulen (RIZA, thans Waterschap Rijn en IJssel);

ir. M.J.H. Pastoors (Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM));

ir. H.J. Reit (Provincie Gelderland), en

ir. L. Wentholt (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)).

Bij deze leidraad horen twee achtergronddocumenten. Eén deel, 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer', gaat nader in op de in dit rapport gebruikte theorie en dient als hulpmiddel voor de gebruiker bij het zelf bepalen van effecten van peilbeheer. Het tweede deel, 'Handboek voor veldmetingen' kan worden gebruikt als naslagwerk voor het verzamelen van ontbrekende veldgegevens. Beide achtergronddocumenten zijn thans in voorbereiding.

## Samenvatting

In het rapport 'Problematiek, normen en knelpunten bij het ontwerpen van water-beheersingsplannen' (Bouwmans, 1994) wordt geconstateerd dat de conventionele normstelling voor de ont- en afwatering van het landelijk gebied wegens de toegenomen differentiatie van functies binnen het landelijk gebied niet meer voldoet. Bij zowel de inrichter als de beheerder is de behoefte om de grondwaterstand door middel van specifiek oppervlaktewaterbeheer te kunnen reguleren toegenomen. Hierbij is operationeel toepasbare kennis met betrekking tot de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater onontbeerlijk. Omdat het hieraan goeddeels ontbrak is door de Dienst Landelijk Gebied (DLG) en DLO-Staring Centrum (SC-DLO) een onderzoeksproject geformuleerd (hoofdstuk 1).

De factoren of parameters die bij de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater een rol spelen zijn bekend. Zij hebben met name betrekking op de geohydrologische opbouw van de ondergrond, de eigenschappen van open leidingen en de bergingscoëfficiënt. Daarnaast speelt bij de regulering van de grondwaterstand de beheersbaarheid van het oppervlaktewaterstelsel een belangrijke rol, immers: de stand van het oppervlaktewater kan doorgaans in slechts een gedeelte van de open leidingen worden aangepast (hoofdstuk 2).

Tussen de waarden die genoemde factoren in de praktijk kunnen aannemen bestaan grote verschillen. Daarom is een systeem ontwikkeld met behulp waarvan regio's worden ingedeeld in klassen die, qua effect op de grondwaterstand na verandering van de stand van het oppervlaktewater, op vergelijkbare wijze reageren. Het belangrijkste uitgangspunt bij dit classificatieschema is de geohydrologische opbouw. Er worden zeven elementaire profieltypen onderscheiden. Deze profieltypen zijn nader opgesplitst in zogenaamde hydrotypen, op basis van de grootte van de  $kD$ -waarden (transmissiviteiten) van watervoerende pakketten, en de  $c$ -waarden (weerstand) van weerstandbiedende lagen (hoofdstuk 3).

De geohydrologische gegevens werden aanvankelijk ontleend aan gegevensbestanden van het Landelijk Grondwater Model (LGM). Voor de ondiepe ondergrond bleken deze gegevens echter ontoereikend. Zij zijn daarom nader gedetailleerd met gegevens uit twee aanvullende bronnen. Informatie met betrekking tot de dichtheid van waterlopen is grotendeels afkomstig uit het TOP10-vectorbestand: de digitale topografische kaart van Nederland op schaal 1 : 10 000. De bergingscoëfficiënt is berekend op basis van gegevens van de bodemkaart. De topografie is afgeleid uit de geomorfologische kaart van de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN). Met een classificatieschema van de hydrogeologische schematisering is een zogenaamde hydrotypenkaart samengesteld die het grootste deel van ons land bedekt (hoofdstuk 4).

Voor drie hydrotypen, waarvan er twee representatief zijn voor het pleistocene deel van ons land en één voor het veenweidegebied, zijn met een computersimulatiemodel de volgende twee processen nagebootst:

- het effect van een verhoging van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand;
- het effect van de passage van een afvoergolf in open leidingen op de grondwaterstand.

Beide effecten zijn gekwantificeerd ten opzichte van een referentiestand van het oppervlaktewater en de hierbij, in evenwichtssituatie, behorende grondwaterstand.

In situaties waarbij het peil in de beheersbare waterlopen doelbewust is opgezet is, 31 dagen na dato, het effect op de grondwaterstand berekend en wel op afstanden van 10, 30 en 60 m vanuit deze waterlopen. Uit de berekeningen blijkt dat het effect op de grondwaterstand in de beschouwde hydrotypen sterk uiteenloopt. Tevens is bij twee hydrotypen de invloed van parameterwaarden op de grondwaterstandsveranderingen gekwantificeerd (gevoeligheidsanalyse).

Het effect van de passage van een afvoergolf in open leidingen op de grondwaterstand is in modelberekeningen nagebootst door de stand van het oppervlaktewater gedurende één dag te verhogen. Het effect van een afvoergolf op de grondwaterstand blijkt gering te zijn (hoofdstuk 5).

Om het effect van een peilverhoging op de overige hydrotypen te kwantificeren is een beperkt aantal modelberekeningen uitgevoerd. Op basis van deze informatie worden indicaties gegeven van verwachte effecten op grondwaterstanden (hoofdstuk 6).

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses zijn met behulp van meervoudige regressietechnieken omgezet in eenvoudige lineaire relaties. Met behulp van deze relaties kunnen drainageweerstanden en effecten op grondwaterstanden worden geschat indien een of meer parameterwaarden op een bepaalde lokatie afwijken van de voor het betreffende hydrotype geldende gemiddelde waarden.

De leidraad is ontwikkeld als praktisch hulpmiddel voor inrichters en beheerders. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kunnen zij op verschillende manieren te werk gaan. Nagenoeg elke lokatie in ons land - voornamelijk met uitzondering van gedeelten van de Provincies Zeeland en Limburg - is als hydrotype geoormerkt. Hiermee is globale informatie omtrent de respons van de grondwaterstand op veranderingen van de oppervlaktewaterstand bekend. Ter plekke is overigens meestal meer gedetailleerde informatie beschikbaar met behulp waarvan deze respons wellicht nauwkeuriger kan worden voorspeld. Is dit voor de gebruiker niet toereikend, dan kan hij alsnog besluiten deze respons door middel van eenvoudige modelsimulaties zelf uit te rekenen (hoofdstuk 7).

Er zijn situaties denkbaar waarbij van sommige parameters te weinig en/of slechts onbetrouwbare gegevens beschikbaar zijn. Deze dienen dan te worden aangevuld. Uitvoering van onderzoek naar intreeweerstanden, inventarisatie van aanwezige drainage-systemen en de implementatie van een LHTS-project (Landelijke Hydrologische analyse van het TopSysteem; thans in voorbereiding) kunnen bijdragen aan het op termijn beschikbaar komen van meer gegevens van goede kwaliteit (hoofdstuk 8).



De ontwikkelingen op het gebied van de informatietechnologie, zoals nieuwe media (Internet, CD-ROM), bestanden (TOP10-vector, AHN) en ontwikkelingen binnen STOWA-verband (ADVENTUS en de Stekkerdoos Water) volgen elkaar snel op. Hierdoor wordt voor beheerders en inrichters binnen niet al te lange termijn een Beslissings Ondersteunend Systeem (BOS) bereikbaar. Een toekomstig BOS stelt hen in staat om effecten van peilveranderingen op grondwaterstanden snel en accuraat te evalueren. De contouren van een BOS worden geschetst (hoofdstuk 9).

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doelstelling

In het rapport *'Problematiek, normen en knelpunten bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen'* van de toenmalige Landinrichtingsdienst (Bouwman, 1994) wordt geconstateerd dat de conventionele normstelling voor de ont- en afwatering in het landelijk gebied een sterk landbouwkundige achtergrond heeft. De hiermee ontworpen oppervlaktewatersystemen waren gericht op maximalisatie van gewasopbrengsten tegen minimale kosten. Naast de landbouwkundige functie is het belang van andere functies, zoals natuur en openlucht recreatie, in het landelijk gebied in de loop van de tijd echter sterk gegroeid; dit heeft zijn weerslag op de eisen die aan het grondwaterregime worden gesteld. Vooral in de vrij afstromende gebieden heeft de conventionele normstelling buiten landbouwgebieden en gedurende de zomer structureel tot te lage grondwaterstanden geleid.

- Het uitgangspunt bij de inrichting en het beheer van oppervlaktewatersystemen in het landelijk gebied verschuift in de richting van het streven naar meer natuurlijke grondwaterregimes. Dit betekent dat gezocht wordt naar mogelijkheden om grondwaterstanden lokaal te verhogen zodat natuurwaarden beter tot hun recht komen. Hierbij moet er echter naar worden gestreefd te voorkomen dat er natte situaties worden gecreëerd op plaatsen waar deze niet getolereerd kunnen worden. Dit is met name het geval op plaatsen waar de landbouw een factor van belang is.

Gegeven deze ontwikkeling voldoet de bestaande normstelling niet meer. Specifieke, gebiedsgebonden oplossingen vragen steeds sterker om 'maatwerk'. Dit vormde de aanleiding tot de start van het project *'Waterlood'*. Dit project heeft weliswaar niet geleid tot een nieuwe normstelling, maar wel tot de beschrijving van een systematiek met behulp waarvan gewenste grondwaterregimes kunnen worden geformuleerd voor een breed scala aan functies in het landelijk gebied. Elk van deze functies stelt immers specifieke eisen aan de waterhuishoudkundige situatie. Deze grondwaterregimes worden vervolgens vertaald tot eisen met betrekking tot het ontwerp, de inrichting en het beheer van oppervlaktewatersystemen.

In de huidige praktijk hebben inrichter en beheerder er in toenemende mate belang bij om de grondwaterstand met een hierop toegesneden oppervlaktewatersysteem te kunnen reguleren. Door deze ontwikkeling is de behoefte aan praktisch toepasbare kennis toegenomen, op basis waarvan zo'n specifiek, gebiedsafhankelijk oppervlaktewaterbeheer kan worden gevoerd. Zulke kennis is immers te operationaliseren tot bruikbare richtlijnen voor ontwerp, inrichting en beheer van oppervlaktewatersystemen, gerelateerd aan de lokale, specifieke situatie: *waterbeheersing op maat*. Al bij de start van het project *'Waterlood'* moest echter worden vastgesteld dat de hiervoor noodzakelijke kennis met betrekking tot de wisselwerking tussen grond- en oppervlaktewater nauwelijks voorhanden was, althans niet in operationele vorm. Het voorgaande was voor de Dienst Landelijk Gebied (DLG) en DLO-Staring Centrum (SC-DLO) aanleiding tot het formuleren van een gezamenlijk onderzoeks-

project, met als doelstelling een inventarisatie van de beschikbare kennis omtrent de relatie tussen grond- en oppervlaktewater. Tevens moest deze kennis aan inrichters en beheerders van oppervlaktewatersystemen in praktisch toepasbare vorm beschikbaar worden gesteld. Voor SC-DLO diende het project tevens om bouwstenen aan te dragen met behulp waarvan het meerjarenprogramma rond dit thema nader zou kunnen worden ingevuld en geprioriteerd.

Het resultaat van dit project is de voorliggende leidraad, aangevuld met twee achtergronddocumenten. Eén gaat nader in op de in dit rapport gebruikte theorie; het andere kan worden gebruikt als naslagwerk bij het doen van veldmetingen om voor de toepassing van de leidraad ontbrekende gegevens te verzamelen. Beide achtergronddocumenten zijn thans in voorbereiding.

## **1.2 Nadere achtergronden**

In het huidige waterbeheer wordt gestreefd naar zodanige inrichtings- en beheersvormen van oppervlaktewatersystemen dat watersystemen beter tot hun recht komen. Hierbij dient er meer ruimte te komen voor natuurwaarden, en dient het landbouwbelang niet onevenredig te worden geschaad. De inrichter en de beheerder die hieraan invulling moeten geven worden dan ook toenemende mate geconfronteerd met complexe vragen als:

- Wat is het temporele en ruimtelijke effect van waterconservering in het voorjaar op de grondwaterstanden in de beheerseenheden later in het seizoen?
- Welk oppervlaktewaterpeil moet worden gehandhaafd om onder specifieke omstandigheden een bepaalde grondwaterstand te realiseren?
- Wat is het effect van een kortdurende afvoergolf op de grondwaterstand?

Bij de beantwoording van dit soort vragen is het operationele waterbeheer zeer gebaat bij een instrument waarmee effecten van mogelijke ingrepen in het oppervlaktewater, i.c. aanpassingen in de open waterstand in leidingvakken, op betrekkelijk snelle en gemakkelijke wijze kunnen worden geëvalueerd. Hierbij wordt gedacht aan eenvoudig te gebruiken staalkaarten of computermodellen, waarbij de noodzakelijke gegevens via digitale netwerken of andere elektronische media aan diverse landelijke bestanden kunnen worden ontleend. Dit instrument dient het mogelijk te maken om beter onderbouwde antwoorden te formuleren op vragen vanuit de praktijk. Waterbeheerders verzamelen in toenemende mate gegevens met betrekking tot grond- en oppervlaktewaterstand, afvoeren en dergelijke. Deze metingen zijn vaak geautomatiseerd, en er wordt gebruik gemaakt van datatransmissie. Ook simulatiemodellen waarmee ingewikkelde hydrologische processen kunnen worden nagebootst zijn niet langer het exclusieve domein van wetenschappelijke onderzoekers en 'computerspecialisten'. Steeds meer modellen draaien op gebruikersvriendelijke wijze, en PC's bieden geavanceerde grafische mogelijkheden om resultaten te interpreteren.

Inventarisatie van de met een modern instrumentarium voorspelde effecten van de invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand moet uiteindelijk uitmonden in gebiedsspecifieke oplossingen in de vorm van de met betrekking tot

het oppervlaktewatersysteem te nemen maatregelen waarmee de gewenste grondwaterstand zo goed mogelijk kan worden gerealiseerd.

### 1.3 Aanpak

In deze studie is Nederland ingedeeld in een aantal hydrologische *gebiedstypen*, waarvoor de relatie grondwater-oppervlaktewater is gekarakteriseerd door middel van zogenaamde *staalkaarten*. Voor een paar gebiedstypen liggen hieraan hydrologische berekeningen ten grondslag; de resultaten hiervan zijn op basis van vooral *expert-judgement* geëxtrapoleerd naar de andere gebiedstypen. De indeling in gebiedstypen is gebaseerd op de invloed van de hydrogeologie en de infrastructuur van het oppervlaktewater op effecten van aanpassingen in oppervlaktewaterstanden op grondwaterstanden. Een staalkaart voorspelt gemiddelde effecten en geeft daarom slechts een indicatie.

Gaandeweg het onderzoek is duidelijk geworden dat het, vooral gezien de snelle ontwikkelingen op het gebied van de automatisering, mogelijk is de in deze leidraad voor de hydrologische gebiedstypen beschreven staalkaarten onder te brengen in een te ontwikkelen *Beslissing Ondersteunend Systeem* (BOS). In deze studie zijn hiervan door SC-DLO alvast de contouren verkend. In deze leidraad zijn de uitgangspunten voor de ontwikkeling en de toepassingsmogelijkheden van een prototype BOS op basis van twee 'cases' nader uitgewerkt. Hierbij wordt tevens aangegeven waar zich leemtes in kennis en gegevens voordoen. Bij de afronding van dit project is vastgesteld dat de eerste stappen zijn gezet en dat er goede perspectieven zijn voor een vervolgtraject waarbinnen, in nauwe samenspraak met direct belanghebbenden, de verdere ontwikkeling van een BOS ter hand kan worden genomen.

Bij het schetsen van de problematiek is aangegeven dat er behoefte bestaat aan een hulpmiddel waarmee effecten van aanpassingen in open waterstanden op de grondwaterstand op een snelle en inzichtelijke manier kunnen worden geëvalueerd. In deze studie is voor de bepaling van dergelijke effecten gebruik gemaakt van een computersimulatiemodel. Er zijn twee hydrologische situaties geanalyseerd:

- effecten van het opzetten van slootpeilen op naburige grondwaterstanden;
- effecten van kortdurende afvoergolven in waterlopen op naburige grondwaterstanden.

Binnen Nederland is een aanzienlijke variatie in hydrologische situaties aanwezig. Om deze variatie voldoende te kunnen karakteriseren is waar mogelijk gebruik gemaakt van landsdekkende bestanden. De gegevens zijn op basis van *expert judgement* geclassificeerd teneinde de overzichtelijkheid te vergroten en om het aantal modelberekeningen beperkt te houden. Fig. 1 geeft een schematisch overzicht van de gevolgde werkwijze.

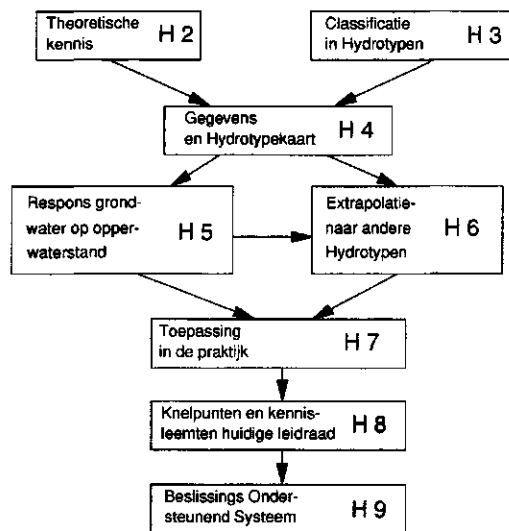


Fig. 1 Indeling van de leidraad voor de gevolgde werkwijze

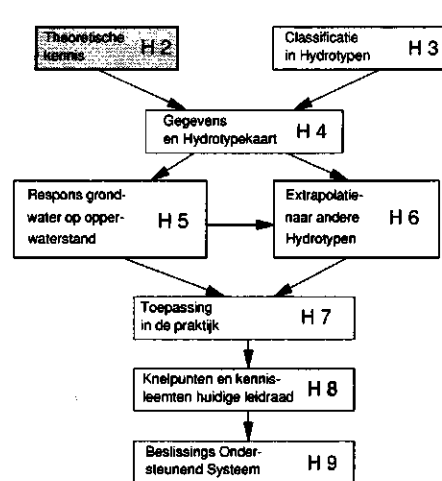
## 1.4 Leeswijzer

In het verleden is een theoretisch kader ontwikkeld dat verschillende aspecten van de relatie grondwater-oppervlaktewater beschrijft. Deze theorie heeft onder meer geresulteerd in een aantal analytische modellen. Deze modellen geven inzicht in de parameters die bij de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater een rol spelen (**hoofdstuk 2**). Van de relevante parameters zijn gegevens verzameld. Om het inzicht te vergroten en om de grote hoeveelheid gegevens hanteerbaar te maken was een bepaalde vorm van classificatie noodzakelijk. Hiertoe is het begrip *hydrotype* (*hydrologisch gebiedstype*) ingevoerd. De inventarisatie van de gegevens en de hydrotype-indeling worden besproken in **hoofdstuk 3**. De combinatie van hydrotypen en de gegevens levert een kaart met de lokaties van de onderscheiden hydrotypen (**hoofdstuk 4**). Om inzicht te krijgen in effecten van veranderingen in oppervlaktewaterstanden op grondwaterstanden, zijn deze bij drie hydrotypen nader geanalyseerd. Bij twee hiervan is ook de gevoeligheid van genoemde effecten voor variatie van parameterwaarden nader onderzocht (**hoofdstuk 5**). De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses, en enkele aanvullende berekeningen zijn gebruikt om uitspraken te doen over de mate van respons bij de overige hydrotypen (**hoofdstuk 6**). Aan de hand van een stroomschema wordt toegelicht hoe specifieke vragen uit de praktijk het beste kunnen worden beantwoord. Hoe hierbij de resultaten van de berekeningen in de praktijk kunnen worden toegepast, wordt beschreven in **hoofdstuk 7**. Deze studie heeft een verkennend karakter. De geconstateerde knelpunten in de huidige leidraad, alsmede de kennisleemten bij het gebruik, en hoe betrouwbaardere gegevens kunnen worden verzameld, worden beschreven in **hoofdstuk 8**. Tenslotte worden in **hoofdstuk 9** de contouren geschetst van een Beslissings Ondersteunend Systeem (BOS).

## 2 Theoretische kennis

### 2.1 Inleiding

In het verleden is voor de ontwatering een theoretisch kader ontwikkeld, waaraan de namen zijn verbonden van Nederlandse onderzoekers als Hooghoudt, Ernst en Bruggeman. Hun onderzoek heeft geleid tot een aantal analytische modellen waarmee de ontwaterende werking van drains wordt beschreven. Op basis van deze theorie is de verbetering van de ontwatering, maar ook de wateraanvoer, ter hand genomen. De ingrepen om de ontwatering te verbeteren hadden vooral tot doel de grondwaterstand te verlagen. Door de verbeterde ontwatering ontstonden betere productiemogelijkheden voor de landbouw (minder natschade) en werden tevens de draagkracht en de bewerkbaarheid verbeterd waardoor de boer eerder in het seizoen het land op kon en het land gedurende langere perioden kon bewerken. In figuur 2 zijn de relaties tussen oppervlaktewatersystemen en grondwatersystemen schematisch weergegeven.



De ingrepen om de ontwatering te verbeteren hadden vooral tot doel de grondwaterstand te verlagen. Door de verbeterde ontwatering ontstonden betere productiemogelijkheden voor de landbouw (minder natschade) en werden tevens de draagkracht en de bewerkbaarheid verbeterd waardoor de boer eerder in het seizoen het land op kon en het land gedurende langere perioden kon bewerken. In figuur 2 zijn de relaties tussen oppervlaktewatersystemen en grondwatersystemen schematisch weergegeven.

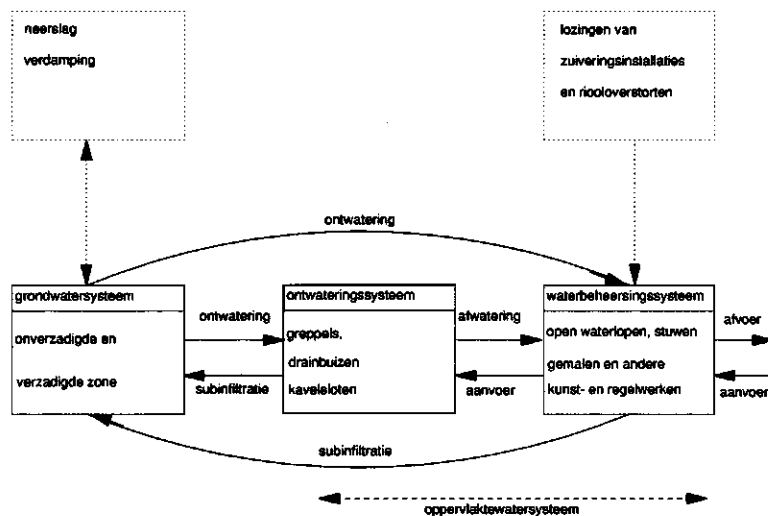


Fig. 2 Relaties tussen grond- en oppervlaktewatersystemen (Projectgroep Waterlood, in voorbereiding)



- stromingsweerstand die het grondwater ondervindt (i.c. drainage- en/of infiltratieweerstanden);
- bergingscoëfficiënten.

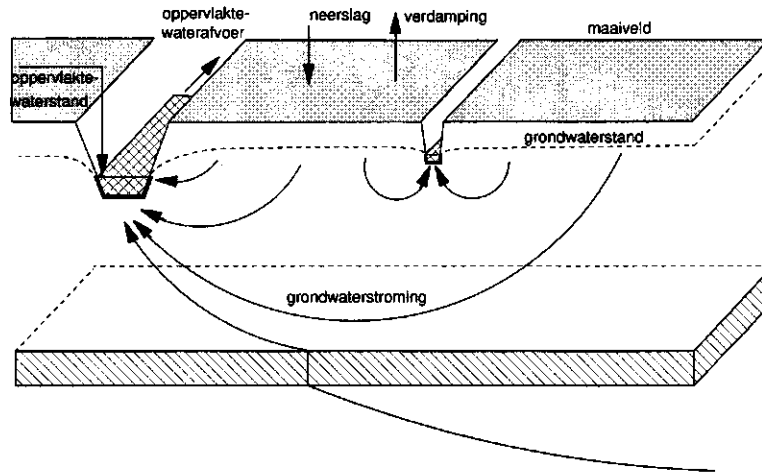


Fig. 4 Schematische weergave van grondwaterstromingen nabij ontwateringsmiddelen

## 2.2 Aanpassingsmogelijkheden van de oppervlaktewaterstand

Het oppervlaktewatersysteem kan worden opgesplitst in een waterbeheersingssysteem en een ontwateringssysteem (fig. 2). Het waterbeheersingssysteem komt grotendeels overeen met het vroeger gebruikte begrip *afwateringsstelsel*, en is bruikbaar voor waterconservering en wateraanvoer. Het ontwateringssysteem bestaat uit greppels, drainbuizen en perceelssloten. De grondwaterstand wordt in het operationele waterbeheer beïnvloed (gestuurd) door middel van beheer van oppervlaktewaterpeilen. In *vlakke* gebieden (bijv. West-Nederland) kan het peil van het open water in een groot deel van de sloten door middel van regelkunstwerken als bv. stuwen, gemalen en inlaten, worden aangepast. De (gedeelten van de) sloten waar dit het geval is worden aangeduid als *beheersbare* waterlopen. In deze vlakke gebieden, bijvoorbeeld veenweidegebieden, blijven de waterlopen gedurende de gehele zomer watervoerend en is er gedurende het hele jaar sprake van nagenoeg volledige beheersbaarheid.

In *hellende* gebieden (bijv. in Oost-Nederland) volgen de waterlopen overwegend de gebiedshellingen. De open leidingen kunnen worden gegroepeerd tot stroomgebieden, en de afvoer van elk stroomgebied vindt meestal plaats via één stuw (fig. 5). De bodems van de waterlopen volgen onder 'natuurlijke' omstandigheden min of meer het maaiveld. Dit betekent dat in een situatie zonder afvoer, het waterpeil op zekere afstand tot de stuw de bodem van de waterlopen aansnijdt (fig. 6). Verder stroomopwaarts staat de waterloop - op dat moment - droog. In zulke gebieden zijn daarom doorgaans alleen grotere waterlopen beheersbaar; sommige hiervan bovendien slechts gedeeltelijk. De beheersbaarheid varieert met plaats en tijd.



De grotere waterlopen zijn soms geheel beheersbaar, ofwel omdat de bodem van de waterloop het maaiveld voldoende diep insnijdt, of omdat er op verschillende plaatsen stuwen zijn geplaatst. Kleinere waterlopen zullen door een geringere diepte eerder droogvallen dan grotere. Dit betekent dat het gebied met de beheersbare waterlopen zich in geaccidenteerd terrein direct bovenstrooms van een stuw bevindt. Dit gebied bevat (een deel van) de grotere waterlopen plus een deel van de aangrenzende kleinere waterlopen. Binnen het beheersbare gebied zijn alle waterlopen watervoerend (fig. 7). In geaccidenteerde gebieden zonder wateraanvoer - o.a. de Achterhoek - valt een groot deel van de waterlopen na verloop van tijd droog. De beheersbaarheid is hier gering en varieert met het seizoen.

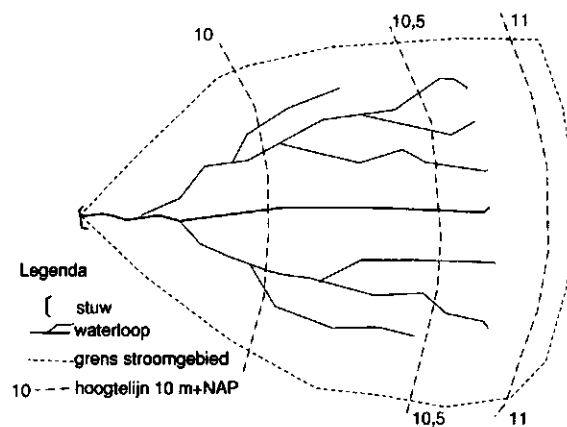


Fig. 5 Boveenaanzicht van een fictief stroomgebied in geaccidenteerd terrein

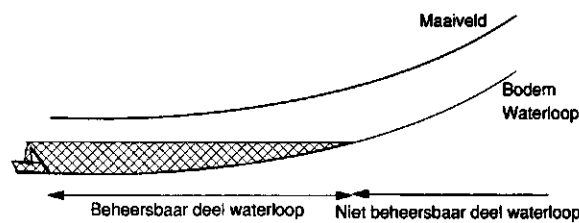


Fig. 6 Langsdoorsnede ter plaatse van een hoofdwatgang in vrij afwaterend gebied

Naast beheersbaarheid is het onderhoud van waterlopen een factor bij de mogelijkheid tot sturing. Beperking van het onderhoud kan leiden tot grotere stromingsweerstand in waterlopen. Minder baggeren leidt in veel gevallen tot hogere intreewestanden. Ondanks het feit dat intreewestanden grote invloed kunnen hebben op de sturingsmogelijkheden van het grondwaterregime, zijn deze aspecten bij dit onderzoek niet in beschouwing genomen.

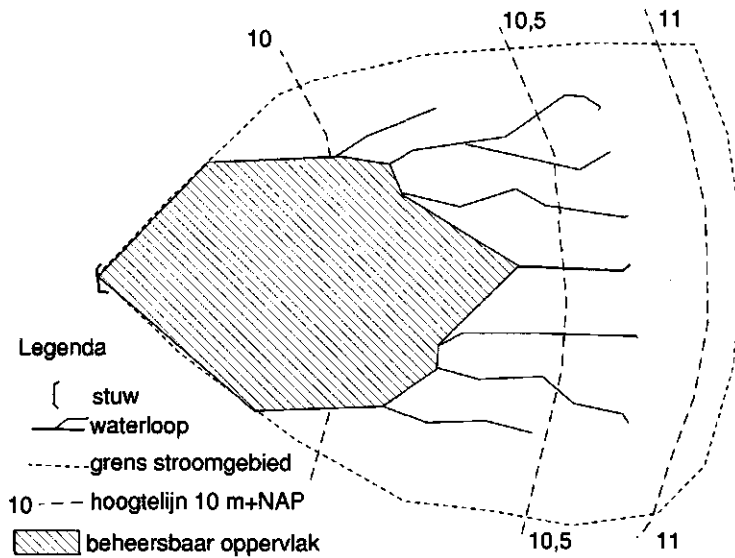


Fig. 7 Beheersbare en niet-beheersbare waterlopen

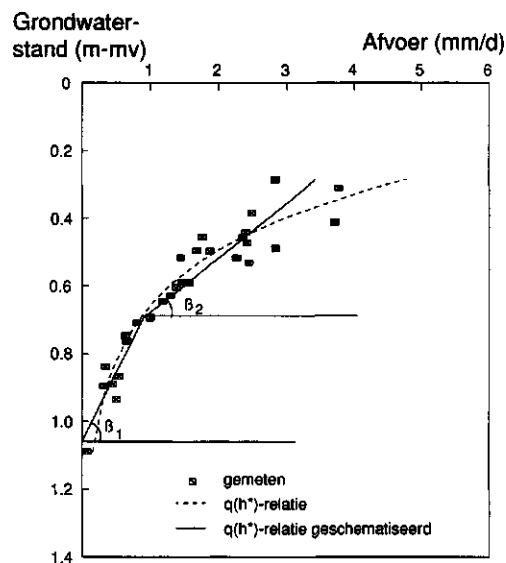


Fig. 8 Ontwateringskarakteristiek van een hellend gebied (Massop en De Wit, 1994)

### 2.3 De drainageweerstand

De drainageweerstand wordt bepaald door geohydrologische parameters van de ondergrond, i.c. doorlaatvermogen ( $kD$ ), intree weerstand ( $c_b$ ), en door parameters van ontwateringssystemen: slootafstand ( $L$ ) en natte omtrek ( $B$ ) (fig. 3). Het stelsel van waterlopen is qua geometrie en afmetingen meestal niet uniform. Met name in geaccidenteerd terrein komen waterlopen voor met verschillende afmetingen. Deze waterlopen vallen in het voorjaar geleidelijk droog; de ondiepste waterlopen (greppels) als eerste. In deze gebieden is de drainageweerstand gerelateerd aan de

grondwaterstand. Figuur 8 geeft een voorbeeld van een ontwateringskarakteristiek van een geaccidenteerd gebied. De hellingshoek  $\beta$  van de raaklijn aan deze karakteristiek is evenredig met de drainageweerstand van het systeem bij een bepaalde grondwaterstand. Deze weerstand is bij diepe grondwaterstanden groot (weinig waterlopen watervoerend;  $\beta_1$ ) en neemt af bij stijgende grondwaterstand ( $\beta_2$ ).

## 2.4 De bergingscoëfficiënt

De bergingscoëfficiënt is gedefinieerd als het quotiënt van de verandering in het volume grondwater i) per eenheid van horizontaal oppervlak, ii) boven een referentievlak, en de bijbehorende verandering van de grondwaterstand. De grootte van de bergingscoëfficiënt is afhankelijk van de eigenschappen van het bodemprofiel, de grondwaterstand en de verticale component van de grondwaterstroming door de bodem. De bergingscoëfficiënt speelt een rol bij de *mate waarin*, en de *snelheid waarmee* aanpassingen in de oppervlaktewaterstand doorwerken in de grondwaterstand.

## 2.5 Parameters

De volgende parameters zijn van belang bij de interactie grondwater-oppervlaktewater (fig. 3):

- geohydrologische parameters: verzadigde doorlatendheid ( $k$ ) en dikte ( $D$ ) van watervoerende pakketten; weerstand ( $c$ ) van scheidende lagen;
- parameters van het oppervlaktewaterstelsel: slootafstand ( $L$ ), natte omtrek ( $B$ ) en intreeweerstand ( $c_b$ );
- topografische gegevens, o.a. de maaiveldsligging;
- bergingscoëfficiënten van bodemprofielen.

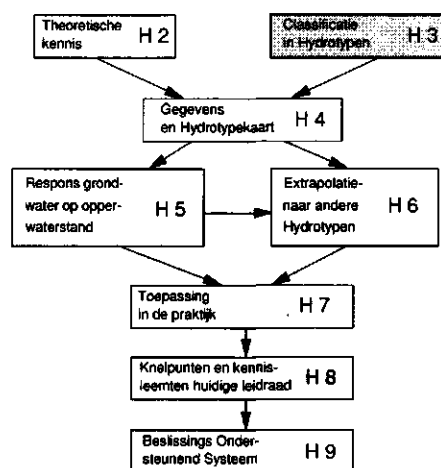
In de praktijk zal een beheerder het grondwaterregime zo goed mogelijk proberen te sturen door oppervlaktewaterstanden aan te passen. Mocht onverhoopt blijken dat de hiermee bereikte resultaten niet het gewenste resultaat opleveren, dan kan worden onderzocht in hoeverre een en ander te wijten is aan te hoge intreeweerstand. Daarnaast kan overwogen worden de relatie grondwater-oppervlaktewater (lees: de parameters  $L$  en  $B$ ) door middel van inrichtingsmaatregelen structureel te wijzigen. Mogelijke inrichtingsmaatregelen zijn:

- verandering van de totale lengte aan waterlopen (beïnvloeding via  $L$ );
- herprofilering van waterlopen oa via wijziging bodemhoogte (natte omtrek) (beïnvloeding via  $B$ ).

## 3 Hydrotypen

### 3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 zijn de belangrijkste parameters geïdentificeerd die een rol spelen bij de sturing van grondwater door middel van het oppervlaktewater. Van deze parameters moeten nu gegevens worden verzameld; zo mogelijk landsdekkend. Een landsdekkend bestand van parameters geeft een overzicht van welke hydrologische situaties binnen Nederland voorkomen en waar deze voorkomen. Om



de enorme hoeveelheid gegevens hanteerbaar te maken is besloten deze te classificeren op basis van de geohydrologische opbouw van de ondiepe ondergrond. Hiervoor is het begrip *hydrotype* geïntroduceerd; *hydrotype* staat voor *hydrologisch gebiedstype*. Elke lokatie kan zo als hydrotype worden 'geormerkt'. In globale zin ligt hiermee het een en ander vast met betrekking tot de op deze lokatie te verwachten wisselwerking tussen grond- en oppervlaktewater.

Om uiteindelijk tot een indeling in hydrotypen te kunnen komen is de geohydrologische opbouw van de ondergrond in eerste instantie geïdentificeerd in zeven *profieltypen*. Elk *profieltype* is nadien opgesplitst in *meerdere hydrotypen*. De indeling in profieltypen en vervolgens hydrotypen heeft tot doel om gebieden te groeperen waarin de respons van de grondwaterstand op veranderingen in de oppervlaktewaterstand naar verwachting overeenkomsten vertoont.

De eerste, voorlopige aanzet tot een indeling in profieltypen is gemaakt op basis van de *voedingstypen*, zoals onderscheiden in het Grondwaterplan Drenthe (Technische Werkgroep Grondwaterplan, 1985). Deze voedingstypen zijn vergelijkbaar met de in dit project gedefinieerde profieltypen. In een later stadium is deze indeling overigens niet in zijn geheel 'overeind gebleven', met name in holocene gebieden (par. 4.2).

De indeling in profieltypen is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- 1 De mogelijkheid tot sturing van het grondwater via het oppervlaktewater kan in principe variëren van uitstekend tot slecht. De indeling moet een hiermee corresponderend breed scala aan varianten omvatten.
- 2 De indeling wordt gemaakt op basis van geohydrologische parameters die bepalend zijn voor de drainageweerstand, en dus voor de interactie tussen

grondwater en oppervlaktewater van doorslaggevende betekenis zijn. Deze parameters hebben met name betrekking op het 'topstelsel', in casu de bovenste 20 meter van het bodemprofiel.

- 3 De indeling omvat in principe alle in ons land aanwezige varianten met betrekking tot de geohydrologische opbouw.
- 4 Bij de indeling spelen de parameters van het oppervlaktewatersysteem (intreeweerstand, natte omtrek, slootafstand en dergelijke) geen rol.

### 3.2 Criteria bij de indeling in profieltypen

De indeling in profieltypen is schematisch weergegeven in figuur 9. Zij is gemaakt op basis van de volgende criteria:

- 1 Een eerste onderscheid wordt gemaakt tussen gebieden zonder, en gebieden met een *deklaag*<sup>1</sup> aan het maaiveld:
  - gebieden zonder deklaag; globaal de *pleistocene* gebieden;
  - gebieden met een deklaag, i.c. dagzomende holocene afzettingen; globaal de *holocene* gebieden.
- 2 De pleistocene gebieden, waar de deklaag ontbreekt, zijn vervolgens geïnclassificeerd tot gebieden zonder een weerstandbiedende laag in de ondergrond (**profieltype 1**), en gebieden waar zo'n laag wel aanwezig is (profieltypen 2 en 3). Profieltype 1 bestaat derhalve over de gehele diepte uit één watervoerend pakket.  
Het onderscheid tussen profieltypen 2 en 3 is gebaseerd op het al dan niet doorsnijden van de weerstandbiedende laag door grotere waterlopen. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat deze waterlopen de weerstandbiedende laag doorsnijden als de onderkant van deze laag ondieper ligt dan 2 m beneden het maaiveld. Ligt de onderkant inderdaad ondieper dan 2 m, dan wordt **profieltype 2** toegekend; de resterende gevallen vormen **profieltype 3**.
- 3 De overige profieltypen, te weten 4 t/m 7, behoren tot de groep 'Holoceen', waarbij een deklaag aan het maaiveld voorkomt. De dikte van de deklaag is een criterium voor verder onderscheid, waarbij het referentiepunt is gekozen op een dikte van 2 m. Bij profieltypen 4 en 5 is de deklaag dunner dan 2 m; bij profieltypen 6 en 7 dikker.
- 4 De holocene gebieden met een dunne deklaag (< 2 m) zijn vervolgens geïnclassificeerd tot gebieden zonder een weerstandbiedende laag in de ondergrond (**profieltype 4**), en gebieden waar zo'n laag wel aanwezig is (**profieltype 5**).
- 5 De holocene gebieden met een dikke deklaag (≥ 2 m), tenslotte, zijn opgesplitst op basis van de hydraulische weerstand van deze laag. Gebieden met een weerstand kleiner dan 5000 dagen behoren tot **profieltype 6**; de overige gebieden tot **profieltype 7**.

---

<sup>1</sup> Een *deklaag* oftewel *afdekkend pakket* is hier gedefinieerd als een pakket, bestaande uit één of meerdere matig tot slecht waterdoorlatende lagen, gelegen boven het eerste watervoerend pakket (Duyvenbooden en Breeuwsma, 1987).

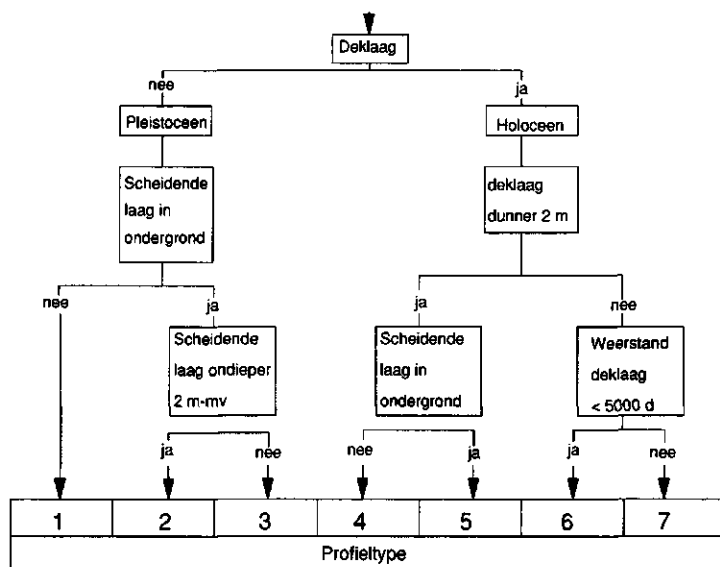


Fig. 9 Stappenschema voor bepaling profieltype

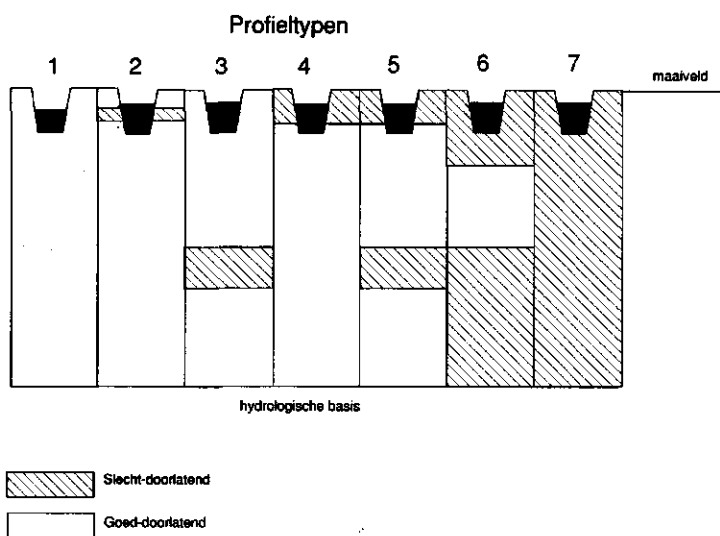


Fig. 10 Indeling in profieltypen

De zeven aldus gedefinieerde profieltypen representeren het gehele spectrum van zeer goed-doorlatende, 'open' profielen (type 1) tot slecht-doorlatende profielen die bestaan uit dikke deklagen met hoge stromingsweerstand (type 7). In figuur 10 is de hoofdindeling in profieltypen schematisch weergegeven. De stromingsrichting van het grondwater is in de goed-doorlatende lagen overwegend horizontaal, en in de slecht-doorlatende lagen overwegend verticaal gericht. Een weerstandbiedende laag met een stromingsweerstand > 5000 dagen (d) is steeds als hydrologische basis van het profiel beschouwd. Bij de keuze tussen profieltypen met een ondiep gelegen weerstandbiedende laag is het criterium voor het doorsnijden van deze laag gebaseerd op grotere waterlopen met een bodemdpte van 2 m.

### 3.3 Nadere indeling in hydrotypen

De indeling van de ondergrond in goed-, en slecht-doorlatende lagen is in eerste instantie gebaseerd op gegevensbestanden van het Landelijk Grondwater Model (LGM). Uitgaande van de lithologische kenmerken is voor het LGM de ondergrond van Nederland geschematiseerd tot vier watervoerende pakketten, gescheiden door en/of afgedekt met slecht-doorlatende lagen met dikte  $d_1$  tot en met  $d_g$ ; hierbij is  $d_1$  de dikte van de deklaag,  $d_2$  de dikte van het eerste watervoerende pakket etc. De profieltypen zijn nader uitgesplitst in hydrotypen, op basis van de waarden van de parameters  $kD$  en  $c$ , als volgt:

- 1 *Uitsplitsing op basis van  $kD$ -waarden.* Bij hoge  $kD$ -waarden is de horizontale component van de drainageweerstand gering, en is de radiale weerstand wegens de diepte van het doorstroomde profiel vaak aanzienlijk. Bij lage  $kD$ -waarden geldt doorgaans het omgekeerde. Er is onderscheid gemaakt in 'hoge' en 'lage'  $kD$ -waarden; de grens is - tamelijk arbitrair - gelegd bij  $10 \text{ m}^2/\text{d}$ .
- 2 *Uitsplitsing op basis van  $c$ -waarden.* De grootte van de  $c$ -waarde bepaalt de mate waarop dieper gelegen watervoerende pakketten betrokken zijn bij de relatie grondwater-oppervlaktewater. Net als bij de  $kD$ -waarden is onderscheid gemaakt in 'hoge' en 'lage'  $c$ -waarden; de grens is gelegd bij 500 d.

Op bovenstaande procedure is overigens een uitzondering gemaakt voor hydrotypen 11 en 12. Deze hydrotypen zijn *niet* onderscheiden op basis van  $kD$ - of  $c$ -waarden, maar op het niet (11), of wel (12) dagzomen van, tot de Formatie van Twente behorende, fijnzandige afzettingen. Deze opsplitsing is gemaakt omdat de ondergrond in een groot deel van het pleistocene zandgebied uit één watervoerend pakket bestaat. Voor de interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwater maakt het verschil of dit pakket enkel is opgebouwd uit goed doorlatende afzettingen ofwel dat bovenin het pakket fijnzandige afzettingen (Formatie van Twente) met lagere doorlatendheden voorkomen. Het verschil in doorlatendheden heeft invloed op de radiale weerstand en daarmee op de vorm van het grondwatervlak in de omgeving van de waterloop.

### 3.4 Beschrijving van profieltypen en hydrotypen

**Profieltype 1** is een 'open' profiel, d.w.z. een profiel zonder weerstandbiedende lagen (fig. 11). Dit type bestaat dus uit slechts één freatisch watervoerend pakket. Binnen profieltype 1 worden drie hydrotypen onderscheiden (tabel 1).

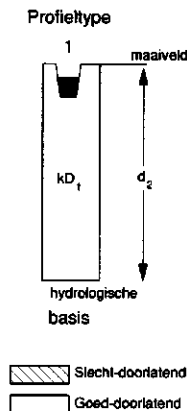


Fig. 11 Profieltype 1

Tabel 1 Onderverdeling profieltype 1 in hydrotypen

Hydrotype	Hydraulische parameters		Opmerking
	$c_0$ (d)	$kD_1$ ( $m^2/d$ )	
11	0	>10	Grove afzettingen in top watervoerend pakket
12	0	>10	Fijne afzettingen in top watervoerend pakket
13	0	<10	

**Profieltype 2** is een profiel bestaande uit drie lagen, waarvan de middelste slecht-doorlatend is (fig. 12). Deze weerstandbiedende laag ligt in zijn geheel binnen de bovenste 2 m van het profiel, zodat de bodems van de grotere waterlopen door deze laag heensteken. Op basis van de  $kD$ -waarde van het bovenste watervoerend pakket en de  $c$ -waarde van de weerstandbiedende laag worden vier hydrotypen onderscheiden (tabel 2). De dikte van het bovenste watervoerend pakket ( $d_2$ ) en die van de eerste weerstandbiedende laag ( $d_3$ ) bedraagt samen minder dan 2 m.

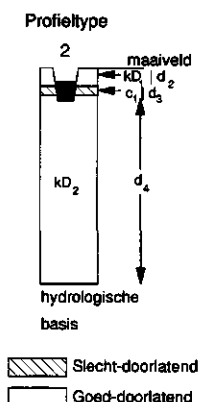


Fig. 12 Profieltype 2



Tabel 2 Onderverdeling profieltype 2 in hydrotypen

Hydrotype	Hydraulische parameters			Laagdikte $d_2+d_3$ (m)
	$c_0$ (d)	$kD_1$ (m <sup>2</sup> /d)	$c_1$ (d)	
21	0	<10	<500	<2
22	0	<10	>500	<2
23	0	>10	<500	<2
24	0	>10	>500	<2

**Profieltype 3** bestaat evenals profieltype 2 uit drie lagen (fig. 13). De onderkant van de eerste weerstandbiedende laag ligt in dit geval echter dieper dan 2 m - mv., waardoor de bodems van de grotere sloten niet door deze laag heensteken. Het onderscheid tussen profieltypen 2 en 3 is gemaakt om gebieden waar de grotere waterlopen *door* de eerste weerstandbiedende laag heensteken (profieltype 2) te scheiden van gebieden waar dit niet het geval is (type 3). Op basis van de  $kD$ -waarde van het bovenste watervoerend pakket en de  $c$ -waarde van de eerste weerstandbiedende laag worden eveneens vier hydrotypen onderscheiden (tabel 3).

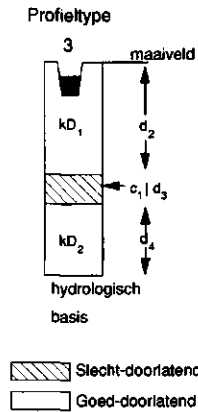


Fig. 13 Profieltype 3

Tabel 3 Onderverdeling profieltype 3 in hydrotypen

Hydrotype	Hydraulische parameters			Laagdikte $d_2+d_3$ (m)
	$c_0$ (d)	$kD_1$ (m <sup>2</sup> /d)	$c_1$ (d)	
31	0	<10	<500	>2
32	0	<10	>500	>2
33	0	>10	<500	>2
34	0	>10	>500	>2

**Profieltypen 4 en 5** worden gekenmerkt door een slecht-doorlatende deklaag van geringe dikte (< 2 m) (fig. 14). De grotere waterlopen steken door deze deklaag heen. Op basis van de  $kD$ -waarde van het (bovenste) watervoerend pakket en de  $c$ -waarde van de dieper gelegen weerstandbiedende lagen (type 5) worden tien hydrotypen onderscheiden; zie tabel 4. Deze hydrotypen treffen we aan binnen het holoceen, en in grensgebieden van pleistoceen en holoceen (tabel 4).

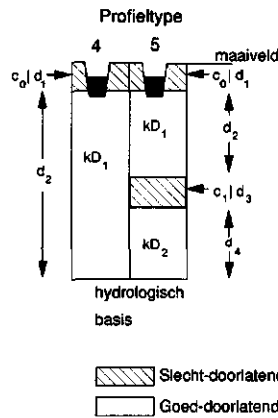


Fig. 14 Profieltype 4 en 5

Tabel 4 Onderverdeling profieltype 4 en 5 in hydrotypen

Hydrotype	Hydraulische parameters				Laagdikte $d_1$ (m)
	$c_0$ (d)	$kD_1$ (m <sup>2</sup> /d)	$c_1$ (d)	$c_2$ (d)	
41	>0	<10	>5000		<2
42	>0	>10	>5000		<2
51	>0	<10	<500	<5000	<2
52	>0	>10	<500	<5000	<2
53	>0	<10	>500	<5000	<2
54	>0	>10	>500	<5000	<2
55	>0	<10	<500	>5000	<2
56	>0	>10	<500	>5000	<2
57	>0	<10	>500	>5000	<2
58	>0	>10	>500	>5000	<2

Profieltypen 6 en 7 worden gekenmerkt door een, minstens 2 m dikke, slecht-doorlatende deklaag (fig. 15). Ook de grotere waterlopen liggen volledig in deze deklaag. Deze hydrotypen worden vooral aangetroffen in het holoceen (tabel 5). Op basis van de  $kD$ -waarde van het watervoerend pakket (type 6) en de  $c$ -waarde van de (eerste) weerstandbiedende laag worden vijf hydrotypen onderscheiden (tabel 5).

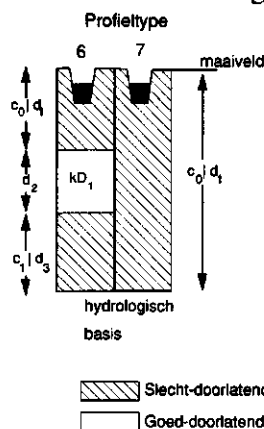


Fig. 15 Profieltypen 6 en 7

*Tabel 5 Onderverdeling profieltypen 6 en 7 in hydrotypen*

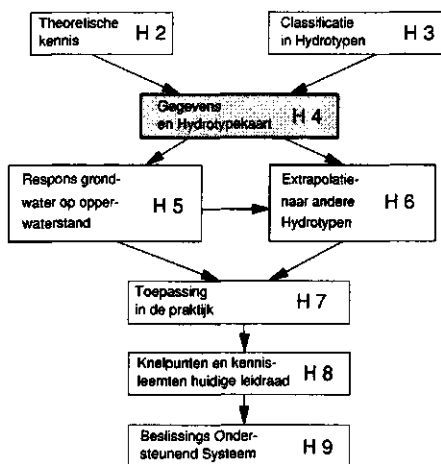
Hydrotype	Hydraulische parameters			Laagdikte $d_l$ (m)
	$c_0$ (d)	$kD_l$ (m <sup>2</sup> /d)	$c_l$ (d)	
61	<5000	<10	<5000	>2
62	<5000	>10	<5000	>2
63	<5000	<10	>5000	>2
64	<5000	>10	>5000	>2
70	>5000			>2

De hierboven besproken indeling in hydrotypen is de beste die met de op dit moment beschikbare informatie kon worden samengesteld, maar is daarmee nog niet de beste die op basis van gedegen, nadere analyse van de beschikbare gegevens misschien mogelijk zou zijn geweest. Zij dient daarom te worden beschouwd als een eerste aanzet.

## 4 Basisgegevens en hydrotypenkaart

### 4.1 Gegevens

In hoofdstuk 2 is besproken welke parameters een rol spelen bij de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater. Omtrent deze parameters zijn gegevens verzameld, waarbij zoveel mogelijk is gestreefd naar aansluiting op bestaande databanken, te weten LGM (Landelijk Grondwater Model) (Pastoors, 1992), en LKN (Landschapsecologische kartering van Nederland) (Bolsius et al.,



1994). Deze databanken werken met gridcellen van  $1 \times 1 \text{ km}^2$ . De in het kader van dit project verzamelde aanvullende gegevens zijn, hierop aansluitend, ook verzameld voor gridcellen van  $1 \times 1 \text{ km}^2$ , althans voor zover mogelijk. Er is naar gestreefd om zo goed als mogelijk landsdekkende bestanden samen te stellen. Met betrekking tot de kwaliteit (i.c. volledigheid en nauwkeurigheid) van de aanvullende gegevens was sprake van aanzienlijke verschillen; deze worden, waar relevant, besproken. In tabel 6 zijn de parameters samengevat waarvan gegevens dienen te worden verzameld, alsmede de gebruikte gegevensbronnen. Verder is vermeld welke bron in de toekomst naar verwachting een belangrijke rol gaat spelen.

Tabel 6 Parameters, huidige en toekomstige gegevensbronnen

Gegevens	Parameter	Huidige bron*	Toekomstige bron*
Geohydrologie	$k_v$	literatuur	veldonderzoek/LHTS
	$k_h$	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	$D$	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	$kD$	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	$c$	LGM	LHTS(REGIS)
Waterlopen	$L$	Top10-vector	TOP10-vector
	$B$	veldonderzoeken	veldonderzoek/LHTS
	$c_b$	literatuur	veldonderzoek/LHTS
Topografie		LKN	AHN
Bergingscoëfficiënt	$\mu$	BIS (indirect)	BIS(indirect)

\*) De betekenis van de gebruikte afkortingen wordt in de tekst verklaard

### 4.1.1 Geohydrologie

De geohydrologische gegevens zijn ontleend aan de gegevensbestanden die zijn opgezet voor het Landelijk Grondwater Model (LGM). Dit model is ontworpen om effecten van mogelijke drinkwaterwinningen te evalueren. De gegevensbestanden zijn hierop zo goed mogelijk afgestemd. Met betrekking tot de door ons beoogde toepassing voldoen deze bestanden echter minder goed, want:

- ze zijn niet landsdekkend (de Provincies Zeeland en Zuid-Limburg ontbreken);
- de gegevens met betrekking tot de ondiepe ondergrond (het 'topstelsel') zijn voor de doelstelling van dit project te weinig gedetailleerd. Zo ontbreken dekzandafzettingen en dunne afzettingen in het westen van ons land;
- de holocene afzettingen in het westen zijn niet nader opgesplitst in samenstellende afzettingen.

De geohydrologische opbouw van het topstelsel heeft grote invloed op effecten van aanpassingen van de stand van het oppervlaktewater op het grondwaterregime. Daarom moet ruim aandacht worden besteed aan de kwaliteit van gegevens omtrent het topstelsel.

Genoemde invloed is onlangs overigens nauwgezet onderzocht. Tijdens de 'inceptiefase' van de 'Landelijke Hydrologische Analyse van het Topstelsel' (LHTS), uitgevoerd door SC-DLO en NITG-TNO, is aan de hand van modelberekeningen gekwantificeerd hoe groot het effect is van de nauwkeurigheid van geohydrologische parameters van het topstelsel op modelberekeningen. Gevonden werd dat de invloed van de schaal waarop de gegevens werden verzameld (handboringen vs. diepe boringen) op het rekenresultaat (omvang en geometrie van grondwatersystemen) in de meeste gevallen aanzienlijk is (Negenman et al, 1997).

Om de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater goed te beschrijven bleek nadere detaillering van de gegevens met betrekking tot de ondiepe ondergrond, gegeven het bovenstaande, dringend gewenst. Het gegevensbestand van het LGM is daarom aangevuld met gegevens van de geologische kaart (GK) 1 : 600 000 (RGD, 1975), en met gegevens ontleend aan de studie 'Kwetsbaarheid van het grondwater' (SK) (Van Duyvenbouden en Breeuwsma, 1987). Het grootste resterende hiaat lijkt hiermee het ontbreken van gegevens uit de Provincies Zeeland en Zuid-Limburg te zijn.

### 4.1.2 Oppervlaktewatersysteem

De belangrijkste parameters van het oppervlaktewatersysteem zijn de slootafstand  $L$ , de afmetingen van waterlopen, waaronder de natte omtrek  $B$ , en de intree weerstand van slootbodems,  $c_b$ .

De lokatie van de waterlopen is ontleend aan het Top10-vectorbestand. Dit is een digitaal bestand (ARC/INFO), dat momenteel voor een groot deel van Nederland beschikbaar is. In dit bestand worden vier typen waterlopen onderscheiden op basis van de breedte van de waterloop van insteek tot insteek. In dit project is, waar het de slootdichtheid betreft, het Top10-vectorbestand de belangrijkste gegevensbron,

ondanks het feit dat dit bestand nog niet voor heel ons land beschikbaar is (verwacht eind 1997). Ook drainage (i.c. buizen) behoort tot het oppervlaktewatersysteem; deze is echter niet in het Top10-vectorbestand opgenomen. Drainage kan evenwel grote invloed hebben op de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater.

In het Top10-vectorbestand worden vier klassen van waterlopen onderscheiden, gebaseerd op de breedte van de waterloop van insteek tot insteek. Dit zijn:

- 1 greppels en droge sloten;
- 2 sloten met breedteklasse < 3 m;
- 3 waterlopen met breedteklasse tussen 3 en 6 m;
- 4 waterlopen met breedteklasse > 6 m: i.c. beken, rivieren, kanalen en overig open water.

De afmetingen van waterlopen, zoals de bodemdiepte ten opzichte van het maaiveld en de natte omtrek zijn slechts in beperkte mate digitaal beschikbaar (digitale legger van de waterschappen, WIS). Inrichters en beheerders beschikken mogelijk wel over deze informatie of kunnen deze verzamelen.

In het Top10-vectorbestand wordt geen onderscheid gemaakt tussen waterbeheersings-systemen en ontwateringssystemen. Om dit onderscheid aan te brengen zijn in deze studie de vier onderscheiden klassen van waterlopen uit het Top10-vectorbestand samengevoegd tot twee nieuwe klassen, waarbij het onderscheidend criterium is gelegd bij een breedte van 3 m van insteek tot insteek. Voor elke klasse is één representatief slootprofiel gedefinieerd, met de volgende kenmerkende afmetingen en waterdiepten (i.c. de verticale afstand tussen waterspiegel en slootbodem):

- Klasse 1:  
*waterlopen < 3 m*: bodemdiepte 1,2 m - mv.;  
breedte op de waterspiegel 1 m;  
waterdiepte: geaccidenteerde gebieden: 0,2 m;  
veenweidegebieden: 0,7 m.
- Klasse 2:  
*waterlopen ≥ 3 m*: bodemdiepte 2 m - mv.;  
breedte op de waterspiegel 2 m;  
waterdiepte: geaccidenteerde terreinen: 0,5 m;  
veenweidegebieden: 1,5 m.

Stuwen zijn meestal geplaatst in de grotere waterlopen (klasse 2). Deze waterlopen zijn relatief diep en daardoor grotendeels beheersbaar. De kleinere waterlopen (klasse 1) zijn minder diep en daardoor, afhankelijk van de topografie, in geringere mate beheersbaar.

De intreeweerstand is de stromingsweerstand die het grondwater ondervindt tijdens de overgang naar het oppervlaktewater, i.c. tijdens de passage van de slootbodem. Bij infiltratie van oppervlaktewater naar het grondwater spreekt men over uittreeweerstand. De intreeweerstand kan aanzienlijk worden vergroot door afzettingen en verstoppingen, op en rond de slootbodem, die veroorzaakt worden door slib en ijzerverbindingen. Bij goed onderhoud van waterlopen kan de intreeweerstand sterk worden verlaagd. Hoewel naar de intreeweerstand van slootbodems weinig veld-

onderzoek is gedaan lijkt deze met name in zandgebieden van belang te zijn (Jousma en Massop, 1996). Uit buitenlands onderzoek is bekend dat ijzerverstoppen met name in zandgronden veel voorkomen wegens de daar heersende gunstige condities voor de bij de vorming van ijzerverstoppen betrokken bacteriën (Stuyt en Dierickx, in voorbereiding).

Uit veldonderzoek blijkt dat de grootte van de intreeweerstand veelal varieert tussen 0,2 en 3 d, waarbij er een tendens aanwezig lijkt naar grotere waarden voor grotere waterlopen. De intree/uittreeweerstand is een belangrijke parameter waarnaar nog nader onderzoek dient plaats te vinden. Bij deze studie is in alle gevallen een intreeweerstand verondersteld van 0,5 d.

Aan het gebruik van het Top10-vectorbestand zijn kosten verbonden. De verwachting is evenwel dat de waterschappen tot aanschaf overgaan, mede in verband met andere toepassingen.

### **4.1.3 Topografie**

Gegevens met betrekking tot de topografie ofwel maaiveldshoogte worden momenteel op grote schaal ingewonnen; bovendien neemt de kwaliteit toe (Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat<sup>2</sup>). Voor het gebruik van de AHN is overleg gaande tussen LNV en Rijkswaterstaat. Tussen de Unie van Waterschappen, namens de waterschappen, en Rijkswaterstaat is een convenant gesloten over het AHN. Binnen afzienbare tijd zijn deze gegevens, die met name in geaccidenteerd terrein van doorslaggevend belang zijn bij het vaststellen van het areaal aan beheersbare waterlopen, landelijk beschikbaar. In deze studie kon nog geen gebruik worden gemaakt van het AHN; om de topografie te classificeren moest daarom worden teruggegrepen op de geomorfologische kaart van de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN).

Een ander bestand is het TOPhoogteMD-bestand van de Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat en de Topografische Dienst. Dit bestand heeft een dichtheid van 1 punt per hectare. Het is echter gedateerd (tot 40 jaar oud) en niet betrouwbaar, o.a. door maaiveldsdalingen (veengebieden, Oost-Groningen), afgravingen en egalisaties. Aan het gebruik van TOPhoogteMD en AHN zijn kosten verbonden.

### **4.1.4 Bergingscoëfficiënt**

De grootte van de bergingscoëfficiënt wordt bepaald door:

- de geohydrologische eigenschappen van het bodemprofiel nabij het maaiveld;
- de grootte en richting van de grondwaterstroming in de onverzadigde zone (neerwaartse percolatie en capillaire opstijging);
- de grondwaterstand.

---

<sup>2</sup> Informatie staat op Internet: <http://www.minvenw.nl/rws/mdj/produkt/ahn.htm>

Gegevens over het bodemprofiel en de grondwaterstanden zijn beschikbaar in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS). In deze studie is gebruik gemaakt van de generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart, schaal 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie (Wösten et al., 1988). Voor een extreem natte situatie, en een voorjaarsituatie zijn bergingscoëfficiënten berekend bij verschillende grondwaterstanden, bodemtypen, en zowel neerwaartse percolatie als capillaire opstijging.

Per  $1 \times 1 \text{ km}^2$  gridcel zijn, voor zover beschikbaar, bovengenoemde gegevens verzameld; in totaal betreft het ca. 35 000 gridcellen. Het uiteindelijke bestand kent een enorme variabiliteit in (onder andere) geohydrologische opbouw, topografie en infrastructuur van het oppervlaktewater. In een ingewikkelde interactie bepalen deze parameters samen voor een groot deel de dynamiek van grondwaterstandsveranderingen als reactie op peilbeheersmaatregelen en afvoergolven.

## 4.2 De hydrotypenkaart

Voor elke gridcel zijn, voor zover beschikbaar, de relevante gegevens verzameld. Op basis van de in hoofdstuk 3 afgeleide hydrotype-indeling is voor elke gridcel het hydrotype vastgesteld. Hierna is een *hydrotypenkaart* vervaardigd (fig. 16). Er werd geen hydrotype bepaald indien er sprake was van strijdige of onvolledige gegevens. Dit was met name het geval voor de Provincie Zeeland (geen maaiveldhoogtegegevens beschikbaar) en Zuid-Limburg (geen geohydrologische gegevens beschikbaar). Strijdige gegevens kwamen soms naar voren uit kwaliteitscontroles. Zo bleek de informatie van een 'diktekaart' niet altijd overeen te komen met de pakketdikte die (uit andere bestanden) werd afgeleid uit de lokaties van de boven- en de onderkant van het desbetreffende pakket.

Sommige hydrotypen komen zowel in pleistocene als in holocene gebieden voor. Hydrotype 13, bijvoorbeeld, is kenmerkend voor Oost-Nederland waar de geohydrologische basis dicht onder het maaiveld ligt. De  $kD$ -waarde van dit hydrotype is dan ook klein: minder dan  $10 \text{ m}^2/\text{d}$ , en een weerstandbiedende laag ontbreekt. Hydrotype 13 komt evenwel ook binnen het holocene gebied voor, en wel daar waar de geohydrologische basis wordt gevormd door de soms hoge stromingsweerstand van het basisveen en de afzettingen van Calais aan de basis van het holoceen. De erboven gelegen afzettingen (o.a. Hollandveen) hebben meestal een geringe doorlatendheid ( $kD$ -waarde kleiner dan  $10 \text{ m}^2/\text{d}$ ). Op de eerder gemaakte indeling in pleistocene en holocene profieltypen (hoofdstuk 3) zijn dus wel degelijk uitzonderingen mogelijk.

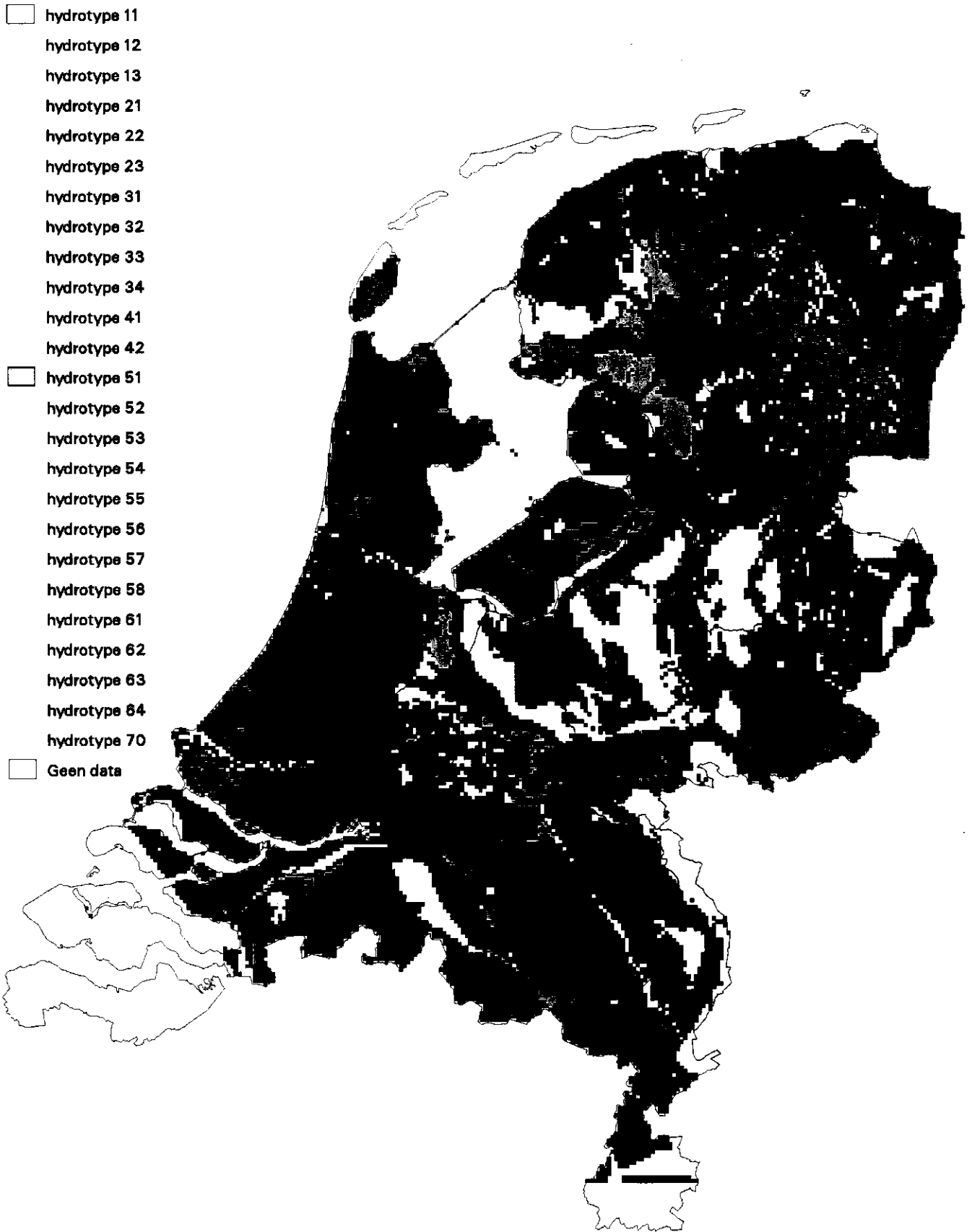
### *Profieltype 1*

Hydrotypen zonder weerstandbiedende laag zijn globaal gesitueerd in de volgende regio's:

- *Hydrotype 11*: Stuwwallen en gebieden waar afzettingen van de Formatie van Twente ontbreken: de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug, de Holterberg, Montferland en de regio ten zuidoosten van Nijmegen.



Fig.16 Overzicht van de locaties van de hydrotypen



SCHAAL 1:1500000



**DLO-STARING CENTRUM WAGENINGEN**

Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied

Onderzoek Relatie grondwater-oppevlaktewater

H. Th. L. Massop - L. C. P. M. Stuyt

© 1997 DLO-Staring Centrum Wageningen

- *Hydrotype 12*: Gebieden waar afzettingen van de Formatie van Twente dagzomen: Salland, de Achterhoek, de regio tussen de Peelrandbreuk en de Maas, het zuidoosten van de Provincie Groningen en oost-Drenthe.
- *Hydrotype 13*: Gebieden waar tertiaire afzettingen dicht onder het maaiveld liggen, en veengebieden met een hoge stromingsweerstand aan de basis van het holoceen (basisveen): het meest oostelijk gelegen deel van Overijssel en de Achterhoek en de regio rond, en ten noorden van Amsterdam.

### **Profieltype 2**

De hydrotypen met een weerstandbiedende laag binnen 2 m - mv. komen vooral voor in gebieden met ondiepe keileem. Dit is met name in de Provincie Drenthe het geval. Ook in holocene regio's vallen er gebieden onder, en wel daar waar sprake is van een geringe dikte van afzettingen van Hollandveen op afzettingen van Calais en Basisveen. Dit betreft dus gebieden met een dunne laag Hollandveen, zoals het Utrechts plassengebied, de kop van Overijssel en delen van Friesland. Omdat de dikte van het eerste watervoerend pakket en die van de eerste weerstandbiedende laag samen kleiner is dan 2 m, zijn de *kD*- en *c*-waarden voor beide lagen eveneens gering. Dit betekent dat de parametercombinatie voor *hydrotype 21* ( $kD < 10 \text{ m}^2/\text{d}$ ; *c*-waarde  $< 500 \text{ d}$ ) de grootste kans van voorkomen heeft. *Hydrotype 24* ( $kD > 10 \text{ m}^2/\text{d}$ , *c*-waarde  $> 500 \text{ d}$ ) heeft de kleinste kans. *Hydrotype 24* wordt dan ook nergens aangetroffen en *hydrotypen 22* (*c*-waarde  $> 500 \text{ d}$ ) en *23* ( $kD > 10 \text{ m}^2/\text{d}$ ) komen slechts sporadisch voor.

### **Profieltype 3**

De hydrotypen met een scheidende laag onder de bodem van de grotere waterlopen zijn globaal gesitueerd in de volgende regio's:

- *Hydrotype 31*: vooral in Drenthe en de Centrale Slenk in Noord-Brabant. In Drenthe zijn dit gebieden waar de onderkant van het keileem dieper ligt dan bij profieltype 2; in de Centrale Slenk betreft het de zogenaamde Brabantleem.
- *Hydrotype 32*: voornamelijk in Noord- en Zuid-Holland, en enkele kleine gebieden in Drenthe en de Centrale Slenk. In Noord- en Zuid-Holland zijn dit de veengebieden; deze verschillen van hydrotype 13 omdat de weerstand aan de basis van het holoceen kleiner is dan 5000 d.
- *Hydrotype 33*: onder andere in het zuidwesten van de Provincie Noord-Brabant (Formatie van Kedichem), in Drenthe en in Overijssel (Eemformatie), Gelderland en Utrecht (Eemformatie). De weerstandbiedende afzettingen die op 'grotere' diepte onder het maaiveld voorkomen behoren tot de Eemformatie en de Formatie van Kedichem.
- *Hydrotype 34*: onder andere in het IJsseldal (Formatie van Drenthe), de Gelderse Vallei (Eemformatie), het zuidwesten van de Provincie Noord-Brabant (Formatie van Kedichem), het grensgebied van Overijssel en Drenthe (Formatie Drenthe/Harderwijk) en dat van Groningen-Drenthe (Eemformatie). Evenals bij hydrotype 33 komen de weerstandbiedende lagen op 'grotere' diepte onder het maaiveld voor.

### **Profieltypen 4 en 5**

Dit betreft de hydrotypen met een dun (d.w.z.  $< 2 \text{ m}$ ) afdekkend pakket. Zij worden globaal aangetroffen in regio's waar de geologische eenheden 'Hollandveen', 'Duin-

kerke' en 'Calais' en de Betuweformatie in verschillende combinaties als deklaag dagzomen. Deze regio's zijn:

- *Hydrotype 41*: Flevoland en enkele kleinere lokaties in Noord- en Zuid-Holland. Dit zijn gebieden met een hoge stromingsweerstand (> 5000 d) aan de basis; deze weerstand wordt gevormd door afzettingen van Calais en basisveen.
- *Hydrotype 42*: Het rivierengebied, het westen van de Provincie Overijssel en het noorden van de Provincie Groningen. In het rivierengebied betreft dit dunne afzettingen van de Betuweformatie; in Overijssel zijn dit de gebieden waar het Hollandveen direct op pleistocene afzettingen rust.
- *Hydrotype 51*: Friesland, Brabant en het westelijk deel van Utrecht.
- *Hydrotype 52*: Enkele 'clusters' in Friesland, Flevoland en Noord-Brabant.
- *Hydrotype 53*: Enkele kleine lokaties in Noord- en Zuid-Holland.
- *Hydrotype 54*: Enkele kleine lokaties in Flevoland en Friesland.
- *Hydrotype 55*: De Noordoostpolder en oost-Groningen.
- *Hydrotype 56*: De Betuwe, het IJsseldal en Friesland.
- *Hydrotype 57*: Enkele kleine lokaties in Noord-Holland en in Groningen.
- *Hydrotype 58*: Het Kromme-Rijngebied, het IJsseldal, de kop van Overijssel en Flevoland.

#### **Profieltypen 6 en 7**

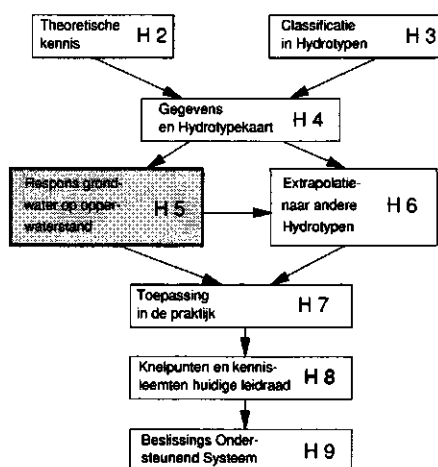
Dit betreft de hydrotypen met een dik (d.w.z. > 2 m) afdekkend pakket. Zij worden globaal aangetroffen in regio's waar de geologische eenheden 'Hollandveen', 'Duinkerke' en 'Calais' en de Betuweformatie in verschillende combinaties als deklaag dagzomen. Deze regio's zijn:

- *Hydrotype 61*: De omgeving van de Biesbosch en het westelijk gedeelte van de Betuwe; delen van Zuid-Oost Utrecht; de streek tussen Kamperduin en Enkhuizen; het gebied ten westen van de Vecht, en delen van de Provincie Friesland.
- *Hydrotype 62*: Komt veel voor in de Provincies Friesland en Groningen. Tevens in droogmakerijen in Noord- en Zuid-Holland, i.c. de omgeving van Zoetermeer, de Haarlemmermeer en een gedeelte van de Wieringermeer.
- *Hydrotype 63*: Komt slechts sporadisch voor, onder andere in West-Brabant.
- *Hydrotype 64*: Een komkleigebied bij 's-Hertogenbosch, enkele komkleigebieden in de Betuwe; voorts in het noorden van de Provincie Groningen, aan de periferie van Flevoland en in de kop van Noord-Holland.
- *Hydrotype 70*: In Delfland en op Voorne-Putten; dit betreft gebieden waar het holoceen dikker is dan 10 m, en een hoge stromingsweerstand heeft.

## 5 Respons van het grondwater op veranderingen in van de oppervlaktewaterstand uitgewerkt voor drie hydrotypen

### 5.1 Inleiding

De stand van het oppervlaktewater wordt vaak aangepast met als doel het verlagen of verhogen van grondwaterstanden. De grondwaterstand reageert immers op veranderingen in de stand van het oppervlaktewater, omdat beide gekoppeld zijn en zich na elke verandering een nieuw evenwicht instelt, meestal is de tijd te kort om het evenwicht te bereiken. Veranderingen in de stand van het oppervlaktewater kunnen echter ook een natuurlijke oorzaak hebben, zoals bij het optreden van afvoergolven. In zulke gevallen is de oppervlaktewaterstand tijdelijk (1 à 2 dagen) verhoogd.



In het kader van dit project zijn effecten van veranderingen in de stand van het oppervlaktewater op de grondwaterstand, in ruimte en tijd, voor twee relevante beheerssituaties door middel van modelberekeningen geëvalueerd. Het betreft:

- *Actief beheer*: het effect van een onmiddellijke en blijvende verhoging van de oppervlaktewaterstand.
- *Passief beheer*: het effect van de passage van een afvoergolf, i.c. een kortstondige verhoging van de stand van het oppervlaktewater.

#### *Actief beheer*

Door het waterpeil op te zetten kan een waterbeheerder, in principe, de grondwaterstand actief beïnvloeden. Hierbij kunnen twee situaties worden onderscheiden: het opzetten van peilen bij *wateraanvoer* en het opzetten bij *waterconservering*. Indien de mogelijkheid bestaat om water aan te voeren (Drenthe, Salland, Noord-Brabant), kan dit water mede worden gebruikt om de grondwaterstand door middel van sub-irrigatie (infiltratie vanuit de waterlopen en eventueel drains) te verhogen. In gebieden waar de mogelijkheid tot wateraanvoer ontbreekt, zoals in de Achterhoek, kan alleen tijdens het voorjaar water worden geconserveerd. Door het tijdig opzetten van de stuwpeilen wordt de uitzakking van de grondwaterstand vertraagd, waarbij het neerslagoverschot uit de winterperiode wordt benut. Hoe lang in de praktijk het peil kan worden gehandhaafd is afhankelijk van de beschikbaarheid van water (wateraanvoer). In de berekeningen is aangenomen dat het peil altijd kan worden

gehandhaafd. In de praktijk is dit lang niet altijd het geval, met name in gebieden zonder mogelijkheden tot wateraanvoer.

### ***Passief beheer***

Bij het nabootsen van effecten van een afvoergolf wordt in de modelberekeningen de stand van het oppervlaktewater gedurende één dag verhoogd (een 'puls'); daarna is de stand weer dezelfde als voorheen.

De resultaten van de studie kunnen waarschijnlijk ook worden gebruikt voor het bepalen van effecten van onmiddellijke of blijvende oppervlaktewaterpeilverlagingen, mits de situatie qua ontwateringssysteem vergelijkbaar is.

## **5.2 Schatting van effecten van verhoging van de oppervlaktewaterstand**

In pleistocene zandgebieden speelt waterconservering door middel van peilverhoging en verondieping van slootbodems een belangrijke rol. De hydrotypen 12 en 31 zijn representatief voor grote delen van deze gebieden. Binnen het holocene gebied vindt op grote schaal wateraanvoer plaats, onder meer ten behoeve van peilhandhaving. Hydrotype 32 is representatief voor het veenweidegebied. De effecten van een verhoging van de stand van het oppervlaktewater zijn daarom voor drie hydrotypen geschat: hydrotype 12, 31 en 32. De effecten zijn berekend met het model Modflow, via de gebruikersinterface Visual Modflow<sup>3</sup>.

Om de effecten van een verhoging van de oppervlaktewaterstand te kwantificeren zijn twee modelberekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen verschillen in de opgelegde oppervlaktewaterstand in de beheersbare waterlopen. In de eerste berekening is het peil niet opgezet en in de tweede wel. Het uiteindelijke effect van de verhoogde oppervlaktewaterstanden is berekend als het verschil tussen de berekende grondwaterstanden (superpositie).

De kleinere, niet-beheersbare waterlopen hebben alleen een drainerende functie en vallen op een gegeven moment droog. Infiltratie vanuit deze waterlopen naar het grondwater is onmogelijk. De initiële grondwaterstand is genomen als de berekende grondwaterstand bij een stationair neerslagoverschot van 1 mm/d. In figuur 17 is het gebruikte Modflow-model schematisch weergegeven.

---

<sup>3</sup> Meer informatie over deze berekeningen is opgenomen in het achtergronddocument 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer'.

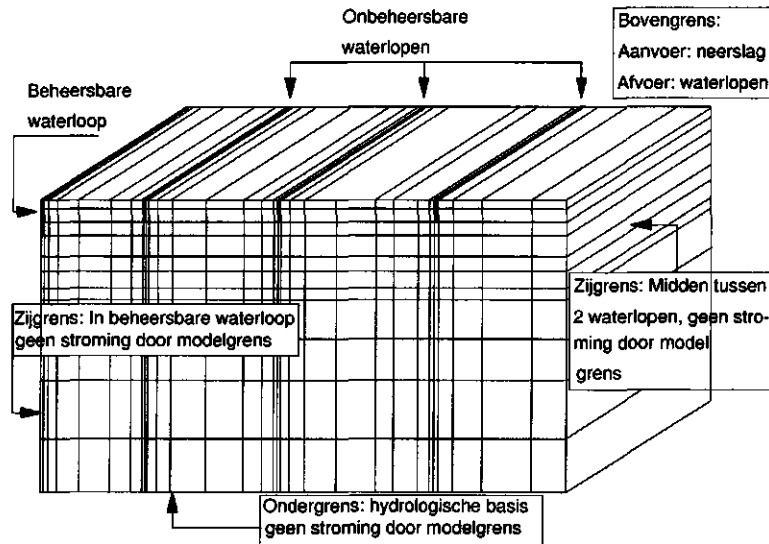


Fig. 17 Schema van het Modflow-model

De zijranden van het model zijn ofwel in het hart van een beheersbare waterloop, ofwel midden tussen twee beheersbare waterloopen geplaatst. Neerslag wordt alleen gesimuleerd bij het berekenen van de initiële grondwaterstand (stationaire berekening) en bij de berekening van effecten van een afvoergolf op de grondwaterstand. In het model is geen sprake van evapotranspiratie. Langs geen enkele begrenzing is uitwisseling met 'extern' grondwater mogelijk (*zero flux boundaries*). Via de onderrand vindt dus ook geen aanvoer (kwel) of afvoer (wegzijing) van grondwater plaats. Water kan het model alleen binnenkomen door middel van aanvoer via het oppervlaktewater en in de vorm van van neerslag, of verlaten via het oppervlaktewater.

### 5.2.1 Effecten bij hydrotype 12

Hydrotype 12 representeert een profiel, bestaande uit een goed-doorlatend watervoerend pakket dat aan de bovenkant is afgedekt door fijnzandige afzettingen. Dit hydrotype komt onder andere voor in Salland, Achterhoek en tussen Peelrandbreuk en de Maas. De ontwateringsmiddelen liggen geheel in de fijnzandige deklaag. Het Modflow-model is ontworpen op basis van onderstaande parameterwaarden. De hierbij gevolgde werkwijze is beschreven in het achtergronddocument: 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer'.

Uit het gegevensbestand van de hydrotypen zijn de volgende *gemiddelde* waarden van geohydrologische parameters van hydrotype 12 afgeleid. Het betreft 3023 gridcellen van 1 km<sup>2</sup> oftewel 302300 ha.

De deklaag:  $k_h = 1,5$  m/d;  $k_v = 1,5$  m/d en  $D = 7,5$  m ( $d_{2a}$ ).  
 Het watervoerend pakket:  $kD = 825$  m<sup>2</sup>/d, waarbij  $D = 38$  m ( $d_{2b}$ ).

De gemiddelde waarden van de parameters van het oppervlaktewaterstelsel zijn:

$L = 125$  m, waarbij

$L_{\text{breedte} < 3\text{m}} = 130$  m

$L_{\text{breedte} \geq 3\text{m}} = 3000$  m

Voorts:

$c_b = 0,5$  d (aangenomen waarde).

$\mu = 0,04$ .

De bergingscoëfficiënt  $\mu$  is bepaald onder aanname van hydrostatisch evenwicht. Bij deze berekening is uitgegaan van de natste Gt die minstens 10% van het oppervlak van de gridcel inneemt.

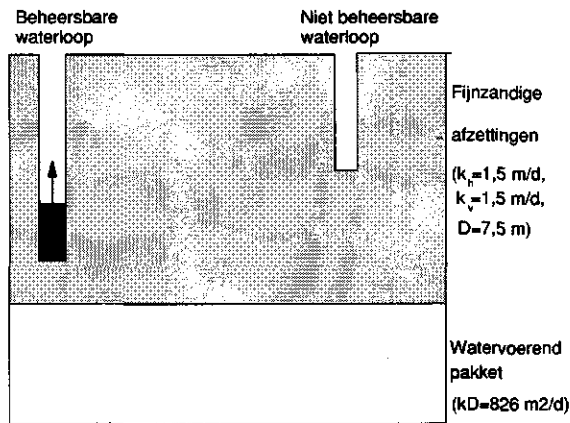


Fig. 18 Geohydrologisch schema van hydrotype 12

In figuur 18 is het bodemprofiel schematisch weergegeven. In figuur 19 is schematisch een raai weergegeven met daarin één beheersbare, en twee niet-beheersbare waterlopen. De scheiding tussen beheersbare en niet-beheersbare waterlopen is gelegd bij een breedte van insteek tot insteek van 3 m. Sloten, smaller dan 3 m zijn dus niet-beheersbaar of vrij afwaterend; bredere sloten zijn in principe wel beheersbaar. Hierbij is overigens nog geen rekening gehouden met de topografie.

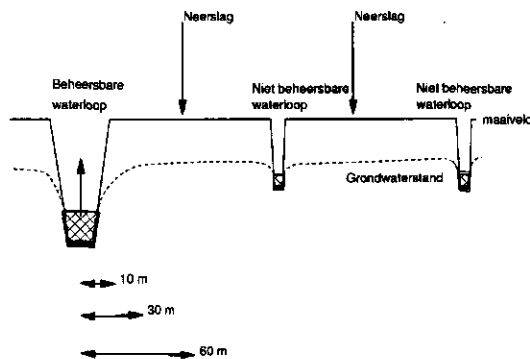


Fig. 19 Dwarsraai met beheersbare en niet-beheersbare waterlopen

De berekeningen kunnen in twee groepen worden gesplitst.

### **Groep 1: drainageweerstand**

De eerste groep betreft twee *stationaire* berekeningen met als doel het schatten van de drainageweerstand van het stelsel van waterlopen. Gesimuleerd werden grondwaterstanden en afvoeren onder twee randvoorwaarden, namelijk een neerslagoverschot van 1 mm/d en een van 2 mm/d. Uit de gemiddelde grondwaterstanden en afvoeren bij deze twee stationaire situaties is, met behulp van de zogenaamde *differentiebenadering*<sup>4</sup>, de drainageweerstand van het systeem geschat. Volgens deze benadering is de drainageweerstand af te leiden uit i) het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden in beide situaties, en ii) het verschil tussen de afvoeren. Er is 'stationair' gerekend, waarmee de afvoer gelijk is aan het neerslagoverschot.

### **Groep 2: waterconservering**

Deze groep betreft twee pseudo-dynamische berekeningen (een feite twee reeksen van 150 stationaire berekeningen, op dagbasis) met als doel het schatten van het effect van een peilverhoging in een beheersbare waterloop op de gemiddelde grondwaterstand (waterconservering). Beide berekeningen beginnen op 1 april, wanneer er sprake is van een stationaire toestand met een neerslagoverschot van 1 mm/d (voorjaars situatie). Op deze datum wordt het neerslagoverschot 'stopgezet' (0 mm/d), en wordt aansluitend een periode van 150 dagen doorgerekend.

- In de *eerste berekening* wordt het stuwpeil niet opgezet. Ten gevolge van de ontwatering daalt de grondwaterstand geleidelijk tot aan de drainagebasis van de beheersbare waterloop, te weten 1,5 m beneden het maaiveld.
- De *tweede berekening* is identiek aan de eerste, maar nu is de drainagebasis van de beheersbare waterloop door het opzetten van het stuwpeil verhoogd tot 1 m beneden het maaiveld. De grondwaterstand daalt minder snel.

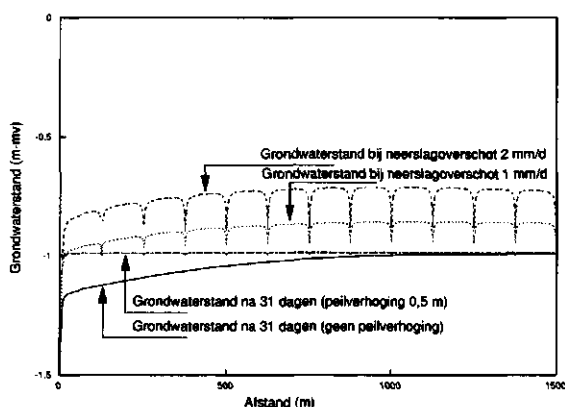


Fig. 20 Verloop van de grondwaterspiegel bij een neerslagoverschot van 1 en 2 mm/d (bovenste twee curven) en na een 31-daagse periode zonder neerslagoverschot, met en zonder opzetten van het peil in de beheersbare waterloop (onderste twee curven). De afstanden zijn gegeven ten opzichte van de lokatie van de beheersbare waterloop. De lokaties van de kleinere, niet-beheersbare waterlopen zijn in de bovenste twee curven te onderkennen.

<sup>4</sup> zie het 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer' (in voorbereiding).



De resultaten worden besproken aan de hand van figuur 20 t/m 23. In figuur 20 is het verloop van de grondwaterspiegel getekend, en wel voor alle vier de berekende situaties (vier curven). Aan de linkerzijde van de figuur ligt een beheersbare waterloop; de overige waterlopen zijn niet beheersbaar. De lokaties van de waterlopen kunnen uit de vorm van de twee ondiepe - 'bovenste' - curven worden afgeleid.

#### ***Resultaten groep 1: drainageweerstand***

De twee ondiepe curven in figuur 20 even het verloop van de grondwaterspiegel bij een neerslagoverschot van 1 resp. 2 mm/d. Wordt voor de vormfactor van de grondwaterspiegel (de verhouding van de gemiddelde grondwaterstand en de maximale grondwaterstand midden tussen twee drains) een waarde van 0,8 aangenomen dan bedraagt de gemiddelde drainageweerstand, berekend volgens de differentiemethode 154 dagen. Die van de beheersbare waterloop bedraagt hierbij 2131 d, en die van de niet-beheersbare waterlopen 161 dagen. De resultaten van de berekening met een neerslagoverschot van 1 mm/d zijn gebruikt als uitgangspunt voor de berekeningen van groep 2.

#### ***Resultaten groep 2: waterconservering***

De twee diepe curven in figuur 20 geven het verloop van de grondwaterspiegel, 31 dagen na het stopzetten van het neerslagoverschot. De diepste curve geeft het verloop bij een peil in de beheersbare waterloop van 1,5 m beneden het maaiveld, en de curve erboven de grondwaterspiegel bij een opgezet peil (1 m beneden maaiveld). Het effect van peilverhoging is dichtbij de waterloop het grootst. De effecten zijn berekend bij een grondwateraanvulling van 0 mm/d.

In figuur 21 is het dwarsprofiel in de omgeving van de beheersbare waterloop vergroot weergegeven. Tevens zijn de lokaties gemarkeerd waar de effecten op de grondwaterstand zijn berekend, namelijk op 10, 30 en 60 m vanaf de beheersbare waterloop. Na stopzetten van het neerslagoverschot is de grondwaterstand na 31 dagen, zoals verwacht, over de hele linie gedaald. Wordt het peil in de beheersbare waterloop op 1 april echter 50 cm opgezet, dan zien we dat deze conserverende maatregel 31 dagen later aanleiding geeft tot twee gunstige effecten. In de omgeving van de beheersbare waterloop is de grondwaterstand ten opzichte van de situatie op 1 april gestegen; op grotere afstand is de grondwaterstand in mindere mate gedaald. Het water dat nodig is om de grondwaterstand te doen stijgen is afkomstig uit herverdeling van water in de bodem, dan wel uit infiltratie vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater (subirrigatie uit wateraanvoer).

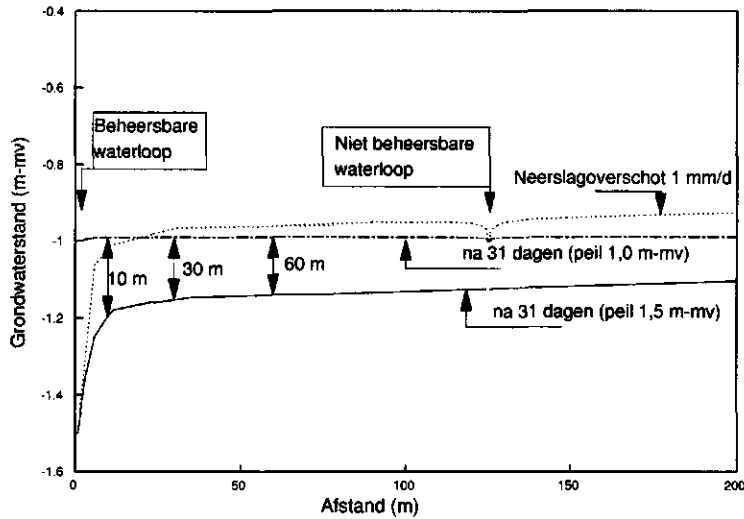


Fig. 21 Verloop van de grondwaterstand in de omgeving van de beheersbare waterloop bij een neerslagoverschot van 1 mm/d (uitgangssituatie), en tevens 31 dagen na het stopzetten van het neerslagoverschot (normaal en opgezet peil in de beheersbare waterloop)

In figuur 22 is het verloop van de grondwaterstand als functie van de tijd gegeven op 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, en wel voor twee situaties, namelijk die waarbij het peil in de beheersbare waterloop wèl wordt opgezet (van 1,5 naar 1,0 m beneden het maaiveld) en die waarbij dit niet het geval is. Het effect van de peilverhoging in de beheersbare waterloop met de tijd is evident. De effecten op 10, 30 en 60 m afstand verschillen onderling maar weinig, zeker in de situatie met opgezet peil.

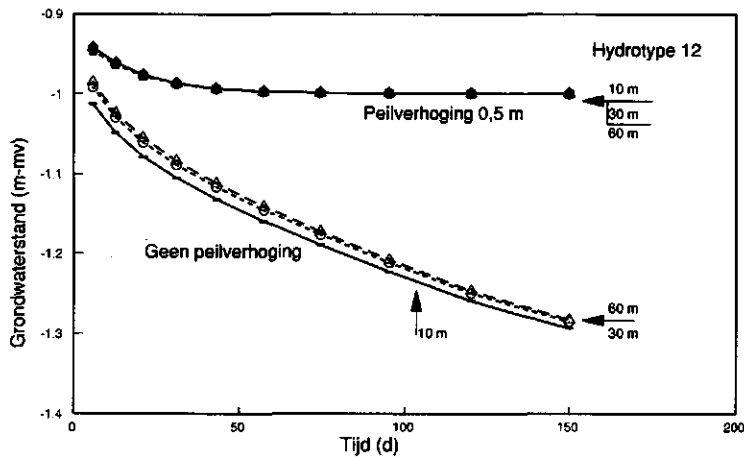


Fig. 22 Daling van de grondwaterstand tijdens een periode zonder neerslagoverschot (0 mm/d) op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, met en zonder peilverhoging van 50 cm in de beheersbare waterloop

In figuur 23 is het effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand weergegeven, in procenten en op 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop. Het effect van de afstand tot de beheersbare waterloop is niet groot, maar dat van de factor 'tijd' wel, voornamelijk omdat de grondwaterstand na 150 dagen, in de situatie zonder peilverhoging, nog lang niet gestabiliseerd lijkt te zijn.

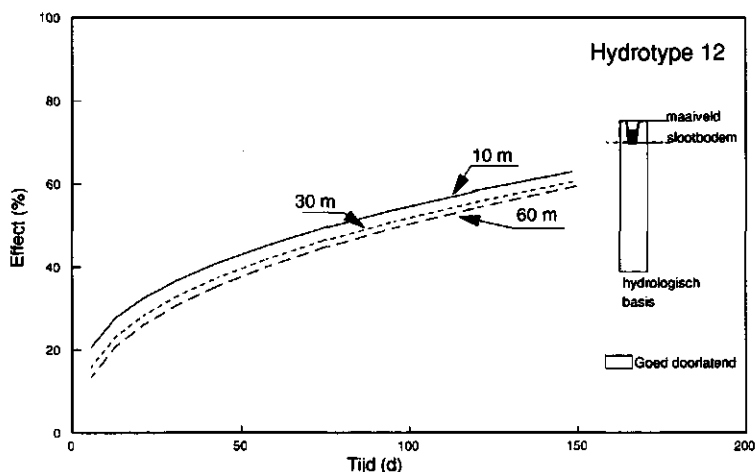


Fig. 23 Procentueel effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand, op 10, 30 en 60 m afstand van de beheersbare waterloop tijdens een periode zonder neerslagoverschot

#### **Gevoeligheid van berekende effecten voor variatie van parameterwaarden**

De gevoeligheid van de berekende effecten voor variatie van parameterwaarden van hydrogeologie en oppervlaktewaterstelsel is een factor van belang, omdat zij indiceert welke parameters bij het tot stand komen van bepaalde effecten kennelijk een belangrijke rol spelen. Immers, van gevoelige parameters moet men over betrouwbare gegevens beschikken; dit geldt in mindere mate voor 'on gevoelige' parameters. De uitkomst van een gevoeligheidsanalyse is, naar verwachting, afhankelijk van het hydrotype, en zou gebruikt kunnen worden bij overwegingen met betrekking tot eventueel te verrichten veldmetingen. Bij zulke metingen moet men de aandacht met name richten op de gevoelige parameters.

De gevoeligheid is onderzocht door middel van berekeningen, waarbij telkens één parameter in waarde is gevarieerd. Deze variatie betreft een halvering of een verdubbeling van de referentiewaarden (=de gemiddelde waarden waarmee de berekeningen tot nu toe werden verricht). Er werden berekeningen uitgevoerd voor 15 scenario's oftewel combinaties van parameterwaarden. De effecten op de grondwaterstand zijn berekend op afstanden van 10, 30 en 60 m tot de beheersbare waterloop, 31 dagen na het stopzetten van de effectieve neerslag (tabel 7).

Tabel 7 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, voor 15 verschillende combinaties van parameterwaarden (hydrotype 12)

nr. scenario	parameter	Grondwaterstand in m - mv. op afstand						Effect van conservering in m		
		geen peilverhoging			peilverhoging 0,5 m					
		10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m
1	-	1,17	1,15	1,14	0,99	0,99	0,99	0,18	0,16	0,15
2	$L = 90^5$	1,27	1,26	1,25	1,00	1,00	1,00	0,27	0,26	0,25
3	$L = 250$	1,13	1,11	1,10	0,95	0,95	0,95	0,18	0,16	0,15
4	$c_b = 0,25$	1,20	1,17	1,16	0,99	0,99	0,99	0,21	0,18	0,17
5	$c_b = 1,0$	1,13	1,11	1,10	0,97	0,97	0,97	0,16	0,14	0,13
6	$D_l = 3,8$	1,21	1,20	1,19	0,99	0,99	0,99	0,22	0,21	0,20
7	$D_l = 15$	1,19	1,14	1,12	0,99	0,99	0,98	0,20	0,15	0,14
8	$k_{1h} = 0,75$	1,08	1,06	1,05	0,96	0,96	0,96	0,12	0,10	0,09
9	$k_{1h} = 3,0$	1,25	1,23	1,22	1,00	1,00	1,00	0,25	0,23	0,22
10	$k_{1v} = 0,75$	1,14	1,10	1,09	0,98	0,98	0,98	0,16	0,12	0,11
11	$k_{1v} = 3,0$	1,21	1,20	1,19	1,00	0,99	0,99	0,21	0,21	0,20
12	$k_{2h} = 10,9$	1,22	1,19	1,18	0,99	0,99	0,99	0,23	0,20	0,19
13	$k_{2h} = 43,6$	1,13	1,11	1,11	0,99	0,99	0,99	0,14	0,12	0,12
14	$\mu = 0,02$	1,19	1,18	1,16	0,99	0,99	0,99	0,20	0,19	0,17
15	$\mu = 0,08$	1,15	1,13	1,11	0,98	0,98	0,98	0,17	0,15	0,13

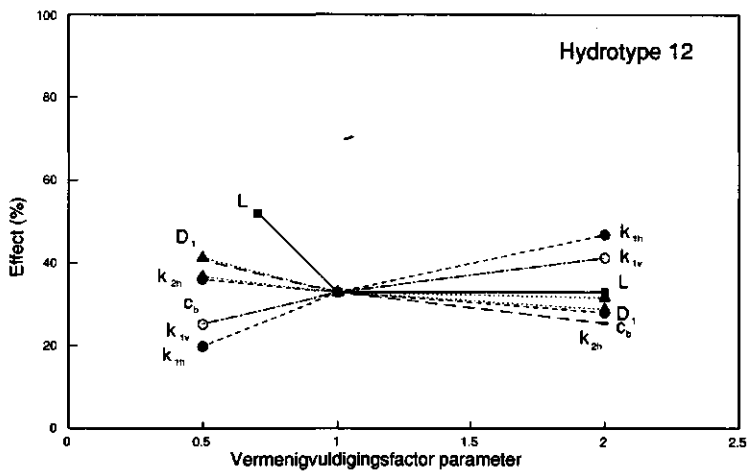


Fig. 24 Gevoeligheid van het (procentueel) effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand op 30 m afstand van de beheersbare waterloop, voor verdubbeling en halvering van de waarden van parameters  $L$ ,  $c_b$ ,  $D_l$ ,  $k_{1h}$ ,  $k_{1v}$ ,  $k_{2h}$  en  $\mu$ , 31 dagen na het opzetten van het stuwpeil

In figuur 24 is, ter illustratie, de gevoeligheid van het berekende effect voor variatie in de parameterwaarden op 30 m afstand van de beheersbare waterloop grafisch weergegeven. De verbindinglijnen in de figuur suggereren lineaire verbanden. Deze

<sup>5</sup> Er is niet gerekend met 0,5 L (62,5 m) maar met L bij 75% overschrijdskans (90 m)

verbanden zijn in werkelijkheid in de meeste gevallen wellicht niet-lineair; bij gebrek aan meer informatie is evenwel besloten de punten door rechten te verbinden.

Vermindering van de slootafstand  $L$  heeft het grootste effect op de grondwaterstandsverhoging. Bij een kleinere slootafstand hoort een lagere drainageweerstand. Hierdoor is de grondwaterstand op het moment waarop de waterconservering begint lager dan bij de oorspronkelijke drainafstand. Het effect van de waterconservering is daarom bij de kleinere slootafstand uiteindelijk groter. Om vergelijkbare redenen leidt een grotere doorlatendheid ( $k_{1h}$  en/of  $k_{1v}$ ) van de fijnzandige afzettingen van het topsysteem tot een groter effect; deze leidt immers eveneens tot een lagere drainageweerstand omdat de radiale weerstand afneemt. Een lagere  $kD$ -waarde ( $k_2$ ) van het watervoerend pakket dat zich onder de fijnzandige deklaag bevindt leidt ook tot een groter effect. De intreeweerstand ( $c_b$ ) lijkt daarentegen bij deze parametercombinatie van weinig invloed te zijn. Dit betekent dat het aandeel van de intreeweerstand ten opzichte van de radiale weerstand in de totale drainageweerstand relatief gering is.

### 5.2.2 Effecten bij hydrotype 31

Hydrotype 31 kan worden gekarakteriseerd als een profiel bestaande uit een goed-doorlatend watervoerend pakket, met daarboven een weerstandbiedende laag en fijnzandige afzettingen. Dit hydrotype komt oa voor in Drenthe en de Centrale Slenk. De ontwateringsmiddelen liggen in de fijnzandige afdekkende laag. Uit het gegevensbestand van de hydrotypen zijn de volgende *gemiddelde* waarden van geohydrologische parameters van hydrotype 31 afgeleid. Het betreft 2864 gridcellen van 1 km<sup>2</sup>, oftewel 286400 ha.

De deklaag:  $k_{1h} = 1,7$  m/d;  $k_{1v} = 1,7$  m/d en  $D = 2,75$  m ( $d_2$ ).  
De weerstandbiedende laag:  $c = 182$  d en  $d = 2,81$  m ( $d_3$ ).

Het watervoerend pakket:  $kD = 1560$  m<sup>2</sup>/d, waarbij  $D = 98$  m ( $d_4$ ).

De gemiddelde waarden van de parameters van het oppervlaktewaterstelsel zijn:

$L = 97$  m, waarbij

$L_{\text{breedte} < 3\text{m}} = 103$  m

$L_{\text{breedte} \geq 3\text{m}} = 1670$  m

Voorts:

$c_b = 0,5$  d (aangenomen waarde).

$\mu = 0,04$ .

Met deze parameters zijn evenals voor hydrotype 12 berekeningen uitgevoerd om het effect van een peilverhoging na 31 dagen te bepalen op 10, 30 en 60 m vanaf de beheersbare waterloop. De geohydrologische schematisatie is weergegeven in figuur 25.

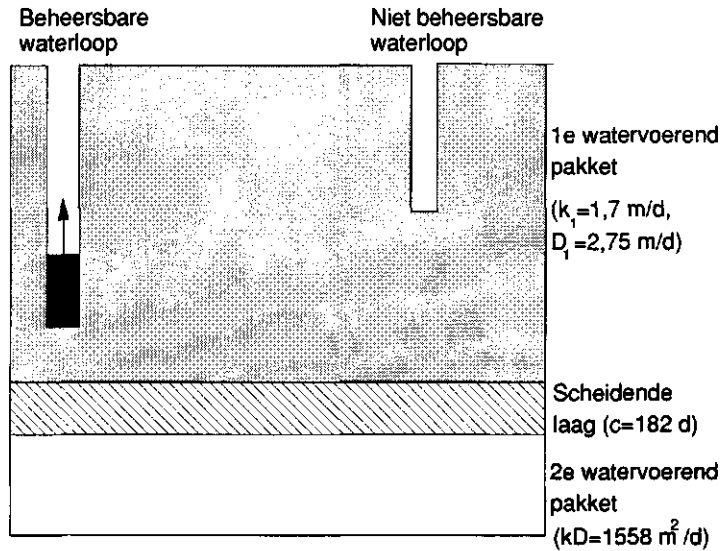


Fig. 25 Geohydrologisch schema van hydrotype 31

Het grondwaterstandsverloop bij een stationair neerslagoverschot van resp. 1 en 2 mm/d is weergegeven in figuur 26.

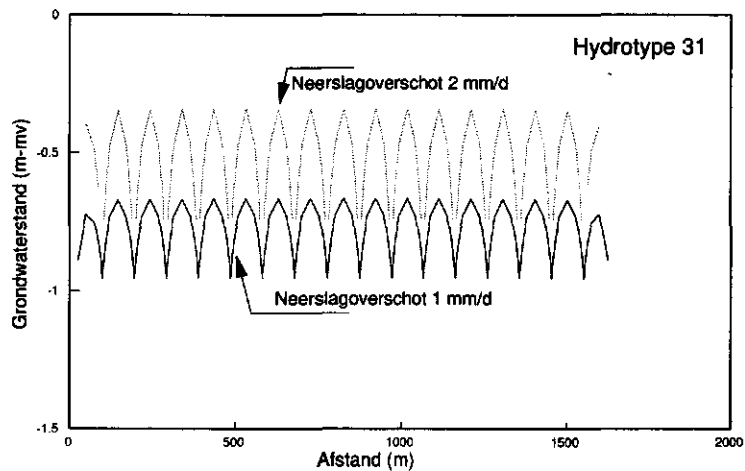


Fig. 26 Grondwaterstandsverloop bij een neerslagoverschot van resp 1 en 2 mm/d

Bij hydrotype 12 (fig. 20) is de weerstand geconcentreerd rondom de waterloop (radiale-, en intreeweerstand); bij hydrotype 31 is vooral de horizontale weerstand bij stroming naar de ontwateringsmiddelen belangrijk (fig. 26).

In figuur 27 zijn de effecten op verschillende afstanden tot de beheersbare waterloop weergegeven. De effecten zijn het grootst dichtbij de beheersbare waterloop en nemen bij toenemende afstand snel af. De grondwaterstand reageert aanvankelijk snel, daarna zijn de veranderingen gering. Bij hydrotype 12 blijft de grondwaterstand na de ingreep aanzienlijk langer stijgen (fig. 23).

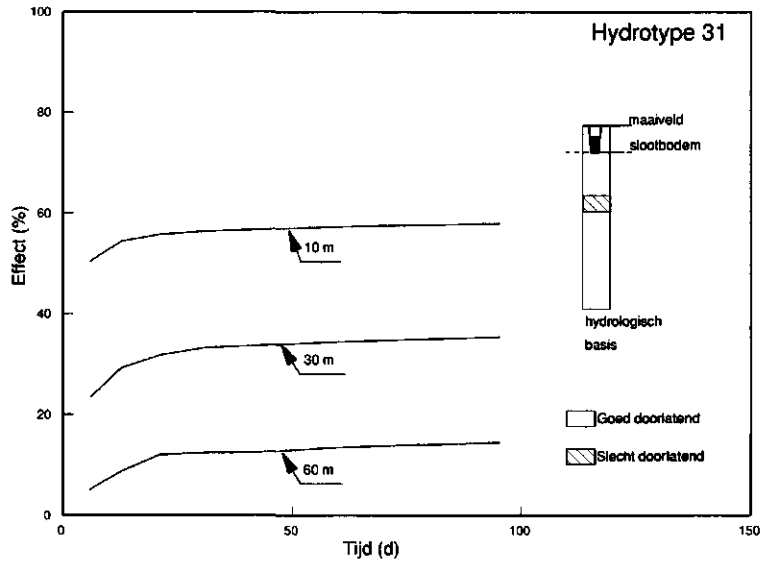


Fig. 27 Procentueel effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand, op 10, 30 en 60 m afstand van de beheersbare waterloop tijdens een periode zonder neerslagoverschot

De gevoeligheid voor variatie in de parameters van hydrogeologie en oppervlakte-waterstelsel is onderzocht door middel van berekeningen, waarbij telkens één parameter in waarde is gevarieerd. Deze variatie betreft een halvering of een verdubbeling van de referentiewaarden (=de gemiddelde waarden waarmee de berekeningen tot nu toe werden verricht). Er werden berekeningen uitgevoerd voor 17 scenario's. De effecten op de grondwaterstand zijn berekend op afstanden van 10, 30 en 60 m tot de beheersbare waterloop, 31 dagen na het stopzetten van de effectieve neerslag. De resultaten zijn ondergebracht in tabel 8.

Bij hydrotype 31 heeft de slootafstand (scenario 1, 2 en 3) een betrekkelijk geringe invloed op het effect in de directe omgeving van de beheersbare waterloop. Het effect op 60 m afstand bij scenario 2 wordt waarschijnlijk sterk beïnvloed door de nabij gelegen waterloop (slootafstand 67 m). Het grootste effect heeft verhoging van de  $kD_1$ -waarde, door een hogere  $k_{1h}$  of  $D_1$  (tabel 8, scenario's 9 en 7; fig. 28), en een hogere  $c$ -waarde.

Tabel 8 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm, na 31 dagen en op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, voor 17 verschillende combinaties van parameterwaarden (hydrotype 31)

nr.	para- meter	Grondwaterstand in m - mv. op afstand						Effect van conservering in m		
		geen peilverhoging			peilverhoging 0,5 m					
		10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m
1	-	1,22	1,06	0,93	0,94	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
2	$L = 67^6$	1,25	1,13	1,01	0,98	0,97	0,99	0,27	0,16	0,02
3	$L = 194$	1,08	0,87	0,65	0,80	0,70	0,59	0,28	0,17	0,06
4	$c_b = 0,25$	1,23	1,08	0,95	0,95	0,91	0,89	0,28	0,17	0,06
5	$c_b = 1,0$	1,20	1,04	0,91	0,92	0,88	0,84	0,28	0,16	0,07
6	$D_l = 1,4$	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,58	0,01	0,01	0,00
7	$D_l = 5,6$	1,32	1,22	1,08	0,98	0,97	0,96	0,34	0,25	0,12
8	$k_{1h} = 0,9$	1,08	0,90	0,78	0,86	0,79	0,74	0,22	0,11	0,04
9	$k_{1h} = 3,4$	1,30	1,18	1,05	0,98	0,96	0,95	0,32	0,22	0,10
10	$k_{1v} = 0,9$	1,21	1,06	0,93	0,93	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
11	$k_{1v} = 3,4$	1,22	1,07	0,94	0,94	0,90	0,88	0,28	0,17	0,06
12	$k_{3h} = 8$	1,22	1,07	0,94	0,94	0,90	0,88	0,28	0,17	0,06
13	$k_{3h} = 32$	1,22	1,06	0,93	0,94	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
14	$c = 91$	1,18	1,03	0,94	0,94	0,91	0,90	0,24	0,12	0,04
15	$c = 364$	1,27	1,12	0,96	0,94	0,91	0,88	0,33	0,21	0,08
16	$\mu = 0,02$	1,23	1,08	0,95	0,94	0,91	0,89	0,29	0,17	0,06
17	$\mu = 0,07$	1,21	1,04	0,91	0,93	0,89	0,85	0,28	0,15	0,06

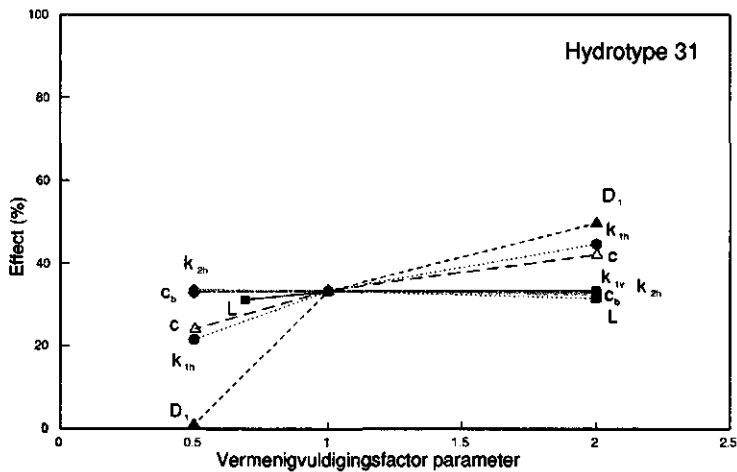


Fig. 28 Gevoeligheid van het (procentueel) effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand op 30 m afstand van de beheersbare waterloop, voor verdubbeling en halvering van de waarden van parameters  $L$ ,  $c_b$ ,  $D_l$ ,  $k_{1h}$ ,  $k_{1v}$ ,  $k_{2h}$ ,  $c$  en  $\mu$ , 31 dagen na het opzetten van het stuwpeil

<sup>6</sup> Er is niet gerekend met  $0,5 \cdot L$  (49 m) maar met  $L$  bij 75% overschrijdingskans (67 m)



Bij een hogere  $kD$ -waarde wordt de horizontale weerstand en daarmee de drainageweerstand kleiner. Bij een geringere drainageweerstand zakt de grondwaterstand dieper uit in de situatie dat de oppervlaktewaterstand niet wordt verhoogd. Dit heeft als resultaat dat het effect ten gevolge van het opzetten van de oppervlaktewaterstand groter wordt.

### 5.2.3 Effecten bij hydrotype 32

In het centrale deel van Zuid-Holland komen overwegend twee hydrotypen voor, namelijk 32 en 62. Hydrotype 32, representatief voor het veenweidegebied, komt overeen met de gebieden met Hollandveen boven afzettingen van Calais/Gorkum, terwijl bij hydrotype 62 bovenop het Hollandveen afzettingen van Duinkerke voorkomen. De dikte van de holocene afzettingen varieert van 10 tot 25 m. Deze afzettingen worden, aan de hand van een 'representatieve boring', opgesplitst in twee (hydrotype 32), of drie lagen (hydrotype 62). Beide hydrotypen worden gekenmerkt door een geringe slootafstand. In grote delen van het holocene gebied, waaronder het veenweidegebied, is door de vlakke maaiveldsligging en de beschikbaarheid van voldoende oppervlaktewater, in ruime mate wateraanvoer mogelijk.

Van de gridcellen met hydrotype 32 en 62, gelegen binnen een gebied dat in het oosten wordt begrensd door x-coördinaat 120 000 en in het zuiden door y-coördinaat 440 000, zijn in tabel 9 enkele gegevens over de waterlopen samengevat. Bij de bepaling van de slootafstand is uitgegaan van de totale slootlengte. Dit totaal is vervolgens opgesplitst naar rato van de verhouding tussen de slootlengte voor de klasse met breedte  $< 3$  m en  $> 3$  m (gecorrigeerde slootafstand).

Tabel 9 Slootlengten voor hydrotype 32 en 62 in een gebied in het oosten begrensd door de coördinaat 120 000 en in het zuiden door de coördinaat 440 000

Hydrotype	Lengte waterlopen in m (mediaanwaarde)			Gecorrigeerde slootafstand		
	$< 3$ m	$> 3$ m	totaal	$< 3$ m	$> 3$ m	totaal
32	7518	6477	15699	119	138	63
62	8551	4654	14168	108	204	70

De effecten op de grondwaterstand zijn door middel van modelberekeningen onderzocht. Het betreft 2864 gridcellen van  $1 \text{ km}^2$ , oftewel 286400 ha, met de volgende kenmerken:

De deklaag:  $k_{1h} = 1,0 \text{ m/d}$ ;  $k_{1v} = 1,0 \text{ m/d}$  en  $D_1 = 2,75 \text{ m}$  ( $d_2$ ).

De weerstandbiedende laag:  $c = 2800 \text{ d}$  en  $d = 2,81 \text{ m}$  ( $d_3$ ).

Het watervoerend pakket:  $kD = 1250 \text{ m}^2/\text{d}$ , waarbij  $D = 98 \text{ m}$  ( $d_4$ ).

De gemiddelde waarden van de parameters van het oppervlaktewaterstelsel zijn:

$L = 67 \text{ m}$

$L_{\text{breedte}<3\text{m}} = 134 \text{ m}$

$L_{\text{breedte}\geq 3\text{m}} = 134 \text{ m}$

Voorts:

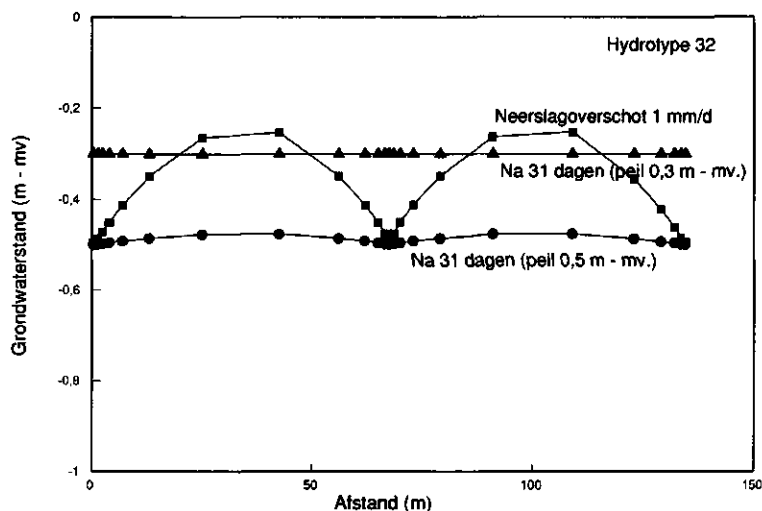
$c_b = 0,5 \text{ d}$  (aangenomen waarde).

$\mu = 0,04$ .

Alle waterlopen zijn beheersbaar; het peil kan dus volledig worden gehandhaafd. Er worden twee categorieën waterlopen onderscheiden:

- *Categorie 1*: waterlopen met een bodemdpte van 2,0 m - mv en een waterstand van 0,5 m - mv.;
- *Categorie 2*: waterlopen met een bodemdpte van 1,2 m - mv en een waterstand van 0,5 m - mv..

Het berekende effect is gebaseerd op een peilverhoging van 20 cm, namelijk van 0,5 m tot 0,3 m beneden het maaiveld, in waterlopen uit zowel categorie 1 als 2.



*Fig. 29 Grondwaterstand in dwarsraai bij aanvang berekening en na een 31 daagse periode zonder neerslagoverschot (0 mm/d) bij wel en niet verhogen van de oppervlaktewaterstand*

In figuur 29 is het verloop van de grondwaterstand in een verticale doorsnede weergegeven bij een neerslagoverschot van 1 mm/d (initiële grondwaterstand; gebogen lijnen) en de situatie na 31 dagen, voor twee gevallen:

- oppervlaktewaterstanden van 0,5 m - mv.;
- alle peilen worden gehandhaafd op 0,3 m - mv.

Uit figuur 29 blijkt dat het effect praktisch overal even groot is. In figuur 30 is het effect van de peilverhoging op de verhoging van de grondwaterstand uitgezet tegen de tijd, en wel op 10 en 30 m afstand van een waterloop, behorende tot categorie 1.

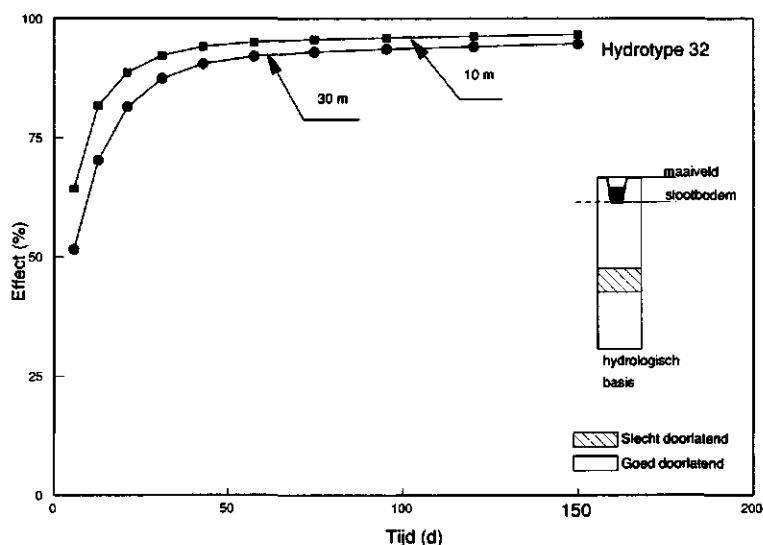


Fig. 30 Procentueel effect van een peilverhoging van 20 cm op de grondwaterstand, op 10 en 30 m afstand van een waterloop van categorie 1 tijdens een periode zonder neerslagoverschot

Het effect van de peilverhoging op 10 respectievelijk 30 m bedraagt 18 en 17 cm; dit komt bij een peilverhoging van 0,2 m overeen met een effect van 90 respectievelijk 85 %. Dit effect is veel groter dan bij de voorgaande hydrotypen en is te verklaren uit het feit dat alle waterlopen beheersbaar zijn. Bij hydrotypen 12 en 31 vallen de niet-beheersbare waterlopen bij een dalende grondwaterstand uiteindelijk droog, terwijl bij hydrotype 32 het peil in alle waterlopen gehandhaafd blijft.

De doorlatendheid van het veen is in deze berekening op 1 m/d gesteld. Uit de berekeningen, in combinatie met de informatie in tabel 8 kan worden afgeleid dat het effect bij slechtere doorlatendheden wellicht afneemt.

In veenweidegebieden is geconstateerd dat grondwaterstanden na slootpeilverlaging minder sterk dalen dan de peilverlaging zelf; gemiddeld zo'n 60%. Wind (1985) geeft als belangrijkste verklaring de beïnvloeding van de oppervlakkige afvoer. Bij diepere ontwatering is het neerslagoverschot dat door de ondergrond moet worden afgevoerd groter en daardoor is een hogere opbolling vereist dan bij diepe ontwatering. Dit verschijnsel doet zich het sterkst voor bij verlaging van ondiepe peilen. Verlaging van reeds diepe peilen leidt tot een vrijwel gelijke grondwaterstands daling.

### 5.3 Afvoergolf

Naast een peilverhoging, waarbij het oppervlaktewaterpeil voor langere tijd wordt opgezet, is het effect van een kortdurende afvoergolf doorgerekend. Deze golf is gesimuleerd als een peilverhoging van 0,5 m gedurende één dag. De kans op het optreden van een afvoergolf in het oppervlaktewater is het grootst in de winterperiode. In deze situatie is de bergingscoëfficiënt meestal kleiner dan in situaties

waarbij de waterbeheerder door middel van peilverhoging grondwater wil conserveren, omdat het profiel natter is (winterperiode resp. voorjaar). In de berekeningen is daarom uitgegaan van een kleinere bergingscoëfficiënt; verder is een grondwateraanvulling van 2 mm/d aangenomen. Alle waterlopen zijn als watervoerend gemodelleerd met een vast peil, en de afvoergolf loopt door de beheersbare waterloop.

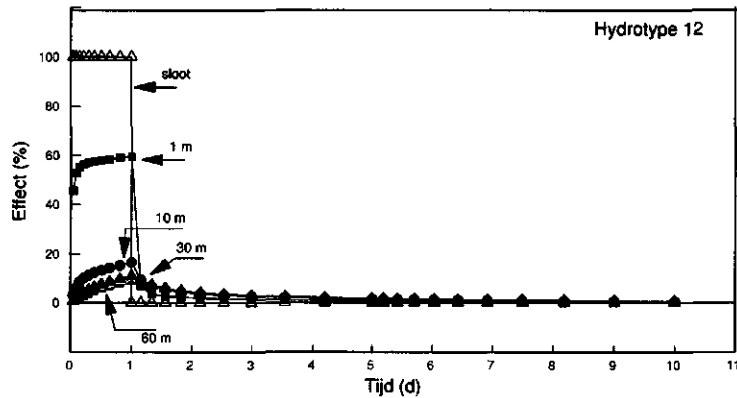


Fig. 31 Effect op de grondwaterstand van een peilverhoging van 0,5 m gedurende één dag, op verschillende afstanden van de beheersbare waterloop

Uit figuur 31 blijkt dat een kortdurende afvoergolf bij hydrotype 12 slechts een gering effect heeft op de grondwaterstand. Het effect is het grootst dichtbij de beheersbare waterloop; bij toenemende afstand is het effect al snel verwaarloosbaar klein. Eenzelfde berekening, uitgevoerd voor hydrotype 31, geeft een vergelijkbaar beeld.

Uit deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat het effect van een kortdurende afvoergolf (één dag) op de grondwaterstand gering is. Dit zou voor de beheerder reden kunnen zijn om in geval van een kortdurende afvoergolf niet te snel het waterpeil te verlagen.

De bergingscoëfficiënt is afhankelijk van de grondwaterstand en de grootte en richting van de flux door het bovenste gedeelte van het profiel (percolatie of capillaire nalevering). Het gebruikte model, Modflow, heeft niet de mogelijkheid om een bergingsrelatie op te geven (bijv. de bergingscoëfficiënt koppelen aan de grondwaterstand). Dit is een nadeel. Tijdens peilverhogingen wordt met grotere bergingscoëfficiënten gerekend (relatief drogere situatie) dan tijdens afvoergolven. In de praktijk zal de bergingscoëfficiënt echter voortdurend andere waarden aannemen ten gevolge van veranderingen in de flux door het profiel, en de grondwaterstand.

## 6 Extrapolatie naar andere hydrotypen, inclusief het holoceen

In hoofdstuk 5 worden, voor hydrotypen 12, 31 en 32, gesimuleerde effecten op grondwaterstanden gepresenteerd, die veroorzaakt worden door veranderingen van waterstanden in open leidingen. De rekenresultaten zijn verwerkt in staalkaarten.

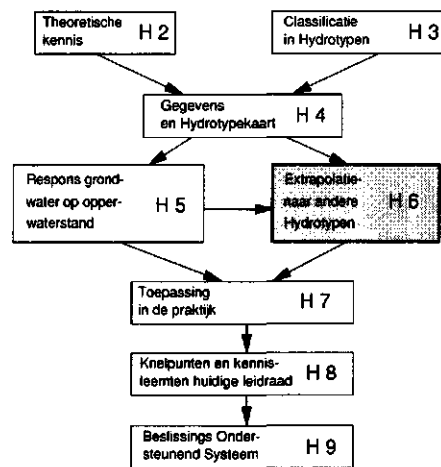
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van hydrotypen 12 en 31 nader uitgewerkt tot regressievergelijkingen.

Zulke vergelijkingen kunnen worden gebruikt om binnen *eenzelfde* hydrotype de respons van de grondwaterstand te schatten op basis van *lokale* parameterwaarden, die afwijken van de voor het betreffende hydrotype berekende *gemiddelde* waarden. Een en ander overigens voor zover deze parameters binnen het beschouwde traject vallen: parameterwaarden mogen niet meer afwijken dan 50 tot 200% van het gemiddelde.

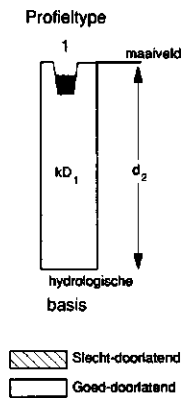
Vervolgens wordt de respons van het grondwater in de overige hydrotypen (met uitzondering van hydrotypen 61 t/m 64 en 70) geschat door middel van additionele berekeningen met enigszins aangepaste versies van de Modflow-modellen van hydrotypen 12 en 31. Deze aanpassingen betreffen alleen de geohydrologische parameters  $kD$  en  $c$ . De indicatieve resultaten zijn verwerkt in provisorische staalkaarten.

De staalkaarten van hydrotypen 12, 31 en 32 zijn het meest betrouwbaar, omdat de gepresenteerde respons gebaseerd is op berekeningen, uitgevoerd met speciaal ontwikkelde versies van Modflow-modellen. De overige staalkaarten, die uit aangepaste versies van genoemde modellen zijn afgeleid, bevatten voorsnog minder betrouwbare informatie.

Voor hydrotype 61 t/m 64 en 70 zijn geen berekeningen uitgevoerd. Het betreft meestal gedraineerde gebieden met een dik en slechtdoorlatend afdekkend pakket. Over de (aanwezigheid van) drainage is weinig tot niets bekend, waardoor eventuele berekeningen in grote mate op onzekere aannames gebaseerd zouden zijn.



## 6.1 Profieltype 1



### *Hydrotype 11*

In hydrotype 11 ontbreken fijnzandige afzettingen aan de top van het watervoerend pakket; de waterlopen liggen met hun natte omtrek in grove afzettingen. Voor dit hydrotype is een berekening uitgevoerd waarbij de parameters van het standaardprofiel van hydrotype 12 zijn gebruikt. Een uitzondering is gemaakt voor de doorlatendheden ( $k_{1h}, k_{1v}$ ) van de fijnzandige afzettingen van hydrotype 12; deze zijn gelijk gesteld aan die van het watervoerend pakket van hydrotype 11.

Het effect van een peilverhoging op de grondwaterstand is bij hydrotype 11 groter dan bij hydrotype 12. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de grondwaterstand in de referentiesituatie, zonder peilverhoging in de beheersbare waterlopen, bij hydrotype 11 dieper staat dan bij 12: gemiddeld ca. 1,32 resp. 1,15 m beneden het maaiveld (tabel 7). Dit kan worden verklaard door de geringere radiale stromingsweerstand bij hydrotype 11. Na peilverhoging stijgt de grondwaterstand bij beide hydrotypen tot ca. 0,99 m beneden het maaiveld. Het netto effect is bij hydrotype 11 daarmee tweemaal zo groot als bij 12 (32 resp. 16 cm), en is nagenoeg onafhankelijk van de afstand tot de beheersbare waterloop. Door het dieper uitzakken van de grondwaterstand is het effect van peilverhoging groter. De conclusie is dat het ontbreken van fijnzandige afzettingen aan de top van het watervoerend pakket leidt tot een sterker effect van verhoging van de stand van het oppervlaktewater. Een vergelijkbaar effect is te verwachten wanneer de doorlatendheid van deze afzettingen toeneemt (fig. 24).

### *Hydrotype 12*

De effecten van een peilverhoging in hydrotype 12 zijn beschreven in hoofdstuk 5 (tabel 7). In figuur 24 is te zien hoe het effect van een peilverhoging wordt beïnvloed door variatie van steeds één parameterwaarde. Bij toepassing van deze methode mogen de overige parameterwaarden overigens niet veranderen.

Bovenstaande extrapolatiemethode is weliswaar bruikbaar, maar vrij star. In de praktijk is men meer gebaat bij een flexibeler methode met behulp waarvan effecten

van peilverhogingen kunnen worden geschat indien *meerdere* parameters van de 'standaardwaarde' afwijken. Onderzocht is daarom of het effect van een peilverhoging accuraat beschreven kan worden als een lineaire combinatie van effecten van een beperkt aantal parameters (lineair regressiemodel). De regressieanalyse is gebaseerd op 15 scenarioberekeningen (tabel 7). Naast het effect op de grondwaterstand op afstanden van 10, 30 en 60 m uit de beheersbare waterloop is de regressieanalyse tevens uitgevoerd op de drainageweerstand ( $W_d$ ). De uiteindelijke relatie (het 'regressiemodel') moet voldoen aan de volgende eisen (Oude Voshaar, 1994):

- het model moet alle variabelen (parameters) bevatten die significant bijdragen aan de voorspelling;
- het aantal predictoren (parameters) moet zo klein mogelijk zijn.

Bij de bepaling van de vier lineaire regressiemodellen zijn de volgende parameters als predictoren gebruikt:

- de gemiddelde slootafstand  $L$  (m);
- de dikte van het afdekkend pakket,  $D_f$  (m);
- de horizontale doorlatendheid van het afdekkend pakket,  $k_{fh}$  (m/d);
- de verticale doorlatendheid van het afdekkend pakket,  $k_{fv}$  (m/d);
- de stromingsweerstand van de weerstandbiedende laag,  $c$  (d);
- de horizontale doorlatendheid van het watervoerend pakket,  $k_2$  (m/d);
- de intreeweerstand van de slootbodems,  $c_b$  (d);
- de bergingscoëfficiënt,  $\mu$  (-).

Op basis van de verwachting dat de gemiddelde slootafstand  $L$  een belangrijke parameter is, is  $L^2$  eveneens als voorspeller aan het model toegevoegd. De analytische drainagetheorie (formule van Ernst) leert immers dat het verloop van de grondwaterspiegel in betrekkelijk ondiepe profielen, waar de horizontale component van de grondwaterstroming door het topsysteem overheerst, evenredig is met  $L^2$ .

Tabel 10 Significante predictoren van lineaire regressiemodellen voor de drainageweerstand,  $W_d$ , en het effect na 31 dagen op de grondwaterstand, op 10, 30 en 60 m uit de beheersbare waterloop voor hydrotype 12

	Constante	$L$	$L^2$	$c_b$	$k_{fh}$	$k_{fv}$	$D_f$	$k_2$	$W_d$
Drainageweerstand	x	x	-	x	x	x	x	-	-
Effect op 10 m	x	x	x	-	x	-	-	x	x
Effect op 30 m	x	x	x	x	-	-	-	x	x
Effect op 60 m	x	x	x	x	-	-	-	x	x

In tabel 10 zijn de predictoren gegeven die significant bijdragen aan de voorspelling van de drainageweerstand en/of het effect op 10, 30 en 60 m afstand tot de beheersbare waterloop. Alle waarden voor  $R^2_{adj}$  zijn groter dan 78. Uit deze tabel kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- 1 De *drainageweerstand*  $W_d$  kan voorspeld worden uit de slootafstand  $L$ , de intreeweerstand van slootbodems  $c_b$  en eigenschappen van het 'topstelsel' als de dikte ( $D_f$ ) en de doorlatendheden ( $k_{fh}$  en  $k_{fv}$ ) van de fijnzandige lagen aan het maaiveld.
- 2 Het *effect op 10 m* wordt bepaald door de slootafstand, de doorlatendheid van zowel de fijnzandige afzettingen als de goed-doorlatende lagen daaronder, en de drainageweerstand.

- 3 Het *effect op 30 m* wordt evenals het *effect op 60 m* door dezelfde parameters bepaald als die op 10 m afstand. De horizontale doorlatendheid speelt op deze grotere afstanden tot de beheersbare waterloop echter geen rol van betekenis; de intreeweerstand daarentegen juist wel.

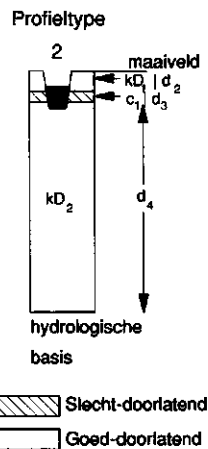
Uit de afgeleide regressiemodellen blijkt dat de predictoren  $L$ ,  $L^2$ ,  $k_2$  (doorlaatfactor watervoerend pakket) en de drainageweerstand significant bijdragen aan de voorspelling van het effect van een peilverhoging. Daarnaast is er nog een vijfde significante parameter, namelijk de horizontale doorlatendheid  $k_{1h}$  in het model voor 10 m afstand, en de intreeweerstand  $c_b$  in de andere twee modellen.

De regressiemodellen kunnen voor hydrotype 12 worden gebruikt om effecten van een peilverhoging van 0,5 m op grondwaterstanden te voorspellen, althans voor zover de parameterwaarden binnen realistische grenzen worden gevarieerd.

### Hydrotype 13

Hydrotype 13 wordt gekenmerkt door een dun watervoerend pakket. Het effect van een peilverhoging is dichtbij de waterloop aanzienlijk, en groter dan bij hydrotype 11, maar neemt bij toenemende afstand tot de waterloop sneller af. Hydrotype 13 heeft een lagere radiale weerstand dan hydrotype 12 omdat de waterlopen bijna volledig in het watervoerend pakket insnijden, waardoor de grondwaterstroming grotendeels in horizontale richting verloopt. Door de betrekkelijk lage  $kD$ -waarde is de horizontale stromingsweerstand echter groter dan bij hydrotype 12; hierdoor neemt het effect van peilverhoging met toenemende afstand tot de beheersbare waterloop snel af.

## 6.2 Profieltype 2



### Hydrotype 21 t/m 24

Bij hydrotypen 21 t/m 24 liggen de bodems van de *beheersbare* waterlopen altijd beneden de ondergrens van de weerstandbiedende laag. Voor deze hydrotypen zijn twee alternatieven doorgerekend; zij verschillen in de diepteligging van de bodems



van de *niet-beheersbare* waterlopen ten opzichte van de onderkant van de weerstandbiedende laag. Deze alternatieven worden hieronder beschreven.

- 1 De bodems van de niet-beheersbare waterlopen liggen *boven* de weerstandbiedende laag. Voor de berekeningen is het model van hydrotype 31 als uitgangspunt gebruikt. Dit model is gebruikt omdat het een goede mogelijkheid biedt voor vergelijking met een situatie waarbij de weerstandbiedende laag niet wordt doorsneden. Bovendien waren slechts geringe modelaanpassingen noodzakelijk; deze betreffen onder meer:
  - Het tweede watervoerend pakket is naar boven toe ‘uitgebreid’ door de hydraulische doorlatendheid van de aanwezige formaties vanaf een diepte van 1,5 m beneden het maaiveld gelijk te stellen aan die van het tweede watervoerend pakket.
  - Tussen 1,2 en 1,5 m beneden het maaiveld is een weerstandbiedende laag met een  $c$ -waarde van 10 d gesitueerd (fig. 32).

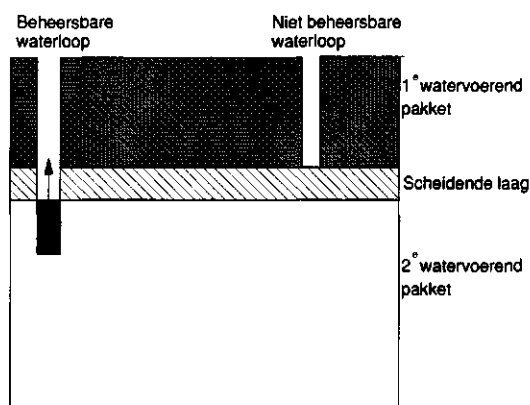


Fig. 32 Hydrotype 21 t/m 24 met weerstandbiedende laag onder de bodem van de niet-beheersbare waterloop

Bij deze eerste slootconfiguratie varieert het effect van de peilverhoging, 31 dagen na het instellen van de peilverhoging, op afstanden van 10 tot 60 m uit de beheersbare waterloop, van 0,22 tot 0,19 m. Het grondwater staat daarmee ca. 4 cm hoger dan bij hydrotype 12, en resultaten liggen tussen die van hydrotype 11 en 12 in. Een vergelijking is overigens niet goed mogelijk omdat gebruik werd gemaakt van verschillende modellen; er is onder meer sprake van verschillen in slootafstanden en  $kD$ -waarden).

- 2 De bodems van de niet-beheersbare waterlopen liggen *beneden* de weerstandbiedende laag (fig. 33). Bij de berekeningen is eveneens het model van hydrotype 31 gebruikt, waarbij het tweede watervoerend pakket qua dikte is uitgebreid. Tussen 0,9 en 1,2 m beneden het maaiveld is een weerstandbiedende laag gesitueerd met een  $c$ -waarde van 10 d.

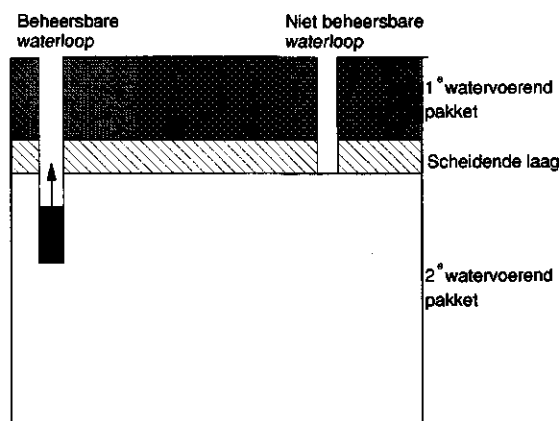


Fig. 33 Hydrotipe 21 t/m 24 met weerstandbiedende laag boven de bodem van de niet-beheersbare waterloop

Bij deze tweede slootconfiguratie varieert het effect van de peilverhoging, 31 dagen na het instellen van de peilverhoging, op afstanden van 10 tot 60 m uit de beheersbare waterloop, van verhogingen van 0,17 tot 0,13 m. De effecten zijn minder groot dan bij hydrotipe 12.

In beide gevallen zijn de effecten op de grondwaterstand gebaseerd op stijghoogten van het grondwater die werden berekend aan de bovenzijde van het tweede watervoerend pakket. In principe hadden stijghoogten die op ondieper gelegen plaatsen worden berekend - boven de weerstandbiedende laag - de voorkeur. De fluctuatie van de grondwaterspiegel bleek in sommige gevallen echter dermate groot dat deze plaatsen incidenteel droogvielen.

De besproken configuraties verschillen wegens:

- uiteenlopende  $kD$ -waarden van het bovenste watervoerend pakket. Deze zijn het gevolg van de verschillen in diepte waar de scheidende laag zich in het bodemprofiel bevindt;
- de mate waarin de scheidende laag door waterlopen is 'geperforeerd' (fig. 32 en 33).

In de *eerste configuratie* stijgt de waterstand in de beheersbare waterloop tot boven de weerstandbiedende laag. De bodems van de niet-beheersbare waterlopen liggen *boven* de weerstandbiedende laag; de uitwisseling zal dus grotendeels via het eerste watervoerend pakket plaatsvinden.

In de *tweede configuratie* reikt het oppervlaktewater hoogstens tot in de weerstandbiedende laag. Uitwisseling tussen oppervlaktewater en grondwater is daarom alleen mogelijk via het tweede watervoerend pakket. Hierbij moet altijd de weerstandbiedende laag (verticale stroming) worden 'gepasseerd'. Deze obstructie resulteert in een afgezwakt effect op peilverhogingen. Overigens daalt de grondwaterstand in de tweede configuratie tot in de weerstandbiedende laag.

De invloed van de configuratie op de berekende effecten wordt in figuur 34 geïllustreerd. De opmerkelijke gevoeligheid van de berekende effecten voor de

geohydrologische informatie duidt erop dat de beschikbaarheid van betrouwbare gegevens - op de juiste schaal - met betrekking tot de geohydrologie en de infrastructuur van het oppervlaktewater bij dit soort berekeningen van doorslaggevend belang is.

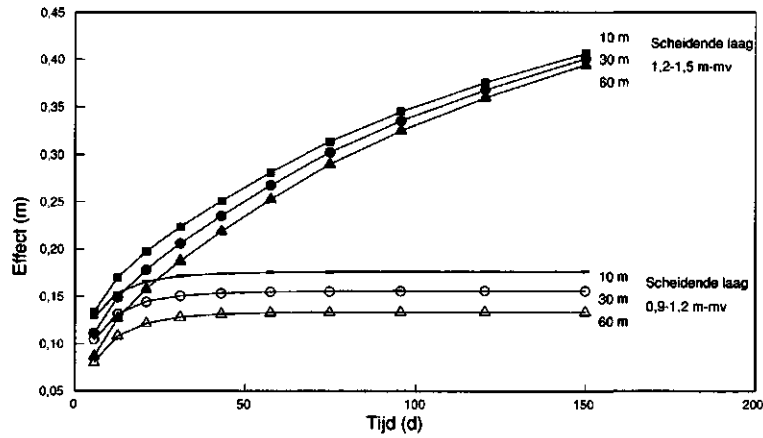
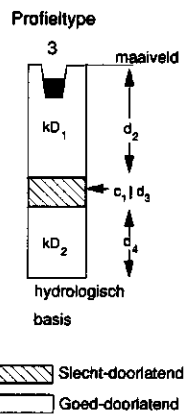


Fig. 34 Effect van perforatie van de c-laag door niet-beheersbare waterlopen op de grondwaterstand bij een peilverhoging 0,5 m voor hydrotype 21-24

### 6.3 Profieltype 3



### Hydrotipe 31

Voor hydrotipe 31 zijn 17 scenario's doorgerekend (tabel 8). Evenals bij hydrotipe 12, zijn uit de rekenresultaten lineaire regressiemodellen afgeleid. Aan de bestaande parameterset zijn drie parameters toegevoegd, namelijk  $L^2$ , de drainageweerstand  $W_d$  en de spreidingslengte  $\lambda$ .

Tabel 11 Significante predictoren van lineaire regressiemodellen voor de drainageweerstand en het effect op de grondwaterstand na 31 dagen op 10, 30 en 60 m uit de beheersbare waterloop voor hydrotipe 31

	Constante	$L$	$L^2$	$c_b$	$D_1$	$k_{1h}$	$k_{1z}$	$c$	$\mu$	$W_d$	$\lambda$
Drainageweerstand	x	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-
Effect op 10 m	x	x	-	x	x	x	-	x	-	-	x
Effect op 30 m	x	x	-	-	x	x	-	x	x	-	x
Effect op 60 m	x	x	-	x	x	-	x	x	-	-	x

In tabel 11 zijn de significante predictoren van de lineaire regressiemodellen opgenomen. Alle waarden voor  $R^2_{adj}$  zijn groter dan 93.

De spreidingslengte, ook wel  $\lambda$ -waarde of karakteristieke lengte genaamd, is een eenvoudig te berekenen parameter die bepaalt tot hoever effecten van ingrepen in de hydrologie (zoals peilverhogingen) in een perceel doordringen (Mazure, 1936). De wortel van de spreidingslengte is evenredig met:

- de transmissiviteit van een watervoerend pakket,  $kD$ ; bij hogere  $kD$ -waarden kunnen effecten zich in horizontale richting gemakkelijker uitbreiden;
- de stromingsweerstand  $c$  van een of meerdere aangrenzende weerstandbiedende lagen; hoe hoger deze weerstanden, desto kleiner zijn de lekverliezen vanuit het watervoerende pakket, waardoor er meer stijghoogte 'overblijft' voor uitbreiding van de effecten.

Om het begrip spreidingslengte te verduidelijken is in figuur 35, ter illustratie, het relatieve effect op de grondwaterstand bij een kanaalpeilverhoging gegeven voor drie waarden van de spreidingslengte. Het betreft fictieve gegevens.

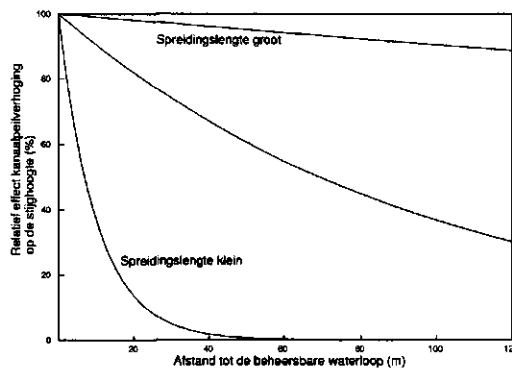


Fig. 35 Procentuele verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een kanaalpeilverhoging in relatie tot de grootte van de spreidingslengte  $\lambda$

Het relatieve effect is hierbij uitgedrukt als een procentuele verhoging van de grondwaterstand. Dit effect is steeds bepaald op afstanden van 10, 30 en 60 m van

de beheersbare waterloop. Als de spreidingslengte een grote waarde heeft, zijn deze afstanden ten opzichte van de spreidingslengte betrekkelijk klein. Uit de figuur blijkt dat het effect op de grondwaterstand zich bij een grote spreidingslengte over een relatief grote afstand uitbreidt; bij kleinere spreidingslengtes is het effect kleiner. De spreidingslengte is dus indicatief voor de mate waarin peilverhogingen in een waterloop doorwerken in aangrenzende gebieden.

De *drainageweerstand* is te voorspellen uit de slootafstand en eigenschappen van het eerste watervoerend pakket, namelijk de horizontale doorlatendheid en de dikte.

Het *effect op 10 m* vanaf de beheersbare waterloop is te voorspellen uit zes parameters:

- de slootafstand,  $L$ ;
- de intree weerstand,  $c_b$ ;
- de horizontale doorlatendheid  $k_{1h}$ ;
- de dikte van het eerste watervoerend pakket,  $D_1$ ;
- de weerstand van de scheidende laag,  $c$ ;
- de spreidingslengte  $\lambda$ .

Het *effect op 30 m* is eveneens te voorspellen door zes parameters. Vijf parameters zijn hetzelfde. Parameter  $c_b$  is echter vervangen door de bergingscoëfficiënt  $\mu$ .

Het *effect op 60 m* is eveneens te voorspellen door zes parameters. Vijf parameters zijn hetzelfde als bij het afgeleide model voor de bepaling van het effect op 10 m. Parameter  $k_{1h}$  is echter vervangen door de parameter  $k_{1z}$ .

In alle modellen waarmee het effect van een peilverhoging kan worden voorspeld komen de parameters  $L$ ,  $D_1$ ,  $c$  en  $\lambda$  voor. In twee modellen komt de parameter  $c_b$  en  $k_{1h}$  voor. De parameters  $\mu$  en  $k_{1z}$  komen slechts eenmaal voor.

### **Hydrotype 32**

Hydrotype 32 onderscheidt zich van hydrotype 31 door een hogere stromingsweerstand ( $c$ -waarde) van de eerste weerstandbiedende laag, namelijk  $c > 500$  d tegen  $c < 500$  d voor hydrotype 31. In hydrotype 32 zijn, wat het stelsel van waterlopen betreft, twee situaties te onderscheiden, nl:

- het stelsel van waterlopen bestaat uit beheersbare en niet beheersbare waterlopen;
- alle waterlopen zijn beheersbaar.

Als het waterlopenstelsel kan worden opgesplitst in beheersbare-, en niet-beheersbare waterlopen, leidt een verdubbeling van de  $c$ -waarde in hydrotype 31 (i.c. van 182 naar 364 d) tot een groter effect op de grondwaterstand ten gevolge van peilverhoging. Dit alternatief voldoet echter nog niet aan de classificatie voor hydrotype 32 (i.c.  $c > 500$  d), en dit resultaat mag daarom niet worden gebruikt.

In tabel 12 zijn resultaten gegeven van enkele aanvullende berekeningen, die zijn uitgevoerd met Modflow-modellen. Hierbij is de invloed van verschillende waarden van  $kD$  en  $c$  op het berekende effect op de grondwaterstand bepaald. Het blijkt dat dit effect voor een alternatief dat wel aan de classificatie voldoet (i.c.  $c > 500$  d),

groter is dan het effect bij verdubbeling van de  $c$ -waarde. Ook een hogere  $kD$ -waarde van het eerste watervoerend pakket geeft een groter effect te zien. Dit kan worden verklaard door de toename van de spreidingslengte; zie ook de regressiemodellen van hydrotype 31. Zowel bij een hogere  $c$ -waarde als bij een hogere  $kD$ -waarde neemt de spreidingslengte toe, en daarmee het invloedsgebied.

*Tabel 12 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, bij verschillende  $c$ -waarden van de weerstandbiedende laag, en verschillende  $kD$ -waarden van het freatisch watervoerend pakket, en berekend met een aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31*

Scheidende laag $c$ -waarde (d)	Freatisch pakket $kD$ -waarde ( $m^2/d$ )	Effect van conservering in m				Hydrotype
		10 m	30 m	60 m	144 m	
182	4,6	0,28	0,16	0,06	0,01	31
362	4,6	0,33	0,21	0,08		31
562	9,2	0,38	0,29	0,15	0,01	32
2810	9,2	0,41	0,34	0,22	0,02	32
562	18,4	0,40	0,33	0,22	0,02	34
2810	18,4	0,44	0,39	0,30	0,10	34

In de situatie dat alle waterlopen beheersbaar zijn, is het effect van een peilverhoging aanzienlijk groter; namelijk tot 85% (paragraaf 5.2.3).

### **Hydrotype 33**

Hydrotype 33 wijkt van hydrotype 31 af door een hogere  $kD$ -waarde. Een hogere  $kD$ -waarde heeft een aanzienlijk effect omdat de grondwaterstand vóór de peilverhoging - de referentiesituatie - dieper staat. Dit is te verklaren door een afname van de horizontale weerstand, en dus van de drainageweerstand. Omdat het grondwater in de referentiesituatie dieper staat, is het effect bij peilverhoging wellicht groter. Zeker is dat overigens niet, want ook na de peilverhoging is de drainageweerstand verlaagd. Voor dit hydrotype zijn met het regressiemodel geen additionele berekeningen uitgevoerd.

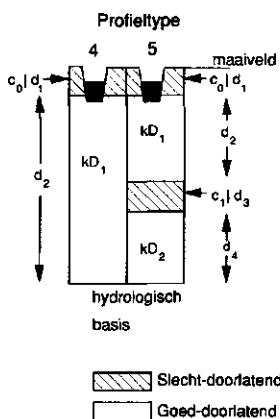
### **Hydrotype 34**

Hydrotype 34 verschilt van hydrotype 31 door hogere  $kD$ - en  $c$ -waarden ( $c > 500$  d;  $kD > 10$   $m^2/d$ ). De effecten van zowel een hogere  $kD$ - als  $c$ -waarde versterken elkaar; ze dragen beiden bij aan een toename van de spreidingslengte.

Bij verhoging van de  $c$ -waarde kan hydrotype 34 uiteindelijk 'overgaan' in hydrotype 11 of 13. Met een aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 12 kon daarom een berekening worden uitgevoerd om de respons van het grondwater in hydrotype 34 te schatten. Het diepe watervoerend pakket in genoemd model werd vervangen door een hoge  $c$ -waarde, en de overige parameters zijn  $k = 1,5$  m/d;  $D = 7,5$  m ( $kD = 11,25$   $m^2/d$ ) en  $L = 90$  m. Met deze  $kD$ -waarde voldoet dit model net niet meer aan de definitie voor hydrotype 13. De aanpassingen mogen echter nog wel op hydrotype 34 van toepassing worden geacht, en leiden bij de beheersbare waterloop tot een aanzienlijk effect (0,39 m op 30 m afstand).

Bij een lagere  $c$ -waarde (562 - 2810 d) en een vergelijkbare  $kD$ -waarde (18,4 m<sup>2</sup>/d) varieert het effect van 0,33 - 0,39 m (tabel 12).

## 6.4 Profieltype 4



### Hydrotype 41 en 42

Hydrotypen 41 en 42 worden gekenmerkt door een dun afdekkend pakket (< 2 m), dat door alle waterlopen doorsneden wordt. Een belangrijk aspect betreft de doorlatendheid van de deklaag. Afhankelijk hiervan is soms aanvullende (buis)drainage geïnstalleerd. Informatie over drainage is niet of moeilijk te achterhalen maar kan van groot belang zijn bij de afvoer van het waterbezwaar.

Om het effect van een peilverhoging bij dit hydrotype te kwantificeren zijn met het Modflow-model van scenario 6 van hydrotype 31 twee berekeningen uitgevoerd.

Tabel 13 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop bij een dun afdekkend pakket (hydrotypen 41 en 42; resultaten berekend met een aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31)

Afdekkend pakket		Watervoerend pakket $kD$ -waarde (m <sup>2</sup> /d)	Effect van conservering op				Hydrotype
$k$ (m/d)	$D$ (m)		10 m	30 m	60 m	144 m	
0,1	1,4	8,1	0,42	0,38	0,27	0,04	41
0,1	1,4	1560	0,21	0,19	0,17	0,13	42

Uit tabel 13 blijkt dat een peilverhoging bij hydrotype 41 een groot effect heeft. Het effect neemt echter, bij toenemende afstand tot deze waterloop, snel af. Bij hydrotype 42 is het effect dichtbij de beheersbare waterloop geringer, maar de peilverhoging werkt tot op grotere afstand van de beheersbare waterloop door.

## 6.5 Profieltype 5

### *Hydrotype 51 t/m 58*

De geohydrologische opbouw is enigszins vergelijkbaar met die van hydrotypen 41 en 42, namelijk een dunne afdekkende laag (dikte < 2 m) met daaronder een watervoerend pakket. Onder dit watervoerend pakket komt, in afwijking van hydrotypen 41 en 42, een weerstandbiedende laag voor met een  $c$ -waarde kleiner dan 5000 d.

Uit de berekeningen blijkt dat de verschillen tussen de berekende alternatieven dichtbij de waterloop gering zijn. Van verschillen tussen de alternatieven is met name sprake bij toenemende afstand (tabel 14).

Bij een lage  $kD$ -waarde van het eerste watervoerend pakket neemt het effect van een peilverhoging op grotere afstand tot de waterloop sneller af dan bij een hoge  $kD$ -waarde. Een lagere  $c$ -waarde van de eerste scheidende laag heeft een minder groot effect; de verschillen bij  $c$ -waarden van resp. 250 en 1000 d zijn maximaal 0,04 m op 30 m van de beheersbare waterloop.

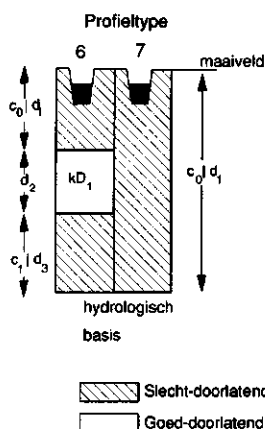
*Tabel 14 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop bij een dun afdekkend pakket, berekend met een aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31*

1° watervoe- rend pakket $kD$ -waarde (m <sup>2</sup> /d)	1° schei- dende laag $c$ -waarde (d)	2° watervoe- rend pakket $kD$ -waarde (m <sup>2</sup> /d)	2° schei- dende laag $c$ -waarde (d)	Effect van conservering op				Hydrotype
				10 m (m)	30 m (m)	60m (m)	144m (m)	
81	250	96	3000	0,39	0,37	0,32	0,20	52
8.1	1000	96	3000	0,40	0,34	0,22	0,02	53
81	1000	96	3000	0,41	0,38	0,34	0,21	54
8.1	250	96	9000	0,37	0,30	0,19	0,05	55
81	250	96	9000	0,40	0,38	0,33	0,22	56
8.1	1000	96	9000	0,41	0,34	0,22	0,03	57
81	1000	96	9000	0,41	0,39	0,35	0,23	58

De aanvankelijk gekozen classificatie in acht hydrotypen (51 t/m 58) is, op basis van de rekenresultaten, te gedetailleerd gebleken. Het aantal hydrotypen zou zonder bezwaar kunnen worden teruggebracht tot vier, waarbij de  $kD$ -waarde van het eerste watervoerend pakket en de  $c$ -waarde van de eerste weerstandbiedende laag de belangrijkste criteria zijn. Dit is in het kader van deze studie echter niet gebeurd.



## 6.6 Profieltype 6 en 7



### *Hydrotype 61 t/m 64, en 70*

Hydrotype 61 t/m 64, en 70 onderscheiden zich van de voorgaande hydrotypen door een afdekkend pakket, dat dikker is dan twee meter. Alle waterlopen liggen geheel in deze deklaag. Omdat de doorlatendheid van deze deklaag vaak gering is, is meestal aanvullende drainage aanwezig. Informatie over aanvullende drainage is momenteel niet beschikbaar. Bij het opzetten van het peil kunnen de uitmondingen van de drains onder water komen te liggen. De doorwerking van een peilverhoging wordt dus beïnvloed door de aanwezigheid van drains. Mede wegens het gebrek aan gegevens zijn geen berekeningen uitgevoerd, en zijn van deze hydrotypen geen provisorische staalkaarten gemaakt.

## 6.7 Aanvullende opmerkingen

In dit hoofdstuk is vooral aandacht besteed aan de invloed van de geohydrologische parameters op de doorwerking van een peilverhoging op de grondwaterstand. Andere parameters die een rol kunnen spelen zijn de slootafstand en de bergingscoëfficiënt.

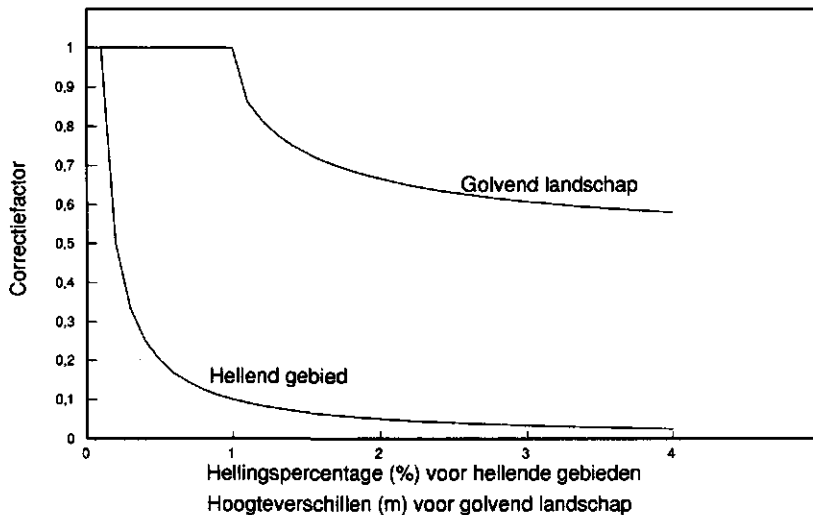
Een kleinere slootafstand leidt tot een lagere drainageweerstand (fig. 24 en 28). Bij een lagere drainageweerstand daalt de grondwaterstand in de situatie dat het peil niet wordt opgezet, tot grotere diepte. Hierdoor is het effect bij peilverhoging groter; zie bijvoorbeeld tabel 7; scenario 2.

Bij een grotere bergingscoëfficiënt is er meer water nodig om de grondwaterstand te verhogen. Hierdoor vertraagt de doorwerking en is het netto effect van een peilverhoging minder groot; zie figuur 24 en 28.

### **Topografie en beheersbaarheid van waterlopen**

In de berekeningen zijn twee typen waterlopen onderscheiden. Zij verschillen qua afmetingen en peilen. In hydrotypen 12 en 31 komt deze opsplitsing overeen met het onderscheid in beheersbare waterlopen (i.c. breedte aan maaiveld groter dan 3 m) en niet-beheersbare waterlopen (breedte kleiner dan 3 m), omdat het geaccidenteerde terreinen betreft. In sommige gevallen is een dergelijk onderscheid echter niet relevant, zoals in hydrotype 32. Hier zijn *alle* waterlopen beheersbaar, ook de kleine, omdat het vlakke gebieden betreft waar het oppervlaktewater overal erg ondiep staat (veenweidegebieden). Het waterpeil is in praktisch alle waterlopen te handhaven (ca. 100% beheersbaar).

In alle Modflow-modellen van de hydrotypen is verondersteld dat er geen sprake is van verschillen in maaiveldshoogteligging ('vlakke' gebieden). In de praktijk is dit lang niet altijd het geval, en is de beheersbaarheid van de grote waterlopen geringer naarmate het terrein meer geaccidenteerd is. Daarom moet de lengte van de, op basis van hun afmetingen, 'beheersbare' waterlopen worden gereduceerd met behulp van een correctiefactor. Deze correctiefactor is o.a gekoppeld aan de verdeling van de maaiveldshoogteligging. Geomorfologische kaarten geven enige informatie omtrent deze verdeling, waarbij hellende en golvende gebieden worden onderscheiden. De beheersbare lengte van waterloop wordt bepaald door het aantal stuwen, de helling van de bodem van waterlopen en de waterdiepten bovenstrooms van de stuw. Afhankelijk van het gebiedstype (golvend/hellend), de gebiedshelling en een aanname voor de waterdiepte bovenstrooms van de stuw wordt de correctiefactor afgeleid. De lengte aan beheersbare waterlopen wordt geschat door de lengte aan waterlopen met een maaiveldsbreedte > 3 m met deze correctiefactor te vermenigvuldigen.



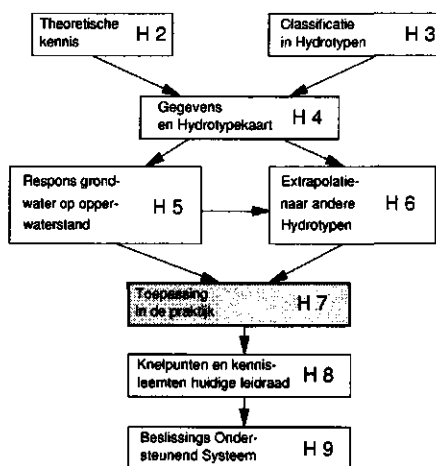
*Fig. 36 Correctiefactor om de lengte aan beheersbare waterlopen afgeleid uit het TOP10-vectorbestand te corrigeren voor de topografie, hierbij is onderscheid gemaakt in een hellend en golvend landschap*

Bij de berekening van de correctiefactoren is uitgegaan van een waterdiepte van 1 m bij de stuw. Verder wordt aangenomen dat de bodem van de waterloop het maaiveld volgt. Bij een golvend landschap heeft het maaiveld een sinusvormig verloop, waarbij de toppen op een onderlinge afstand liggen van 666 m. Verder is verondersteld dat bij een hellend gebied de waterloop loodrecht op de helling loopt, en bij een golvend gebied loodrecht op het dal staat. Ten gevolge van deze rigoreuze aannames zullen de correctiefactoren aan de hoge kant zijn; in de praktijk vertonen de beheersbare waterlopen een genuanceerder verloop. De correctiefactoren zijn grafisch weergegeven in figuur 36.

Zie voor meer informatie het achtergronddocument 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer'.

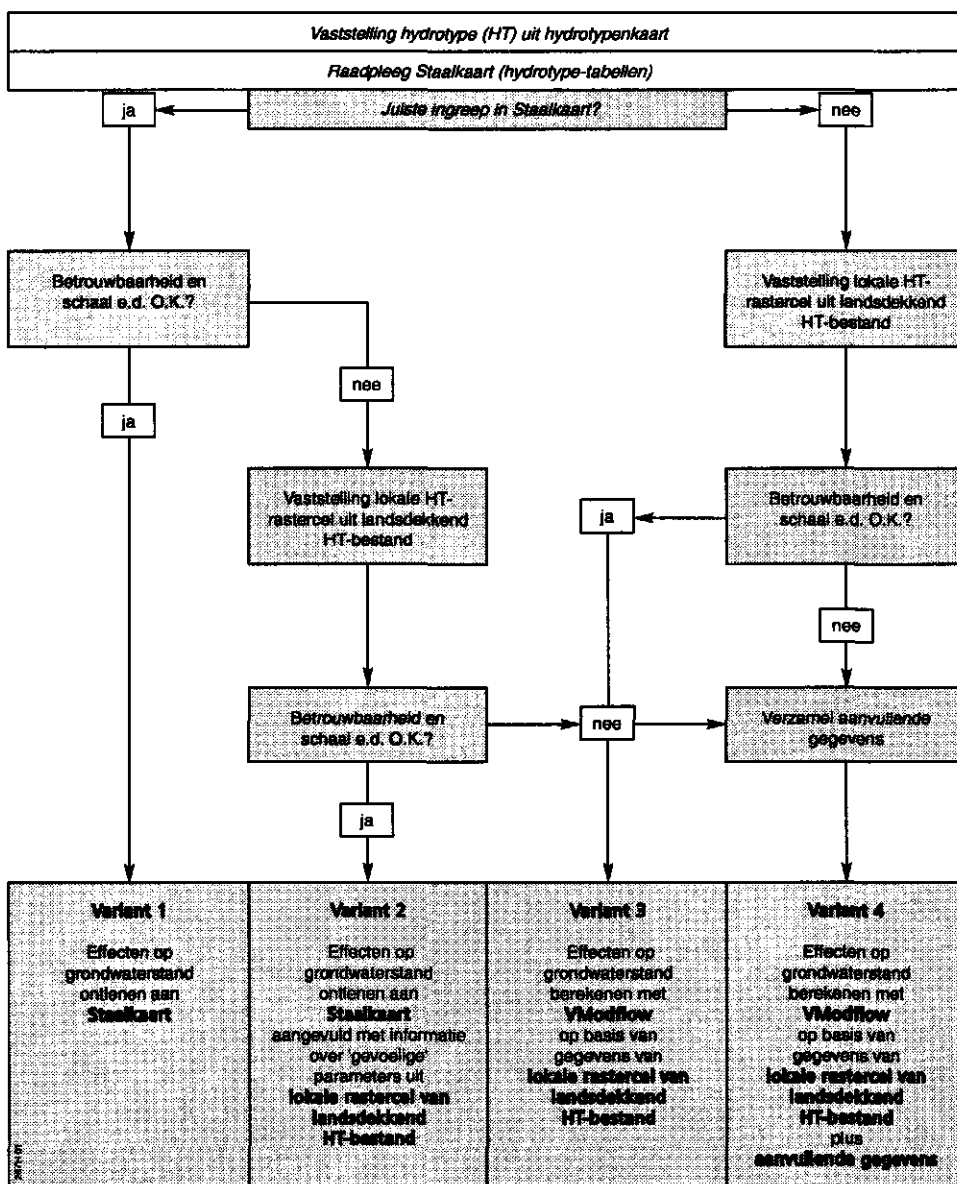
## 7 Toepassingen in de praktijk

In hoofdstuk 5 en 6 is, aan de hand van modelberekeningen, het effect van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand uitgewerkt en toegelicht. In dit hoofdstuk wordt besproken hoe bij het oplossen van praktijkproblemen te werk kan worden gegaan. Als eerste stap dient een aantal vragen te worden beantwoord om de beste route uit te stippelen die voor specifieke problemen tot een oplossing leidt.



De bij de uitwerking van onderstaand schema gehanteerde uitgangspunten werden in overleg met de DLG opgesteld, maar zijn daarmee niet voor alle potentiële gebruikers interessant. Een gebruiker in Zeeland worstelt wellicht met andere problemen dan een collega in Utrecht of Drenthe. De waarde van deze uitgangspunten zal, in overleg met toekomstige gebruikers, getoetst worden, waarna zij wellicht zullen worden bijgesteld.

In figuur 37 moeten enkele keuzes worden gemaakt. Deze keuzes leiden uiteindelijk tot één van de vier mogelijke *oplossingvarianten* onderin figuur 37.



*Fig. 37 Keuzeschema voor de bepaling van de meest geschikte oplossingsvariant bij de vaststelling van de invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand*

## 7.1 Variant 1

Voor drie veel voorkomende hydrotypen zijn berekeningen uitgevoerd naar het effect van een verhoging van de stand van het oppervlaktewater, en van de passage van een kortstondige afvoergolf, op de grondwaterstand. Het betreft steeds *gemiddelde* parameterwaarden, berekend uit bijdragen van *alle*  $1 \times 1 \text{ km}^2$  rastercellen die tot het bewuste hydrotype behoren. De resultaten zijn in de vorm van tabellen en figuren in deze leidraad opgenomen. Genoemde tabellen kunnen worden beschouwd als eerste prototypen van *staalkaarten*, waaraan de effecten kunnen worden ontleend (zie aanhangsel 1).

De informatie in de staalkaarten is dus gebaseerd op rekenkundige gemiddelden van de parameterwaarden die zijn geregistreerd in alle rastercellen die tot het bewuste hydrotype behoren. Deze informatie is daarmee globaal van karakter, en het gebruik van de staalkaarten leidt dan ook tot uitkomsten die niet altijd even betrouwbaar zijn. Meer dan een algemene indruk van effecten van waterbeheersmaatregelen en van het relatieve belang van de hierbij geassocieerde parameters mag er niet aan worden ontleend.

## 7.2 Variant 2

In één serie aanvullende berekeningen is de gevoeligheid van de berekende effecten voor variatie van enkele parameterwaarden (i.c. halvering en verdubbeling) gekwantificeerd. Deze resultaten zijn in tabellen opgenomen (zie hoofdstuk 6). Uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse kan de gebruiker een eerste indruk krijgen van de parameters die in zijn gebied bij de wisselwerking tussen grond- en oppervlaktewater kennelijk een belangrijke rol spelen. Hij kan vervolgens besluiten om de gegevens van *lokale* rastercellen te analyseren, teneinde meer betrouwbare waarden van deze *gevoelige parameters* te verkrijgen, waarmee de berekende effecten op de grondwaterstand meer waarheidsgetrouw worden. In dat geval wordt er immers gebiedsspecifieke informatie gebruikt. Dit wordt aan de hand van een fictief voorbeeld toegelicht.

Een waterbeheerder is geïnteresseerd in het effect op de grondwaterstand van waterconservering door middel van peilverhoging in een beheersgebied, gelegen binnen de gridcel met coördinaten (centrum):  $x = 131500$ ,  $y = 464500$ . Hij beschikt over de volgende gegevens (zie tabel 15):

Tabel 15 Gegevens van gridcel met centrale coördinaten  $x = 131\ 500$ ;  $y = 464\ 500$  (fictief)

Data		Rastercel	hydrotype 12
hydrotype:		12	12
Geohydrologie	$k_1$	1,5	1,5
	$D_1$	3,75	7,5
	$kD_2$	1650	826
	$k_{2h}$	43,6	21,8
	$D_2$	37,5	37,5
Waterlopen	lengte <sub>beheersbaar</sub>	335	335
	lengte <sub>onbeheersbaar</sub>	10750	7656
	$B$	1,5	1,5
Topografie	Hellingspercentage	1,75	0,45
Bergingcoëfficiënt	$\mu$	0,04	0,04
Effect peilverhoging 0,5 m op 30 meter		?	32%

Uit tabel 16, die is afgeleid uit tabel 7 van de leidraad, kan voor hydrotype 12 worden afgeleid dat het gemiddelde effect van een peilverhoging van 0,5 m op 30 m afstand van de beheersbare waterloop, 31 dagen na de verhoging, 16 cm bedraagt (scenario 1). Dit betekent dat de grondwaterstand op deze afstand 16 cm minder is gedaald in vergelijking met een situatie dat het peil niet wordt opgezet. De doorwerking op 30 meter afstand bedraagt dus 32%.

Tabel 16 Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen, op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, voor afwijkende waarden van de parameter  $L$ ,  $D_1$  en  $k_{2h}$  (hydrotype 12)

Scenario nr. para- meter	Grondwaterstand in m - mv. op afstand						Effect van conservering in m		
	geen peilverhoging			peilverhoging 0,5 m			10 m	30 m	60 m
	10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m			
1 -	1,17	1,15	1,14	0,99	0,99	0,99	0,18	<b>0,16</b>	0,15
2 $L = 90^7$	1,27	1,26	1,25	1,00	1,00	1,00	0,27	<b>0,26</b>	0,25
6 $D_1 = 3,75$	1,21	1,20	1,19	0,99	0,99	0,99	0,22	<b>0,21</b>	0,20
13 $k_{2h} = 43,6$	1,13	1,11	1,11	0,99	0,99	0,99	0,14	<b>0,12</b>	0,12

Een aantal parameters van de betreffende beheerseenheid wijkt echter aanzienlijk af van die van het hydrotype waar het beheersgebied zich bevindt, en de geschatte grondwaterstandsverhoging is daarom niet erg betrouwbaar. De vraag is dan ook in hoeverre de staalkaart in zijn beheersgebied wel kan worden geraadpleegd.

Analyse van enkele gevoeligheden levert het volgende op. Het gaat met name om de volgende parameters (zie tabel 15):

- 1  $D_1$ : 3,75 m voor deze rastercel in plaats van 7,5 m (gemiddelde voor hydrotype 12);
- 2  $k_{2h}$ : 43,6 m/d in plaats van 21,8 m/d gemiddeld;
- 3 de totale lengte van de niet beheersbare waterlopen: 10750 m in plaats van 7692 m gemiddeld.

<sup>7</sup> Er is niet gerekend met 0,5 L (62,5 m) maar met  $L$  bij 75% overschrijdingskans (90 m)

Uit tabel 16 wordt vervolgens de volgende informatie ontleend.

- ad 1 Bij halvering van  $D_1$  stijgt het rendement naar 42% (21 cm; scenario 6);
- ad 2 Verdubbeling van  $k_{2h}$  heeft als resultaat dat het effect geringer wordt, nl. 24% (12 cm; scenario 13);
- ad 3 Toename van de lengte aan niet-beheersbare waterlopen heeft een gunstig effect: het rendement stijgt tot 52% (26 cm; scenario 2).

Bovenstaande benadering is alleen bruikbaar indien er slechts één parameter hoeft te worden bijgesteld, en komt dan overeen met variant 2 uit het keuzeschema in figuur 37 (oplossing uit landsdekkend bestand). Er is hier echter sprake van drie parameters, en dan werkt bovenstaande procedure niet.

Het cumulatieve effect van afwijkende waarden voor  $D_{\text{ondiep}}$ ,  $kD_{\text{diep}}$  en  $\text{lengte}_{\text{onbeheersbaar}}$  kan in sommige gevallen echter in een formule (een 'meervoudige regressieformule') worden ondergebracht. Voor het berekenen van het effect van de peilverhoging in de desbetreffende rastercel kan gebruik worden gemaakt van genoemde regressieformules; zie paragraaf 6.1, 6.3, en de staalkaart van hydrotype 12 (Aanhangsel 1) waar deze formules te vinden zijn. De formules geven informatie over twee aspecten, namelijk

- de parameters die significante invloed hebben op de respons van de grondwaterstand;
- de grootte van genoemde respons, in afhankelijkheid van de parameterwaarden.

Toepassing van een regressieformule op het voorbeeld in tabel 15 geeft het samengestelde effect van een peilverhoging van 0,5 m na 31 dagen op 30 m afstand van de beheersbare waterloop; dit bedraagt 42% in plaats van 32% die als globale waarde voor hydrotype 12 wordt berekend (zie de staalkaart van hydrotype 12 in aanhangsel 1).

### 7.3 Variant 3

Indien een regressieformule onverhoopt niet beschikbaar is, is variant 3 aan de orde, namelijk berekening van effecten met behulp van lokale gegevens op basis van het landsdekkend bestand van hydrotypen ('HT-bestand'). In deze variant kan de gebruiker de effecten van mogelijke peilbeheer-scenario's op zijn PC simuleren met een hydrologisch model, bijvoorbeeld Visual Modflow. De basisgegevens van de rastercel die op zijn analyse betrekking heeft, zouden, zonder verdere bewerkingen, door het model moeten kunnen worden verwerkt. Binnen de gebruikersinterface van het model moet hij de mogelijkheid krijgen de gegevens desgewenst aan te passen. Een dergelijke interface bestaat op dit moment overigens nog niet (zie ook hoofdstuk 9).

### 7.4 Variant 4

De gebruiker is goed bekend met zijn beheersgebied. Hij beschikt daarom over informatie die (nog) niet via digitale bestanden is te verkrijgen. Te denken valt hierbij aan de mate van beheersbaarheid van de waterlopen. Naast deze expert-kennis kan hij behoefte hebben om bepaalde parameters, die sterk bepalend zijn voor het



antwoord op zijn vraag, nauwkeurig vast te stellen of te meten. Richtlijnen ten behoeve van aanvullende bepalingen van parameterwaarden worden beschreven in het in ontwikkeling zijnde 'Handboek voor veldmetingen'. Zijn dergelijke verbeterde parameterwaarden eenmaal beschikbaar dan kunnen de effecten meer waarheidsgetrouw worden berekend dan volgens variant 3 mogelijk is.

Op dit moment ontbreekt nog een interface tussen enerzijds de gegevensbestanden en het model, en anderzijds de modeluitkomsten en visuele weergave van de resultaten.

Het hydrotypenbestand, met de beschikbare tabellen, is bedoeld om de waterbeheerder een flink eind op weg te helpen. Dit is echter zelden het laatste woord, immers, de beheerder kent zijn eigen gebied beter dan wie ook, en beschikt over cruciale aanvullende gegevens, bijvoorbeeld over het deel van de waterlopen dat beheersbaar is. Het kan ook voorkomen dat de schaal van de zgn. hydrotypenkaart, t.w. gridcellen van 1 km<sup>2</sup>, voor een beheerder niet voldoet omdat hij uitspraken moet doen op perceelsniveau. Hij zou dan zijn toevlucht kunnen nemen tot bijv. leggerbestanden, het TOP-10 vectorbestand of andere gegevens.

Kan of wil een inrichter/waterbeheerder op basis van de hydrotype-tabellen niet 'kort door de bocht' en gaat hij zelf de effecten van zijn beheersvraagstukken doorrekenen, dan moet hij beschikken over relevante gegevens op de juiste schaal. Aan de hand van de in de individuele rastercellen van het hydrotypenbestand opgenomen informatie over de relatieve invloed van de verschillende parameters kan hij vaststellen of hij aanvullende gegevens moet verzamelen. De kans bestaat dat de gewenste gegevens niet (op de juiste schaal) beschikbaar zijn en dat moet worden vastgesteld dat zij door aanvullend onderzoek zullen moeten worden verzameld. In dat geval wordt de beheerder terzijde gestaan door het thans in ontwikkeling zijnde 'Handboek voor veldmetingen': een leidraad die de gebruiker gefaseerd en in logische stappen tot zijn doel brengt.

SC-DLO levert dus de contouren van het gebied, inclusief eerste schattingen van effecten, en een methodiek om deze effecten meer gebiedsspecifiek te kunnen uitrekenen. De gebruiker vult de gegevens aan waar hij/zij dit nodig acht. Deze moeten tevens op eenvoudige wijze bewerkt kunnen worden om ze als invoer geschikt te maken voor een computermodel. In hoofdstuk 9 worden de contouren geschetst van een hierop geënt Beslissings Ondersteunend Systeem (BOS) dat de inrichter/beheerder de mogelijkheid geeft om inrichtings/beheersmaatregelen te evalueren.

Samengevat staan de gebruiker vier alternatieven ter beschikking:

- 1 De staalkaart is voldoende nauwkeurig en kan zonder meer worden gebruikt.
- 2 De staalkaart wijkt in geringe mate af van de kenmerken van het beheersgebied; de hierin berekende effecten worden door middel van analyse van de 'gevoelige' parameters, door middel van regressievergelijkingen bijgesteld.
- 3 De staalkaart wijkt in sterke mate af van de kenmerken van het beheersgebied. De gegevens worden daarom ontleend aan die van de lokale rastercel(len) van het beheersgebied, en zijn zonder verdere aanvullingen bruikbaar. Met deze

gegevens worden effecten van peilbeheersmaatregelen op een PC berekend. Hierbij wordt het 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer' geraadpleegd.

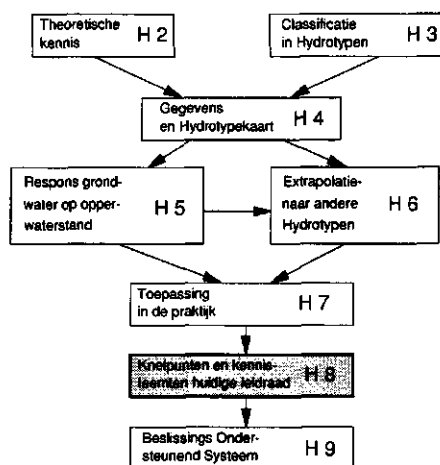
- 4 De gegevens van de lokale rastercel(len) van het hydrotypenbestand zijn niet zonder meer bruikbaar. Daarom worden, met behulp van de instructies in het 'Handboek voor veldmetingen' aanvullende gegevens verzameld. Op basis van alle nu beschikbare gegevens worden de effecten van peilbeheersmaatregelen op een PC berekend. Ook in dit geval kan het 'Handboek bij het vaststellen van effecten van peilbeheer' worden gebruikt.

## 8 Knelpunten m.b.t de huidige leidraad en kennisleemten bij gebruik

### 8.1 Knelpunten m.b.t de huidige leidraad

In deze leidraad zijn effecten van twee categorieën veranderingen in de stand van het oppervlaktewater op grondwaterstanden met het simulatiemodel Modflow berekend voor drie hydrotypen, te weten 12, 31 en 32. Bij deze aanpak zijn een aantal knelpunten geconstateerd, namelijk:

- de benodigde gegevens zijn niet altijd beschikbaar en/of betrouwbaar;
- de indeling in hydrotypen is een voorlopige (eerste poging);
- het aantal op berekeningen gebaseerde staalkaarten is beperkt;
- de schaal is wellicht niet voor alle toepassingen geschikt;
- het toegepaste simulatiemodel heeft zijn beperkingen.



#### **Beschikbaarheid en kwaliteit van gegevens**

Een belangrijk aspect is het, al dan niet landsdekkend, beschikbaar zijn van de benodigde gegevens. Sommige gegevens zijn inmiddels landsdekkend beschikbaar, zoals de geohydrologie van de diepe ondergrond. Andere komen binnen afzienbare tijd beschikbaar, bijvoorbeeld het Top-10-vectorbestand van de Topografische Dienst, en maaiveldshoogtegegevens. In tabel 6 zijn de gegevensbronnen, die gebruikt zijn in deze studie alsmede de bronnen die in de toekomst belangrijk worden, aangegeven.

Ronduit slecht is het gesteld met de beschikbaarheid van gegevens over intreeweestanden van open leidingen. Betrouwbare gegevens zijn er nagenoeg niet en zullen naar verwachting (binnen afzienbare termijn) ook niet komen. In samenwerking met NITG-TNO heeft SC-DLO recentelijk een onderzoek gedaan naar beschikbare gegevens over intreeweestanden (Jousma en Massop, 1996).

Er is grote behoefte aan gedetailleerde informatie over de geohydrologische opbouw van het 'topstelsel' (= het bodemprofiel dat zich bevindt tussen het maaiveld en ca. 20 m - mv.). In het kader van dit project is alle hieromtrent beschikbare informatie verzameld, geïnventariseerd en in bovengenoemd bestand van 'hydrotypen' verwerkt. In de toekomst komt dit bestand voor aanvulling en verbetering in aanmerking.

Samen met NITG-TNO heeft SC-DLO onlangs een verkennende studie uitgevoerd in het kader van de Landelijke Hydrologische analyse van het Topstelsel (LHTS).

Deze zgn. ‘inceptiefase’ van de LHTS beoogde het uitvoeren van een verkennende, inventariserende en definiërende fase met betrekking tot het vaststellen van de mogelijkheden om de kennis over het topsysteem verder te verbijzonderen (NITG-TNO en SC-DLO, 1997). Mocht het tot een LHTS-project komen, dan zou dit de kwaliteit van het hydrotypenbestand uiteindelijk zeer ten goede komen. In paragraaf 8.2 wordt nader ingegaan op de afzonderlijke parameters.

#### ***Indeling in hydrotypen is voorlopig (eerste poging)***

De in hoofdstuk 3 besproken indeling in hydrotypen is de beste die met de op dit moment beschikbare informatie kon worden samengesteld, maar is daarmee nog niet de beste die op basis van gedegen, nadere analyse van de beschikbare gegevens misschien mogelijk zou zijn geweest. Zij dient daarom te worden beschouwd als een eerste aanzet. Er is overigens geen poging gedaan om de indeling te verbeteren, en wel om de volgende redenen.

- Op termijn is de indeling in hydrotypen wellicht minder belangrijk dan op dit moment wordt verondersteld; met name voor de inrichter en de beheerder die behoefte hebben aan ‘maatwerk’ en bij toekomstig gebruik van een eventueel te ontwikkelen ‘Beslissings Ondersteunend Systeem’ (BOS). In beide gevallen zal gebruik worden gemaakt van lokale gegevens, die meestal zullen afwijken van de uit de hydrotypen-database afkomstige gemiddelden, en ter plekke betrouwbaarder zijn dan zulke gemiddelden.
- Verbetering van de indeling in hydrotypen is slechts mogelijk op basis van een rigoreuze, rekenintensieve (en dus dure) analyse, terwijl het onduidelijk is of een dergelijk project überhaupt tot een significant betere indeling in hydrotypen zou leiden.

#### ***Beperkt aantal staalkaarten***

In het kader van dit project was er onvoldoende ruimte om voor alle hydrotypen op Modflow-berekeningen gebaseerde staalkaarten te ontwikkelen. Het ging in eerste instantie om *protoprototypen* van staalkaarten, waarvan de bruikbaarheid in de operationele sfeer nog moet worden getoetst; het is dus niet het ‘laatste woord’. Het sturen van de grondwaterstand door middel van peilverhoging is vooral in zandgebieden aan de orde; daarom is de aandacht in eerste instantie uitgegaan naar de ontwikkeling van staalkaarten voor de meest voorkomende hydrotypen in de zandgebieden. Wat betreft de overige hydrotypen is volstaan met het in kwalitatieve zin aangegeven welke effecten op de grondwaterstand bij verhoging van het oppervlaktewaterpeil verwacht mogen worden. Blijken de ontwikkelde staalkaarten in een behoefte te voorzien dan zouden er in het kader van een eventueel vervolgpriject meer kunnen worden ontwikkeld, eventueel in verbeterde vorm.

#### ***De gekozen schaal***

Bij de aanvang van het project is een keuze gemaakt voor de schaal waarop gegevens worden verzameld, en de hydrotypen worden gedefinieerd. Sommige data zijn op kleinere schaal beschikbaar, zoals waterlopen (Top10-vector). Vooral voor het vinden van gebiedsspecifieke oplossingen kan er behoefte ontstaan aan meer gedetailleerde informatie.

### ***Het gekozen simulatiemodel***

In het project zijn berekeningen met Modflow uitgevoerd, via de gebruikersinterface Visual Modflow. Modflow is een uit de Verenigde Staten afkomstig simulatiemodel dat in veel landen wordt gebruikt. De keuze is vooral gebaseerd op de overweging dat het model gebruikersvriendelijk en robuust diende te zijn. Elk model heeft naast voordelen uiteraard ook nadelen. Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven heeft Modflow als nadeel dat het model met een constante bergingsrelatie rekent. Bij de toepassing van een model wordt de ondergrond geschematiseerd in cellen met constante doorlatendheid en bergingscoëfficiënt. Deze schematisatie geeft slechts een benadering van de fysische werkelijkheid.

In principe moet een gebruiker in staat zijn het generieke model Modflow zelf voor toepassing in zijn gebied geschikt te maken, en vervolgens te gebruiken. De gebruikersvriendelijke schil Visual Modflow werkt in dit opzicht sterk drempelverlagend. Er hangt echter wel een kostenplaatje aan; Visual Modflow voor Windows95/NT kost US\$ 995.- (ca. f 2000.-)<sup>8</sup>.

Om Visual Modflow binnen het waterbeheer toe te kunnen passen is een interface noodzakelijk tussen gegevens en modelinvoer enerzijds, en modeluitvoer en interpreteerbare informatie anderzijds. De gebruiker moet op basis van deze gegevens - in de vorm van kaarten en/of tabellen - beslissingen kunnen nemen.

## **8.2 Kennisleemten bij het gebruik**

### ***Handboek voor veldmetingen***

De in deze paragraaf geplaatste kanttekeningen, in combinatie met de beschikbare rekenresultaten moeten de gebruiker inzicht geven of aanvullende/betere gegevens moeten worden verzameld. Het kan voorkomen dat de beheerder zelf over betere gegevens beschikt, bijvoorbeeld over de afmetingen en de mate van beheersbaarheid van waterlopen. Is dit niet het geval dat moeten aanvullende gegevens worden verzameld.

Indien de gebruiker constateert dat hij zelf aanvullende gegevens moet verzamelen, vraagt hij zich wellicht af welke mogelijkheden in principe ter beschikking staan, en wat bij een bepaald probleem de verstandigste keuze is.

Om op deze vraag een antwoord te geven is het 'Handboek voor veldmetingen' in ontwikkeling. Dit handboek is een praktijkgerichte leidraad voor het (aanvullend) verzamelen van gegevens. Het geeft aan waar, en op welke schaal bepaalde gegevens beschikbaar zijn, en hoe aanvullende gegevens in het veld het beste kunnen worden verzameld. In het handboek worden conventionele technieken als de boorgatenmethode en pompproeven ten behoeve van schattingen van hydraulische doorlatendheden niet nauwkeurig beschreven omdat dit elders al is gebeurd; in zulke gevallen wordt volstaan met verwijzingen. Minder gebruikelijke meetprotocollen, zoals die voor het meten van intree weerstanden van slootbodems, worden echter uitgebreid

---

<sup>8</sup> De software wordt geleverd door Waterloo Hydrogeologic, Inc., 180 Columbia St. W. - Unit 1104, Waterloo, Ontario, Canada. Tel. +1-519-746-1798; Fax +1-519-885-5262; Email whs@flowpath.com.

behandeld. De staalkaarten, met het bijbehorende hydrotypenbestand, zijn bedoeld om de waterbeheerder een flink eind op weg te helpen. Dit is echter zelden het laatste woord, immers, de beheerder kent zijn eigen gebied beter dan wie ook, en beschikt over cruciale aanvullende gegevens, bijvoorbeeld over het deel van de waterlopen dat beheersbaar is. Het kan ook voorkomen dat de schaal van de zgn. hydrotypenkaart, t.w. gridcellen van 1 km<sup>2</sup>, voor een beheerder niet voldoet omdat hij uitspraken moet doen op perceelsniveau. Hij zou dan zijn toevlucht kunnen nemen tot bijv. leggerbestanden, het TOP-10 vectorbestand of andere gegevens.

Bij toepassing van de leidraad op specifieke problemen in de praktijk van het operationele waterbeheer kunnen meerdere wegen worden gevolgd om tot een oplossing te komen. Gedurende dit proces zal de beheerder worden geconfronteerd met de vraag of de betrouwbaarheid van de beschikbare parameterwaarden voor de beoogde toepassing voldoende is. De invloed die een parameter op effecten van veranderingen van de open waterstand heeft, bepaalt hoe nauwkeurig deze parameter gemeten dient te worden.

Tabel 17 (= tabel 7) Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, voor 15 verschillende combinaties van parameterwaarden (hydrotype 12)

nr.	para- meter	Grondwaterstand in m - mv. op afstand						Effect van conservering in m		
		geen peilverhoging			peilverhoging 0,5 m			10 m	30 m	60 m
		10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m			
1	-	1,17	1,15	1,14	0,99	0,99	0,99	0,18	0,16	0,15
2	$L = 90$	1,27	1,26	1,25	1,00	1,00	1,00	0,27	0,26	0,25
3	$L = 250$	1,13	1,11	1,10	0,95	0,95	0,95	0,18	0,16	0,15
4	$c_b = 0,25$	1,20	1,17	1,16	0,99	0,99	0,99	0,21	0,18	0,17
5	$c_b = 1,0$	1,13	1,11	1,10	0,97	0,97	0,97	0,16	0,14	0,13
6	$D_l = 3,8$	1,21	1,20	1,19	0,99	0,99	0,99	0,22	0,21	0,20
7	$D_l = 15$	1,19	1,14	1,12	0,99	0,99	0,98	0,20	0,15	0,14
8	$k_{1h} = 0,75$	1,08	1,06	1,05	0,96	0,96	0,96	0,12	0,10	0,09
9	$k_{1h} = 3,0$	1,25	1,23	1,22	1,00	1,00	1,00	0,25	0,23	0,22
10	$k_{1v} = 0,75$	1,14	1,10	1,09	0,98	0,98	0,98	0,16	0,12	0,11
11	$k_{1v} = 3,0$	1,21	1,20	1,19	1,00	0,99	0,99	0,21	0,21	0,20
12	$k_{2h} = 10,9$	1,22	1,19	1,18	0,99	0,99	0,99	0,23	0,20	0,19
13	$k_{2h} = 43,6$	1,13	1,11	1,11	0,99	0,99	0,99	0,14	0,12	0,12
14	$\mu = 0,02$	1,19	1,18	1,16	0,99	0,99	0,99	0,20	0,19	0,17
15	$\mu = 0,08$	1,15	1,13	1,11	0,98	0,98	0,98	0,17	0,15	0,13

Als genoemde effecten door een parameterwaarde nauwelijks worden beïnvloed is het niet zinvol deze parameter zeer nauwkeurig te meten. Ter illustratie is in tabellen 17 en 18 is, voor hydrotype 12 en 31, de invloed van variatie van de waarde van steeds één parameter gegeven op veranderingen van de grondwaterstand. De grootte van de parameter is hierbij afwisselend gehalveerd en verdubbeld.

Tabel 18 (=tabel 8) Verhoging van de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging van 50 cm na 31 dagen, op afstanden van 10, 30 en 60 m van de beheersbare waterloop, voor 17 verschillende combinaties van parameterwaarden (hydrotype 31)

nr.	para- meter	Grondwaterstand in m - mv. op afstand						Effect van conservering in m		
		geen peilverhoging			peilverhoging 0,5 m			10 m	30 m	60 m
		10 m	30 m	60 m	10 m	30 m	60 m			
1		1,22	1,06	0,93	0,94	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
2	$L = 67$	1,25	1,13	1,01	0,98	0,97	0,99	0,27	0,16	0,02
3	$L = 194$	1,08	0,87	0,65	0,80	0,70	0,59	0,28	0,17	0,06
4	$c_b = 0,25$	1,23	1,08	0,95	0,95	0,91	0,89	0,28	0,17	0,06
5	$c_b = 1,0$	1,20	1,04	0,91	0,92	0,88	0,84	0,28	0,16	0,07
6	$D_i = 1,4$	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,58	0,01	0,01	0,00
7	$D_i = 5,6$	1,32	1,22	1,08	0,98	0,97	0,96	0,34	0,25	0,12
8	$k_{1m} = 0,9$	1,08	0,90	0,78	0,86	0,79	0,74	0,22	0,11	0,04
9	$k_{1m} = 3,4$	1,30	1,18	1,05	0,98	0,96	0,95	0,32	0,22	0,10
10	$k_{1v} = 0,9$	1,21	1,06	0,93	0,93	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
11	$k_{1v} = 3,4$	1,22	1,07	0,94	0,94	0,90	0,88	0,28	0,17	0,06
12	$k_{3m} = 8$	1,22	1,07	0,94	0,94	0,90	0,88	0,28	0,17	0,06
13	$k_{3m} = 32$	1,22	1,06	0,93	0,94	0,90	0,87	0,28	0,16	0,06
14	$c = 91$	1,18	1,03	0,94	0,94	0,91	0,90	0,24	0,12	0,04
15	$c = 364$	1,27	1,12	0,96	0,94	0,91	0,88	0,33	0,21	0,08
16	$\mu = 0,02$	1,23	1,08	0,95	0,94	0,91	0,89	0,29	0,17	0,06
17	$\mu = 0,07$	1,21	1,04	0,91	0,93	0,89	0,85	0,28	0,15	0,06

### Slootafstand

De slootafstand is een belangrijke parameter. De resultaten van hydrotype 12 zijn gevoelig voor de slootafstand. Met het eind 1997 volledig beschikbaar komen van de Top10-vectorbestanden zijn gegevens over de ligging van waterlopen volledig bekend. Gegevens over drainage zijn er echter niet of nauwelijks, terwijl de interactie grondwater-oppervlaktewater in bepaalde hydrotypen (bijv. in kleigebieden) voor een belangrijk deel juist door drainage wordt bepaald. Omtrent de aanwezigheid van drainage beschikt de beheerder wellicht als enige over relevante informatie.

Een ander facet waarover weinig bekend is, is de mate waarin de verschillende klassen van waterlopen watervoerend zijn in relatie tot de grondwaterstand, alsmede in welke mate waterlopen beheersbaar zijn. Ook hieromtrent bezit de beheerder vaak de nodige expertkennis.

### Intreeweerstand

Er is weinig onderzoek verricht naar de intreeweerstand van waterlopen. Jousma en Massop (1996) hebben een inventarisatie uitgevoerd. Op basis van hun bevindingen kunnen intreeweerstanden worden geschat. Met name in zandgebieden is de intreeweerstand een factor van betekenis. Voor het verkrijgen van gegevens over intreeweerstanden zal aanvullend veldonderzoek moeten plaatsvinden. Het meten van intreeweerstanden is echter geen eenvoudige klus; zie het 'Handboek voor veldmetingen'.

### ***Natte omtrek waterloop***

Er zijn geen berekeningen uitgevoerd naar het effect van de natte omtrek van waterlopen. De natte omtrek beïnvloedt de drainageweerstand via zowel de intree-weerstand als de radiale weerstand, en bepaalt hiermee mede het effect van peilmaatregelen. Gegevens over de natte omtrek kunnen meestal gemakkelijk door de waterbeheerder worden verzameld.

### ***Dikte van de deklaag ( $D_1$ )***

Gegevens over de dikte van de toplaag zijn van groot belang: zij werken sterk door in de drainageweerstand (radiale weerstand) en daarmee in het uiteindelijke effect op de grondwaterstand.

### ***Hydraulische doorlatendheid van de ondiepe ondergrond***

Over de doorlatendheid van de ondiepe ondergrond zijn meestal slechts globale gegevens bekend. Zo wordt de doorlatendheid van afzettingen die tot de Formatie van Twente behoren vaak gesteld op 1,5 m/d. De 'ondiepe doorlatendheid' is echter van grote invloed op de waterstroming in de onmiddellijke omgeving van waterlopen, en is daarmee bijvoorbeeld doorslaggevend voor de grootte van de radiale stromingsweerstand. In het 'Handboek voor veldmetingen' wordt aangegeven hoe deze parameter gemeten kan worden.

### ***Anisotropie***

De meeste afzettingen zijn gelaagd en zijn daarmee anisotroop. Over de verhouding tussen de horizontale en verticale doorlatendheid zijn (landelijk) nauwelijks gegevens bekend. Toch is deze factor zeer zeker van invloed op de grootte van het effect van peilmaatregelen; zie het 'Handboek voor veldmetingen'.

### ***Hydraulische doorlatendheid van het watervoerend pakket***

Met het watervoerend pakket wordt bij hydrotype 12 bedoeld het pakket afzettingen onder de fijnzandige afzettingen van de toplaag en, bij hydrotype 31 het watervoerend pakket onder de weerstandbiedende laag. Als boven het watervoerend pakket een weerstandbiedende laag voorkomt heeft de grootte van het doorlaatvermogen een geringe invloed; bij afwezigheid van een weerstandbiedende laag kan de invloed daarentegen aanzienlijk zijn.

### ***Stromingsweerstand weerstandbiedende laag (c-waarde)***

Bij het voorkomen van een weerstandbiedende laag in de ondergrond is naast de stromingsweerstand van deze laag, van belang de dikte en de diepte in verband met de mogelijkheid dat deze laag door de waterlopen wordt doorsneden. In het 'Handboek voor veldmetingen' wordt aangegeven hoe deze parameter gemeten kan worden.

### ***Bergingscoëfficiënt***

De snelheid waarin peilmaatregelen in de grondwaterstand doorwerken wordt mede bepaald door de bergingscoëfficiënt. De bergingscoëfficiënt is afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand en de grootte en richting van de verticaal gerichte waterstroming door het bodemprofiel. De bergingscoëfficiënt varieert binnen het modelgebied en met de tijd. Het gebruikte simulatiemodel Modflow rekent evenwel met een constante waarde voor de bergingscoëfficiënt.



### ***Recente ontwikkelingen***

Op 5 juni 1997 is op het Congres 'Informatievoorziening' van de Unie van Waterschappen uitvoerig aandacht geschonken aan de ontwikkelingen op het gebied van de informatievoorziening bij waterschappen. Momenteel is een samenwerkings-instrumentarium op het terrein van de informatievoorziening in ontwikkeling: het zogenaamde ADVENTUS-stelsel. Het bestaat uit de volgende onderdelen: de gegevensstandaard water, het gegevensmodel ADVENTUS-plus, de Stekkerdoos Water, de CIW-gegevensstandaard en de Informatiearchitectuur.

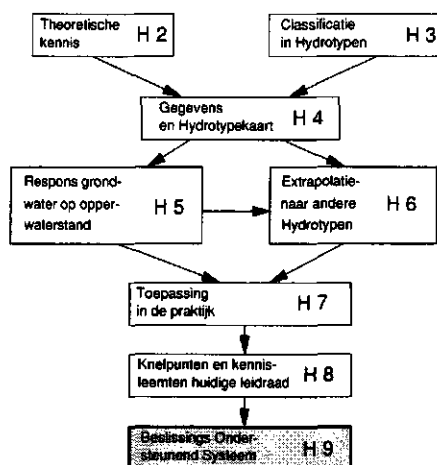
Deze onderdelen hebben betrekking op de wijze waarop gegevens worden opgeslagen, de relaties tussen gegevenstypen en de omzetting van informatie in een standaard-uitwisselingsformaat. Via de Stekkerdoos Water kunnen applicaties indirect op ADVENTUS worden aangesloten. Tevens is een Integraal Waterschaps Informatie-systeem (INTWIS) in ontwikkeling; dit systeem moet de waterschappen bij de uitvoering van beheerstaken op het gebied van de waterkwantiteit, waterkwaliteit en waterkering van informatie voorzien (oa. Top10-vector, grootschalige basiskaart van Nederland (GBKN)). Dit systeem sluit aan op het ADVENTUS-stelsel.

Gezien de recente ontwikkelingen bij de waterschappen verdient het aanbeveling dat de waterbeheerder/inrichter de beschikking krijgt over een instrument dat hem ondersteunt bij het nemen van maatregelen/beslissingen. Zo'n instrument zou de vorm kunnen krijgen van een 'Beslissings Ondersteunend Systeem' (BOS). Het BOS moet zo goed mogelijk aansluiten op het samenwerkingsinstrumentarium van de Unie. In hoofdstuk 9 worden de contouren van een BOS geschetst.

## 9 Een BOS voor evaluatie van effecten van beheersmaatregelen

Het beoogde BOS, waarmee de beheerder effecten van ingrepen in het oppervlaktewater kan evalueren, moet op een PC gemakkelijk te gebruiken zijn. De procedure zou zo kunnen zijn dat de gebruiker door middel van het invullen van een aantal menu's (=invulschermen) het probleem en de lokatie definieert. Vervolgens berekent het systeem het effect van de voorgestelde waterstands-

verandering(en) en presenteert deze in de vorm van kaarten en/of tabellen. Gaandeweg en interactief leidt de gebruiker een pakket beheersmaatregelen af waarmee hij, gegeven de omstandigheden en beperkingen waar hij mee te maken heeft, zijn doelstellingen waarschijnlijk het beste kan bereiken.



Ten behoeve van het operationaliseren van het doen van globale schattingen is in deze studie het begrip *hydrotype* geïntroduceerd. 'Hydrotype' staat voor *hydrologisch gebiedstype*. Gebieden die qua geo-hydrologische opbouw grote overeenkomst vertonen behoren tot hetzelfde *hydrotype*. Het gemiddelde effect op een beheersmaatregel (i.c. peilmaatregel) of een afvoergolf in een hydrotype kan in de vorm van staalkaarten (tabellen) uit het BOS worden opgevraagd.

De uiteindelijke vorm van het beoogde systeem wordt in sterke mate bepaald door de wijze waarop de inrichter/waterbeheerder te werk wenst te gaan, en zal daarom in nader overleg moeten worden bepaald. Voor de oplossing van praktijkvragen zijn in principe verschillende benaderingen denkbaar:

- een eenvoudige: een staalkaart (responstabel) van een zogenaamd gebiedstype;
- een geavanceerde: simulatie van effecten van maatregelen met een model.

Tevens zijn tussenoplossingen denkbaar. Mogelijke varianten van oplossingstrajecten zijn, variërend van globaal tot maatwerk (hoofdstuk 7):

- 1 gebruik van staalkaart (globaal antwoord);
- 2 als 1, maar aangevuld met gegevens uit het beheersgebied (landelijk hydrotypenbestand);
- 3 modelberekeningen op basis van gegevens uit het beheersgebied (landelijk hydrotypenbestand);
- 4 als 3, met aanvullende gegevens (eventueel veldonderzoek) plus lokale expertise (maatwerk).

Voor elke gebiedseenheid (gridcel, peilvak, stroomgebied) geldt een unieke combinatie van parameters. Deze parameters bepalen hoe beheersmaatregelen doorwerken in ruimte en tijd. Afhankelijk van de vraagstelling kan soms worden

volstaan met een globale indicatie van het effect; soms is maatwerk vereist. In het eerste geval kan het effect worden geschat op basis van globale waarden van geo-hydrologische parameters uit het beheersgebied; in het tweede geval moeten betrouwbare en gedetailleerde gegevens uit het gebied beschikbaar zijn. Overigens zou zelfs een globale schatting van het effect - de eerste mogelijkheid - ten opzichte van de thans nog gebruikte vuistregels al een aanzienlijke verbetering betekenen.

Met de introductie van staalkaarten is het BOS zó op te zetten dat de gebruiker tegen minimale inspanning al een eerste indicatie krijgt van de te verwachten effecten van mogelijke door hem te implementeren beheersmaatregelen. Indien hij weinig vertrouwen heeft in deze indicatie, bijv. omdat de gegevens in het hydrotype naar zijn idee te sterk afwijken van zijn beheersgebied, dan kan hij besluiten de effecten van de door hem geplande maatregelen af te leiden uit de specifieke gegevens van het lokale hydrotype. Hij kan de effecten desgewenst zelf berekenen na inbreng van aanvullende gegevens. Voor dit alles heeft hij, slechts een PC nodig, waarbij het BOS hem stapsgewijs naar het antwoord leidt.

Als het tot de ontwikkeling van een BOS komt, zal in overleg met betrokkenen dit BOS in de nabije toekomst uitgroeien tot een systeem met behulp waarvan de gebruiker op betrekkelijk eenvoudige wijze gegevens beschikbaar kan krijgen, en op basis hiervan desgewenst zelf peilbeheersscenario's kan doorrekenen. De ontwikkeling van dit systeem zal volledig worden afgestemd op (geografische) informatiesystemen die door de waterschappen en andere betrokken instanties (o.a. DLG) in ons land min of meer als standaard zijn geaccepteerd (ADVENTUS, ARC/VIEW, REGIS en dergelijke).

## Literatuur

Bolsius, E.C.A., J.H.M. Eulderink, C.L.G. Groen, W.B. Harms, A.K. Bregt, M. van der Linden, B.J. Looise, G.J. Maas, E.P. Querner, W.L.M. Tamis, R.W. de Waal, H.P. Wolfert en M. van 't Zelfde, 1994. *Eén digitaal bestand voor de landschapsecologie van Nederland. Eindrapport van het LKN-project*. Den Haag, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. LKN-rapport nr 4.

Bouwmans, J.M.M., 1994. *Problematiek, normen en knelpunten bij ontwerpen waterbeheersingsplannen (discussienota waterbeheersing)*. Utrecht. Landinrichtingsdienst, Afdeling Hydrologie en Bodem.

Duyvenbouden, W. van en A. Breeuwsma, 1987. *Kwetsbaarheid van grondwater. Kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging*. RIVM-rapport 840387003.

Jousma, G. en H. Th. L. Massop, 1996. *Intreeweerstanden waterlopen. Inventarisatie en analyse*. Delft, TNO-rapport GG-R-96-15(A).

Massop, H.Th.L. en P.A.J.W. de Wit, 1994. *Hydrologisch onderzoek naar de drainageweerstanden van het tertiair ontwateringssysteem in Oost-Gelderland*. Rapport 373. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Mazure, J.P., 1936. *Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. 's-Gravenhage. Algemene landsdrukkerij, pp 67-131.

Negenman, A.J.H., P.J.T van Bakel, H.Th. L. Massop, J.P. Weijers, P. Kiden, L.C.P.M. Stuyt en F.J.E. van der Bolt, 1997. *Landelijke hydrologische analyse van het topsysteem (LHTS)*. Delft, Wageningen.

Oude Voshaar, J.H. 1994. *Statistiek voor onderzoekers; met voorbeelden uit landbouw- en milieuwetenschappen*. Wageningen Pers, Wageningen.

Pastoors, M.J.H., 1992. *Landelijk grondwatermodel; conceptuele beschrijving*. RIVM-rapport nr. 714305004.

Projectgroep Waternood, in voorb. *Oppervlaktewater: Grondwater als leidraad. Een op het grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting, beheer en onderhoud van oppervlaktewatersystemen*.

Stuyt, L.C.P.M. and W. Dierickx, 1998. *Subsurface drainage materials*. FAO Irrigation and Drainage Paper, FAO Rome (in voorb.)

Rijks Geologische Dienst, 1975. *Toelichting bij Geologische Overzichtskaarten van Nederland. Kaarten, Profielen en Toelichting*.

Technische Werkgroep Grondwaterplan, 1985. *Rapport van de technische werkgroep Grondwaterplan, deel 1,2 en 3*. Provinciaal bestuur van Drenthe, Assen.

Werkgroep Grondwaterplan 2, 1985. *Rapport van de technische werkgroep grondwaterplan 2*. Assen.

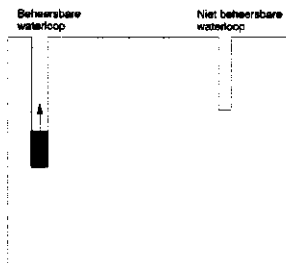
Wind, G.P., 1985. *Slootpeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden*. *Cultuurtechnisch Tijdschrift*, 25 jaargang.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Rapport nr. 2055.

## **Aanhangsel 1 Staalkaarten**

# Staalkaart hydrotype 11

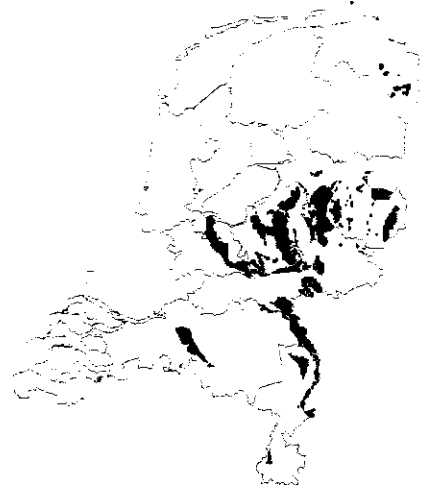
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 12



## Waarden geohydrologische parameters

$k_h = 25,8 \text{ m/d}$   
 $k_v = 25,8 \text{ m/d}$   
 $d_2 = 40 \text{ m}$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 12%		Hellend gebied areaal: 23%		Golvend landschap areaal: 26%	
helling (%)	correctie- factor	helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1	4,4	0,02	0,5	1
↓	↓	↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	17	0,01	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

### Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<3m} = \text{droog}$

$L_{>3m} = 7750 \text{ m}$

$L_{tot} = 7750 \text{ m}$

winterhalfjaar

$L_{<3m} = 353 \text{ m}$

$L_{>3m} = 7750 \text{ m}$

$L_{tot} = 282 \text{ m}$

**Effect op grondwaterstand op 10, 30 en 60 meter afstand van beheersbare waterloop na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand, en de gevoeligheid van dit effect voor verschillende parameterwaarden**

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met het systeem van hydrotype 12 is het effect op de grondwaterstand sterker dan bij hydrotype 12, namelijk ca. 60 %. Dit is te verklaren uit een - bij dezelfde slootdichtheid - lagere radiale weerstand, en dus lagere drainageweerstand.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

Binnen hydrotype 11 is sprake van aanzienlijke hoogteverschillen (o.a. stuwwallen). De beheersbare lengte van grote waterlopen is dan ook kleiner dan bij hydrotype 12. De lengte, afgeleid uit TOP10-vectorbestand dient te worden gecorrigeerd.

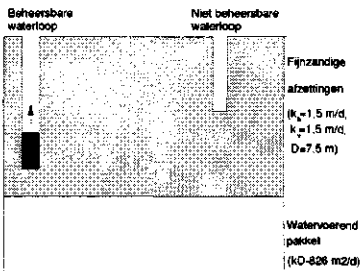
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand is aanzienlijk. Omdat de beheersbare lengte van de grote waterlopen gering is, is het areaal waar deze effecten kunnen worden gerealiseerd echter betrekkelijk klein.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.



# Staalkaart hydrotype 12



## Waarden hydrogeologische parameters

### fijnzandige afzettingen (1a)

$$kD_{1a} = 11,25 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$k_{1a} = 1,5 \text{ m/d;}$$

$$k_{1b} = 1,5 \text{ m/d;}$$

$$d_{2a} = 7,5 \text{ m)}$$

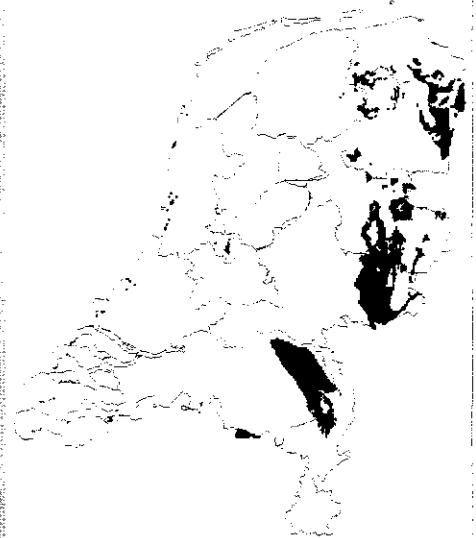
### grofzandige afzettingen (1b)

$$kD_{1b} = 825 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$k_{1b} = 22 \text{ m/d;}$$

$$d_{2b} = 38 \text{ m)}$$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 32%		Hellend gebied areaal: 11%		Golvend landschap areaal: 33%		Golvend landschap areaal: 15%	
helling (%)	correctiefactor	helling (%)	correctiefactor	hoogteverschil (m)	correctiefactor	hoogteverschil (m)	correctiefactor
-	1,0	2,2	0,04	0,5	1,0	1,5	0,73
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	4,4	0,02	1,5	0,73	5,0	0,56

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden ontleend aan Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen niet gecorrigeerd op topografie)

### Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$$L_{<3m} = \text{droog}$$

$$L_{>3m} = 3300 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 3300 \text{ m}$$

winterhalfjaar

$$L_{<3m} = 145 \text{ m}$$

$$L_{>3m} = 3300 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 125 \text{ m}$$

### Drainageweerstanden:

$$W_{d, zomer} = 2130 \text{ d}$$

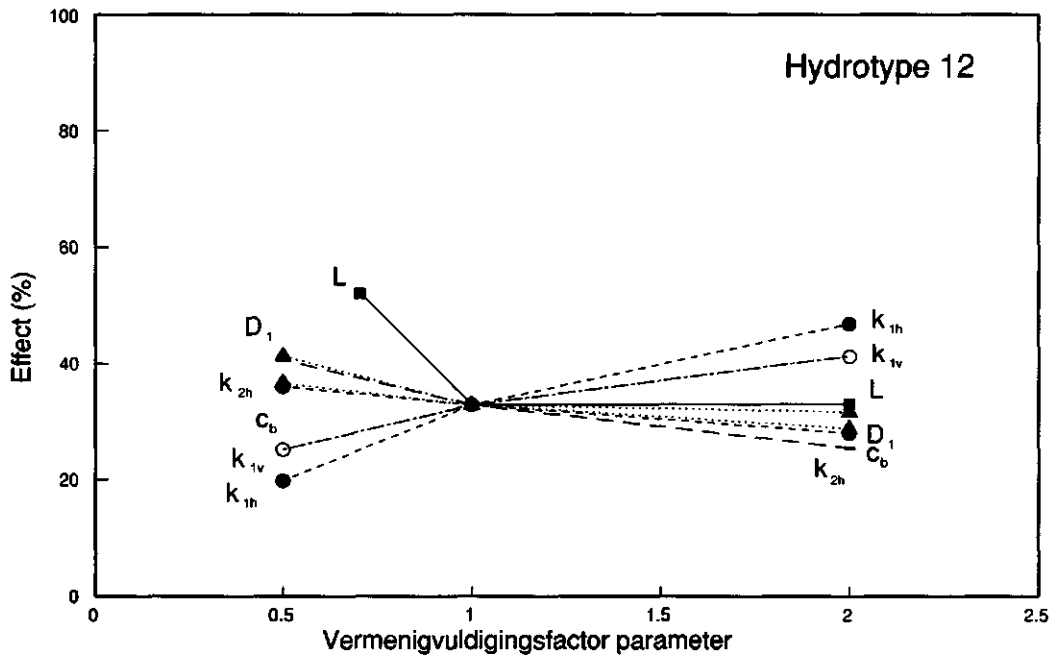
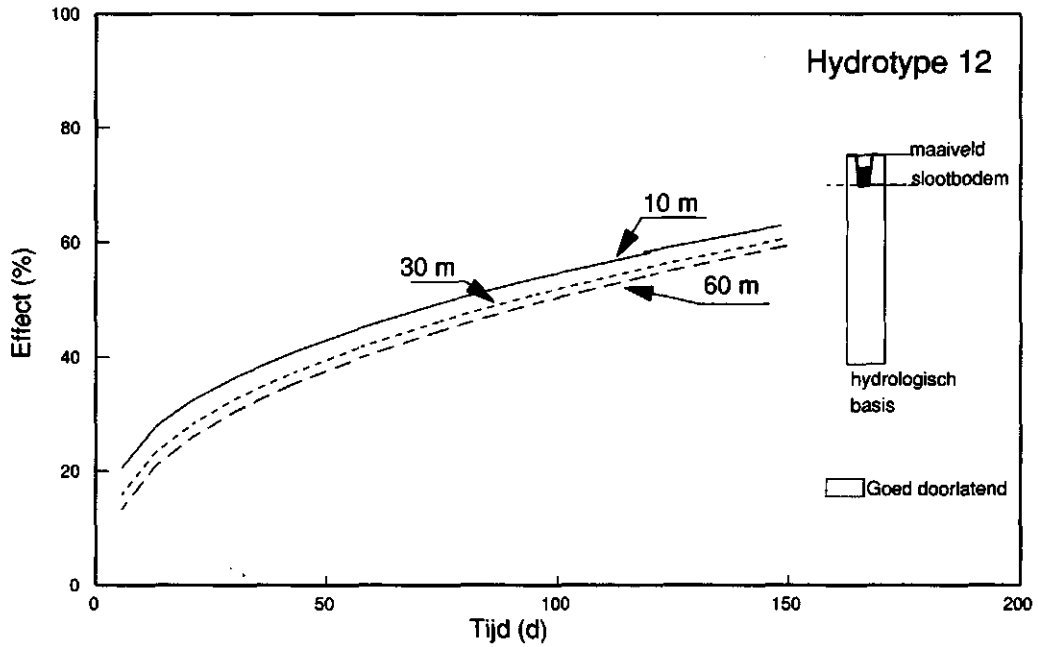
$$W_{d, winter} = 154 \text{ d}$$

beheersbare waterlopen watervoerend

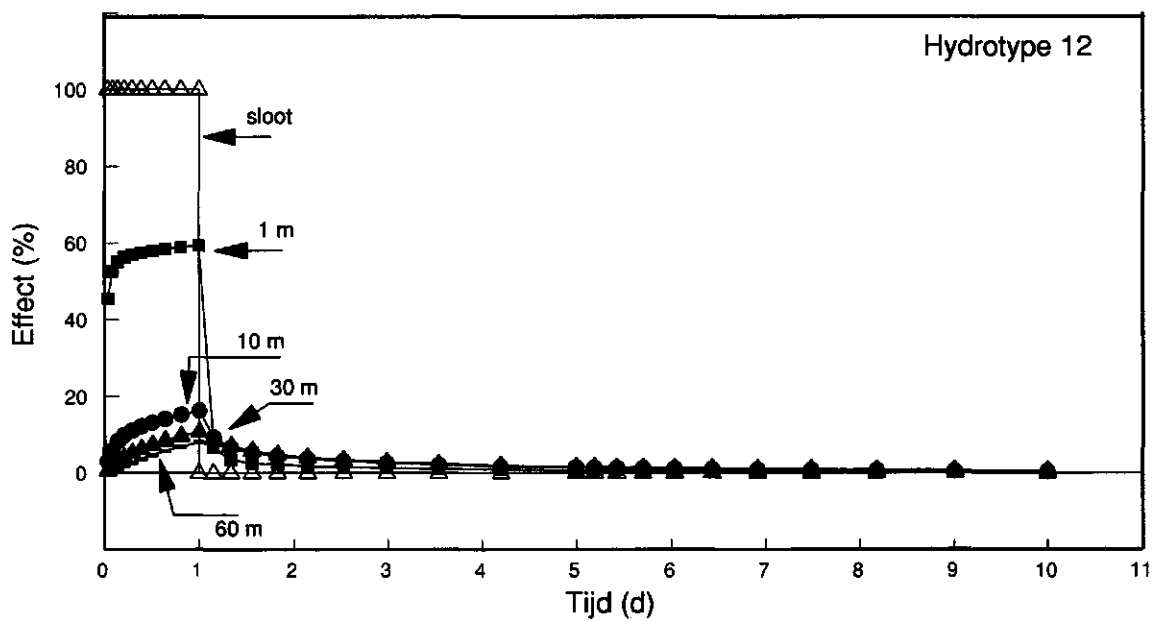
alle waterlopen watervoerend

De drainageweerstand wordt in hoge mate bepaald door de radiale-, en intreeweerstand.

**Effect op grondwaterstand op 10, 30 en 60 meter afstand van beheersbare waterloop na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand, en gevoeligheid van dit effect voor verschillende parameterwaarden, 31 dagen na verhoging van de oppervlaktewaterstand**



**Effect op grondwaterstand op 1, 10, 30 en 60 meter afstand van beheersbare waterloop, na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand, gedurende één dag (afvoergolf)**



**Interpolatieregels voor betere schattingen van effecten op grondwaterstand en  
drainageweerstand met behulp van lokale parameterwaarden**

**Drainageweerstand ( $W_d$ ) (d)**

$$W_d = -10,9 + 9,8 \cdot 10^{-4} L - 23,1 k_{th} + 2,0 D_f + 107,4 c_b - 16,5 k_{iv}$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m op de grondwaterstand op 10 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{10}$ ) (m)**

$$\Delta h_{10} = 0,63 - 4,6 \cdot 10^{-3} L + 1,4 \cdot 10^{-5} L^2 - 2,4 \cdot 10^{-3} k_{iv} + 3,6 \cdot 10^{-2} k_{th} - 7,3 \cdot 10^{-4} W_d$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m op de grondwaterstand op 30 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{30}$ ) (m)**

$$\Delta h_{30} = 0,56 - 3,1 \cdot 10^{-3} L + 1,4 \cdot 10^{-5} L^2 - 2,3 \cdot 10^{-3} k_{iv} + 1,7 \cdot 10^{-1} c_b - 2,1 \cdot 10^{-3} W_d$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m op de grondwaterstand op 60 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{60}$ ) (m)**

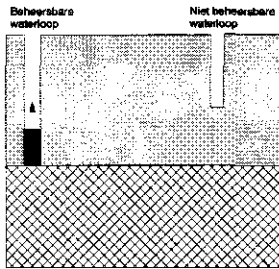
$$\Delta h_{60} = 0,55 - 3,2 \cdot 10^{-3} L + 1,4 \cdot 10^{-5} L^2 - 2,0 \cdot 10^{-3} k_{iv} + 1,8 \cdot 10^{-1} c_b - 2,1 \cdot 10^{-3} W_d$$

waarin:

$L$	= slootafstand (m)	90	<	$L$	<	250
$c_b$	= intreeweerstand (d)	0,25	<	$c_b$	<	1,0
$k_{th}$	= horizontale doorlaatfactor fijnzandige afzettingen (m/d)	0,75	<	$k_{th}$	<	3,0
$k_{iv}$	= verticale doorlaatfactor fijnzandige afzettingen (m/d)	0,75	<	$k_{iv}$	<	3,0
$D_f$	= dikte fijnzandige afzettingen laag $d_{1s}$ (m)	3,8	<	$D_f$	<	15
$k_{iv}$	= doorlaatfactor dieper gelegen watervoerend pakket (m/d)	10,9	<	$k_{iv}$	<	43,6

# Staalkaart hydrotype 13

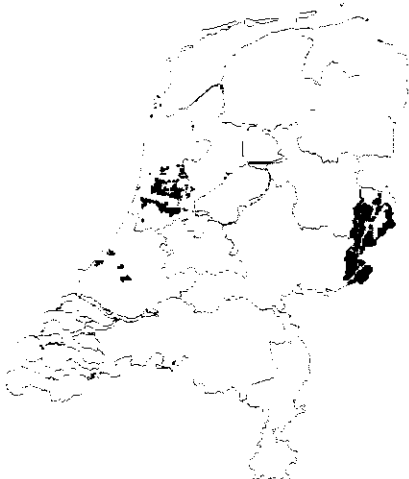
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 12



**Waarden  
geohydrologische  
parameters**

$k_x = 1,5 \text{ m/d}$   
 $k_y = 1,5 \text{ m/d}$   
 $d_2 = 1,0 \text{ m}$

(zie paragraaf 3.4)



**Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen**

Hellend gebied areaal: 24%		Golvend landschap areaal: 35%		Golvend landschap areaal: 23%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
—	1,0	0,5	1,0	1,5	0,73
↓	↓	↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73	5,0	0,56

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:	
zomerhalfjaar	winterhalfjaar
$L_{<3m}$ = droog	$L_{<3m}$ = 154 m
$L_{>3m}$ = 1761 m	$L_{>3m}$ = 1761 m
$L_{tot}$ = 1761 m	$L_{tot}$ = 135 m

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met het systeem van hydrotype 12 is de respons groter dan bij hydrotype 12, namelijk ca. 70 %. Dit is te verklaren door een lagere radiale weerstand. De horizontale weerstand is ten gevolge van de geringe dikte van het watervoerend pakket echter hoger; hierdoor neemt het effect bij toenemende afstand tot de beheersbare waterloop sneller af dan bij hydrotype 12.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Hydrotype 13 heeft een grotere lengte aan beheersbare waterlopen dan hydrotype 12. Er komen binnen dit hydrotype gebieden voor met relatief grote hoogteverschillen. In zulke gebieden moet de lengte, afgeleid uit Top10-vectorbestanden, worden gecorrigeerd om de lengte aan beheersbare waterlopen te bepalen.

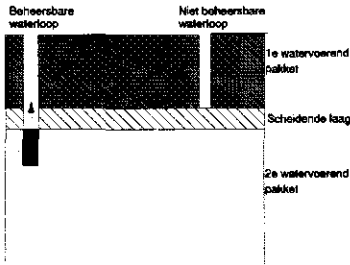
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand is gunstig. De lengte aan beheersbare waterlopen is groter dan bij hydrotype 12, waardoor het areaal waar deze effecten kunnen worden gerealiseerd, groter is dan bij hydrotype 12.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 21

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



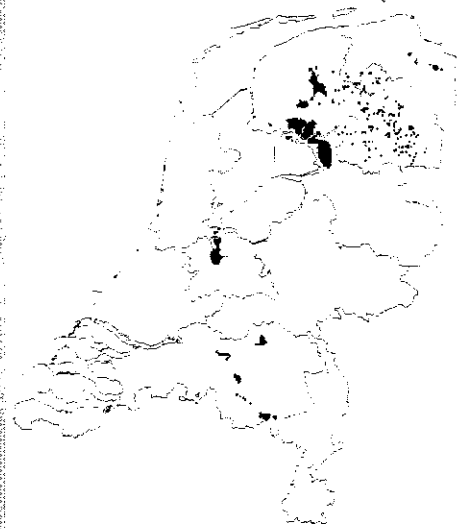
## Waarden geohydrologische parameters

$kD_1 = 1,5 \text{ m}^2/\text{d}$   
 $(k_p = 1,7 \text{ m/d;}$   
 $k_r = 1,7 \text{ m/d;}$   
 $d_2 = 0,9 \text{ m})$

$c_1 = 88 \text{ d}$   
 $d_1 = 0,3 \text{ m}$

$kD_2 = 539 \text{ m}^2/\text{d}$   
 $(k_2 = 12,8 \text{ m;}$   
 $d_4 = 42 \text{ m})$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaartenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 70%		Golvend landschap areaal: 17%	
helling (%)	correctiefactor	hoogteverschil (m)	correctiefactor
-	1,0	0,5	1,0
1	1	1	1
0,55	0,18	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden ontleend aan Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

### Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<5 \text{ m}}$  = droog

$L_{>5 \text{ m}}$  = 573 m

$L_{\text{tot}}$  = 573 m

winterhalfjaar

$L_{<5 \text{ m}}$  = 92 m

$L_{>5 \text{ m}}$  = 573 m

$L_{\text{tot}}$  = 73 m

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Het effect wordt in sterke mate beïnvloed door de diepte, dikte en weerstand van de weerstandbiedende laag. Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met het systeem van hydrotype 31 kan de respons variëren van 30% tot 40%.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

Hydrotype 21 heeft een grote lengte aan beheersbare waterlopen.

*Gebiedseffect*

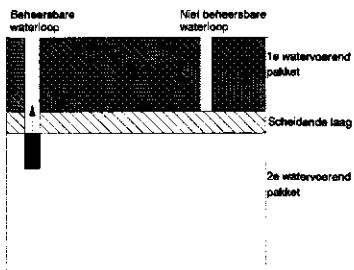
Het effect op de grondwaterstand is beperkt. De lengte aan beheersbare waterlopen is betrekkelijk groot; hierdoor is het areaal waar de effecten kunnen worden gerealiseerd aanzienlijk.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.



# Staalkaart hydrotype 22

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

- $kD_1 = 0,8 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_{h1} = 1,0 \text{ m/d;}$
- $k_{v1} = 1,0 \text{ m/d;}$
- $d_2 = 0,8 \text{ m)}$
- $c_{t1} = 3045 \text{ d}$
- $d_3 = 0,3 \text{ m}$
- $kD_2 = 2014 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_2 = 23,7 \text{ m/d;}$
- $d_4 = 85 \text{ m)}$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Gotvend landschap areaal: 100%	
hoogteverschil (m)	correctiefactor
1,5	0,73
↓	↓
5,0	0,56

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden ontleend aan Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

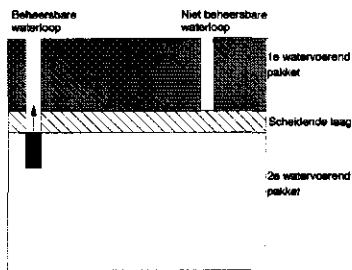
zomerhalfjaar		winterhalfjaar	
$L_{<3m}$	= droog	$L_{<3m}$	= 937 m
$L_{>3m}$	= 1565 m	$L_{>3m}$	= 1565 m
$L_{tot}$	= 1565 m	$L_{tot}$	= 586 m

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

Dit hydrotype komt weinig voor. Voor het effect op de grondwaterstand: zie hydrotype 21.

## Staalkaart hydrotype 23

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



### Waarden geohydrologische parameters

$$\begin{aligned}
 kD_1 &= 11,6 \text{ m}^2/\text{d} \\
 (k_1 &= 6,8 \text{ m/d;} \\
 k_2 &= 6,8 \text{ m/d;} \\
 d_2 &= 1,7 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 1 \text{ d} \\
 d_1 &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 kD_2 &= 2065 \text{ m}^2/\text{d} \\
 (k_2 &= 13,3 \text{ m/d;} \\
 d_1 &= 155 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 31%		Golvend landschap areaal: 54%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$$L_{e,3m} = \text{droog}$$

$$L_{s,3m} = 2227 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 2227 \text{ m}$$

winterhalfjaar

$$L_{e,3m} = 91 \text{ m}$$

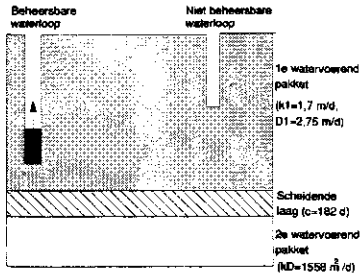
$$L_{s,3m} = 2227 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 83 \text{ m}$$

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

Dit hydrotype komt weinig voor. Voor het effect op de grondwaterstand: zie hydrotype 21.

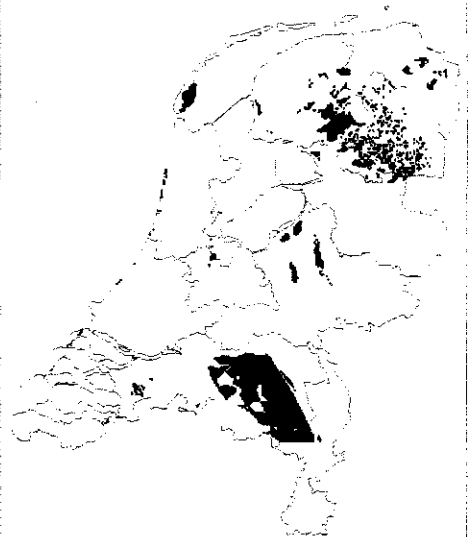
# Staalkaart hydrotype 31



## Waarden hydrogeologische parameters

- $kD_1 = 4,7 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_{1y} = 1,7 \text{ m/d;}$
- $k_{1x} = 1,7 \text{ m/d;}$
- $d_2 = 2,75 \text{ m})$
- $c_1 = 182 \text{ d}$
- $d_3 = 2,8 \text{ m}$
- $kD_2 = 1560 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_2 = 15,9 \text{ m/d;}$
- $d_x = 98 \text{ m})$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 31%		Golvend landschap areaal: 40%	
helling (%)	correctiefactor	hoogteverschil (m)	correctiefactor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden ontleend aan Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

### Slootafstanden:

zomershelfjaar

$L_{<3 \text{ m}} = \text{droog}$

$L_{>3 \text{ m}} = 1767 \text{ m}$

$L_{\text{tot}} = 1767 \text{ m}$

winterhalfjaar

$L_{<3 \text{ m}} = 109 \text{ m}$

$L_{>3 \text{ m}} = 1767 \text{ m}$

$L_{\text{tot}} = 97 \text{ m}$

### Drainageweerstanden:

$W_{d, \text{zomer}} = 6820 \text{ d}$

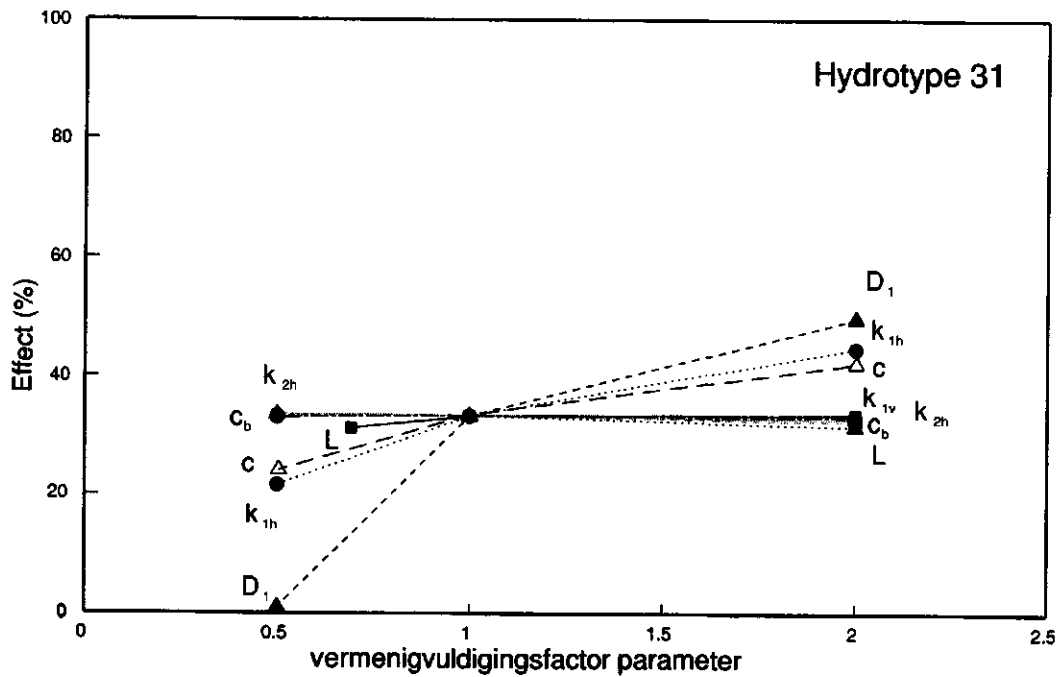
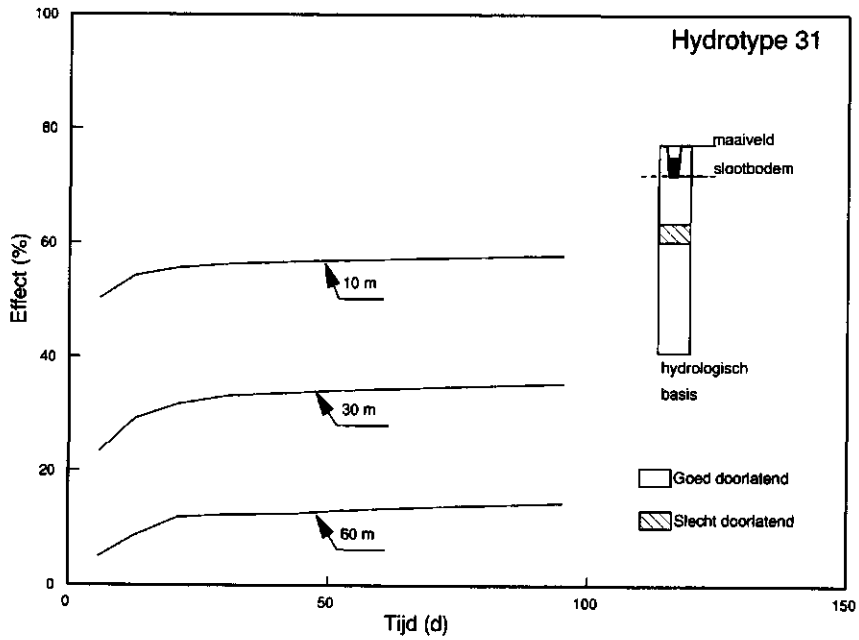
$W_{d, \text{winter}} = 253 \text{ d}$

beheersbare waterlopen watervoerend

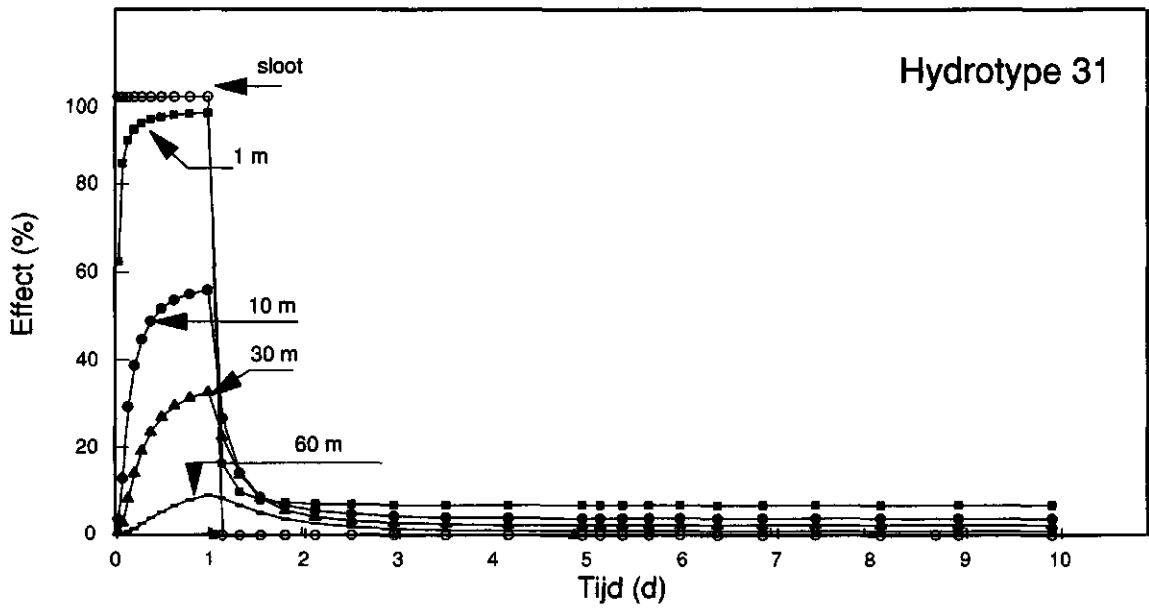
alle waterlopen watervoerend

De drainageweerstand wordt in hoge mate bepaald door de horizontale stromingsweerstand.

**Effect op grondwaterstand op 10, 30 en 60 meter afstand van beheersbare waterloop na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand, en gevoeligheid van dit effect voor verschillende parameterwaarden, 31 dagen na verhoging van de oppervlaktewaterstand**



**Effect op grondwaterstand op 1, 10, 30 en 60 meter afstand van beheersbare waterloop, na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand, gedurende één dag (afvoergolf)**



**Interpolatieregels voor betere schattingen van effecten op grondwaterstand en  
drainageweerstand met behulp van lokale parameterwaarden**

**Drainageweerstand ( $W_d$ ) (d)**

$$W_d = -75,7 + 6,28L - 103,8k_{ih} - 26,3D_f$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m, op de grondwaterstand op 10 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{10}$ ) (m)**

$$\Delta h_{10} = 0,41 + 1,9 \cdot 10^{-5}L - 2,7 \cdot 10^{-1}k_{ih} - 1,3 \cdot 10^{-1}D_f - 1,1 \cdot 10^{-2}c_b - 2,6 \cdot 10^{-3}c + 3,9 \cdot 10^{-2}\lambda$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m, op de grondwaterstand op 30 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{30}$ ) (m)**

$$\Delta h_{30} = 0,13 + 5,4 \cdot 10^{-5}L - 1,2 \cdot 10^{-1}k_{ih} - 5,5 \cdot 10^{-2}D_f - 1,2 \cdot 10^{-3}c - 1,8 \cdot 10^{-3}\mu + 2,1 \cdot 10^{-2}\lambda$$

**Effect, na 31 dagen, van een peilverhoging van 0,5 m, op de grondwaterstand op 60 m van de  
beheersbare waterloop ( $\Delta h_{60}$ ) (m)**

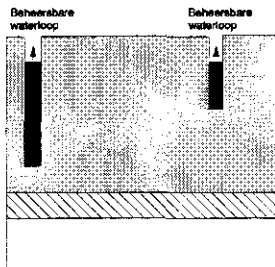
$$\Delta h_{60} = 0,07 + 1,5 \cdot 10^{-4}L + 1,1 \cdot 10^{-2}D_f + 1,1 \cdot 10^{-2}c_b - 1,8 \cdot 10^{-3}k_{iv} - 9,5 \cdot 10^{-3}c + 3,3 \cdot 10^{-2}\lambda$$

waarin:

$L$	= slootafstand (m)	67	<	$L$	<	194
$c_b$	= intreeweerstand (d)	0,25	<	$c_b$	<	1,0
$c$	= weerstand slechtdoorlatende laag (d)	91	<	$c$	<	364
$k_{ih}$	= horizontale doorlaatfactor fijnzandige afzettingen (m/d)	0,9	<	$k_{ih}$	<	3,4
$k_{iv}$	= verticale doorlaatfactor fijnzandige afzettingen (m/d)	0,9	<	$k_{iv}$	<	3,4
$D_f$	= dikte fijnzandige afzettingen laag $d_f$ (m)	1,4	<	$D_f$	<	5,6
$\mu$	= bergingscoëfficiënt (-)	0,02	<	$\mu$	<	0,07
$\lambda$	= spreidingslengte (m)					



# Staalkaart hydrotype 32



## Waarden geohydrologische parameters

- $kD_1 = 1,5 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_b = 1,0 \text{ m/d;}$
- $k_v = 1,0 \text{ m/d;}$
- $d_2 = 1,5 \text{ m)}$
- $c_1 = 4175 \text{ d}$
- $d_3 = 7,5 \text{ m}$
- $kD_2 = 693 \text{ m}^2/\text{d}$
- $(k_2 = 17,8 \text{ m/d;}$
- $d_4 = 39 \text{ m)}$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 63%		Golvend landschap areaal: 24%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

### Slootafstanden:

#### veenweidegebieden (alle seizoenen)

- $L_{<3m} = 152$
- $L_{>3m} = 244 \text{ m}$
- $L_{tot} = 84 \text{ m}$

#### overige locaties

##### zomerhalfjaar

- $L_{<3m} = \text{droog}$
- $L_{>3m} = 244 \text{ m}$
- $L_{tot} = 244 \text{ m}$

##### winterhalfjaar

- $L_{<3m} = 152 \text{ m}$
- $L_{>3m} = 244 \text{ m}$
- $L_{tot} = 84 \text{ m}$

**Effect op grondwaterstand op 10 en 30 meter afstand van beheersbare waterloop, na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

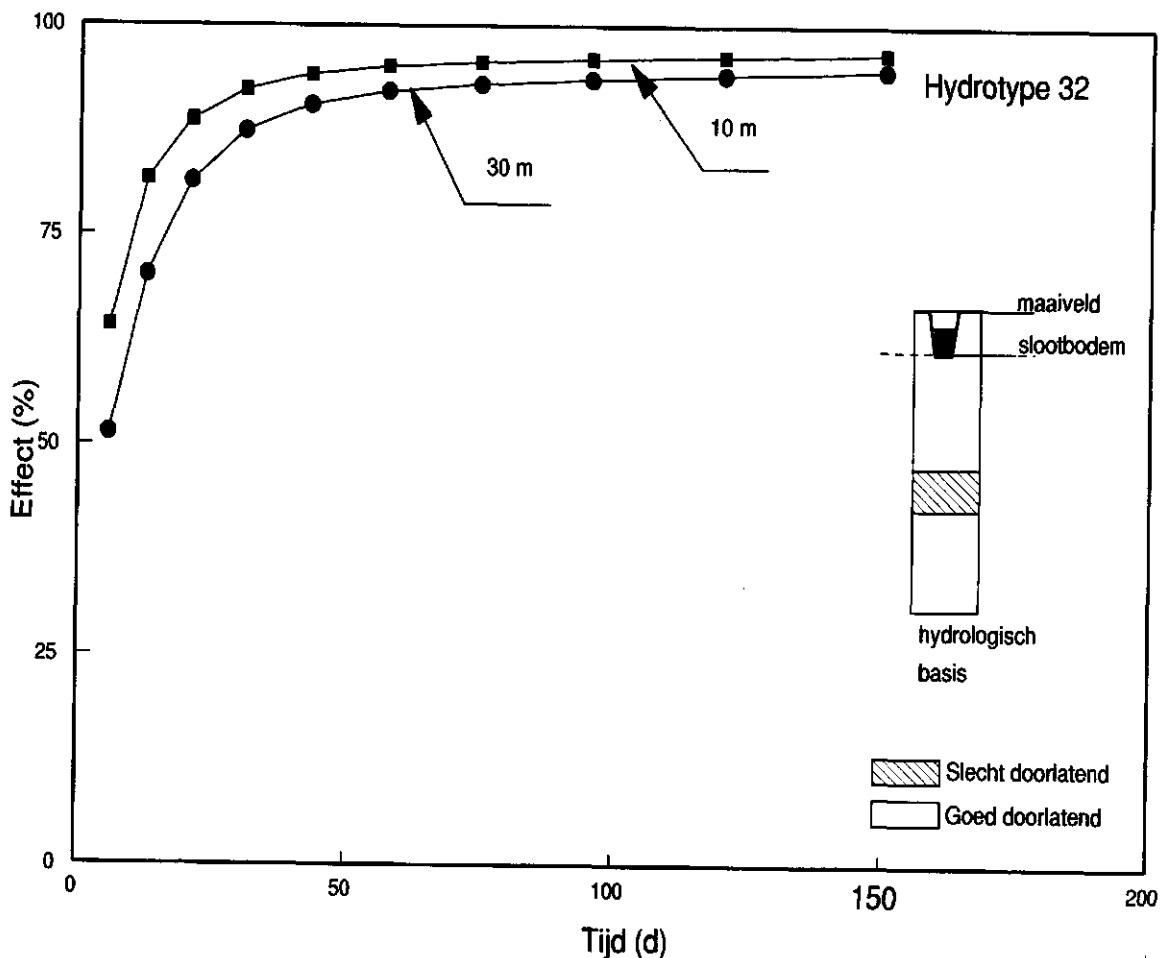
Het effect op de grondwaterstand is groot, en kan in veenweidegebieden oplopen tot 85% indien alle waterlopen beheersbaar zijn. In zulke gebieden zijn de mogelijkheden om de stand van het oppervlaktewater op te zetten echter beperkt, omdat het oppervlaktewater doorgaans erg ondiep staat.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

Dit hydrotype komt onder meer voor in veenweidegebieden. Deze gebieden zijn vrij vlak, en alle waterlopen zijn beheersbaar.

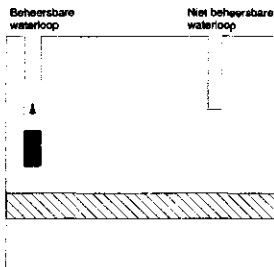
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand is zeer gunstig wegens de vlakke maaiveldsligging en de grote lengte aan beheersbare waterlopen.



## Staalkaart hydrotype 33

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



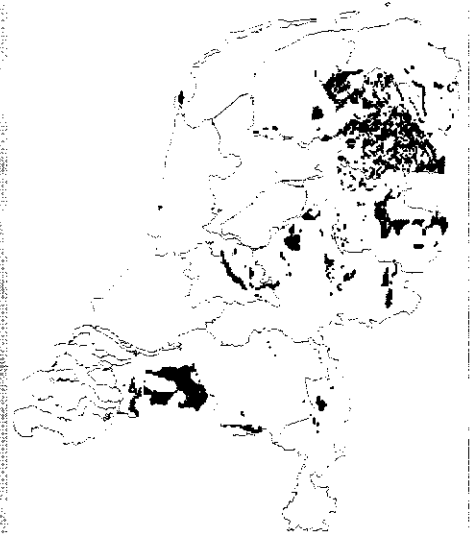
### Waarden geohydrologische parameters

$$\begin{aligned}
 kD_1 &= 27,8 \text{ m}^2/\text{d} \\
 (k_h &= 3,7 \text{ m/d;} \\
 k_v &= 3,7 \text{ m/d;} \\
 d_2 &= 7,5 \text{ m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 102 \text{ d} \\
 d_3 &= 2,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 kD_2 &= 914 \text{ m}^2/\text{d} \\
 (k_2 &= 17,9 \text{ m/d;} \\
 d_4 &= 51 \text{ m)
 \end{aligned}$$

(zie paragraaf 3.4)



### Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van waterlopen

Hellend gebied areaal: 24%		Golvend landschap areaal: 41%		Golvend landschap areaal: 16%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
~	1,0	0,5	1,0	1,5	0,73
↓	↓	↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73	5,0	0,56

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$$L_{<3m} = \text{droog}$$

$$L_{>3m} = 3356 \text{ m}$$

$$L_{\text{tot}} = 3356 \text{ m}$$

winterhalfjaar

$$L_{<3m} = 134 \text{ m}$$

$$L_{>3m} = 3356 \text{ m}$$

$$L_{\text{tot}} = 120 \text{ m}$$

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Het effect op de grondwaterstand is sterker dan bij hydrotype 31. Dit is te verklaren door een grotere waarde van de spreidingslengte (i.c. hogere  $kD$ -waarde).

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

De lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) is betrekkelijk klein.

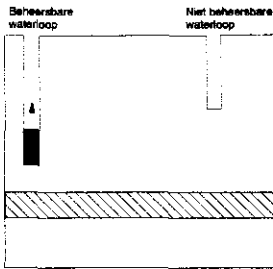
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand is vrij groot, maar het areaal dat van verhoging van open waterstanden profiteert is vrij gering.

In relatief vlakke gebieden, met veel beheersbare waterlopen, biedt conservering perspectief.

## Staalkaart hydrotype 34

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



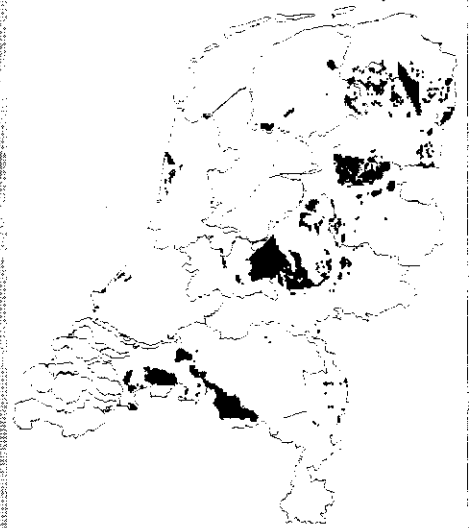
### Waarden geohydrologische parameters

$$\begin{aligned} kD_1 &= 194,4 \text{ m}^2/\text{d} \\ (k_h &= 13,5 \text{ m/d;} \\ k_v &= 13,5 \text{ m/d;} \\ d_2 &= 14,4 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_1 &= 1367 \text{ d} \\ d_3 &= 9,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} kD_2 &= 1256 \text{ m}^2/\text{d} \\ (k_2 &= 18,2 \text{ m/d;} \\ d_4 &= 69 \text{ m}) \end{aligned}$$

(zie paragraaf 3.4)



### Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 27%		Golvend landschap areaal: 40%		Golvend landschap areaal: 12%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
—	1,0	0,5	1,0	1,5	0,73
↓	↓	↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73	5,0	0,56

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$$L_{<3 \text{ m}} = \text{droog}$$

$$L_{>3 \text{ m}} = 3096 \text{ m}$$

$$L_{\text{tot}} = 3096 \text{ m}$$

winterhalfjaar

$$L_{<3 \text{ m}} = 113 \text{ m}$$

$$L_{>3 \text{ m}} = 3096 \text{ m}$$

$$L_{\text{tot}} = 105 \text{ m}$$

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met het systeem van hydrotype 31 is het effect op de grondwaterstand sterker dan bij hydrotype 31. Dit is te verklaren uit de grotere waarde van de spreidingslengte (i.c. hogere  $KD$ - en  $c$ -waarden).

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

In hydrotype 34 komen gebieden voor met relatief grote hoogteverschillen. In deze gebieden, waar de lengte van de grotere waterlopen, ontleend aan Top10-vectorbestanden, moet worden gecorrigeerd om een schatting te krijgen van de lengte van beheersbare waterlopen, is deze lengte tamelijk klein.

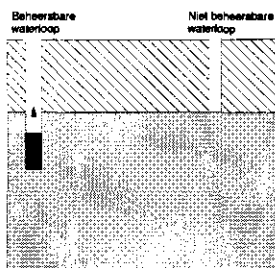
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand is gunstig. Omdat de lengte aan beheersbare waterlopen relatief gering is, is het areaal waar deze effecten kunnen worden gerealiseerd echter betrekkelijk klein.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 41

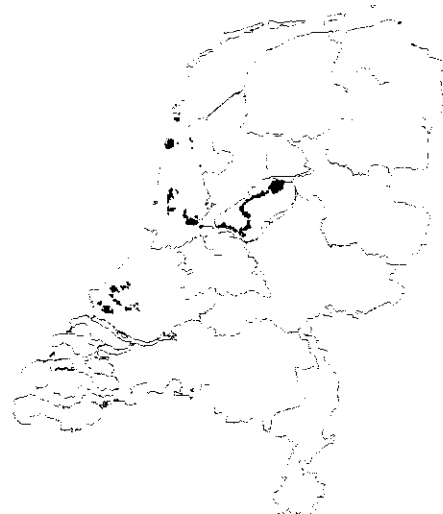
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

- $c_p$  = 688 d
- $d_1$  = 1,5 m
- $kD_1$  = 0,8 m<sup>2</sup>/d
- $(k_h$  = 1,0 m/d;
- $k_v$  = 1,0 m/d;
- $d_2$  = 0,8 m)

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaartenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied	
areaal: 95%	
helling (%)	correctiefactor
-	1,0
↓	↓
0,55	0,18

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<3 m}$  = droog

$L_{>3 m}$  = 532 m

$L_{tot}$  = 532 m

winterhalfjaar

$L_{<3 m}$  = 289 m

$L_{>3 m}$  = 532 m

$L_{tot}$  = 200 m

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect groter dan 50%. Het effect neemt bij toenemende afstand tot de beheersbare waterloop echter snel af.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

In hydrotype 41 komen relatief veel vlakke gebieden voor; de lengte aan beheersbare waterlopen is aanzienlijk.

*Gebiedseffect*

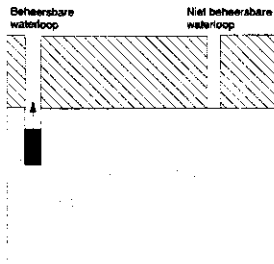
Het effect op de grondwaterstand is aanzienlijk. Omdat ook de beheersbare lengte van de grote waterlopen groot is, is het areaal waar deze effecten kunnen worden gerealiseerd betrekkelijk groot.

In relatief vlakke gebieden, met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.



## Staalkaart hydrotype 42

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



### Waarden geohydrologische parameters

$c_0$	= 200 d
$d_1$	= 1,1 m
$kD_1$	= 1219 m <sup>2</sup> /d
$(k_h)$	= 23,0 m/d;
$k_v$	= 23,0 m/d;
$d_2$	= 53 m)

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 47%		Golvend landschap areaal: 34%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomershelfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{>3m}$  = 862 m

$L_{tot}$  = 862 m

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = 169 m

$L_{>3m}$  = 862 m

$L_{tot}$  = 142 m

**Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop,  
31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand**

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect kleiner dan bij hydrotype 41 (< 40 %). Het effect neemt echter bij toenemende afstand tot de beheersbare waterloop minder snel af dan bij hydrotype 41.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Hydrotype 42 heeft een geringere lengte aan beheersbare waterlopen dan hydrotype 41; het betreft veelal relatief vlakke gebieden.

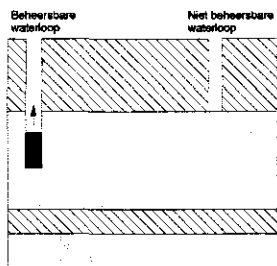
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand op 30 m is beperkt. Omdat de beheersbare lengte van de grote waterlopen niet zo groot is, is het areaal waar deze effecten kunnen worden gerealiseerd betrekkelijk klein.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 51

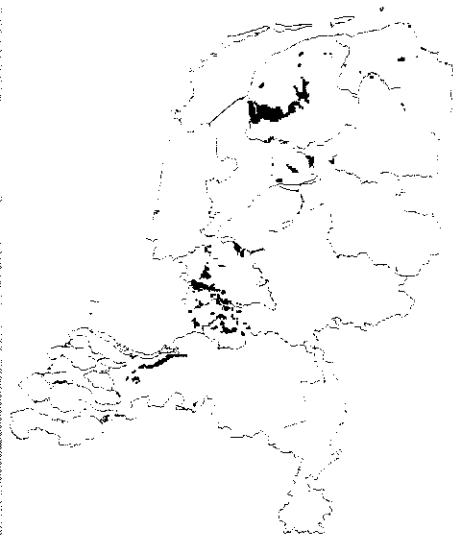
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

- $c_0$  = 5 d
- $d_1$  = 1,5 m
- $kD_1$  = 2,3 m<sup>2</sup>/d
- $(k_1$  = 1,0 m/d;
- $d_2$  = 2,3 m)
- $c_1$  = 393 d
- $d_3$  = 0,3 m
- $kD_2$  = 150 m<sup>2</sup>/d
- $(k_2$  = 15,0 m/d;
- $d_4$  = 10 m)
- $c_2$  = 1257 d
- $d_5$  = 13 m

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 67%		Golvend landschap areaal: 31%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *met* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 107 m

$L_{>3m}$  = 467 m

$L_{>3m}$  = 467 m

$L_{tot}$  = 467 m

$L_{tot}$  = 83 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### *Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60 %.

#### *Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Binnen hydrotype 51 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

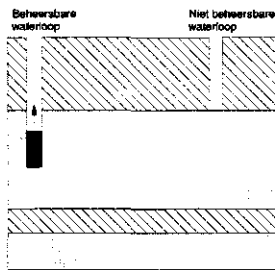
#### *Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

## Staalkaart hydrotype 52

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



### Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 117 \text{ d}$$

$$d_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$kD_1 = 112 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_b = 14,0 \text{ m/d;}$$

$$d_2 = 8,0 \text{ m)}$$

$$c_1 = 335 \text{ d}$$

$$d_3 = 1,9 \text{ m}$$

$$kD_2 = 700 \text{ m}^2/\text{d}$$

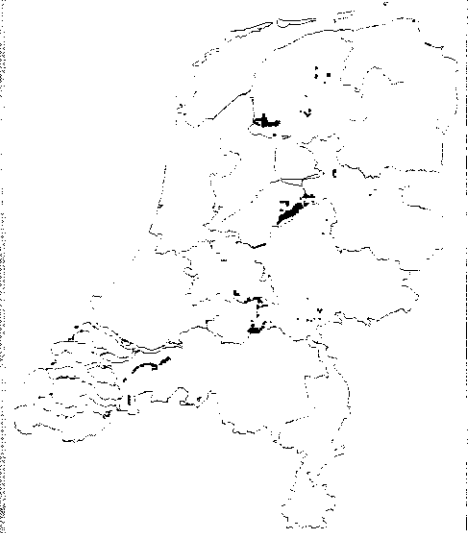
$$(k_b = 25,9 \text{ m/d;}$$

$$d_4 = 27 \text{ m)}$$

$$c_2 = 2498 \text{ d}$$

$$d_5 = 9 \text{ m}$$

(zie paragraaf 3.4)



### Geomorfologische kenmerken van dominante kaartenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 66%		Golvend landschap areaal: 30%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 133 m

$L_{>3m}$  = 534 m

$L_{>3m}$  = 534 m

$L_{tot}$  = 534 m

$L_{tot}$  = 112 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### *Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60%.

#### *Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Binnen hydrotype 52 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

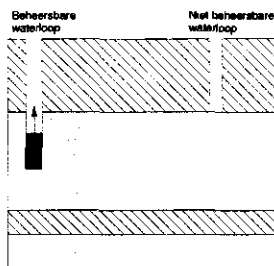
#### *Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

## Staalkaart hydrotype 53

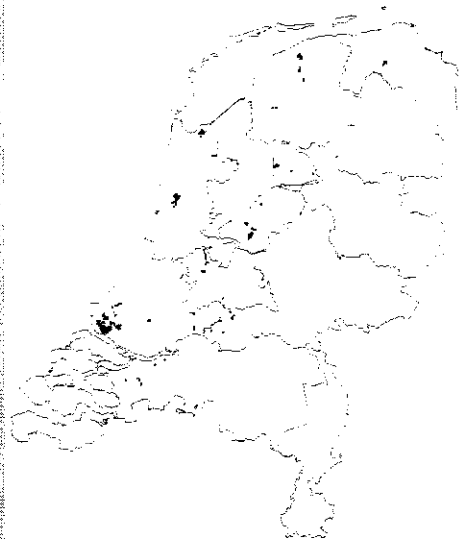
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



### Waarden geohydrologische parameters

$c_0$	= 229 d
$d_1$	= 1,4 m
$kD_1$	= 0,7 m <sup>2</sup> /d
$(k_h)$	= 1,0 m/d;
$d_2$	= 0,7 m)
$c_1$	= 2163 d
$d_3$	= 18 m
$kD_2$	= 520 m <sup>2</sup> /d
$(k_h)$	= 27,4 m/d;
$d_4$	= 19 m)
$c_2$	= 1624 d
$d_5$	= 10 m

(zie paragraaf 3.4)



### Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 73%		Golvend landschap areaal: 24%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 138 m

$L_{>3m}$  = 392 m

$L_{>3m}$  = 392 m

$L_{tot}$  = 392 m

$L_{tot}$  = 101 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### *Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect aanzienlijk, namelijk groter dan 60%.

#### *Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Binnen hydrotype 53 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

#### *Gebiedseffect*

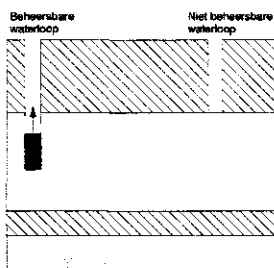
Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.



# Staalkaart hydrotype 54

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 200 \text{ d}$$

$$d_1 = 1,3 \text{ m}$$

$$kD_1 = 219 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_s = 18,3 \text{ m/d;}$$

$$d_2 = 11,9 \text{ m)}$$

$$c_1 = 810 \text{ d}$$

$$d_3 = 4,5 \text{ m}$$

$$kD_2 = 557 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_s = 27,9 \text{ m/d;}$$

$$d_4 = 20 \text{ m)}$$

$$c_2 = 2082 \text{ d}$$

$$d_5 = 6,6 \text{ m}$$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 66%		Golvend landschap areaal: 28%	
helling (%)	correctiefactor	hoogteverschil (m)	correctiefactor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

#### Slootafstanden:

zomershelfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 132 m

$L_{>3m}$  = 638 m

$L_{>3m}$  = 638 m

$L_{tot}$  = 638 m

$L_{tot}$  = 109 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### Effect op grondwaterstand

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60 %.

#### Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).

Binnen hydrotype 54 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

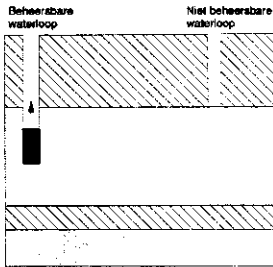
#### Gebiedseffect

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 55

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 5,5 \text{ d}$$

$$d_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$kD_1 = 2,4 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_1 = 1,1 \text{ m/d};$$

$$d_2 = 2,1 \text{ m})$$

$$c_1 = 371 \text{ d}$$

$$d_3 = 0,3 \text{ m}$$

$$kD_2 = 4940 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_2 = 22,8 \text{ m/d};$$

$$d_4 = 217 \text{ m})$$

$$c_2 = 15000 \text{ d}$$

$$d_5 = 30 \text{ m}$$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied	
areaal: 83%	
helling (%)	correctiefactor
-	1,0
↓	↓
0,55	0,18

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhaljaar

winterhaljaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 148 m

$L_{>3m}$  = 981 m

$L_{>3m}$  = 981 m

$L_{tot}$  = 981 m

$L_{tot}$  = 131 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

*Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk 60 %.

*Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie)*

Binnen hydrotype 55 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot, maar kleiner dan bij hydrotype 51.

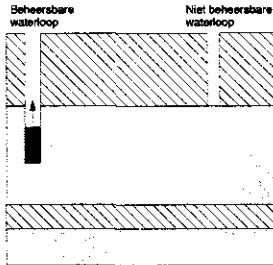
*Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 56

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 171 \text{ d}$$

$$d_1 = 1,1 \text{ m}$$

$$kD_1 = 85 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_h = 12,1 \text{ m/d;}$$

$$d_2 = 7,0 \text{ m)}$$

$$c_1 = 285 \text{ d}$$

$$d_3 = 1,3 \text{ m}$$

$$kD_2 = 1502 \text{ m}^2/\text{d}$$

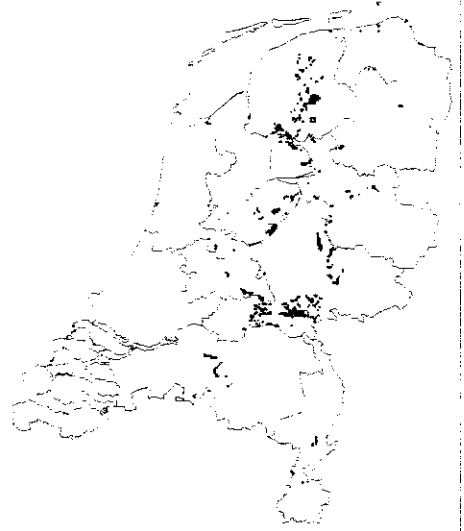
$$(k_h = 25,0 \text{ m/d;}$$

$$d_4 = 60 \text{ m)}$$

$$c_2 = 33500 \text{ d}$$

$$d_5 = 10 \text{ m}$$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 53%		Golvend landschap areaal: 34%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
—	1,0	0,5	1,0
1	1	1	1
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 136 m

$L_{>3m}$  = 595 m

$L_{>3m}$  = 595 m

$L_{tot}$  = 595 m

$L_{tot}$  = 112 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### *Effect op grondwaterstand*

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60 %.

#### *Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).*

Binnen hydrotype 56 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

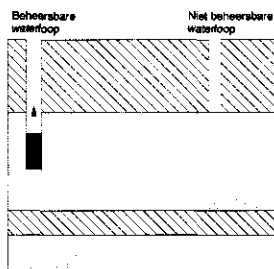
#### *Gebiedseffect*

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 57

Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



## Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 6,3 \text{ d}$$

$$d_1 = 1,9 \text{ m}$$

$$kD_1 = 2,8 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_h = 1,0 \text{ m/d};$$

$$d_2 = 2,8 \text{ m})$$

$$c_1 = 3695 \text{ d}$$

$$d_3 = 0,3 \text{ m}$$

$$kD_2 = 4803 \text{ m}^2/\text{d}$$

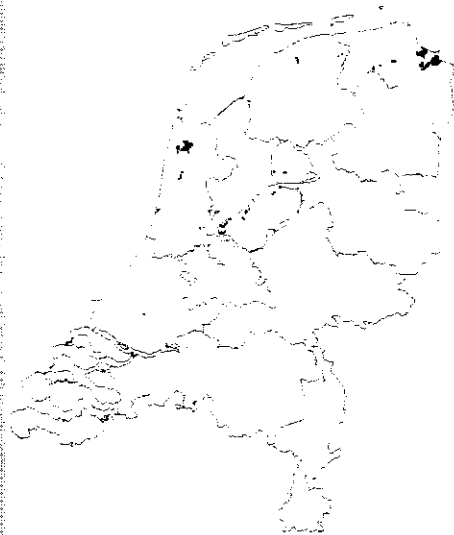
$$(k_h = 19,8 \text{ m/d};$$

$$d_4 = 242 \text{ m})$$

$$c_2 = 19900 \text{ d}$$

$$d_5 = 40 \text{ m}$$

(zie paragraaf 3.4)



Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 82%		Golvend landschap areaal: 18%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

#### Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{>3m}$  = 880 m

$L_{tot}$  = 880 m

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = 224 m

$L_{>3m}$  = 880 m

$L_{tot}$  = 135 m

### Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

#### Effect op grondwaterstand

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60 %.

#### Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).

Binnen hydrotype 57 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot, maar kleiner dan bij hydrotype 53.

#### Gebiedseffect

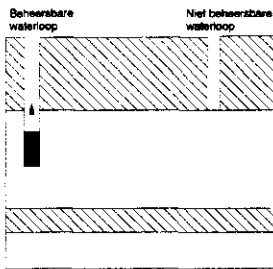
Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.



## Staalkaart hydrotype 58

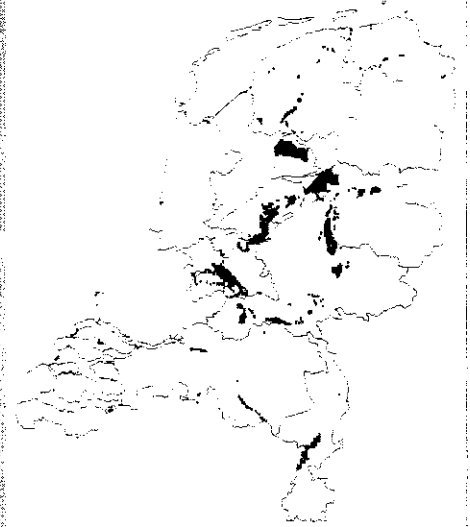
Berekend met gedeeltelijk aangepaste versie van het Modflow-model van hydrotype 31



### Waarden geohydrologische parameters

$c_0$	= 200 d
$d_1$	= 1,6 m
$kD_1$	= 318 m <sup>2</sup> /d
$(k_s$	= 19,4 m/d;
$d_2$	= 16,4 m)
$c_1$	= 1140 d
$d_3$	= 6,1 m
$kD_2$	= 1407 m <sup>2</sup> /d
$(k_s$	= 22,0 m/d;
$d_4$	= 64 m)
$c_2$	= 95100 d
$d_5$	= 16 m

(zie paragraaf 3.4)



### Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 62%		Golvend landschap areaal: 30%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen met gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar		winterhalfjaar	
$L_{<3m}$	= droog	$L_{<3m}$	= 152 m
$L_{>3m}$	= 669 m	$L_{>3m}$	= 669 m
$L_{tot}$	= 669 m	$L_{tot}$	= 125 m

## Effect op grondwaterstand op 30 meter afstand van beheersbare waterloop, 31 dagen na 0,5 m verhoging van oppervlaktewaterstand

### Effect op grondwaterstand

Bij een oppervlaktewatersysteem dat overeenkomt met dat van hydrotype 31 is het effect betrekkelijk groot, namelijk groter dan 60%.

### Lengte beheersbare waterlopen (correctie topografie).

Binnen hydrotype 58 is veelal sprake van relatief vlakke gebieden, en is de lengte aan beheersbare waterlopen (breder dan 3 m) betrekkelijk groot.

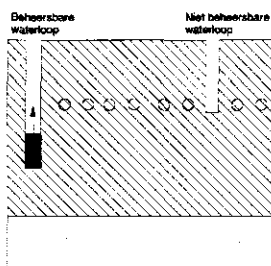
### Gebiedseffect

Het effect op de grondwaterstand op 30 m afstand van beheersbare waterlopen is vrij groot.

In relatief vlakke gebieden met veel beheersbare waterlopen biedt conservering perspectief.

# Staalkaart hydrotype 61

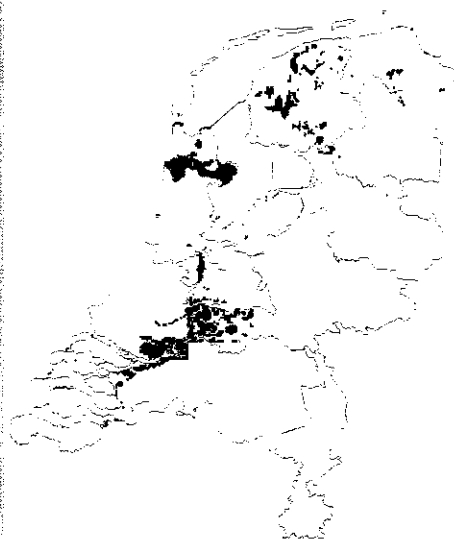
(geen berekeningen uitgevoerd)



## Waarden geohydrologische parameters

$c_0$	= 13 d
$d_1$	= 3,1 m
$kD_1$	= 3,5 m <sup>2</sup> /d
$(k_h$	= 1,0 m/d;
$d_2$	= 3,5 m)
$c_1$	= 871 d
$d_3$	= 0,3 m
$kD_2$	= 632 m <sup>2</sup> /d
$(k_h$	= 23,4 m/d;
$d_4$	= 27 m)

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 57%		Golvend landschap areaal: 37%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie; geen informatie over drainage)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{< 3 m}$  = droog

$L_{> 3 m}$  = 455 m

$L_{tot}$  = 455 m

winterhalfjaar

$L_{< 3 m}$  = 102 m

$L_{> 3 m}$  = 455 m

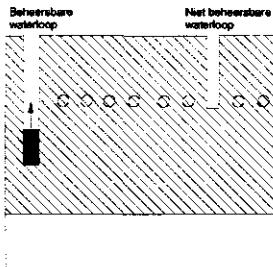
$L_{tot}$  = 81 m

### Effect op de grondwaterstand ten gevolge van verhoging van de oppervlaktewaterstand

Voor dit hydrotype zijn geen berekeningen uitgevoerd. Wegens de doorgaans lage doorlatendheid en de grote dikte van de deklaag is op veel locaties drainage aangebracht.

# Staalkaart hydrotype 62

(geen berekeningen uitgevoerd)



## Waarden geohydrologische parameters

$$c_0 = 1750 \text{ d}$$

$$d_f = 7,7 \text{ m}$$

$$kD_1 = 388 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_h = 20,6 \text{ m/d};$$

$$d_2 = 18,8 \text{ m})$$

$$c_1 = 1323 \text{ d}$$

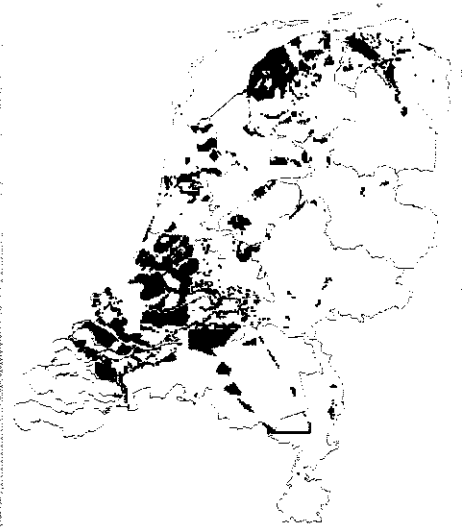
$$d_3 = 10,0 \text{ m}$$

$$kD_2 = 1686 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$(k_h = 10,6 \text{ m/d};$$

$$d_5 = 159 \text{ m})$$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 57%		Golvend landschap areaal: 36%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
—	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie; geen informatie over drainage)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{>3m}$  = 529 m

$L_{tot}$  = 529 m

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = 129 m

$L_{>3m}$  = 529 m

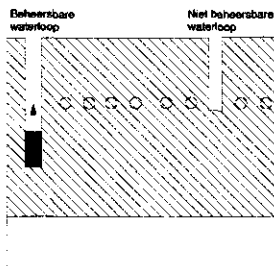
$L_{tot}$  = 101 m

### Effect op de grondwaterstand ten gevolge van verhoging van de oppervlaktewaterstand

Voor dit hydrotype zijn geen berekeningen uitgevoerd. Wegens de doorgaans lage doorlatendheid en de grote dikte van de deklaag is op veel locaties drainage aangebracht.

# Staalkaart hydrotype 63

(geen berekeningen uitgevoerd)



## Waarden geohydrologische parameters

- $c_0$  = 19,7 d
- $d_1$  = 5,9 m
- $kD_1$  = 8,9 m<sup>2</sup>/d
- $(k_h$  = 1,0 m/d;
- $d_2$  = 8,9 m)
- $c_1$  = 5221 d
- $d_3$  = 0,3 m
- $kD_2$  = 309 m<sup>2</sup>/d
- $(k_h$  = 19,3 m/d;
- $d_3$  = 16 m)

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 89%		Golvend landschap areaal: 11%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	1	1	1
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie; geen informatie over drainage)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{>3m}$  = 1859 m

$L_{tot}$  = 1859 m

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = 183 m

$L_{>3m}$  = 1859 m

$L_{tot}$  = 157 m

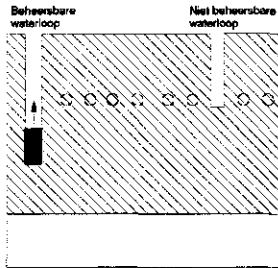
### Effect op de grondwaterstand ten gevolge van verhoging van de oppervlaktewaterstand

Voor dit hydrotype zijn geen berekeningen uitgevoerd. Wegens de doorgaans lage doorlatendheid en de grote dikte van de deklaag is op veel locaties drainage aangebracht.



# Staalkaart hydrotype 64

(geen berekeningen uitgevoerd)



## Waarden geohydrologische parameters

- $c_0$  = 1400 d
- $d_1$  = 5,0 m
- $kD_1$  = 1909 m<sup>2</sup>/d
- ( $k_h$  = 26,5 m/d;
- $d_2$  = 72 m)
- $c_1$  = 20000 d
- $d_3$  = 26,5 m
- $kD_2$  = 1281 m<sup>2</sup>/d
- ( $k_h$  = 22,5 m/d;
- $d_4$  = 57 m)

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 46%		Golvend landschap areaal: 28%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
↓	↓	↓	↓
0,55	0,18	1,5	0,73

### Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewaterstelsel

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie; geen informatie over drainage)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

winterhalfjaar

$L_{<3m}$  = droog

$L_{<3m}$  = 210 m

$L_{>3m}$  = 1420 m

$L_{>3m}$  = 1420 m

$L_{tot}$  = 1420 m

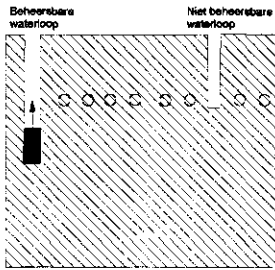
$L_{tot}$  = 166 m

### Effect op de grondwaterstand ten gevolge van verhoging van de oppervlaktewaterstand

Voor dit hydrotype zijn geen berekeningen uitgevoerd. Wegens de doorgaans lage doorlatendheid en de grote dikte van de deklaag is op veel locaties drainage aangebracht.

# Staalkaart hydrotype 70

(geen berekeningen uitgevoerd)



**Waarden  
geohydrologische  
parameters**

$c_0 = 5558 d$   
 $d_i = 15 m$

(zie paragraaf 3.4)



## Geomorfologische kenmerken van dominante kaarteenheden, en de hiermee geassocieerde correctiefactoren ter bepaling van de beheersbare lengte van grote waterlopen

Hellend gebied areaal: 76%		Golvend landschap areaal: 17%	
helling (%)	correctie- factor	hoogte- verschil (m)	correctie- factor
-	1,0	0,5	1,0
1	1	1	1
0,55	0,18	1,5	0,73

## Kenmerkende eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem

(Slootafstanden afkomstig uit Top10-vectorbestanden; beheersbare lengtes van grote waterlopen *niet* gecorrigeerd op topografie)

Slootafstanden:

zomerhalfjaar

$L_{<1m} = \text{droog}$

$L_{>1m} = 427 m$

$L_{tot} = 427 m$

winterhalfjaar

$L_{<1m} = 153 m$

$L_{>1m} = 427 m$

$L_{tot} = 106 m$

### **Effect op de grondwaterstand ten gevolge van verhoging van de oppervlaktewaterstand**

Voor dit hydrotype zijn geen berekeningen uitgevoerd. Wegens de doorgaans lage doorlatendheid en de grote dikte van de deklaag is op veel locaties drainage aangebracht.