

Drainagevergunningen

**Methodiek voor de beoordeling van aanvragen voor de aanleg van
buisdrainage**

**J.W.J. van der Gaast
L.C.P.M. Stuyt**

Alterra-rapport 012

ALTEERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

Gaast, J.W.J. van der en L.C.P.M. Stuyt, 2000. *Drainagevergunningen; Methodiek voor de beoordeling van aanvragen voor de aanleg van buisdrainage*. Wageningen, ALTERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 012. 52 blz. 8 fig.; 1 tab.; 31 ref.

Voor het beoordelen van vergunningaanvragen voor buisdrainage is in het kader van dit onderzoek een methodiek ontwikkeld voor de bepaling van de waterhuishoudkundige effecten van de aanleg van buisdrainage. Naast de methodiekontwikkeling is een GIS-applicatie ontwikkeld voor de berekening van de hydrologische invloed op de omgeving van het te draineren perceel. Deze GIS-applicatie berekent de afstand tot een bepaalde grondwaterstandsverlaging rondom het te draineren perceel. Vervolgens wordt op basis van de berekende afstanden een verdrogingskaart gegenereerd. Op basis van de bepaalde effecten op perceelsniveau en de uitstralingseffecten kan een aanvraag voor drainage beoordeeld worden.

Trefwoorden: Afvoer, drainage, drainageweerstand, spreidingslengte, vergunningverlening.

ISSN 0927-4499

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 012. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 ALTERRA Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.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 ALTERRA.

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

ALTERRA is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie gaat in op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Probleem- en doelstelling	12
2 Theoretische achtergrond	13
2.1 Relatie grondwater oppervlaktewater	13
2.1.1 Drainageweerstand	13
2.1.2 Spreidingslengte	17
2.1.3 Voedingsweerstand	18
2.2 Aannames en uitgangspunten	19
2.3 Effect op perceelsniveau	20
2.3.1 Drainageontwerp	22
2.3.2 Piekafvoer	24
2.3.3 Grondwateraanvulling en kwel	24
2.4 Ruimtelijke beïnvloeding	25
3 De PC-Applicatie voor de berekening van het effect van nieuwe drainage	31
3.1 Installatie	31
3.2 Dichtheid Waterlopen	33
3.3 Drainageweerstand	37
3.4 Beïnvloedingsberekening	38
4 De beoordelingsprocedure	41
4.1 De beoordelingsprocedure stapsgewijs	41
4.2 Discussie	42
Literatuur	45
Aanhangsels	
1 Horizontale weerstand voor een vier lagen profiel (Ernst, 1963)	49
2 De verhouding tussen de maximale opbolling en de gemiddelde opbolling is de vormfactor, welke wordt gedefinieerd als (Ernst, 1983)	51

Woord vooraf

Waterschap Mark en Weerijns heeft in samenwerking met een aantal andere waterschappen in de provincie en de provincie Noord-Brabant, Alterra verzocht een methodiek te ontwikkelen om aanvragen voor drainagevergunningen te kunnen beoordelen.

Projectleider van het onderzoek was dr. ir. L.C.P.M. Stuyt. Het onderzoek is uitgevoerd door drs. ing. J.W.J. van der Gaast. De studie is begeleid door een begeleidingsgroep bestaande uit de volgende personen:

L.C.P.M. Stuyt	Alterra
P.J.T. van Bakel	Alterra
M. Mulders	Waterschap Mark en Weerijns
J. Rombouts	Waterschap Mark en Weerijns
W. van der Meer	Dienst Landelijk Gebied
C. Geujen	Provincie Noord-Brabant
F. Helmich	Provincie Noord-Brabant
A. van de Looy	Waterschap de Dommel

Samenvatting

In de provincie Noord-Brabant is het waterhuishoudkundig beleid onder meer gericht op het voorkomen van achteruitgang en zo mogelijk herstel van de aquatische en terrestrische ecosystemen. Volgend hierop is een terughoudend beleid van de waterschappen t.a.v. het verlenen van vergunningen voor aanleg van buisdrainage op landbouwbedrijven.

Bij de waterschappen worden regelmatig aanvragen voor (her)aanleg van drainage ingediend. Bij elke aanvraag voor vergunning tot aanleg van drainage moet het waterschap een beslissing nemen: weigering of daadwerkelijk verlenen. Voor de beoordeling van een aanvragen willen de waterschappen zich snel een goed eenduidig beeld kunnen vormen van het effect van een aangevraagde drainage. Voor de bepaling van effecten op de waterhuishouding is het van belang informatie te krijgen over de hydrologische invloed van de aanleg van de drainage op het perceel en in de omgeving, uitgedrukt in veranderingen in de voorjaarsgrondwaterstand, de kwelintensiteit en de afvoer.

In dit project is voor het beheersgebied van waterschap Mark en Weerijns (M&W), in nauw overleg met de Dienst Landelijk Gebied (DLG), de provincie Noord-Brabant en waterschap de Dommel een GIS-applicatie ontwikkeld. Deze GIS-applicatie berekent de afstand met een bepaalde grondwaterstandsverlaging tot het te draineren perceel. Vervolgens wordt op basis van de berekende afstanden een verdrogingskaart gegenereerd.

Bij de bepaling van de effecten van drainage kan gekeken worden naar de effecten binnen een te draineren perceel of de effecten op de omgeving. Voor beide effecten speelt de relatie grondwater-oppervlaktewater een belangrijke rol. Voor het kwantificeren van deze relatie is gebruik gemaakt van analytische oplossingsmethoden. De drainageweerstand is bepaald met de formule van Ernst. Voor de bepaling van de ruimtelijke effecten is gebruik gemaakt van de formules van Mazure, welke voor deze toepassing zijn aangepast.

De binnen dit project ontwikkelde ArcView-applicatie kan gebruikt worden voor de bepaling van de effecten op de omgeving van een te draineren perceel. In de applicatie zijn de volgende stappen te onderscheiden:

- Bepaling van de slootdichtheid;
- Berekening van de drainageweerstand (Ernst);
- Berekening van de ruimtelijke verlagingseffecten (Mazure).

Op basis van de bepaalde effecten op perceelsniveau en de uitstralingseffecten kan een aanvraag voor drainage beoordeeld worden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de provincie Noord-Brabant is het waterhuishoudkundig beleid onder meer gericht op het voorkomen van achteruitgang en zo mogelijk herstel van de aquatische en terrestrische ecosystemen. Volgend hierop is een terughoudend beleid van de waterschappen t.a.v. het verlenen van vergunningen voor aanleg van buisdrainage op landbouwbedrijven. De waterschappen beoordelen aanvragen voor vergunningen voor drainages op basis van informatie die ontleend wordt aan de bodemkaart, de Gt en de hoogtekaart. Het waterschap moet kunnen aangeven welke verlaging van de grondwaterstand binnen de percelen en in de omgeving van de te draineren percelen nog acceptabel is.

Aanvragen voor drainagevergunningen worden door waterschappen op verschillende manieren afgehandeld. Als voorbeeld worden de handelswijze van waterschap de Dommel en waterschap Mark en Weerijts behandeld:

1. *Waterschap de Dommel*

- *Waterschap de Dommel* let in de GHS (Groene HoofdStructuur) vooral op uitstralingseffecten van drainages op de omgeving, in het bijzonder op gevoelige natuurgebieden. Men redeneert als volgt. In de natte GHS liggen landbouwgronden en natuurgronden. Het waterschap maakt een schatting van het effect van een nieuwe drainage van een perceel binnen de natte GHS op een nabijgelegen natuurterrein, en neemt dan een beslissing over de vergunningaanvraag.
- Drainages buiten de GHS (=binnen de Agrarische HoofdStructuur (AHS)) zijn ontheffingsplichtig. In principe worden ontheffingen verleend.

2. *Waterschap Mark en Weerijts*

- *Waterschap Mark en Weerijts* gebruikt als uitgangspunt in de GHS, minimaal een handhaving van een 'standstill' van de verdroging, en maximaal een volledig herstel van grondwaterstanden en kwelsituatie. Het standpunt van M&W luidt, kort samengevat: 'in principe niet, tenzij compensatie wordt geboden, of de continuïteit van het bedrijf in gevaar komt'. Vervanging van bestaande drainage is slechts toegestaan indien de oude drainage niet meer werkt. Aanvragen voor nieuwe drainage worden alleen gehonoreerd indien er geen negatief effect op het 'standstill'-principe optreden. Bij de beoordeling wordt gekeken naar het negatieve effect van drainage op het perceel. Hierbij vindt toetsing van eventuele negatieve effecten op de grondwaterstand, kwel en de piekafvoer plaats. Positieve effecten van compenserende maatregelen worden eveneens bij de toetsing meegenomen.
- Drainages buiten de GHS (=binnen de Agrarische HoofdStructuur (AHS)) zijn ontheffingsplichtig. In principe worden ontheffingen in de AHS afgegeven.

Bij de waterschappen worden regelmatig aanvragen voor (her)aanleg van drainage ingediend. Bij elke aanvraag voor vergunning tot aanleg van drainage moet het waterschap een beslissing nemen: weigering of daadwerkelijk verlenen. De waterschappen willen, wanneer zij een vergunning weigeren, dit goed kunnen motiveren. Het waterschap moet hiertoe over goed onderbouwde analyseresultaten beschikken om bij eventuele juridische procedures sterk te staan, zonder steeds weer een locatieonderzoek te hoeven uitvoeren.

1.2 Probleem- en doelstelling

De waterschappen willen zich snel een goed eenduidig beeld kunnen vormen van het effect van een aangevraagde drainage. Bij de bepaling van mogelijke effecten op de waterhuishouding is het van belang informatie te krijgen over de hydrologische invloed van de aanleg van de drainage op het perceel en in de omgeving, uitgedrukt in veranderingen in de voorjaarsgrondwaterstand, de kwelintensiteit en de afvoer.

Waterschap Mark en Weerij (M&W) heeft in samenwerking met een aantal andere waterschappen in de provincie en de provincie Noord-Brabant, Alterra verzocht een methodiek te ontwikkelen om voor het beheersgebied op een snelle manier en voor alle partijen inzichtelijk, een aanvraag voor een drainagevergunning te kunnen beoordelen. Het doel van dit onderzoek was in eerste instantie het ontwikkelen van een set vuistregels waarmee aanvragen voor drainagevergunningen op inhoudelijk gefundeerde, en dus solide wijze kunnen worden afgehandeld. In de loop van het proces is veel kennis over drainage op tafel gekomen. Op basis van deze kennis is door alle betrokkenen besloten niet een set vuistregels te ontwikkelen, maar een door Alterra ontwikkelde computerapplicatie, met vergelijkbare functionaliteit, uit te breiden en voor de door de opdrachtgevers gewenste doelstelling geschikt te maken. Tijdens het project is geconstateerd dat, het werken met vuistregels in combinatie met de beschikbare gegevens onvoldoende mogelijkheden biedt om op perceelsniveau uitspraken te kunnen doen omtrent de effecten van drainage.

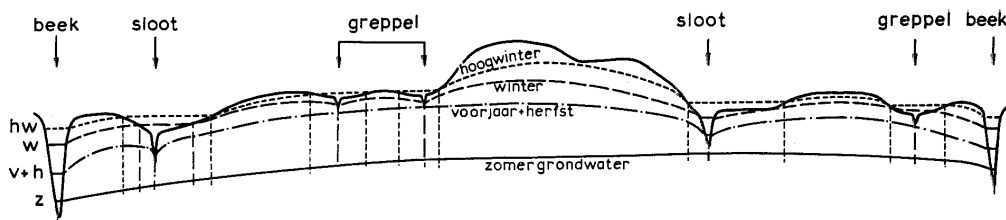
In dit project is voor het beheersgebied van waterschap Mark en Weerij, in nauw overleg met DLG, de provincie Noord-Brabant en waterschap de Dommel een computerapplicatie ontwikkeld. Deze GIS-applicatie berekent de afstand tot een bepaalde grondwaterstandsverlaging rondom het te draineren perceel. Vervolgens wordt op basis van de berekende afstanden een verdrogingskaart gegenereerd. Het is de bedoeling dat deze applicatie op termijn een generiek karakter krijgt, waardoor ze ook door andere waterschappen in de provincie Noord-Brabant gebruikt zal kunnen worden. Uiteindelijk wordt gestreefd naar een methodiek die 'Brabant-breed' en wellicht landelijk kan worden toegepast.

2 Theoretische achtergrond

2.1 Relatie grondwater oppervlaktewater

Een waterlopenstelsel fungeert als middel om bepaalde doelstellingen met betrekking tot het bodemgebruik te realiseren. In perioden met een neerslagoverschot moet het stelsel de overtollige hoeveelheid water afvoeren en in perioden met een verdampingoverschot moet, indien mogelijk, wateraanvoer plaatsvinden. Het waterlopenstelsel dient dus om de aan- en afvoer van water zodanig te reguleren, dat er een op het bodemgebruik afgestemde optimale grondwatersituatie ontstaat.

Van ontwatering is sprake, indien overtollig water aan de grond wordt onttrokken. De ontwateringsmiddelen die hiertoe, al dan niet in combinatie, kunnen worden toegepast zijn greppels, buisdrainages, perceel- en kavelsloten. Onder natte omstandigheden zijn alle ontwateringsmiddelen watervoerend. De ontwateringsafstand en de drainageweerstand is hierdoor relatief gering. In drogere omstandigheden kan het detailontwateringsstelsel droogvallen, waardoor de ontwateringsafstand en de drainageweerstand toenemen. In onderstaande figuur is voor een hellend gebied, het effect van de grondwaterstand op de ontwateringsafstand schematisch weergegeven (figuur 1).



Figuur 1. Verkleining van de ontwateringsafstand bij stijgend grondwaterpeil (naar Bon, 1968)

2.1.1 Drainageweerstand

De drainageweerstand is gedefinieerd als de weerstand tegen de grondwaterstroming naar open of gesloten leidingen, te berekenen als de quotiënt van de opbolling en de specifieke grondwaterafvoer bij stationaire stroming (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, 1986). Hierbij wordt uitgegaan van de maximale opbolling midden tussen de sloten en een grondwaterafvoer per eenheid van oppervlakte van het stroomgebied:

$$c_d = \frac{m}{q} \quad (1)$$

waarin:

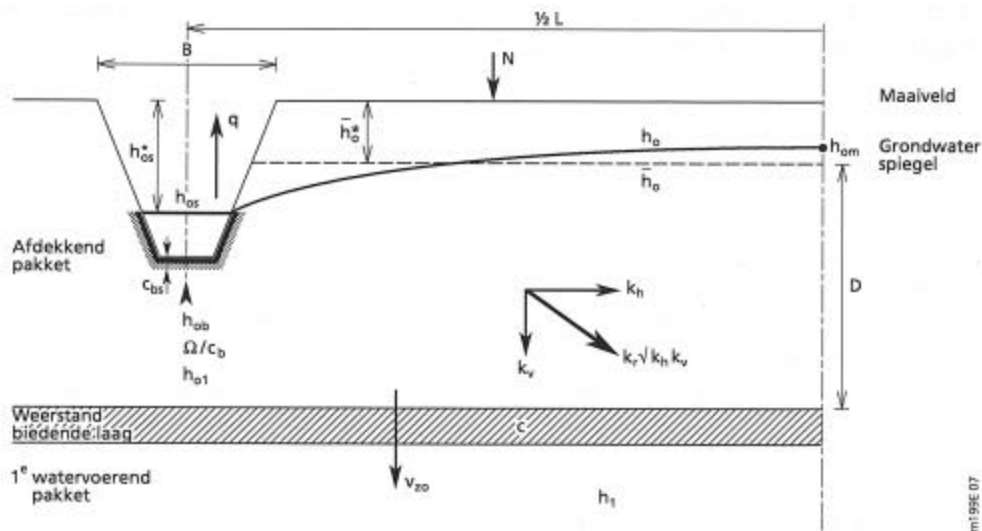
- c_d : drainageweerstand (d)
- m : opbolling (m)
- q : specifieke afvoer (m/d)

Bij de berekening van de grootte van de drainageweerstand kan uitgegaan worden van de formule van Ernst (Ernst, 1962; 1983; Wit et al., 1991; Drecht, 1997). In de drainageformule van Ernst is een verticale, een horizontale en een radiale weerstandscomponent te onderscheiden. Aan deze stromingscomponenten wordt een intreeweerstand toegevoegd. In figuur 2 zijn de hydrologische grootheden weergegeven waaruit de drainageweerstand berekend kan worden. De totale drainageweerstand (c_d) is dus samengesteld uit maximaal vier weerstandscomponenten:

$$c_d = c_v + c_h + c_r + c_i \quad (2)$$

waarin:

- c_d : drainageweerstand (d)
- c_v : verticale weerstand (d)
- c_h : horizontale weerstand (d)
- c_r : radiale weerstand (d)
- c_i : intreeweerstand (d)



Figuur 2 Hydrologische grootheden voor de berekening van de drainageweerstand (naar Wit et al., 1991; Massop en de Wit, 1994)

Verticale weerstand

De weerstand tegen verticale verzadigde grondwaterstroming in de toplaag boven de ontwateringsbasis is gedefinieerd als:

$$c_v = \frac{D_1^*}{k_{1v}} \quad (3)$$

waarin:

c_v	: verticale weerstand	(d)
D_l^*	: laagdikte boven drainniveau	(m)
k_{lv}	: verticale doorlaatfactor van de laag boven drainniveau	(m/d)

Horizontale weerstand

De weerstand tegen horizontale stroming in de bodem wordt bepaald door het doorlaatvermogen van de ondergrond en de afstand tussen de ontwateringsmiddelen. Deze weerstand is voor een situatie met één watervoerend pakket als volgt gedefinieerd:

$$c_h = \frac{L^2}{8 \sum k_h D} \quad (4)$$

waarin:

c_h	: horizontale weerstand	(d)
L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)
k_h	: horizontale doorlaatfactor	(m/d)
D	: laagdikte	(m)

Voor een situatie met twee watervoerende pakketten gescheiden door een slechtdoorlatende laag is de bepaling van de horizontale weerstand veel complexer (Aanhangsel 1).

Radiale weerstand

In de nabijheid van ontwateringsmiddelen is de grondwaterstroming radiaal. Het convergeren van de stroomlijnen heeft een extra weerstand tot gevolg. Ernst geeft voor de radiale weerstand de volgende formule:

$$c_r = L \Omega = L \left(\frac{1}{p k_r} \ln \frac{f D_r}{B} \right) \quad (5)$$

met:

$$k_r = \sqrt{k_h k_v} \quad (6)$$

waarin:

c_r	: radiale weerstand	(d)
L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)
Ω	: radiale weerstandscomponent	(d/m)
k_r	: radiale doorlaatfactor	(m/d)
k_h	: horizontale doorlaatfactor	(m/d)
k_v	: verticale doorlaatfactor	(m/d)
D_r	: laagdikte waarover radiale stroming plaatsvindt	(m)
f	: geometriefactor	(-)
B	: natte omtrek van drain of sloot	(m)

De waarde van de geometriefactor (coëfficiënt f) hangt af van de vorm van de waterloop. Bij brede ondiepe leidingen is de f -waarde 1. Indien de vorm van de natte

omtrek van de waterloop een cirkelvorm benadert, dan geldt voor de f -waarde $f = 4/p$.

Intreeweerstand

De intreeweerstand tegen stroming door de bodem van de sloot, als gevolg van een sliblaag, wordt gedefinieerd als:

$$c_i = L \frac{c_{bs}}{B} \quad (7)$$

waarin:

c_i	: intreeweerstand	(d)
L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)
c_{bs}	: intreeweerstand	(d)
B	: natte omtrek van drain of sloot	(m)

De vier componenten tezamen vormen de drainageweerstand (formule 2). De op deze wijze bepaalde drainageweerstand is de weerstand die geldt voor de maximale opbolling. Om rekening te kunnen houden met eventuele kwel/wegzijing is niet de maximale maar de gemiddelde opbolling van belang. De verhouding tussen de maximale opbolling en de gemiddelde opbolling is de vormfactor (Ernst, 1983; Aanhangsel 2). Indien uitgegaan wordt van de gemiddelde opbolling geldt de volgende formule:

$$c_d^* = a c_d \quad (8)$$

waarin:

c_d^*	: vlakgemiddelde drainageweerstand	(d)
a	: vormfactor	(-)
c_d	: drainageweerstand	(d)

De vraag is echter over welke diepte de grondwaterstroming naar de ontwateringsmiddelen plaatsvindt. Volgens Hooghoudt (De Vries, 1974) is de maximale diepte tot waar een homogene en isotrope aquifer bijdraagt aan de afvoer:

$$D = \frac{1}{4} L \quad (9)$$

waarin:

D	: laagdikte	(m)
L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)

Ook Ernst (1956) geeft een vereenvoudiging van de drainageformule voor zeer dikke watervoerende pakketten. Voor pakketten die dikker zijn dan $\frac{1}{4} L$ geldt de volgende formule, welke identiek is met de formule voor de radiale weerstand:

$$c_d = L \Omega = L \left(\frac{1}{p k_r} \ln \frac{f D_r}{B} \right) \quad (10)$$

Voor zeer dunne watervoerende pakketten direct op de hydrologische basis geldt de aanname (van Dupoit-Forchheimer (Ritzema, 1994)) dat de laagdikte (D), waarin de

stroming plaatsvindt, bij benadering constant is niet meer. In dit geval moet men rekening houden met een variabele laagdikte (Rothe, 1924).

Echter, in de meeste gevallen is de bodem niet homogeen tot een diepte D boven de hydrologische basis. In deze gevallen kan gebruik gemaakt worden van de formules van Ernst, waarbij de ondergrens bepaald wordt door een ondoorlatende of slecht doorlatende laag met een verbreiding in de orde van L .

2.1.2 Spreidingslengte

Mazure (1936) vond in het onderzoek in de Wieringermeer dat er een reductie van de kwel optreedt bij toename van de afstand tot de toenmalige Zuiderzeedijk. *“Er bleek een reductiefactor op te treden, welke een functie was van de verhouding van den straal R van den dijk en een lengte $?$, welke wordt bepaald door de eigenschappen van den ondergrond en de bovenlaag en gelijk is aan \sqrt{kDc} .”* De spreidingslengte (?) is dus een maat voor de invloedsafstand van peilverschillen en kan gebruikt worden om de invloed van peilveranderingen op de grondwaterstroming te bepalen. De spreidingslengte kan ook gebruikt worden als maat voor de herkomst van onttrokken of aangevoerd water (Mazure, 1936; Kruseman en De Ridder, 1970; TNO, 1964). De spreidingslengte (?) is gedefinieerd als de wortel uit het quotiënt van het doorlaatvermogen van een watervoerende laag en de som van de lekvermogens¹ van begrenzende slecht doorlatende lagen (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, 1986):

$$l = \sqrt{kDc} \quad (11)$$

waarin:

λ	: spreidingslengte	(m)
k	: doorlaatfactor	(m/d)
D	: laagdikte	(m)
c	: weerstand van het afdekkende pakket	(d)

Bij veel hydrologische vraagstukken is men echter naast kwelveranderingen ook geïnteresseerd in veranderingen in de freatische grondwaterstand als gevolg van hydrologische ingrepen. Voor de bepaling van de invloed van peilveranderingen, als gevolg van hydrologische ingrepen is het niet voldoende om alleen gebruik te maken van de spreidingslengte, maar moet men ook rekening houden met de drainageweerstand. De effecten van hydrologische ingrepen op de freatische grondwaterstand kunnen alleen bepaald worden, indien naast de kD - en c -waarden ook de drainageweerstand wordt meegenomen in de vorm van een vervangende c -waarde.

¹ Het lekvermogen is een maat voor het vermogen van een slecht doorlatende laag om water door te laten. Het lekvermogen is gelijk aan de reciproke van de verticale weerstand (c).

2.1.3 Voedingsweerstand

Door grondwateraanvulling stijgt de grondwaterstand. Indien de grondwaterstand stijgt tot boven de ontwateringsbasis wordt een grondwaterstroming opgewekt naar de ontwateringsmiddelen (sloten/buisdrainage). Een deel van de grondwateraanvulling kan als wegzijging het gebied verlaten, of er kan kwelwater worden aangevoerd. Verschillen in oppervlaktewaterpeilen kunnen eveneens een grondwaterstroming opwekken. Bij de berekening van effecten van ingrepen in het hydrologisch systeem is de weerstand van het systeem van belang. In de praktijk worden de begrippen drainageweerstand en voedingsweerstand gebruikt. Beide weerstanden verschillen van elkaar indien er sprake is van een weerstandbiedende laag in de ondergrond. De voedingsweerstand heeft betrekking op de totale weerstand tussen de waterlopen en het watervoerend pakket en is met name gedefinieerd om grondwaterstandsverlagingen te berekenen bij een onttrekking aan het watervoerend pakket (Technische werkgroep grondwaterplan, 1985). De drainageweerstand omvat de totale weerstand die de afvoer van het neerslagoverschot ondervindt vanaf het freatisch vlak naar de waterlopen. De voedingsweerstand is dus gelijk aan (Wit et al., 1991; Drecht, 1997) :

$$c_v = c_d^* + c \quad (12)$$

waarin:

c_v	: voedingsweerstand	(d)
c_d^*	: vlakgemiddelde drainageweerstand	(d)
c	: weerstand van het afdekkende pakket	(d)

Ook Ernst (1983) geeft aan dat de drainageweerstand in vereenvoudigde vorm meegenomen kan worden in analytische berekeningen indien een afzonderlijke beschouwing van elk ontwateringsmiddel achterwege blijft. Voor grotere deelgebieden, die intern als homogeen worden aangenomen, kan de drainageweerstand als fictieve c -waarde (c^*), in de vorm van een diffuse bron, aan de bovenzijde van het geologische profiel meegenomen worden (Ernst, 1983; van der Schaaf, 1995). In gevallen dat de bovenlaag in werkelijkheid goed doorlatend is (figuur 3A) kan voor de vervangende c -waarde (c^*) de volgende formule gebruikt worden:

$$c^* = a c_d \quad (13)$$

waarin:

c^*	: vervangende c -waarde	(d)
a	: vormfactor	(-)
c_d	: drainageweerstand	(d)

Indien de goed doorlatende bovenlaag een relatief laag doorlaatvermogen (kD -waarde) heeft (bijvoorbeeld door een kleine laagdikte (Figuur 3B)) zal geen belangrijk horizontaal transport over wat grotere afstand door deze laag plaatsvinden. De vervangende c -waarde (c^*) van de bovenlaag kan in dit geval uitgedrukt worden in de volgende formule:

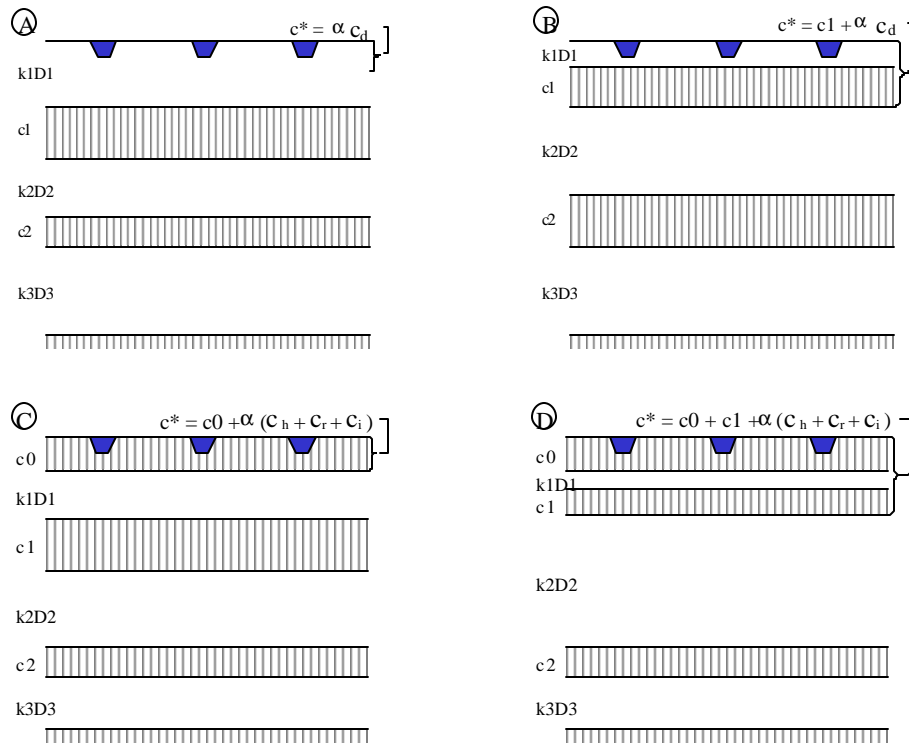
$$c^* = c_1 + a c_d \quad (14)$$

In die gevallen dat de bovenlaag slecht doorlatend is met daaronder een watervoerend pakket met een hoog doorlaatvermogen, wordt voor de bepaling van de vervangende c -waarde de weerstand van het afdekkende pakket enigszins verhoogd aan de hand van de volgende formule (Figuur 3C):

$$c^* = c_0 + \mathbf{a} (c_h + c_r + c_i) \quad (15)$$

Indien de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket gering is kan deze laag, evenals bij situatie B in figuur 3, weggelaten worden (figuur 3D). Voor de bepaling van de vervangende c -waarde kan dan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$c^* = c_0 + c_1 + \mathbf{a} (c_h + c_r + c_i) \quad (16)$$



Figuur 3 Vervanging van de open waterlopen met radiale stroming (discrete invoer) door een fictieve slecht doorlatende bovenlaag met verticale weerstand c^* (diffuse invoer) (Naar Ernst, 1983). A. Een goed doorlatende bovenlaag met relatief hoge kD -waarde. B. Een goed doorlatende bovenlaag met relatief lage kD -waarde. C. Een slecht doorlatende bovenlaag met relatief hoge kD -waarde in het eronder gelegen eerste watervoerende pakket. D. Een slecht doorlatende bovenlaag met relatief lage kD -waarde in het eronder gelegen eerste watervoerende pakket

2.2 Aannames en uitgangspunten

Door de aanleg van buisdrainage wordt de freatische grondwaterstand ter plaatse van het gedraineerde perceel tijdens perioden met afvoer beïnvloed. De mate waarin dit gebeurt kan met behulp van drainageformules berekend worden, mits de

(geo)hydrologische situatie vóór en na de aanleg van drainage bekend is. Hierbij moet gedacht worden aan een verandering van:

- de drainagebasis
- de drainageweerstand
- de kwel/wegzijging
- de nuttige neerslag.

De laatste twee effecten zijn in dit project van secundair belang geacht en worden buiten beschouwing gelaten.

Uitgangspunt bij de analyse van mogelijke effecten van een nieuwe drainage is de heersende evenwichtssituatie op een perceel: een bepaalde Gt, gegeven de drainagemiddelen, en de lokale geohydrologie. Dit evenwicht wordt verlaten door de aanleg van drainage. De lokale situatie op en rond het te draineren perceel bepaalt de uitwerking van de drainage op de omgeving. Hierbij speelt de spreidingslengte (λ) een cruciale rol.

Voorgesteld wordt om de HTG (=Hoogst Toelaatbare Grondwaterstand), die gemiddeld rond maart² wordt bereikt, bij het vaststellen van het criterium als uitgangspunt te nemen. De HTG is vergelijkbaar met de GHG. Er is in de provincie Noord-Brabant veel onderzoek naar (relaties tussen) grondwaterstanden verricht, en er is uitgebreid over gerapporteerd. Van de GHG kunnen uit gegevens van de ca. 1500 aanwezige stambuizen goede middelwaarden worden afgeleid (mediaan, gemiddelde).

Bij het vaststellen van de uitgangssituatie moet de huidige grondwatersituatie als uitgangspunt genomen worden. Dit is een zo goed mogelijke schatting van de gemiddelde grondwaterstand, gebaseerd op de Gt minus verlagingen, veroorzaakt door ingrepen gedurende de afgelopen 15 jaar; voornamelijk drainages. Er liggen overal drainages, en zij hebben de Gt doen dalen. In de zandgebieden bedraagt het gedraineerde areaal hier en daar 50%. Van Gt II is ca. 90% gedraineerd; bij Gt V* ca. 25% en van Gt VI zelfs nog ca. 2%. Het lukt echter niet om de aanwezigheid van drainages eenduidig te koppelen aan Gt's, en daarmee is er een probleem. Het is overigens niet duidelijk hoe belangrijk het werkelijk is om over gedetailleerde informatie over bestaande drainages te beschikken.

2.3 Effect op perceelsniveau

Bij het schatten van het effect van een beoogde drainage op de grondwaterstand op perceelschaal, wordt uitgegaan van de heersende evenwichtssituatie, te weten een bepaalde Gt. Aan de hand van een aantal stambuizen is door van der Sluijs (1987) (Locher en de Bakker, 1987) de relatie bepaald tussen de GT en de GHG, GLG en de GVG (Tabel 1).

² De Hoogst toelaatbare grondwaterstand (HTG) in maart is niet geldig voor alle gewassen.

Tabel 1 Relatie GT met GHG, GLG en GVG

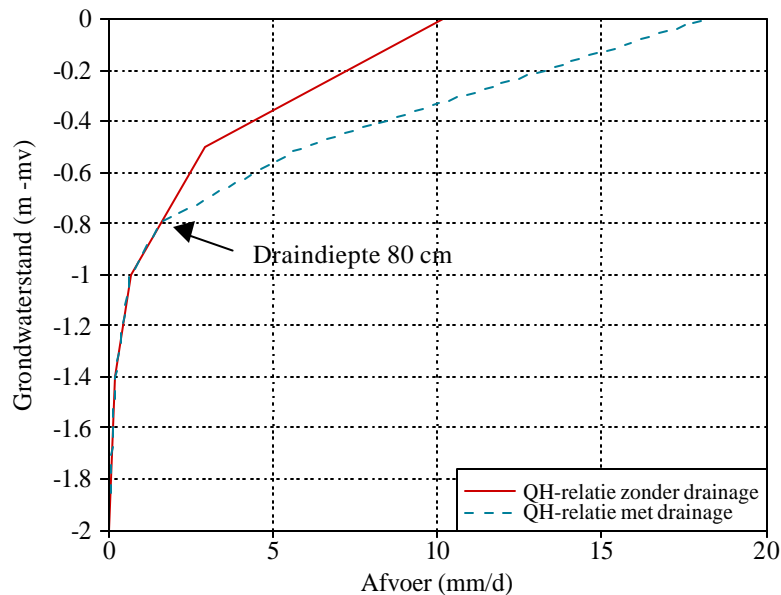
GT	GHG (cm)	GLG (cm)	GVG* (cm)
I	-5	38	8
II	7	66	24
II*	32	67	45
III	17	103	39
III*	32	102	51
IV	56	104	72
V	17	135	45
V*	32	142	59
VI	61	155	85
VII	101	190	125
VII*	185	281	212

* de GVG is bepaald met behulp van de volgende formule:

$$GVG = 1.02 GHG + 0.19 (GLG - GHG) + 5.4 \text{ (bron: Locher en de Bakker, 1987)}$$

De Gt is een afgeleide van een bepaalde waterhuishoudkundige inrichting, in combinatie met topografie, bodem, kwel, de lokale geohydrologie en de aanwezige drainagemiddelen. Deze factoren bepalen de ontwateringskarakteristiek van een gebied (figuur 4). Als gevolg van de aanleg van drainage verandert de ontwateringskarakteristiek van het desbetreffende perceel (figuur 4). De verandering van de ontwateringskarakteristiek is afhankelijk van de volgende twee factoren:

- draandiepte;
- drainafstand.



Figuur 4 Ontwateringskarakteristiek van een hellend gebied

De drainage heeft tot gevolg dat de drainageweerstand bij een grondwaterstand boven drainniveau verlaagd wordt. De mate van beïnvloeding als gevolg van de aanleg van drainage is afhankelijk van drainageweerstand van de drains, die beïnvloed wordt door de afstand tussen de drains. Het grondwaterstandstraject waarbinnen beïnvloeding plaats kan vinden is afhankelijk van de draandiepte. Voor de

te kiezen draindieptes en drainafstanden zijn verschillende varianten mogelijk. Deze zijn gekoppeld aan het bodemtype en het gebruiksdoel van de grond. Intensivering van de drainage heeft tot gevolg dat de drainageweerstand boven drainniveau afneemt. Dit heeft tot gevolg dat afvoeren bij hogere grondwaterstanden toenemen (figuur 4).

Bij een ondiepe drainage zal de drainageweerstand pas afnemen bij een hoger grondwaterstandsniveau. Het effect van een ondiepe drainage zal dus alleen in korte perioden met hoge grondwaterstanden de grondwaterstand verlagen en de afvoer verhogen in vergelijking met de situatie zonder drainage.

Voor de bepaling van de veranderingen op de grondwaterstand en de te hanteren drainafstanden kan gebruik gemaakt worden van de formule van Hooghoudt of Ernst.

2.3.1 Drainageontwerp

De formule van Hooghoudt is toepasbaar voor homogene en twee-lagen profielen, indien de laagscheiding samenvalt met de draindiepte. De formule wordt bij voorkeur toegepast indien de doorlatendheid van de bovenste laag groter is of gelijk is aan die van de onderste laag (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988):

$$L^2 = \frac{8 k_2 d m + 4 k_1 m^2}{q} \quad (17)$$

met:

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8 D}{p L} \ln \frac{D}{p r}} \quad (18)$$

waarin:

L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)
q	: specifieke afvoer	(m/d)
k_1	: doorlaatfactor van de laag boven draindiepte	(m/d)
k_2	: doorlaatfactor van de laag beneden draindiepte	(m/d)
m	: opbolling	(m)
d	: dikte van de equivalentlaag	(m)
D	: laagdikte	(m)
r	: straal van de drain	(m)

De formule van Ernst is geschikt voor het berekenen van de sloot- en drainafstanden voor homogene en twee-lagen profielen, waarbij de laagscheiding niet hoeft samen te vallen met de draindiepte.

$$L = \frac{-O + \sqrt{O^2 + 4 \frac{1}{8 \Sigma k D} \left(\frac{m}{q} - \frac{D_v}{k_v} \right)}}{2 \frac{1}{8 \Sigma k D}} \quad (19)$$

met:

$$O = \left(\frac{l}{p k_r} \ln \frac{f D_r}{B} \right) \quad (20)$$

waarin:

L	: afstand tussen de ontwateringsmiddelen	(m)
O	: radiale weerstandscomponent	(d/m)
m	: opbolling	(m)
q	: specifieke afvoer	(m/d)
D_v	: laagdikte boven drainniveau	(m)
k_v	: doorlaatfactor van de laag boven drainniveau	(m/d)
k_r	: radiale doorlaatfactor	(m/d)
D_r	: laagdikte waarover radiale stroming plaatsvindt	(m)
f	: geometriefactor	(-)
B	: natte omtrek van drain of sloot	(m)

Bepaling van de verandering van de grondwaterstand

De verandering van de grondwaterstand wordt vastgesteld voor een gemiddelde wintersituatie met een bepaald neerslagoverschot, door het toepassen van de volgende kennis- en vuistregels:

- het neerslagoverschot bedraagt 3 mm/d;
- de kwel of wegzijging vóór aanleg van de drainage is bekend. Deze is te ontlenen aan kaarten van de provincie;
- De droogleggingsnorm is de hoogst toelaatbare waterstand bij een afvoersituatie volgens de ontwerpafvoer. De traditionele ontwerpcriteria voor de ontwatering die in de praktijk worden toegepast, zijn voor een belangrijk deel geformuleerd door Hooghoudt. Vervolgens is de stationaire afvoer nog verhoogd van 5 naar 7 mm/d. De traditionele ontwerpnorm voor de ontwateringsdiepte midden tussen de drains bij een afvoer van 7 mm/d is 50 cm-mv voor bouwland en 30 cm-mv voor grasland. Indien uitsluitend het nastreven van optimale agrohydrologische omstandigheden in het geding is, zijn de eerder genoemde droogleggings ontwerpnormen richtinggevend. Indien gewenst kan van traditionele ontwateringsnorm afgeweken worden. Effecten van veranderingen in de draindiepte en drainafstanden kunnen, afhankelijk van de geohydrologische situatie berekend worden met de formule van Hooghoudt of Ernst;
- De drainageweerstand (cd) van de drainage kan bepaald worden aan de hand van de opbolling (m) en de afvoer (q) volgens de volgende formule: $cd = m/q$.

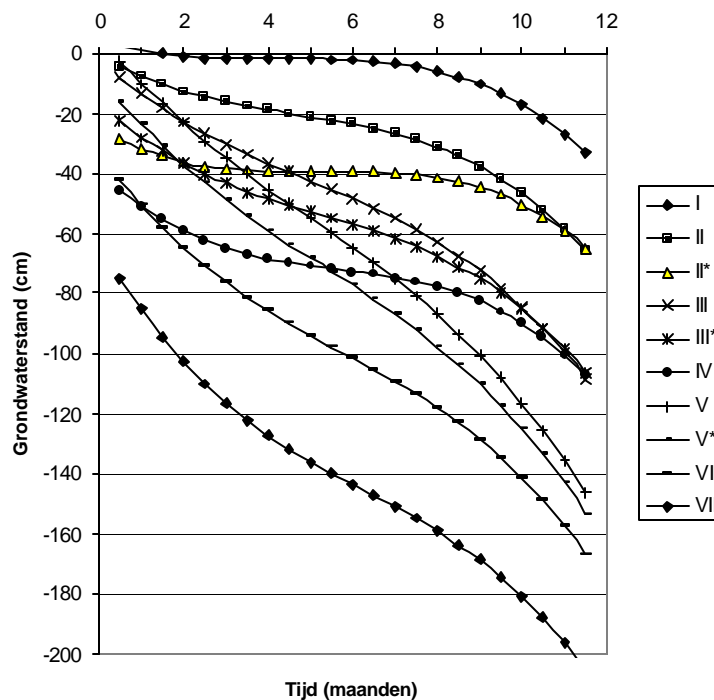
2.3.2 Piekafvoer

Verlaging van de drainageweerstand veroorzaakt een vergemakkelijking van de ontwatering, waardoor de afvoer bij eenzelfde grondwaterstand tussen maaiveld en drainniveau toeneemt t.o.v. de oude situatie (figuur 4). In gebieden waar inundatie en oppervlakkige afvoer relatief frequent optreden zal de aanleg van drainage de inundatiefrequentie doen afnemen. Indien in de oude situatie zonder drainage, tijdens een periode met hoge neerslag, oppervlakkige afvoer in een gebied plaatsvond zal als gevolg van de aanleg van drainage de berging toenemen. De piekafvoer kan in deze situatie daardoor afnemen. Gedurende perioden met inundatie en oppervlakkige afvoer wordt de drainageweerstand immers gereduceerd tot vrijwel 0. Dit heeft een zeer snelle afvoer tot gevolg. Indien door de aanleg van drainage tijdens perioden met een hoge neerslagintensiteit, geen inundatie meer optreedt zal de piekafvoer van het desbetreffende perceel lager zijn. In de meeste gevallen zal de aanleg van drainage echter verhoging van de piekafvoer tot gevolg hebben.

2.3.3 Grondwateraanvulling en kwel

De distributie van het neerslagoverschot (in feite: de grondwatervoeding) over verscheidene klassen van ontwateringsmiddelen is tot op zekere hoogte afhankelijk van de Gt en de ontwateringsdiepte. Zo wordt er bij een Gt VI, in een niet-gedraineerde situatie, maar een heel klein deel van de grondwateraanvulling via het tertiaire systeem afgevoerd. Van der Sluijs (1982) heeft per grondwatertrap gemiddelde duurlijnen opgesteld (figuur 5).

Indien de Gt en de ontwateringsbasis voor de verschillende ontwateringsmiddelen bekend is kan aan de hand van deze figuur een inschatting gemaakt worden, in welke mate de ontwateringsmiddelen deelnemen aan het afvoerproces. In wegzijgingsgebieden zal de wegzijging als gevolg van drainage afnemen, door een afname in de opbolling tussen de ontwateringsmiddelen. In kwelgebieden zal de kwel als gevolg van de aanleg van drainage, met de daarmee samenhangende grondwaterstandsdeling, toenemen. Ten opzichte van de omgeving heeft een perceel met drainage een geringe stijghoogte, waardoor de kwel toeneemt. De kwel wordt echter wel afgevangen door de intensievere drainage en kan als gevolg hiervan minder hoog in het bodemprofiel terechtkomen.



Figuur 5 Overschrijdingsduur van de grondwaterstand per grondwatertrap (naar Van der Sluijs, 1982)

Indien de grondwaterstandsverlaging als gevolg van de aanleg van drainage bekend is kunnen vervolgens de verandering op de omliggende terreinen (het uitstralingseffect) bepaald worden.

2.4 Ruimtelijke beïnvloeding

De beïnvloeding van drainage op de grondwaterstand in de omgeving wordt bepaald met behulp van analytische oplossingen die zijn ontleend aan Mazure (1936). Bij het gebruik van de analytische oplossingen wordt uitgegaan van berekeningen volgens het principe van superpositie van effecten, en wordt alleen voor de stationaire stromingssituatie gerekend. Het uitstralingseffect van een geplande drainage wordt in een GIS-omgeving berekend, op basis van invoergegevens. Voor berekening van de verandering van de grondwaterstroming in de omgeving van het gedraineerde perceel moeten de volgende gegevens bekend zijn om de drainageweerstand vast te kunnen stellen (paragraaf 2.1.1):

- perceelsgrenzen;
- ontwateringssituatie;
- waterlopen (ligging, klasse);
- ontwateringsniveau
- ligging van de bestaande drainage;
- geohydrologie (c-waarden, kD-waarden en dikten).

Afhankelijk van de grondwaterstand zullen verschillende ontwateringsmiddelen deelnemen aan het drainageproces (figuur 1). De gegevens omtrent slootafstanden zijn ontleend aan het TOP10-Vectorbestand. In het TOP10-Vectorbestand worden de volgende klassen van waterlopen onderscheiden (van der Gaast en van Bakel, 1997):

- greppel/droge sloot
- sloten < 3 meter
- waterlopen 3 – 6 meter
- waterlopen > 6 meter

Voor de intree weerstand is een waarde van 1 dagen aangehouden (Massop en Jousma, 1996). De geohydrologische parameters zijn ontleend aan het 'Waterlood'-bestand (Massop et al., 1997). In dit bestand zijn de geohydrologische gegevens ontleend aan de geologische kaart van Nederland (Zagwijn en van Staalduinen, 1975) en gegevens uit het Landelijk Grondwater Model (LGM) (Pastoors, 1992). Deze gegevens zijn aangevuld met een interpretatie van het topsysteem, waarbij gebruik gemaakt is van de studie 'Kwetsbaarheid van het grondwater' (Boumans et al., 1987).

Indien de ingreep als gevolg van de aanleg van drainage bekend is kan in een GIS een grondwaterstandsverlagingskaart gemaakt worden door bijvoorbeeld voor intervallen van 5 cm grondwaterstandsverlaging de afstand tot het gedraineerde perceel te berekenen. Bij de bepaling van de grondwaterstandsverlaging spelen de spreidingslengte en de drainageweerstand een cruciale rol. In de formule voor de spreidingslengte (paragraaf 2.1.3) kan de c -waarde vervangen worden door de c^* -waarde (paragraaf 2.1.4):

$$I^* = \sqrt{kDc^*} \quad (21)$$

waarin:

λ^*	: spreidingslengte	(m)
k	: doorlaatfactor	(m/d)
D	: laagdikte	(m)
c^*	: vervangende c -waarde	(d)

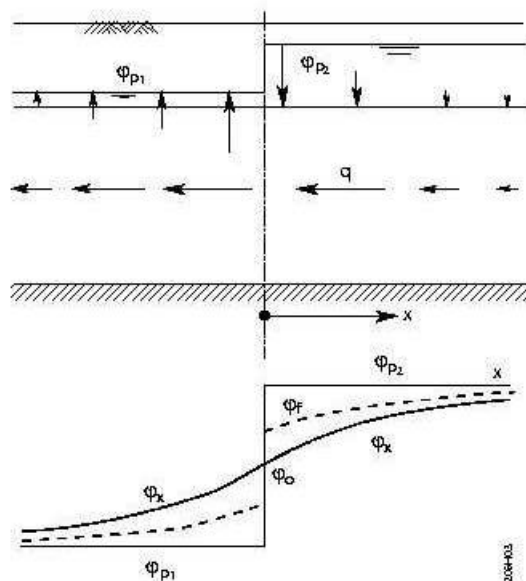
De vervangende waarde voor de spreidingslengte kan vervolgens gebruikt worden in de formule van Mazure (1936) voor de bepaling van effecten van twee gebieden met een verschillend peil en een rechte grens (figuur 6) (Edelman, 1972; TNO, 1964; Verruijt, 1974):

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \frac{(j_p - j_x)}{(j_p - j_k)} = e^{-x/I^*} \quad (22)$$

waarin:

Q_x	: debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand x	(m ³ /dag)
Q_0	: debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand 0	(m ³ /dag)

- f_x : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand x (m)
- f_p : polderpeil (m)
- f_0 : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de grens tussen de twee gebieden (m)
- $?^*$: spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) (m)
- x : afstand (m)



Figuur 6 Overzicht van de effecten van 2 gebieden met een verschillend polderpeil (Naar Edelman, 1972)

De afname van zowel het debiet als het stijghoogteverschil is logaritmisch met de afstand tot de gebiedsgrens volgens $e^{-x/?}$. In figuur 7 is deze afname van het debiet bij toename van de afstand (x) weergegeven. Aan de hand van figuur 7 kan geconcludeerd worden dat het effect van peilverschillen in theorie oneindig ver door gaat. Praktisch gezien blijkt echter dat op een afstand groter dan driemaal de spreidingslengte ($?^*$) nog maar een beïnvloeding van 5% plaatsvindt.

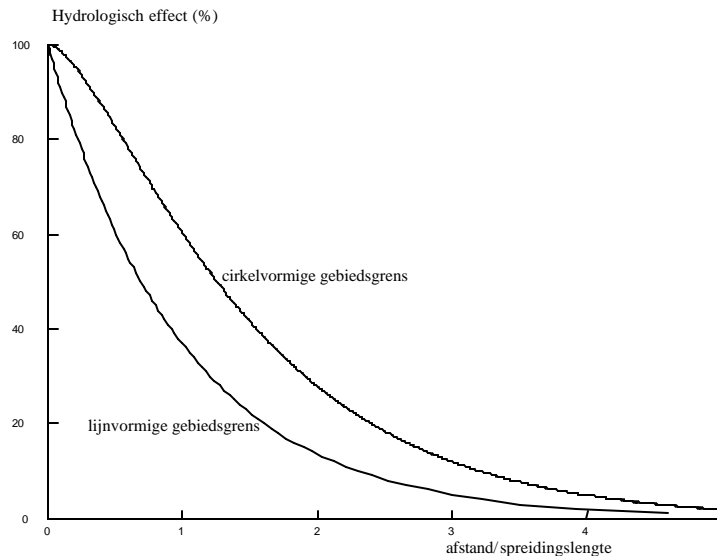
Bij gebieden die min of meer cirkelvormig zijn, speelt radiale stroming een belangrijke rol. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r vanaf een gebied met een afwijkend peil ten opzichte van de omgeving, geldt de volgende formule (figuur 8) (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{\frac{r}{I^*} K / (\frac{r}{I^*})}{\frac{R}{I^*} K / (\frac{R}{I^*})} \quad (23)$$

waarin:

- Q_r : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r (m³/dag)
- Q_R : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand R (m³/dag)

r	: afstand	(m)
R	: straal van het gebied	(m)
I^*	: spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$)	(m)
K_1	: Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 1	



Figuur 7 Grondwaterstandsverlaging in de omgeving: het uitstralingseffect; grafische weergave van formule 22 en 24.

Indien de straal (R) van het cirkelvormige gebied klein is ten opzichte van de spreidingslengte, kan bovenstaande formule vereenvoudigd worden. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r vanaf een onttrekking en het debiet op een afstand r geldt dan volgende formule (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{r}{I^*} K_1\left(\frac{r}{I^*}\right) \quad (24)$$

In figuur 7 is het verloop van formule 24 weergegeven. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat de invloed van peilverschillen snel afneemt bij toename van de afstand. Op een afstand van viermaal de spreidingslengte (4?) de beïnvloeding is nog maar 5%.

Voor bij benadering cirkelvormige gebieden met peilverschillen is het hydrologische effect afhankelijk van de straal van het gebied waarin een afwijkend peil gehandhaafd wordt. Het hydrologische effect neemt met de volgende constante toe bij toename van de straal van het gebied:

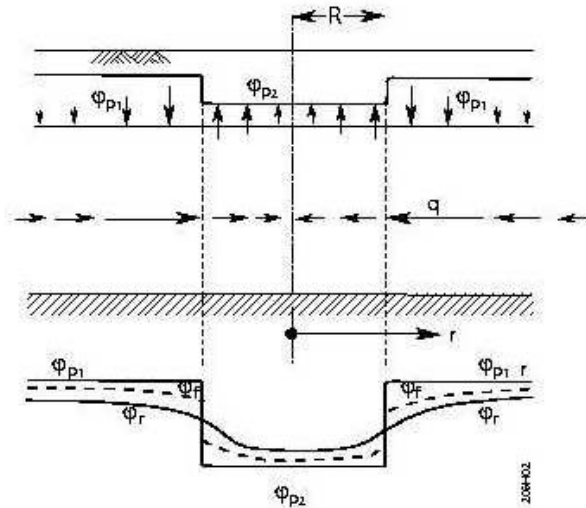
$$\text{constante} = \frac{1}{\frac{R}{I^*} K_1\left(\frac{R}{I^*}\right)} \quad (25)$$

Aanleg van drainage leidt mogelijk tot schade als zich binnen de invloedsafstand van de drainage natuurwaarden bevinden die gevoelig zijn voor verandering in grondwaterstand en/of kwelintensiteit. Voor effectberekeningen van ingrepen in de freatische grondwaterstand in open profielen geldt:

$$\frac{j_r - j_0}{j_R - j_0} = \frac{K_0\left(\frac{r}{l^*}\right)}{K_0\left(\frac{R}{l^*}\right)} \quad (26)$$

waarin:

- f_r : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand r (m)
- f_R : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de rand van een cirkelvormig gebied (m)
- f_0 : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket in de uitgangssituatie (m)
- r : afstand (m)
- R : straal van het gebied (m)
- l^* : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) (m)
- K_0 : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 0



Figuur 8 Situatieschets voor een cirkelvormig gebied (naar Edelman, 1972)

Op een afstand van vier maal de spreidingslengte (λ) is de invloed van de drainage tot minder dan 5% van de in het gedraineerde gebied optredende verandering gereduceerd. De verlaging van de grondwaterstand rond een nieuwe drainage hangt af van de grondwaterstandsverlaging Dh die door de nieuwe drainage wordt veroorzaakt. Indien een nu bekende Gt (bijvoorbeeld Gt_{III}) wordt gedraineerd om de voor het grondgebruik specifieke ontwateringseisen te bereiken, kan de verlaging op het perceel (Dh) bepaald worden aan de hand van de beschreven drainage-

formules. Met dit gegeven kan het uitstralingseffect van de nieuwe drainage op de omgeving worden vastgesteld. Bij de methode (in zijn huidige vorm) wordt bij de berekening van de spreidingslengte geen rekening gehouden met de 'anisotropie' of heterogeniteit van de factoren die de spreidingslengte bepalen.

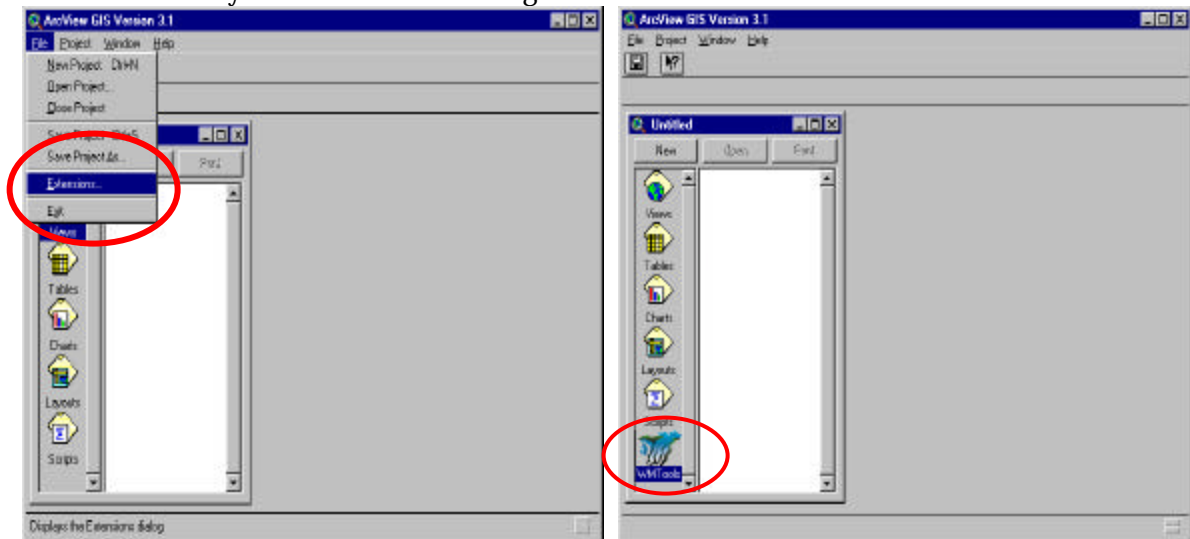
De drainageweerstand (c_d) is onder natte omstandigheden kleiner dan onder droge (figuur 3), en daarmee neemt de spreidingslengte onder natte omstandigheden af. De spreidingslengte, en daarmee ook van de mate van grondwaterstandsverlaging (beïnvloeding) door de geplande drainage zijn dus seizoensafhankelijk (zomer/winter).

3 De PC-Applicatie voor de berekening van het effect van nieuwe drainage

De theorie (hoofdstuk 2) is uitgewerkt in een PC-applicatie. De PC-applicatie is in ArcView ontwikkeld. Bij het gebruik van de applicatie is enige basiskennis van ArcView noodzakelijk.

3.1 Installatie

Installeer de WMTools-extensie in ArcView met behulp van de File Menu. Na het laden van WMTools wordt er een nieuw object in de project-window gezet, waarmee de analyses kunnen worden uitgevoerd.



Nieuwe analyse

Door in het projectwindow de WMTools te openen kan een nieuwe drainage analyse opgezet worden.



Aan de hand van het volgende invulscherm worden de benodigde gegevens voor de analyse geladen. De titel van de drainage analyse wordt tevens gebruikt om een sub-directory te maken onder c:\WMTTools\project\. In de sub-directory worden alle analyse-gegevens opgeslagen. Door voor een nieuwe berekening een nieuwe analyse window te openen kunnen verschillende scenario's voor hetzelfde gebied berekend worden. De gegevens van de afzonderlijke scenario's worden in de desbetreffende directory opgeslagen en de scenario's kunnen vergeleken worden door de verschillende windows naast elkaar te vergelijken.

Create New Drainage Analysis

Enter title for the Drainage Analysis:
Perceel1

1) Select the Area Theme
Area Theme: mw_landgebruik_t10.shp

2) Select the Soil Theme
Soil Theme: mw_bodemkaart.shp

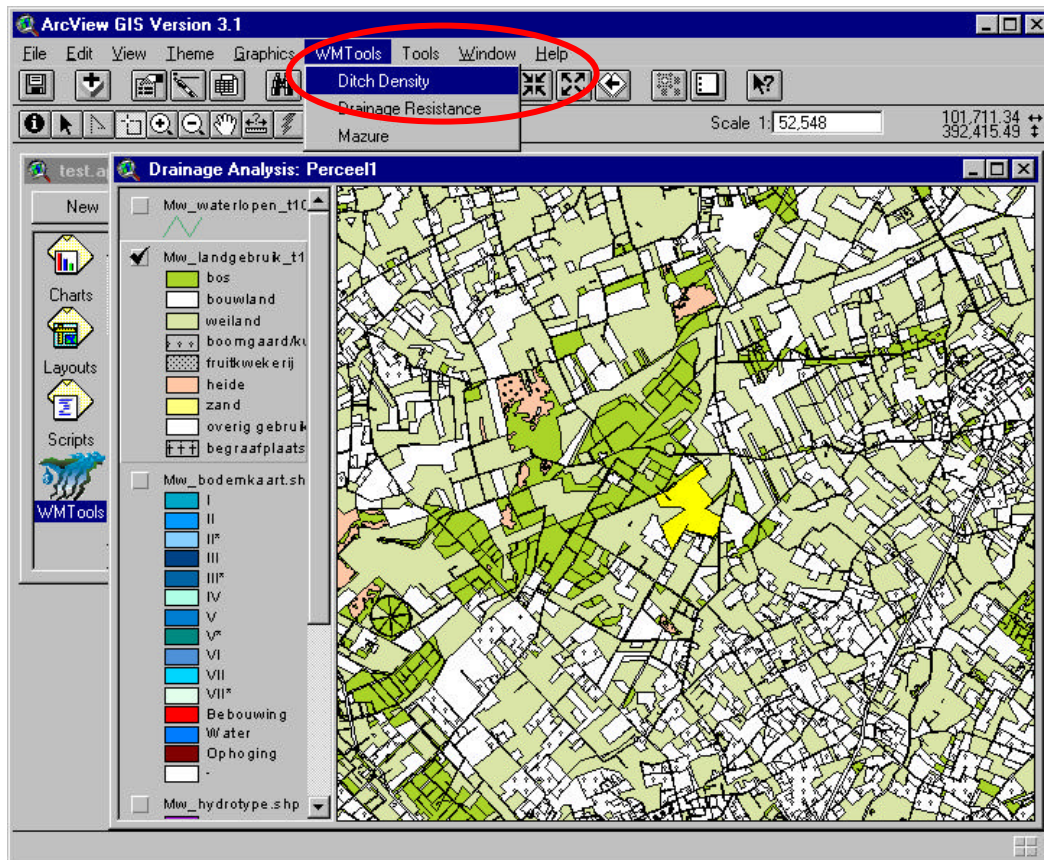
3) Select the Geological Theme
Geological Theme: mw_geohydrologie.shp

4) Select the Hydrological Information Theme
Hydrological Theme: mw_hydrotype.shp

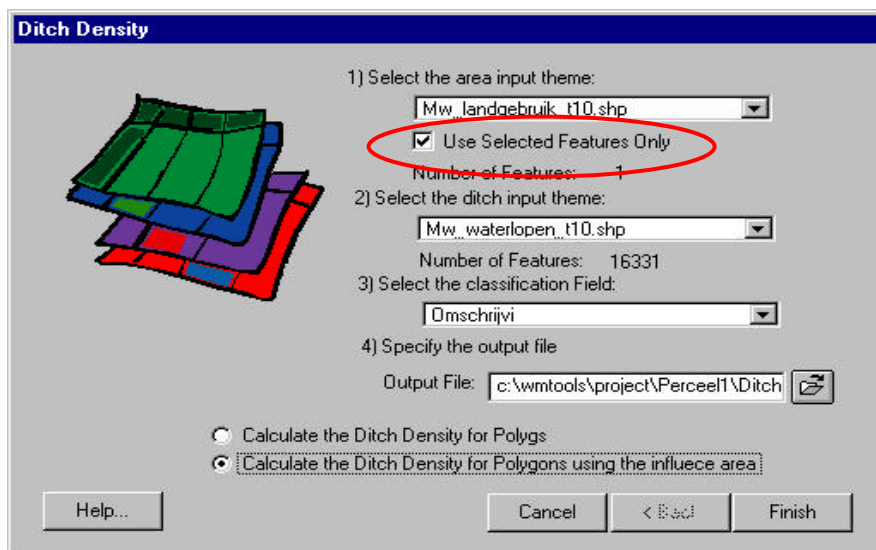
5) Select the Ditch Theme
Ditch Theme: mw_waterlopen_t10.shp

Help... Cancel < Back Finish

3.2 Dichtheid Waterlopen

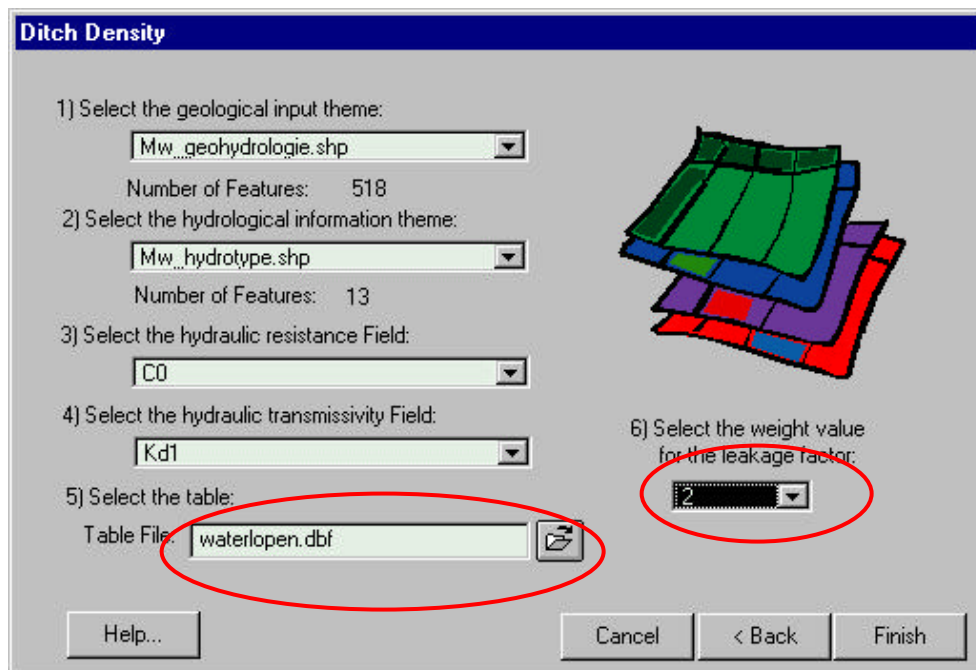


Voor de bepaling van de dichtheid van de waterlopen wordt in eerste instantie een of meerdere percelen of gebieden geselecteerd. Voor de geselecteerde gebieden wordt vervolgens de dichtheid van de waterlopen bepaald. Binnen de applicatie kan dit op twee manieren gebeuren:



- Bepaling van de gemiddelde slootafstand binnen vlakken. Deze procedure kan gebruikt worden voor een eerste schatting van de slootafstand binnen grotere gebieden.
- Bepaling van de gemiddelde slootafstand binnen een beïnvloedingsgebied rondom vlakken

Bij de procedure om de dichtheid van de waterlopen te bepalen binnen een beïnvloedingsgebied wordt gebruik gemaakt van een kennistabel met gebiedsspecifieke informatie over de waterlopen (5). Deze tabel wordt gekoppeld aan een kaart met hydrologische informatie (2). Aan de hand van een eerste inschatting van de spreidingslengte en een factor (6) wordt het gebied bepaald waarbinnen de waterlopen deelnemen aan het drainageproces.



Kennistabel

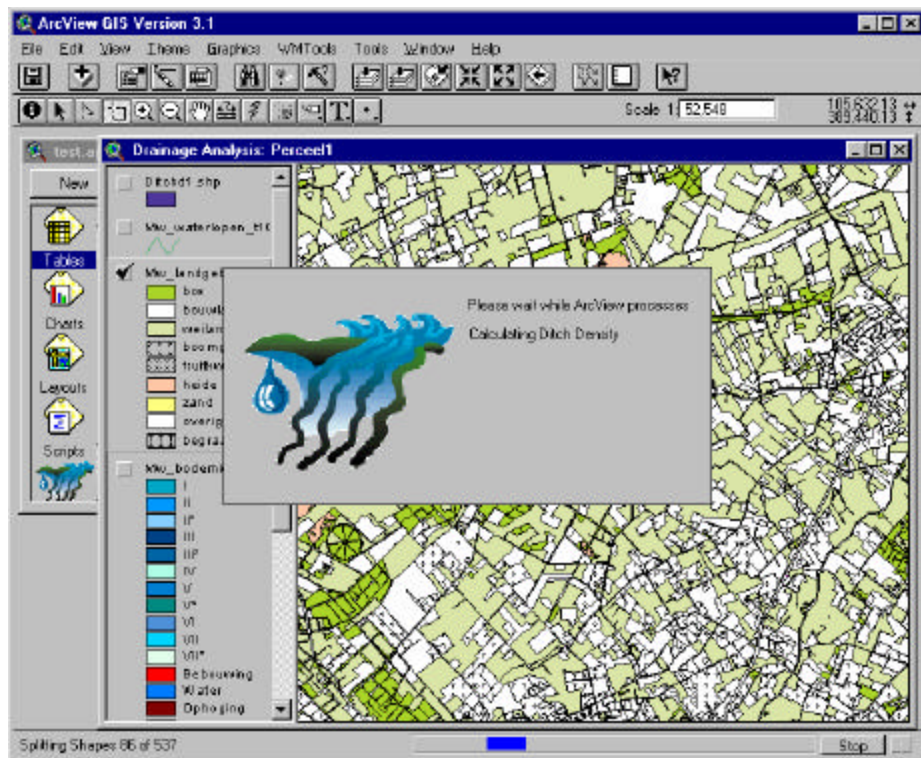
Namen	AS_A07	AS_A08	AS_A09	AS_A10	Inlets_Z01	Inlets_Z02	Inlets_Z03	Inlets_Z04	Inlets_Z05	Inlets_Z06	Inlets_Z07	Inlets_Z08	Inlets_Z09	Inlets_Z10
Westland OH-profiel	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Dekzand profiel	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Westland O-profiel	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Tegelen/Kedichers p.	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Tegelen/Kedichers p.	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Dekzand profiel	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Singraven-beekdalen	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5
Tegelen/Kedichers p.	3000	1200	300	100	8.0	5.0	1.5	0.7	1.0	2.0	2.0	1.4	1.0	0.5

Locatie van de kennistabel is: c:\WMTTools\tables\

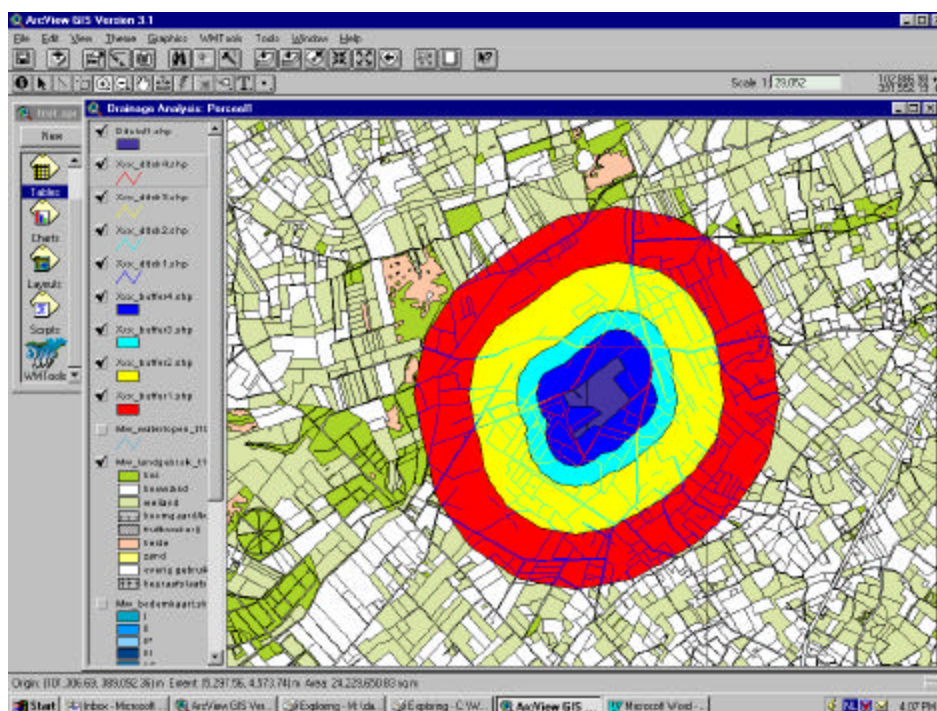
De kennistabel wordt in de procedure gekoppeld aan een kaart met daarin de ruimtelijke indeling van vlakken waarvoor de gegevens representatief zijn. In de kennistabel zijn de volgende gegevens opgeslagen:

Name	Naam van de ruimtelijke eenheid (aan de hand van de naam wordt de kennistabel aan de kaart gekoppeld)
Idr_kl1	Initiële schatting van de drainageweerstand indien alleen de grote waterlopen (klasse1) draineren.
Idr_kl2	Initiële schatting van de drainageweerstand indien alleen de waterlopen in klasse1 en 2 draineren.
Idr_kl3	Initiële schatting van de drainageweerstand indien alleen de waterlopen in klasse1, 2 en 3 draineren.
Idr_kl4	Initiële schatting van de drainageweerstand indien alle waterlopen (klasse1 t/m 4) draineren.
Wetted_p1	Natte omtrek van de waterlopen in klasse1
Wetted_p2	Natte omtrek van de waterlopen in klasse2
Wetted_p3	Natte omtrek van de waterlopen in klasse3
Wetted_p4	Natte omtrek van de waterlopen in klasse4
Inresist	Intreeweerstand
Aniso_fact	Anisotropie factor
Drainbase1	Drainagebasis van de waterlopen in klasse1
Drainbase2	Drainagebasis van de waterlopen in klasse2
Drainbase3	Drainagebasis van de waterlopen in klasse3
Drainbase4	Drainagebasis van de waterlopen in klasse4

De initiële schatting van de drainageweerstand is bepaald aan de hand van de dichtheid van de waterlopen binnen de ruimtelijke eenheden in het hydrotype bestand. Voor de initiële drainageweerstand is ongeveer één maal de gemiddelde slootafstand aangehouden. De overige parameters in de kennistabel zijn schattingen die door het waterschap op een betere manier ingevuld kunnen worden. Het waterschap heeft immers veel gebiedskennis die zou kunnen leiden tot een andere gebiedsindeling op grond van eigenschappen van de waterlopen. Ook informatie over de gemiddelden van de natte omtrek en de drainagebasis kunnen door het waterschap op grond van betere informatie ingevuld worden.

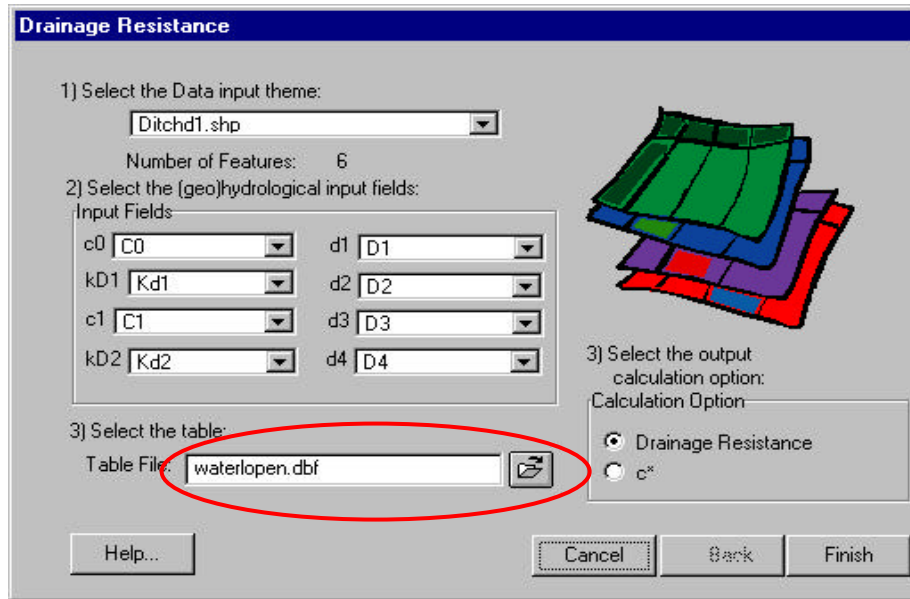


Voor iedere klasse van waterlopen wordt het gebied waarbinnen de waterlopen aan het drainageproces deelnemen op basis van de spreidingslengte (?), afzonderlijk bepaald. Vervolgens wordt de gemiddelde slootafstand binnen dit oppervlak bepaald. In de onderstaande figuur is een overzicht gegeven van de bewerking en de bijbehorende tijdelijke tussenbestanden. De tijdelijke bestanden worden in de applicatie niet weergegeven en zijn niet nodig voor het vervolg van de procedure.

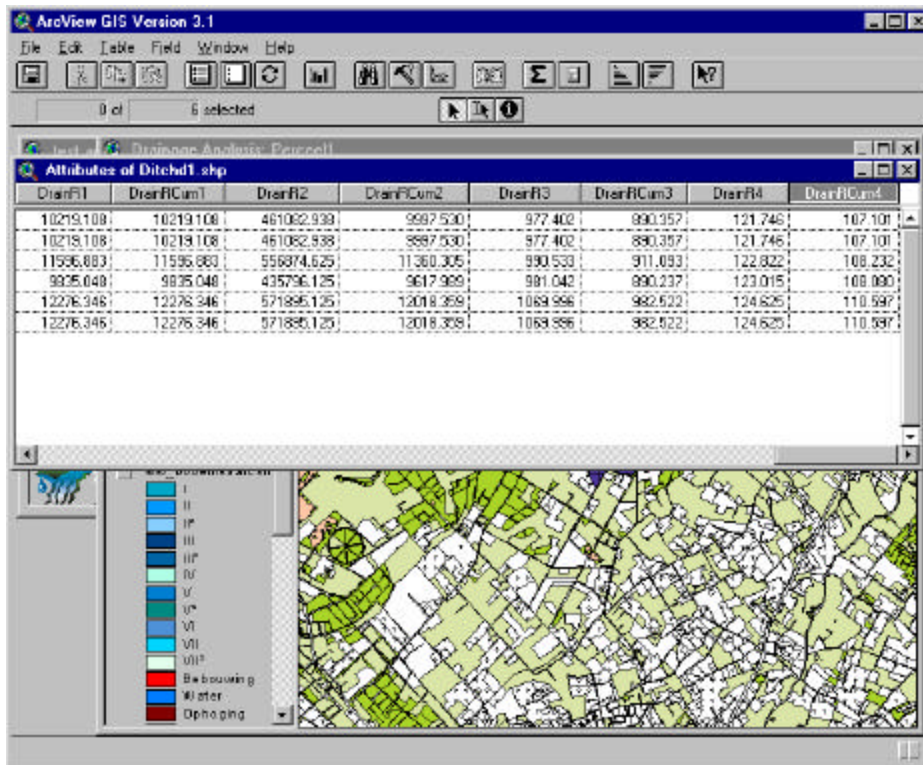


3.3 Drainageweerstand

In de bovengenoemde procedure worden de benodigde gegevens aan de percelen gekoppeld. Vervolgens kan de drainageweerstand berekend worden met de formule van Ernst. In een kennistabel (3) staan de benodigde gegevens over de waterlopen.

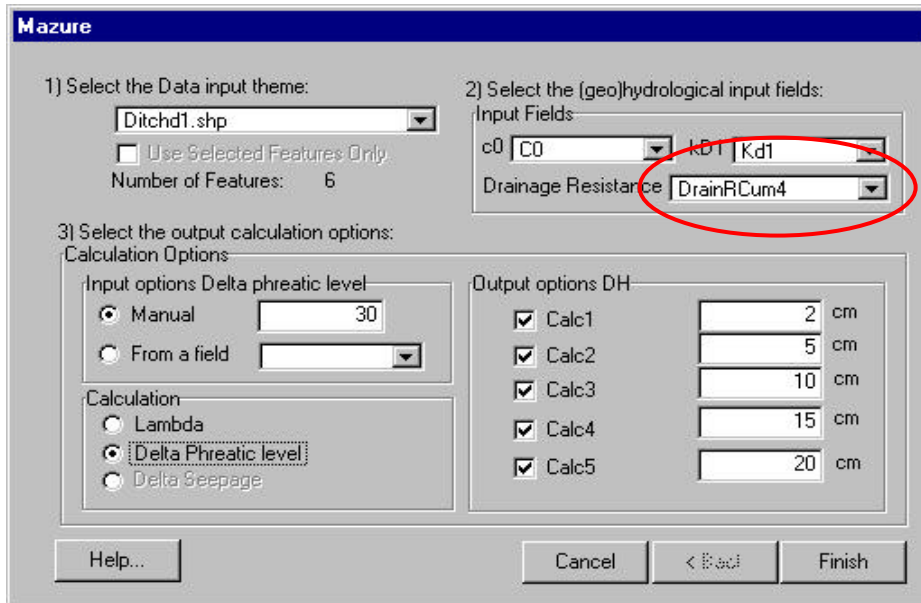


Aan de kaart met een of meerdere percelen wordt de berekende drainageweerstand gekoppeld voor de verschillende klasse van waterlopen.

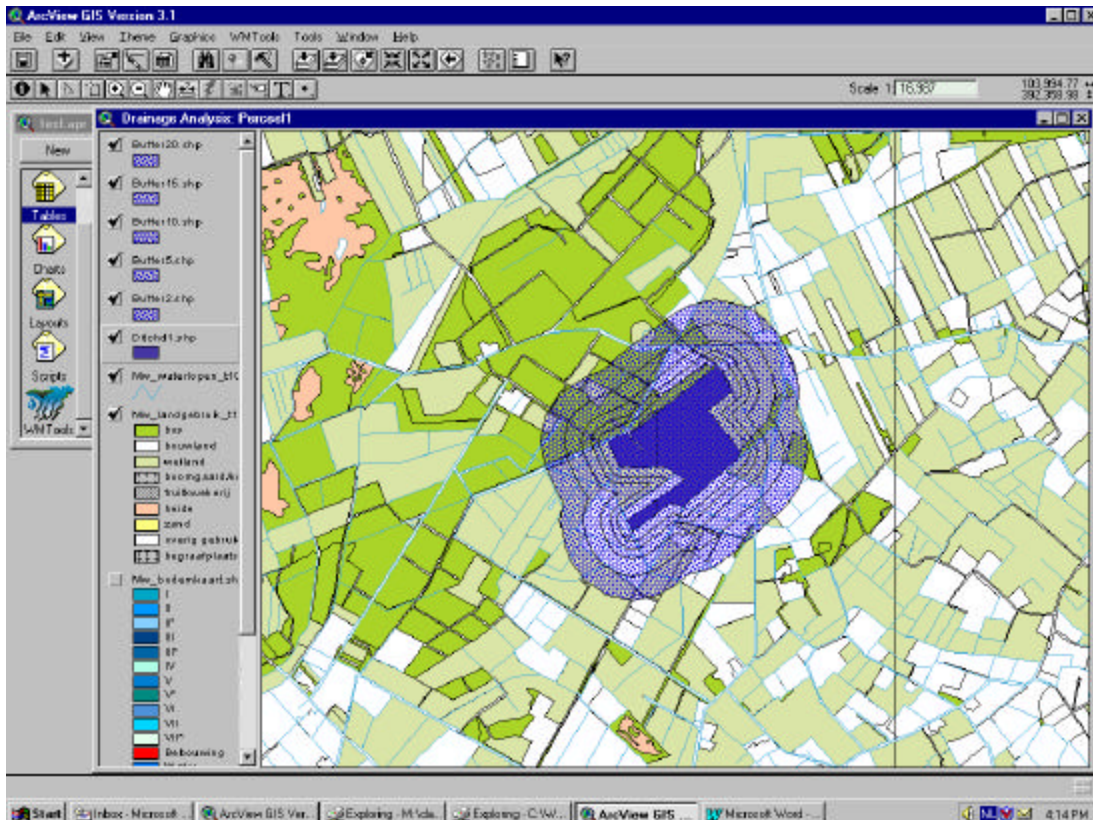


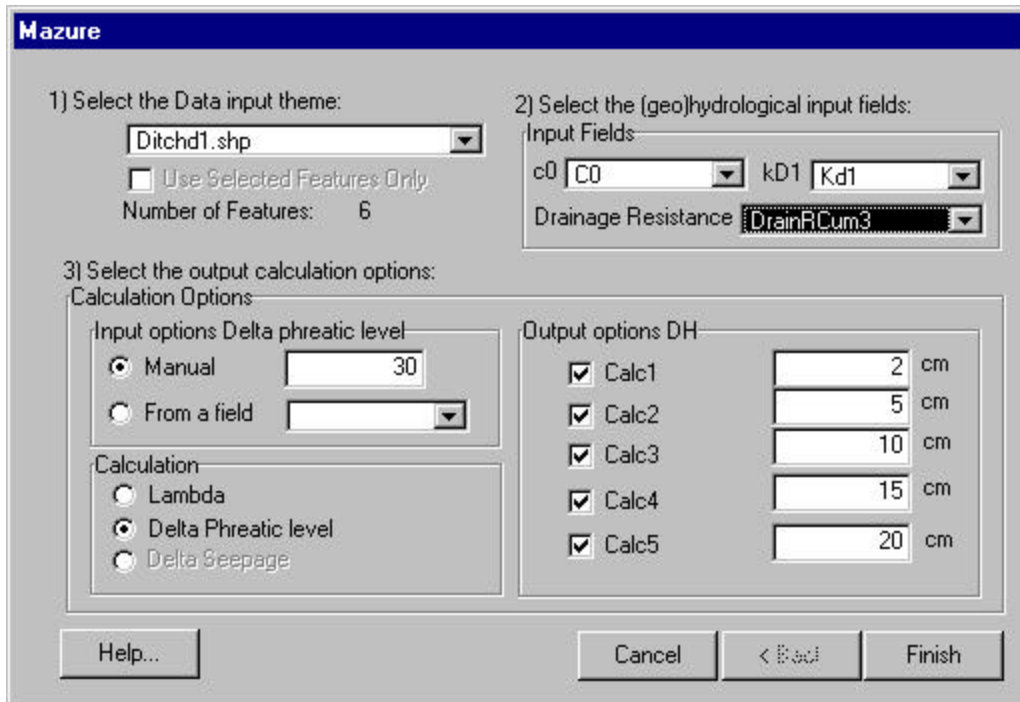
3.4 Beïnvloedingsberekening

Met de analytische formules (Mazure) kan vervolgens de ruimtelijke beïnvloeding van een grondwaterstanddaling berekend worden. Afhankelijk van een natte of droge situatie zullen meer of minder waterlopen deelnemen aan het drainageproces.

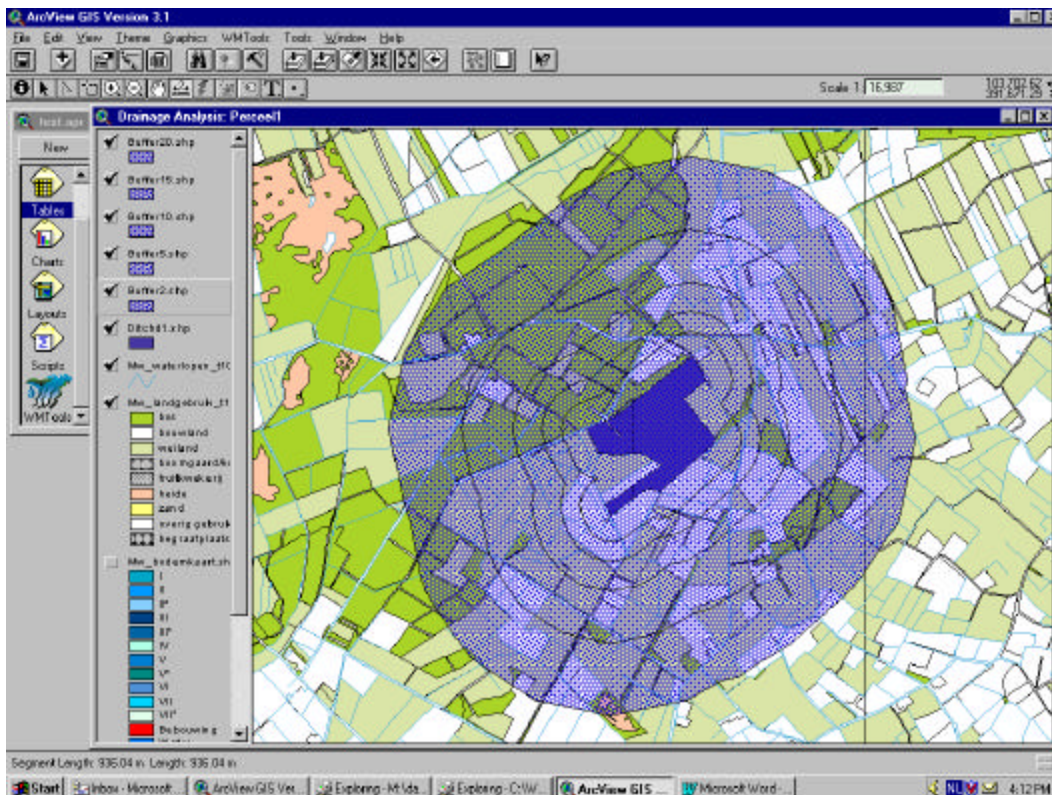


Berekening voor een natte periode: Alle waterlopen zijn watervoerend; drainage-weerstand: DrainRCum4





Berekening voor een drogere periode: Alleen de grotere waterlopen zijn watervoerend; drainageweerstand: DrainRCum3



Aan de hand van de berekeningen kan geconcludeerd worden dat de beïnvloedingsafstand groter is in drogere perioden, als gevolg van .

4 De beoordelingsprocedure

4.1 De beoordelingsprocedure stapsgewijs

Vaststelling van de huidige grondwatersituatie

Bij het vaststellen van de uitgangssituatie moet de huidige grondwatersituatie als uitgangspunt genomen worden. Dit is een zo goed mogelijke schatting van de gemiddelde grondwaterstand, gebaseerd op de Gt (tabel 1). De Gt-kaart is gedateerd, waardoor verschillen als gevolg van ingrepen gedurende de afgelopen 15 jaar ontstaan kunnen zijn. Informatie over ingrepen in de omgeving van een te draineren perceel kunnen aanleiding geven de Gt als uitgangssituatie aan te passen.

Drainageontwerp

Bij de aanvraag voor een drainagevergunning wordt een drainageontwerp aangeleverd in de vorm van informatie omtrent de draindiepte, drainafstand en de draindiameter. Naast het drainageontwerp wordt ook informatie over eventuele compenserende maatregelen aangeleverd. Aan de hand van drainageformules (paragraaf 2.3.1) kan het drainageontwerp geëvalueerd worden. Het waterschap kan indien gewenst het drainageontwerp aanpassen om eventuele nadelige effecten te minimaliseren.

Bepaling van het verschil

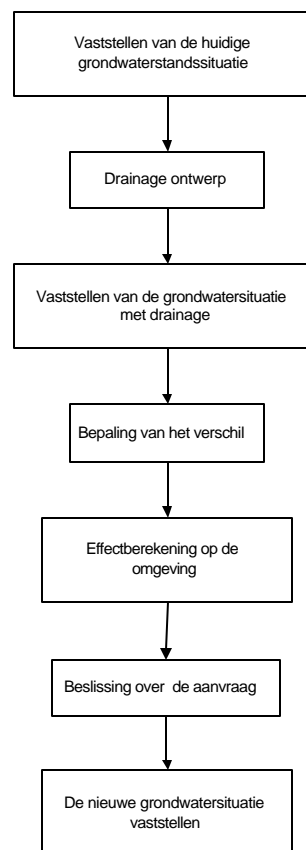
Indien de gegevens omtrent de uitgangssituatie en het drainageontwerp bekend zijn kan het effect van de drainage op de grondwaterstand bepaald worden. Afhankelijk van de geohydrologische opbouw kan de verlaging berekend worden met behulp van de formule van Hooghoudt (17) of Ernst (19). Naast de berekende effecten op de grondwaterstand kan ook een inschatting gemaakt worden van de effecten op de piekafvoer, de grondwateraanvulling en de kwel.

Effectberekening op de omgeving

Voor de bepaling van de effecten op de omgeving kan de ArcView-applicatie gebruikt worden. In de applicatie zijn de volgende stappen te onderscheiden:

- Bepaling van de slootdichtheid;
- Berekening van de drainageweerstand (Ernst);
- Berekening van de ruimtelijke verlagingseffecten.

Voor de bepaling van de slootdichtheid wordt gebruik gemaakt van het waterlopenbestand dat ontleend is aan het TOP-10 bestand. Indien gewenst kan het



waterlopenbestand vervangen worden door een bestand van het waterschap, mits alle waterlopen in het bestand opgenomen zijn. De drainageweerstand wordt berekend met de formules van Ernst (paragraaf 2.1.1). Hierbij wordt gebruik gemaakt van geohydrologische gegevens en waterloopgegevens. Nadat bovengenoemde gegevens bekend zijn kan de ruimtelijke beïnvloeding berekend worden aan de hand van formules die afgeleid zijn van de formules van Mazure (paragraaf 2.1 en 2,4).

Beslissen over de aanvraag

Op basis van de bepaalde effecten op perceelsniveau en de uitstralingseffecten wordt een beslissing over de aanvraag genomen.

Vaststelling van de nieuwe grondwatersituatie

Indien toestemming voor de aanvraag van een nieuwe drainage is verleend kan de Gt voor het desbetreffende perceel en in de omgeving veranderen. Hierdoor ontstaat een nieuwe uitgangssituatie voor een eventuele nieuwe drainage aanvraag in de omgeving. In de huidige procedure kan de eventuele verandering in de Gt als gevolg van het verlenen van een nieuwe vergunning voor drainage niet automatisch aangepast worden.

De beoordelingsprocedure stapsgewijs

- *Vaststelling van de huidige grondwatersituatie*, d.w.z. een zo goed mogelijke schatting van de gemiddelde grondwaterstand, gebaseerd op de Gt;
- *Drainageontwerp*, afhankelijk van het beoogde grondgebruik op het perceel waarvoor de vergunning wordt aangevraagd;
- *Bepaling van het verschil* tussen huidige gemiddelde grondwaterstand en gewenste grondwaterstand, onder de beoogde, gedraineerde omstandigheden;
- *Effect op de omgeving*, uitstraling naar omliggende gebieden;
- *Beslissen over de aanvraag*
- *Vaststelling van de nieuwe grondwatersituatie* na aanleg van de nieuwe drainage, nadat toestemming is verleend, waarna de nieuwe situatie (1) is vastgelegd.

4.2 Discussie

Cumulatieve effecten

Het cumulatieve effect van meerdere drainages maakt het beoordelen van elke nieuwe aanvraag bijzonder lastig. Indien een perceel gedraineerd wordt de grondwaterstand in de omgeving in meer of mindere mate verlaagd. Als vervolgens een nabijgelegen perceel gedraineerd wordt is de grondwaterstand in de uitgangssituatie al verlaagd als gevolg van het eerder gedraineerde perceel. De beïnvloeding binnen het perceel is als gevolg van nabijgelegen gedraineerde percelen minder. Er is door de drainages in de omgeving immers een nieuwe uitgangssituatie ontstaan. Indien gekeken wordt naar de effecten op de omgeving moet rekening gehouden worden met een cumulatief effect. Elke drainage geeft een nieuw effect. Bij een nabijgelegen natuurgebied kan hierdoor een cumulatief effect ontstaan. Een

paar centimeter verlaging van de grondwaterstand in een natuurgebied, veroorzaakt door drainage van één nabijgelegen perceel wordt bij twee percelen enigszins verhoogd. Met meerdere drainages en invloedsgebieden krijg je een verdere cumulatie van effecten, die nog complexer is. Om het probleem van cumulatieve effecten te ondervangen worden de aanvragen voor drainagevergunningen afzonderlijk uitgerekend. Indien een vergunning verleend wordt kan de GT en de bijbehorende GHG, GLG en GVG-waarden veranderen. Deze nieuwe GT-informatie is de uitgangssituatie voor vervolgberekeningen. In de huidige applicatie kan deze verandering, indien aanwezig, handmatig doorgevoerd worden. De schaal van de huidige Gt-kaart geeft geen aanleiding om dit te automatiseren, doordat bij verder opsplitsen van de Gt-vlakken schijnnaauwkeurigheid kan ontstaan. Indien er in een gebied een Gt-actualisatie heeft plaatsgevonden is aanpassing van de Gt met de bijbehorende GHG, GLG en GVG-waarden met een automatische procedure, die aansluit bij de 25x25 meter grids wel zinvol.

Nauwkeurigheid

Voor de bepaling van de ruimtelijke effecten wordt gebruik gemaakt van een analytische oplossing. De berekening zijn stationair en er vinden alleen superpositie berekeningen plaats. Binnen de invloedssfeer van de berekeningen wordt de gebruikte geohydrologische data constant verondersteld. Bij een berekening worden de geohydrologische gegevens van het desbetreffende perceel gebruikt. Gezien de beschikbare schaal van de geohydrologische gegevens (1x1 km) lijkt deze aanname voldoende nauwkeurig, mits het grootste deel van de ruimtelijke beïnvloeding niet veel groter is dan 1 km. Bij de bepaling van de drainageweerstand wordt voor de belangrijkste parameter (de slootafstand) wel rekening gehouden met de aanwezige ontwateringsmiddelen in de omgeving van het te draineren perceel. Gezien de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens en het gebruik van een analytische oplossingsmethode zijn de berekende effecten indicatief van aard.

Literatuur

Bon, J, 1969. *Topografie en vorm van het grondwatervlak als achtergrond van de te verwachten afvoeren in de Gelderse Achterhoek*. Cultuurtechnisch Tijdschrift 8(3):1-14,1969.

Boumans, L., A. Breeuwsma, W. van Duyvenbooden, D.J. Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten en J.H.M. Wösten, 1987. *Kwetsbaarheid van grondwater. Kartering van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van grondwater voor verontreiniging*. Rapport 840387003, RIVM, Bilthoven.

Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, 1986. *Verklarende hydrologische woordenlijst*. Rapporten en nota's no 16, CHO-TNO, 's-Gravenhage.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum*. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.

Drecht, G. van, 1997. Modellen voor diffuse ontwatering in de toplaag. In: *Stromingen*, jaargang 3, nr 2, pag 5-16.

Edelman, H.J., 1972. *Groundwater hydraulics of extensive aquifers*. International institute for land reclamation and improvement, ILRI, bulletin 13, Wageningen.

Ernst, L.F., 1956. Calculation of the steady flow of groundwater in vertical cross sections. *Neth. J. Agr. Sci.* 4: 126-131.

Ernst, L.F., 1962. *Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen*. Proefschrift, Wageningen

Ernst, L.F., 1963. *De berekening van grondwaterstroming tussen evenwijdige open leidingen*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Mededeling 52, Wageningen.

Ernst, L.F., 1983. *Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden*. ICW, rapport 7, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. *Verdroging door droge en natte rijksinfrastructuur in Overijssel en Gelderland; een verkennende studie*. Rapport 500, DLO Staring Centrum, Wageningen

Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. *Differentiatie van waterlopen ten behoeve van het bestrijdingsmiddelenbeleid in Nederland*. Rapport 526, DLO Staring Centrum, Wageningen.

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

- Kruseman, G.P. en N.A. de Ridder, 1970. *Analysis and evaluation of pumping test data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- Locher W.P. en H. de Bakker, 1987. *Bodemkunde van Nederland. Voorpublicatie van Deel 1 Algemene Bodemkunde*. Stichting voor bodemkartering, Malmberg, Den Bosch.
- Massop, H. Th. L. en P.A.J.W. de Wit , 1994. *Hydrologisch onderzoek naar drainageweestanden van het tertiair ontwateringsstelsel in Oost-Gelderland*. Rapport 373, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- 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 de kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand*. Rapport 527.1, DLO Staring Centrum. Wageningen.
- Mazure, J.P., 1936. *Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. Algemene landsdrukkerij, pp 67-131, 's-Gravenhage.
- Pastors M.J.H., 1992. *Landelijk Grondwater Model. Conceptuele modelbeschrijving 10*. RIVM, Bilthoven.
- Rothe, J., 1924. Die Strangentfernung bei Dränungen. *Landw. Jb.* 59, pag. 453-490.
- Schaaf, S. van der, 1995. Snelle oudjes: Toepassing van Mazure's oplossingen voor eerste effectschattingen van waterhuishoudkundige veranderingen. In: *H2O*, nr. 25, 750-753.
- Sluijs, P. van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. In: *H2O(15)* nr 3.
- Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, 1990. *Handboek 'Grondwaterbeheer voor Natuur, Bos en Landschap.'*
- Technische werkgroep grondwaterplan, 1985. *Rapport van de technische werkgroep grondwaterplan; deel 1, 2 en 3*. Provinciaal bestuur van Drenthe, Assen
- TNO, 1964. *Steady flow of ground water towards wells*. TNO, The Hague.
- Verruijt, A., *Theory of groundwater flow*. Macmillan and Co LTD, London.
- Vries, J.J. de, 1974. *Groundwater flow systems and stream nets in The Netherlands*. Proefschrift, Amsterdam.
- Wit, K.E, H.Th.L.Massop en J.G. te Beest, 1991. *Relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in de provincie Drenthe*. Rapport 134, DLO Staring Centrum. Wageningen.

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*. Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 1994. Technisch document 18, DLO Staring Centrum, Wageningen.

Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduinen, 1975. *Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland*. RGD, Haarlem.

Aanhangsel 1 Horizontale weerstand voor een vier lagen profiel (Emst, 1963)

$$c_h = \frac{c_1 a_1}{8 a} \left(a_2 L^2 + \frac{4 a_1 L \sqrt{a}}{\sqrt{a}} \tanh \frac{L \sqrt{a}}{4} \right) \quad (1)$$

met:

$$a_1 = \frac{1}{k_1 D_1 c_1} \quad (2)$$

$$a_2 = \frac{1}{k_2 D_2 c_1} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{k_1 D_1 c_1} + \frac{1}{k_2 D_2 c_1} \quad (4)$$

Aanhangsel 2 De verhouding tussen de maximale opbolling en de gemiddelde opbolling is de vormfactor, welke wordt gedefinieerd als (Ernst, 1983)

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_1 + (1 - \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2^*) \frac{c_r}{(c_r + c_h)} \quad (1)$$

met:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{\frac{2l}{L} (\cosh \frac{l}{2l} - \frac{2l}{L} \sinh \frac{l}{2l}) + \frac{k_1 D_1}{3k_2 D_2} \sinh \frac{l}{2l}}{\frac{2l}{L} (\cosh \frac{l}{2l} - 1) + \frac{k_1 D_1}{2k_2 D_2} \sinh \frac{l}{2l}} \quad \mathbf{a}_2^* = \frac{0.3D + 0.7B_{wp}}{L} \quad (2)$$

