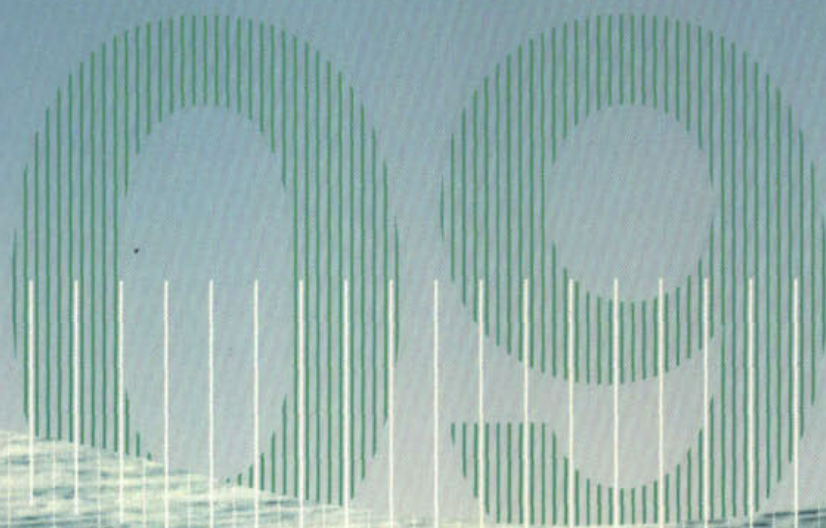


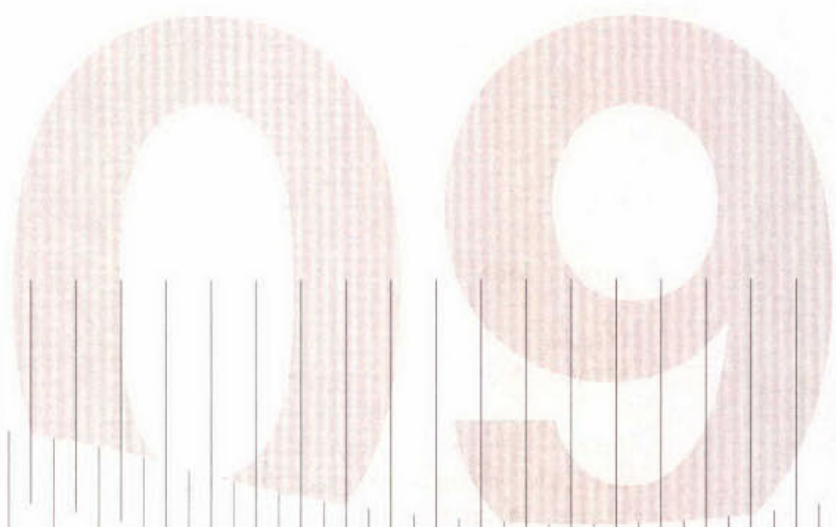
Extremen binnen Waternood

waterlood



stowa

Extremen binnen Waterlood



Colofon

Utrecht, 2002

Uitgave:

STOWA, Utrecht

Tekst:

ir. P.E.R.M. van Leeuwen (WL | Delft Hydraulics)

dr. ir. P.J.Th. van Bakel (Alterra)

ir. F.J.E. van der Bolt (Alterra)

ir. J.A.M. van der Gun (NITG-TNO)

ir. F.J. Roelofsen (NITG-TNO)

ir. K-J. Breur (WL | Delft Hydraulics)

Vormgeving:

Nicoline Caris, grafische vormgeving BnO

Druk:

Kruyt Grafisch Adviesbureau

Rapportnummer 2002-33, (STOWA)

Waternoodrapport 9

ISBN nummer 90.5773.187.8

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van STOWA, met medefinanciering van ICES (Delft Cluster) en het LNV-programma 'Integraal Waterbeheer'.

Bestelwijze STOWA publicaties

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

Hageman Fulfilment, adres: Postbus 1110, 3330 CC Zwijndrecht

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

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

Samenvatting

Onderzoeksvraag

In het Waternood-instrumentarium staat de beoordeling van het systeemgedrag in 'alledaagse' omstandigheden centraal. Effecten van extreme situaties zoals uitschieters in grondwaterstand en schade als gevolg van een sequentie van hogere of lagere grondwaterstanden worden in de beoordeling niet of beperkt meegenomen. De vraag is of het expliciet wegen van extreme effecten in de huidige beoordeling zinvol is. Om deze vraag te beantwoorden is inzicht nodig in het effect van extremen op de functieondersteuning. Meer specifiek dient de invloed is van extreme gebeurtenissen op de jaarlijkse schadeverwachting te worden vastgesteld.

Beoordeling functieondersteuning

In deze studie is een vergelijking uitgevoerd tussen twee methoden:

- de methode in het huidige instrumentarium Waternood, en
- een nieuw ontwikkelde methode waarin extremen expliciet worden meegewogen.

De nieuwe methode is gebaseerd op schadebepaling per event. De bepaling van de landbouwschade is daarbij gebaseerd op de zogenaamde WB-21 schadefunctie waarin ook verdrinkingsschade en schade ten gevolge van slechte bewerkbaarheid is meegenomen.

Case studies

De vergelijking tussen genoemde methoden wordt uitgevoerd voor de gebiedsfuncties landbouw en stedelijk gebied voor een tweetal case studies. In de case Bakelse Aa zijn de landbouwschades vergeleken en is de jaarlijkse schadeverwachting bepaald. De case Reeuwijk vergelijkt beide methoden op landbouwschade en schade aan de gebiedsfunctie wonen.

Uit de Case Reeuwijk blijkt dat de nieuw ontwikkelde methode in vergelijking met de huidige methode een beter beeld geeft van schade als gevolg van extreme situaties. Dit geldt zowel voor de gebiedsfunctie landbouw als voor wonen.

Voor het stroomgebied van de Bakelse Aa blijkt eveneens een beter schadebeeld te ontstaan. Daarnaast is in deze case het extremen-aandeel in de totale landbouwschadeverwachting bepaald. Dit aandeel bleek aanzienlijk. Met de huidige methode als referentie leidt het meewegen van extreme situaties tot een hogere schadeverwachting.

Geconcludeerd wordt dat de nieuwe methode een beter schadebeeld oplevert en dat schade als gevolg van (zeldzame) extreme situaties de jaarlijkse schadeverwachting kan verhogen.

Extremen inpassen in Waternood?

Of de methode standaard in het Waternood-instrumentarium moet worden opgenomen hangt af van de meerwaarde ten opzichte van de huidige methode. De huidige onderbouwing van de WB21-schadefunctie is nog onvoldoende om deze meerwaarde voldoende nauwkeurig te kunnen vaststellen. De vraag kan derhalve nog niet worden beantwoord.

Duidelijk is dat inpassing van de nieuwe methode in het huidige instrumentarium niet tot zeer veel extra inspanning voor de gebruiker zal leiden. Naast het beschikbaar maken van de WB21-schadefuncties (een eenmalige ontwerpactie) gaat het om het:

- definiëren stochasten;
- classificeren stochasten; en
- uitvoeren aanvullende simulaties van grondwaterstanden.

De eerste twee punten worden per studiegebied eenmalig uitgevoerd volgens een nader op te stellen standaardprotocol. De inspanning voor het derde punt zijn vergelijkbaar met die voor het bepalen van de GHG en GLG-waarden voor de huidige beoordeling. In totaal zal de extra inspanning beperkt zijn. Zeker indien een werkprotocol via het instrumentarium beschikbaar komt.

Integrale afweging

Naast extremenanalyse is in deze studie gekeken naar methoden om doelrealisaties van verschillende gebiedsfuncties ten opzichte van elkaar te wegen. Dit rapport schetst een aanpak die is gebaseerd op een multicriteria-evaluatie. De aanpak sluit naadloos aan bij de functiebeoordeling zoals beschreven in het rapport Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering (STOWA, 2002). Omdat deze methode gebruik maakt van kaartbeelden met ruimtelijk gepresenteerde doelrealisatiewaarden en schadeverwachtingen sluit deze direct aan bij de opzet van het instrument Waternood.

De STOWA in het kort

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

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

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. Het onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen. Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

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

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

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

Inhoud

Colofon
Samenvatting
STOWA in het kort

1	Inleiding	1
1.1	Extreme situaties.....	1
1.2	Doel van de studie	2
1.3	Organisatie en samenwerking	2
1.4	Projectteam	2
1.5	Begeleiding van het onderzoek.....	2
1.6	Leeswijzer.....	3
2	Wat is Waternood?.....	5
2.1	Systematiek Waternood	5
2.1.1	Functiegericht waterbeheer	5
2.1.2	Waternood-cyclus.....	5
2.2	Waternood-instrumentarium.....	6
2.2.1	Oorspronkelijke opzet	6
2.3	Doelrealisatie en functieafweging zoals tot dusverre uitgewerkt binnen Waternood	7
2.3.1	De toetsingsgrootheid 'doelrealisatie'	7
2.3.2	Doelrealisatie voor landbouw	7
2.3.3	Doelrealisatie voor stedelijk gebied.....	8
2.3.4	Doelrealisatie voor terrestrische natuur.....	8
2.3.5	Toetsingsvariabelen niet in de vorm van een doelrealisatie.....	8
2.3.6	Functieafweging.....	8
2.3.7	Beperkingen huidige opzet instrumentarium	9
3	Uitbreiding Waternood.....	11
3.1	Noodzaak extremenanalyse	11
3.2	Om welke extreme gebeurtenissen en effecten gaat het?	12
3.3	Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie landbouw	14
3.3.1	Natschade.....	14
3.3.2	Droogteschade.....	15
3.3.3	Verbetering doelrealisatiebepaling	15
3.4	Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie terrestrische natuur.....	15
3.5	Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie wonen	15

3.6	Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie aquatische natuur	15
3.7	Verdere uitbreiding Waternood	15
4	Extreme grondwaterstanden	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Methoden bepalen extreme grondwaterstanden	17
4.3	Bepaling van extreem hoge (grond)waterstanden met behulp van de stochastenmethode	18
4.3.1	Oorzaken van wateroverlast.....	18
4.3.2	Principe van de stochastenmethode	19
5	Schade bij extreme hydrologische omstandigheden.....	21
5.1	Landbouw	21
5.1.1	Oorzaken.....	21
5.1.2	Schadebepaling bij wateroverlast.....	21
5.1.3	Schadebepaling bij extreem natte situaties.....	22
5.1.4	Schadefunctie WB21.....	23
5.2	Wonen en werken	23
5.2.1	Schadefunctie wonen WB21.....	23
5.2.2	Aangepaste schadefunctie.....	24
5.3	Schadebepaling extreem droge situaties	25
6	Integrale afweging.....	27
6.1	Inleiding	27
6.2	Functieafweging met de 'gewichtenmethode'	27
6.3	Gebruik kaartbeelden	30
6.4	Normen en extremen.....	31
6.5	Betrekken van kosten in de afweging	32
6.6	Samenvatting en slotopmerkingen	33
7	Case Bakelse Aa	37
7.1	Inleiding	37
7.2	Gebiedsbeschrijving	37
7.3	Kwantificeren van landbouwschade.....	39
7.3.1	Natschade volgens HELP-tabellen.....	39
7.3.2	Natschade volgens WB21-schadefuncties.....	41
7.3.3	Vergelijken methoden natschadeberekening.....	44
7.3.4	Vergelijken systeemgedrag voor natschade en inundatie	45
7.4	Conclusies	46
8	Case Reeuwijk.....	49
8.1	Inleiding	49
8.2	Gebiedsbeschrijving	49
8.3	Karakterisering en schematisering van het proefgebied	51
8.3.1	Grondwaterregime.....	51
8.3.2	Gebiedsfuncties	51
8.3.3	Topografie	51

8.4	Kwantificering van extreme effecten	52
8.4.1	Extreme effecten voor de functie stedelijk gebied	52
8.4.2	Kwantificering van effecten voor functie landbouw	52
8.5	Gebiedsdekkende evaluatie van extreme effecten	53
8.6	Gebiedsdekkende bepaling doelrealisatie.....	55
8.7	Meerwaarde schade door extremen	55
8.8	Slotopmerkingen	56
9	Conclusies en aanbevelingen	57
9.1	Conclusies	57
9.2	Aanbevelingen.....	58
10	Literatuur	59

Bijlagen

A	Normering regionale watersystemen	61
B	Stochastenmethode	63
C	Methode voor schatten van landbouwschade	65
D	Coëfficiënten natschadeberekening	67

1 Inleiding

1.1 Extreme situaties

Halfweg de negentiger jaren van de vorige eeuw concludeerden de Dienst Landelijk Gebied en de Unie van Waterschappen dat de toen nog vaak gevolgde, traditionele werkwijze voor het beheren en inrichten van regionale watersystemen uit de tijd was geraakt. Om hier wat aan te doen hebben ze de projectgroep Waternood ingesteld. DLG en Unie van Waterschappen hebben in 1998 gezamenlijk het rapport 'Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater' van de projectgroep Waternood (Projectgroep Waternood, 1998) uitgebracht.

In het rapport van de projectgroep Waternood is een nieuwe werkwijze gepresenteerd met als doel om bij het beheren en inrichten van oppervlaktewatersystemen meer dan voorheen, het oppervlaktewatersysteem te beschouwen als middel om de functieafhankelijke wensen die aan het grondwatersysteem worden gesteld, te realiseren. Ook bevordert de aanpak volgens Waternood dat watersystemen en ruimtelijke ordening beter op elkaar worden afgestemd.

De impliciete focus van Waternood is op 'alledaagse' omstandigheden. Dit hangt ondermeer samen met het karakteriseren van grondwaterstandsverlopen door de gemiddeld laagste en de gemiddeld hoogste grondwaterstand, afgekort als GLG en GHG. Door gebruik van deze grootheden blijven kort durende uitschieters buiten beeld terwijl ze wellicht wel schade aanrichten. Ook de sequentie van het optreden van hogere of lagere grondwaterstanden vinden we in de GHG en GLG niet terug. Deze sequentie is van belang omdat enerzijds de schade door nieuwe extremen verder kan toenemen terwijl anderzijds deze toename nihil zou kunnen zijn omdat de schade al bij de eerste extreme maximaal was.

Wanneer we in staat zijn beter vat te krijgen op mogelijke schade door extremen ontstaat echter een nieuw probleem namelijk de weging van de 'alledaagse' schade ten opzichte van de 'extremen' schade.

Het voorliggende rapport richt zich op het integreren van extreme meteorologische en hydrologische omstandigheden binnen de systematiek van Waternood. Meer specifiek gaat het om:

- het bepalen van de meerwaarde van de analyse van schade door extreme gebeurtenissen binnen Waternood;
- de uitbreiding van het instrumentarium Waternood met schadefuncties voor extreme situaties;

Ofschoon er een sterke relatie is tussen voorliggende studie en de normeringsmethodiek, het gaat immers in beide gevallen om het beoordelen van extreme situaties, gaat het in essentie toch om verschillende zaken.

De normering (zie ook Bijlage A) richt zich primair op de frequentie van inundatie vanuit het open water. Al voor het moment van eventuele inundatie is echter vaak al aanzienlijke schade opgetreden. Deze schade die van belang is voor aanpassing van inrichting en beheer van een watersysteem, staat in Waternood centraal. Deze studie onderzoekt het nut van het aanvullen van de Waternood-systematiek met een extremenbeoordeling.

1.2 Doel van de studie

Allereerst moet worden nagegaan hoe schade door extremen hydrologische omstandigheden het best kan worden gekwantificeerd. Hiervoor wordt geen nieuw onderzoek op het gebied van schademodelering uitgevoerd maar aangesloten bij de laatste inzichten op dit gebied. Vervolgens moet aan de hand van een case studie worden vastgesteld hoe de resultaten met de nieuwe methode zich verhouden tot de resultaten met het huidige Waternood. Deze vergelijking moet resulteren in een voorstel met betrekking tot eventuele aanpassing van de Waternood-systematiek.

Het doel van de studie is dus tweeledig:

- bepalen van de meerwaarde en relevantie van extremenanalyse binnen Waternood;
- inpassen van de extremenbeoordeling in de Waternood-systematiek.

1.3 Organisatie en samenwerking

Deze studie is uitgevoerd in Delft Cluster kader door een consortium van WL | Delft Hydraulics, Alterra en TNO-NITG. De voortrekkende rol ligt bij WL | Delft Hydraulics. STOWA treedt in het consortium op als belanghebbende.

De doelstellingen van ICES en Delft-Cluster is het toepasbaar maken van kennis. De gebruikers van de kennis spelen daarbij een belangrijke rol hetgeen tot uitdrukking komt in de financiering van het onderzoek. De ICES gelden dienen als externe overheidsbijdrage te worden beschouwd. De bijdrage van de sector (hier STOWA) onderstreept het belang dat vanuit de sector aan het onderzoek wordt gehecht.

1.4 Projectteam

Het projectteam wordt gevormd door medewerkers uit de drie betrokken instituten:

- ir. P.E.R.M. van Leeuwen WL | Delft Hydraulics (projectleider);
- dr. ir. P.J.Th van Bakel Alterra;
- ir. F.J.E. van der Bolt Alterra;
- ir. J.A.M. van der Gun NITG-TNO;
- ir. F.J. Roelofsen NITG-TNO;
- ir. K.-J. Breur WL | Delft Hydraulics.

1.5 Begeleiding van het onderzoek

Voor de inhoudelijke begeleiding van het project is een begeleidingscommissie ingesteld. De rol van deze commissie is sturend voor wat betreft inhoud en planning. De leden van de commissie zijn:

- ir. Z.C. Vonk (voorzitter) Hoogheemraadschap Alblasserwaard en Vijfheerenlanden;
- ir. A.C.W. Lambrechts Waterschap Rijn en IJssel;
- ir. J. Beldman Waterschap Rijn en IJssel;
- ir. J. van Dansik Hoogheemraadschap van Delfland;

- ir. S.C.C. Helmyr namens STOWA;
- ir. F.R. Goossensen namens STOWA;
- ir. C.J.H. Griffioen Waterschap Groot Salland;
- ing. A.P.A. Kuypers MSc Wetterskip Fryslân;
- ir. T. de Meij Waterschap Velt en Vecht;
- drs. B. van der Wal STOWA;
- ing. A. van Wessel Waterschap De Dommel.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2

Hoofdstuk 2 geeft het kader van de studie aan en geeft een korte schets van doelrealisatie en functieafweging zoals tot dusverre gehanteerd binnen Waternood.

Hoofdstuk 3

Hoofdstuk 3 beschrijft de beperkingen van het huidige Waternood met betrekking tot het beoordelen van extreme situaties en formuleert op basis daarvan de mogelijke uitbreiding van Waternood voor de beoordeling van de diverse gebiedsfuncties. Het hoofdstuk eindigt met een beschrijving van de onderzoeksprocedure die gevolgd wordt om tot de ontwikkeling van een uitbreiding te komen.

Hoofdstuk 4

Hoofdstuk 4 beschrijft verschillende methoden om extreme situaties te analyseren. Meer specifiek wordt daarna ingegaan op de stochastenmethode. Hiermee kunnen extreme events worden gedefinieerd op grond van een kansverdeling van onafhankelijke oorzaken.

Hoofdstuk 5

In hoofdstuk 5 staat het bepalen van schade bij extreme situaties centraal. Eerst wordt in dit hoofdstuk een inventarisatie gegeven van veel toegepaste schadefuncties voor landbouw. Vervolgens wordt de hier gehanteerde schadebepaling beschreven voor de gebiedsfuncties landbouw en wonen. Het gaat hierbij alleen om natschade. De droogteschade dient nog nader te worden uitgewerkt.

Hoofdstuk 6

Hoofdstuk 6 beschrijft een methodiek voor de integrale functieafweging waarbij de ondersteuning van de verschillende gebiedsfuncties in samenhang wordt beoordeeld. De methodiek wordt in een getallen-voorbeeld geïllustreerd.

Hoofdstuk 7

Hoofdstuk 7 beschrijft de case studie Bakelse Aa. Centraal staat de meerwaarde van het bepalen van effecten van extreme situaties. De schadewaarde berekend met de Help-tabel en die met een aangepaste methode WB21 worden op celniveau en gebiedsniveau met elkaar vergeleken.

Hoofdstuk 8

Hoofdstuk 8 beschrijft de Case Reeuwijk. In deze case worden de extreme effecten voor de gebiedsfuncties landbouw en wonen in beeld gebracht.

Hoofdstuk 9

Hoofdstuk 9 presenteert de conclusies en aanbevelingen van de studie.

2 Wat is Waternood?

2.1 Systematiek Waternood

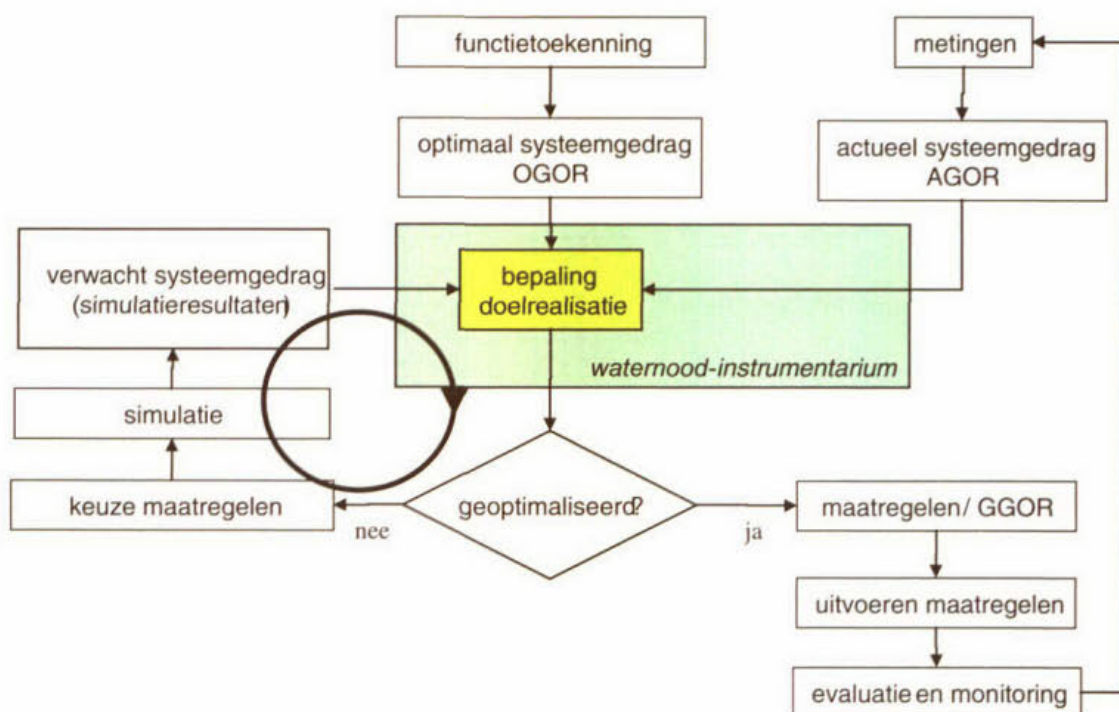
2.1.1 *Functiegericht waterbeheer*

Waternood is sinds 1998 de methode voor inrichting en beheer van regionale watersystemen. Waternood is in het waterbeheer een verzamelterm voor een bepaalde ontwerpfilosofie of systematiek voor het inrichten en beheren van watersystemen en voor een instrument om de mate van functieondersteuning te kwantificeren. De systematiek is daarbij algemener en veelomvattender dan het Waternood-instrumentarium. In deze paragraaf gaan we in op de systematiek. Het instrumentarium wordt behandeld in paragraaf 2.2.

De essentie van de systematiek Waternood is het functiegericht waterbeheer waarbij de traditionele focus op het handhaven van waterstanden wordt verruimd tot het realiseren van bepaalde oppervlaktewater- en grondwaterregimes. De systematiek Waternood heeft als doel om maatregelen te formuleren waarmee de gewenste grond- en oppervlaktewaterregimes die voortkomen uit de gebiedsfuncties in een gebied ook daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden. Het formuleren van maatregelen gebeurt in de zogenaamde Waternood-cyclus.

2.1.2 *Waternood-cyclus*

Figuur 2.1 toont de Waternood-cyclus. Uitgangspunt bij het doorlopen van de cyclus is de toegekende gebiedsfunctie van een gebied. Het optimaal ondersteunen van deze functie door het watersysteem wordt gekarakteriseerd door het optimale grond- en oppervlaktewaterregime (OGOR). Veelal zal dit theoretische optimum afwijken van het regime dat in het gebied aanwezig is, het zogenaamde actuele grond- en oppervlaktewaterregime (AGOR). Op basis van het verschil tussen beide regimes worden vervolgens maatregelen geformuleerd waarvan de effecten worden getoetst. Uiteindelijk wordt zo een pakket maatregelen vastgesteld waarmee het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) wordt gerealiseerd. De functieondersteuning wordt hierbij gekwantificeerd door de zogenaamde doelrealisatiefuncties die per gebiedsfunctie aangeven in welke mate de gebiedsfunctie door het waterbeheer wordt ondersteund.



Figuur 2.1 De Waternood-cyclus. Op basis van de toegekende functie worden maatregelen vastgesteld die leiden tot een bevredigende doelrealisatie

Omdat alleen het oppervlaktewaterregime direct te beïnvloeden is zal het GOR uiteindelijk moeten worden vertaald in een set beheersregels. Deze beheersregels kunnen bijvoorbeeld worden geformuleerd in termen van streefpeilen of grenzen waarbinnen waterstanden mogen variëren.

2.2 Waternood-instrumentarium

2.2.1 Oorspronkelijke opzet

Gebruik van het instrumentarium vereist informatie over het systeemgedrag in de vorm van tijdreeksen van (grond-) waterstanden en bijvoorbeeld waterkwaliteitsvariabelen. Deze tijdreeksen kunnen afkomstig zijn van metingen (actuele situatie) of van modellen waarmee de invloed van maatregelen in beeld is gebracht. Vaak dienen de gemeten of berekende waarden eerst nog verder te worden bewerkt bijvoorbeeld tot GHG en GLG voordat ze ingevoerd kunnen worden in het Waternood-instrumentarium.

Het kwantificeren van het effect van maatregelen gebeurt ondermeer via de zogenaamde doelrealisatiefuncties. Deze geven op een schaal tot 100% aan in welke mate de gebiedsfunctie door het watersysteem wordt ondersteund. Indien de doelrealisatie onvoldoende is ten opzichte van wat haalbaar wordt geacht, wordt onderzocht via welke maatregelen deze kan worden verhoogd. Dit gebeurt door maatregelen te modelleren en voor de 'nieuwe situatie' de Waternood-cyclus opnieuw te doorlopen.

Uiteindelijk wordt naar een evenwicht bereikt tussen de verwachte maatschappelijke kosten van de maatregelen en de toename van de doelrealisatie. Is dit evenwicht bereikt dan zijn maatregelen geformuleerd waarbij een bevredigende situatie ontstaat.

2.3 Doelrealisatie en functieafweging zoals tot dusverre uitgewerkt binnen Waternood

Het instrumentarium is nog in ontwikkeling. Zo zullen bijvoorbeeld nog nieuwe doelrealisatiefuncties worden toegevoegd en zullen de bestaande doelrealisatiefuncties waar mogelijk worden verfijnd. In de oorspronkelijke opzet van het instrumentarium zijn doelrealisatiefuncties beschikbaar voor de gebiedsfuncties:

- landbouw;
- terrestrische natuur;
- stedelijke functie.

Voor aquatische natuur en voor waterkwaliteit zijn toetsingsmethoden voor effecten van maatregelen beschikbaar.

In het onderstaande wordt een aantal aspecten van het huidige instrumentarium nader ingegaan.

2.3.1 De toetsingsgrootheid 'doelrealisatie'

Binnen de Waternood methodologie staan de begrippen functie en functieondersteuning centraal. Voor elk van de aan ruimtelijke eenheden (land en/of water) toegekende functies wordt een optimaal grond- en oppervlaktewaterregime (OGOR) bepaald. Hoe dicht dit wordt genaderd door het actuele grond- en oppervlaktewaterregime (AGOR) komt tot uiting in de eerder genoemde grootheid "doelrealisatie". Deze is het quotiënt van de werkelijke realisatie (opbrengst) en de optimale realisatie (opbrengst) en varieert van 0.0 tot 1.0 (of van 0% tot 100%). "Doelrealisatie" geldt binnen Waternood als de centrale toetsingsgrootheid ter beoordeling van functieondersteuning en ter vergelijking van alternatieven. Het alternatief met de hoogste doelrealisatie geniet de voorkeur. Doelrealisatie kan op 'pixelniveau' worden vastgesteld en beoordeeld, maar zal vaak worden geaggregeerd tot het niveau van min of meer homogene zones en uiteindelijk naar het totale beschouwde plangebied.

Onderstaand wordt globaal geschetst hoe de doelrealisatie wordt vastgesteld voor de functies landbouw, stedelijk gebied en natuur.

2.3.2 Doelrealisatie voor landbouw

De doelrealisatie voor landbouw is gebaseerd op de grondwaterregimestatistieken GHG en GLG. Met behulp van de z.g. Help-tabellen zijn bij gegeven bodemtype, GHG en GLG de relatieve opbrengstdepressie ten gevolge van te nat ("natschade") of te droog ("droogteschade") in te schatten voor respectievelijk bouwland en grasland. Het percentage opbrengstreductie komt numeriek overeen met de doelrealisatie in procenten.

De waarden uit de Help-tabel zijn gebaseerd op proceskennis in combinatie met empirische kennis. De opbrengstreductie wordt geacht proportioneel te variëren met de verdampingsreductie. De binnen Waternood gebruikte methodologie houdt geen rekening met geheel of gedeeltelijk afsterven van een gewas gedurende het groeiseizoen.

2.3.3 Doelrealisatie voor stedelijk gebied

Voor stedelijk gebied wordt momenteel in Waternood gesteld dat het grondwater niet hoger mag stijgen dan 70 cm minus maaiveld, indien men wateroverlast in kruipruimten en kelders wenst te vermijden. Hierop gebaseerd is de doelrealisatiefunctie die in het Waternoodrapport *Functieafweging* wordt gehanteerd (Gehrels et al, 2002), die stipuleert dat de doelrealisatie 100% als de dieper dan 80 cm - maaiveld is en 0% als deze minder dan 60 cm onder maaiveld ligt. Tussen 60 en 80 cm wordt lineair geïnterpoleerd.

2.3.4 Doelrealisatie voor terrestrische natuur

Ondersteuning van de functie terrestrische natuur is een samenspel van de standplaatsfactoren aeratie, vochtvoorziening, zuurgraad en voedselrijkdom. In het rapport *Doelrealisatie natuur* (Runhaar et al., 2002) wordt doelrealisatie voor een zeker natuurdoeltype diensetengevolge niet slechts gekoppeld aan de grondwaterstand, maar aan meerdere stuurvariabelen. Als zodanig zijn de hydrologische stuurvariabelen GVG, GLG, droogtestress, kwel en overstroming voorgesteld. Omdat de uiteindelijke doelrealisatie het product is van de doelrealisaties van de afzonderlijke hydrologische stuurvariabelen, dienen de geselecteerde stuurvariabelen onafhankelijk van elkaar te zijn, om dubbeltellingen te voorkomen (zoals bij GLG en droogtestress). Voor de afzonderlijke hydrologische stuurvariabelen zijn eenvoudige trapeziumvormige doelrealisatiefuncties bedacht met hoekpunten a_1 , a_2 , b_1 en b_2 . Voor waarden kleiner dan a_1 of groter dan a_2 is de doelrealisatie 0%, en tussen b_1 en b_2 is deze 100%. Tussen a_1 en b_1 en tussen a_2 en b_2 wordt lineair geïnterpoleerd.

2.3.5 Toetsingsvariabelen niet in de vorm van een doelrealisatie

Het rapport *Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering* (STOWA, 2002) noemt ook "doelen zonder doelrealisatie" en heeft het daarbij over aspecten die wel bij de besluitvorming een rol dienen te spelen, maar niet direct in de vorm van een berekende doelrealisatie. De volgende aspecten worden daarbij genoemd:

- Aquatische natuur;
- Normering en extremen;
- Waterkwaliteit;
- Kosten en baten;
- Beleving.

In de toelichting hierop wordt aangegeven dat deze aspecten zich minder goed lenen voor toetsing aan de hand van een 'doelrealisatie' met waarden tussen 0 en 100%. Voor zover al ontwikkeld, hebben toetsingsvariabelen voor sommige van deze aspecten vooralsnog een kwalitatieve schaal (aquatische natuur), terwijl andere (b.v. in het geval van normen) het karakter hebben van een randvoorwaarde, dus niet van een te maximaliseren doelvariabele. Ook voor het meenemen van kosten in de afweging lijkt het concept van een tweezijdig begrensde doelrealisatie minder geschikt.

2.3.6 Functieafweging

In het rapport *Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering* wordt een bepaalde procedure voor functieafweging gepresenteerd. De belangrijkste elementen daarvan zijn:

- Doelrealisatie wordt als toetsingsvariabele gebruikt.
- Er worden zogenaamde 'homogene deelgebieden' gedefinieerd, al dan niet aaneengesloten.
- Uit de doelrealisaties op het niveau van de gebiedsoppervlakte-eenheid (pixelniveau) worden gemiddelde doelrealisaties op deelgebiedsniveau berekend.
- Aan de deelgebieden worden gewichten toegekend.

- Het gewogen gemiddelde van de doelrealisaties op deelgebiedsniveau is de totaalscore voor het gehele gebied en geldt als een te maximaliseren doelfunctie.

De beschreven procedure maakt gebruik van de 'gewichtenmethode' voor de oplossing van multi-criteriaproblemen. Deze methode reduceert het multi-criteriumprobleem tot een eenduidig optimalisatieprobleem, namelijk: maximalisatie van de totaalscore. Tegenover de rekenkundige eenvoud van de methode staat het nadeel van geringe transparantie van het keuzeproces.

2.3.7 *Beperkingen huidige opzet instrumentarium*

Variaties in de tijd

De tot dusverre ontwikkelde doelrealisaties geven per functie één score die niet verder gedifferentieerd is naar de tijd. Ze geven doorgaans een integratie over de tijd en zijn daardoor beter afgestemd op alledaagse situaties dan op weinig frequent voorkomende extreme gebeurtenissen. Voor de gebiedsfunctie landbouw zou dit kunnen leiden tot een onderschatting van de natschade. Extreem natte situaties blijven namelijk door gebruik van de grootheden GHG en GLG buiten beeld terwijl ze wel kunnen leiden tot een aanzienlijke vermindering van de landbouwopbrengst.

Schadebepaling

Droogteschadebepaling is nog geen onderdeel van het Waternood-instrumentarium.

De landbouwschade wordt bepaald met behulp van de Help-tabel. In deze bepaling wordt echter geen rekening gehouden met de schade door opeenvolgende natte situaties.

Natschade aan terrestrische natuur wordt globaal ingeschat. De relatie tussen schade en bijvoorbeeld de inundatiefrequentie is nog niet goed bekend.

Verder is de relatie tussen schade en de chemische samenstelling van inundatiewater nog niet in doelrealisatiefunctie voor terrestrische natuur opgenomen;

Beperkt aantal gebiedsfuncties

Voor aquatische natuur en waterkwaliteit is nog geen doelrealisatiebepaling beschikbaar.

3 Uitbreiding Waternood

3.1 Noodzaak extremenanalyse

De methodiek van Waternood waarbij de alledaagse situatie wordt geoptimaliseerd heeft een aantal beperkingen vanuit het perspectief van extreme gebeurtenissen.

Door het niet expliciet in beschouwing nemen van extremen maakt de methodiek het in de eerste plaats niet mogelijk te sturen op terugdringen van afzonderlijke, concreet geformuleerde ongewenste extreme gebeurtenissen. Over wat voor ongewenste extreme gebeurtenissen het daarbij zou kunnen gaan, wordt geschetst in paragraaf 3.2. De score van de doelrealisatie geeft weliswaar aan of de gemiddelde functie vervulling bij een bepaald alternatief in statistische zin zal verbeteren (en daartoe dragen extreme situaties wel degelijk bij), maar maakt niet duidelijk hoe ongunstig de situatie op zeker moment kan worden en met welke frequentie een dergelijke situatie mag worden verwacht. De methodiek biedt dientengevolge geen mogelijkheden om een redelijk beeld te krijgen van de kans dat een bepaald ongewenst extreem effect zal optreden en van de mate waarin een alternatieve set maatregelen dat effect zou kunnen verminderen.

In de tweede plaats is het binnen de thans bestaande methodiek niet uitgesloten dat een verbetering van de doelrealisatie gepaard gaat met een verhoogd risico van wateroverlast of watertekort. Zo kunnen maatregelen tegen verdroging het risico van wateroverlast vergroten. Zolang het positief effect (vermindering verdroging) het negatief effect (vergroting wateroverlast) in de berekening van de doelrealisatie overschaduwde, blijft het ongunstig neveneffect (vergroting wateroverlast) in de afweging volgens de huidige methodiek onzichtbaar. Het wordt slechts impliciet meegenomen, door zijn invloed op de totale score van de doelrealisatie. In de navolgende paragraaf worden voorbeelden gegeven van ongunstige neveneffecten die in beginsel kunnen optreden bij maatregelenpakketten die tot verbetering van de tot dusverre ontwikkelde doelrealisaties leiden, maar in het huidige Waternood wellicht buiten beeld blijven. De voorbeelden zijn deels afkomstig uit het rapport 'Normen voor waterbeheer: op welke gronden?' (WL | Delft Hydraulics en Alterra, 1999).

Voorbeelden van neveneffecten van maatregelen

Enkele voorbeelden van neveneffecten van maatregelen zijn:

Hogere grondwaterstanden verminderen de berging in de onverzadigde zone. De situatie waarin de grondwaterstanden tot in het maaiveld stijgen en hoge afvoeren optreden wordt sneller en vaker bereikt.

Het toestaan van meer peilvariatie in het peilbeheerst deel van Nederland om zodoende de wateraanvoer te reduceren leidt tot het droger het natte seizoen ingaan van de bodem waardoor de afvoeren later op gang komt. Per saldo kan dit een verlaging van de frequentie van piekafvoeren betekenen.

Door het ondieper aanleggen van drains neemt de berging in de onverzadigde zone af met als gevolg het vaker optreden van hoge afvoeren als gevolg van stijging van de grondwaterstanden tot in het maaiveld.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat voor een afweging van maatregelen niet alleen inzicht gewenst is in gemiddelde omstandigheden, maar ook in de effecten onder extreem natte en droge omstandigheden. Waternood biedt in potentie hiervoor een uitstekend kader. Hiertoe is echter nodig dat de systematiek van Waternood uitgebreid wordt met een toetsing van de effecten van overwogen maatregelen onder extreme omstandigheden.

Om meer vat te krijgen op de problematiek van extremenbeoordeling is aan de start van de studie een definitiestudie uitgevoerd. Hierin is kennis en ervaring binnen het projectteam uitgewisseld op het gebied van het ontwerp van watersystemen en het analyseren van mogelijke maatregelen om het systeemgedrag te optimaliseren.

3.2 Om welke extreme gebeurtenissen en effecten gaat het?

Om één en ander zo concreet mogelijk te maken volgt in tabel 3.1 een lijst van extreme effecten waarvoor de ontwikkeling van extra toetsingsvariabelen kan worden overwogen. De lijst is niet uitputtend en de relevantie van de verschillende effecten loopt uiteen. Het verdient aanbeveling om voor een beperkt aantal meest relevant ogende effecten toetsingsvariabelen te definiëren en daarmee ervaring op te doen. Bij positieve ervaringen zou dan later het aantal kunnen worden uitgebreid.

Tabel 3.1 Mogelijke extreme effecten bij inadequate grondwaterstandregimes.

LANDBOUW	
<i>(a) Akkerbouw/tuinbouw</i>	
○	Afsterven of verrotten van het gewas t.g.v. wateroverlast
○	Afsterven van het gewas t.g.v. extreme droogte
○	Onbegaanbaarheid van het land gedurende zaai-/pootperiode
○	Onbegaanbaarheid van het land gedurende oogstperiode
○	Gewasschade bij inundatie of irrigatie met gebiedsvreemd water van zeer slechte kwaliteit
<i>(b) Wei- en hooiland</i>	
○	Tijdelijke ontoegankelijkheid van het weiland voor het vee vanwege wateroverlast
○	Volledige of gedeeltelijke teloorgang van de hooioogst t.g.v. teveel regen na het maaien
○	Groeischade bij inundatie of irrigatie met gebiedsvreemd water van zeer slechte kwaliteit.
BEWONING	
○	Waterindringing in kelders en/of kruipruimten bij werkelijk optredende extreem hoge grondwaterpeilen (deze kunnen ondieper zijn dan de GHG)
○	Schade aan vloeren t.g.v. wateroverlast bij werkelijk optredende extreem hoge grondwaterpeilen (deze kunnen ondieper zijn dan de GHG)
○	Schade aan houten funderingspalen t.g.v. werkelijk optredende extreem lage grondwaterpeilen (deze kunnen dieper zijn dan de GLG)
○	Bodemdalingschade (scheuren en verzakkingen) t.g.v. werkelijk optredende extreem lage grondwaterpeilen (deze kunnen dieper zijn dan de GLG).

AQUATISCHE NATUUR	
o	Afsterven van aquatische soorten t.g.v. verandering van waterkwaliteit (met name bij inlaat van "vreemd water")
o	Botulisme en vissterfte tijdens warme droge zomerperioden (via zuurstofgebrek door extreme groei van waterplanten)
o	Droogvallen van vennen en waterlopen, met consequenties voor de daarin aanwezige organismen
o	Afsterven/ terugdringing van soorten t.g.v. de sulfaatpieken die door oxidatie uit bodem van drooggevalen vennen vrijkomen.
TERRESTRISCHE NATUUR	
o	Uitschakeling van kwetsbare soorten of natuurdoeltypen (b.v. natte schraallanden, sommige bostypen, veenmossen) bij inundatie met kwalitatief "slecht" water
o	Eliminatie van weidevogels als terreinen waar eieren plegen te worden gelegd geïnuundeerd raken.
o	Ongewenste migratie van sommige dieren (b.v. vossen) bij droogvallen van moerassen
o	Verdwijnen van gevoelige soorten/ecosystemen (b.v. veenmossen) bij extreme droogte, zelfs indien die slechts van korte duur is.

Om eenduidig vast te stellen of dergelijke ongewenste extreme effecten zich al dan niet hebben voorgedaan, zijn toetsingsvariabelen nodig. In Tabel 3.2 zijn voorbeelden van deze variabelen weergegeven voor de functies Landbouw en Wonen.

Tabel 3.2 Voorbeelden van toetsingsvariabelen voor extreme effecten

(a) Extreem effect no. 1: afsterven of verrotten van een gewas t.g.v. wateroverlast

Gegeven:	Kritische grondwaterstandwaarden Z_c . Gewas X gaat teloor door voortijdig afsterven of verrotting als grondwaterstand gedurende periode P_i ondieper is dan Z_c .
Bepaald wordt:	Met welke frequentie treedt deze kritieke situatie op, voor iedere gebiedsoppervlakte-eenheid (pixel) waaraan de functie landbouw onder gewas X is toegekend.
Toetsingsvariabele:	Areaal waarbinnen deze frequentie hoger is dan een gegeven frequentie F (b.v. 1 maal per 10 jaar).

(b) Extreem effect no. 2: Verlate toegankelijkheid van weiland voor het vee in het voorjaar

Gegeven:	"Normale" datum waarop het vee weer naar de wei kan.
Bepaald wordt:	Frequentieverdeling van overschrijdingen van deze datum, voor iedere pixel waaraan de functie weiland is toegekend.
Toetsingsvariabele:	Areaal waarvoor de frequentie van overschrijding hoger is dan een gegeven frequentie F (b.v. 1 maal per 10 jaar).
Alternatieve toetsingsvariabele:	Schade die door de cumulatieve overschrijdingen wordt veroorzaakt (b.v. vanwege aankoop extra veevoer), in een extreem jaar (met frequentie F) of gemiddeld per jaar.

(c) Extreem effect no. 3: Waterindringing in kelders of kruipruimten

Gegeven:	Waarde van grondwaterstand die niet vaker dan met frequentie F (b.v. 1 maal per 50 jaar) mag worden overschreden ('kritische grondwaterstand')
Bepaald wordt:	Frequentie waarmee de kritische grondwaterstand wordt overschreden, voor iedere pixel waaraan de functie 'bebouwd' is toegekend.
Toetsingsvariabele:	Areaal waarbinnen de frequentie F wordt overschreden

(d) Extreem effect no. 4: Verrotten van tijdelijk droogvallende houten funderingspalen

Gegeven:	(a) Kansverdeling van de ligging van de bovenkant van aanwezige houten funderingspalen (b) Maximale cumulatieve periode dat de palen mogen droogvallen
Bepaald wordt:	Cumulatieve periode waarin de grondwaterstand lager is dan de bovenzijde van de palen (per pixel waarbinnen palen voorkomen en over een vooraf vastgestelde analyseperiode, b.v. 50 jaar).
Toetsingsvariabele:	Areaal waarbinnen de maximale cumulatieve periode wordt overschreden

(e) Extreem effect no. 5: Kans op bodemdalingschade door peilverlaging

Gegeven:	Per pixel bebouwd oppervlak: (a) Samendrukbaarheid van de grond (groot, matig, klein) (b) Laagste grondwaterstand tot dusverre opgetreden Generiek: (c) Maximaal toegestane onderschrijding (in cm) van laagste historische grondwaterstand, gedifferentieerd naar samendrukbaarheidsklasse van de grond
Bepaald wordt:	Optredende onderschrijding (in cm) van de laagste historische grondwaterstand (per pixel bebouwd oppervlak vastgesteld).
Toetsingsvariabele:	Areaal waarbinnen de laagste grondwaterstand (per pixel bebouwd oppervlak) meer wordt onderschreden dan maximaal is toegestaan.

3.3 Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie landbouw

Om na te gaan in hoeverre nat- en droogteschade met betrekking tot de functie landbouw in de huidige doelrealisatiebepaling voor verbetering vatbaar zijn, is het zinvol de huidige methoden van schadebepaling nader te bekijken. In dit kader zijn twee schadefuncties speciaal interessant: de Help-tabel (Werkgroep Help-tabel, 1987) die in Waterlood wordt gebruikt voor het vaststellen van landbouwschade en de schadefunctie die voor de hoogwater normering voor regionale watersystemen is toegepast in het kader van WB21 is toegepast om de schade van extreme situaties vast te stellen (Hoogwaternormering regionale watersystemen, 2000).

3.3.1 Natschade

De getallen voor nat- en droogteschade in de Help-tabel zijn opgesteld door een werkgroep met input van specialisten van DLG gedurende de periode 1975 t/m 1986. Hoe de cijfers voor natschade precies zijn vastgesteld, is moeilijk te reconstrueren maar gelet op de periode gaan we er vanuit dat er rekening wordt gehouden met de verstoring van de normale bedrijfsvoering. Of natschade bij extremere situaties bijvoorbeeld als gevolg van het verloren gaan van de oogst door verrotting is meegenomen, is niet duidelijk.

In de leidraad normering hoogwatersystemen wordt de natschade in de landbouw berekend uit de mate en duur van de overschrijding tijdens gebeurtenissen via de zogenaamde somoverschrijdings(SOW)-waarden en de som van de kwadraten van de overschrijdingswaarden (SKOW₃-waarden). De *duur* van de periode dat een bepaalde grondwaterstand aaneengesloten wordt overschreden, wordt niet meegenomen.

De hypothese is (en die wordt gestaafd door praktijkervaringen) dat die *duur* van de periode dat een kritieke grondwaterstand aaneengesloten wordt overschreden, significante invloed

heeft op de natschade. Natschade is namelijk progressief. In deze studie wordt nagegaan hoe deze schade uit een analyse van tijd-stijghoogtelijnen kan worden vastgesteld.

3.3.2 Droogteschade

De droogteschade in de Help-tabellen is bepaald aan de hand van modelberekeningen voor 30 jaar. Deze berekeningen omvatten ook extreme droogtesituaties. Bij de genoemde modelberekeningen wordt verondersteld dat het gewas tijdens en na een droogtestressperiode in optimale conditie is en blijft verdampen. Dat is in werkelijkheid niet het geval. De verminderde verdamping leidt tot productieverlies. In de herziene Help-tabel die onderdeel uitmaakt van het Waternood-instrumentarium is daar rekening mee gehouden. Nadere analyse van de droogteschadebepaling valt echter buiten het kader van deze studie.

3.3.3 Verbetering doelrealisatiebepaling

De huidige doelrealisatiebepaling verdient bijstelling wanneer blijkt dat de progressieve schade in extreme situaties de functieondersteuning significant beïnvloedt. In het kader van deze studie wordt het effect van een nieuwe natschadebepaling voor de functie Landbouw bepaald.

3.4 Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie terrestrische natuur

In het kader van deze studie is vooralsnog geen uitbreiding voor de functie terrestrische natuur onderzocht. De strategie was om eerst de aandacht te richten op die functies die van kortdurende extreem natte of droge situaties duidelijk schade ondervinden en waarbij deze schade redelijk is vast te stellen. Voor de functie terrestrische natuur is zowel het een als het ander nog niet goed onderzocht. Overigens is dit wel een aandachtspunt voor toekomstig onderzoek.

3.5 Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie wonen

Voor de functie wonen is in de studie van het praktijkvoorbeeld Reeuwijk (zie hoofdstuk 8) een verbeterd toetsingscriterium voor natschade voorgesteld en gebruikt. Getoetst wordt of kruipruimten al dan niet de kans lopen onder water te komen staan. De verbeteringen t.o.v. de eerder toegepaste doelrealisatie stedelijk gebied (Gehrels et al., 2002) zijn:

- niet de GHG maar de werkelijk hoogste grondwaterstand is maatgevend voor de schade;
- er is rekening gehouden met het feit dat het maaiveld en de hoogteligging van huizen ook variëren op afstanden kleiner dan de lengte of breedte van een gridcel in het model.

3.6 Uitbreiding nat- en droogteschadebepaling voor de functie aquatische natuur

Hiervoor geldt hetzelfde als boven opgemerkt voor de functie terrestrische natuur (§ 3.4).

3.7 Verdere uitbreiding Waternood

Naast een verbetering van de doelrealisatiebepaling zoals boven besproken zijn andere aanpassingen van Waternood denkbaar om extreme situaties beter in de beoordeling en afweging te kunnen betrekken zoals een afzonderlijke weging van extremen naast de doelrealisatie en het introduceren van aanvullende beslisvariabelen naast de doelrealisatie. Bij de huidige stand van zaken betreffende de Waternood-methodiek wordt de schade ten gevolge van extremen slechts beperkt meegewogen, en bovendien op impliciete wijze. Het naast de doelrealisatie meewegen van extreme effecten zou kunnen leiden tot betere maatregelen. De ver-

kenning heeft uitgewezen dat bij het beoordelen van extreme situaties de volgende beslisvariabelen mogelijk een rol zouden kunnen spelen:

- schadeverwachting bepaald op basis van effecten tijdens extreme situaties;
- piekafvoerreductie of -toename;
- schade bij een 1:5 à 10 jaar extreme gebeurtenis;
- verandering in de basisafvoer.

Bovendien zullen bij een beslissing betreffende te nemen maatregelen de kosten van die maatregelen niet buiten beeld mogen blijven. Dit is enerzijds om vast te stellen of een pakket maatregelen financieel haalbaar is (dat wil zeggen binnen de budgettaire ruimte valt), anderzijds om te beoordelen of de meerwaarde van een geprefereerd maatregelenpakket opweegt tegen de wellicht hogere kosten daarvan.

Daarom verdient het aanbeveling om bij een integrale afweging ook één of meerdere beslisvariabelen te introduceren die het kostenniveau tot uitdrukking brengen en daarmee de afweging van kosten tegen baten mogelijk maken.

4 Extreeme grondwaterstanden

4.1 Inleiding

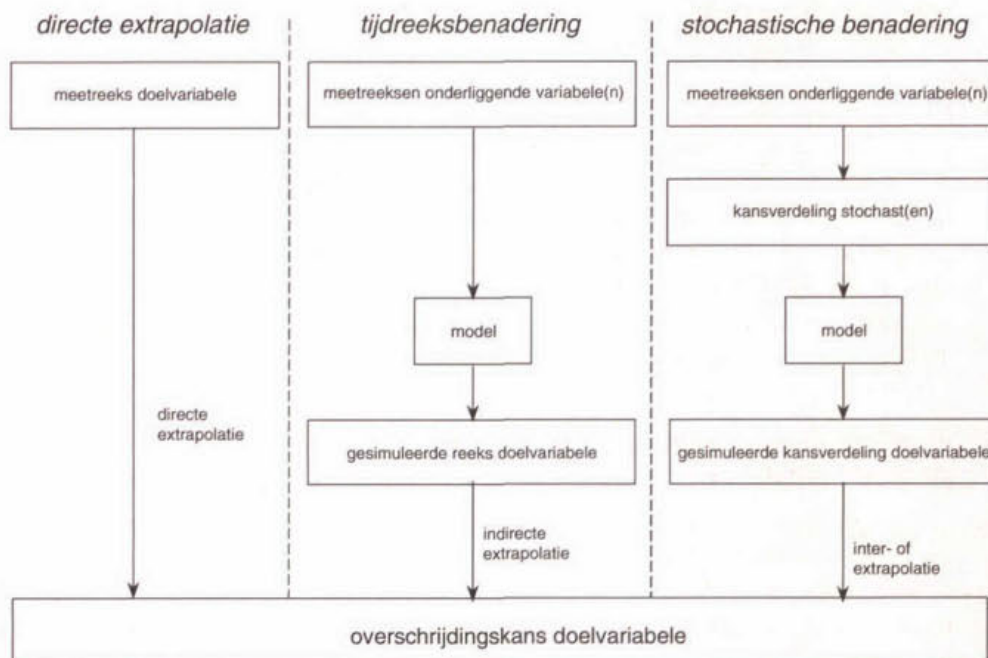
De doelrealisatie heeft betrekking op de effecten van de waterhuishouding. Uitbreiding van de doelrealisatie met extremen betekent dan ook dat de effecten van deze extremen moeten worden gekwantificeerd. Dit gebeurt in twee stappen. Allereerst worden de extremen hydrologische omstandigheden geschat om vervolgens de schade als gevolg van die omstandigheden te kwantificeren. Dit hoofdstuk beschrijft de eerste stap en gaat in op methoden voor het bepalen van extreme grondwaterstanden.

4.2 Methoden bepalen extreme grondwaterstanden

In het bepalen van extreme grondwaterstanden kan onderscheid gemaakt worden in drie methoden:

- directe extrapolatie van meetgegevens;
- tijdreeksbenadering;
- stochastische benadering.

In de onderstaande figuur zijn deze geschematiseerd.



Figuur 4.1 Schematisatie van drie methoden voor het bepalen van extreme (grond)waterstanden

Directe extrapolatie

Bij directe extrapolatie wordt een meetreeks van de doelvariabele (grondwaterstand) als uitgangspunt gehanteerd. Via statistische extrapolatie wordt vervolgens de overschrijdingskans van de doelvariabele vastgesteld. Deze methode kenmerkt zich doordat in principe geen model wordt gebruikt.

Tijdreeksbenadering

In tegenstelling tot de directe statistische extrapolatie, wordt bij de tijdreeksbenadering per definitie gebruik gemaakt van een model. De invoer van dit model wordt gevormd door meetreeksen van één of meerdere onderliggende variabelen. Het model geeft vervolgens de doelvariabele als uitvoer, waarna statistisch geïnter- of geëxtrapoleerd wordt. Deze aanpak, waarbij statistiek op de doelvariabele wordt toegepast, wordt ook wel een gekenmerkt door 'statistiek achteraf'.

Stochastische benadering

De Stochastische benadering of kortweg stochastenmethode werd eerst toegepast bij Rijkswaterstaat, waar het als standaardmethode wordt gebruikt om maatgevende hoogwaterstanden te bepalen. Deze methode is erop gebaseerd dat een extreme gebeurtenis, zoals bijvoorbeeld een extreem hoge waterstand, opgebouwd is uit meerdere onafhankelijke achterliggende processen, die tot de extreme situatie leiden. De kansverdelingen van de afzonderlijke processen worden gecombineerd tot een gezamenlijke kansverdeling voor de belasting van het systeem.

Keuze methode

De directe extrapolatie onderscheidt zich van de andere twee methoden, omdat hierbij direct vanuit de metingen wordt gewerkt. Aan deze methode kleven echter een aantal bezwaren. Enerzijds zijn de beschikbare tijdreeksen veelal te kort om waarden vast te stellen die met voldoende lage frequentie worden over- of onderschreden. Anderzijds is de resolutie in de tijd van het merendeel van de in Nederland gemeten grondwaterstanden beperkt. In de praktijk ontbreekt het doorgaans aan voldoende meetgegevens om via directe extrapolatie extreme grondwaterstanden te genereren.

Bij de stochastenmethode en de tijdreeksmethode worden waarden van de doelvariabele middels simulatie verkregen en dienen metingen om simulatiemodellen te kalibreren. Ook deze methoden hebben sterke en zwakke punten. Voor het genereren van droge extremen is de tijdreeksmethode geschikter. De waarden van extreem lage grondwaterstanden zijn hiermee vaak beter te beschrijven. Voor het genereren van natte extremen zijn zowel de stochastenmethode als de tijdreeksmethode bruikbaar. In deze studie is voor het genereren van extremen gebruik gemaakt van de stochastenmethode. Deze sluit beter aan bij de methodiek van schadebepaling van WB21.

4.3 Bepaling van extreem hoge (grond)waterstanden met behulp van de stochastenmethode

4.3.1 Oorzaken van wateroverlast

In welke mate extreme neerslaghoeveelheden leiden tot wateroverlast is afhankelijk van meerdere factoren. Een van de belangrijkste factoren voor het optreden van wateroverlast is de hoeveelheid neerslag in een bepaalde periode. Ook is van belang hoe de neerslag over die periode is verdeeld. Een andere factor is de beginsituatie van grond- en oppervlaktewater (bergingscapaciteit). Een zeer droge bodem heeft veel meer bergingscapaciteit dan een natte.

Verder is ook het al dan niet kunnen lozen van water uit een gebied (hoge buitenwaterstanden, maalstop) van belang.

In dit onderzoek wordt de wateroverlast beschouwd die wordt veroorzaakt door extreme regenval in combinatie met de beschikbare berging in de bodem. De reactie van het watersysteem en de hierdoor veroorzaakte schade zijn onderwerp van studie.

4.3.2 *Principe van de stochastenmethode*

Bij de stochastenmethode worden extreme hydrologische omstandigheden bepaald in de vorm van maatgevende events. Deze events volgen uit een analyse van kansverdelingen van variabelen (stochasten) die van grote invloed zijn op de kans op wateroverlast. Een event bestaat uit een combinatie van stochasten en heeft een beperkte tijdsduur (dagen).

Het bepalen van de kansverdelingen van de stochasten is tijdrovend. Zijn de events echter eenmaal geformuleerd dan kan efficiënt worden gerekend omdat geen lange tijdreeksen hoeven te worden doorgerekend.

Stochasten

De volgende onafhankelijke variabelen zijn meegenomen als stochast:

- Neerslagvolume;
- Neerslagverdeling;
- Beginsituatie grondwater (bergingscapaciteit); en
- Seizoen (zomer en winter).

Voor een verdere beschrijving van de formulering van events wordt verwezen naar Bijlage B.

Van events naar grondwaterstandsverlopen

Voor het toepassen van de stochastenmethode wordt gebruik gemaakt van een neerslag-afvoermodel van het projectgebied. Met dit model wordt voor de verschillende events berekend hoe de grondwaterstand tijdens de extreme hydrologische omstandigheden verloopt. In Hoofdstuk 7 wordt een voorbeeld uitgewerkt. Eerst wordt in het navolgende hoofdstuk ingegaan op beschikbare methoden voor het bepalen van de schade tijdens de diverse events.

5 Schade bij extreme hydrologische omstandigheden

Dit hoofdstuk beschrijft de schadebepaling bij natte extremen voor de gebiedsfuncties landbouw en wonen en werken.

5.1 Landbouw

5.1.1 Oorzaken

Bij wateroverlast is onderscheid te maken tussen wateroverlast en schade door overstroming (water op het land) enerzijds en schade door relatief hoge grondwaterstanden ten gevolge van een geremde ontwatering anderzijds. Bij extreme neerslaggebeurtenissen treedt schade op door overstroming en door hoge grondwaterstanden. Bij minder extreme gebeurtenissen kan in de landbouw al aanzienlijke schade ontstaan door hoge grondwaterstanden, ook bij een optimale ontwatering (d.w.z. dat er vrij kan worden geloosd op het afwateringssysteem). De landbouwkundige ontwerpnormen zijn namelijk gebaseerd op de 'optimale' langjarige situatie. Bij hoge oppervlaktewaterstanden wordt de ontwatering geremd waardoor grondwaterstanden toenemen.

De effecten van wateroverlast zijn sterk afhankelijk van het bodemgebruik en de tijd van optreden van de overlast. Naast de schade die onmiddellijk (in een groeiseizoen) optreedt kan de schade zich ook over een langere periode uitstrekken. Een overzicht van de mogelijke oorzaken van natschade kan worden gevonden in de deelrapportage hoogwaternormering regionale wateren t.b.v. WB21 (Van der Bolt en Kok, 2002).

5.1.2 Schadebepaling bij wateroverlast

Methoden

Regelmatig zijn landbouwkundige effecten van wateroverlast gerapporteerd, daarbij zijn verschillende bodems, gewassen en soorten schade beschouwd. Ook zijn de opbrengstdalingen (ook wel opbrengstdepressies genoemd) aan verschillende grootheden gekoppeld (luchtgehalte, gemiddelde wintergrondwaterstand, GHG, GLG, SOW30, zaai- en oogsttijd). De verzamelde gegevens en inzichten zijn verwerkt in een aantal methoden om de schade als gevolg van wateroverlast te schatten: de COLN-methode (1958), de 'methode COGROWA' (Werkgroep Landbouwkundige Aspecten, 1984), modelberekeningen (Van Wijk et al. 1988, Peerboom 1990, Postma, 1992), de HELP-tabellen (1987) en de 'IKC-methode' (Huinink, 1993 en Huinink en Brouwer, 2002). Laatstgenoemde kan worden gezien als een uitbreiding en modificatie van de Help-tabellen. Deze methoden zijn in Bijlage C meer in detail beschreven.

De inzichten en kennis die deze studies hebben opgeleverd zijn nog steeds relevant. Door het complex van factoren (bodemtextuur, bodemstructuur, profielopbouw, nutriëntenvoorziening, bodemtemperatuur en vochtgehalte, beluchting, chemische processen, bedrijfsvoering) die de schade aan het gewas bepalen, en de interacties tussen deze factoren is het moeilijk het optreden van schade te kwantificeren.

Beperkingen

Het landbouwkundig onderzoek naar de relatie tussen opbrengst en waterhuishouding was gericht op de vaststelling van de optimale landbouwkundige condities en het effect van een kleine langjarige afwijking van deze condities op de opbrengst. Bij het formuleren van landbouwkundige eisen kan op basis van langjarig gemiddelde grondwaterstanden optimale ontwateringsituatie worden gedefinieerd (als gevolg van de neerslaghoeveelheid en -verdeling wijkt de werkelijke ontwateringsituatie hiervan af). Alle onderzoek was gefocust op het ontwateringsaspect (de detailontwatering), daarbij is uitgegaan van het bestaan van een ongehinderde afwatering. Incidenteel zijn proeven uitgevoerd waarbij het effect van de duur van water in de wortelzone is bestudeerd. Daardoor is weinig bekend over de gevolgen van extreem hoogwater en overstroming. De hoge grondwaterstanden en overstromingen van de afgelopen jaren hebben helaas niet geleid tot nieuwe kennis of tot het beschikbaar komen van gegevens waarmee schadefuncties voor wateroverlast kunnen worden afgeleid.

5.1.3 Schadebepaling bij extreem natte situaties

Ofschoon dus relatief weinig landbouwkundig onderzoek is verricht naar de schade door wateroverlast bij incidentele extreem hoge grondwaterstanden, kunnen wel een aantal tendensen worden aangegeven:

- Zandgronden zijn minder gevoelig voor schade door wateroverlast dan klei- en veengronden;
- Boomteelt is het meest gevoelig voor wateroverlast, maar de gevoeligheid verschilt overigens niet veel met die van tuinbouw, fruitteelt en bollenteelt;
- Akkerbouw is gevoeliger dan grasland; grasland is het minst gevoelig.

Van der Bolt en Kok (2002) beschrijven een methode om op consistente wijze de schade in extreem natte situaties te schatten. De parameters van de diverse schadefuncties zijn echter vaak niet goed bekend en worden op basis van beschikbare kennis zo goed mogelijk geschat.

Grondgebruik

Bij de schadebepaling wordt uitgegaan van de volgende indeling in grondgebruik:

- grasland;
- akkerbouw;
- hoogwaardige land- en tuinbouw;
- glastuinbouw;
- stedelijk gebied; en
- natuurgebied.

Schadefuncties

De schade hangt af van de omvang van de overlast. Hiermee wordt bedoeld de hoogte van de overstromingsdiepte en de duur van de hoge (grond)waterstand. Schade in de landbouwsector is vermindering van de landbouwopbrengst.

De algemene vorm van de schadefunctie luidt:

$$S = f(h, \Delta t) \times S_{\max}$$

met:

S : schade per hectare of object

$f(h, \Delta t)$: schadefunctie, afhankelijk van overstromingsdiepte (h) en duur (Δt)

$S_{\max}$: maximale schadebedrag per hectare of object

5.1.4 Schadefunctie WB21

Voor gras kan een redelijke schatting van tijdstip- en tijdsduurafhankelijke schadefuncties worden gemaakt. Gekozen is voor een lineaire functie die de schade door vertrappingsverliezen beschrijft. De coëfficiënten zijn voor vier perioden in het jaar afgeleid. De SOW is gebruikt als maat om de overschrijding te kwantificeren. De SOW is gedefinieerd als de Som van de OverschrijdingsWaarden boven een drempelwaarde. De drempelwaarde is de diepte van de grondwaterstand waarboven vertrappingsverliezen optreden. Voor bouwland is dezelfde benadering gevolgd om de schade door verminderde bewerkbaarheid weer te geven.

Grasland is niet gevoelig voor verdrinking, bouwland wel. De schadefunctie wordt daarom uitgebreid met een component die de verdrinkingsschade bepaalt. De schade door verdrinking is niet lineair. Verdrinkingsschade ontstaat wanneer de grondwaterstand in de wortelzone komt en is maximaal wanneer het grondwater langer dan 3 dagen aan het maaiveld staat. De SKOW₃ (de Som van de geKwadrateerde OverschrijdingsWaarden van een kritieke grondwaterstand gedurende 3 opeenvolgende dagen) is gedefinieerd als maat om de verdrinkingsschade aan te relateren. De SKOW₃ wordt berekend ten opzichte van de onderkant van de wortelzone.

De schadefunctie voor gras- en bouwland ziet er dan als volgt uit:

$$f(h, \Delta t) = \max(c_1 * SOW_{dr}, c_2 * SKOW_{dwz})$$

Waarin:

$f(h, \Delta t)$ Schadefunctie voor gras- of bouwland [-]

SOW_{dr} Som OverschrijdingsWaarden [cm.d] van drempelwaarde dr [cm-mv].

$SKOW_{dwz}$ Som geKwadrateerde OverschrijdingsWaarden [cm².d] van de onderkant van de wortelzone dwz [cm-mv].

$c_1(t)$ schadecoëfficiënt voor bewerkbaarheidschade [cm⁻¹.d⁻¹]

c_2 schadecoëfficiënt voor verdrinkingsschade [cm⁻².d⁻¹], voor gras: $c_2 = 0$

dr drempelwaarde voor grondbewerking [cm-mv]

dwz onderkant van de wortelzone [cm-mv]

Van der Bolt en Kok (2000) hebben ook de coëfficiënten op basis van de beschikbare expertise geschat (Bijlage E). De methode is ontwikkeld om op basis van de bestaande informatie de schade bij kortdurende, extreme gebeurtenissen te berekenen. Ze moet echter in fasen verder worden onderbouwd, getoetst en uitgewerkt. Initiëren van verder onderzoek is gezien de beperkte beschikbare informatie gewenst.

5.2 Wonen en werken

5.2.1 Schadefunctie wonen WB21

Schade in stedelijk gebied wordt onderverdeeld in schade aan woongebieden, bedrijven en speciale objecten. Voor woongebieden en bedrijven wordt in het kader van WB21 een schadefunctie gehanteerd van 0.05, waarbij de gemiddelde schade die in het najaar van 1998 is opgetreden, als ijkpunt is gebruikt. Dit leidt tot de volgende algemene schadefunctie voor de functie wonen en werken:

$$S = 0.05 \times S_{\max}$$

Voor speciale objecten wordt geen algemene schadefunctie afgeleid, maar moet ter plaatse de mogelijke schade worden beoordeeld.

5.2.2 Aangepaste schadefunctie

In het kader van deze studie is een verfijnde schadefunctie opgesteld en toegepast (zie Hoofdstuk 8).

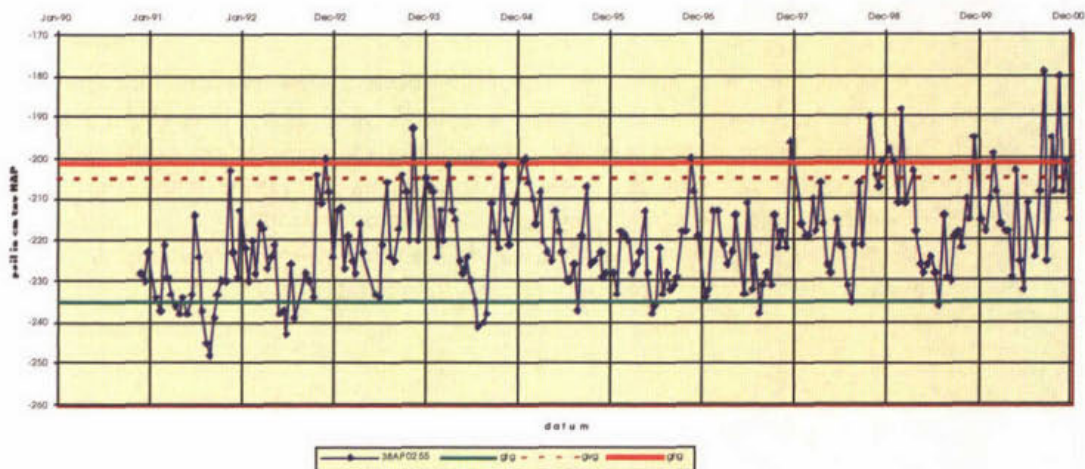
Ervan uitgaande dat de kruipruimten tot ca 0.70 m onder de woningen reiken, wordt gesteld dat de waterbeheersing binnen een gridcel faalt als de aldaar berekende of gemeten grondwaterstand (GWS, in m t.o.v. NAP) op enig moment minder dan 0.70 m onder de voor die gridcel geldende maaiveldhoogte (H, in m t.o.v. NAP) komt. Dit criterium is echter enigermate ongenueanceerd; enerzijds omdat er een zekere spreiding zal zijn van de diepte onderzijde kruipruimte t.o.v. lokale maaiveldhoogte, en anderzijds zal ook de lokale maaiveldhoogten zekere spreiding vertonen rond H. Om die spreidingen tot uiting te laten komen kan men de kans (in %) op wateroverlast bij zekere berekende of gemeten GWS als volgt benaderen:

$$F(\text{grondwaterstand} > \text{onderzijde kruipruimte}) = 50 * \text{TANH}(c * (\text{GWS} - (\text{H} - 0.70))) + 50$$

De waarde van de parameter c dient zodanig gekozen te worden dat daarmee berekende resulterende verdeling van F een spreiding heeft die overeenkomt met de spreiding van de begane-grondhoogte van de huizen binnen de beschouwde gridcel. Voor het voorbeeld in Hoofdstuk 8 wordt de c-waarde vastgesteld op 2 dit levert voor dat gebied een geloofwaardige spreiding op (76% van de kansmassa heeft een werkelijke hoogte die minder dan 0.5 m afwijkt van het voor de gridcel aangenomen niveau, voor 96% is dat minder dan 1.0 m en voor 99.5% minder dan 1.5 m). In gebieden met grotere lokale hoogteverschillen zal men een kleinere waarde voor c moeten kiezen. Liggen die hoogteverschillen in de orde van 5 meter, dan zal men bijvoorbeeld een waarde $c = 1$ kunnen kiezen (waarbij 76% van de kansmassa een werkelijke hoogte heeft die minder dan 1.0 meter afwijkt van het voor de gridcel aangenomen niveau, voor 96% is dat minder dan 2.0 meter en voor 99.5% minder dan 3.0 meter. In de formule wordt aangenomen dat de gridwaarde van de grondwaterstand GWS en de aangenomen gridhoogte H zijn uitgedrukt in meters t.o.v. NAP.

Omdat bewoners wateroverlast in kruipruimten (en kelders) ook met geringe frequentie zeer hinderlijk vinden, is het zinvol deze parameter F te berekenen voor de hoogste opgetreden grondwaterstand die is gemeten of gesimuleerd. De interpretatie van de scores voor de afzonderlijke gridcellen is dan als volgt: Score F in de buurt van 0 geeft aan dat met zeer hoge waarschijnlijkheid geen der huizen binnen de gridcel gedurende de analyseperiode wateroverlast heeft ondervonden. Een score F in de buurt van 100 geeft aan dat met zeer hoge waarschijnlijkheid alle huizen binnen de gridcel gedurende de analyseperiode wateroverlast hebben ondervonden. Meer algemeen: score $F = X$ ($0 < X < 100$) geeft aan dat naar schatting X % der huizen binnen de gridcel gedurende de analyseperiode wateroverlast heeft ondervonden.

De geschetste werkwijze geeft een meer realistisch beeld dan de eerder door Gehrels et al. (2002) gepresenteerde doelrealisatie voor bebouwd gebied, omdat die laatste zich baseert op GHG - en dus niet op de werkelijke extreme grondwaterstanden - en bovendien geen rekening houdt met afwijkingen tussen de lokale maaiveldhoogten en de geschatte representatieve gridhoogte.



Figuur 5.1 Grondwaterstandsverloop in peilput 38A-P-0255, inclusief berekende GxG's

Een praktisch voorbeeld moge dit verduidelijken. Figuur 5.1 geeft het grondwaterstandverloop op meetpunt 38A-P-0255, gelegen binnen het Reeuwijk gebied. Gesteld dat het maaiveld ter plaatse op 120 cm - NAP ligt, dan ligt de GHG op 81 cm onder maaiveld. De doelrealisatie als berekend in Gehrels et al. (2002) ligt daarmee op 100%, d.w.z. er zou een perfecte ondersteuning zijn van de functie wonen door het lokale hydrologisch regime. Bepaling van de score F geeft echter een meer genuanceerd - en veel somberder - beeld. Bij de hoge piek op 19 september 2000 komt de grondwaterstand op 59 cm - maaiveld. De hiervoor berekende score is $F = 60.8$, hetgeen betekent dat naar schatting 61% van de huizen binnen de betreffende gridcel op die dag waterlast had. Voor de drie in hoogte daarop volgende pieken ligt dat percentage tussen 50 en 60%.

De conclusie is dat de aangepaste methode een beter licht werpt op het optreden van wateroverlast. De methode is praktisch goed bruikbaar, want behalve de gegevens die in de door Gehrels gehanteerde methodiek (Gehrels et al., 2002) nodig zijn, dient men slechts een inschatting te maken van de variatie van de werkelijke hoogte van het bebouwde maaiveld binnen één gridcel.

5.3 Schadebepaling extreem droge situaties

De schadebepaling bij extreem droge situaties is niet uitgewerkt. In de onderstaande tekst wordt echter de richting van eventueel onderzoek aangegeven.

De uiterste droge periode is de hele periode geen neerslag in combinatie met een hoge verdamping grote wateronttrekking en het ontbreken van wateraanvoer. De resulterende droogschade wordt in belangrijke mate bepaald door de uitgangssituatie (grondwaterstanden) en de eigenschappen van de bodem (nalevering). In het verleden is jarenlang gerekend om m.b.v. modellen de droogschade t.b.v. de HELP-tabellen voor enkele bodem/gewascombinaties te bepalen. Daartoe is gerekend voor een tijdreeks van 30 jaar. Om op korte termijn inzicht te geven in extreem droge situaties kunnen twee benaderingen worden gevolgd:

- doorrekenen van een zo lang mogelijke tijdreeks en de extreem droge situaties vergelijken met de gemiddelden; of
- uitgaan van een kansverdeling voor de diepe grondwaterstanden en voor events rekenen.

Welke methode is te prefereren, is nog niet bekend. De eerste methode geeft een beperkt aantal extreem droge situaties, tweede methode vereist goed bekende kansverdelingen. Als maat voor de schade kan in eerste instantie het verdampingstekort worden genomen (potentiële verdamping minus de actuele verdamping) waarbij verondersteld wordt dat de schade evenredig is met het verdampingstekort. Een betere methode is om de modelberekeningen die zijn gebruikt voor het bepalen van de droogschade in de Help-tabellen operationeel te maken. Alterra neemt hierop een voorschot in het Waterpas project.

6 Integrale afweging

6.1 Inleiding

Indien er slechts één functie in het geding is en er geen andere beslisriteria zijn dan de doelrealisatie, dan is de keuze uit alternatieven eenduidig. In dat geval valt de keuze op het alternatief met de hoogste doelrealisatie (optimalisatie). Meestal is de situatie echter complexer. Er zijn doorgaans meerdere functies gelijktijdig in hetzelfde gebied aanwezig. Bovendien spelen de met maatregelen gemoeide kosten beslist een rol. Tenslotte zijn er ook nog andere aspecten denkbaar die voor het beslisproces relevant kunnen zijn, maar niet of niet volledig in de doelrealisatie worden meegenomen. In dergelijke gevallen is de keuze geen objectieve analytische bezigheid, maar spelen waardeoordelen mede een rol. Er is dan sprake van 'afwegen' oftewel - in meer formele termen - het oplossen van een multi-criteria probleem.

In de literatuur zijn vele methoden voor het oplossen van multi-criteria problemen beschreven (zie b.v. Goicoechea et al., 1982), maar lang niet altijd kunnen die er aanspraak op maken dat het beslisproces overzichtelijk en inzichtelijk blijft. Onderstaand wordt getracht praktische richtlijnen te geven voor een afwegingsproces waarbij aan die eisen wel wordt voldaan. Het betoog bouwt voort op de benadering die in het Waternood rapport *Functieafweging* is beschreven (Gehrels et al, 2002), en geeft daaraan een uitbreiding teneinde ook normen, extremen en kosten adequaat in de besluitvorming te kunnen betrekken. Aan de hand van een rekenvoorbeeld zal één en ander stap voor stap worden toegelicht.

6.2 Functieafweging met de 'gewichtenmethode'

De eerste complicatie in het beslisproces is dat er doorgaans meerdere functies tegelijkertijd moeten worden ondersteund. Het is algemeen bekend dat verschillende functies onderling verschillende eisen kunnen stellen aan de grond- en oppervlaktewater-regimes. Een grondwaterregime dat bij gegeven bodem en klimaat optimaal is voor akkerbouw kan veel te droog zijn voor diverse vormen van natte terrestrische natuur, maar anderzijds niet voldoende drooglegging garanderen voor zones met stedelijke bebouwing. Er is dan sprake van een belangenconflict, dat vergt om een zorgvuldige afweging. De beslissing die na zo'n afweging wordt genomen heeft het karakter van een compromis. Men streeft naar het onder omstandigheden beste haalbare compromis, ook wel 'satisfactum' genoemd (de term 'optimum' is gereserveerd voor een keuze waarbij geen waardeoordelen betrokken zijn).

De door Gehrels et al. (2002) gepresenteerde werkwijze voor functieafweging onder dergelijke omstandigheden wordt aan de hand van een eenvoudig voorbeeld toegelicht. Uitgangspunt is een kaart van het beschouwde gebied, onderverdeeld in 64 vierkante cellen of pixels van gelijke grootte, waarin de door het waterbeheer te ondersteunen functies in detail zijn weergegeven (Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Beheersgebied met functieaanduiding.

Elders wordt uiteengezet hoe de doelrealisaties te berekenen (Van Bakel en Huygen, 2001; Runhaar et al., 2002; Gehrels et al., 2002). Berekening van de doelrealisatie voor landbouw is gebaseerd op de GHG en GLG'S, de bodemeigenschappen en de z.g. Help-tabellen. Voor de terrestrische natuur wordt de doelrealisatie berekend als het product van de deel-doelrealisaties op een aantal standplaatsfactoren (Runhaar et al., 2002). Voor stedelijk gebied, tenslotte, is een eenvoudige doelrealisatiefunctie gebaseerd op de GHG geïntroduceerd (Gehrels et al., 2002). We gaan er in dit betoog van uit dat de doelrealisaties voor de actuele situatie (variant 1) en voor twee inrichtingsvarianten (varianten 2 en 3) berekend zijn als aangegeven in Figuur 6.2.

Variant 1	Variant 2	Variant 3
99 93 85 77 61 70 73 78	88 87 80 70 78 80 81 80	91 90 88 73 78 80 81 80
97 93 84 76 63 79 72 79	88 79 70 70 78 83 82 82	96 86 83 70 78 83 82 82
98 91 88 78 50 59 68 80	87 78 68 60 73 82 87 86	95 85 85 76 73 82 87 86
95 96 83 80 45 63 75 83	80 77 69 69 70 78 87 95	90 87 69 73 70 78 87 95
97 95 85 87 80 85 70 84	81 80 85 80 75 80 85 93	81 88 85 85 75 80 85 93
96 90 87 95 93 90 68 81	84 83 86 90 92 87 88 92	84 85 86 90 92 87 88 92
94 93 90 90 91 89 80 79	88 90 88 90 88 87 78 72	94 93 90 90 88 87 78 72
93 92 87 88 90 85 81 78	89 90 87 88 86 85 81 75	93 92 87 88 86 85 81 75

Gemiddelde scores:

				Gewicht
				en
Gebiedsgemiddeld	83	Gebiedsgemiddeld	82	G1 G2
Landbouw	89	Landbouw	81	0.50 0.10
Stedelijk	87	Stedelijk	84	0.40 0.10
Natuur	70	Natuur	83	0.10 0.80
Gewogen G1	86	Gewogen G1	82	
Gewogen G2	74	Gewogen G2	83	
		Gebiedsgemiddeld	84	
		Landbouw	85	
		Stedelijk	84	
		Natuur	83	
		Gewogen G1	84	
		Gewogen G2	83	

Figuur 6.2 Doelrealisaties voor de drie varianten

De onder de kaartjes gepresenteerde parameters geven aan dat de gebiedsgemiddelde scores elkaar weinig ontsloven. Wél zien we dat de functies landbouw en stedelijk gebied in variant 1 beter worden ondersteund dan in beide andere varianten, terwijl voor de functie natuur het omgekeerde geldt. Op het eerste gezicht lijkt het dat het hier zou gaan om vergelijking van de alternatieven op basis van één enkele toetsingsvariabele: doelrealisatie. Bij nader inzien blijkt echter dat er geen algemeen geldende relatie kan worden vastgesteld tussen de doelrealisaties voor verschillende functies (bijvoorbeeld aardappelteelt en laagveenbos). In werkelijkheid gaat het dus om vergelijking van varianten op basis van verschillende moeilijk onder één noemer te brengen toetsingsvariabelen. Welke variant uiteindelijk de voorkeur krijgt, is afhankelijk van hoe zwaar men de verschillende functies (en eventueel ook zones) ten opzichte van elkaar laat wegen.

Gehrels et. al (2002) passen voor evaluatie van de varianten de z.g. 'gewichtenmethode' toe. Hiertoe wordt het projectgebied eerst verdeeld in min of meer homogene deelgebieden. Om homogene deelgebieden af te bakenen kunnen verschillende criteria kunnen worden gehanteerd. In Figuur 6.2 is uitgegaan van deelgebieden op basis van functies, in de praktijk vaak de meest zinvolle indeling. Daarna wordt voor elk deze deelgebieden de gemiddelde doelrealisatie berekend, simpelweg als rekenkundig gemiddelde van alle pixelwaarden. Vervolgens wordt een totale gebiedsscore berekend als het gewogen gemiddelde van deze 'deelgebiedsdoelrealisaties', gebruikmakend van vooraf vastgestelde gewichten.

Er dienen dus bij deze gang van zaken gewichten (ook wel 'gewichtsfactoren' genoemd) te worden vastgesteld, hetgeen een subjectieve bestuurlijke aangelegenheid is. Ofschoon het gewicht mede beïnvloed zal worden door de grootte van het deelgebied (een groter oppervlak telt zwaarder mee), zijn de uiteenlopende waardeoordelen die men aan hecht aan de verschillende functies meestal doorslaggevend. Dit wordt geïllustreerd door de gewogen gemiddelden die onder de kaartjes van Figuur 6.2 zijn aangegeven. Er zijn twee gewichtensets gedefinieerd: G1 en G2. Gewichtenset G1 is bepaald door iemand die betrekkelijk weinig waarde toekent aan de functie natuur. Het set G2 daarentegen drukt een grote waardering uit voor natuur en slechts een geringe waardering voor landbouw en stedelijke landgebruik. Geen van beide waarderings kan als juist of onjuist worden bestempeld: zij drukken slechts verschillende voorkeuren uit. Na toekenning van de gewichten is het berekenen van de totale gebiedsscore (gewogen gemiddelde gebiedsdoelrealisatie) een eenduidige rekenkundige stap. De variant met de hoogste totale gebiedsscore komt het dichtst bij de voorkeuren van de afweger(s) en wordt daarmee als de beste onder de geëvalueerde varianten beschouwd.

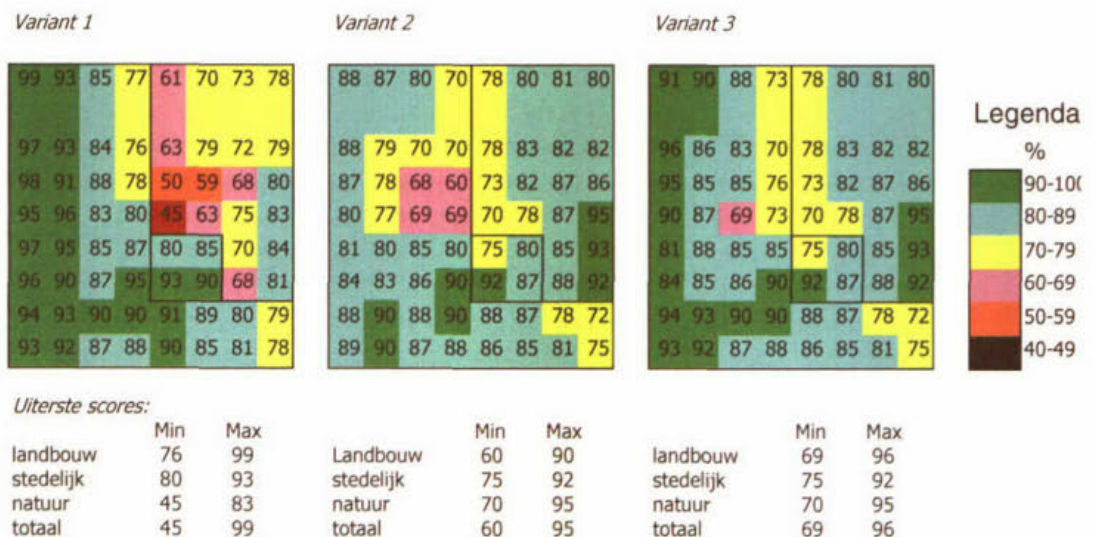
In de getallen onder de kaartjes van Figuur 6.2 wordt onmiddellijk duidelijk hoe groot de invloed van de gewichten is. Voor wie preferenties heeft als weergegeven in gewichtenset G1 komt variant 1 als beste uit de bus. Wie aan gewichtenset G2 de voorkeur geeft komt echter uit bij variant 3 (variant 2 komt 0.4 eenheid lager uit, door afronding hier niet zichtbaar). Toch is het bepalen van gewichten ook maar een betrekkelijk arbitraire zaak. Het is de vraag in hoeverre degene die afweegt echt de consequenties overziet van de waarden die hij vooraf toekent aan de gewichten. Zicht op de afzonderlijke winst- en verliesposten (effecten) bij wijziging van de gewichten worden binnen de gewichtenmethode niet verschaft. Er zijn andere methoden die een dergelijke feedback wél inbrengen in het beslissingsproces. Een andere tekortkoming van de gewichtenmethode is dat zij geen rekening houdt met de spreiding van de scores binnen de deelgebieden; slechts het gemiddelde wordt in beschouwing genomen.

Inferieure oplossingen

Tot slot kan nog gewezen worden op een bijzonder verschijnsel. Variant 2 zal altijd lager scoren dan variant 3, hoe de gewichten ook worden gekozen. In besliskundig jargon wordt een dergelijke variant een 'inferieure oplossing' genoemd. Zolang we ons beperken tot deze gewichtenmethode en er geen andere criteria meer in het keuzeproces worden betrokken, kunnen we deze variant zonder meer terzijde leggen. Daarmee wordt het keuzeproces overzichtelijker: het gaat dan nog slechts om een keuze tussen de varianten 1 en 3.

6.3 Gebruik kaartbeelden

Om de tekortkomingen van de gewichtenmethode te compenseren kan met name bij het kiezen uit varianten de vergelijking aan de hand van kaarten zinvol zijn. Impliciet is dit al in het rapport van Gehrels et al. (2002) aangegeven, met name bij de bespreking van de case studies, maar deze stap heeft daar nog niet formeel een plaats gekregen binnen de afwegingsprocedure. Aan de hand van Figuur 6.3 zal dit worden toegelicht.



Figuur 6.3 Ruimtelijke variatie van de doelrealisaties

In Figuur 6.3 wordt de aandacht in eerste instantie gevestigd op de hoogte van de doelrealisatie. Binnen elk deelgebied kan aan de hand van het kleurenpatroon gemakkelijk worden beoordeeld hoe gelijkmatig de score is en hoe ernstig plaatselijke uitschieters naar beneden zijn. Dit beeld voegt dus iets essentieels toe aan het beeld afkomstig uit toepassing van de gewichtenmethode als boven geschetst. Daar werd de beoordeling gebaseerd op gemiddelden over deelgebieden, hier kan bovendien de variatie binnen de deelgebieden in de beschouwing mee worden betrokken.

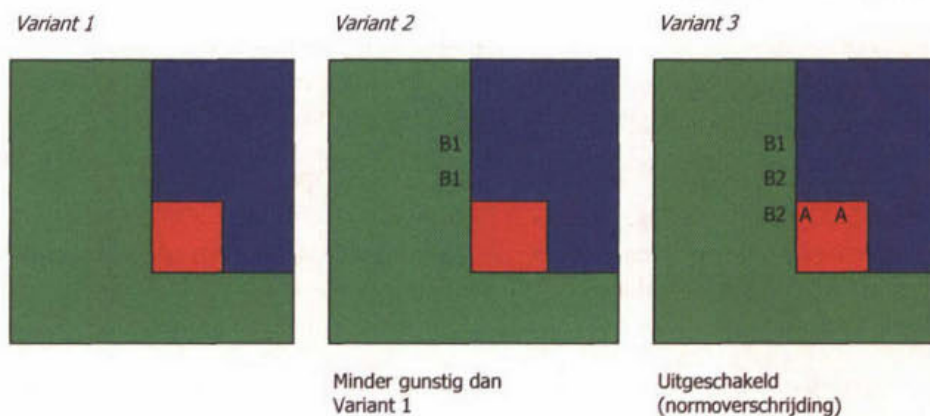
Ofschoon voor variant 1 voor natuur een gemiddelde score van 70 werd berekend, blijkt in Figuur 6.3 dat er in een aantal cellen bijzonder lage waarden worden geboekt, met scores zelfs beneden 50%. Indien een dergelijke score op lokaal niveau niet acceptabel is dan is het duidelijk waar maatregelen moeten worden getroffen.

Vergelijking van doelrealisatiekaarten als gepresenteerd in Figuur 6.3 kan complementair aan de gewichtenmethode worden gebruikt, om het voorlopig oordeel gebaseerd op de berekende gebiedsscores verder te nuanceren. In sommige gevallen (vooral bij grote spreiding van de doelrealisaties) is dat voorlopige oordeel niet meer dan een eerste ruwe oriëntatie en zou toepassing van de gewichtenmethode eventueel ook geheel achterwege kunnen blijven. Visuele vergelijking van kaarten heeft het voordeel het afwegingsproces transparanter te maken en het intuïtieve oordeel van degene die de afweging maakt beter aan te spreken.

Om bij grotere hoeveelheden varianten het visuele beoordelingsproces hanteerbaar te houden is de benadering van 'paarsgewijze' vergelijking zeer bruikbaar. Deze benadering is erop gebaseerd dat we slechts twee complexe zaken (kaarten, varianten, tabellen) tegelijkertijd met elkaar kunnen vergelijken en rangschikken (beter dan / slechter dan). Bij het zoeken naar de meest verkieslijke variant leidt dat tot een z.g. 'challenger-defender' aanpak. Na vergelijking van het eerste variantenpaar wordt de minder gewaardeerde variant terzijde gelegd en moet de beste als 'defender' zijn positie als voorlopige winnaar verdedigen tegen een volgende variant, de z.g. 'challenger'. De winnaar uit deze vergelijking wordt de nieuwe defender, die het vervolgens moet opnemen tegen een volgende 'challenger'. Dit proces wordt voortgezet totdat alle varianten aan de beurt zijn geweest. De variant die in de laatste stap wint geldt als beste keuze.

6.4 Normen en extremen

Normen voor regionale watersystemen zijn nog in ontwikkeling. Voorzover die normen toetsbaar zijn in een concreet beheersgebied, kan er worden nagegaan of er in de bestaande situatie en in doorgerekende beheersvarianten normen worden overschreden. Zo ja: waar, hoe vaak en wanneer. In figuur 6.4 wordt aangegeven waar binnen de drie beschouwde varianten normen worden overschreden (aangegeven met de letter 'A'). De variant waarbij dit optreedt, is variant 3. Ervan uitgaande dat normen dwingend moeten worden nageleefd, betekent dit dat variant 3 onacceptabel is en dus wordt gediskwalificeerd. De norm kan worden beschouwd als een harde randvoorwaarde waaraan de gekozen beheersvariant moet voldoen, dus toetsing eraan moet een verplicht onderdeel zijn van de beoordeling van beheersvarianten.



Figuur 6.4 Voorkomen van normoverschrijding (A) en overige extreme effecten (B)

Enigszins op vergelijkbare manier kan worden omgegaan met overige extreme effecten. Onder extreme effecten worden verstaan effecten tengevolge van extreme neerslag, die met een lage frequentie voorkomen, maar belangrijk genoeg zijn om er afzonderlijk bij de functieafweging rekening mee te houden, naast de doelrealisatie die voor de desbetreffende functie al wordt getoetst. Een voorbeeld is het binnendringen van grondwater in kelders of kruipruimten onder woningen, als gevolg van tijdelijk te ondiepe grondwaterstanden. In dat geval kan overschrijding van een bepaalde kritische waarde van de grondwaterstand als toetsingscriterium dienen. Een ander voorbeeld is het teloorgaan van een aardappelooft als gedurende de geplande oogstperiode het bouwland vanwege hoge grondwaterstanden ontoegankelijk is, waardoor de knollen intussen door verrotting geheel onbruikbaar worden ('verdrinking'). Als toetsingscriterium kan hier een functie worden gehanteerd van de mate waarin een kritische grondwaterstandswaarde wordt overschreden en de duur van die overschrijding (Van der Bolt en Kok, 2002).

In het afwegingsproces kan men de extreme effecten als harde of als min of meer zachte randvoorwaarden meenemen. Daarbij kan men als volgt te werk gaan. Allereerst maakt men voor de waarden die de verschillende typen extreme effecten kunnen aannemen *a priori* een waarderingsschaal. Desgewenst geeft men daarbij ook aan hoe te handelen als er waarden in een bepaalde klasse worden geregistreerd. De gehanteerde klassen zijn dan bijvoorbeeld:

- "ontoelaatbaar" (B3);
- "ongewenst maar op kleine schaal toelaatbaar" (B2) en;
- "ongewenst, maar zelfs op grotere schaal niet prohibitief" (B1).

Toetsing levert een aantal vlaggen op, die in sommige gevallen als harde randvoorwaarde gelden en dus leiden tot uitsluiting van een variant (B3), in andere gevallen als "zachte randvoorwaarde" d.w.z. de afweger tracht B2 en B1 te voorkomen, maar niet tot elke prijs.

In het voorbeeld van Figuur 6.4 is variant 3 het meest ongunstig beïnvloed door extreme effecten. Aangezien de variant vanwege normoverschrijding al werd uitgeschakeld wordt hierdoor het keuzeprocess echter niet meer beïnvloed.

Qua extreme effecten ziet variant 1 er gunstiger uit dan variant 2. De effecten bij deze laatste zijn echter gering, zodat ze bij de besluitvorming geen grote rol mogen spelen.

6.5 Betrekken van kosten in de afweging

Het realiseren en handhaven van een beheersvariant kost geld. Voor verschillende varianten zullen in het algemeen verschillend kostenniveaus gelden. Deze kosten dienen dan ook in de besluitvorming te worden betrokken. Basisoverwegingen daarbij zijn:

- Is de geprefereerde variant betaalbaar? D.w.z. is er voldoende budget (of uitzicht erop) om de geprefereerde variant daadwerkelijk te realiseren?
- Worden de eventuele extra kosten die de geprefereerde variant met zich meebrengt ten opzichte van andere varianten gerechtvaardigd door zijn meerwaarde?

De eerste stap die moet worden gedaan is een ruwe inschatting maken van het kostenniveau van elk der beschouwde varianten, zowel in termen van eenmalige kosten als ook van lopende jaarlijkse kosten. In het gepresenteerde afwegingsvoorbeeld worden voor de varianten 1, 2 en 3 kosten berekend die equivalent zijn met contante waarden van respectievelijk 1000, 2000 en 3000.

Budgettaire beperkingen kunnen als randvoorwaarde in het afwegingsproces worden ingebracht. Varianten die meer kosten dan budgettair voorhanden is, worden dan simpelweg verworpen. Ligt de budgettaire limiet in het gegeven voorbeeld op 2500, dan zou variant 3 financieel niet haalbaar zijn en dus afvallen. De tweede overweging leidt tot een globale kosten-baten vergelijking. Omdat de baten maar zeer ten dele in geld kunnen worden uitgedrukt, is dit wederom een subjectieve toets. Beide toetsen kunnen het best aan het eind van het afwegingsproces worden uitgevoerd.

6.6 Samenvatting en slotopmerkingen

Het boven omschreven evaluatie- en afwegingsproces wordt in Tabel 6.1 in een aantal stappen samengevat. De toepassing ervan op het in dit hoofdstuk gehanteerde voorbeeld wordt in de rechterkolom geïllustreerd.

Naar believen kan men de volgorde van verschillende onderdelen wijzigen, als dat om de een of andere redenen voordelen lijkt te bieden. Zo kan men - in plaats van eerst de gewichtenmethode (B) en/of kaartbeeldvergelijking (C) toe te passen - zich eerst richten op normen en extremen (D) en/of kosten (E) en pas daarna de doelrealisatie mee in de beschouwing betrekken. In beginsel zal dat geen andere uitkomst opleveren, maar het kan verschil maken in de overzichtelijkheid van het proces of in de hoeveelheid werk die moet worden verricht.

Tabel 6.1 Afwegingsprocedure en toelichting aan de hand van het gepresenteerde voorbeeld

Procedure en stappen	Resultaat bij toepassing op voorbeeld
A Voorbereiding	
1. Vaststelling plangebied en regimebeschrijving van uitgangssituatie en planvarianten	Als gegeven verondersteld.
2. Toekenning functies aan afzonderlijke gridcellen	Figuur 7.1
3. Onderverdeling plangebied in n homogene deelgebieden	Conform de zonering naar functie (Figuur 7.1).
4. Doelrealisaties voor elke gridcel berekenen voor de uitgangssituatie en de varianten daarop	Figuur 7.2 (kaartjes)
B Gewichtenmethode	
5. Gemiddelde doelrealisaties D_i bepalen voor elk deelgebied	Figuur 2 (onder de kaartjes)
6. Gewichten W_i bepalen voor elk deelgebied	Zie Figuur 7.2 (onder de kaartjes). Aangenomen wordt hier dat gewichtenset G_2 van toepassing is, dus een sterke preferentie voor natuur boven landbouw en stedelijk landgebruik.
7. Vaststellen welke variant het hoogst scoort (in termen van gewogen gemiddelde)	Zie Figuur 7.2 (onder de kaartjes). Variant 3 scoort het hoogst (83), nipt gevolgd door variant 2 (83). Variant 1 komt veel lager uit (74)
Tussenstand:	Variant 3 is favoriete optie (variant 2 komt als tweede in de rangorde)
C Kaartbeeldvergelijking	
8. Vergelijking variant 1 (uitgangssituatie) met variant 2 en vaststellen welke variant preferabel is	Zie Figuur 7.3. Variant 1 scoort plaatselijk zeer laag, variant 2 is veel gelijkmatiger. Variant 2 wordt geprefereerd boven variant 1 en wordt meegenomen naar de volgende stap.
9. Voortzetting paarsgewijze vergelijking tussen 'winnaar' vorige stap en volgende nog niet beoordeelde variant.	Zie Figuur 7.3. In de vergelijking tussen varianten 2 en 3 is variant 3 favoriet.
10. Stap 9 herhalen totdat alle varianten aan bod zijn gekomen.	In het voorbeeld zijn de varianten reeds uitgeput.
Tussenstand:	Variant 3 is nog steeds favoriete optie (variant 2 komt als tweede in de rangorde)
D Normen en extremen in de afweging betrekken	
11. In kaart brengen waar monitoring- of simulatieresultaten aantonen dat normen worden overschreden	Zie Figuur 7.4. Normoverschrijding wordt aangegeven door het symbool 'A'. Variant 3 valt af want normoverschrijding is niet toegestaan.
Tussenstand:	Variant 2 is nu favoriete optie (variant 3 is afgefallen wegens normoverschrijding)
12. Ernst en frequentie van ongewenste extreme effecten koppelen aan daaraan te verbinden consequenties (classificatie)	In dit geval: B1 Ongewenst, maar niet prohibitief B2 Ongewenst maar op kleien schaal toelaatbaar B3 Ontoelaatbaar ook indien op kleine schaal.
13. In kaart brengen waar monitoring- of	Zie Figuur 7.4.

Procedure en stappen	Resultaat bij toepassing op voorbeeld
simulatiresultaten aantonen dat extreme effecten optreden en beoordeling ervan	Het voorkomen van B ₁ in variant 2 geeft deze een zeker nadeel t.o.v. variant 1, doch niet zwaar genoeg om voorkeur te doen omslaan.
Tussenstand:	Variant 2 blijft favoriete optie
E Betrekken van kosten in de afweging	
14. Berekening van de kosten voor elk van de varianten	Voor de varianten 1, 2 en 3 respectievelijk 1000, 2000 en 3000 (contante waarden)
15. Toets op financiële haalbaarheid	Budgetgrens blijkt bij 2500 te liggen, dus varianten 1 en 2 zijn haalbaar
16. Kosten-baten beoordeling van de verschillen tussen de varianten	Opinie: de meerwaarde van variant 2 t.o.v. 1 weegt op tegen het kostenverschil van 1000 (=2000 – 1000). Variant 2 blijft overeind
Eindoordeel:	Variant 2 komt als winnende variant uit deze analyse

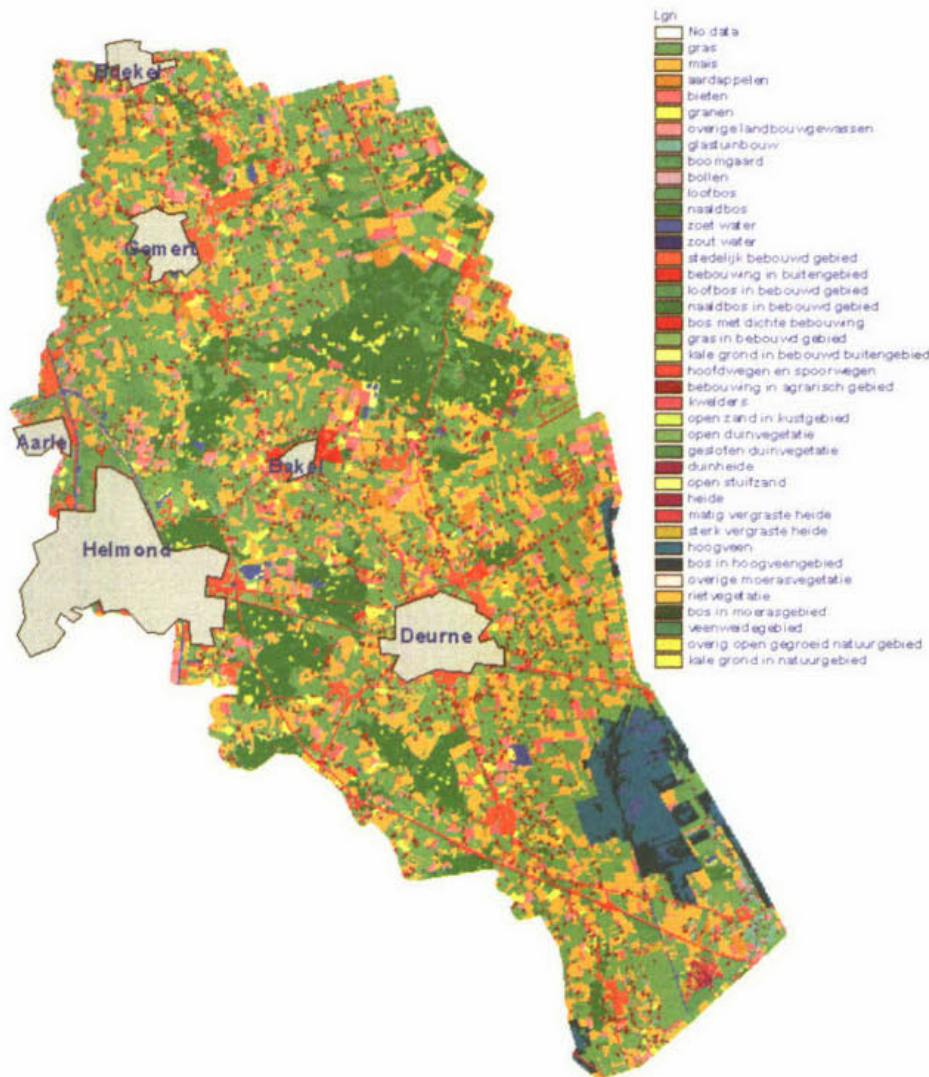
7 Case Bakelse Aa

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de ondersteuning van de gebiedsfunctie Landbouw centraal. Ingegaan wordt op de landbouwschadeberekening met de HELP-tabellen (methode Waternood) en de natschadeberekening voor extreme gebeurtenissen met de schadefunctie uit WB21 (WB21-schadefuncties). De analyse beperkt zich tot de gebiedsfunctie Landbouw omdat de landbouwschade een relatief grote schadepost is. De vergelijking tussen de HELP-schade en de WB21-schade wordt uitgevoerd aan de hand van de case studie Bakelse Aa. Voor zover mogelijk worden uit de case studie algemene conclusies getrokken met betrekking tot de meerwaarde van een extremanalyse voor de methode Waternood.

7.2 Gebiedsbeschrijving

Het totale afvoergebied van de Bakelse Aa beslaat 30.000 ha. Het gebied helt van oost (30 m+NAP) naar west (13 m+NAP). De grotere waterlopen volgen de helling van het gebied. Het gebied is vrij afwaterend, met stuwen wordt de stroming en de waterstand in de waterlopen gereguleerd. In het gebied komen nauwelijks onderbemalingen voor. Het gebied wordt doorsneden door de Peelrandbreuk, het oostelijk deel van het gebied is gelegen op de Peelhorst, het westelijk deel ligt in de Centrale Slenk. De breuk is door versmering sterk ondoorlatend waardoor lokaal langs de breuk grote gradiënten in de grondwaterstand kunnen bestaan. De regionale grondwaterstroming loopt evenwijdig aan de breuk van zuidoost naar noordwest. Omdat de gebieden geologisch verschillen vertonen ze een ander afvoergedrag. De bodem bestaat voornamelijk uit grofzandige en lemig fijne zandgronden. De nattere gronden zijn meestal gedraineerd (ongeveer 10% van het gebied). Het landgebruik is weergegeven in Figuur 7.1.



Figuur 7.1 Landgebruik gebied Bakelse Aa

Modellering / Schematisering

Ten behoeve van de modellering is het gebied onderverdeeld in (deel)stroomgebieden die weer zijn onderverdeeld in afwateringseenheden. Binnen de afwateringseenheden komt een afwateringsstelsel voor bestaande uit één of meer waterlopen. Het afwateringsstelsel is onderverdeeld in leidingvakken met een gemiddelde lengte van 200 m. Voor ieder leidingvak binnen een afwateringseenheid is het afwaterend gebied bepaald. De afvoer vanuit ieder leidingvak wordt gestuurd via een $Q(h)$ -relatie. De $Q(h)$ -relatie wordt bepaald door het profiel en de hydraulische ruwheid van de waterloop, en door in het leidingvak voorkomende kunstwerken (stuwen en duikers). In hoogwatersituaties kan het voorkomen dat de benedenstroomse waterstand stijgt. In het model wordt terugstuwing vanuit benedenstroomse leidingvakken berekend.

Omdat maaiveldhelling, grondgebruik, bodem en de dichtheid en eigenschappen van de ontwateringsmiddelen bepalen hoe snel neerslag in het oppervlaktewatersysteem terecht komt, worden de processen aan maaiveld (berging, oppervlakte-afvoer), de onverzadigde zone (berging en verticale stroming), het grondwater (verzadigde grondwaterstroming) en

het oppervlaktewatersysteem (zowel ont- als afwatering) met het model SIMGRO gesimuleerd (Veldhuizen e.a., 1998). Daartoe is het gebied onderverdeeld in knopen met een bijbehorend oppervlak (cel). In dit voorbeeld wordt gewerkt met cellen van 100 bij 100 meter. De ontwatering (interactie tussen grond- en oppervlaktewater) wordt per cel berekend met de binnen ieder cel voorkomende lengte en eigenschappen van waterlopen en ondergrond. Daartoe worden in het algemeen vijf typen ontwateringsmiddelen onderscheiden: greppels, drainbuizen, sloten, secundaire waterlopen (in onderhoud van waterschappen) en primaire waterlopen (rivieren en kanalen).

7.3 Kwantificeren van landbouwschade

De natschade bij landbouwkundig grondgebruik is bepaald op basis van de resultaten van het SIMGRO-model van het bovenbeschreven proefgebied. De landbouwschade is per cel van 100 bij 100 meter op twee verschillende manieren bepaald:

- Met de HELP-tabellen op basis van de GHG en GLG (i.e. maten voor veeljarig gemiddelde grondwaterstanden).
- Met de WB21-schadefuncties toegepast op events (extreme gebeurtenissen).

In beide methoden is onderscheid gemaakt in grasland en bouwland. Bouwland representeert een gemiddelde van bieten, aardappelen en granen. Beide methoden drukken de schade uit als reductie (%) ten opzichte van de potentiële gewasproductie.

De vergelijking van de methoden voor natschadeberekening wordt hier uitgewerkt op celniveau en daarna eveneens geaggregeerd tot stroomgebiedsniveau.

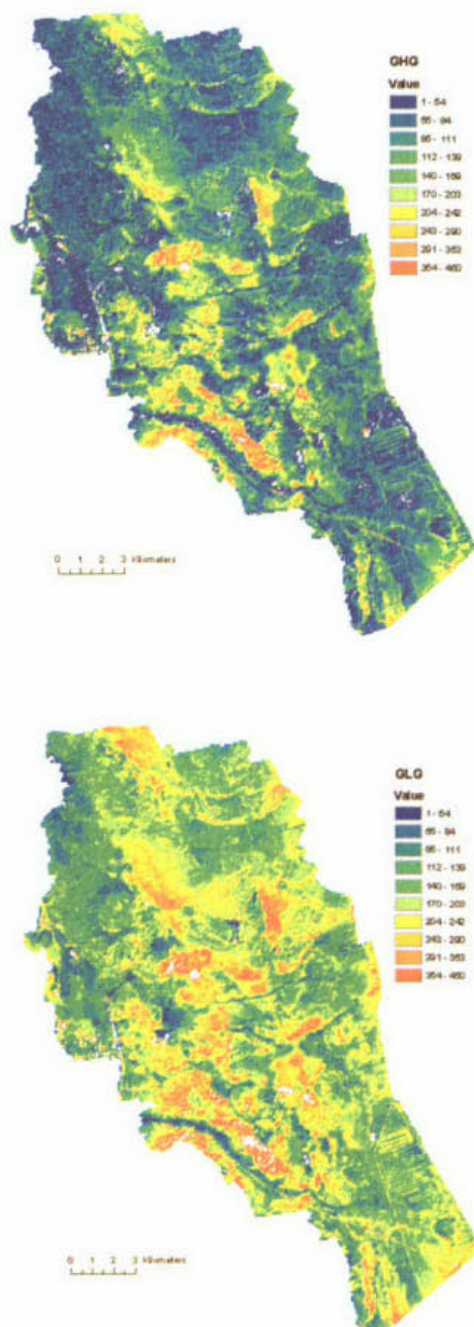
7.3.1 Natschade volgens HELP-tabellen

De eerste methode is het bepalen van de landbouwkundige natschade op basis van de HELP-tabellen. De HELP-tabel definieert schades op basis van combinaties van GHG, GLG, bodemtype en bodemgebruik (bouwland/grasland).

Momenteel worden de HELP-tabellen herzien (o.a. worden meer gewastypen onderscheiden en vindt correctie plaats voor berekening bij droogteschadebepaling). Omdat het Waternood-instrumentarium met de nieuwe zogenaamde HELP⁺-tabellen bij de uitvoering van deze studie nog niet beschikbaar was, is gewerkt met de bestaande tabellen. Verwacht wordt dat de oude en nieuwe HELP-tabellen niet tot grote verschillen in natschade zullen leiden.

HELP-schade op cel-niveau

Op basis van een meerjarige modelberekening (8 jaar) is voor iedere cel een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en een Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) bepaald. De voor het proefgebied berekende GHG en GLG zijn weergegeven in Figuur 7.2.



Figuur 7.2 Berekende GLG en GHG voor proefgebied Bakelse Aa

Met de berekende GLG en GHG is voor het gehele proefgebied de natschade voor zowel grasland als bouwland per rekencel vastgesteld. De schade uitgedrukt in procentuele opbrengst-depressies is weergegeven in Figuur 7.3. De schade is geconcentreerd langs de lagere beekdalen en het areaal met schade is groter in de benedenstrooms gelegen gebieden.



Figuur 7.3 Natschade volgens de HELP-tabel voor het proefgebied Bakelse Aa

Gebiedgemiddelde HELP-schade

De gebiedgemiddelde natschade is voor het stroomgebied van de Bakelse Aa berekend door de totale, naar oppervlakte gewogen, schade te delen door het totale areaal landbouwgrond. De met de HELP-tabellen geschatte gemiddelde landbouwkundige opbrengstdepressie bedraagt 1.55 % per ha landbouwgrond. Het is noodzakelijk om deze schade uit te drukken in een schadebedrag per ha landbouwgrond omdat de arealen waarvoor met beide methoden schade wordt berekend verschillen. Met de HELP-tabellen wordt berekend dat 4850 ha natschade ondervinden van de in totaal 29.156 ha landbouwgrond binnen het studiegebied.

7.3.2 Natschade volgens WB21-schadefuncties

De WB21-schadefuncties (Van der Bolt en Kok, 2000) zijn geformuleerd om de natschade te berekenen voor korte, extreme gebeurtenissen. In deze studie wordt de methode van de stochasten gebruikt om met de WB21-schadefuncties de landbouwschade te kwantificeren.

De natschade is in de WB21-schadefuncties opgebouwd uit bewerkbaarheidschade en verdrinkingschade. Voor grasland is verondersteld dat geen verdrinkingschade optreedt. De bijdrage van de verdrinkingschade aan de totale schade voor bouwland varieert in de case van 0 % voor hoogfrequente gebeurtenissen tot ongeveer 20 % van de optredende schade voor de extreme laagfrequente gebeurtenissen. Ongeveer omdat beide schadetypes ook tegelijkertijd kunnen optreden en omdat conform de schadefuncties WB21 per knoop het maximum van de beide natschades is genomen.

De bijdrage van verdrinkingschade aan de natschade is op niveau van het stroomgebied gering omdat de WB21-schadefuncties veronderstellen dat grasland geen verdrinkingschade heeft en omdat mag worden verwacht dat bouwland, dat een diepere ontwatering vraagt, niet op de natte plekken binnen het studiegebied zal voorkomen.

De geringe bijdrage van de verdrinkingschade aan de natschade voor extreem natte omstandigheden betekent ook dat de natschade in belangrijke mate veroorzaakt wordt door de neerslag en het grondwater en in veel mindere mate door inundaties vanuit het opper-

vlaktewater. Datzelfde blijkt uit het feit dat het areaal met inundaties veel kleiner blijkt te zijn dan het areaal met natschade. Dat is conform de bevindingen van de schadegebeurtenissen in 1995 en 1998 (Van der Bolt en Kok, 2000) en impliceert dat de optredende landbouwkundige natschade alleen adequaat kan worden berekend door meenemen van de reactie van het systeem en de daardoor gerealiseerde grondwaterbewegingen.

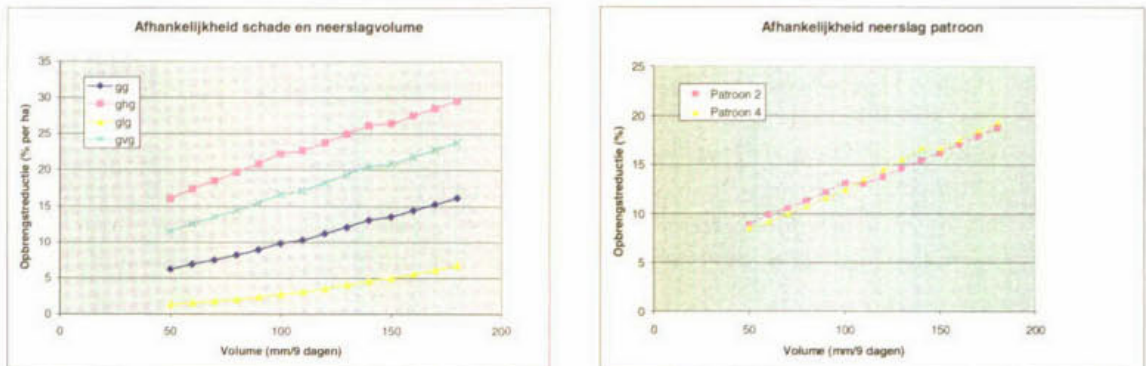
Extreme gebeurtenissen

Een gebeurtenis is een unieke combinatie van de stochasten:

- Neerslagvolume;
- Neerslagpatroon;
- Uitgangssituatie van de grondwaterstand.

In deze case is gerekend met 14 neerslagvolumes (50-180 mm gedurende 9 dagen), 2 neerslagpatronen (extreme piek in 9 daagse periode en gemiddelde neerslag gedurende 9-daagse periode) en 4 uitgangssituaties voor de grondwaterstand (Gemiddelde Grondwaterstand (GG), Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (GVG), Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)). De frequenties van het zomerhalfjaar ($1/4 - 1/10$) zijn gebruikt omdat deze periode het groeiseizoen vormt en omdat daardoor juist in deze periode natschade kan optreden.

Het neerslagvolume en de initiële grondwaterstand bepalen in belangrijke mate de optredende natschade bij de methode WB21. De landbouwschade neemt toe met het neerslagvolume en met ondiepere grondwaterstanden (fig. 7.4).



Figuur 7.4 Effect van neerslagpatroon en initiële grondwaterstand op de schadeverwachting.

In figuur 7.4 is te zien dat de voor de verschillende initiële grondwaterstanden de gebiedsgemiddelde natschades een nagenoeg lineaire relatie vertonen met het neerslagvolume.

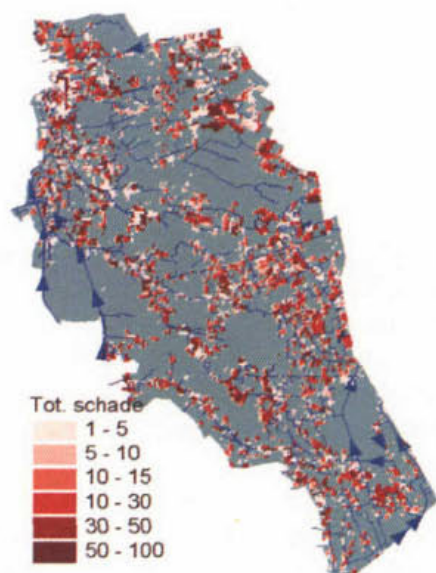
Het blijkt dat de verschillen in schade tussen de neerslagverdelingen klein zijn. De neerslagverdeling is dus niet van grote invloed op de optredende schade. De initiële grondwaterstand en het neerslagvolume zijn dit wel.

Voor de stochast neerslagvolume is voor iedere klasse een frequentie bepaald (aantal keer dat een stochast voorkomt) voor zowel zomer- als winterhalfjaar. Voor de stochasten neerslagvolume en begingrondwaterstand zijn de kansen per klasse bekend. Voor elke unieke combinatie van stochasten (gebeurtenis) kan de frequentie worden berekend. De reciproke van de frequentie is de herhalingsdure.

Elke gebeurtenis is met het model doorgerekend en voor elke gebeurtenis is per cel de optredende natschade voor landbouwkundig bodemgebruik gekwantificeerd. Deze schade is omgezet naar de schadekans door de schade te vermenigvuldigen met de kans waarop de betreffende gebeurtenis voorkomt. Deze kans is berekend door de frequentie van de betreffende gebeurtenis te delen door de som van de frequenties van alle gebeurtenissen. Om de schadeverwachting correct te berekenen moet het hele domein van de kansverdeling worden gedekt zodat ook de hoogfrequente gebeurtenissen (i.e. neerslagvolumes kleiner dan 50 mm) moeten worden meegenomen. De natschade voor de neerslagvolumes 0, 10, 20, 30 en 40 mm is afgeleid met lineaire interpolatie van de resultaten weergegeven in Fig. 7.4 (R₂ voor GHG, GVG en GG groter dan 0.99 en voor de GLG bijna 0.98).

Voor iedere gebeurtenis kan de schadekans voor het stroomgebied worden bepaald door de schadekans van alle cellen met landbouwkundig bodemgebruik te sommeren en te delen door het totale areaal landbouwgrond binnen het stroomgebied. De som van de schadekansen van alle gebeurtenissen is de verwachtingswaarde van de natschade: de langjarig gemiddeld optredende natschade.

WB21 natschade op celniveau

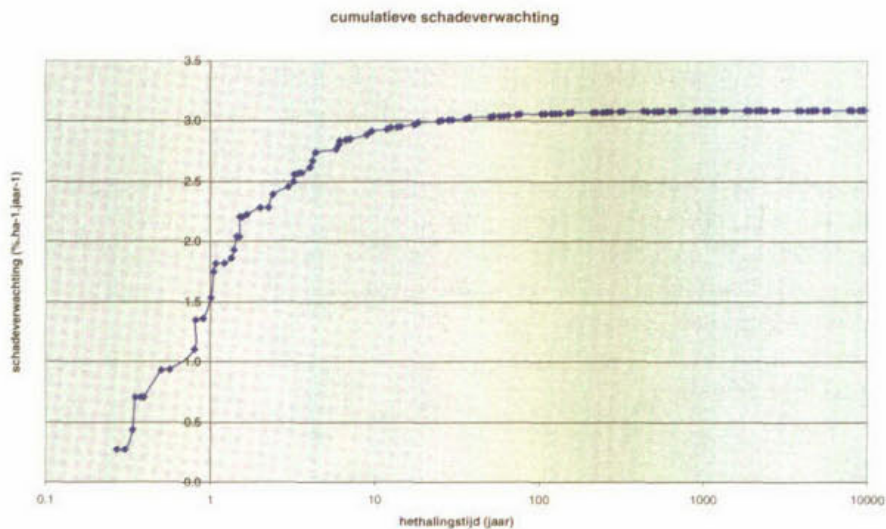


Figuur 7.5 Natschadeverwachting volgens de WB21-schadefuncties.

Figuur 7.5 toont de met de WB21-schadefuncties berekende verwachtingswaarde voor natschade per knoop. De natschade is geconcentreerd rond de waterlopen i.e. in de relatief laaggelegen delen van het gebied. De schadeverwachtingen verschillen per cel. Dit wordt veroorzaakt doordat de eigenschappen in de knopen (grondgebruik, bodem, ontwatering) en interactie met het hydrologisch systeem (de ligging van de knopen in het stroomgebied) verschillen. De schadeverwachting voor de knopen kan daardoor ook voor de herhalingstijden variëren: in 'drogere' omstandigheden zal de schade ontstaan bij grotere herhalingstijden, bij dezelfde grondwaterstand/herhalingstijd zal de schadeverwachting voor bouwland groter zijn dan voor grasland.

Gebiedsgemiddelde schade

Ook hier is de gebiedsgemiddelde schade voor het landbouwareaal berekend. De gebiedsgemiddelde schadeverwachting voor verschillende herhalingstijden is weergegeven in Figuur 7.6. De voor dit gebied op basis van de stochasten berekende schadeverwachting voor het totale landbouwareaal binnen het modelgebied bedraagt 3.08 %.



Figuur 7.6 Schadeverwachting bij verschillende herhalingstijden.

De lijn vlakt af bij $T > 100$ jaar: de laagfrequente gebeurtenissen leiden tot grote schade, door de kleine frequentie van optreden (en resulterende kleine kans) neemt de schadeverwachting echter nauwelijks nog toe. Het eerste traject van deze lijn (de hoogfrequente gebeurtenissen) is in deze studie via extrapolatie bepaald. Voor toepassen van de schadefuncties WB21 moeten ook de hoogfrequente gebeurtenissen worden doorgerekend. Aanbevolen wordt de frequenties voor deze klassen van de stochast neerslagvolume in nieuwe ontwikkelende neerslagstatistiek op te nemen.

De natschade bij een herhalingstijd van 10 jaar treedt op in een kleiner gebied dan de natschade bij een herhalingstijd van 100 jaar en de schade per knoop is kleiner dan de schade met een herhalingstijd van 100 jaar. Zowel de grootte van de schade als het areaal met schade nemen toe onder nattere omstandigheden. Dit is conform de werkelijkheid.

7.3.3 Vergelijken methoden natschadeberekening

Celniveau

Voor de individuele cellen blijken de beide methode tot overeenkomstige schades maar ook tot sterk afwijkende schades te leiden: HELP-schade wordt berekend voor cellen waar de methode WB21 geen schade berekend en vice versa. De methode WB21 berekent in meer cellen het optreden van schade (8076 ha) dan de HELP-schade (4850 ha). Dat lijkt een aanzienlijk verschil, echter het areaal met schade volgens de methode WB21 groter dan 0,1 % bedraagt 5212 ha, hetgeen vrijwel gelijk is aan het areaal schade berekend met de HELP-tabellen. Er is een zekere mate van overeenkomst in de locaties waar schade wordt berekend (figuur 7.3 en figuur 7.5). De natschade wordt voor beide methoden berekend in de lagere en daarmee nattere delen van het gebied. De plekken met schade liggen niet altijd op dezelfde locaties.

Gebiedsgemiddeld

De met de stochasten berekende schadeverwachting is voor de beschouwde case groter dan het langjarig gemiddelde schade volgens de HELP-tabellen. De stochastenmethode levert een bijna twee maal hogere schade (3,08 resp. 1,76 % opbrengstreductie). Meewegen van de extremen leidt in dit gebied tot een verdubbeling van de schadeverwachting ten opzichte van de schadeverwachting berekend met de HELP-tabellen waarin het effect van extremen minder doorwerkt. Dat komt overeen met de constatering uit de praktijk dat de natschade uit de HELP-tabellen te laag is. In de landbouwsector wordt vaak een factor 2 voor de natschade genoemd, dat is dezelfde orde die hier is berekend. Deze overeenkomst moet, zolang de methode WB21 niet beter is onderbouwd, als een toevalligheid worden gezien.

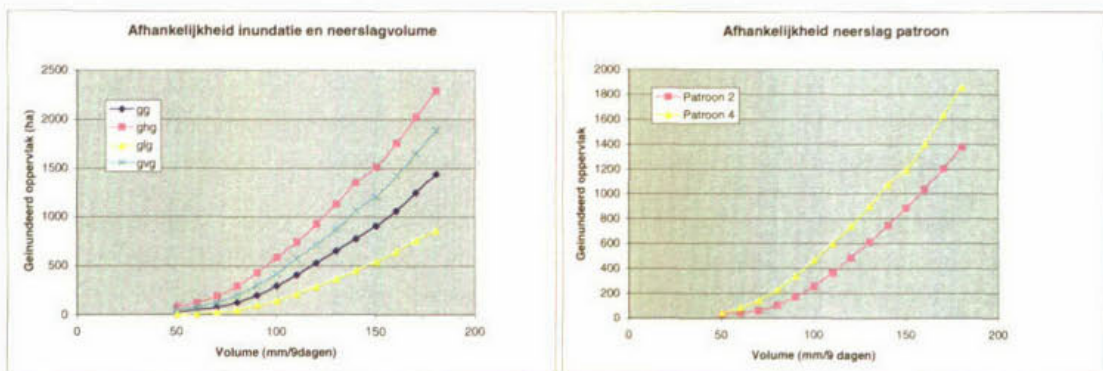
De gemiddelde HELP-schade en WB21-schade kunnen worden onderscheiden in grasland en bouwland. Daarbij blijkt dat voor dit gebied de HELP-schade voor grasland groter is dan de met de methode WB21 berekende schade. Voor bouwland geldt het omgekeerde. Met de HELP-methode zijn de gemiddelde schades voor het areaal met schade voor grasland en bouwland (toevallig) gelijk. De schade berekend met de methode WB21 leidt tot grotere gemiddelde schade aan bouwland dan aan grasland. Daarmee sluit de laatste methode beter aan op het beeld dat wordt verwacht. Tegelijkertijd vraagt dit om een nadere vergelijking tussen beide methoden en met name de parameterisatie van de methode WB21: deze parameters zijn deels gebaseerd op de verschillen in schades in de HELP-tabellen.

Het verschil tussen de schade voor grasland en bouwland berekend met de methode WB21 t.o.v. de HELP-schade zou kunnen worden veroorzaakt door een grote bijdrage van de verdrinkingsschade. De resultaten laten voor de verschillende stochasten zien dat de bijdrage van de verdrinkingsschade klein is en varieert van 0 tot maximaal 30% van de totale schade, waarbij de 30% bereikt wordt voor de extreem grote neerslaghoeveelheid (180 mm) in combinatie met de ondiepe grondwaterstand (GHG). De verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de methoden i.e. het koppelen van langjarige ervaringsgegevens aan grondwaterkarakteristieken versus het overschrijden van drempelwaarden van grondwaterstanden gedurende een bepaalde periode.

De resultaten van deze studie laten zien dat de WB21-schadefuncties de natschade op een logische manier berekent. De resultaten zijn echter niet altijd consistent met de HELP-tabellen. Van der Bolt en Kok (2000) hebben gewezen op de hiaten van de methode: het ontbreken van gegevens om de coëfficiënten te kalibreren dan wel te toetsen. Mogelijk is ook het aantal dagen dat een grenswaarde wordt overschreden een betere maat voor de bewerkingschade dan de SOW (bij overschrijden van de grenswaarde kun je het land niet meer op, ongeacht de mate van overschrijding). Om tot een algemeen geaccepteerde schademodelering voor extreem natte situaties te komen is aanvullend onderzoek nodig en zijn gegevens nodig om de resultaten aan te toetsen.

7.3.4 Vergelijken systeemgedrag voor natschade en inundatie

Een zeer beperkt deel van het areaal inundeert daadwerkelijk in dit gebied. Dit areaal is veel kleiner dan het areaal met schade. De bijdrage van het areaal geïnundeerd is klein, daarbij moet worden bedacht dat cellen niet voor alle gebeurtenissen inunderen en dat de bijdrage van de gebeurtenissen die tot inundatie leiden aan de schadeverwachting gering is (zeer kleine frequenties).



Figuur 7.7 Effect van patroon en beginsituatie op geïnundeerd areaal en landbouwschade.

Het geïnundeerde areaal binnen het studiegebied vertoont anders dan de natschade (Fig. 7.4) een niet-lineaire relatie met het neerslagvolume (Fig. 7.7). Opnieuw blijken de reacties van het systeem voor deze toestandvariabelen niet gelijk te zijn. Dit impliceert dat de natschade niet alleen door inundaties wordt veroorzaakt en dat de andere relevante processen tragere processen zijn (de niet-lineaire toename van de inundaties werkt niet door in de schade, de reactie van het systeem wordt gedempt). Deze analyse bevestigt het belang van de stroming van water in de bodem: het neerslag-afvoerproces wordt vertraagd door (tijdelijke) berging in de bodem waardoor ondiepe grondwaterstanden ontstaan die kunnen leiden tot natschade. Het is dus van belang de stroming van het water in de bodem goed te beschrijven om schadeberekeningen te kunnen gebruiken voor functieafweging. Ook de oppervlaktewaterstanden sturen de stroming en de berging in de bodem. Essentieel is derhalve om grond- en oppervlaktewater in hun onderlinge samenhang te beschouwen.

7.4 Conclusies

De natschade volgens de HELP-tabel op basis van gemiddelde grondwaterstandkarakteristieken is voor deze case kleiner dan de natschade berekend voor extreme situaties met de WB21-schadefuncties. Dit ondersteunt de aan deze studie ten grondslag liggende idee dat de extremen tot grotere schade leiden dan de 'meer normale' situaties die nu in Waterlood worden beschouwd. Het vermoeden dat meenemen van extremen in Waterlood zinvol kan zijn wordt hierdoor versterkt.

Tegelijkertijd moet enige voorzichtigheid worden betracht: de vergelijking is indicatief omdat de methode voor berekening van natschade voor stochasten niet is getoetst en omdat het domein waarop beide toepassingen betrekking hebben niet hetzelfde is.

De resultaten van deze studie laten zien dat de WB21-schadefuncties de natschade op een logische manier berekent; de resultaten zijn echter niet hard. Als gevolg van het ontbreken van kennis en onderbouwde methoden om de natschade te kwantificeren kan de veronderstelling dat extremen tot meer schade leiden en derhalve in de methode Waterlood moeten worden meegenomen, niet hard worden aangetoond.

Gegeven de huidige beleidsdoelen, de ambities/filosofie van de methode Waterlood en tekortkomingen in de methode om de natschade in natte situaties te schatten is zeer wenselijk om de methoden voor de berekening van natschade te onderbouwen.

De natschade in de case wordt in belangrijke mate veroorzaakt wordt door de neerslag en het grondwater maar tevens, zij het in mindere mate, door inundaties vanuit het oppervlaktewater. Dat impliceert dat de optredende landbouwkundige natschade alleen adequaat kan worden berekend door meenemen van de reactie van het systeem. Het is derhalve essentieel om grond- en oppervlaktewater in hun onderlinge samenhang te beschouwen.

Naast de natschade zouden ook de afvoeren en geborgen hoeveelheden water moeten worden meegenomen om de effecten van extremen op Waterlood te bepalen. Maatregelen gericht op extremen beïnvloeden het hydrologisch systeem in normale situaties en vice versa. Extreme situaties verdienen alleen vanuit die optiek al de aanbeveling om in Waterlood te worden meegenomen.

De schade aan grasland en bouwland is in de case niet gewogen. Voor toepassen is het nodig via saldi te wegen. Dus niet de voor het landbouwareaal gemiddelde opbrengstdepressies te berekenen maar de procentuele afname van het saldo. Hoogwaardige teelten zullen daardoor meer bijdragen aan de schade dan gras en maïs.

Een 1 maal per 10 jaar optredende schade van 100 % opbrengstderving heeft geheel andere effecten op de bedrijfsvoering en bedrijfsresultaten dan 10 maal per 10 jaar een opbrengstderving van 10%. Dat betekent dat de landbouwschade idealiter in een andere maat wordt uitgedrukt: voor een goede functieafweging verdient het aanbeveling om niet het opbrengstverlies maar het bedrijfsresultaat te kwantificeren.

8 Case Reeuwijk

8.1 Inleiding

De case Reeuwijk heeft twee doelen:

- nagaan en laten zien hoe extreme schadegebeurtenissen concreet zichtbaar kunnen worden gemaakt, en
- een indruk opdoen van wat ervoor nodig is om deze stappen in de praktijk uit te voeren.

Uit de vele mogelijke extreme effecten zal hier slechts een drietal effecten worden beschouwd:

- stedelijke wateroverlast door de indringing van grondwater in kruipruimten van woningen;
- extreme schade in de akkerbouw/tuinbouw; en
- extreme schade in graslandgebieden.

Net als de doelrealisatie zijn ook bovenstaande extreme effecten te kwantificeren op basis van grondwaterstandreeksen. Naast werkelijk gemeten reeksen kunnen ook door grondwatermodellen gesimuleerde reeksen worden gebruikt. Als proefgebied wordt voor gekozen voor het gebied Reeuwijk. Het gebied heeft tevens als proefgebied gediend in het project 'OGOR Natuur en Functieafweging' dat ook onderdeel is van het STOWA-onderzoeksprogramma Waternood (STOWA, 2002).

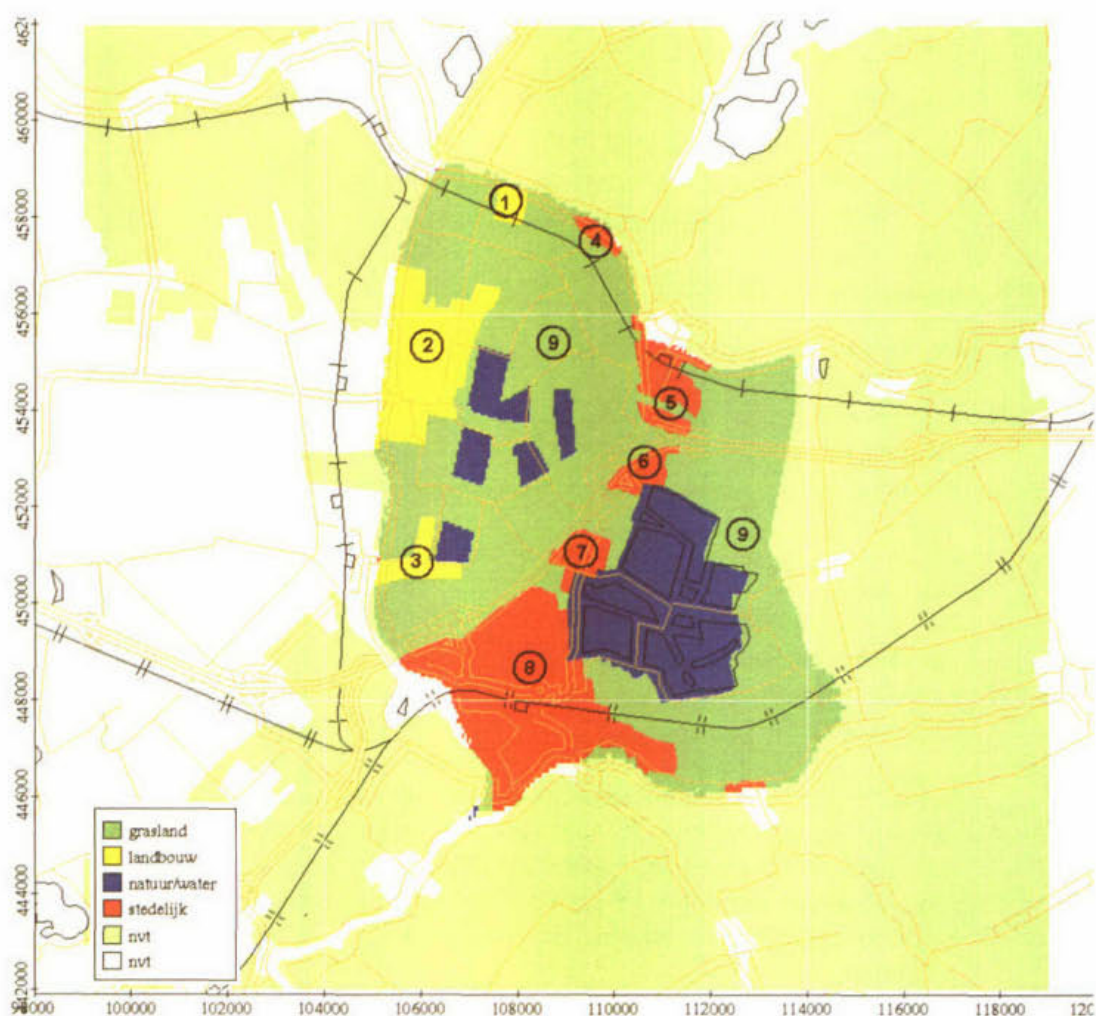
Het is in dit hoofdstuk uitdrukkelijk niet de bedoeling om het gebied Reeuwijk zelf te beoordelen op basis van extreme effecten. De gebruikte hoeveelheid informatie en modellering van het gebied zijn hiervoor ontoereikend. Het gaat hier om een demonstratie van de wijze waarop met extremen kan worden omgegaan binnen Waternood.

8.2 Gebiedsbeschrijving

In het gebied Reeuwijk wordt een herinrichting voorbereid door de Provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap van Rijnland en het Waterschap Wilck & Wiericke. In het kader van deze herinrichting heeft TNO-NITG in 2000 een modelstudie uitgevoerd waarin is onderzocht op welke manier 'duurzaam waterbeheer' kan worden vormgegeven (Gehrels et al., 2000).

Het gebied in kwestie (zie Figuur 8.1) is centraal gelegen in Zuid-Holland. In het noorden wordt het begrensd door de Oude Rijn, in het zuiden door de Hollandsche IJssel, en in het oosten en westen door de boezems (resp. de Wiericke en de Gouwe). Langs de randen liggen de stedelijke kernen Bodegraven, Boskoop, Waddinxveen en Gouda. Het gebied omvat onder meer drie poldergebieden en de Reeuwijkse plassen ten oosten van de A12.

Binnen het door boezems en rivieren omsloten gebied ligt een stelsel van hoofdwatervangeten dat het poldergebied verdeelt in peilvakken. In de peilvakken ligt een dicht netwerk van tertiaire waterlopen: de sloten rond de percelen.



Figuur 8.1 Ligging en landgebruik van het proefgebied Reeuwijk, bestaande uit de polders Reeuwijk, Bloemendaal, en Polder Middelburg en Tempelpolder

Het hydrologische systeem in de poldergebieden van Reeuwijk, Bloemendaal en Middelburg-Tempel wordt vooral bepaald door een uitgebreid oppervlaktewaterstelsel, de hoogte van het maaiveld, de sterk wisselende weerstand van de deklaag en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Bij de meeste gebieden is sprake van een kwelsituatie, met uitzondering van de veenweidegebieden, waar gedurende de winter infiltratie van het neerslagoverschot plaatsvindt. In alle watervoerende pakketten is de regionale stromingsrichting van het grondwater van oost naar west. Uit peilbuismetingen blijkt dat de stijghoogten in de drie watervoerende pakketten nagenoeg gelijk zijn. Periodiek kan de freatische grondwaterstand lager zijn dan de stijghoogte. Onderdeel van het intrekgebied van Polder Bloemendaal is het stedelijk gebied van Gouda.

8.3 Karakterisering en schematisering van het proefgebied

8.3.1 Grondwaterregime

Beoordeling van de functieondersteuning kan slechts geschieden indien het hydrologisch regime van het grondwater over langere tijd met voldoende precisie bekend is. Voor Reeuwijk en omgeving is in afgelopen jaren in een aantal stappen een grondwater-simulatiemodel ontwikkeld (Gehrels et al., 2000; STOWA 2002). Dit model, oorspronkelijk gekalibreerd voor een ander doel dan het onderhavige, geeft de over de tijd gemiddelde grondwaterstand goed weer, maar is minder geschikt voor het simuleren van extremen in het verloop van de grondwaterstand. Daarom zijn de simulatieresultaten van het model gecombineerd met historische freatische grondwaterstandsreeksen van een viertal meetlocaties. De verschillen tussen de gemeten en gesimuleerde freatische grondwaterstanden op die vier locaties (de z.g. residu-reeksen) representeren de tijdsafhankelijke modelfout ter plaatse. Door ruimtelijke interpolatie tussen deze residu-reeksen kan een eerste benadering van de modelfout op elk willekeurig tijdstip en op elke willekeurige plaats binnen het modelgebied worden verkregen. Somming van deze geschatte 'modelfout' en de grondwaterstanden volgens het simulatiemodel levert een regimebeschrijving op die naar verwachting voor de inschatting van de waarden van de extremen realistischer is dan de oorspronkelijke modelsimulaties.

Deze procedure is uitgevoerd voor de periode 1991 tot en met 1998. De beperkte lengte van deze periode impliceert dat de beschouwde extremen nog niet gekoppeld kunnen worden aan een statistische frequentie. Deze beperking en ook het enigszins kunstmatig karakter van de verkregen tijdreeksen vormen echter geen werkelijk obstakel voor de realisatie van het doel van deze case study: het verkrijgen van inzicht. Hoofdzak in dit stadium is dat er tijdreeksen beschikbaar zijn die realistische variaties vertonen.

8.3.2 Gebiedsfuncties

Figuur 8.1 geeft de ruimtelijke spreiding van de gebiedsfuncties, zoals in de case study gebruikt. Allereerst zijn er de stedelijke gebieden van Gouda, Reeuwijk, Bodegraven en Zwammerdam, genummerd als respectievelijk 8, 6 -7, 5 en 4. Landbouwgebieden zijn er ten westen van Zwammerdam (nummer 1), rond Boskoop (nummer 2) en bij Waddinxveen (nummer 3). De afzonderlijk aangegeven arealen water/natuur zijn niet genummerd omdat ze verder in de analyse niet worden meegenomen. Het resterende deel van het gebied heeft de functie grasland (nummer 9).

8.3.3 Topografie

Informatie over de ligging van het maaiveld is noodzakelijk om uit de grondwaterstanden t.o.v. NAP de diepte tot het grondwater af te leiden. Het actueel hoogtebestand van Nederland (AHN) is voor dit deel van Nederland nog niet beschikbaar. Recente maaiveldgegevens (metingen uit 2000) van het waterschap Wilck & Wiericke bestrijken slechts een deel van het gebied. Alleen voor dit gebied kan de grondwaterstandsdiepte t.o.v. maaiveld nauwkeurig worden bepaald.

Om toch een gebiedsdekkend beeld te krijgen, is voor de ontbrekende gebiedsdelen gebruik gemaakt van de maaiveldhoogten die in REGIS beschikbaar zijn. Die zijn echter minder nauwkeurig en enigermate gedateerd (ca. 1960). Buiten het centrale studiegebied zijn de gegevens over de ligging en karakteristieken van waterlopen onvolledig.

Voor de zones met overwegend kapitaalintensieve boomteelt in het westen en noordwesten van het proefgebied (zones nummer 1, 2 en 3) is het maaiveld getalsmatig 50 centimeter opgehoogd, omdat de standaard schadeberekenningsmethodieken voor hoogwaardige land-

en tuinbouw onvoldoende rekening houden met het feit dat de jonge struiken en bomen genoeg nemen met een geringere diepte tot de waterspiegel dan voor die categorie verondersteld. Nogmaals zij benadrukt, dat het er in de case study niet om gaat dat de concrete werkelijkheid in Reeuwijk trouw wordt gevolgd, maar veeleer dat een realistische situatie wordt geanalyseerd die voldoende geschakeerd is om inzicht te verwerven in de merites van de ontwikkelde methode.

8.4 Kwantificering van extreme effecten

8.4.1 Extreme effecten voor de functie stedelijk gebied

Bij extreme effecten binnen het stedelijk gebied kan onder meer gedacht worden aan wateroverlast ten gevolge van hoge grondwaterstanden, schade als gevolg van zettingen die door verlagingen van de grondwaterstanden worden veroorzaakt, en wegrotten van houten funderingspalen bij systematische verlaging van de grondwaterstanden. We beperken ons hier tot het eerste effect: wateroverlast. Een praktisch criterium voor wateroverlast is het al dan niet binnendringen van grondwater in de kruipruimten van woningen.

In de ruimtelijke evaluatie van doelrealisaties en extreme effecten gaan we uit van de 'gridcel' als kleinste gebiedseenheid. Zo'n gridcel is vierkant of rechthoekig, met zijden van in dit geval 100 m à 250 meter lang. Ofschoon geen waarden of scores worden berekend voor ruimtelijke eenheden kleiner dan de gridcel, wil dat niet zeggen dat binnen de gridcel geen variaties zouden voorkomen die in het licht van extreme gebeurtenissen relevant zijn. Dit speelt onder meer bij wateroverlast in het stedelijk gebied, zoals al in paragraaf 5.1.5 aan de orde kwam.

We gaan hier uit van de schadefunctie van paragraaf 5.2.2 met een c-waarde van 2.

8.4.2 Kwantificering van effecten voor functie landbouw

In de methode die Van der Bolt en Kok (2002) in het kader van WB21 hebben ontwikkeld ter bepaling van de bewerkbaarheidsschade wordt gebruik gemaakt van de Som van Overschrijdingswaarden (SOW). Deze parameter [cm.dag] sommeert dagelijkse overschrijdingen van de grondwaterstand t.o.v. een bodem- en gewasafhankelijke drempelwaarde. De SOW wordt vermenigvuldigd met een seizoens-, gewas- en bodemtype-afhankelijke coëfficiënt. De methode ter bepaling van de verdrinkingsschade gaat ervan uit dat een gewas door verdrinking (=zuurstofgebrek) volledig verloren gaat als de grondwaterspiegel 3 dagen of langer tot aan maaiveld komt. Zowel de bewerkbaarheidsschade als de verdrinkingsschade wordt berekend over een relatief korte periode, hier gesteld op 10 dagen.

Als praktijkvoorbeeld wordt nu gesteld dat binnen het Reeuwijk gebied een zone voorkomt van zware kleigronden die als bouwland worden gebruikt. Invulling van de daarvoor geldende parameterwaarden volgens de door Van der Bolt en Kok (2002) aangegeven instructies levert voor de schadeformules de volgende gedaante op:

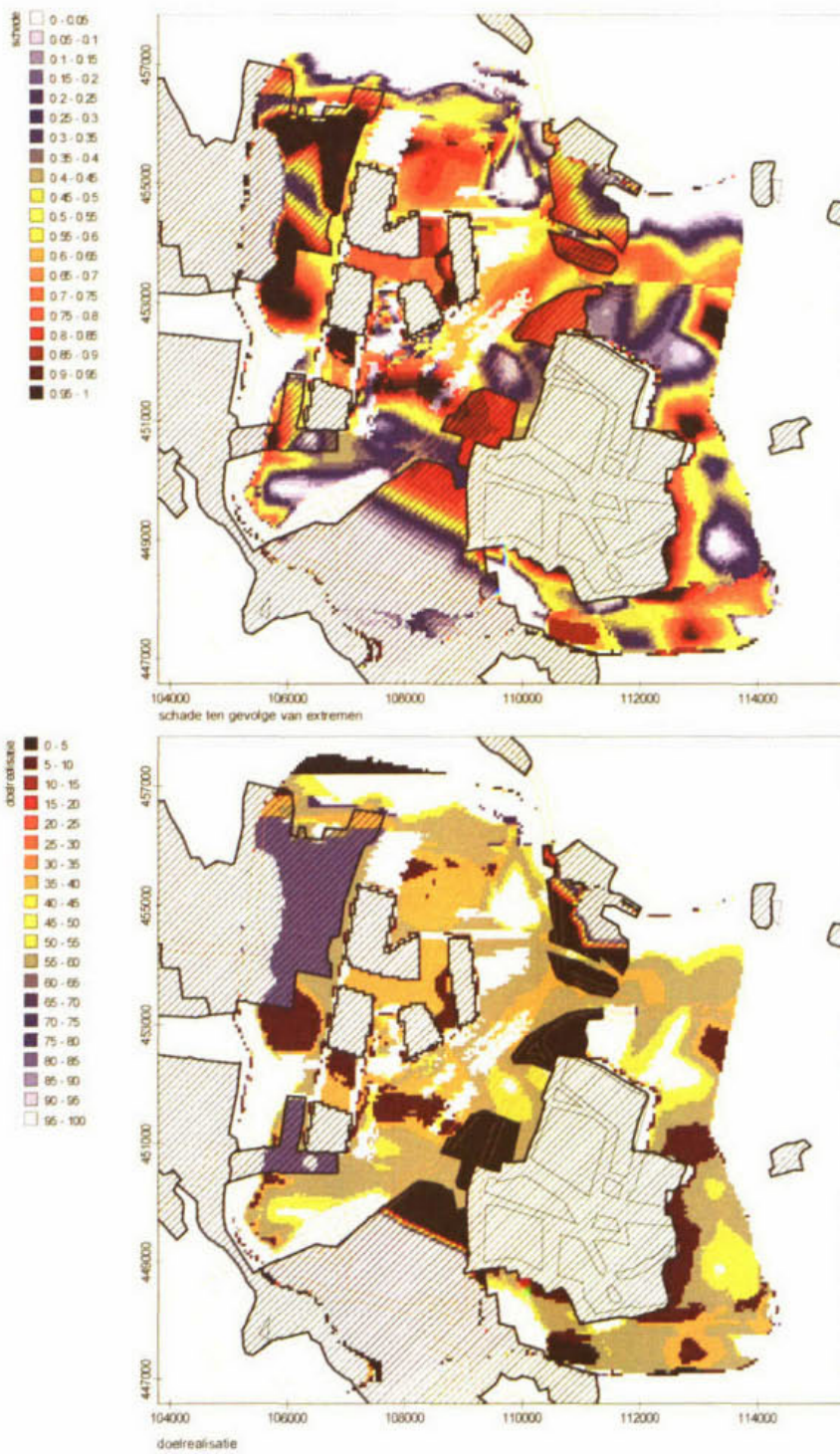
- $\text{Bewerkbaarheidsschade} = 0.964286 \cdot co \cdot \text{SOW}$
- (waarin $co = 0.00010; 0.00017; 0.00008; 0.00000$ voor resp. voorjaar, zomer, herfst en winter)
- $\text{Verdrinkingsschade} = (1/19200) \cdot \text{SKOW}$

In dit concrete voorbeeld ligt de drempel ter bepaling van SOW op 140 cm - mv. De onderzijde van de wortelzone - belangrijk voor de bepaling van SKOW - ligt op 80 cm - mv.

8.5 Gebiedsdekkende evaluatie van extreme effecten

Uitgaande van de uit modelsimulaties afgeleide grondwaterstandsreeksen, bewerkt als aangegeven in paragraaf 8.3.1, zijn voor de periode 1991-1998 gebiedsdekkend extreme effecten met betrekking tot functieondersteuning berekend. Daarbij zijn de schadeberekenningsmethoden gehanteerd die hierboven zijn toegelicht. Buiten beschouwing zijn gebleven de gebieden die geheel met water/natuur zijn bedekt, evenals de nevenfunctie natuur die aan diverse graslandzones is toegekend. De reden hiervan is dat daarvoor nog geen duidelijke ideeën zijn ontwikkeld omtrent extreme effecten en hoe deze in te schatten.

De maximale schade berekend voor kortdurende perioden binnen 1991-1998 is weergegeven in Figuur 8.2a. Opmerkelijk is dat de schade door extremen hoog is in grote delen van het onderzoeksgebied. Volgens de berekeningen staat meer dan de helft van de woningen in de bebouwde kommen van Reeuwijk, van het noordelijk deel van Gouda en van het zuidelijk deel van Bodegraven bloot aan wateroverlastrisico's (score 0.5 of hoger). De arealen 'overige landbouw' (voornamelijk boomteelt) in het noordwesten van het gebied laten zelfs een vernietigend lage score zien, tot score 1.0 toe, wijzend op een volledig verlies van de opbrengst. Maar ook de weidegebieden lijken in extreem natte perioden aan grote schade onderhevig. Het totale beeld is dat de waterhuishouding ter plaatse niet kan voorkomen dat tijdens extreem natte perioden de functieondersteuning tijdelijk tekort schiet. De lokale verschillen zijn vooral toe te schrijven aan verschillen in maaiveldhoogte. Zo vallen de wat hoger gelegen gronden langs de Oude Rijn, Gouwe en Hollandsche IJssel op door een overwegend gunstiger score. De analyseperiode van acht jaar is te kort om aan de extreme gebeurtenissen een frequentie te kunnen toekennen. Wel kan worden aangenomen dat de herhalingsjaren van de schade die in Figuur 8.2a is weergegeven in de orde van enkele tot een tiental jaren ligt.



Figuur 8.2 a) Scores voor berekende extreme effecten van de ongunstige natte periode gedurende het tijdvak 1991-1998 (schaal loopt van 0.0 (geen schade) tot 1.0 (maximale schade)), b) Berekende doelrealisaties.

8.6 Gebiedsdekkende bepaling doelrealisatie

Ofschoon eerder door Gehrels et al. (2002) de doelrealisatie voor dit gebied werd bepaald, is zij binnen deze studie opnieuw berekend. Dat is gedaan omdat het grondwaterregime waarvoor de bovenbeschreven extreme effecten zijn bepaald, afwijkt van het regime dat het uitgangspunt vormde voor die eerdere doelrealisatiebepalingen. Bovendien is de functie-toekenning vlakdekkend gemaakt en enigszins vereenvoudigd. Bij de bepaling van de doelrealisatie zijn voor de onderscheiden functies stedelijk gebied en landbouw echter dezelfde algoritmen gebruikt als Gehrels et al. (2002) hanteerden.

In Figuur 8.2b worden de doelrealisaties weergegeven. In de bouwlandzones (zones 2 en 3 als aangegeven in Figuur 8.1) komt de doelrealisatie vrij uniform in de buurt van 80%. De stedelijke gebieden (zones 5, 6, 7 en 8) scoren bijna exclusief in twee klassen: 100% doelrealisatie in het grootste deel van Gouda en in het noordoostelijk deel van Bodegraven, 0% doelrealisatie elders, met uitzondering van een uiterst smalle overgangszone. Voor grasland (zone 9) ligt de doelrealisatie overwegend tussen 25 en 55%, met uitschieters naar nagenoeg 100% (bijvoorbeeld langs de Oude Rijn) en naar bijna 0% (langs de randen van de Reeuwijkse plassen en op een aantal andere plaatsen).

8.7 Meerwaarde schade door extremen

Wat zijn in dit geval de effecten van het incorporeren van de extreme effecten in de afwegingsprocedure?

Grasland

Waar het de graslandzones betreft, zijn de patronen van Figuur 8.4a sterk gecorreleerd aan die van Figuur 8.4b. De toegevoegde waarde van de extreme scores is beperkt tot informatie over de maximale schade die in de periode 1991-1998 moet zijn opgetreden. Naar verwachting zullen beslissingen over het lokale waterbeheer door deze extra informatie niet sterk worden beïnvloed.

Stedelijk gebied

Wat de stedelijke gebieden betreft geeft Figuur 8.2a een genuanceerder beeld dan Figuur 8.2b. Zo blijken binnen de gebieden waarvoor 100% doelrealisatie is weergegeven toch zones voor te komen waar enige problemen mogen worden verwacht. Anderzijds wordt vrijwel nergens binnen de zones die zijn gekarakteriseerd door 0% doelrealisatie ook verwacht dat alle huizen door wateroverlast worden getroffen. Er ontstaat dus een beter beeld van de mogelijke schade, hetgeen uiteraard van invloed kan zijn op beslissingen over wel of niet extra te treffen maatregelen.

Bouwland

Voor de bouwlandgebieden bieden de scores m.b.t. extremen in dit voorbeeld belangrijke aanvullende informatie. Terwijl de doelrealisatie doet vermoeden dat er hier geen noemenswaardige problemen zouden zijn, blijkt volgens de WB-21 schadeberekeningsmethodiek dat in extreem natte jaren zich zeer dramatische schadepercentages kunnen voordoen. Figuur 8.2a geeft bovendien aan hoe deze kans op extreme schade ruimtelijk varieert. De extra informatie betreffende extremen zal in dit geval een krachtig stempel op de besluitvorming betreffende de waterbeheersing kunnen drukken, door te wijzen op de noodzaak van extra maatregelen indien men de getoonde schade wil vermijden.

8.8 Slotopmerkingen

Het mee in beschouwing nemen van extremen in de afweging blijkt in dit voorbeeld zinvol te zijn en heeft de potentie om te leiden tot genuanceerdere - en dus betere - beslissingen omtrent het lokale waterbeheer. Als het grondwaterregime eenmaal goed is gekarakteriseerd, dan roepen noch de vaststelling van de scores van extreme effecten, noch het met extremen verrijkte afwegingsproces problemen op. Wél is duidelijk dat de methode vraagt om een zeer nauwkeurige simulatie van het grondwaterregime, met betrouwbare representatie van de freatische grondwaterstanden en liefst met tijdstappen van maximaal een dag. De daarvoor benodigde inspanning mag niet onderschat worden en kan slechts slagen als er voldoende gebiedsinformatie beschikbaar is.

Men zou dit als een beperking van de praktische bruikbaarheid van het incorporeren van extremen in de afwegingsproces kunnen beschouwen. Daarbij moet men zich dan echter wel realiseren dat die beperking niet zozeer van methodologische aard is, maar veeleer voortvloeit uit een gebrek aan informatie (of middelen/tijd om die informatie te verzamelen). Het negeren van extremen in het afwegingsproces verhoogt de kans op verkeerde beslissingen. Men zal van geval tot geval moeten nagaan of men dit risico wil nemen.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

Schade door extreme situaties

De natschade voor de gebiedsfunctie landbouw zoals die is opgenomen in de Help-tabellen (en in de doelrealisatie Landbouw van het Waternood-instrumentarium) is niet volgens een eenduidige methodiek tot stand gekomen. Als gevolg hiervan is niet geheel duidelijk of alle hydrologische omstandigheden in de Help-tabellen zijn verwerkt. De indruk bestaat dat de natschade wordt onderschat. Dit kan worden veroorzaakt doordat natte extremen in de GLG en GHG-waarden worden uitgedempt.

In dit rapport wordt een methodiek beschreven die aan deze tekortkoming tegemoet komt. De methodiek is gebaseerd op de directe beoordeling van grondwaterstandsreeksen. De tijdreeksen volgen uit het doorrekenen van bepaalde gebeurtenissen gekarakteriseerd door combinaties van stochasten waaronder extremen. Vervolgens wordt de jaarlijkse schadeverwachting bepaald met behulp van de zogenaamde WB21-schadefunctie voor de landbouw. Deze schadefunctie houdt rekening met schade als gevolg van de duur van de natte perioden

Vergelijking Help- en de WB21-schade

Uit de vergelijking tussen de huidige schadebepaling binnen Waternood en de nieuw ontwikkelde methode blijkt dat:

- de laatste methode kan leiden tot een hogere schadeverwachting; De gebiedsgemiddelde natschade berekend met de WB21-schadefunctie is voor het gebied van de Bakelse Aa bijvoorbeeld circa 2 maal groter dan de natschade uit de Help-tabellen;
- voor de afzonderlijke rekencellen blijken de Help- en de WB21-schade sterk uiteen te kunnen lopen. Op locaties waar de Help-schade groot is, is de WB21 schade soms nul en vice versa.

Meerwaarde nieuw ontwikkelde methode

De nieuw ontwikkelde methode levert voor de twee beschouwde cases een beter beeld op van de schade als gevolg van extreme situaties dan de huidige methode.

Uitbreiding Waternood-instrumentarium?

Moet de nieuw ontwikkelde methode standaard in het Waternood-instrumentarium beschikbaar komen? Om deze vraag te kunnen beantwoorden moet de meerwaarde van de methode nauwkeuriger worden gekwantificeerd. Dit vereist een betere onderbouwing van de WB21-schadefuncties.

Toepassing nieuw ontwikkelde methode

De nieuw ontwikkelde methode vergt een extra inspanning. Naast het bepalen van doelrealisaties met behulp van GLG- en GHG-waarden moeten stochasten worden gedefinieerd en geclassificeerd. Dit is echter een eenmalige actie die volgens een op te stellen standaardprotocol kan worden uitgevoerd.

Integrale afweging

In deze studie is een aanpak geschetst voor het wegen van doelrealisaties voor de verschillende gebiedsfunctie ten opzichte van elkaar. De aanpak is gebaseerd op een multicriteria-evaluatie en sluit naadloos aan bij de functiebeoordeling zoals beschreven in het rapport *Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering* (STOWA, 2002). Omdat deze methode gebruik maakt van kaartbeelden met ruimtelijk gepresenteerde doelrealisatiewaarden en schadeverwachtingen om snel inzicht te krijgen in de kwaliteit van een set maatregelen, sluit deze direct aan bij de opzet van het Waternood-instrumentarium.

9.2 Aanbevelingen

Verbetering schadefuncties

Het is verdient aanbeveling om nader onderzoek te verrichten naar de onderbouwing van de schadefuncties die in de Waternood-systematiek een centrale rol spelen of gaan spelen.

Voor de Help-tabellen geldt dat een betere koppeling wenselijk is tussen de schade in normale situaties en schade als gevolg van extreme omstandigheden. Dat kan door een groot aantal situaties door te rekenen met de WB21-schadefuncties en daarbij niet alleen de gemiddelde schade maar ook de spreiding mee te nemen.

Voor nadere onderbouwing van de Schadefuncties WB21 zijn veldexperimenten nodig waarbij voor verschillende gewassen en bodems de schade onder extreem natte omstandigheden worden bepaald om de parameters voor de schadefuncties af te leiden. De prioriteit zou daarbij moeten worden gelegd op basis van frequentie van voorkomen, gevoeligheid en opbrengst van de gewassen.

In deze studie is uitsluitend gekeken naar schade tijdens extreem natte perioden. Het verdient de aanbeveling om binnen Waternood ook de meerwaarde van het kunnen kwantificeren van droogteschade tijdens extreem droge perioden in beeld te brengen.

Bedacht moet worden dat bij het afleiden van de droogteschade in de Help-tabel geen rekening is gehouden met afsterven van het gewas, met extra schade in gevoelige perioden en met een mindere kwaliteit van het oogstbaar product.

Extremenanalyse bij overige gebiedsfuncties

In deze studie is gekeken naar de gebiedsfuncties landbouw, wonen en werken omdat bij deze functies de schade relatief groot is en bovendien goed kan worden geschat. Het is echter aan te bevelen ook voor de overige functies, waaronder natuur, de eventuele bijdrage van een extremenanalyse in beeld te brengen.

Aanvullende doelvariabelen in Waternood-instrumentarium

De meerwaarde van extremen voor de methode Waternood is onderzocht voor de functies landbouw en wonen. Naast de functieafweging op basis van grondwaterstanden zijn er echter aanvullende doelstellingen waaraan bij de inrichting en het beheer van watersystemen moet worden voldaan. Voorbeelden zijn de in dit rapport beschreven schades als gevolg van extreme situaties maar ook de reductie van afvoerpieken. Aanbevolen wordt om via het Waternood-instrumentarium ook de realisering van dergelijke aanvullende doelstellingen in beeld te brengen.

10 Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, en J.Huygen (2001): Technische document: Doelrealisatie landbouw in De Leijen. Een aanzet tot Invulling en operationalisering van de methode Waternood.
- Bolt, F.J.E. van der, en M. Kok (2002): Hoogwaternormering regionale watersystemen. Schademodellering. Rapport in opdracht van Cie Waterbeheer 21e Eeuw.
- Werkgroep Landbouwkundige Aspecten (1984) Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. COMmissie GRondwaterwet WATERleidingbedrijven (COGROWA).
- Finke, P.A., D.J. Brus, J.W.J. van der Gaast, T. Hoogland, M. Knotters en F. deVries (2002) Klimaatsonafhankelijke grondwaterdynamiek in Waterschap de Aa. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 180.
- Gehrels, J.C. et al. (2000). Uitwerking duurzaam waterbeheer in het herinrichtingsgebied Reeuwijk. TNO Rapport NITG-00-128-B.
- Goicoechea, A., D.R. Hansen & L. Duckstein (1982) *Multi objective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. John Wiley and Sons, New York.
- HKV, KNMI en SC-DLO, 1999. Overschrijdingskansen van waterstanden in het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal, en de boezem en polders van HAGV. Lelystad. HKV Lijn in water.
- Huinink, J.Th.M. (1993) Bodemgeschiktheidstabellen voor landbouwkundige vormen van bodemgebruik. IKC Akker- en Tuinbouw, Ede.
- Brouwer, F. en J.Th.M. Huinink (2002) Opbrengstdervingspercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten. Rapport 493. Alterra, Wageningen/EC-LNV.
- Kolen, J., M. Kok en F.J.E. van der Bolt (2001) Stochasten voor het thema waterberging van de reconstructie in Brabant. Lelystad. HKV Lijn in water, PR459.10
- Peerboom, J.M.P.M. (1990) Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland. Rapport 43. Staring Centrum, Wageningen
- Projectgroep Waternood (1998) Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater. DLG publicatie 98/2. DLG en Unie van Waterschappen
- Postma, J. (1992) Kwantificering van de relatie tussen grondwaterstandsverloop en productievermindering ten gevolge van wateroverlast op grasland. Rapport 190. Staring Centrum, Wageningen.

- STOWA (2002). Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering: methode en toepassing. Rapport 08 van de Waternoodreeks
- Runhaar, J., et al. (2002) Doelrealisatie natuur. Deelrapport 05 van de Waternoodreeks
- Van der Sluijs, P. (1982) De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. H₂O Tijdschrift voor Watervoorziening en Afvalwaterbehandeling 15:42-46 1982.
- Veldhuizen, A.A., A. Poelman, L.C.P.M. Stuyt, E.P. Querner (1998) Software documentation for SIMGRO V3.0. Regional water management simulator. Technical Document 50. SC-DLO/Grontmij
- Visser, W.C. (1958) De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Waterhuishouding Nederland-TNO. Rapport No. 1.
- Werkgroep HELP-tabel (1987) De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Mededeling 176. Landinrichtingsdienst Utrecht.
- WL en Alterra (1999) Normen voor waterbeheer: op welke gronden.
- Wijk, A.L.M., R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk (1988) Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen, Rapport 31. ICW, Wageningen.

A Normering regionale watersystemen

Doel van de normering

Het doel van de normering is watersystemen objectief te kunnen toetsen aan bepaalde basis-eisen. Met de norm in de hand weet de waterbeheerder waar het systeem in ieder geval aan moet voldoen.

Invulling

De norm is een aan het maaiveld gerelateerde waterstand in de hoofdwatgangen die met een bepaalde herhalingsdij mag worden overschreden. Het toetsen van de norm bestaat dus uit het analyseren van oppervlaktewaterstanden. De norm wordt gegeven voor de grondgebruikstypen:

- Grasland;
- Akkerbouw;
- Hoogwaardige land & tuinbouw;
- Glastuinbouw;
- Bebouwd gebied extensief;
- Bebouwd gebied gemiddeld; en
- Bebouwd gebied intensief.

De normering en Waterdood gaan dus uit van een verschillende functietyping. Beide bevatten bovendien nog niet alle functies.

De norm is feitelijk een randvoorwaarde waar aan moet worden voldaan. Dit betekent niet dat eerst aan de norm moet worden voldaan en dat pas daarna via Waterdood de gebiedsfuncties maximaal dienen te worden ondersteund. Beide zaken kunnen het best in samenhang worden aangepakt. Om dit duidelijk te maken gaan we in op de gang van zaken bij de toetsing.

Toetsing

Bij toetsing aan de norm zijn er twee mogelijkheden: of een systeem voldoet wel of het voldoet niet aan de norm. Voldoet een systeem wel aan de norm dan gaat het om verdere invulling van het waterbeheer binnen de norm. Hiervoor is het instrumentarium Waterdood ontwikkeld. Na vaststelling van eventuele maatregelen dient het systeem natuurlijk nog steeds aan de norm te voldoen. Voldoet een systeem niet aan de norm dan dient men de leidraad normen WB21 te volgen. Het is daarbij aan te bevelen bij de keuze voor bepaalde maatregelen alvast de mate van functieondersteuning te betrekken.

B Stochastenmethode

Om de overschrijdingsfrequenties van bijvoorbeeld de openwaterstanden te bepalen zijn 3 methoden beschikbaar: de tijdreeksmethode, de stochastenmethode en de directe bepaling uit gemeten waterstanden (De Graaff en Versteeg, 2000).

Het tijdreeksmodel maakt gebruik van een model waarbij de waterstanden voor een bepaalde periode worden gesimuleerd. Deze reeks is vergelijkbaar met een waargenomen reeks. Van deze gesimuleerde of waargenomen tijdreeks kunnen overschrijdingsfrequenties worden afgeleid, waarbij de herhalingstijd van een gebeurtenis groter dan de duur van de simulatie- of waarnemingsperiode alleen door extrapolatie kunnen worden verkregen, met allerlei bezwaren vanden.

De stochastenmethode gaat uit van afzonderlijke gebeurtenissen ('events'). Een gebeurtenis is bijvoorbeeld een combinatie van een neerslag met een overschrijdingsfrequentie van eens per 30 jaar met een begingrondwaterstand met een overschrijdingsfrequentie van eens per 10 jaar. De overschrijdingsfrequentie van de gecombineerde gebeurtenis is dus lager dan eens per 30 jaar.

Uit onderzoek of expertise is bekend welke factoren (stochasten) voor de bepaling van de overschrijdingsfrequentie van bijvoorbeeld de openwaterstand van belang zijn. Denk aan neerslaghoeveelheid gedurende een bepaalde periode, de neerslagverdeling binnen die periode, de begingrondwaterstand, het falen van gemalen of het niet kunnen lozen als gevolg van hoge buitenwaterstanden. Indien van elke factor de overschrijdingsfrequentie bekend is en tevens de onderlinge afhankelijkheid, dan kunnen gebeurtenissen worden gegenereerd met zeer lage overschrijdingsfrequenties. Deze gebeurtenissen kunnen worden geaggregeerd tot een relatie tussen openwaterstand en bijbehorende overschrijdingsfrequentie.

De Graaff en Versteeg tonen aan dat de stochastenmethode voor lage overschrijdingsfrequenties superieur is en meer inzicht geeft in het falen van systemen. Een nadeel is de extra gegevensbehoefte om de stochasten te kunnen modelleren. Dit geldt met name voor de statistiek van de begintoestand. De daarvoor benodigde lange, homogene tijdreeks van bijvoorbeeld gemeten grondwaterstanden is veelal niet voorhanden en moet de tijdreeks worden gesimuleerd. Voor de neerslag is een lange reeks van De Bilt beschikbaar die echter zonder nadere analyse niet overal in Nederland toepasbaar is.

Literatuur

De Graaff, B. en R. Versteeg (2000) Wateroverlast, zo goed als zeker. H₂O (21): 28-30.

C **Methode voor schatten van landbouwschade**

De COLN-methode

De COLN-methode (Visser, 1958) beschrijft voor 7 profielgroepen de relatie tussen de gemiddelde grondwaterstand tijdens het groeiseizoen en de opbrengstdaling. De schade door mindere bewerkbaarheid is in deze curves niet meegenomen.

De methode COGROWA

De methode COGROWA (COMmissie GROndwaterwet WATERleidingbedrijven) is de totale opbrengstdaling (zowel nat- als droogschade) voor gras- en bouwland op zand- en moerige gronden door empirische relaties uitgedrukt als functie van de GLG en GHG. De empirische relaties beschrijven de gemiddelde dalingen over een reeks van jaren.

Modelberekeningen

Modelberekeningen zijn voor akkerbouw gebruikt om het tijdstip voor grondbewerking en beweiden op dagbasis te berekenen wanneer aan criteria voor draagkracht of verkrumelbaarheid wordt voldaan en om de langjarige effecten van later zaaien op de gewasopbrengst te kwantificeren als functie van de ontwatering. Daarbij is de ontwateringsdiepte constant gehouden. Op basis van de rekenresultaten zijn opbrengst-depressiecurves gegenereerd die rekening houden met draagkracht, vroegheid en oogstbaarheid (Van Wijk et al. 1988).

Voor grasland zijn de langjarig gemiddelde schadefuncties op grasland met behulp van een bedrijfsmodel onderbouwd voor 4 perioden (Peerboom, 1990). Omdat gras betrekkelijk ongevoelig is voor ondiepe grondwaterstanden wordt de schade op grasland in grote mate veroorzaakt door vertrappingsverliezen. De indringingsweerstand waarbij vertrapping op gaat treden zijn voor enkele bodems bekend en kunnen worden gerelateerd aan drukhoogten en grondwaterstanden. Postma (1992) heeft met hetzelfde modelinstrument de schade berekend als functie van de SOW (som van de overschrijdingswaarden) voor 60 daagse perioden.

Help-tabellen

De HELP-tabellen zijn ontwikkeld voor de evaluatie van landinrichtingsplannen. Is een vervolg op methode COGROWA waarbij ook gebruik is gemaakt van de via modelberekeningen opgedane kennis. Gras- en bouwland, 70 bodemtypen (effect storende lagen!), GHG en GLG, langjarig gemiddelde opbrengstdepressies voor alleen schade aan gewas en onderscheid in depressies door overlast en door droogte, percentages afwijking tav de praktisch potentiële opbrengst.

De natschade is bepaald op basis van empirische relaties, voor bouwland zijn deze getoetst aan rekenresultaten (de percentages droogteschade zijn volledig berekend met behulp van modellen). De depressiepercentages voor wateroverlast zijn weergegeven als functie van de GHG voor drie GLG-klassen, langjarig gemiddelde schades groter dan 25 % voor grasland en groter dan 35 % voor bouwland komen in de Help-tabellen niet voor. Verondersteld wordt dat bij grotere schades geen economisch verantwoorde landbouw mogelijk is.

De 'IKC-methode'

De 'IKC-methode' is een uitgebreide versie van de HELP-tabellen met als doel de bodemgeschiktheid voor een bepaalde bodemgebruikvorm te kunnen schatten. Akkerbouw is uitgesplitst naar aardappelen, suikerbieten, granen en maïs. Daarnaast zijn bollenteelt, fruitteelten, boomteelten, groenteteelten en veehouderij onderscheiden. De maximale onderscheiden schade bedraagt 40%. Naast de schadepercentages is een indicatie voor het langjarig gemiddelde praktisch potentieel saldo (fl. ha-1 jr-1) voor een verdere onderverdeling in gewassen gegeven, waardoor de opbrengstderving kan worden vertaald naar een inkomensderving in euro's per hectare per jaar. De inkomensderving door hogere bedrijfskosten als gevolg van wateroverlast is niet meegenomen. Zie verder Huinink en Brouwer (2002).

De resultaten van deze studies zijn voor een deel gedateerd:

- De productiviteit van de gewassen is sterk gestegen, waardoor de gevoeligheid voor wateroverlast wel eens zou kunnen zijn toegenomen.
- De bedrijfsvoering is veranderd. Zo zijn bijvoorbeeld de mestgiften in de loop der tijd veranderd in grootte, samenstelling, tijdstip van toediening en methode van toedienen.

Door de mestwetgeving en het willen sparen van weidevogels is de druk om mest vroeg op het land uit te rijden groot (kelders vol). Daarom is de moderne apparatuur zwaarder (mestinjecteurs) en wordt gezocht naar oplossingen om dit mogelijk te maken. Het blijkt dat het mogelijk is om door gebruik van lage bandenspanning ook op gronden te rijden met een zeer lage draagkracht (Van den Akker et al., 1993, Vermeulen et al., 1993). Hierdoor kan of het tijdstip van grondbewerking worden vervroegd of kan de schade worden teruggebracht.

D Coëfficiënten natschadeberekening

Omdat voor bouwland de gegevens ontbreken om de tijdafhankelijke coëfficiënten $c_1(t)$ te kunnen bepalen moeten de coëfficiënten $c_0(t)$ voor grasland voorlopig ook voor bouwland worden gebruikt. Voorlopig worden de tijdafhankelijke schadecoëfficiënten voor gras op lemig, matig fijn zand als referentie gebruikt (Tabel D.1).

Tabel D.1 Coëfficiënten voor bewerkbaarheidschade van grasland (cm'.d') voor lemig, matig fijn zand (Postma, 1992). In de winter wordt voor gras geen schade berekend.

Periode	Lemig, matig fijn zand
Voorjaar	0.00010
Zomer	0.00017
Herfst	0.00008
Winter	0.0

De coëfficiënten $c_1(t)$ en c_2 worden berekend door:

$$c_1(t) = c_0(t) * (dr_{\text{grasland}} / dr_{\text{bouwland}}) * BF * GF$$

resp.:

$$c_2 = VF / (3 * dwz^2)$$

met:

$c_0(t)$	schadecoëfficiënt voor bewerkbaarheidschade van grasland [cm-1.d-1]
dr_{grasland}	drempelwaarde voor grasland [cm-mv]
dr_{bouwland}	drempelwaarde voor bouwland [cm-mv]
BF	bodemfactor [-]
GF	gewasfactor [-]
VF	verdrinkingfactor [-]

De gevoeligheid van de gewasgroepen en bodems ten opzichte van de schade van grasland op zandgrond zijn op basis van de (aangepaste) HELP-tabellen bepaald. Daardoor is een methode verkregen waarmee op consistente en reproduceerbare wijze de schade bij kortdurende, extreme gebeurtenissen kan worden berekend.

Tabel D.2 De grootte van de bodemfactoren, de drempelwaarden en de onderkant van de wortelzone

Bodem	BodemFactor (BF)	Drempelwaarde (dr)		Onderkant wortelzone (dwz)	
		Grasland	Bouwland [*]	Grasland	Bouwland [*]
Zand	1.00	40	85	30	40
Lichte zavel	1.15	50	120	30	40
Zware zavel	1.15	60	150	30	40
Lichte klei	1.25	50	120	30	70
Zware klei	1.25	60	140	30	80
Veen	1.25	60 ^{**}	Nvt	25	Nvt
Moerige grond	1.35	75	Nvt	25	Nvt

^{*} bouwland staat voor bouwland en hoogwaardige land- en tuinbouw

^{**} voor veen is de drempelwaarde gelijk gesteld aan de droogleggingnorm voor Gt III

