

32/446(595) 2<sup>e</sup> ex

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

**Gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de  
landbouw in Fryslân**

**Landelijke kennis en normen en toepassing daarvan op vier peilgebieden**

**P.J.T van Bakel  
Ph. Hamaker**

**Rapport 595**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998**



- 5 MAART 1998

Ln 946033 \*

## REFERAAT

Bakel, P.J.T. van en Ph. Hamaker, 1998 *Gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw in Fryslân; landelijke kennis en normen en toepassing daarvan op vier peilgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 595. 95 blz.; 14 fig.; 15 tab.; 30 ref.

De kennis over de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw en de normen voor ontwatering, drooglegging en afwatering zijn geïnventariseerd. Ook zijn methoden beschreven om de marges daarin op peilgebiedsniveau aan te geven. Voor vier peilgebieden in Fryslân is de huidige situatie geëvalueerd. Voor de peilgebieden in het dekzand- en het kleibouwlandgebied is de drooglegging voor de landbouw vrijwel optimaal. De twee peilgebieden in het veenweidegebied hebben een gemiddelde drooglegging van 0,95 m resp. 0,65 m. Het verschil in drooglegging leidt tot duidelijk verschillende percentages nat- en droogteschade, de totale schade is echter vrijwel gelijk. Bij het evalueren van huidige peilen en de gevolgen van peilveranderingen voor de landbouw is het belangrijk verschillen in maaiveldshoogte binnen peilgebieden in rekening te brengen. Bepalend voor de gevolgen van peilverhoging is of de drainage al dan niet op de nieuwe situatie wordt aangepast.

Trefwoorden: afwatering, drooglegging, droogteschade, Friesland, landbouw, maaiveldshoogte, natschade, ontwatering.

ISSN 0927-4499

©1998 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: [postkamer@sc.dlo.nl](mailto:postkamer@sc.dlo.nl)

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

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

# Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
1.1 Achtergronden	15
1.2 Probleem- en doelstelling, en uitwerking	16
1.3 Opzet van het onderzoek en opbouw van het rapport	17
<b>2 Onverzadigde zone als standplaats van landbouwgewassen</b>	<b>19</b>
2.1 Inleiding	19
2.2 Gewenste grondwaterstandssituatie	19
2.3 Samenvatting	23
<b>3 Ontwatering</b>	<b>25</b>
3.1 Inleiding	25
3.2 Theoretische en conceptuele achtergronden	25
3.3 Ontwateringsnormen	26
3.4 Optimale draandiepte	27
3.5 Samenvatting	28
<b>4 Drooglegging in relatie tot de afwatering</b>	<b>29</b>
4.1 Inleiding	29
4.2 Conventionele droogleggingsnormen	29
4.3 Droogleggingsnormen volgens nieuwe inzichten	30
4.4 Droogleggingsnormen voor diepe veenweidegebieden	32
4.5 Samenvatting	33
<b>5 Afwatering en wateraanvoer</b>	<b>35</b>
5.1 Inleiding	35
5.2 Afvoernormen	35
5.3 Wateraanvoer	36
5.4 Samenvatting	37
<b>6 Ontwatering, drooglegging en afwatering (synthese)</b>	<b>39</b>
6.1 Inleiding	39
6.2 Relatie tussen drooglegging en ontwatering	39
6.3 Relatie tussen drooglegging en inrichting en beheer	40
6.3.1 Drooglegging bij maatgevende afvoersituaties	40
6.3.2 Dynamisch peilbeheer	43
6.4 Integratie van ontwatering en afwatering	43
6.5 Project WATERNOOD	44
6.6 Samenvatting	45

7	Involed van de drooglegging op de nat- en droogteschade op peilgebiedsniveau	47
	7.1 Inleiding	47
	7.2 Benadering volgens de HELP-methode en de methode Van Wijk	47
	7.3 Deterministische methode (via modelberekeningen)	48
	7.4 Samenvatting	50
8	Evaluatie van de situatie in Fryslân	51
	8.1 Evaluatiemethode	51
	8.2 Keuze van proefgebieden en peilgebieden	53
	8.3 Bodemkundige en waterhuishoudkundige karakterisering	53
	8.3.1 Basisgegevens	53
	8.3.2 Peilgebied 123 (proefgebied Meersloot)	55
	8.3.3 Peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl)	57
	8.3.4 Peilgebieden 2301 en 2559 (proefgebied Swette)	58
9	Berekenen van de nat- en droogteschade voor de geselecteerde peilgebieden	61
	9.1 Inleiding	61
	9.2 Peilgebied 123 (proefgebied Meersloot)	61
	9.2.1 Berekeningen	61
	9.2.2 Resultaten voor peilgebied 123	63
	9.2.3 Evaluatie voor peilgebied 123	70
	9.3 Peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl)	70
	9.3.1 Berekeningen voor de bestaande situatie	70
	9.3.2 Berekeningen voor de situaties bij peilverhoging en verlaging	72
	9.3.3 Resultaten voor peilgebied 623	75
	9.3.4 Evaluatie voor peilgebied 623	75
	9.4 Peilgebieden 2301 en 2559 (Swettegebied)	76
	9.4.1 Berekeningen voor de peilgebieden 2301 en 2559	76
	9.4.2 Resultaten voor de peilgebieden 2301 en 2559	77
	9.4.3 Evaluatie voor de peilgebieden 2301 en 2559	83
10	Discussie, conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	85
	10.1 Inleiding	85
	10.2 Beantwoording van de vraagstelling	85
	10.3 Beperkingen van huidige normen en methoden voor het kwantificeren van de landbouwschade	88
	10.4 Hoe nu verder?	90
	Literatuur	93

## **Woord vooraf**

In opdracht van de provincie Fryslân heeft DLO-Staring Centrum onderzoek uitgevoerd naar de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw in Fryslân. Het onderzoek is begeleid door mevrouw ir. T. Steenbruggen van de Afdeling Milieu en Water van de provincie. De onderzoekers zijn haar erkentelijk voor haar kritische en stimulerende inbreng in het project.

## **Samenvatting**

### **Inleiding**

Met het oog op het opstellen van het tweede waterhuishoudingsplan heeft de provincie Fryslân behoefte aan een notitie waarin staat beschreven wat de mogelijkheden zijn om de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw aan te geven. Tevens is er behoefte aan inzicht in de marges in die gewenste situatie en, in aansluiting daarop, in de gevolgen van alternatieve vormen van waterbeheer (peilverhogingen, dynamische peilbeheer) voor de landbouw.

Aan de hand van een aantal publicaties ter zake zijn de beschikbare methodes voor het aangeven van de gewenste waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw geïnventariseerd en geanalyseerd. In een tweede stap zijn de bevindingen afgezet tegen de huidige praktijk in Fryslân aan de hand van een gedetailleerde analyse voor een viertal peilgebieden waarvan één in het zandgebied, één in het kleigebied en twee in het lage veenweidegebied. Mede op basis van deze analyse is vervolgens ingegaan op volgende drie concrete vragen:

1. Hoe verhoudt het huidige peilbeheer zich tot wat voor de landbouw gewenst is?
2. Wat zijn de gevolgen van het hanteren van hogere peilen voor de landbouw?
3. Wat zijn de mogelijkheden tot het voeren van dynamisch peilbeheer?

Tot slot zijn, aan de hand van de resultaten van de analyse voor de vier peilgebieden en de beantwoording van de drie vragen, de beschikbare methodes om de gewenste situatie voor de landbouw in beeld te brengen nog eens kritisch bekeken. De beperkingen komen daarbij duidelijk aan het licht en dat heeft geleid tot aanbevelingen voor het verder ontwikkelen van een andere methode om de vraagstelling te benaderen.

### **Landbouwwaterhuishouding: methoden ter bepaling van nat- en droogteschade**

De landbouwkundige mogelijkheden en beperkingen worden in sterke mate bepaald door de waterhuishoudkundige situatie van het bewortelde gedeelte van het bodemprofiel. Het gaat daarbij niet alléén om een optimale water- en zuurstofvoorziening van het wortelstelsel maar óók om aspecten als de draagkracht, berijdbaarheid en bewerkbaarheid van de grond en de oogstbaarheid. De waterhuishoudkundige situatie van het bewortelde bodemprofiel vertoont vaak extreme schommelingen over korte tijdsperioden onder invloed van neerslag, verdamping en drainage. Om praktische redenen is de gewenste waterhuishoudkundige situatie van het bodemprofiel daarom vertaald in termen van grondwaterstanden die meer gelijkmatig over het seizoen verlopen. Dat heeft geleid tot het kwalificeren van de waterhuishoudkundige situatie in termen van zogenoemde grondwatertrappen (Gt's) op basis van hydromorfe profielkenmerken die bij het uitvoeren van bodemkarteringen in het veld zijn vast te stellen. De nat- en droogteschade voor de landbouw ten

gevolge van wateroverlast en vochttekort wordt dan gekoppeld aan het verloop van de grondwaterstand gedurende het jaar. Dat heeft uiteindelijk geleid tot de zogenoemde HELP-tabellen met langjarig gemiddelde nat- en droogteschadepercentages voor bouwland en grasland, in afhankelijkheid van de bodemkundige karakterisering en de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG resp. GLG). Een groot probleem bij het toepassen van de HELP-methode is het meestal ontbreken van concrete gegevens over GHG's en GLG's, te meer daar de desbetreffende informatie op bodemkaarten vaak niet meer de huidige situatie weergeeft. Het is dan noodzakelijk GHG's en GLG's te schatten met behulp van vuistregels, uitgaande van open-waterpeilen en andere gebiedskenmerken.

Voor gedraineerd bouwland zijn naast de HELP-tabellen óók de resultaten van onderzoek van Van Wijk et al. (1988) bruikbaar om de opbrengstdepressie als gevolg van een niet-optimale waterhuishouding te kwantificeren voor zover het de belangrijkste akkerbouwgewassen betreft. Een groot voordeel van het gebruik van de gegevens van Van Wijk is dat opbrengstreducties voor een gegeven bodemprofiel rechtstreeks gekoppeld zijn aan de positie van de drainagebasis (draindiepte) en aan de drainageweerstand (drainafstand). De onzekerheid van de HELP-methode als gevolg van het 'vertalen' van open-waterpeilen in GHG's resp. GLG's speelt hier dus geen rol. Daar staat tegenover dat het bij het gebruik van de gegevens uit het onderzoek van Van Wijk *niet* gaat om een standaard procedure die routinematig is toe te passen, maar om het correct interpreteren en gebruiken van de gegevens (tabellen en grafieken) uit de desbetreffende publicatie waarbij zowel bodemkundige als agrohydrologische expertise vereist is. Daarom wordt deze methode weinig toegepast.

*Zowel bij de HELP-methode als bij het gebruiken van de gegevens uit het onderzoek van Van Wijk gaat het om het bepalen van langjarig gemiddelde effecten. De methoden zijn dus niet geschikt om de situatie in specifiek natte en droge jaren te beoordelen, noch om effecten van de dynamiek van de waterhuishouding van het bodemprofiel tijdens het groeiseizoen te evalueren. .*

## **Normen voor ontwatering, drooglegging en afvoer**

De gewenste waterhuishoudkundige situatie van de onverzadigde zone en de daaraan gekoppelde grondwaterstandssituatie worden in perioden met een neerslagoverschot bereikt via *ontwatering*. Het gaat daarbij om de afvoer van water over en door de grond, eventueel via drainagebuizen en greppels, naar het waterlopenstelsel. Gangbare normen voor de ontwatering zijn  $7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  bij een grondwaterstandsdiepte van 0,30 m voor grasland en 0,50 m voor bouwland. Het gaat om *agrohydrologische* normen die *niet* expliciet in de waterkwantiteitsbeheersplannen van de waterschappen zijn opgenomen.

Die waterkwantiteitsbeheersplannen geven wél normen voor de *drooglegging* en de *afwatering*. Bij de normen voor de drooglegging wordt onderscheid gemaakt tussen *maatgevende* en *niet-maatgevende* omstandigheden, waarbij maatgevende omstandigheden slaan op afvoersituaties die gemiddeld één à twee keer per jaar voorkomen in perioden

met veel neerslag. De droogleggingsnormen onder *niet-maatgevende* omstandigheden zijn veelal ontleend aan het Cultuurtechnisch Vademecum (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988). De desbetreffende normen voor verschillende bodemtypen bepalen in combinatie met andere factoren (slootafstanden, doorlatendheden bodemprofiel en verzadigde zone) of buisdrainage al dan niet haalbaar is en noodzakelijk is om aan de eerdergenoemde ontwateringsnormen voor bouwland en grasland te voldoen.

Normen voor de drooglegging onder *maatgevende* omstandigheden en afvoernormen spelen een centrale rol bij het ontwerpen van stelsels van waterlopen met bijbehorende kunstwerken. De normen worden vooral bepaald door de aanwezige bebouwing, dijken, kaden enz. en zijn direct te vertalen in aanvaardbare peilstijgingen onder maatgevende omstandigheden.

*Uit de waterkwantiteitsbeheersplannen blijkt dat de waterschappen in Fryslân strenge normen hanteren voor de drooglegging onder maatgevende omstandigheden. Landbouwkundig gezien zou met minder strenge normen kunnen worden volstaan, zolang maar niet daadwerkelijk inundaties plaatsvinden. Dat houdt verband met het feit dat stijgingen van open-waterpeilen van betekenis alléén zullen voorkomen onder omstandigheden dat grondwaterstanden al tot dicht bij of zelfs tot in maaiveld zijn gestegen. Het open-waterpeil is onder die omstandigheden niet meer van invloed op de waterhuishoudkundige situatie in de wortelzone. Als het om de belangen van de landbouw gaat is dus de drooglegging onder niet-maatgevende omstandigheden van veel meer belang.*

## **Evaluatie van de situatie in Fryslân en beantwoording van de drie vragen**

Via toepassing van de HELP-methode resp. de methode Van Wijk is de huidige waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw geëvalueerd voor de volgende vier peilgebieden:

- peilgebied 123 in het zandgebied ten zuiden van Dokkum (gebied Meersloot), vrijwel volledig in gebruik als grasland;
- peilgebied 623 in het zeekleigebied nabij Harlingen (gebied Roptazijl), overwegend in gebruik als bouwland;
- peilgebieden 2301 en 2559 in het lage veenweidegebied (gebied Swette), volledig in gebruik als grasland.

De HELP-methode is toegepast op de drie graslandpeilgebieden, de methode Van Wijk op het peilgebied met overwegend bouwland. Met het oog op vraag 2 zijn óók de landbouwkundige gevolgen van peilverhoging en verlaging met 0,2 en 0,4 m bekeken. Bij het uitwerken is gebruik gemaakt van de bodemkaart 1 : 50 000 en van maaiveldshoogtebestanden van de Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat/Topografische Dienst Nederland en van de Dienst Landelijk Gebied van het Ministerie van LNV.

Uit de berekeningen komt als *antwoord op vraag 1* naar voren dat de bestaande drooglegging onder niet-maatgevende omstandigheden (dus bij open-waterpeil volgens peilbesluit) de landbouwkundig gezien optimale situatie in drie van de vier peilgebieden dicht benadert. Dat houdt in dat de som van de nat- en droogteschade



volgens de HELP-methode minimaal is resp. het productieniveau volgens de methode Van Wijk haar optimum bereikt <sup>1</sup>:

- voor peilgebied 123 (gemiddelde drooglegging: 1,30 m) komt de berekende gewogen gebiedsgemiddelde som van de nat- en droogteschade uit op 9,4 resp. 5,6% voor de twee belangrijkste voorkomende bodemtypen;
- voor peilgebied 623 (gemiddelde drooglegging: 1,46 m) ligt het berekende gewogen gebiedsgemiddelde opbrengstniveau ca. 5% beneden het maximaal haalbare niveau;
- voor peilgebied 2301 (gemiddelde drooglegging: 0,96 m)<sup>2</sup> komt de berekende gewogen gebiedsgemiddelde totale schade uit op 13,8%, bij een natschade van 5,7% en een droogteschade van 8,2%;
- voor peilgebied 2559 (gemiddelde drooglegging: 0,66 m) komt de berekende gewogen gebiedsgemiddelde totale schade uit op 15,1%, bij een natschade van 9,2% en een droogteschade van 6,0%.

Het niveau van de drooglegging van peilgebied 2559 ligt dicht bij de richtlijn van 0,6 m voor veenweidegebieden volgens de beleidsuitgangspunten van de Centrale Landinrichtingscommissie. Voor de landbouw is dat *niet* optimaal. Volgens de hier uitgevoerde berekeningen is het verschil tussen de *totale* schadepercentages voor de peilgebieden 2301 en 2559 klein. Gezien het relatief *grote* verschil tussen de gemiddelde drooglegging voor deze peilgebieden is dat opvallend. Het hangt sterk samen met de vuistregels die zijn toegepast om de GHG's en GLG's uit de drooglegging af te leiden. Die vuistregels impliceren dat peilgebied 2559 relatief intensief zou zijn gedraineerd (kleine greppel- en slootafstanden) in vergelijking met peilgebied 2301. Het is *niet* aannemelijk dat dat overeenstemt met de realiteit en is een duidelijke illustratie van de problemen die zich voordoen bij het toepassen van de HELP-methode.

Het *antwoord op vraag 2* met betrekking tot de gevolgen van peilverhogingen volgt uit berekeningen van de nat- en droogteschade resp. het productieniveau bij een peilverhoging van 0,2 m. Een eenduidig antwoord op de vraag blijkt niet mogelijk. Cruciaal bij het berekenen van de toename van de natschade bij peilverhoging is de vraag of de ontwatering (drainage) al dan niet op het verhoogde peil wordt aangepast. Om de gedachten te bepalen: *zonder* aanpassing van de drainage neemt de berekende gebiedsgemiddelde natschade voor de peilgebieden 123 en 623 toe met 5%, voor peilgebied 2301 met 10% en voor peilgebied 2559 met 15%. Via aanpassing van bestaande drainagesystemen (verkleining slootafstanden, intensievere begreppeling) of aanleg van buisdrainage waar die in de bestaande situatie ontbreekt kunnen die negatieve effecten van peilverhoging in theorie sterk worden beperkt of zelfs volledig geëlimineerd.

---

<sup>1</sup> Bij het interpreteren van de schadepercentages (HELP-methode) resp. opbrengstreducties (methode Van Wijk) in termen van geld moet per procent schade voor grasland gerekend worden met bedrag in de orde van f 25 à f 30 per ha per jaar en voor bouwland (vruchtwisseling van aardappelen, suikerbieten, graan) met een bedrag in de orde van f 60 per ha per jaar.

<sup>2</sup> De beleidsuitgangspunten van de Centrale Landinrichtingscommissie voor diepe veenweidegebieden zijn gericht op het beperken van de drooglegging: zo komen alléén peilverlagingen *tot* een drooglegging van 0,60 m voor subsidiëring in aanmerking.

Verschillen in maaiveldshoogte hebben tot gevolg dat de effecten van peilverhoging binnen een gegeven peilgebied sterk uiteen lopen. Voor de hoogst gelegen gedeelten worden zelfs positieve effecten berekend, doordat de afname van de droogteschade daar groter is dan de toename van de natschade. Het evalueren van alléén gebiedsgemiddelde effecten geeft zodoende altijd een vertekend beeld van de gevolgen van peilverandering voor de verschillende agrarische grondgebruikers in het desbetreffende peilgebied.

Het *antwoord op vraag 3* staat los van de evaluatie voor de vier peilgebieden. Het antwoord is afhankelijk van de vraag in hoeverre open-waterstanden regelbaar zijn en of er voldoende interactie is tussen het oppervlaktewater en het grondwater. Voor de situatie in Fryslân lijken de perspectieven voor dynamisch peilbeheer in het kleibouwlandgebied en het veenweidegebied zeer beperkt. Wèl wordt overal aan de voorwaarde van regelbare open-waterstanden voldaan. Dynamisch peilbeheer zou in gedraineerde kleigebieden leiden tot situaties met drains onder water. Vooralsnog wordt dat in de praktijk als een ongewenste situatie gezien. Dynamisch peilbeheer in het veenweidegebied vergroot het risico van vertrapping van slootkanten. In de praktijk weegt dit wellicht zwaarder dan de mogelijke beperking van de droogteschade. Zo lijkt dynamisch peilbeheer het meeste perspectief te bieden in de zandgebieden, tenminste voor zover buisdrainage ontbreekt en het probleem van drains onder water dus niet speelt. Veel hangt dan af van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater, dat wil zeggen van de grootte van drainage- en infiltratie-weerstand. Alleen via een gebiedsgerichte analyse, waarbij ook modelmatig aan de effecten kan worden gerekend, zijn de perspectieven nader te concretiseren.

### **Hoe nu verder?**

Uit de evaluatie van bestaande normen, speciaal die voor de drooglegging, en uit de geconstateerde beperkingen van de HELP-methode en methode Van Wijk volgt dat er veel te zeggen valt voor het ontwikkelen van een meer adequate en eigentijdse methode om effecten van de waterhuishouding op de landbouw te kwantificeren. Ook de verplichting die de provincies is opgelegd om in hun toekomstige waterhuishoudingsplannen per deelgebied de gewenste *grondwatersituatie* aan te geven wijst in die richting.

In 1997 is in het kader van een onderzoek van SC-DLO bij het waterschap Wold en Wieden en Mepperlerdiep een aanzet gegeven tot het ontwikkelen van een deterministische methode, waarbij het *simuleren* van de waterhuishouding van het bodemprofiel en ondiepe grondwater centraal staat. In de totale procedure zijn drie deelprocedures te onderscheiden:

- het karakteriseren van peilgebieden op basis van maaiveldshoogten, bodemkundige situatie, bodemgebruik en hydrologie;
- het uitvoeren van de simulatieberekeningen met betrekking tot de waterhuishouding, onder randvoorwaarden die verband houden met de vraagstelling die in het desbetreffende gebied aan de orde is (bijvoorbeeld de vraag naar de optimale drooglegging of naar de mogelijkheden en beperkingen van dynamisch peilbeheer);

- het interpreteren van de resultaten in termen van de belangen van de landbouw zodat die belangen tegen andere belangen kunnen worden afgewogen.

Het verder ontwikkelen en operationaliseren van een dergelijke werkwijze kan uiteindelijk leiden tot een methode die landelijk, dus ook in Fryslân, toepasbaar is. Een dergelijke ontwikkeling is essentieel als het gaat om het leveren van maatwerk met betrekking tot de waterhuishouding en het waterbeheer op (peil)gebiedsniveau in de toekomst.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden

Integraal waterbeheer houdt onder meer in dat verschillende belangen die door het waterbeheer worden beïnvloed, worden afgewogen. Deze belangen kunnen sectoraal zijn (landbouw, bebouwing, natuur enz.) maar ook facetmatig (ruimtelijke ordening, milieu). Om beleid te kunnen realiseren moeten de belangen zichtbaar worden gemaakt in termen van indicatoren en bovendien dient bekend te zijn hoe die indicatoren worden beïnvloed door het waterbeheer. Een in dit verband belangrijke macro-indicator is de gewenste grondwatersituatie. Maar ook bij oppervlaktewater is sprake van een gewenste situatie, af te leiden uit de functies die aan het oppervlaktewater zijn toegekend.

Een belangrijke doelstelling van het waterbeheer is het realiseren van de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie. Daarbij doet zich een aantal problemen voor. Allereerst is het definiëren van de gewenste grondwatersituatie niet voor alle vormen van bodemgebruik zo eenvoudig. Voor de landbouw is dat wèl redelijk goed mogelijk, door het koppelen van de grondwaterstand aan wensen ten aanzien van draagkracht, bewerkbaarheid en vochtleverend vermogen van het bodemprofiel en door een koppeling van het zoutgehalte in het grond- en oppervlaktewater aan de zouttolerantie van gewassen. Verder moet in aanmerking worden genomen dat de gewenste grondwatersituatie voor een gegeven bodemtype en vorm van bodemgebruik aan verandering onderhevig kan zijn, afhankelijk van technische en maatschappelijke ontwikkelingen. Als voorbeeld: door het gebruik van zwaardere machines zijn de eisen aan de draagkracht van de grond verzwaard, maar door het uitrijverbod zijn deze eisen in de wintermaanden komen te vervallen.

In de tweede plaats is er het probleem, dat binnen één beheerseenheid, bijvoorbeeld een peilgebied, een variatie in hydrologische omstandigheden voorkomt als gevolg van verschillen in maaiveldshoogte, dichtheid van waterlopen, bodemopbouw enz. Bovendien moet meestal met verschillende belangen rekening worden gehouden: landbouw, natuur enz. Waterbeheer houdt dus altijd het zoeken naar compromissen in, waarbij de optimale situatie afhankelijk is van maatschappelijke ontwikkelingen (bijvoorbeeld: de natuur is niet meer ondergeschikt aan de landbouw).

In de derde plaats is er vaak een spanningsveld tussen de korte en de lange termijn. Een goed voorbeeld hiervan is de verlaging van open-waterpeilen in veenweidegebieden. Op de korte termijn leidt verlaging tot verbetering van de productieomstandigheden. Echter, op de lange termijn wordt de afbraak van veen en de maaiveldsdaling erdoor versneld, zodat na verloop van tijd problemen ontstaan met de drooglegging en waterafvoer.

Tenslotte is er het probleem, dat er geen één-op-één relatie is tussen enerzijds de gewenste grondwatersituatie en anderzijds de open-waterstanden. De interactie tussen grond- en oppervlaktewater wordt vooral bepaald door drainageweerstanden en ontwateringsniveaus. De actuele grondwaterstand wordt daarnaast nog beïnvloed door het neerslagoverschot. De waterbeheerder heeft echter alléén rechtstreeks invloed

op het open-waterpeil.

Ondanks deze problemen is de waterbeheerder gehouden te streven naar het realiseren van de gewenste situatie. Daarbij valt te constateren dat bovengeschetste problemen veelal *niet* expliciet aan de orde worden gesteld en dat normatief te werk wordt gegaan. Het werken met normen heeft echter de volgende nadelen:

- normen passen zich niet snel aan aan veranderende omstandigheden;
- bij het werken met normen is het niet mogelijk een expliciete afweging van belangen te maken;
- bij het werken met normen kan niet worden aangegeven wat de gevolgen zijn van suboptimale omstandigheden voor het desbetreffende belang;
- normen zijn moeilijk te combineren met adaptief waterbeheer, dat wil zeggen, met waterbeheer dat zich op *real time* basis aanpast aan de actuele hydrologische situatie via dynamische sturing.

Gezien deze nadelen bestaat er een duidelijk behoefte aan het expliciet maken van regels en normen die gebruikt worden bij de waterhuishoudkundige inrichting en bij het waterbeheer. Daardoor zal het niet alleen mogelijk worden maatwerk te leveren, maar is bovendien het gevoerde beheer beter aan belanghebbenden uit te leggen.

## **1.2 Probleem- en doelstelling, en uitwerking**

Met het oog op het opstellen van het tweede waterhuishoudingsplan heeft de provincie Fryslân behoefte aan een notitie waarin staat beschreven wat de mogelijkheden zijn om de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw aan te geven. Tevens is er behoefte aan inzicht in de marges in die gewenste situatie en, in aansluiting daarop, in de gevolgen van alternatieve vormen van waterbeheer (peilverhogingen, dynamisch peilbeheer) voor de landbouw.

Aan de hand van de meest relevante publicaties zijn de beschikbare methodes voor het aangeven van de gewenste waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw samengevat en globaal beoordeeld. Ook de bestaande landelijke normen voor de ontwatering, drooglegging en afwatering krijgen aandacht, eveneens op basis van gegevens die aan publicaties ter zake zijn ontleend. In een tweede stap zijn de bevindingen afgezet tegen de huidige praktijk in Fryslân aan de hand van een gedetailleerde analyse voor een viertal peilgebieden waarvan één in het zandgebied, één in het kleigebied en twee in het lage veenweidegebied. Op basis van deze analyse is vervolgens ingegaan op volgende drie concrete vragen:

1. Hoe verhoudt het huidige peilbeheer zich tot wat voor de landbouw gewenst is?
2. Wat zijn de gevolgen van het hanteren van hogere peilen voor de landbouw?
3. Wat zijn de mogelijkheden tot het voeren van dynamisch peilbeheer?

### 1.3 Opzet van het onderzoek en opbouw van het rapport

De opzet van het onderzoek en dit rapport bestaan uit twee gedeelten. Het eerste gedeelte beslaat de hoofdstukken 2 t/m 7 en betreft de bestaande kennis over de waterhuishouding in het landelijk gebied en de normen die daarbij worden gehanteerd, met sterke nadruk op de aspecten die de belangen van de landbouw betreffen. Het gaat daarbij om de volgende aspecten:

- *Waterhuishouding van de onverzadigde zone: hoofdstuk 2.* De onverzadigde zone is voor de landbouw het belangrijkste deelsysteem. Het bovenste deel ervan is de eigenlijke standplaats voor de landbouwgewassen. De onderrand wordt gevormd door de grondwaterspiegel. De waterhuishoudkundige situatie wordt veelal gekoppeld aan de grondwaterstandsdiepte.
- *Ontwatering: hoofdstuk 3.* De ontwatering slaat op de afvoer van water over en door de grond en eventueel via drainbuizen en greppels en wordt bepaald door de ontwateringsbasis (=drainagebasis), de doorlatendheid van de grond en de afmetingen en onderlinge afstand van de ontwateringsmiddelen (sloten, greppels, drains).
- *Drooglegging: hoofdstuk 4.* De drooglegging betreft het hoogteverschil tussen het maaiveld en het open-waterpeil. Daarbij is het onderscheid tussen de drooglegging onder maatgevende en *niet*-maatgevende omstandigheden belangrijk. De normen voor de drooglegging komen aan de orde evenals de relatie tussen de drooglegging en de ontwatering.
- *Afwatering en wateraanvoer: hoofdstuk 5.* De afwatering betreft het transport van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt. Dit hoofdstuk gaat over de normen voor de afwatering en de relatie tussen *ontwatering* en *afwatering*.
- Het eerste gedeelte van het rapport wordt afgesloten met de hoofdstukken 6 en 7. In hoofdstuk 6 wordt het waterhuishoudkundige systeem als geheel beschouwd, waarbij het dus gaat om de samenhang tussen de waterhuishoudkundige situatie van de standplaats van het gewas, de grondwatersituatie, de drooglegging en de wateraf- en aanvoer. Hoofdstuk 7 gaat over de invloed van de drooglegging op de landbouwopbrengst of landbouwschade op *peilgebiedsniveau*. Daarbij is dus de opschaling van standplaatsniveau naar peilgebiedsniveau aan de orde.

Het tweede gedeelte omvat de hoofdstukken 8 t/m 10 en betreft het evalueren van de waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw in de provincie Fryslân aan de hand van een gedetailleerde analyse voor de peilgebieden in het dekzandgebied, in het kleigebied en in het veenweidegebied. De evaluatie en analyse is geconcentreerd op het kwantificeren van de nat- en droogteschade en de invloed van verschillen in drooglegging die samenhangen met verschillen in maaiveldshoogte. Dat resulteert uiteindelijk in het beantwoorden van de drie in par. 1.2 geformuleerde vragen.

## **2 Onverzadigde zone als standplaats van landbouwgewassen**

### **2.1 Inleiding**

De waterhuishouding van de onverzadigde zone van het bodemprofiel is van grote invloed op de landbouwkundige mogelijkheden en beperkingen. De gewenste waterhuishoudkundige situatie slaat op de abiotische toestand van de onverzadigde zone als standplaats van het gewas. Het gaat daarbij om het voorkomen van de juiste hoeveelheid water van de gewenste kwaliteit in het bodemprofiel, in het bijzonder in de wortelzone. Het vochtgehalte bepaalt allereerst de mogelijkheden tot verdamping waarbij zowel een te natte als een te droge situatie belemmerend werkt. Het optimale traject is te koppelen aan de drukhoogte van het bodemwater en ligt globaal tussen -80 en -300 cm. Daarnaast is het vochtgehalte van invloed op de volgende aspecten met betrekking tot de bedrijfsvoering:

- de draagkracht van de grond, waarbij geldt dat hoe natter en hoe hoger het organischestofgehalte, hoe geringer de draagkracht (Beuving et al., 1989); bij onvoldoende draagkracht kan de grond niet worden bereiden danwel niet door het vee worden belopen zonder schade aan te richten;
- de bewerkbaarheid, waarbij voor zavel- en kleigronden geldt dat onder te natte omstandigheden versmering optreedt en dat onder te droge omstandigheden de grond te hard wordt;
- de rooibaarheid, waarbij met name voor akkerbouwgewassen op kleigrond geldt dat onder te natte omstandigheden veel grond wordt 'meegerooid' (veel tarra) en structuurbedref optreedt, terwijl onder te droge omstandigheden kluiten een probleem vormen.

Voor de landbouw is redelijk goed bekend aan welke eisen de waterhuishouding van de standplaats moet voldoen (Van Soesbergen et al., 1986). Praktisch gezien is het echter niet doenlijk om de waterhuishoudkundige situatie in de wortelzone te karakteriseren in termen van variabelen die betrekking hebben op de standplaats zelf. Daarom is het gebruikelijk die situatie te karakteriseren op basis van het grondwaterstandsregime. Daarbij is het belangrijk voor ogen te houden dat de grondwaterstandsdiepte lang niet altijd een goede maat is voor de waterhuishoudkundige situatie in de wortelzone. Dat is alléén het geval als er sprake is van een zogenoemd evenwichtsprofiel, inhoudende dat de vochtspanning gelijk is aan de hoogte boven de grondwaterspiegel.

### **2.2 Gewenste grondwaterstandssituatie**

Om de waterhuishoudkundige situatie te relateren aan de grondwaterstandssituatie is het noodzakelijk verband te leggen tussen de landbouwkundige mogelijkheden en beperkingen in termen van opbrengsten en een maatstaf voor de grondwaterstand. Die maatstaf is de ontwateringsdiepte, gedefiniëerd als de afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen volgens fig. 2.1. De praktische uitwerking hiervan heeft langs verschillende lijnen plaatsgevonden.

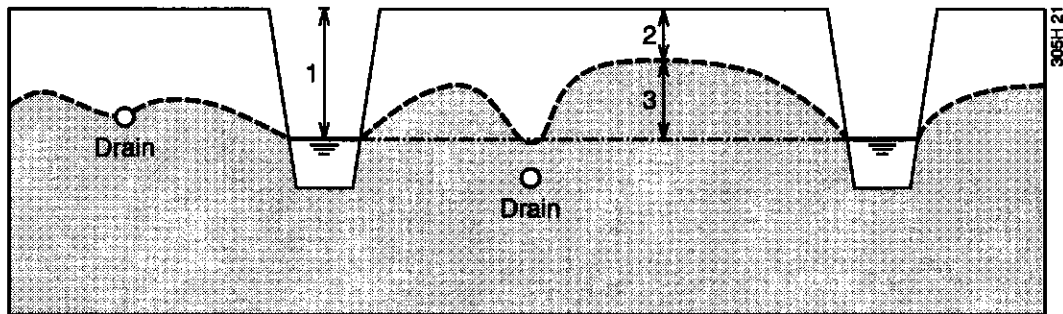


Fig. 2.1 Schematische voorstelling van de grootheden drooglegging (1), ontwateringsdiepte (2) en opbolling (3)

### Opbrengst-ontwateringsdieptecurves

In de jaren vijftig zijn in het kader van het onderzoek van de Commissie Onderzoek Waterhuishouding Nederland (COLN) voor zeven bodemtypen zogenoemde opbrengst-ontwateringsdieptecurves opgesteld. Die curves geven het verband tussen de *gemiddelde* ontwateringsdiepte tijdens het groeiseizoen en de opbrengst (Visser, 1958). De curves als weergegeven in fig. 2.2 zijn afgeleid uit proefveldonderzoek. Elke curve heeft een natte en een droge tak, met daartussen een optimum. Bij hoge grondwaterstanden (geringe ontwateringsdiepte) is de luchthoudding van het bodemprofiel de beperkende factor, bij diepe grondwaterstanden de groeifactor water. Aspecten als draagkracht, bewerkbaarheid en rooibaarheid zijn indertijd *niet* meegenomen. Daarom moeten de curves volgens fig. 2.2 als gedateerd worden beschouwd. Het concept van een droge en een natte tak, met daartussen een optimum, is echter nog steeds relevant.

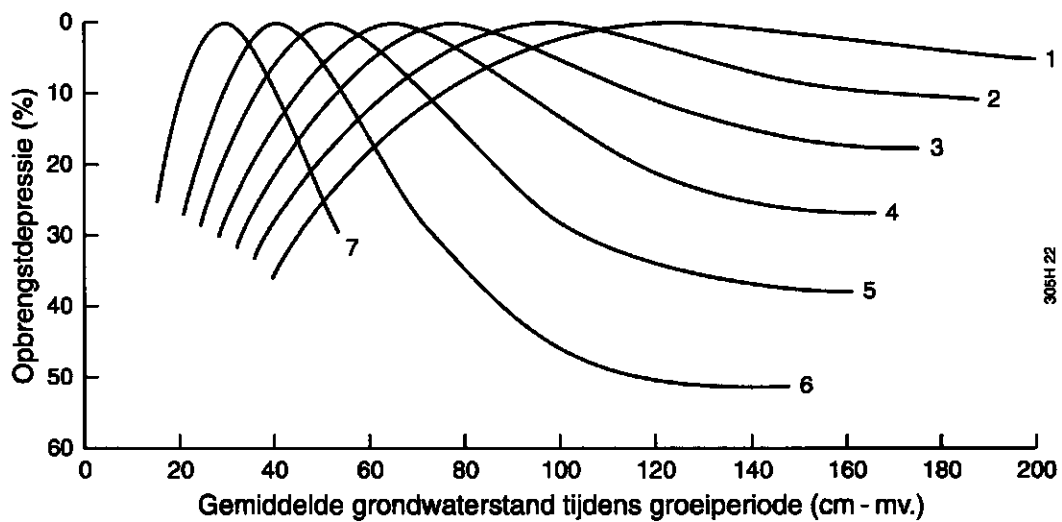


Fig. 2.2 Opbrengst-ontwateringsdieptecurves voor zeven bodemtypen, volgens Visser (1958)

### HELP-methode

Bij het uitvoeren van bodemkarteringen 1 : 50 000 en 1 : 10 000 wordt ook de waterhuishouding van het bodemprofiel beoordeeld. Dit gebeurt op basis van hydromorfe kenmerken die in het veld kunnen worden vastgesteld en leidt tot een karakterisering van het grondwaterstandsregime in termen van een zevental grondwatertrappen, aangeduid als Gt I t/m Gt VII. De indeling berust op de geschatte



gemiddeld hoogste resp. gemiddeld laagste grondwaterstand (aangeduid als GHG resp. GLG). De indeling volgens de bodemkaart 1 : 50 000 is opgenomen in tabel 2.1, voor een nadere definiëring van de begrippen GHG en GLG wordt verwezen naar Steur en Heijink (1991).

Tabel 2.1 Grondwatertrappenindeling (cm - mv.) volgens de bodemkaart 1 : 50 000 en volgens de HELP-tabellen

Grondwatertrap	Bodemkaart		HELP-tabellen	
	GHG	GLG	GHG	GLG
II	< 40	50 - 80	5	70
			10	70
			15	70
II*			25	75
III	<40	80-120	10	105
			15	105
			25	105
III*			30	110
IV	>40	80-120	50	110
V	<40	>120	25	140
V*			25	150
VI	40-80	>120	60	170
VII	>80	>160	100	200
VII*			160	260

De landbouwkundige mogelijkheden en beperkingen van een gegeven legenda-eenheid op de bodemkaart worden mede bepaald door de Gt. Per legenda-eenheid-Gt-combinatie worden die mogelijkheden en beperkingen *kwalitatief* omschreven in de bij elke bodemkaart horende toelichting. In het kader van de uitvoering van landinrichtingsprojecten is later de behoefte toegenomen om de relatie tussen de waterhuishouding en landbouwkundige productie nader te onderbouwen en ook te *kwantificeren*. Dat heeft uiteindelijk geleid tot de zogenoemde HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987). De Gt-indeling volgens de HELP-tabellen is eveneens in tabel 2.1 opgenomen. Om de HELP-tabellen te gebruiken worden de legenda-eenheden volgens de bodemkaart vertaald in zogenoemde HELP-bodemtypen. In totaal zijn 70 HELP-bodemtypen onderscheiden. In de HELP-tabellen zijn per bodemtype en Gt-situatie volgens tabel 2.1 de opbrengst-reducties in procenten ten gevolge van te natte resp. te droge omstandigheden opgenomen, verder aangeduid als nat- resp. droogteschade. Er zijn aparte tabellen voor grasland en voor bouwland. De droogteschade berust op berekeningen met het agrohydrologische model MUST-Lamos (De Laat, 1980). De natschade is vooral gebaseerd op 'expert judgement'.

Evenals de opbrengst-ontwateringsdieptecurves geldt voor de HELP-tabellen dat de opbrengst-reducties betrekking hebben op *gemiddelde* hydrologische omstandigheden over een langjarige periode en dus weinig zeggen over de periode van het jaar waarin de schade optreedt, noch over de situatie in specifiek droge of natte jaren. Voor het operationeel waterbeheer (peilbeheer) is de HELP-methode daardoor niet relevant.

### **SOW-methode**

Voor grasland is alle kennis over productieomstandigheden en bedrijfsvoering geïntegreerd door het koppelen van de volgende modellen:

- SWATRE (Belmans et al., 1983) voor het berekenen van de waterhuishouding;
- CROPR (Feddes et al., 1978) voor het berekenen van de gewasgroei;
- GRAMAN (Peerboom, 1990) voor de bedrijfsvoering.

Dit modelinstrumentarium, aangeduid als het model SWAGRA, is gebruikt om de natschade ten gevolge van onvoldoende draagkracht, beperking van de groei ten gevolge van lage temperaturen en stikstofverliezen door denitrificatie te berekenen en te relateren aan het verloop van de grondwaterstandsdiepte. Daartoe is een standaard graslandbedrijf van 50 ha met 11 identieke percelen en 50 koeien gedefinieerd. In het voorjaar start de grasgroei in afhankelijkheid van temperatuur en ontwateringssituatie. In de loop van april wordt het vee ingeschaard, mits de draagkracht voldoende is. De draagkracht is daarbij afhankelijk van de vochtspanning. Een aantal percelen wordt gemaaid. Indien de draagkracht op deze percelen onvoldoende is moet gewacht worden met maaien, waardoor de voederwaarde van het gras terugloopt. Bij het grazen worden vertrappingsverliezen in rekening gebracht die groter worden als de draagkracht afneemt. Bij onvoldoende draagkracht wordt het vee tijdelijk op stal gezet en moet met (duur) krachtvoer worden bijgevoerd.

Als resultaat wordt onder meer het verloop van de grondwaterstandsdiepte en van de *actuele* transpiratie verkregen. De laatste leidt, samen met de eveneens berekende *potentiële* transpiratie, tot berekening van de *reductie* in transpiratie, te vertalen in een reductie in drogestofproductie. Uiteindelijk is via statistische bewerking van de gedetailleerde rekenresultaten op dagbasis een verband afgeleid tussen het verloop van de grondwaterstandsdiepte en de opbrengst, in de vorm van een lineaire relatie tussen de *onderschrijdingssom* van een (bodemtype afhankelijke) kritieke grondwaterstandsdiepte en de procentuele opbrengstreductie. De hellingshoek van deze lineaire relatie wordt aangeduid als de *schadecoëfficiënt*. De kritieke grondwaterstandsdiepte en de schadecoëfficiënt voor drie bodemprofielen zijn opgenomen in tabel 2.2 (het gaat om bodemprofielen die representatief zijn voor graslandbedrijven in de Achterhoek en Twente).

*Tabel 2.2 Voornaamste resultaten van de studie naar de kwantificering van de relatie tussen grondwaterstandsverloop en schade ten gevolge van wateroverlast op grasland (uit Postma, 1992)*

Bodemtype	Kritieke grondwaterstandsdiepte (cm - mv.)	Schadecoëfficiënt (%-cm <sup>-1</sup> -d <sup>-1</sup> )	
		vroege voorjaar	zomer
grofzandige podzol	20	0,002	0,026
fijnzandige podzol	50	0,006	0,011
moerige grond	70	0,005	0,012

Als nu in een concrete situatie het verloop van de grondwaterstandsdiepte bekend is kan de natschade gekwantificeerd worden door de zogenoemde som-onderschrijdingsswaarde (SOW) van de kritieke grondwaterstandsdiepte te berekenen. Zolang

de grondwaterstandsdiepte groter is dan de kritieke diepte voor het desbetreffende bodemprofiel is er geen natschade ( $SOW=0$ ). Bij een stijging tot boven de kritieke diepte is de schade afhankelijk van zowel de mate van als de duur van de onderschijding ( $SOW>0$ , uitgedrukt in  $cm \cdot d$ ). Het uiteindelijke percentage natschade volgt dan door de SOW te vermenigvuldigen met de desbetreffende schadecoëfficiënt.

De resultaten van schadeberekeningen volgens de SOW-methode stemmen redelijk overeen met de natschadeberekeningen volgens de HELP-methode (Peerboom, 1990). Een sterk punt van de SOW-methode tegenover de HELP-methode is dat de natschade berekend kan worden voor afzonderlijke jaren en bovendien gekoppeld is aan de periode van het jaar. Een bijkomend voordeel van de SOW-methode is dat ook situaties met een afwijkend verloop van de grondwaterstand doorgerekend kunnen worden. De HELP-methode is voor dat soort afwijkende situaties minder geschikt. Een beperking is voornamelijk dat kritieke grondwaterstandsdiepten en schadecoëfficiënten slechts voor enkele bodemtypen zijn bepaald.

### **2.3 Samenvatting**

De gewenste waterhuishoudkundige toestand voor landbouwkundig grondgebruik is redelijk tot goed bekend. Om praktische redenen wordt deze gewenste situatie herleid tot de gewenste grondwaterstandssituatie. Er zijn in de loop der jaren verschillende methoden uitgewerkt om de productiviteit van een bodemeenheid te kwantificeren op basis van de grondwaterstandssituatie:

- via opbrengst-ontwateringsdiepte-curves;
- via de HELP-methode;
- via de SOW-methode.

Eerstgenoemde methode is niet meer actueel. De HELP-methode wordt algemeen toegepast maar is aan herziening toe. Laatstgenoemde methode biedt duidelijke voordelen maar is tot nu toe maar voor een beperkt aantal bodemtypen uitgewerkt.

## 3 Ontwatering

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de kennis met betrekking tot het onderwerp *ontwatering* en de normen daarvoor bij landbouwkundig gebruik. Zoals uiteengezet in het voorgaande hoofdstuk stelt elke vorm van agrarisch grondgebruik haar eigen eisen aan de waterhuishoudkundige situatie van de wortelzone. Onder de Nederlandse klimatologische omstandigheden is er in het winterhalfjaar een neerslagoverschot dat moet worden afgevoerd. De waterhuishoudkundige situatie wordt dan ook sterk bepaald door de manier waarop en de snelheid waarmee die afvoer kan plaatsvinden. De volgende definitie van begrippen is ontleend aan de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie (1986):

- *ontwatering*: de afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen;
- *ontwateringsdiepte*: de afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen;
- *drainagebasis (ontwateringsbasis)*: de grondwaterstand die bereikt wordt na een droge periode en dan bij benadering overeenkomt met:
  - . de waterstand in de ontwateringsmiddelen;
  - . de diepteligging van de drainbuizen;
  - . de bodem van waterlopen op het moment dat deze droogvallen;
- *opbolling*: het maximale hoogteverschil tussen de waterstand in de ontwateringsmiddelen en de grondwaterstand daartussen in een afvoersituatie (zie ook fig. 2.1).

Blijkens de definitie van het begrip *drainagebasis* wordt onderscheid gemaakt tussen peilbeheerste en *niet*-peilbeheerste gebieden. Peilbeheerste gebieden hebben de mogelijkheid tot wateraanvoer en lozen hun overtollig water via stuwen en/of gemalen op een aangrenzend peilvak of de boezem. Het gaat hier om vlakke poldergebieden. *Niet*-peilbeheerste gebieden hebben geen of weinig wateraanvoer zodat de watergangen in perioden zonder neerslag kunnen droogvallen, óók als daarin stuwen zijn geplaatst. Hierbij moet gedacht worden aan hellende zandgebieden.

### 3.2 Theoretische en conceptuele achtergronden

Er zijn diverse formules die het verband aangeven tussen de *opbolling* en de *drainageflux* (bijvoorbeeld de formules van Hooghoudt en Ernst). Blijkens die formules wordt de *opbolling* (en het complement daarvan: de *ontwateringsdiepte*) bij een gegeven *drainageflux* bepaald door de afstand tussen de ontwateringsmiddelen (sloten, drains) en de doorlatendheid van de bodem. De doorlatendheid van de bodem moet als een gegeven worden beschouwd. Voor gedraineerde percelen wordt de ontwateringssituatie dan bepaald door de ligging van de drainbuizen (*drainagebasis*) ten opzichte van maaiveld en de afstand tussen de drainsbuizen, voor niet gedraineerde percelen door de waterstand in de sloten ten opzichte van maaiveld en de slootafstand.

### 3.3 Ontwateringsnormen

Het gebruiken van ontwateringsnormen heeft ten doel om snel en inzichtelijk een adequate ontwateringssituatie te beschrijven. Voor de Nederlandse praktijk zijn ontwateringsnormen ontwikkeld, gebaseerd op proefveldgegevens en 'expert judgement'. Die normen geven het verband tussen de ontwateringsflux en de ontwateringsdiepte. De normen volgens tabel 3.1 zijn overgenomen van de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988). De normen hebben betrekking op een situatie met *stationaire* stroming en houden géén rekening met verschillen in de bergingscapaciteit van verschillende grondsoorten, noch met de effecten van kwel of wegzijging.

Tabel 3.1 Praktijknormen voor de ontwatering bij verschillende vormen van bodemgebruik, volgens de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988)

Grondgebruik	Afvoer (mm-d <sup>-1</sup> )	Grondwaterstandsdiepte (cm - mv.)
Grasland	7	30
Bouwland	7	50
Vollegrondstuinbouw	7	50
Bloembollen op klei	7	50
Bloembollen op zand	10	30
Fruitteelt	7	70
Bos	5- 7	50-30
Sportvelden	15	50

In de praktijk kan in een gegeven situatie via verschillende combinaties van draandiepte en drainafstand aan de normen worden voldaan. Zo kan voor een gegeven diepteligging van de drains de vereiste onderlinge afstand worden berekend. Omgekeerd kan, gegeven de afstand tussen de drains, de vereiste diepteligging worden berekend. Daaraan zijn echter wel grenzen te stellen omdat in de praktijk óók normen met betrekking tot de optimale draandiepte van toepassing zijn.

De gegevens in tabel 3.2 voor de optimale draandiepte zijn eveneens van de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988). Bijkens de tabel wordt voor grasland uitgegaan van een optimale draandiepte van 75 of 80 cm, ongeacht de grondsoort. Voor bouwland is de optimale draandiepte afhankelijk van de grondsoort, vooral van de ondergrond *beneden* 35 cm - mv. De draandiepte loopt uiteen van minimaal 85 cm bij een ondergrond van leemarm zand tot maximaal 120 cm bij een klei-ondergrond.

Omdat de drains vrij moeten kunnen lozen (vanwege mogelijkheid tot controle op het functioneren) is de draandiepte direct van invloed op het waterpeil dat toelaatbaar is in de sloten waarop de lozing plaatsvindt. Daarmee is het verband gelegd met het open-waterpeil en met de drooglegging die in het volgende hoofdstuk aan de orde komen.

Tabel 3.2 Optimale draindiepte (cm - mv.) voor gedraineerd bouwland en grasland, volgens de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988)

Bovengrond*	Ondergrond	Draindiepte** (cm - mv.)	
		bouwland	grasland
Moerig	Moerig (veen)	95	75
	Leemarm zand	85	75
	Zwak lemig zand	90	75
	Sterk lemig zand	100	80
Zand	Moerig	95	75
	Leemarm zand	85	75
	Zwak lemig zand	90	75
	Sterk lemig zand	100	80
Lichte zavel	Lichte zavel	120	80
	Zware zavel	115	80
	Klei	110	80
Zware zavel	Lichte zavel	110	80
	Zware zavel	105	80
	Klei	105	80
Klei	Lichte zavel	110	80
	Zware zavel	115	80
	Klei	120	80

\* Bovengrond betreft de eerste 35 cm vanaf maaiveld

\*\* Bij horizontale ligging van de drains

*in de handstand dan???*

### 3.4 Optimale draindiepte

In de periode ná het COLN-onderzoek is meer bekend geworden over de relatie tussen de waterhuishouding en de landbouwkundige productie (Van Hoorn, 1958; Wind, 1963; Feddes, 1971; Sieben, 1974; Schothorst, 1982). Voor akkerbouwgewassen (aardappelen en zomergranen) is deze kennis geïntegreerd in een modelinstrumentarium (Van Wijk et al., 1988). Met het instrumentarium wordt de waterhuishouding gesimuleerd en vertaald naar opbrengsten en opbrengsreducties. Daarbij wordt niet alleen de vochtvoorziening van het gewas in rekening gebracht maar óók de bewerkbaarheid en vroegheid in het voorjaar en de oogstbaarheid in het najaar. Een sterk pluspunt hierbij is verder dat de variatie in neerslag en verdamping gedurende het groeiseizoen volledig wordt meegenomen.

Met het instrumentarium zijn acht verschillende bodemprofielen doorgerekend, met voor elk profiel vijf draindieptes en per draindiepte drie verschillende drainafstanden (per bodemprofiel dus 15 combinaties van draindiepte en afstand). Berekeningen voor aardappelen, uitgevoerd voor de situatie met de hoogste drainage-intensiteit, laten zien dat de optimale draindiepte voor de acht profielen aanzienlijk uiteen loopt:

- profielnr. 1 (niet-verbeterde veenkoloniale grond, opgebouwd uit 20 cm veenkoloniaal dek op 20 cm spalterveen op zand) heeft een optimale draindiepte van 80 à 90 cm;
- profielnr. 5 (60 cm kalkrijke matig lichte zavel op kalkrijke zeer lichte zavel) heeft een optimale draindiepte van 130 à 140 cm.

*hoe is deze eruit?*

Voor vijf van de overige zes profielen liggen de optimale draindieptes tussen 90 en 120 cm, en komen daarmee redelijk goed overeen met de optimale draindieptes voor bouwland volgens tabel 3.2. Het zesde profiel is een kalkrijke matig zware klei. Zelfs bij een draindiepte van 180 cm is het optimum nog niet bereikt. In feite is dit profiel ongeschikt voor het telen van aardappelen.

### 3.5 Samenvatting

De ontwateringssituatie kan worden gekarakteriseerd door de relatie tussen de opbolling (of het complement daarvan: de ontwateringsdiepte) en de drainageflux. Met op theorie gebaseerde formules is de opbolling te berekenen en kan worden aangetoond dat deze afhankelijk is van de doorlatendheid van de grond en de afstand tussen en afmetingen van de ontwateringsmiddelen (sloten, drains).

De grondwaterstand wordt behalve door de opbolling óók bepaald door het niveau van de ontwateringsbasis. Voor peilbeheerste gebieden kan hiervoor bij niet-gedraineerde percelen de open-waterstand worden gelezen en voor gedraineerde percelen de diepteligging van de drains. Voor niet-peilbeheerste gebieden ligt de ontwateringsbasis bij benadering op het niveau van bodem van de waterlopen. Hiermee is verband gelegd tussen de ontwateringsbasis en open-waterstanden (en dus ook met het peilbeheer en de hydraulische eigenschappen van het afwateringsstelsel).

## 4 Drooglegging in relatie tot de afwatering

### 4.1 Inleiding

De begrippen *drooglegging* en *afwatering* zijn als volgt gedefiniëerd (Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, 1986):

- *drooglegging*: het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop en het grondoppervlak;
- *afwatering*: de afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied.

Uit deze definitie volgt dat de drooglegging in een gegeven gebied afhankelijk is van de open-waterstand, waarbij de open-waterstand weer afhangt van de afvoersituatie. Voor de gewenste drooglegging worden daarom normen gehanteerd die gekoppeld zijn aan de volgende duidelijk omschreven afvoersituaties:

- maatgevende afvoer: de dagafvoer die gemiddeld één keer per jaar wordt bereikt of overschreden ( $Q_m$ );
- halve maatgevende afvoer: de dagafvoer die gemiddeld 15 keer per jaar wordt bereikt of overschreden ( $Q_m/2$ );
- maximale afvoer: de dagafvoer die gemiddeld één keer per 100 jaar wordt bereikt of overschreden ( $2 \cdot Q_m$ ).

In de praktijk wordt het begrip drooglegging ook vaak gebruikt om het hoogteverschil tussen het grondoppervlak en de open-waterstand onder *niet*-maatgevende omstandigheden aan te geven.

### 4.2 Conventionele droogleggingsnormen

Droogleggingsnormen spelen een centrale rol bij het ontwerpen van stelsels van waterlopen. In afvoersituaties worden de volgende droogleggingsnormen onderscheiden:

- hoogwater-normpeil (HW-normpeil, HW-lijn): het peil geldend bij de maatgevende afvoer  $Q_m$ ;
- normaalwater-normpeil (NW-normpeil, NW-lijn): het peil geldend bij de halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$ ;
- maximaalwater-normpeil (MW-normpeil, MW-lijn): het peil geldend bij de maximale afvoer  $2 \cdot Q_m$ .

Bij het ontwerpen worden afmetingen van waterlopen in eerste instantie gebaseerd op de halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$ , dus op een situatie die gemiddeld 15 keer per jaar voorkomt. Als norm voor de drooglegging geldt daarbij voor *gedraineerde* gronden dat het waterpeil, in dit geval het NW-normpeil, 10 cm *onder* de uitmonding van de drains blijft. De droogleggingsnormen voor de desbetreffende situaties zijn daarmee direct uit tabel 3.2 af te leiden door bij de optimale draindiepte 10 cm op te tellen. De marge van 10 cm heeft te maken met het verhang in de kavelsloten

|| ?  
hoe zit dat nu



waarop de drains uitmonden. Tabel 3.2 is gebaseerd op *horizontale* ligging van de drains. In de praktijk moet rekening gehouden worden met een afschot van ca. 5 cm per 100 m. Daarom is vanuit landbouwkundig oogpunt een iets grotere drooglegging gewenst zodat de drains kunnen uitmonden op een niveau dat ca. 10 cm beneden de optimale draindiepte volgens tabel 3.2 ligt. Voor de droogleggingnorm betekent dit dat bij de getallen in tabel 3.2 niet 10 cm maar 20 cm moet worden opgeteld.

In de ontwerppraktijk is de interpretatie zó dat de *berekende* drooglegging bij halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$  de droogleggingsnorm over hooguit 5 à 10% van de afwaterende oppervlakte mag *onderschrijden* en/of over 10 à 15% van de oppervlakte mag *overschrijden*. In tweede instantie wordt het berekende waterlopenstelsel belast met de maatgevende afvoer  $Q_m$  (voor poldergebieden) of met de maximale afvoer  $2 \cdot Q_m$  (voor hellende gebieden) om na te gaan of het HW-normpeil resp. het MW-normpeil wordt overschreden (aan het MW-normpeil wordt veelal de eis gesteld van 'kantje-boord'). Als peiloverschrijding plaatsvindt wordt het ontwerp aangepast.

Voor niet-gedraineerde gebieden spelen vooral ontwerptechnische criteria voor het afwateringsstelsel een rol (zie hoofdstuk 5). Of dit ook vanuit landbouwkundig oogpunt optimaal is op basis van de literatuur niet aan te geven. Op dit aspect wordt in par. 4.3 nader ingegaan.

Overigens heeft het ontwerpen van afvoerstelsels volgens bovenstaande droogleggingsnormen vooral betekenis voor hellende gebieden. In vlakke (polder)gebieden zijn de waterlopen met het oog op waterberging veelal ruimer gedimensioneerd, waardoor het verschil tussen het NW-normpeil en het HW-normpeil kleiner is. Het verschil tussen het HW-normpeil en het MW-lijn kan daarentegen juist groter worden omdat de afvoer meestal begrensd is, bijvoorbeeld door de gemaalcapaciteit of door de dimensies en regeling van afwateringsstuwen.

### 4.3 Droogleggingsnormen volgens nieuwe inzichten

Er is een ontwikkeling gaande om bij het ontwerpen van waterlopenstelsels in hellende gebieden *niet* uit te gaan van droogleggingsnormen gebaseerd op de halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$ , maar om óók en vooral rekening te houden met situaties met een lagere afvoer. Daarvoor zijn twee motieven aan te voeren:

- situaties met een afvoer  $Q_m/2$  komen vooral voor in de winterperiode, dat wil zeggen, in een periode *zonder* landbouwkundige activiteiten;
- afvoerpieken hebben in hellende gebieden veelal een korte duur, in de orde van enkele uren; grondwaterstanden reageren trager zodat het effect van een periode met hoge waterstanden op de grondwaterstand beperkt is en daardoor landbouwkundig gezien minder relevant.

In de 'moderne' aanpak (die wordt toegepast door bijvoorbeeld Waterschap Regge en Dinkel) wordt daarom *niet* uitgegaan van  $Q_m/2$  maar van  $Q_m/4$ . Dat leidt tot een droogleggingsnorm waarbij een afvoer in de orde van enkele  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$  plaatsvindt. Een dergelijke afvoer wordt veelvuldig bereikt of overschreden (ca. 20% van de tijd, dus op ca. 70 dagen per jaar (Blaauw, 1962; Van Walsum en Veldhuizen, 1996).

Aangezien die situaties zich vooral in het winterperiode voordoen komt het er op neer dat de droogleggingsnorm op basis van  $Q_m/4$  in het winterhalfjaar ongeveer de helft van de tijd worden bereikt of overschreden.

Een andere aanpassing bij Waterschap Regge en Dinkel is het beperken van de diepte van waterlopen in niet-peilbeheerste gebieden tot maximaal 100 cm om verdrogings-effecten in perioden zonder afvoer te verminderen (in peilbeheerste gebieden met wateraanvoer is dit laatste argument niet van belang, tenzij beperking van aanvoer van gebiedsvreemd water wordt nagestreefd).

In peilbeheerste gebieden wordt vaak gewerkt met zomer- en winterpeilen. Als er bijvoorbeeld naar gestreefd wordt het dalen van de grondwaterstand in de zomerperiode te beperken worden peilen in die periode opgezet. Ook kan dit streven leiden tot een andere grondslag voor het dimensioneren van waterlopen. Een voorbeeld hiervan is het zogenoemde twee-fasen-profiel volgens figuur 4.1, ook wel accoladeprofiel genoemd. Kenmerkend voor dit profiel is dat het verschil in drooglegging in situaties met een afvoer  $Q_m/4$  resp.  $2 \cdot Q_m$  minder groot is dan bij het normale (trapeziumvormige) profiel.

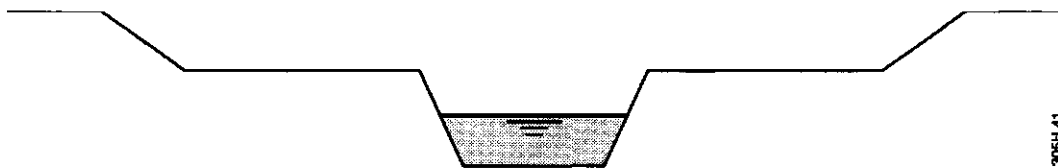


Fig. 4.1 Dwarsdoorsnede van een waterloop met accoladeprofiel

Omdat de droogleggingsnorm in gedraineerde gebieden direct gekoppeld is aan de draindiepte moet het 'moderniseren' van droogleggingsnormen altijd gebeuren in samenhang met het aanpassen van de diepte van drainage (van de drainagebasis). De optimale draindieptes volgens tabel 3.2 zijn opgesteld in een periode dat vooral gelet werd op landbouwkundige criteria. In het kader van de brede kijk, of zo men wil 'sectoraal met verstand', krijgen ook andere aspecten aandacht, zoals de wens om het dalen van de grondwaterstand in de zomerperiode te beperken. De projectgroep WATERNOOD (WATERsysteemgericht NORmeren, Ontwerpen en Dimensio-neren) doet in dit verband de aanbeveling minder diep maar intensiever te draineren (Projectgroep WATERNOOD, 1998). Daarbij wordt gedacht aan een vermindering van de draindiepte volgens tabel 3.2 met 10 à 20 cm. Bijgevolg kan dan óók de droogleggingsnorm versoepeld worden, bij handhaving van de eis dat de drains bij een afvoer  $Q_m/2$  vrij moeten kunnen uitstromen.

Het vervallen van laatstgenoemde eis (dus drains vaker onder water) geeft in gedraineerde gebieden nieuwe perspectieven om over de gewenste drooglegging na te denken. Zo is in Zeeland onlangs een verkennende studie uitgevoerd naar de effecten van het onder water zetten van drains met het oog op verdrogingsbestrijding (Provincie Zeeland: 'Drainage onder water'; concept-rapportage). Hoewel meer onderzoek vereist is is op basis van de voorlopige bevindingen geconcludeerd dat:

- de drains in de winter bij normale afvoersituaties boven water moeten liggen;
- het permanent onder water zetten van de drains vanwege het verhoogde risico's

- van een minder goede drainagewerking vermeden moet worden;
- de drains in de zomerperiode in principe 10 à 20 cm onder water mogen liggen, tenzij het gaat om gronden die ter hoogte van de drains ongerijpt of slecht gestructureerd zijn (dit in verband met verhoogd risico op het verminderd functioneren);
- het meer dan 25 cm onder water zetten van drains resulteert in een versnelde afschrijving en dus in aanzienlijke schade.

Gezien het voorlopige karakter van deze conclusies is speculatie over de betekenis ervan voor het kleibouwlandgebied in Fryslân prematuur.

#### 4.4 Droogleggingsnormen voor diepe veenweidegebieden

Droogleggingsnormen voor de diepe veenweidegebieden verdienen speciale aandacht. Het gaat om vlakke, peilbeheerste poldergebieden met een naar verhouding hoog percentage open water. In de discussies over droogleggingsnormen voor veenweidegebieden gaat het *niet* om perioden met een maatgevende afvoer of een daarvan afgeleide afvoer maar juist om situaties *zonder* afvoer van betekenis, dat wil zeggen, om de situatie bij een *vlakke* open-waterspiegel. Het begrip drooglegging wordt hier dus anders geïnterpreteerd dan in par. 4.1 aangegeven.

De volgende informatie is in hoofdzaak ontleend aan verschillende notities met betrekking tot droogleggingsnormen in diepe veenweidegebieden. Volgens een eerste notitie terzake van het secretariaat van de Centrale Landinrichtingscommissie (Centrale Landinrichtingscommissie, 1991) zou duurzaam landbouwkundig gebruik in beginsel mogelijk zijn *zonder* peilverlaging verdergaand dan de autonome maaiveldsdaling door krimp, klink en oxidatie. Het zou daarbij gaan om situaties met Gt II, overeenkomend met een drooglegging van 30 tot 50 cm. De agrarische vertegenwoordigers in CLC gaven te kennen dat duurzaam agrarisch gebruik alléén gewaarborgd zou zijn bij Gt II\*, overeenkomend met een drooglegging van 50 tot 70 cm (zie tabel 2.1 voor een interpretatie van Gt II resp. II\* in termen van GLG's en GHG's). In de notitie wordt ingegaan op de effecten van een vergroting van de drooglegging van de landbouwkundig gezien veelal matig tot slecht ontwaterde diepe veenweidegronden. Enerzijds wordt ingegaan op de landbouwkundige betekenis van het vergroten van de drooglegging tot het bereiken van een situatie met Gt II\*. Daarbij krijgen de bedrijfseconomische effecten, de ontwikkeling van bedrijfsgroottestructuur en de leef- en werkomstandigheden aandacht. Anderzijds wordt ingegaan op de gevolgen voor het milieu en de natuur, waarbij de effecten op de graslandvegetaties, de sloot- en oevervegetaties en de weidevogelpopulaties worden gezien. In een langjarig onderzoek is vastgesteld dat de daling van het maaiveld bij een drooglegging van 70 cm uitkomt op ca. 1,5 cm per jaar tegenover een daling van slechts ca. 0,5 cm bij een drooglegging van 35 cm (Van den Akker en Beuving, 1997).

Rekening houdend met de overwegingen met betrekking tot de landbouw, het milieu en de natuur is uiteindelijk voor wat peilverlagingen (normen voor drooglegging) betreft het volgende beleid geformuleerd:

- geen subsidiëring van peilverlaging die leidt tot diepe ontwatering in veenweidegebieden;

- in blijvende landbouwgebieden subsidiëring van aanpassing van grondwaterstanden tot Gt II\*, vertaald in een drooglegging van 60 cm, behoudens indien reële belangen met betrekking tot bestaande of toekomstige natuurwaarden in de directe omgeving in het geding zijn.

Naar aanleiding van het standpunt van de CLC ontstaat discussie over de interpretatie. Eén van de problemen is dat een drooglegging van 60 cm enerzijds en een Gt II\* anderzijds niet direct aan elkaar gekoppeld zijn. In de praktijk blijkt een Gt II\* voor te komen bij een drooglegging van 50 tot 70 cm, afhankelijk van de profielopbouw, de bodemfysische eigenschappen en de dichtheid van het slotenstelsel. In concrete situaties blijft de vraag actueel of de droogleggingsnorm van 60 cm enige vrijheid van interpretatie toelaat in de zin dat het uiteindelijk gaat om het bereiken van een situatie met Gt II\*.

Een ander punt van discussie als het gaat om de drooglegging van 60 cm houdt verband met verschillen in maaiveldhoogte. Gaat het daarbij om de *gemiddelde* drooglegging (dat wil zeggen: 50% van de oppervlakte van het desbetreffende peilgebied heeft een drooglegging >60 cm en de andere 50% <60 cm) of om een situatie waarbij bijvoorbeeld 75% van de oppervlakte een drooglegging >60 cm en de resterende 25% <60 cm heeft? De meest extreme interpretatie naar de 'natte' kant zou zijn dat een drooglegging *tot* 60 cm wordt bedoeld. In dat geval zou alléén ter plaatse van het hoogst gelegen punt binnen het desbetreffende peilgebied aan de drooglegging van 60 cm worden voldaan. De meest extreme interpretatie naar de 'droge' kant zou zijn dat overal, dus ook ter plaatse van het laagst gelegen punt, aan de drooglegging van 60 cm wordt voldaan.

Volgens de desbetreffende HELP-tabel is de natschade op veengronden bij een drooglegging die resulteert in een situatie met Gt II 25 à 30%. Bij een vergroting van de drooglegging, resulterend in een situatie met Gt II\*, neemt de natschade af en ligt dan op een niveau van 10 à 15%. Er zou dan nog nagenoeg geen droogteschade zijn. Landbouwkundig gezien zou een drooglegging die leidt tot een situatie met Gt IV optimaal zijn: de natschade volgens de HELP-tabel blijft dan beperkt tot 1 à 2%. Om rendabel te boeren bij Gt II\* worden oplossingen gezocht in een differentiatie van de drooglegging binnen één bedrijf en/of in een aangepaste bedrijfsvoering (Bleumink en Buys, 1996).

#### 4.5 Samenvatting

De drooglegging wordt bepaald door de open-waterstand, die op zijn beurt afhangt van de afvoersituatie. Daarom zijn normen voor de drooglegging altijd gekoppeld aan een bepaalde afvoersituatie. Het is voor hellende gebieden gebruikelijk daarbij uit te gaan van een afvoer die gemiddeld 15 keer per jaar wordt bereikt of overschreden. De daarbij optredende open-waterstand (het NW-normpeil en de NW-lijn) zijn dus geldig voor perioden met relatief hoge afvoeren. Er is nú een ontwikkeling gaande waarbij wordt uitgegaan van situaties met een lagere en dus vaker voorkomende afvoer. Dat zou tot minder zware droogleggingsnormen kunnen leiden.

In gebieden met buisdrainage wordt de drooglegging afgestemd op de optimale diepte van de drains. Het verminderen van de drooglegging leidt dan al gauw tot het onder water komen van de drains. Vooral nog wordt dat vrij algemeen als ongewenst beschouwd. Het tijdelijk onder water komen van de drains, bijvoorbeeld in de zomerperiode, is wel in discussie maar vereist nader onderzoek.

Diepe veenweidegebieden vormen een apart probleem omdat een afweging moet worden gemaakt tussen de korte termijn (vergroting van de drooglegging via peilverlaging leidt tot vermindering van de natschade) en de lange termijn (peilverlaging leidt tot versnelde maaiveldsdaling).

## 5 Afwatering en wateraanvoer

### 5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk betreft de afwatering en de wateraanvoer (Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, 1986):

- *afwatering*: de afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied;
- *wateraanvoer*: de toevoer van water naar een gebied op niet-natuurlijke manier, via het oppervlaktewatersysteem (Van Bakel, 1993);
- *afvoerintensiteit* (=specifieke afvoer): afvoer per oppervlakte-eenheid van het beschouwde gebied die wordt gebruikt voor het ontwerp van leidingen en bijbehorende kunstwerken.

Zowel de afwatering als de wateraanvoer loopt via het oppervlaktewatersysteem. Het oppervlaktewatersysteem heeft zowel een bergings- als een transportfunctie. Als de transportfunctie overheerst spreekt men van een afwateringsstelsel. Het ontwateringsstelsel en het afwateringsstelsel staan in de regel in open verbinding met elkaar. Daardoor is de *afwatering* van invloed op de *ontwatering* en dus uiteindelijk óók op de waterhuishoudkundige situatie van de wortelzone. Het is daarom noodzakelijk aandacht aan de afwatering te besteden.

### 5.2 Afvoernormen

Bij het ontwerpen van afwateringsstelsels wordt onderscheid gemaakt tussen hellende gebieden en vlakke (peilbeheerste) gebieden. In hellende gebieden worden waterlopen en kunstwerken gedimensioneerd op basis van hydraulische berekeningen, waarbij naast NW-, HW- en MW-lijnen en normpeilen (zie hoofdstuk 4) ook stroomsnelheden worden berekend en vergeleken met de normen en criteria die daarop van toepassing zijn. Bij het ontwerpen van afvoerstelsels worden berekeningen uitgevoerd voor de situaties bij de halve maatgevende afvoer ( $Q_m/2$ ), bij de maatgevende afvoer ( $Q_m$ ) en bij de maximale afvoer ( $2 \cdot Q_m$ ). De maatgevende afvoer  $Q_m$  wordt afgeleid uit gegevens over afvoerintensiteiten en de oppervlakten die bijdragen tot de afvoer. In de richtlijnen voor de grootte van de afvoerintensiteit voor het landelijk gebied wordt rekening gehouden met de bodemgesteldheid en de grondwatertrap (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988). Om de gedachten te bepalen: de afvoerintensiteit volgens die richtlijnen loopt voor de hogere zandgronden uiteen van  $1,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  bij Gt IV tot  $0,33 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  bij Gt VII. Daarmee worden verschillen in berging in rekening gebracht.

In peilbeheerste gebieden wordt bovenstaande werkwijze anders toegepast. In dit type gebieden is de bergingscoëfficiënt beperkt. Genoemde Werkgroep geeft een richtlijn van  $1,33$  à  $1,67 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $11,5$  à  $14,4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) voor drainagebehoefte gronden en gronden met Gt II en III. In Fryslân wordt uitgegaan van lagere afvoerintensiteiten:  $1,0$  à  $1,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  (9 tot  $12 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

Deze afvoerintensiteiten gelden voor het landbouwgebied. Voor kassen wordt vaak uitgegaan van een afvoerintensiteit van  $2,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $20 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ), voor stedelijk gebied met een gemengd rioolstelsel van  $2,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $19 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ) (pers. meded. T. Lambrechts van TauwMabeg civiel en bouw).

De maatgevende afvoer  $Q_m$  voor een gebied als geheel wordt berekend door vermenigvuldiging van de afvoerintensiteiten met de desbetreffende oppervlakten en sommatie. Voor zover het bemalen gebieden betreft wordt de gemaalcapaciteit op de aldus berekende maatgevende afvoer  $Q_m$  gebaseerd. Het gaat hier duidelijk om een stationaire benadering en een situatie die gemiddeld één keer per jaar voorkomt.

Het afwateringsstelsel in peilbeheerste gebieden is over het algemeen ruim gedimensioneerd zodat de opstuwing (en daarmee de verhoging van de open-waterstanden) bij afvoeren beneden de maatgevende afvoer gering is. De drooglegging bij halve maatgevende afvoer ( $Q_m/2$ , gemiddeld 15 keer per jaar voorkomend; zie par. 4.1) is daarom een goede maat voor het functioneren van het afwateringsstelsel voor zover het de landbouwkundige belangen betreft.

Wanneer de afvoer via de ontwateringsmiddelen, vermeerderd met de oppervlakteafvoer (de stroming van water over het maaiveld naar de sloten) en met de afvoer van verharde oppervlakken, de afvoercapaciteit overschrijdt, treedt een *extra* verhoging van de open-waterstand op. De mate waarin en de duur is afhankelijk van het verschil tussen het aanbod aan overtollig water, de afvoercapaciteit en de bergingsmogelijkheden in het oppervlaktewaterstelsel. Verhogingen van de open-waterstand zijn in peilbeheerste gebieden dus vooral een gevolg van de tijdelijk ontoereikende afvoercapaciteit en veel minder van opstuwing in de waterlopen.

De gevolgen van het oplopen van de open-waterstanden zijn per gebied en per bodemgebruiksvorm verschillend. Voor de landbouw is een verhoging van de waterstand buiten het groeiseizoen (veldperiode) veel minder schadelijk. Dat desondanks lagere winterpeilen worden ingesteld heeft te maken met de veel hogere afvoeren in de winter. Om dan toch een voldoende drooglegging voor een optimale ontwatering te handhaven is een lagere open-waterstand vereist.

In de zomer kunnen waterlopen gedeeltelijk dichtgroeien waardoor de stromingsweerstand toeneemt. In gebieden met wateraanvoer kunnen daarom hogere zomerpeilen gewenst of zelfs noodzakelijk zijn. Ook berekening vanuit het oppervlaktewater kan hogere zomerpeilen vereisen, vanwege de eis van een waterdiepte van tenminste 40 cm.

### 5.3 Wateraanvoer

Aanvoer van water kan om verschillende redenen plaatsvinden:

- om ongewenste daling van de open-waterstanden in de zomer te voorkomen (ongewenst met het oog op de aantasting funderingen of in verband met veedrenking);

- voor berekening vanuit het oppervlaktewater;
- ter compensatie van infiltratie vanuit de watergangen, van wegzijging en van verliezen door open-watervedamping;
- voor doorspoeling met het oog op de oppervlaktewaterkwaliteit (ter bevordering van de zuurstofhuishouding, ter bestrijding van de eutrofie, ter bestrijding van de interne verzilting in gebieden met zoute kwel).

In het algemeen wordt bij wateraanvoer gebruik gemaakt van het afwateringsstelsel dat is gedimensioneerd op veel hogere winterafvoeren. In poldergebieden is er dan ook nauwelijks opstuwning tijdens perioden met wateraanvoer, behalve wanneer de groei van waterplanten ongecontroleerd voortgang vindt. In hellende gebieden geeft de begroeiing van watergangen over het algemeen meer problemen.

De wateraanvoer heeft dus meestal geen invloed op de dimensionering van watergangen, stuwen, duikers enz. Wateraanvoer kan wel indirect van invloed zijn op het optimale peil. Immers, bij wateraanvoer kan de droogteschade afnemen door toepassing van berekening of via het proces van infiltratie en capillaire opstijging vanuit het grondwater. Daardoor verschuift het voor de landbouw optimale niveau van de ontwateringsbasis naar beneden. Dat betekent een verschuiving van de opbrengst-ontwateringsdieptecurve (eigenlijk: opbrengst-ontwateringsbasiscurve) volgens fig. 2.2 naar rechts. Met het verschuiven van de ontwateringsbasis verschuift óók de drooglegging.

## 5.4 Samenvatting

De dimensionering van afwateringsstelsels in niet-peilbeheerste gebieden van Nederland is gekoppeld aan de tot de afvoer bijdragende typen van oppervlakten, de daarop van toepassing zijnde afvoerintensiteiten en aan de toelaatbare waterstanden. In bemalen gebieden is de bemalingscapaciteit belangrijk. In Fryslân wordt uitgegaan van een vereiste bemalingscapaciteit van 9 tot 12 mm·d<sup>-1</sup>, overeenkomend met een afvoerintensiteit van 1,0 tot 1,4 l·s<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>. Die intensiteit wordt bij benadering één keer per jaar bereikt of overschreden. Bij hogere afvoeren treedt een verhoging van de open-waterstand op, waardoor de afvoer via drainage onderdrukt wordt.

Wateraanvoer heeft geen *direct* effect op de vaststelling van het landbouwkundig gezien optimale open-waterpeil. Wel is er een *indirect* effect: bij wateraanvoer vermindert de droogteschade. De optimale diepte van de ontwateringsbasis ten opzichte van maaiveld neemt daardoor toe.



## 6 Ontwatering, drooglegging en afwatering (synthese)

### 6.1 Inleiding

In beschouwingen over de gewenste drooglegging voor de landbouw moet de gewenste ontwateringssituatie, of beter nog de gewenste grondwaterstandssituatie, centraal staan. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat tot nu toe vooral is gekeken naar de langjarig gemiddelde grondwaterstandssituatie in termen van grondwatertrappen. Daarmee zijn geen uitspraken te doen over de gewenste grondwaterstand op zeker moment, bijvoorbeeld in afhankelijkheid van neerslag en verdamping die van jaar tot jaar maar óók per periode binnen een gegeven jaar sterk kunnen verschillen. Algemeen geldt dat voor de landbouw wordt gestreefd naar enerzijds het voorkomen van wateroverlast en anderzijds van droogteschade. Dit kan worden nagestreefd door inrichtings- en beheersmaatregelen, die tot doel hebben de drooglegging zodanig aan te passen dat de gewenste situatie zo goed dicht mogelijk wordt benaderd. Daarvoor is kennis noodzakelijk over de mate waarin grondwaterstanden zijn te beïnvloeden via het oppervlaktewatersysteem. Anders gezegd: Hoe is de relatie tussen ontwatering en drooglegging, tussen drooglegging en afwatering en daarmee tussen ontwatering en afwatering? Aan deze aspecten wordt in dit hoofdstuk aandacht besteed.

### 6.2 Relatie tussen drooglegging en ontwatering

In hoofdstuk 3 is de relatie tussen het open-waterpeil en de grondwaterstand aan de orde geweest. Daarbij zijn drainageformules genoemd en ontwateringsnormen:  $7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  bij een ontwateringsdiepte van 0,3 m voor grasland en van 0,5 m voor bouwland. In de praktijk worden die drainageformules en normen vooral gebruikt om drainagestelsels te ontwerpen, waarbij met verschillende combinaties van draindiepte en drainafstand aan de desbetreffende ontwateringsnorm kan worden voldaan. Gegeven de droogleggingsnorm bij halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$  en de eis dat de drains in die situatie tenminste 0,1 m boven het open-waterpeil moeten uitmonden ligt de *draindiepte* vast. Via de drainageformules wordt dan de vereiste *drainafstand* berekend om aan de desbetreffende ontwateringsnorm te voldoen.

Bij niet-gedraineerde percelen doet zich het probleem voor dat drainagewaterstanden vaak niet goed bekend en bovendien afhankelijk van de grondwaterstand zelf zijn. Uit diverse onderzoeken zijn voor situaties met verschillende grondwatertrappen en kwelintensiteiten ontwateringskarakteristieken afgeleid, dat wil zeggen relaties tussen de grondwaterstand en het drainagedebiet (Peerboom, 1990). Daarmee is de invloed van open-waterstanden (drooglegging) op grondwaterstanden globaal in te schatten, zodat kan worden nagegaan of al dan niet aan ontwateringsnormen wordt voldaan.

In niet-peilbeheerste (hellende) gebieden (par. 3.1) is het voorkomen van drainage eerder uitzondering dan regel. Veelal heeft het aanleggen van drainage te maken met de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen in het profiel. Een bekende situatie

is de aanwezigheid van keileem in de ondergrond. De diepteligging van de drains wordt dan bepaald door de positie van die slecht doorlatende laag.

In het kader van het project WATERNOOD (Projectgroep WATERNOOD, 1998) is de huidige praktijk kritisch geëvalueerd. Dat heeft geleid tot het voorstel om voortaan het grondwater als leidraad te nemen voor het peilbeheer (open-waterstandsbeheer). Indien de gewenste grondwaterstandssituatie is vastgesteld en vergeleken met de huidige grondwaterstandssituatie, dan is via (model)berekeningen dan wel via het toepassen van vuistregels vast te stellen of en in welke mate peilaanpassing nodig is om die gewenste situatie te bereiken. Naast het voordeel van hun eenvoud en praktijkachtergrond hebben vuistregels als nadeel dat ze weinig nuancering toelaten en bovendien aan veroudering onderhevig zijn.

### 6.3 Relatie tussen drooglegging en inrichting en beheer

In hoofdstuk 5 is betoogd dat de ontwerppraktijk voor waterafvoerstelsels sterk is gericht op maatgevende situaties. Daarbij is vooral geredeneerd vanuit *civieltechnisch* oogpunt. Daarom wordt in par. 6.3.1 aandacht geschonken aan het *agrohydrologisch* aspect bij maatgevende situaties. Voor niet-maatgevende situaties hoeft de afwatering niet zozeer gericht te zijn op het afvoeren (lozen) van water maar meer op 'droogleggingsbeheer'. Gegeven de wensen van de landbouw betekent dit meestal peilbeheer gericht op drainage in de winter, waterconservering in het voorjaar en eventueel wateraanvoer in de zomer. Gegeven het verloop van het neerslagoverschot kan dit leiden tot een beheer gericht op het realiseren van een verloop van de open-waterstand in afhankelijkheid van de *actuele* hydrologische situatie. Dit is aan te duiden als *dynamisch* of *grondwaterstandsafhankelijk* peilbeheer. In par. 6.3.2 wordt er nader op ingegaan.

#### 6.3.1 Drooglegging bij maatgevende afvoersituaties

In relatie tot de drooglegging is de centrale vraag welke peilstijgingen toelaatbaar zijn in bepaalde maatgevende situaties. Als geen civieltechnische aspecten (zoals het handhaven van voldoende drooglegging van gebouwen of het voorkomen van ongewenste inundaties) maar alléén landbouwkundige aspecten van belang zijn mag worden uitgegaan van situaties met korte herhalingstijden, dat wil zeggen, van situaties die naar verhouding vaak voorkomen. Er zijn dan immers geen veiligheidsaspecten in het geding. In de volgende redenering is uitgegaan van een situatie met een herhalingstijd van één jaar, dat wil zeggen, van een situatie met een maatgevende afvoer  $Q_m$  (zie par. 4.1).

In par. 5.2 is aangegeven dat in Fryslân bij het ontwerpen van afvoerstelsels voor het landelijk gebied wordt uitgegaan van een maatgevende afvoer  $Q_m$  van 9 tot 12 mm·d<sup>-1</sup>. Hier wordt een en ander uitgewerkt voor een afvoerintensiteit van 10 mm·d<sup>-1</sup>. De halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$  is dan 5 mm·d<sup>-1</sup>. Een goed ontwaterde grond heeft een drainageweerstand van ca. 100 d. Bij een ontwateringsbasis (draindiepte) van 1,0 m - mv. en een drainageweerstand van 100 d is het drainebiet

dan  $5 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  bij een opbolling van 0,5 m. De ontwateringsdiepte is dan eveneens 0,5 m. Aannemende dat de drainageweerstand *onafhankelijk* is van de opbolling, volgt dan dat een drainebiet overeenkomend met de hier aangenomen maatgevende afvoer  $Q_m$  van  $10 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  optreedt bij een opbolling van 1,0 m, dat wil zeggen in een situatie waarin de grondwaterstand juist tot aan maaiveld is gestegen.

Dit houdt in dat de grondwaterstand gemiddeld eenmaal per jaar tot in het maaiveld stijgt, *zonder dat de open-waterstand daarbij duidelijk oploopt*. Hoewel op deze beschouwing wel wat is af te dingen wordt de conclusie bevestigd door de resultaten van niet-stationaire berekeningen van Van Wijk et al. (1988) waarbij voor een periode van 30 jaar grondwaterstanden zijn berekend en uitgezet als duurlijn. Blijkens fig. 6.1 stijgt óók bij goed gedraineerde gronden ( $A=3$ ) de grondwaterstand tenminste eenmaal per jaar tot in het maaiveld. Derhalve zullen grondwaterstanden in afvoersituaties met een herhalingstijd langer dan één jaar óók tot in het maaiveld stijgen. In die situaties heeft de open-waterstand geen invloed meer op de grondwaterstand. Dit betekent voor peilbeheerste gebieden het volgende: indien de bemalingscapaciteit gelijk is aan de maatgevende afvoer  $Q_m$ , dan treden er geen noemenswaardige verhogingen van de open-waterstanden op bij afvoeren gelijk aan of kleiner dan die maatgevende afvoer. In situaties die leiden tot afvoeren hoger dan de maatgevende afvoer treedt er wèl een verhoging van de open-waterstand op. Echter in die situaties is de grondwaterstand al tot in het maaiveld gestegen (verdere stijging is dan niet mogelijk, wèl plasvorming en oppervlakte-afvoer). Uit landbouwkundig oogpunt is het afwateringsstelsel derhalve bij een bemalingscapaciteit van  $10 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  of hoger geen belangrijke factor om rekening mee te houden bij vaststelling van de optimale drooglegging. Anders gezegd: als open-waterstanden in afvoersituaties met herhalings tijden van één jaar of langer oplopen is dat landbouwkundig gezien aanvaardbaar omdat grondwaterstanden dan toch al tot in het maaiveld zijn gestegen.

Hierbij moet benadrukt worden dat bovenstaande redenering is uitgewerkt voor een peilbeheerst gebied met goed gedraineerde gronden, met een drainagebasis op 1,0 m - mv. Er is bovendien een mechanisme dat de redenering deels kan ontcrachten in situaties waar peilverhoging aan de orde is. Het open-waterpeil heeft invloed op de grondwaterstand. Bij hogere peilen horen gemiddeld genomen hogere grondwaterstanden waardoor minder water tijdelijk in het bodemprofiel kan worden geboren in regenrijke perioden. Dat resulteert in een sneller reageren op de neerslag, zeker als peilverhoging samengaat met intensievere drainage. Dit kan betekenen dat de maatgevende afvoer toeneemt en de gemaalcapaciteit gaat overschrijden. Het gevolg is dat open-waterstanden vaker en hoger zullen oplopen. Alleen via dynamische simulatieberekeningen is na te gaan hoe de verschillende mechanismen precies op elkaar ingrijpen en wat de uiteindelijke gevolgen zijn.

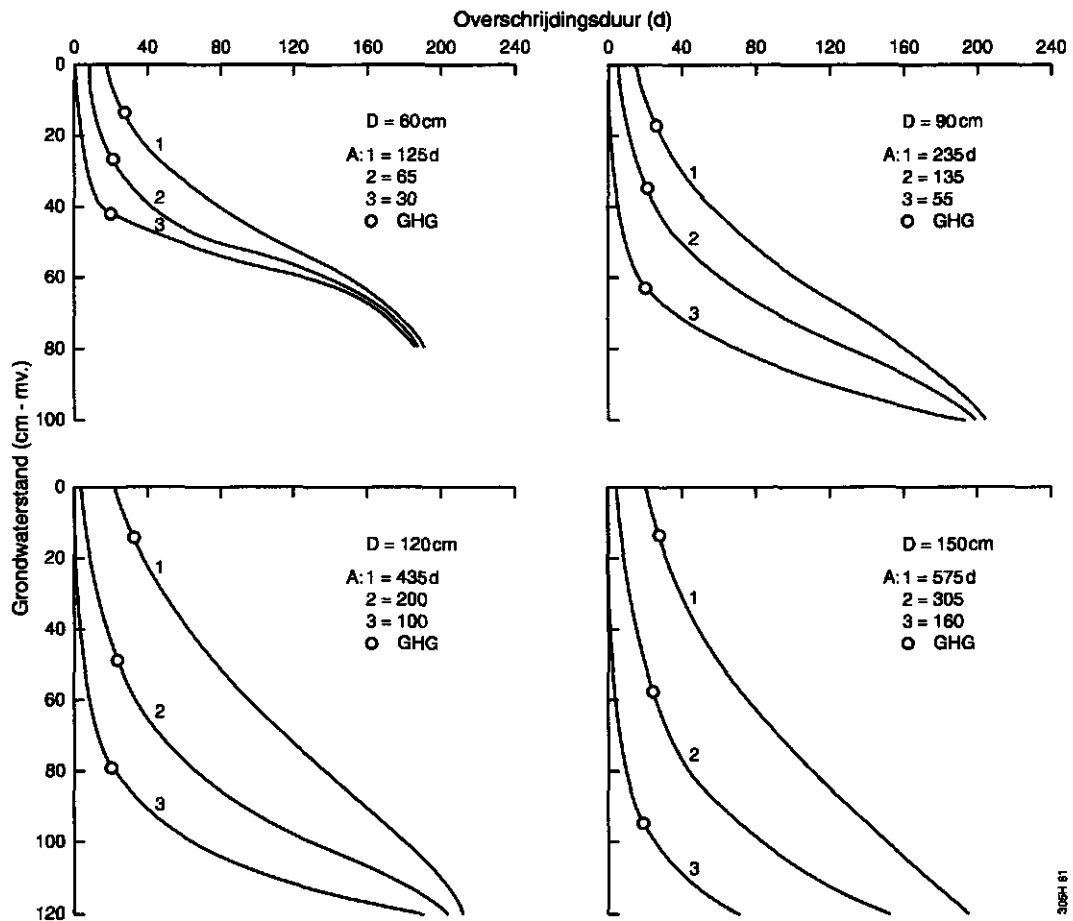


Fig. 6.1 Grondwaterstandsduurlijnen voor de periode oktober t/m mei, voor drie niveaus van de drainageweerstand (A) bij vier niveaus van de ontwateringsbasis (= drainagediepte D), volgens Van Wijk et al. (1988)

In hellende gebieden is de situatie anders. Volgens de huidige ontwerppraktijk is de toelaatbare stijging van de open-waterstand bij de maatgevende afvoer  $Q_m$  ca. 0,7 m en bij de halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$  ca. 0,25 m ten opzichte van de situatie zonder afvoer van betekenis. Deze stijgingen houden slechts korte tijd aan. Uit berekeningen in het kader van het Project WATERNOOD (Massop et al., 1997) blijkt de invloed van dergelijke stijgingen op de grondwaterstanden beperkt te zijn. Uit landbouwkundig oogpunt zijn stijgingen van de open-waterstanden als gevolg van hoge afvoeren dan ook van minder betekenis. Belangrijk is vooral de verhoging van de open-waterstand bij halve maatgevende afvoer en lager omdat die situaties regelmatig voorkomen. Zoals eerder aangegeven blijft de verhoging van de waterstand bij halve maatgevende afvoer  $Q_m/2$  beperkt tot ca. 0,25 m ten opzichte van de situatie zonder afvoer.

### 6.3.2 Dynamisch peilbeheer

Dynamisch peilbeheer houdt in dat de open-waterstand wordt aangepast aan de actuele situatie en dat rekening wordt gehouden met de tijd in het jaar. Het volgende is een kwalitatieve omschrijving van de gang van zaken.

In perioden met een neerslagoverschot (winterperiode) wordt het peil zo laag mogelijk gehouden. Zodra de afvoer in het voorjaar begint af te nemen kan, door het tijdig opzetten van peilen, een deel van het neerslagoverschot worden vastgehouden voor gebruik in het groeiseizoen. De 'timing' is daarbij belangrijk. Als hulpmiddel kan vanaf een bepaalde datum het verloop van de grondwaterstand op één of enkele representatieve plekken worden gevolgd. Zodra de grondwaterstand voldoende is gedaald wordt het peil opgezet, rekening houdend met de weersverwachting. Ook nadat het peil is opgezet wordt het verloop van de grondwaterstand gevolgd om zonodig en tijdig in te grijpen als grondwaterstanden in perioden met veel neerslag tot een onaanvaardbaar niveau dreigen te stijgen. Zodra dat het geval is wordt het peil (tijdelijk) verlaagd.

In het najaar neemt in de regel het neerslagoverschot toe en is er niet langer behoefte aan verhoogde peilen. Het peil wordt dan weer tot het laagst mogelijke niveau verlaagd. Een dergelijke vorm van dynamisch (grondwaterstandsafhankelijk) peilbeheer begint nu, zeker op de hogere zandgronden, ingang te vinden.

In het kleibouwlandgebied worden de effecten van een dergelijk beheer op het grondwaterstandsverloop en op de aanvullende vochtvoorziening klein geacht. Bovendien speelt in dat geval de problematiek van het onder water komen van de drains bij het opzetten van peilen. In veenweidegebieden is er in de regel geen verschil tussen zomer- en winterpeil. De reden is niet altijd duidelijk. Soms worden de stabiliteit van de oevers en de kans op schade door vertrapping genoemd als negatieve punten van hogere zomerpeilen. Voor zover drainage is aangelegd zijn ook hier de veronderstelde nadelen van drains onder water aan de orde. Bovendien zouden de effecten in termen van het conserveren van water en de vochtvoorziening van het gras van weinig betekenis zijn. Deze aspecten vragen wel om nader onderzoek.

### 6.4 Integratie van ontwatering en afwatering

De peilstijgingen die optreden in situaties met een afvoer die groter is dan de maatgevende afvoer  $Q_m$ , kunnen worden berekend als bekend is hoe de neerslag wordt getransformeerd in *afvoerbare* neerslag en als de fractie open water en de dimensies van waterlopen (breedte en taludhelling), alsmede de afvoercapaciteiten van de waterlopen of stuwen resp. capaciteiten van gemalen bekend zijn. Gegeven de toelaatbare peilstijging bij een bepaalde maatgevende neerslagreeks en gegeven de stuwaafvoer- of gemaalcapaciteit is de vereiste fractie open water te berekenen. Er zijn verschillende methoden ontwikkeld om de neerslag te transformeren tot *afvoerbare* neerslag. In het verleden werd vooral de zogenoemde duurlijnmethode toegepast. Door de introductie van rekentug behoren nu meer geavanceerde methoden tot de mogelijkheden, bijvoorbeeld de transformatie met behulp van de formules van

De Zeeuw-Hellinga en Kraijenhof-v.d. Leur. Deze formules zijn afgeleid voor grondwaterstroming en worden in aangepaste vorm óók toegepast om de afvoer van verharde oppervlakken te schatten. Integratie van de relevante processen heeft geleid tot modellen waarmee op gebiedsniveau gerekend kan worden.

Een belangrijke tekortkoming was en is in sommige modellen nog steeds dat geen rekening wordt gehouden met de onderdrukking van de afvoer door stijging van de open-waterstand. Daardoor wordt de afvoerbare neerslag in situaties, waarbij de open-waterstand in werkelijkheid begint op te lopen, te hoog berekend. Ook wordt vaak onvoldoende rekening gehouden met het verloop van de waterbergingscapaciteit in de onverzadigde zone als gevolg van neerslag en verdamping. Tenslotte moet worden opgemerkt dat de oppervlakte-afvoer als gevolg van verslemping of bevroering van de bovengrond niet wordt meegenomen, vanwege een tekort aan kennis en gegevens.

In gebieden met grote verschillen in afvoergedrag (bijvoorbeeld voor onverhard versus verhard oppervlak) is de huidige praktijk om niet-stationaire berekeningen per type oppervlak uit te voeren om zodoende rekening te kunnen houden met het niet samenvallen in de tijd van de piekafvoeren.

In par. 4.3 is aangegeven dat het landbouwkundig gezien verantwoord lijkt uit te gaan van een kwart van de maatgevende afvoer, dus van  $Q_m/4$  bij het bepalen van de drooglegging. De opstuwingshoogte bij een gegeven afvoer  $Q$  is volgens de formule van Manning bij benadering evenredig met  $Q^2$ . Dit houdt in dat de opstuwingshoogte bij een afvoer  $Q_m$  resp  $Q_m/4$  zich verhoudt als 1 : 16. De opstuwingshoogte bij een afvoer  $Q_m/4$  is dus slechts ca. 6% van de opstuwingshoogte bij maatgevende afvoer  $Q_m$ . Er kan daarom in peilbeheerste gebieden worden uitgegaan van een vlakke waterspiegel bij de vaststelling van de optimale drooglegging.

In niet-peilbeheerste gebieden mag deze benadering niet worden toegepast omdat de waterdiepte zó gering wordt dat zowel het doorstroomde oppervlak als de hydraulische straal sterk veranderen. Met berekeningen is aan te tonen dat de transportcapaciteit bij een effectieve waterdiepte van 10 à 20 cm veelal voldoende is om een afvoer  $Q_m/4$  te transporteren. In niet-peilbeheerste gebieden kan daarom worden uitgegaan van de effectieve bodemhoogte van de ontwateringsmiddelen, verhoogd met 10 à 20 cm. Gegeven de gewenste drooglegging is daarmee de diepte van de waterlopen te bepalen. De afmetingen in de dwarsrichting volgen uit de eisen voor de transportcapaciteit voor situaties waarin de afvoer groter is dan  $Q_m/4$  en zijn daarmee ondergeschikt geworden aan de drooglegging in situaties die niet overeenkomen met halve of hele maatgevende afvoeren.

## 6.5 Project WATERNOOD

In het kader van het project WATERNOOD (Projectgroep WATERNOOD, 1998) wordt de huidige praktijk van de waterhuishoudkundige inrichting en het beheer voor het landelijk gebied kritisch geëvalueerd. De voornaamste conclusies zijn:

- De huidige normen berusten op verouderde kennis. Gezien de technische en maatschappelijke ontwikkelingen (mestuitrijverbod, zwaardere machines,

- versterkte aandacht voor natuur- en milieuaspecten) behoeven de normen hernieuwde aandacht en wellicht aanpassing.
- Meer dan thans het geval is moet van het *grondwater* uitgegaan worden als leidraad voor ontwerp, inrichting en beheer. Daarbij moeten aspecten als hydrologische analyse, gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie een grote rol gaan spelen.
  - De gevolgen van over- en onderschrijdingen van normen moeten beter in beeld worden gebracht zodat het begrip 'aanvaardbaar risico' gerelateerd kan worden aan randvoorwaarden voor duurzame ontwikkeling en op die manier concrete betekenis krijgt.
  - Voor een uitwerking naar de praktijk ontbreekt het aan kennis, met name over de 'natschade op grasland' en over 'drains onder water'.
  - Voor het operationele beheer is een belangrijke aanbeveling: peilbeheer op maat, zowel naar tijd (bijvoorbeeld door koppeling aan de actuele hydrologische situatie) als naar plaats (kleinere peilvakken).

Het rapport bevat een bijlage om de gewenste grondwatersituatie voor landbouw en natuur aan te geven. Daarin wordt gesteld dat het nog niet mogelijk is de gewenste grondwatersituatie gedurende het groeiseizoen weer te geven. Wel worden boven- en ondergrenzen gegeven waarbinnen de gewenste grondwatersituatie zich bij voorkeur dient te bewegen. De bovengrens ligt in de orde van 30 à 50 cm voor grasland en 50 à 70 cm voor bouwland. Een onderbouwing van deze grenzen wordt niet gegeven maar lijkt gebaseerd op draagkracht- en bewerkbaarheidseisen. Ook wordt niet aangegeven hoe groot de schade is als de aangegeven bovengrenzen voor de grondwaterstand worden onderschreden. Daarmee is het ook niet mogelijk marges in drooglegging te verkrijgen. De bruikbaarheid van het rapport van de Projectgroep WATERNOOD (1998) voor de vraagstelling van de provincie Fryslân is derhalve vooralsnog gering.

## 6.6 Samenvatting

De ontwatering wordt beïnvloed door de drooglegging, terwijl de drooglegging wordt bepaald door het dynamisch evenwicht tussen de toevoer van water via de ontwateringsmiddelen en de afvoer via het lozingspunt. De drooglegging vormt daarmee de schakel tussen de processen van ontwatering en afwatering. De wijze waarop die schakel functioneert is verschillend voor peilbeheerste en niet-peilbeheerste gebieden.

Voor bemalen gebieden is de bemalingscapaciteit meestal beperkend, zodat de afwatering geen belemmering vormt voor de drooglegging. In niet-peilbeheerste gebieden moeten ontwatering en afwatering wèl tegelijk worden beschouwd. In afwateringsstelsels die zijn ontworpen volgens de klassieke normen is de invloed van de dynamiek van het peilverloop in afvoerperioden voor de landbouw van minder betekenis.

De stijging van open-waterstanden is in principe voor alle situaties te berekenen. Daarbij blijkt dat de opstuwung sterk afneemt bij afvoeren lager dan de maatgevende

afvoer  $Q_m$ . Zo kan in peilbeheerste gebieden de opstuwning bij het bepalen van de landbouwkundig optimale drooglegging worden verwaarloosd, uitgaande van situaties met een afvoer van  $Q_m/4$ . In niet-peilbeheerste gebieden blijft de open-waterstandsdiepte bij een afvoer van  $Q_m/4$  beperkt tot 10 à 20 cm.

In het project WATERNOOD (Projectgroep WATERNOOD, 1998) wordt gepleit voor het centraal stellen van de gewenste grondwaterstands. Dit betekent dat de ontwatering en afwatering in hun onderlinge samenhang moeten worden beschouwd, resulterend in peilbeheer 'op maat'. Een nadere uitwerking van deze benadering is noodzakelijk om te komen tot concrete en in de praktijk bruikbare handvatten voor het operationele peilbeheer.



## **7 Invloed van de drooglegging op de nat- en droogteschade op peilgebiedsniveau**

### **7.1 Inleiding**

Tot dusverre is het aspect ruimtelijke differentiatie bij het bespreken van de ontwatering en drooglegging niet expliciet aan bod gekomen. Toch speelt dat aspect een belangrijke rol als het gaat om de waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw op (peil)gebiedsniveau. De differentiatie binnen de grenzen van een gegeven gebied betreft niet alléén bijvoorbeeld de bodemkundige omstandigheden en het bodemgebruik maar ook de maaiveldshoogte. Verschillen in maaiveldshoogte leiden tot verschillen in drooglegging en zijn mede bepalend voor het opsplitsen van grotere gebieden in afzonderlijke peilgebieden. Daarmee worden de verschillen in drooglegging weliswaar beperkt maar blijven toch een factor waarmee rekening moet worden gehouden.

De aandacht blijft hier beperkt tot *peilbeheerste* (polder)gebieden. Het begrip *drooglegging* wordt gebruikt in engere zin, dat wil zeggen als de drooglegging in een situatie zonder waterafvoer van betekenis, waarbij de drooglegging gelijk is aan het verschil tussen maaiveldshoogte en de open-waterstand volgens peilbesluit. In geval van drainage geldt dat de drains 0,1 à 0,2 m boven water uitmonden, zodat de drainagebasis ten opzichte van maaiveld ligt op een diepte gelijk aan de drooglegging verminderd met 0,1 à 0,2 m.

Om de landbouwkundige gevolgen van verschillen in drooglegging binnen peilgebieden te kunnen evalueren moeten betrouwbare gegevens over de maaiveldshoogte op een voldoende aantal gelijkmatig over de oppervlakte van het gebied verdeeld liggende punten beschikbaar zijn. Uit die gegevens kan een cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging worden afgeleid. Die verdeling is uitgangspunt voor verdere berekeningen met betrekking tot de differentiatie in nat- en droogteschade binnen (peil)gebieden. De berekeningen kunnen betrekking hebben op de bestaande situatie maar ook op situaties, waarin peilverhogingen of verlagingen zijn doorgevoerd.

### **7.2 Benadering volgens de HELP-methode en de methode Van Wijk**

De HELP-methode (par. 2.2) biedt mogelijkheden om verschillen in drooglegging mee te nemen bij het kwantificeren van nat- en droogteschade voor zowel grasland als bouwland. Het gebruik van de HELP-tabellen vereist het specificeren van de GHG en GLG. Dit impliceert dat verschillen in drooglegging (samenhangend met verschillen in maaiveldshoogte) vertaald moeten kunnen worden in verschillen in GHG's en GLG's. Dat is en blijft een cruciaal maar tevens moeilijk punt bij het toepassen van de HELP-methode.

Voor bouwland met aardappelen en granen bieden naast de HELP-tabellen óók de resultaten van de modelberekeningen van Van Wijk et al. (1988) aanknopingspunten (zie ook par. 3.4). Voor elk van de acht bodemprofielen waarvoor modelberekeningen zijn uitgevoerd blijken de GHG's en GLG's aan de drooglegging (DL) gerelateerd te zijn volgens

$$\text{GHG} = a_1 \cdot \text{DL} + b_1 \quad (7a)$$

en

$$\text{GLG} = a_2 \cdot \text{DL} + b_2 \quad (7b)$$

waarbij de parameters  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  en  $b_2$  afhankelijk zijn van de drainage-intensiteit (Van Wijk et al. (1988) rekenden met drie niveaus van drainage-intensiteit).

Het uitwerken van de oorspronkelijke gegevens van Van Wijk et al. (1988) leidt tot de volgende conclusies ten aanzien van de relaties (7a) en (7b):

- voor een gegeven drooglegging DL is de invloed van de drainage-intensiteit op de GHG veel groter dan op de GLG;
- voor een gegeven drooglegging DL is de GHG bij de teelt van aardappelen en granen weinig verschillend, dat wil zeggen, vrijwel dezelfde waarden van de parameters  $a_1$  en  $b_1$  zijn van toepassing.

Bij het gebruiken van de relaties (7a) en (7b) moeten de volgende beperkingen goed voor ogen gehouden worden:

- de berekeningen van Van Wijk et al. (1988) zijn alléén uitgevoerd voor bouwland;
- de berekeningen hebben betrekking op situaties met een ontwateringsbasis (=draindiepte) van minimaal 0,6 m en maximaal 1,8 m, dus tot een drooglegging DL van minimaal 0,7 en maximaal 1,9 m;
- de berekeningen hebben betrekking op situaties waarin kwel, wegzijging of aanvulling van de grondwatervoorraad via infiltratie vanuit het oppervlaktewater géén rol spelen.

Bij het rekenen voor grasland en bij het extrapoleren naar situaties met  $\text{DL} < 0,7$  m is daarom voorzichtigheid geboden. Dat is bijvoorbeeld het geval voor het veenweidegebied. Bij het kwantificeren van de nat- en droogteschade voor de drie proefgebieden in hoofdstuk 9 komen deze aspecten nader aan de orde.

### 7.3 Deterministische methode (via modelberekeningen)

Bij de HELP-methode en de methode Van Wijk gaat het om een benadering waarbij de waterhuishoudkundige situatie op een gegeven standplaats wordt beschouwd. Bij het toepassen van die methoden op een peilgebied wordt de oppervlakte van dat gebied op basis van de maaiveldshoogte verdeeld over één of meer standplaatsen die onderling verschillen in drooglegging en die verder *geen* interactie hebben via het grond- of oppervlaktewater. Met de *deterministische* methode wordt hier bedoeld op een benadering waarbij een *integrale* modellering van de waterhuishouding van een peilgebied als geheel plaatsvindt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van agrohydrologische modellen zoals SWAP (Van Dam et al., 1997). Dit is op zichzelf een 'puntmodel', waarmee de waterhuishouding voor representatieve standplaatsen wordt gesimuleerd in afhankelijkheid van de meteorologische omstandigheden, van kwel of wegzijging en óók van het peilbeheer. De verschillende standplaatsen beïnvloeden elkaar alléén *indirect*, via het oppervlaktewatersysteem waardoor óók

het peilbeheer dus een rol speelt (in hellende gebieden is er ook een *directe* interactie tussen de standplaatsen via de grondwaterstroming; in dát geval moet een andere aanpak worden gevolgd waarbij ook de regionale grondwaterstroming wordt meegenomen).

De deterministische methode voor peilbeheerste gebieden op basis van het model SWAP is momenteel in ontwikkeling bij DLO-Staring Centrum. Hier wordt volstaan met een summier beschrijving. Bij het uitwerken van de methode voor een gegeven peilgebied wordt uitgegaan van de volgende basisgegevens:

- de bodemkaart 1 : 50 000 (of gedetailleerder indien beschikbaar);
- de maaiveldshoogtes en bodemgebruik;
- gegevens over drainage- en infiltratieweerstanden;
- gegevens met betrekking tot de hydrologie: kwel, wegzijging;
- gegevens over het oppervlaktewatersysteem: lengte aan waterlopen van verschillende klasse, dimensies van waterlopen (diepte, bodembreedte, taludhelling enz.);
- wateraan- en afvoermogelijkheden (bijvoorbeeld capaciteiten van stuwen en gemalen).

Voor zover het gaat om drainage- en infiltratieweerstanden komt binnenkort een leidraad beschikbaar om de desbetreffende parameters vast te stellen (Massop et al., 1997).

Het oppervlaktewatersysteem wordt op een simpele manier gemodelleerd. Zoals betoogd in par. 6.4 speelt de opstuwing in afvoerperiodes geen rol van betekenis als het gaat om het kwantificeren van de natschade voor de landbouw. Daarom kan het oppervlaktewatersysteem gemodelleerd worden als één reservoir waarvoor de waterbalans wordt bijgehouden.

Op basis van de maaiveldshoogten wordt de oppervlakte van het gebied over een aantal klassen verdeeld waarbij de drooglegging per klasse tussen tevoren gespecificeerde grenzen ligt. De oppervlakte per klasse wordt vervolgens nader gekarakteriseerd voor wat betreft de belangrijkste bodemkundige eenheid, het landbouwkundig grondgebruik, de detailontwatering, de drainage- en infiltratieweerstanden en voor wat betreft verdere aspecten voor zover gegevens beschikbaar en relevant zijn. Per klasse wordt de waterhuishouding gemodelleerd, met daaraan gekoppeld een berekening van de nat- resp. droogteschade.

Tegenover de statische benadering via de HELP-methode biedt het modelleren als aangegeven de volgende voordelen:

- nat- en droogteschades zijn *niet* gekoppeld aan GHG's en GLG's maar worden berekend op basis van het verloop van open-waterstanden (peilbeheer) en het daaraan gekoppelde verloop van grondwaterstanden;
- nat- en droogteschades kunnen gekwantificeerd worden voor verschillende typen van jaren, dat wil zeggen, voor droge, normale en natte jaren;
- effecten van dynamisch peilbeheer kunnen in beeld worden gebracht.
- de gevoeligheid voor veranderingen in drooglegging (marges) kunnen worden bepaald door de berekeningen te herhalen na aanpassing van peilen of van het peilbeheer.

Waar het steeds meer zal gaan om peilbeheer op maat is het verder operationaliseren van deze deterministische methode belangrijk. Daarbij moet ook gewerkt worden in de richting van automatisering, met gebruik van geografische informatiesystemen (GIS).

#### **7.4 Samenvatting**

Bij het kwantificeren van nat- en droogteschade voor de landbouw kunnen verschillen in maaiveldshoogte een belangrijke rol spelen. Binnen peilbeheerste gebieden werken verschillen in maaiveldshoogte via het open-waterpeil direct door in de grondwaterstand. Om de nat- en droogteschade te kwantificeren via de HELP-methode is een 'vertaling' naar GHG's en GLG's noodzakelijk. Dat blijft een lastige stap. Voor bouwland zijn ook de gegevens uit het onderzoek van Van Wijk et al. (1988) te gebruiken.

Voor niet-peilbeheerste (hellende) gebieden hangen verschillen in maaiveldshoogte deels samen met de natuurlijke helling. Grondwaterstanden zullen dan ruimtelijk gezien vaak in dezelfde richting hellen. Dat geeft extra complicaties en onzekerheden bij het toepassen van de HELP-methode of de methode Van Wijk.

Momenteel is DLO-Staring Centrum doende een deterministische methode uit te werken voor het uitvoeren van berekeningen op peilgebiedsniveau. Daarbij wordt uitgegaan van het agrohydrologische model SWAP. Hiermee wordt een belangrijke stap voorwaarts gezet omdat de effecten van de dynamiek van de waterhuishouding op peilgebiedsniveau in beeld gebracht zullen kunnen worden. De methode is nu nog niet operationeel en daarom is in het onderhavige onderzoek voor de provincie Fryslân gebruik gemaakt van de HELP-methode en de methode Van Wijk.

## 8 Evaluatie van de situatie in Fryslân

### 8.1 Evaluatiemethode

In dit tweede gedeelte van het rapport (hoofdstuk 8 t/m 10) worden de bevindingen uit de voorgaande hoofdstukken afgezet tegen de situatie in Fryslân. Het doel hiervan is om zicht te krijgen op:

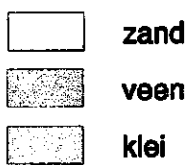
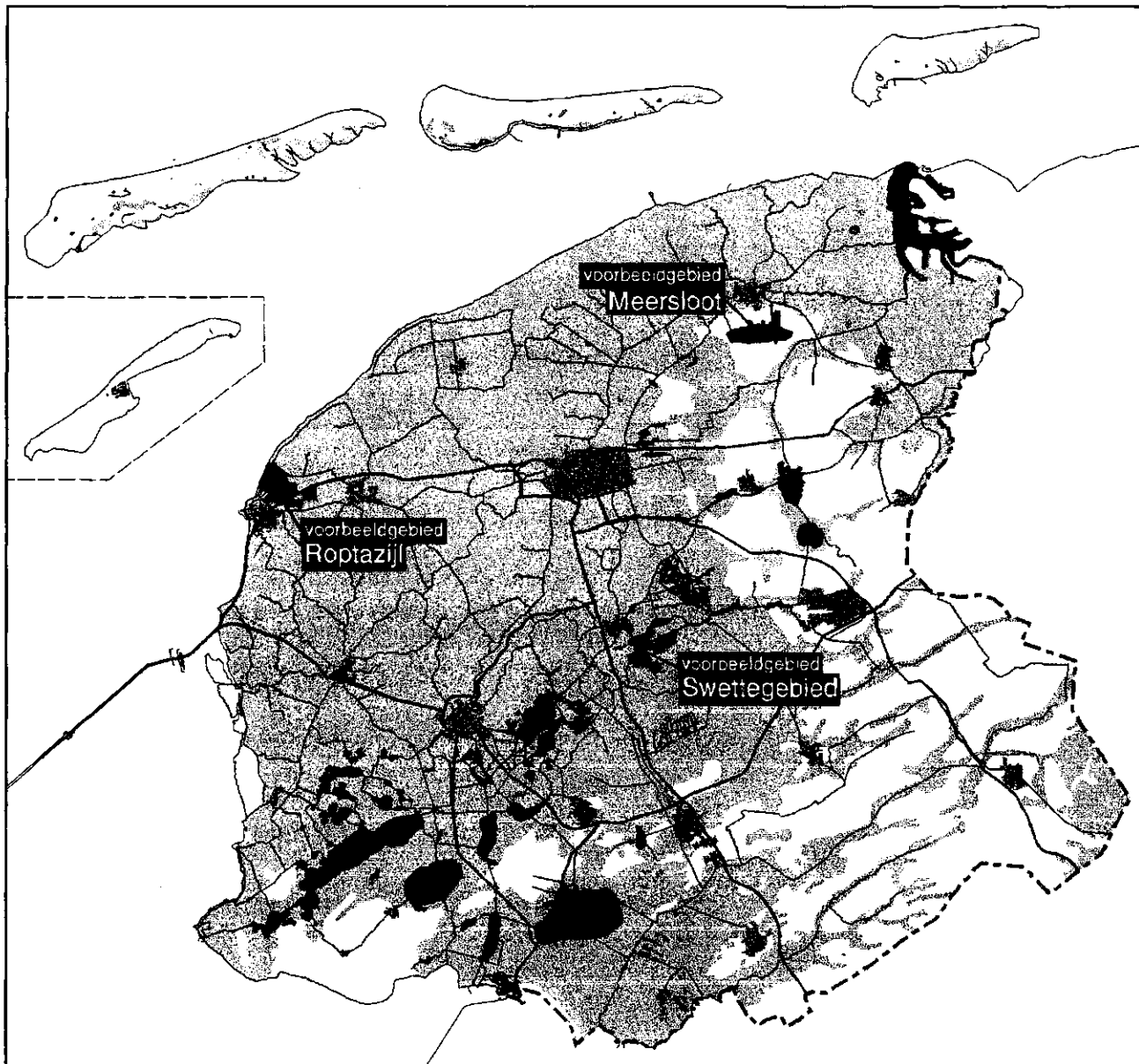
- de mogelijkheden en beperkingen van de methodes die op *dit* moment beschikbaar zijn om aan te geven wat voor de landbouw gewenst is en wat de effecten zijn van afwijkingen van de gewenste situatie;
- hoe de Friese situatie zich verhoudt tot de voor de landbouw gewenste situatie;
- wat in de Friese situatie de marges zijn in de gewenste situatie oftewel wat de effecten zijn van peilverhogingen of verlagingen.

Het huidige peilbeheer komt neer op het handhaven van zomer- en winterpeilen en is daarmee de meest eenvoudige vorm van dynamisch peilbeheer. De evaluatie is uitgewerkt voor vier peilgebieden, liggend binnen drie proefgebieden. Centraal staat het kwantificeren van de landbouwschade door wateroverlast en droogte.

Het kwantificeren van de nat- en droogteschade en de gevoeligheid voor peilveranderingen is geheel gebaseerd op bestaande kennis, waarbij gebruik is gemaakt van de HELP-methode (par. 2.2) en de resultaten van het onderzoek van Van Wijk et al. (1988) (par. 3.4). Het gaat bij de schade om *gemiddelden* voor een langjarige periode.

De begrippen *ontwateringsbasis (drainagebasis)* en *drooglegging* zijn in de hoofdstukken 3 en 4 uitvoerig besproken en komen ook nu weer regelmatig naar voren. Hier wordt het begrip *drooglegging* in engere zin gebruikt als de drooglegging bij polderpeil volgens peilbesluit, dat wil zeggen, als de drooglegging in een situatie zonder wateraf- of aanvoer van betekenis. De drooglegging is dan het hoogteverschil tussen de *vlakke* waterspiegel en het maaiveld. In de evaluatie van de nat- en droogteschade krijgen de verschillen in drooglegging binnen peilgebieden die samenhangen met verschillen in maaiveldshoogte een duidelijk accent. Het gaat daarbij niet alléén om de gemiddelde maaiveldshoogte maar juist ook om de differentiatie binnen peilgebieden. Dat wordt uitgewerkt via een frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en de daaraan via het open-waterpeil direct gekoppelde drooglegging.

Verdere aspecten met betrekking tot de methode van evaluatie komen aan de orde bij de uitwerking voor de afzonderlijke peilgebieden in hoofdstuk 9.



verwerkt met GIS  
 Prov. Fryslân, Databank/Kartografie

Fig. 8.1 Ligging van de drie proefgebieden binnen de provincie Fryslân

## 8.2 Keuze van proefgebieden en peilgebieden

De drie proefgebieden zijn aangegeven op de kaart van fig. 8.1:

- gebied Meersloot ten zuiden van Dokkum in het (dek)zandgebied;
- gebied Roptazijl ten noordoosten van Harlingen in het (zee)kleigebied;
- Swettegebied in het lage veenweidegebied.

Het gebied Meersloot is een meetgebied van de provincie, inhoudende dat wateraan- en afvoeren en grondwaterstanden gemeten worden. Het gebied Roptazijl maakt deel uit van een meetgebied waardoor er in ieder geval grondwaterstanden gemeten worden. Voor de nú toegepaste evaluatiemethode zijn die gegevens niet relevant. Anders wordt dat als in een later stadium alsnog een evaluatie volgens de deterministische methode als beschreven in par. 7.3 zou plaatsvinden. De keuze van het Swettegebied is vooral ingegeven door de overweging dat voor dat gebied in het kader van de voorbereiding van een landinrichtingsproject recentelijk gedetailleerde maaiveldhoogtemetingen zijn uitgevoerd.

Proefgebied Meersloot als aangegeven in fig. 8.1 omvat één peilgebied. Binnen de proefgebieden Roptazijl en Swette ligt een aantal peilgebieden waarvan er uiteindelijk één resp. twee zijn geselecteerd. De geselecteerde peilgebieden worden verder aangeduid met hun volgnummer in het peilenbestand van de provincie:

- peilgebied 123 voor proefgebied Meersloot;
- peilgebied 623 voor proefgebied Roptazijl;
- peilgebieden 2301 en 2559 voor het Swettegebied.

Gegevens over oppervlakten en zomer- en winterpeilen zijn opgenomen in tabel 8.1. Voor de proefgebieden Roptazijl en Swette zijn de peilgebieden met de grootste oppervlakte geselecteerd. Volgens de desbetreffende topografische kaarten komt binnen de proefgebieden Meersloot en Swette vrijwel uitsluitend *grasland* voor. Dat geldt dus ook voor peilgebieden 123, 2301 en 2559. In peilgebied 623 gaat het over naar schatting 80 à 90% van de oppervlakte om *bouwland* en voor de rest om *grasland*.

## 8.3 Bodemkundige en waterhuishoudkundige karakterisering

### 8.3.1 Basisgegevens

Bij het toepassen van de HELP-methode voor het berekenen van nat- en droogteschade spelen bodemkaarten een centrale rol. Indien beschikbaar wordt uitgegaan van kaarten 1 : 10 000. Hier was dat *niet* het geval en is de bodemkundige karakterisering van de peilgebieden gebaseerd op de volgende kaarten:

- gebied Meersloot: Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000, blad 6 West, Leeuwarden, uitgave 1981;
- gebied Roptazijl: Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000, blad 5 West, Harlingen, uitgave 1976;
- Swettegebied: Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000, blad 11 West, Heerenveen, uitgave 1976.

De gebruikte bodemkaarten blijken 15 tot 20 jaar geleden te zijn uitgegeven. Met name de grondwatertrappen (Gt's) volgens de kaart zullen dan ook beslist niet overal de actuele situatie weergeven.

Zoals opgemerkt spelen verschillen in drooglegging samenhangend met verschillen in maaiveldshoogte een belangrijke rol. Gegevens over de maaiveldshoogte zijn voor de gebieden Meersloot en Ropta door de provincie Fryslân verstrekt. Het betreft gegevens uit het landsdekkende basisbestand van de Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat/Topografische Dienst Nederland, met gemiddeld één à 1,5 meetpunt per ha, afgerond op hele decimeters (0,1 m). Voor het Swettegebied is gebruik gemaakt van recente metingen die in opdracht van de Dienst Landinrichting en Beheer landbouwgronden (LBL) voor dat gebied zijn uitgevoerd. Het gaat om 3 à 3,5 punten per ha, afgerond op centimeters (0,01 m).

Alle basisgegevens zijn verstrekt als ARC/INFO-bestanden, met per meetpunt de X-, Y- en Z-coördinaat. Als eerste stap zijn per proefgebied hoogtekaarten getekend. Uit het kaartbeeld bleek dat de hoogtepunten redelijk gelijkmatig over de oppervlakten van de proefgebieden verdeeld zijn.

Vervolgens zijn uit de ARC/INFO-bestanden ASCII-bestanden voor de vier peilgebieden afgeleid. Die ASCII-bestanden zijn als volgt verder verwerkt:

- berekening van de drooglegging per punt door het open-waterpeil af te trekken van de maaiveldhoogte;
- statistische bewerking van de berekende drooglegging, dat wil zeggen berekenen van het gemiddelde en de standaardafwijking per peilgebied;
- berekening van de cumulatieve frequentieverdeling van de drooglegging per peilgebied.

Resultaten van de bewerking zijn opgenomen in tabel 8.1. Bij het berekenen van de statistische parameters zijn *alle* punten meegenomen, met uitzondering van een enkel punt waarvoor een *negatieve* drooglegging was berekend. De gemiddelde drooglegging is het rekenkundige gemiddelde voor alle hoogtepunten. De 50-percentielwaarde is die drooglegging ten opzichte waarvan 50% van de punten een grotere en 50% een kleinere drooglegging heeft. De verschillen tussen het gemiddelde en de 50-percentielwaarde hangen samen met de asymmetrische frequentieverdeling van de maaiveldshoogte. Omdat de hoogtepunten redelijk gelijkmatig over de peilgebieden verdeeld zijn is het aanvaardbaar de frequentieverdeling van de maaiveldhoogte en drooglegging op basis van aantallen meetpunten te interpreteren in termen van (*deel*)*oppervlakten*.



**Tabel 8.1 Gegevens voor de geselecteerde peilvakken binnen de proefgebieden Meersloot (zandgebied), Roptazijl (kleigebied) en Swette (veenweidegebied)**

Proefgebied en peilgebiednr.	Oppervlakte (ha)	Polderpeil (m - NAP)	Aantal hoogtepunten	Drooglegging		Standaardafw. drooglegging (m)
				gemiddeld (m - mv.)	50-percentiel (m - mv.)	
<b>Gebied Meersloot</b>						
123	644	0,20/0,40	998	1,30	1,21	0,47
<b>Gebied Roptazijl</b>						
623	708	1,00/1,20	762	1,46	1,41	0,38
<b>Gebied Swette</b>						
2301	244	1,80/1,80	847	0,96	0,94	0,15
2559	179	1,40/1,50	586	0,66	0,67	0,13

### 8.3.2 Peilgebied 123 (proefgebied Meersloot)

#### **Waterhuishouding**

Peilgebied 123 heeft een zomerpeil van 0,20 m - NAP m en een winterpeil van 0,40 m - NAP. Het gebied is peilbeheerst en vrij afwaterend in noordelijke richting, via een stuw ter plaatse van de Stroobosser Trekvaart. In perioden met een neerslagtekort wordt water toegevoerd via opmaling vanuit de Stroobosser Trekvaart.

#### **Legenda-eenheden volgens de bodemkaart 1 : 50 000 en HELP-bodemtypen**

Blijkens de bodemkaart zijn maar twee legenda eenheden van betekenis:

- Podzolgronden:
  - humuspodzolgronden
  - laarpodzolgronden
    - cHn23x: lemig fijn zand, overwegend Gt V\*, daarnaast Gt III;
- Dikke eerdgronden:
  - enkeerdgronden
    - hoge zwarte enkeerdgronden
    - zEZ23: lemig fijn zand, overwegend Gt VI.

De legenda-eenheden volgens de bodemkaart zijn 'vertaald' in HELP-bodemtypen en in bijbehorende HELP-profielnummers volgens de desbetreffende richtlijnen (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Het resultaat is verwerkt in tabel 8.2.

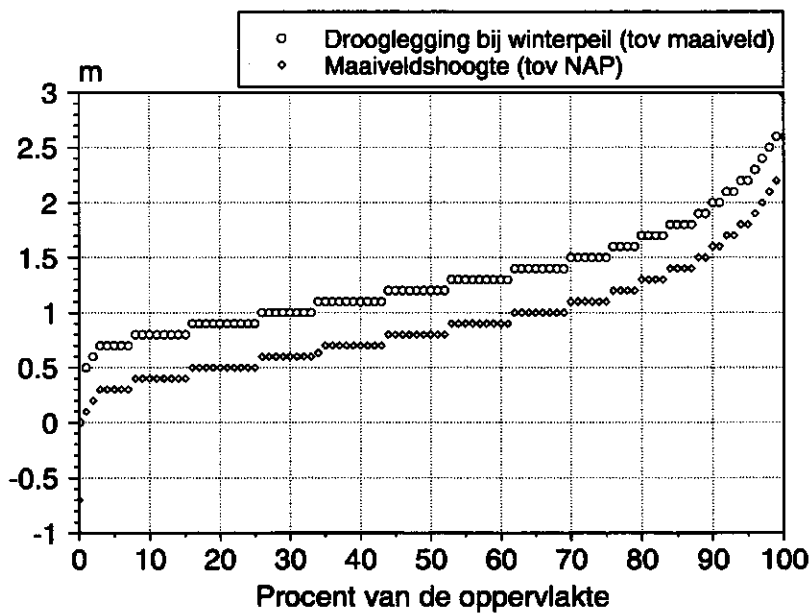
#### **Maaienveldshoogte en Drooglegging**

Fig. 8.2 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de maaienveldshoogte en drooglegging (zie ook tabel 8.1). Uit fig. 8.2 blijkt dat binnen het peilgebied relatief grote verschillen in drooglegging voorkomen. Met DL als drooglegging in m geldt:

- 90% van de punten heeft een drooglegging  $0,70 < DL < 2,25$  m;
- 80% van de punten heeft een drooglegging  $0,80 < DL < 2,00$  m.

*Tabel 8.2 Belangrijkste legenda-eenheden volgens de bodemkaart 1 : 50 000 en de 'vertaling' daarvan in HELP-bodentypen en HELP-profielnummers voor bouwland (B) of grasland (G), voor de geselecteerde peilgebieden*

Legenda-eenheid	HELP-bodentype	HELP-profielnr.
<b>Peilgebiednr. 123 (gebied Meersloot)</b>		
cHn23x, Gt III en V*	cH1a, cH1b	G62, G63
zEZ23, Gt VI	EZ1a, EZ1b, BEZ1a, BEZ1b	G47, G48, G51, G52
<b>Peilgebiednr. 623 (gebied Roptazijl)</b>		
Mn15A, Gt VI	Kz5hz, Kz5h	B27, B28
bMn15A, Gt III en VI	Kz5hz, Kz5h	B27, B28
bMn15C, Gt V/VI	Kz5o	B32
bgMn15C, Gt V/VI	Kz5o	B32
gMn15C, Gt V/VI	Kz5o	B32
gMn25C, Gt III en V	Kz5oz, Kz5o	B31, B32
<b>Peilgebiednr. 2301 en 2559 (Swettegebied)</b>		
kVc, Gt II	V	G1
pVc, Gt II	V	G1
hVc, Gt I/II	V	G1
hVs, Gt II	V	G1



*Fig. 8.2 Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging bij winterpeil, voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot)*

Uit een vergelijking van de bodemkaart met de hoogtekaart blijken gebieds gedeelten met Gt III in grote lijnen samen te vallen met gebieds gedeelten waar de drooglegging beperkt blijft tot 0,6 à 0,8 m.

### **8.3.3 Peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl)**

Binnen de buitengrenzen van peilgebied 623 ligt een drietal kleine onderbemalingen (onderbemaling van 0,25 tot 0,55 m). Het betreft blijkens de hoogtekaart duidelijk lage plekken in het land. Deze onderbemalingen met de desbetreffende hoogtepunten zijn in het onderzoek verder *niet* meegenomen. De hoogste punten binnen peilgebied 623, met een drooglegging van meer dan 2,5 m, zijn oude bewoningsplaatsen (terp bij Midlum).

#### ***Waterhuishouding***

Peilgebied 623 heeft een zomerpeil van 1,00 m - NAP en een winterpeil van 1,20 m - NAP.

#### ***Legenda-eenheden volgens de bodemkaart 1 : 50 000 en HELP-bodemtypen***

Blijkens de bodemkaart 1 : 50 000 zijn de volgende legenda-eenheden van betekenis:

– Zeekleigronden:

- Vaaggronden
  - kalkrijke poldervaaggronden
    - Mn15A: lichte zavel, profielverloop 5, Gt VI
    - bMn15A: lichte zavel, profielverloop 5, Gt VI en Gt III;
  - kalkarme poldervaaggronden
    - bMn15C: lichte zavel, profielverloop 5, Gt V/VI
    - bgMn15C: lichte zavel, profielverloop 5, Gt V/VI;
  - knippige poldervaaggronden
    - gMn15C: lichte zavel, profielverloop 5, Gt V/VI
    - gMn25C: zware zavel, profielverloop 5, overwegend Gt V, daarnaast Gt III.

De legenda-eenheden en hun 'vertaling' in HELP-bodemtypen en profielnummers zijn opgenomen in tabel 8.2.

#### ***Maaiveldshoogte en Drooglegging***

Fig. 8.3 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging.

Met DL als drooglegging geldt voor de frequentieverdeling voor peilgebied 623:

- 90% van de punten heeft een drooglegging  $0,90 < DL < 2,00$  m;
- 80% van de punten heeft een drooglegging  $1,10 < DL < 1,80$  m.

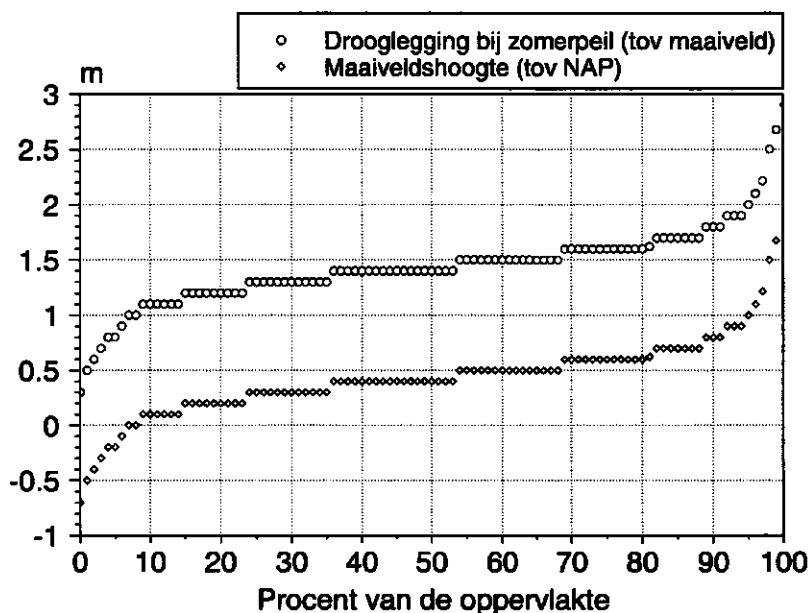


Fig. 8.3 Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging bij zomerpeil, voor peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl)

### 8.3.4 Peilgebieden 2301 en 2559 (proefgebied Swette)

#### **Waterhuishouding**

De peilgebieden 2301 en 2559 liggen aan weerszijde van de Botmeer: gebied 2301 aan de noordoostzijde, gebied 2559 aan de zuidwestzijde. Voor verdere gegevens met betrekking tot de waterhuishouding van het gebied wordt verwezen naar het desbetreffende rapport met uitgangspunten voor een waterbeheersingsplan (LBL-werkgroep, 1995).

#### **Legenda-eenheden volgens de bodemkaart 1 : 50 000 en HELP-bodemtypen**

Volgens de bodemkaart 1 : 50 000 zijn de volgende legenda-eenheden van belang:

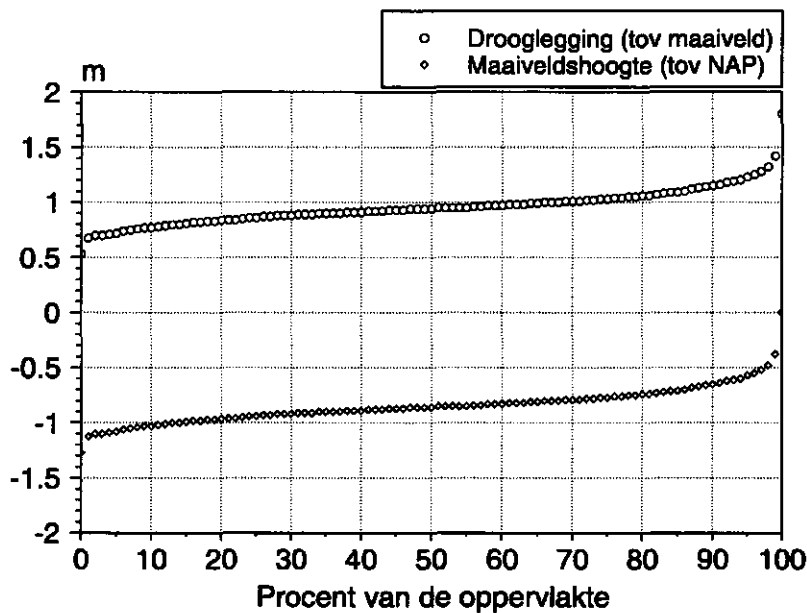
- Zeekleigronden:
  - Vaaggronden
  - Drechtvaaggronden
    - Mv41C: zware klei, profielverloop 1, kalkarm, Gt II;
- Veengronden:
  - Rauwveengronden
  - Waardveengronden
    - kVc: zeggeveen, rietzeggeveen, (mesotroof) broekveen, Gt II;
  - Weideveengronden
    - pVc: zeggeveen, rietzeggeveen, (mesotroof) broekveen, Gt II;

- Eerdveengronden
- Koopveengronden
  - hVc: zeggeveen, rietveen, (mesotroof) broekveen, Gt I/II;
  - hVs: veenmosveen, Gt II.

De gekarteerde Gt's volgens de bodemkaart, uitgegeven in 1976, geven *geen* reëel beeld van de actuele situatie. Volgens eerdergenoemd waterbeheersingsplan (LBL-werkgroep, 1995) gaat het in de situatie van 1995 om de Gt's IIa, IIb en IIIb als omschreven door Voet (1995).

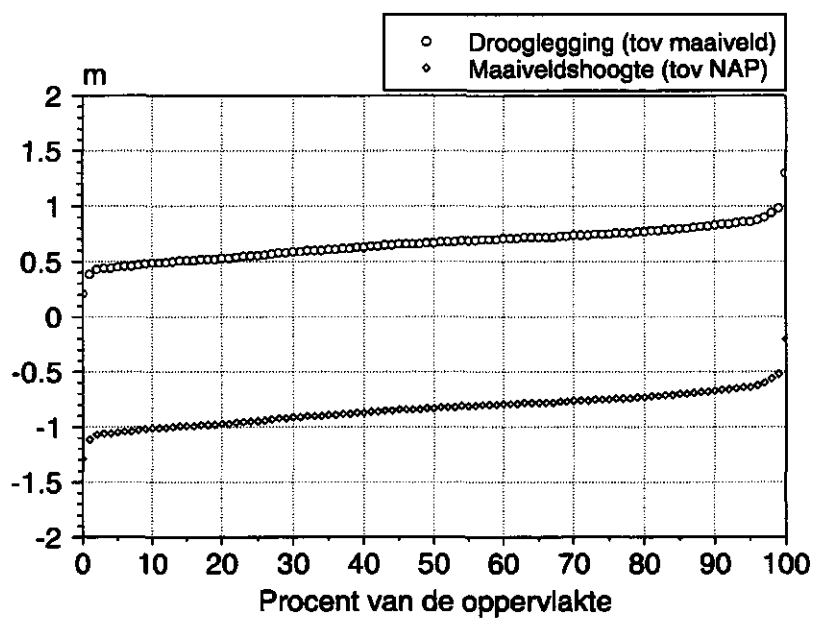
### **Maaiveldshoogte en Drooglegging**

De cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging is verwerkt in fig. 8.4 voor peilgebied 2301 en in fig. 8.5 voor peilgebied 2559.



*Fig. 8.4 Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging voor peilgebied 2301 (proefgebied Swette)*

De *vorm* van de frequentieverdeling voor de beide peilgebieden is dezelfde. Wèl is er een verschil van ca. 0,3 m in het *niveau* van drooglegging. Bij het vergelijken met fig. 8.2 en 8.3 blijkt dat het maaiveld in de beide peilgebieden in het lage veenweidegebied veel vlakker ligt dan voor de peilgebieden in het zand- en kleigebied.



*Fig. 8.5 Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldshoogte en drooglegging voor peilgebied 2559 (proefgebied Swette)*

## **9 Berekenen van de nat- en droogteschade voor de geselecteerde peilgebieden**

### **9.1 Inleiding**

Bij het kantificeren van nat- en droogteschade speelt de differentiatie in drooglegging binnen peilgebieden een belangrijke rol. Bij de berekeningen zijn hier per peilgebied elf klassen van drooglegging onderscheiden. Elke van deze klassen omvat een bepaald percentage van de totale oppervlakte van het peilgebied en wordt verder gekarakteriseerd door een *gemiddelde* drooglegging DL. De twee klassen met de kleinste drooglegging omvatten elk 5% van de oppervlakte, de overige negen klassen elk 10%. De verdeling in elf klassen keert in alle tabellen met resultaten steeds terug.

Een tweede aspect betreft het kwantificeren van de nat- en droogteschade bij een drooglegging die afwijkt van de drooglegging in de bestaande situatie. Daarbij is gerekend voor zowel vergroting als voor verkleining van de drooglegging (bij peilverlaging resp. peilverhoging). De peilverandering verloopt daarbij in stappen van 0,2 m, met een maximale verandering van 0,4 m.

Een derde aspect betreft het uitdrukken van opbrengstreducties (methode Van Wijk) en schadepercentages (HELP-methode) in geld. Gegevens daarover zijn ontleend aan Huinink (1993):

- voor grasland gaat het per procent schade om f 25 à f 30 per ha per jaar;
- voor bouwland (vruchtwisseling van aardappelen, suikerbieten en graan) gaat het per procent opbrengstreductie om ca. f 60 per ha per jaar.

Deze bedragen zijn alléén bedoeld om de orde van grootte aan te geven. Voor andere teelten en verdere details wordt verwezen naar genoemde publicatie.

### **9.2 Peilgebied 123 (proefgebied Meersloot)**

#### **9.2.1 Berekeningen**

Blijkens par. 8.3.2 komen binnen peilgebied 123 de legenda-eenheden cHn23 en zEZ23 naast elkaar voor. Gezien de bodemkundige omschrijving van deze eenheden is een verschil in droogtegevoeligheid te verwachten en zijn berekeningen voor *beide* eenheden uitgevoerd.

Het kwantificeren van de nat- en droogteschade omvat de volgende twee stappen:

- het vertalen van de drooglegging volgens fig. 8.2, dat wil zeggen, van de *gemiddelde* drooglegging voor de elf klassen, in GHG's en GLG's;
- het vertalen van GHG's en GLG's in natschade resp. droogteschade.

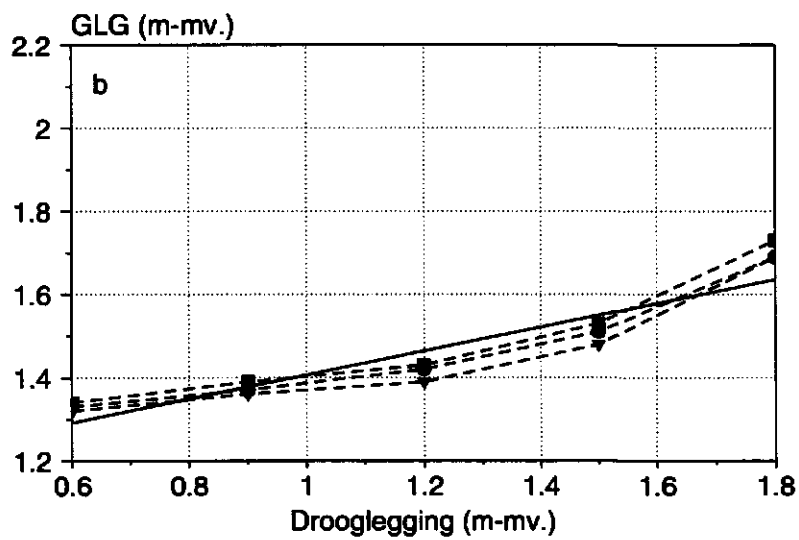
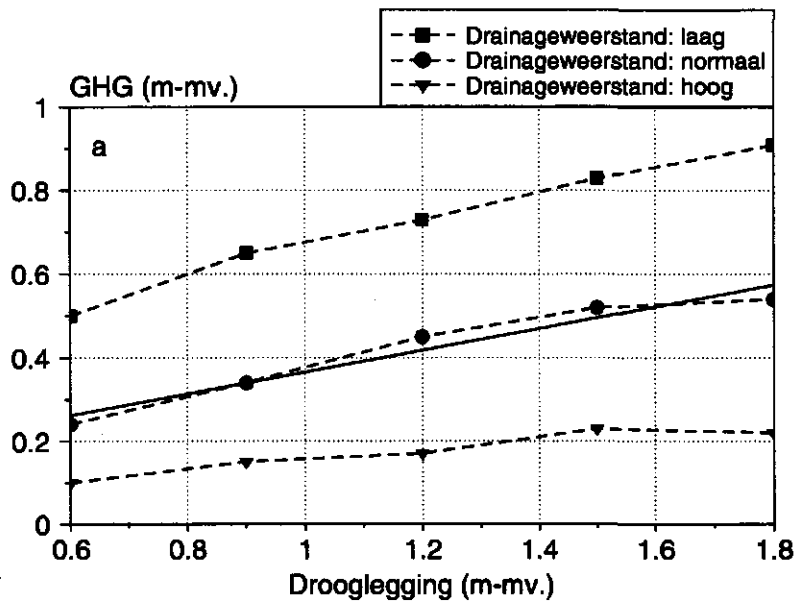


Fig. 9.1 Relatie tussen de drooglegging en de GHG (a) resp. GLG (b) voor een bodemprofiel bestaande uit zwak lemig zand (profielnr. 1), voor drie niveaus van de drainageweerstand, volgens gegevens ontleend aan Van Wijk et al. (1988)



De vertaling van de drooglegging in GHG's en GLG's is gebaseerd op de resultaten van modelberekeningen van Van Wijk et al. (1988) voor wat door hen is aangeduid als profielnr. 1: zwak lemig zeer fijn zand. Uit fig. 9.1 blijkt dat de GHG veel sterker afhankelijk is van de drainageweerstand dan de GLG. Voor peilgebied 123 is verder gerekend met de volgende lineaire relaties, geldend voor de drainageweerstand die in fig. 9.1 is aangeduid als *normaal*:

$$\text{GHG} = 0,26 \cdot \text{DL} + 0,11 \quad (9.1a)$$

$$\text{GLG} = 0,28 \cdot \text{DL} + 1,12 \quad (9.1b)$$

waarin DL = drooglegging (m). Voor de bestaande situatie zijn de GHG's en GLG's voor de 11 op basis van de drooglegging onderscheiden oppervlakten met deze relaties berekend.

Voor het berekenen van GHG's en GLG's bij *peilverhoging* of *peilverlaging* (resultierend in een even grote verandering van de drooglegging DL) zijn de volgende twee mogelijkheden apart bekeken:

- situatie waarbij de verandering in DL doorwerkt in GHG's en GLG's volgens de relaties (9.1a) resp. (9.1b);
- situatie waarbij de verandering in DL *volledig* doorwerkt in GHG's en GLG's.

De tweede stap, dat wil zeggen, het vertalen van GHG's en GLG's in nat- en droogteschades, is uitgevoerd op basis van de HELP-tabellen voor de desbetreffende HELP-profielen volgens tabel 8.2. Daartoe is gebruik gemaakt van het programma-pakket BODEP (Berekening Opbrengst DEPressie) (Voet, 1995). De invoer omvat de codering voor de desbetreffende legende-eenheid volgens de bodemkaart, de corresponderende HELP-code, de GHG, GLG en GVG en de grondwatertrap. De GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) is berekend volgens

$$\text{GVG} = 0,055 + (0,83 \cdot \text{GHG}) + (0,19 \cdot \text{GLG}) \quad (9.2)$$

met de GVG, GHG en GLG in m - mv.

### 9.2.2 Resultaten voor peilgebied 123

Resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in de tabellen 9.1 t/m 9.4:

- tabel 9.1 is voor legende-eenheid cHn23, voor de bestaande situatie en voor situaties waarbij peilverhogingen van 0,2 resp. 0,4 m of een peilverlaging van 0,2 m hebben plaatsgevonden, waarbij GHG's en GLG's zijn berekend met de relaties (9.1a) en (9.1b);
- tabel 9.2 is als tabel 9.1, aannemende dat peilveranderingen *volledig* doorwerken in GHG's en GLG's;
- tabel 9.3 is als tabel 9.1, maar nu voor legende-eenheid zEZ23;
- tabel 9.4 is als tabel 9.2, maar nu voor legende-eenheid zEZ23.

*Tabel 9.1 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot), aannemende dat het gehele gebied wordt ingenomen door grasland op legenda-eenheid cHn23; voor de situatie waarin peilveranderingen (veranderingen in drooglegging) doorwerken in GHG's en GLG's volgens de relaties (9.1a) resp. (9.1b)*

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,4 m verhoogd</b>						
0- 5	0,24	0,17	10	1,19	2	12
5- 10	0,36	0,20	7	1,22	4	11
10- 20	0,45	0,22	6	1,25	5	11
20- 30	0,55	0,25	5	1,27	5	10
30- 40	0,67	0,28	4	1,31	5	9
40- 50	0,77	0,31	3	1,34	5	8
50- 60	0,88	0,33	2	1,37	6	8
60- 70	1,00	0,37	2	1,40	7	9
70- 80	1,16	0,41	1	1,44	7	8
80- 90	1,41	0,47	1	1,51	9	10
90- 100	1,94	0,61	0	1,66	11	11
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>3,3</b>		<b>6,3</b>	<b>9,6</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verhoogd</b>						
0- 5	0,44	0,22	6	1,24	4	10
5- 10	0,56	0,25	5	1,28	5	10
10- 20	0,65	0,28	4	1,30	5	9
20- 30	0,75	0,30	3	1,33	5	8
30- 40	0,87	0,33	2	1,36	6	8
40- 50	0,97	0,36	2	1,39	6	8
50- 60	1,08	0,39	1	1,42	7	8
60- 70	1,20	0,42	1	1,46	7	8
70- 80	1,36	0,46	1	1,50	9	10
80- 90	1,61	0,52	0	1,57	10	10
90- 100	2,14	0,66	0	1,72	12	12
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>2,0</b>		<b>7,2</b>	<b>9,1</b>
<b>Bestaande situatie bij winterpeil (0,4 m - NAP)</b>						
0- 5	0,64	0,27	4	1,30	5	9
5- 10	0,76	0,30	3	1,33	5	8
10- 20	0,85	0,33	2	1,36	6	8
20- 30	0,95	0,35	1	1,39	6	7
30- 40	1,07	0,38	1	1,42	7	8
40- 50	1,17	0,41	1	1,45	7	8
50- 60	1,28	0,44	1	1,48	9	10
60- 70	1,40	0,47	1	1,51	9	10
70- 80	1,56	0,51	0	1,56	10	10
80- 90	1,81	0,58	0	1,63	11	11
90- 100	2,34	0,71	0	1,78	13	13
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>1,1</b>		<b>8,3</b>	<b>9,4</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verlaagd</b>						
0- 5	0,84	0,32	3	1,36	6	9
5- 10	0,96	0,36	2	1,39	6	8
10- 20	1,05	0,38	1	1,41	7	8
20- 30	1,15	0,40	1	1,44	7	8
30- 40	1,27	0,44	1	1,48	9	10
40- 50	1,37	0,46	1	1,50	9	10
50- 60	1,48	0,49	0	1,53	9	9
60- 70	1,60	0,52	0	1,57	10	10
70- 80	1,76	0,56	0	1,61	11	11
80- 90	2,01	0,63	0	1,68	12	12
90- 100	2,54	0,77	0	1,83	15	15
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>0,7</b>		<b>9,5</b>	<b>10,2</b>

Tabel 9.2 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot), aannemende dat het gehele gebied wordt ingenomen door grasland op legenda-eenheid cHn23; voor de situatie waarin peilveranderingen (veranderingen in drooglegging) volledig doorwerken in GHG's GLG's

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,4 m verhoogd</b>						
0- 5	0,24	0,00	14	0,90	2	16
5- 10	0,36	0,00	14	0,93	2	16
10- 20	0,45	0,00	14	0,96	2	16
20- 30	0,55	0,00	14	0,99	2	16
30- 40	0,67	0,00	14	1,02	2	16
40- 50	0,77	0,01	14	1,05	2	16
50- 60	0,88	0,04	14	1,08	2	16
60- 70	1,00	0,07	14	1,11	2	16
70- 80	1,16	0,11	13	1,16	2	15
80- 90	1,41	0,18	7	1,23	4	11
90- 100	1,94	0,31	3	1,38	6	9
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>12,1</b>		<b>2,6</b>	<b>14,7</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verhoogd</b>						
0- 5	0,44	0,07	14	1,10	2	16
5- 10	0,56	0,10	14	1,13	2	16
10- 20	0,65	0,13	12	1,16	2	14
20- 30	0,75	0,15	11	1,19	2	13
30- 40	0,87	0,18	7	1,22	4	11
40- 50	0,97	0,21	7	1,25	5	12
50- 60	1,08	0,24	5	1,28	5	10
60- 70	1,20	0,27	4	1,31	5	9
70- 80	1,36	0,31	3	1,36	6	9
80- 90	1,61	0,38	1	1,43	7	8
90- 100	2,14	0,51	0	1,58	10	10
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>6,4</b>		<b>4,8</b>	<b>11,2</b>
<b>Bestaande situatie bij winterpeil (0,4 m - NAP)</b>						
0- 5	0,64	0,27	4	1,30	5	9
5- 10	0,76	0,30	3	1,33	5	8
10- 20	0,85	0,33	2	1,36	6	8
20- 30	0,95	0,35	1	1,39	6	7
30- 40	1,07	0,38	1	1,42	7	8
40- 50	1,17	0,41	1	1,45	7	8
50- 60	1,28	0,44	1	1,48	9	10
60- 70	1,40	0,47	1	1,51	9	10
70- 80	1,56	0,51	0	1,56	10	10
80- 90	1,81	0,58	0	1,63	11	11
90- 100	2,34	0,71	0	1,78	13	13
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>1,1</b>		<b>8,3</b>	<b>9,4</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verlaagd</b>						
0- 5	0,84	0,47	1	1,50	9	10
5- 10	0,96	0,50	0	1,53	9	9
10- 20	1,05	0,53	0	1,56	10	10
20- 30	1,15	0,55	0	1,59	10	10
30- 40	1,27	0,58	0	1,62	11	11
40- 50	1,37	0,61	0	1,65	11	11
50- 60	1,48	0,64	0	1,68	12	12
60- 70	1,60	0,67	0	1,71	12	12
70- 80	1,76	0,71	0	1,76	13	13
80- 90	2,01	0,78	0	1,83	15	15
90- 100	2,54	0,91	0	1,98	18	18
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>0,1</b>		<b>12,1</b>	<b>12,2</b>

*Tabel 9.3 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot), aannemende dat het gehele gebied wordt ingenomen door grasland op legenda-eenheid zEZ23; voor de situatie waarin peilveranderingen (veranderingen in drooglegging) doorwerken in GHG's en GLG's volgens de relaties (8.1a) resp. (8.1b)*

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,4 m verhoogd</b>						
0- 5	0,24	0,17	10	1,19	1	11
5- 10	0,36	0,20	7	1,22	2	9
10- 20	0,45	0,22	6	1,25	2	8
20- 30	0,55	0,25	5	1,27	2	7
30- 40	0,67	0,28	4	1,31	2	6
40- 50	0,77	0,31	3	1,34	3	6
50- 60	0,88	0,33	2	1,37	3	5
60- 70	1,00	0,37	2	1,40	3	5
70- 80	1,16	0,41	1	1,44	3	4
80- 90	1,41	0,47	1	1,51	5	6
90- 100	1,94	0,61	0	1,66	7	7
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>3,3</b>		<b>3,2</b>	<b>6,4</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verhoogd</b>						
0- 5	0,44	0,22	6	1,24	2	8
5- 10	0,56	0,25	5	1,28	2	7
10- 20	0,65	0,28	4	1,30	2	6
20- 30	0,75	0,30	3	1,33	3	6
30- 40	0,87	0,33	2	1,36	3	5
40- 50	0,97	0,36	2	1,39	3	5
50- 60	1,08	0,39	1	1,42	3	4
60- 70	1,20	0,42	1	1,46	4	5
70- 80	1,36	0,46	1	1,50	5	6
80- 90	1,61	0,52	0	1,57	6	6
90- 100	2,14	0,66	0	1,72	7	7
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>2,0</b>		<b>3,8</b>	<b>5,8</b>
<b>Bestaande situatie bij wintwerpeil (0,4 m - NAP)</b>						
0- 5	0,64	0,27	4	1,30	2	6
5- 10	0,76	0,30	3	1,33	3	6
10- 20	0,85	0,33	2	1,36	3	5
20- 30	0,95	0,35	1	1,39	3	4
30- 40	1,07	0,38	1	1,42	3	4
40- 50	1,17	0,41	1	1,45	4	5
50- 60	1,28	0,44	1	1,48	5	6
60- 70	1,40	0,47	1	1,51	5	6
70- 80	1,56	0,51	0	1,56	6	6
80- 90	1,81	0,58	0	1,63	6	6
90- 100	2,34	0,71	0	1,78	8	8
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>1,1</b>		<b>4,6</b>	<b>5,6</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verlaagd</b>						
0- 5	0,84	0,32	3	1,36	3	6
5- 10	0,96	0,36	2	1,39	3	5
10- 20	1,05	0,38	1	1,41	3	4
20- 30	1,15	0,40	1	1,44	3	4
30- 40	1,27	0,44	1	1,48	5	6
40- 50	1,37	0,46	1	1,50	5	6
50- 60	1,48	0,49	0	1,53	5	5
60- 70	1,60	0,52	0	1,57	6	6
70- 80	1,76	0,56	0	1,61	6	6
80- 90	2,01	0,63	0	1,68	7	7
90- 100	2,54	0,77	0	1,83	10	10
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>0,7</b>		<b>5,3</b>	<b>6,0</b>

**Tabel 9.4 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot), aannemende dat het gehele gebied wordt ingenomen door grasland op legenda-eenheid zEZ23; voor de situatie waarin peilveranderingen (veranderingen in drooglegging) volledig doorwerken in GHG's en GLG's**

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,4 m verhoogd</b>						
0- 5	0,24	0,00	14	0,90	1	15
5- 10	0,36	0,00	14	0,93	1	15
10- 20	0,45	0,00	14	0,96	1	15
20- 30	0,55	0,00	14	0,99	1	15
30- 40	0,67	0,00	14	1,02	1	15
40- 50	0,77	0,01	14	1,05	1	15
50- 60	0,88	0,04	14	1,08	1	15
60- 70	1,00	0,07	14	1,11	1	15
70- 80	1,16	0,11	13	1,16	1	14
80- 90	1,41	0,18	7	1,23	2	9
90- 100	1,94	0,31	3	1,38	3	6
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>12,1</b>		<b>1,3</b>	<b>13,4</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verhoogd</b>						
0- 5	0,44	0,07	14	1,10	1	15
5- 10	0,56	0,10	14	1,13	1	15
10- 20	0,65	0,13	12	1,16	1	13
20- 30	0,75	0,15	11	1,19	1	12
30- 40	0,87	0,18	7	1,22	2	9
40- 50	0,97	0,21	7	1,25	2	9
50- 60	1,08	0,24	5	1,28	2	7
60- 70	1,20	0,27	4	1,31	2	6
70- 80	1,36	0,31	3	1,36	3	6
80- 90	1,61	0,38	1	1,43	3	4
90- 100	2,14	0,51	0	1,58	6	6
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>6,4</b>		<b>2,3</b>	<b>8,7</b>
<b>Bestaande situatie bij winterpeil (0,4 m - NAP)</b>						
0- 5	0,64	0,27	4	1,30	2	6
5- 10	0,76	0,30	3	1,33	3	6
10- 20	0,85	0,33	2	1,36	3	5
20- 30	0,95	0,35	1	1,39	3	4
30- 40	1,07	0,38	1	1,42	3	4
40- 50	1,17	0,41	1	1,45	4	5
50- 60	1,28	0,44	1	1,48	5	6
60- 70	1,40	0,47	1	1,51	5	6
70- 80	1,56	0,51	0	1,56	6	6
80- 90	1,81	0,58	0	1,63	6	6
90- 100	2,34	0,71	0	1,78	9	9
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>1,1</b>		<b>4,7</b>	<b>5,7</b>
<b>Peil ten opzichte van bestaande situatie met 0,2 m verlaagd</b>						
0- 5	0,84	0,47	1	1,50	5	6
5- 10	0,96	0,50	0	1,53	5	5
10- 20	1,05	0,53	0	1,56	6	6
20- 30	1,15	0,55	0	1,59	6	6
30- 40	1,27	0,58	0	1,62	6	6
40- 50	1,37	0,61	0	1,65	7	7
50- 60	1,48	0,64	0	1,68	7	7
60- 70	1,60	0,67	0	1,71	7	7
70- 80	1,76	0,71	0	1,76	8	8
80- 90	2,01	0,78	0	1,83	10	10
90- 100	2,54	0,91	0	1,98	13	13
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>0,1</b>		<b>7,5</b>	<b>7,6</b>

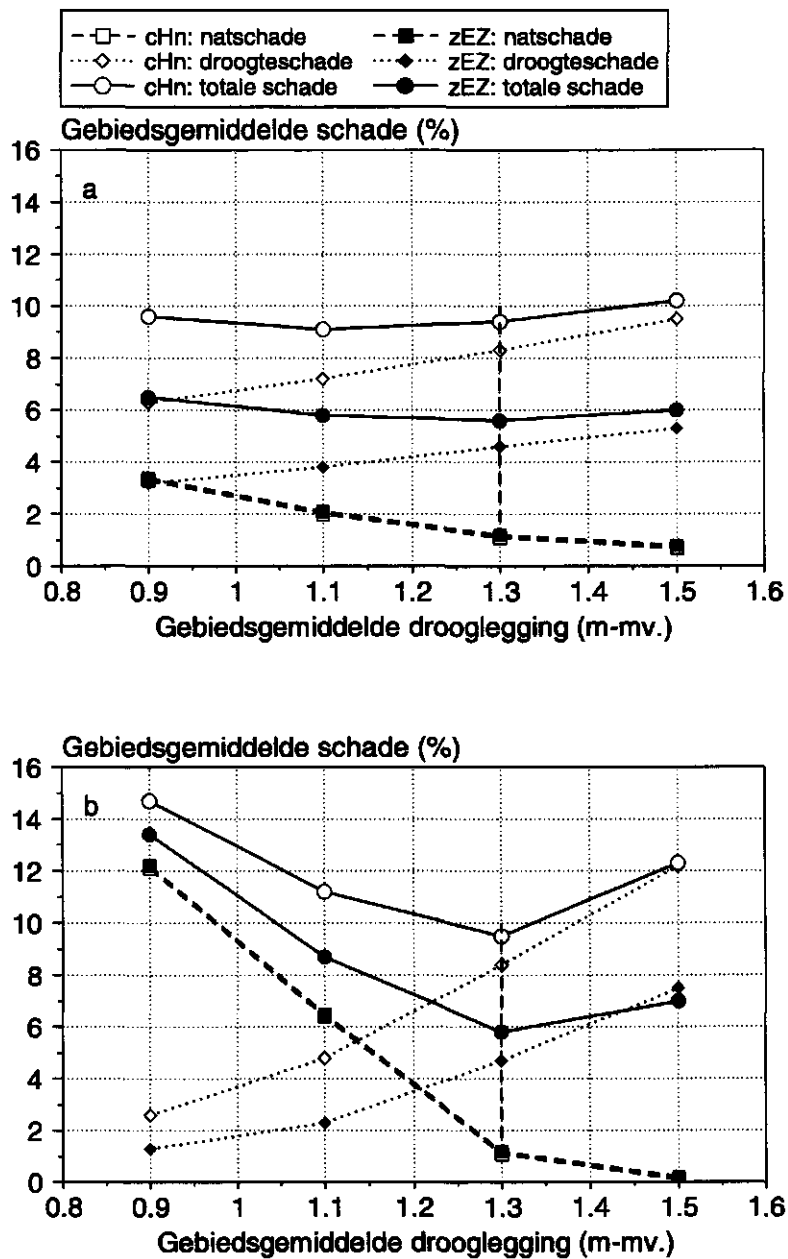


Fig. 9.2 Natschade, droogteschade en totale schade in relatie tot de gebiedsgemiddelde drooglegging, voor peilgebied 123 (proefgebied Meersloot), berekend voor de bestaande situatie (gebiedsgemiddelde drooglegging: 1,3 m) en voor situaties waarin het peil is verhoogd met 0,2 resp. 0,4 m of verlaagd met 0,2 m; bij a: doorwerking van peilverandering op GHG's en GLG's volgens de relaties (9.1a) en (9.1b) en bij b: volledige doorwerking

De gemiddelde drooglegging DL in de tabellen in de *bestaande* situatie correspondeert voor elk van de deeloppervlakten van 5 of 10% van de totale oppervlakte met de drooglegging die uit fig. 8.2 kan worden afgelezen. De gebiedsgemiddelde nat- en droogteschadepersentages zijn berekend als *gewogen* gemiddelde van de persentages voor de 11 deeloppervlakten.

De gebiedsgemiddelde schadepersentages uit de tabellen 9.1 t/m 9.4 zijn verwerkt in fig. 9.2. De gebiedsgemiddelde drooglegging in de *bestaande* situatie is 1,3 m (zie ook fig. 8.2). De schadepersentages in fig. 9.2a en 9.2b zijn voor die drooglegging aan elkaar gelijk.

Bij het vergelijken van schadepersentages voor de beide legenda-eenheden blijkt er duidelijk verschil in droogtegevoeligheid te zijn: eenheid zEZ23 is een zwarte enkeerdgrond, heeft een dikker humushoudend dek en is daardoor minder droogtegevoelig. Wat de natschade betreft is er geen verschil tussen de beide legenda-eenheden.

Bij het vergelijken van de beide deelfiguren blijkt de wijze waarop peilveranderingen doorwerken in GHG's en GLG's een duidelijk merkbare invloed te hebben op zowel de natschade als de droogteschade. De situatie bij beperkte doorwerking berust op het onderzoek van Van Wijk et al. (1988) en de vertaling daarvan in de relaties (9.1a) en (9.1b). Genoemde onderzoekers rekenden voor verschillende niveaus van drooglegging, waarbij de drainageweerstand op de drooglegging werd afgestemd. Anders gezegd: in de modelberekeningen werd bij een kleinere drooglegging met een lagere drainageweerstand gerekend en bij een grotere drooglegging met een hogere. Dat is dus óók van toepassing op fig. 9.2a. Die deelfiguur is dus in feite van toepassing op een situatie waarin de drainageweerstand bij peilverhoging zou zijn verlaagd resp. bij peilverlaging zou zijn verhoogd. Anderzijds benadert fig. 9.2b dan de situatie waarbij de drainageweerstand bij peilverandering gelijk is gebleven aan de drainageweerstand in de *bestaande* situatie.

Blijkens fig. 9.2a is de *totale* schade weinig gevoelig voor veranderingen in drooglegging zolang de drainageweerstand maar op de nieuwe situatie wordt aangepast. Dat komt doordat de verschuivingen in nat- en droogteschade tegengesteld verlopen en elkaar grotendeels compenseren. Volgens bijvoorbeeld tabel 9.1 zijn de veranderingen voor met name de laagst liggende gedeelten van het peilgebied duidelijk groter. Zo neemt de natschade voor de 5% van het gebied met de kleinste drooglegging bij een peilverhoging van 0,4 m toe van 4 naar 10%. Daartegenover staat een afname van de droogteschade van 5 naar 2%. Per saldo neemt de totale schade daar dus toe met 3%, van 9 naar 12%.

Blijkens fig. 9.2b is de gevoeligheid voor peilverandering groter als de drainageweerstand *niet* op de peilverandering wordt aangepast. De nat- en droogteschade verlopen ook hier tegengesteld maar blijken elkaar *niet* te compenseren. In tabel 9.2 komt dat duidelijk tot uiting voor de laagst gelegen 5% van de oppervlakte. De natschade stijgt daar bij een peilverhoging van 0,4 m van 4 naar 14%. Daartegenover staat een afname van de droogteschade van 5 naar 2%. Per saldo neemt de totale schade dus toe met 7%, van 9 naar 16%.

### 9.2.3 Evaluatie voor peilgebied 123

Binnen peilgebied 123 komen blijkens fig. 8.2 relatief grote verschillen in drooglegging voor. Blijkens tabel 9.1 en 9.3 is de optimale drooglegging in de bestaande situatie 0,95 m voor legendaeenheid cHn23 en 1,00 m voor legendaeenheid zEZ23. Als de gebiedsgemiddelde schade als criterium wordt genomen, dan is de huidige drooglegging landbouwkundig gezien vrijwel optimaal. Bij peilverlaging is de toename in de droogteschade groter dan de afname van de natschade. Omgekeerd is de toename van de natschade bij peilverhoging groter dan de afname van de droogteschade. Die toename van de natschade is blijkens fig. 9.2a voor een groot gedeelte te compenseren door de drainageweerstand te verlagen.

Gezien de grote verschillen in drooglegging zou ook opsplitsing van peilgebied 123 in twee aparte peilgebieden landbouwkundig gezien gunstig zijn, speciaal omdat de verdeling van de maaiveldshoogte en van de twee legendaeenheden over het gebied een duidelijke systematiek laat zien. De oppervlakte met legendaeenheid cHn23 vormt één geheel en is het laagst gelegen deel van het gebied. Door een splitsing in aparte peilgebieden, ruwweg volgens de grens tussen de legendaeenheden op de bodemkaart, met een *peilverlaging* in het gebied van legendaeenheid cHn23 en een *peilverhoging* in het gebied met legendaeenheid zEZ23, zou de waterhuishouding landbouwkundig gezien verder kunnen worden geoptimaliseerd.

## 9.3 Peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl)

### 9.3.1 Berekeningen voor de bestaande situatie

Blijkens par. 8.3.3 komen binnen peilgebied 623 verschillende legendaeenheden voor. De eenheden vertonen veel overeenkomst: het gaat om lichte zavel met profielverloop 5, dat wil zeggen met een homogeen of naar beneden toe op- of aflopend profiel. Het gebied is voor het overgrote deel in gebruik als bouwland.

Het kwantificeren van de nat- en droogteschade is geheel gebaseerd op de resultaten van modelberekeningen van Van Wijk et al. (1988) voor wat is aangeduid als profielnr. 5: kalkrijke matig lichte zavel op kalkrijke zeer lichte zavel. In die berekeningen zijn de nat- en droogteschade wèl apart meegenomen maar niet als zodanig expliciet in de resultaten verwerkt. Fig. 9.3a geeft de relatieve opbrengst volgens Van Wijk et al. (1988) in afhankelijkheid van de drainagebasis (draindiepte), bij drie niveaus van de drainageweerstand (drainafstand). Fig. 9.3a vertoont overeenkomst met de opbrengst-ontwateringsbasiscurves volgens fig. 2.2. Er is een optimum, met ter linker zijde daarvan natschade en ter rechter zijde droogteschade. In dit geval gaat het om een profiel dat niet of nauwelijks droogtegevoelig is (vergelijkbaar met de profielen nr. 1 en 2 in fig. 2.2). Omdat het gaat om *gemiddelde* opbrengsten, berekend over een periode van 30 jaar, blijft het optimum *beneden* het potentiële niveau van 1,0.



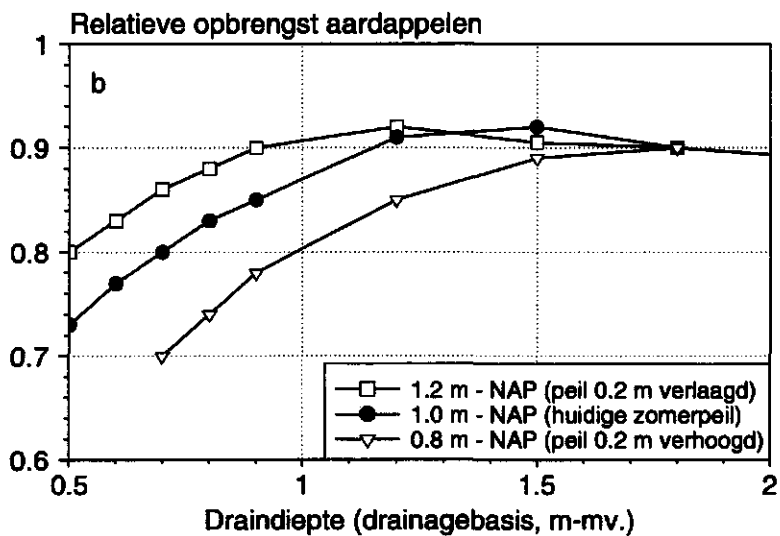
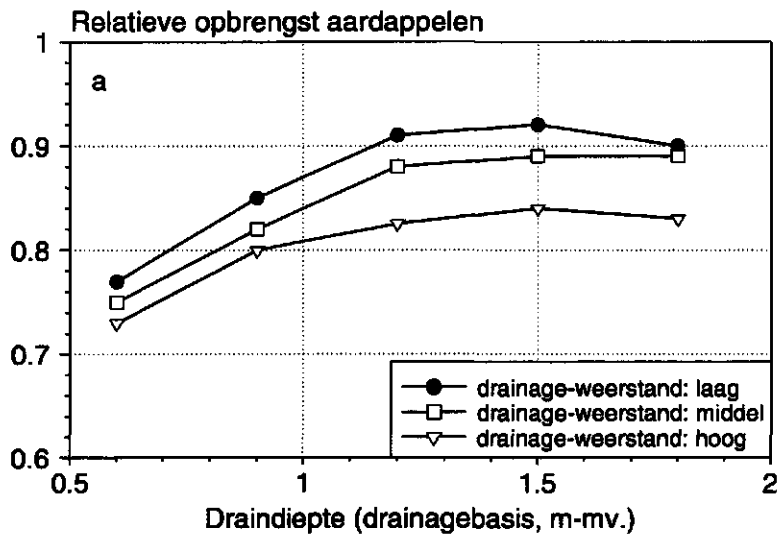


Fig. 9.3 Relatieve opbrengst in relatie tot de draindiepte (drainagebasis) voor een bodemprofiel bestaande uit matig lichte zavel (profielnr. 5); a: voor drie niveaus van de drainageweerstand, volgens Van Wijk et al. (1988); b: voor het lage niveau van de drainageweerstand in de bestaande situatie (huidige peil) en voor de situaties waarin het peil met 0,2 m is verhoogd resp. verlaagd, zonder aanpassing van de drainageweerstand (peilverandering werkt volledig door in de GHG en GLG)

Bij de verdere uitwerking is aangenomen dat het bouwland in peilgebied 623 in de bestaande situatie intensief is gedraineerd zodat de curve in fig. 9.3a voor de *lage* drainageweerstand van toepassing is. Het is belangrijk voor ogen te houden dat voor elk van de vijf punten op die curve een andere, op de drooglegging aangepaste, drainageweerstand (drainafstand) geldt. Immers, in Van Wijk et al. (1988) is uitgegaan van bepaalde ontwateringscriteria. Om daaraan te voldoen moet de drainafstand kleiner zijn (drains dichterbij elkaar gelegd) naarmate de drains minder diep liggen (dus naarmate de drooglegging kleiner is).

Fig. 8.3 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de *drooglegging*. Om een relatie te leggen met de *drainagebasis* is aangenomen dat de drains overal in het peilgebied 0,1 m boven zomerpeil liggen en uitmonden (zie par. 4.2). De drooglegging (DL) en draindiepte (DD) volgens dit uitgangspunt zijn voor elk van de elf onderscheiden deeloppervlakten opgenomen in tabel 9.5 (bestaande situatie, met zomerpeil op 1,0 m - NAP en drainagebasis op 0,9 m - NAP). Om de relatieve opbrengsten in de bestaande situatie te berekenen is uitgegaan van de curve in fig. 9.3a voor de *lage* drainageweerstand: de desbetreffende getallen in de tabel zijn verkregen via lineaire interpolatie. Uit de tabel blijkt dat de laagst gelegen 5% van de oppervlakte van het gebied een drooglegging van 0,68 m heeft en dat daarbij de relatieve opbrengst op nul is gesteld. Dat houdt verband met de aanname dat een draindiepte van 0,6 m - mv. voor akkerbouw minimaal is. Anders gezegd: bij een draindiepte <0,6 m (drooglegging <0,7 m) is akkerbouw uitgesloten.

### 9.3.2 Berekeningen voor de situaties bij peilverhoging en verlaging

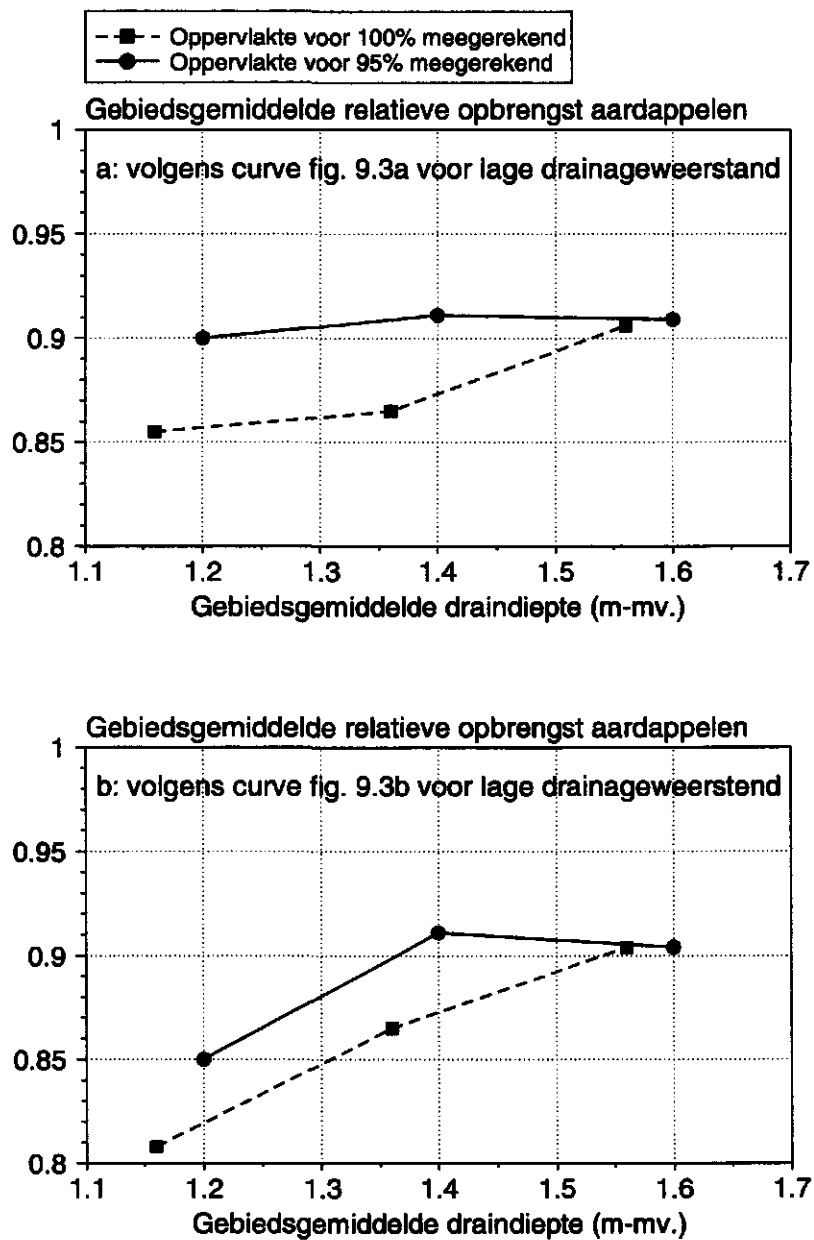
Naast berekeningen voor de bestaande situatie is óók gerekend voor situaties waarbij het peil met 0,2 m is verhoogd resp. verlaagd. Er is aangenomen dat de drainage op de nieuwe situatie wordt aangepast. Die aanpassing houdt in dat de draindiepte met 0,2 m wordt verkleind resp. vergroot zodat de drains 0,1 m boven de open-waterstand (zomerpeil) blijven uitmonden. Er zijn dan alsnog twee mogelijkheden die apart aandacht verdienen:

- de drainafstand blijft gelijk aan die in de bestaande situatie;
- de drainafstand wordt aangepast opdat blijvend aan de drainagecriteria volgens de bestaande situatie wordt voldaan (inhoudende dat de drainageweerstand wordt verlaagd door de drains dichterbij elkaar te leggen bij peilverhoging resp. wordt verhoogd door de drains verder uit elkaar te leggen bij peilverlaging).

Als de drainafstand *wèl* wordt aangepast blijft de curve voor de *lage* drainageweerstand volgens fig. 9.3a van toepassing. Voor het geval de drainafstand *niet* wordt aangepast is fig. 9.3b afgeleid via interpolatie en extrapolatie van de oorspronkelijke gegevens van Van Wijk et al. (1988). De curve in fig. 9.3b voor het huidige zomerpeil komt overeen met de curve in fig. 9.3a (voor de *lage* drainageweerstand). De twee andere curves in fig. 9.3b hebben betrekking op de situaties met verhoogde resp. verlaagde peilen waarop de *draindiepte wèl* maar de *drainafstand niet* is aangepast. Bij een peilverhoging van 0,2 m verschuift een punt met gegeven drooglegging in de bestaande situatie nu *niet* langs de curve die geldt voor het huidige zomerpeil maar verschuift naar links en verspringt naar de curve die geldt voor de peilverhoging met 0,2 m. Dat leidt dus tot een extra afname van de opbrengst ten opzichte van de situatie waarin zowel de draindiepte als de drainafstand zijn aangepast.

**Tabel 9.5 Gemiddelde drooglegging (DL), draindiepte (DD), en relatieve opbrengst (QR) voor aardappelen, in de bestaande situatie en voor situaties waarin het peil met 0,2 m is verhoogd resp. verlaagd, voor peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl); bij peilverhoging resp. verlaging is onderscheid gemaakt tussen de situaties waarin de drainafstand (en daarmee de drainageweerstand) niet (QRN) en wél (QRW) op de peilverandering is aangepast**

Oppervlakte aandeel (%)	DL (m)	DD (m-mv.)	QRN (-)	QRW (-)
<b>Zomerpeil tov bestaande situatie met 0,20 m verhoogd naar 0,8 m - NAP</b>				
<b>Drainagebasis op 0,7 m - NAP</b>				
0- 5	0,48	0,38	0,000	0,000
5- 10	0,82	0,72	0,748	0,829
10- 20	0,96	0,86	0,804	0,866
20- 30	1,07	0,97	0,820	0,884
30- 40	1,15	1,05	0,838	0,900
40- 50	1,20	1,10	0,850	0,910
50- 60	1,27	1,17	0,866	0,924
60- 70	1,32	1,22	0,866	0,914
70- 80	1,40	1,30	0,877	0,917
80- 90	1,51	1,41	0,891	0,920
90-100	2,09	1,99	0,893	0,900
<b>Gewogen gemiddelden:</b>				
- oppervlakte voor 100%:	1,26	1,16	0,808	0,855
- oppervlakte voor 95%:	1,30	1,20	0,850	0,900
- oppervlakte voor 90%:	1,33	1,23	0,856	0,904
<b>Bestaande situatie met zomerpeil op 1,0 m - NAP</b>				
<b>Drainagebasis op 0,9 m - NAP</b>				
0- 5	0,68	0,58		0,000
5- 10	1,02	0,92		0,874
10- 20	1,16	1,06		0,902
20- 30	1,27	1,17		0,912
30- 40	1,35	1,25		0,915
40- 50	1,40	1,30		0,917
50- 60	1,47	1,37		0,919
60- 70	1,52	1,42		0,921
70- 80	1,60	1,50		0,913
80- 90	1,71	1,61		0,906
90-100	2,29	2,19		0,900
<b>Gewogen gemiddelden:</b>				
- oppervlakte voor 100%:	1,46	1,36		0,865
- oppervlakte voor 95%:	1,50	1,40		0,911
- oppervlakte voor 90%:	1,53	1,43		0,913
<b>Zomerpeil tov bestaande situatie met 0,20 m verlaagd naar 1,2 m - NAP</b>				
<b>Drainagebasis op 1,1 m - NAP</b>				
0- 5	0,88	0,78	0,896	0,845
5- 10	1,22	1,12	0,921	0,914
10- 20	1,36	1,26	0,912	0,915
20- 30	1,47	1,37	0,907	0,919
30- 40	1,55	1,45	0,903	0,922
40- 50	1,60	1,50	0,903	0,913
50- 60	1,67	1,57	0,902	0,909
60- 70	1,72	1,62	0,901	0,905
70- 80	1,80	1,70	0,900	0,900
80- 90	1,91	1,81	0,900	0,900
90-100	2,49	2,39	0,900	0,900
<b>Gewogen gemiddelden:</b>				
- oppervlakte voor 100%:	1,66	1,56	0,904	0,906
- oppervlakte voor 95%:	1,70	1,60	0,904	0,906
- oppervlakte voor 90%:	1,73	1,63	0,903	0,909



*Fig. 9.4 Relatieve opbrengst in relatie tot de ligging van de drainagebasis (draandiepte), voor peilgebied 623 (proefgebied Roptazijl), voor de bestaande situatie (gebiedsgemiddelde draandiepte: 1,36 m over 100% van de oppervlakte resp. 1,40 m over 95% van de oppervlakte) en voor situaties waarin het peil is verhoogd of verlaagd met 0,2 m; a: met aanpassing van zowel de draandiepte als de drainafstand b: met alléén aanpassing van de draandiepte*

### 9.3.3 Resultaten voor peilgebied 623

Resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in tabel 9.5 en verwerkt in fig. 9.4.

Blijkens de tabel is in de bestaande situatie op 5% van de oppervlakte van het peilgebied geen akkerbouw mogelijk vanwege een te kleine drooglegging. Bij een *peilverhoging* van 0,2 m blijft de oppervlakte met een drooglegging <0,7 m (draindiepte <0,6 m) 5% van de totale oppervlakte. Bij een *peilverlaging* van 0,2 m wordt de drooglegging overal groter dan 0,7 m. Daardoor wordt dan akkerbouw mogelijk over de totale oppervlakte van het peilgebied.

Het al dan niet meerekenen van de laagst gelegen 5% van de oppervlakte van het gebied heeft een significante invloed op de berekende gebiedsgemiddelde opbrengst. Daarom is de opbrengst niet alleen berekend voor de totale gebiedsoppervlakte maar ook voor situaties waarin de laagst gelegen 5 resp. 10% van de oppervlakte niet zijn meegeteld. Zodoende is het mogelijk de huidige situatie te vergelijken met de situaties bij *peilverhoging* resp. *verlaging*, zonder dat verschillen in de oppervlakte waarop akkerbouw kan worden uitgeoefend het resultaat vertroebelen.

Blijkens fig. 9.4a leidt *peilverandering* met aanpassing van zowel de draindiepte als de drainafstand *niet* tot significante veranderingen in het opbrengstniveau als de laagst gelegen 5% van de gebiedsoppervlakte *niet* wordt meegerekend. Als die 5% *wèl* wordt meegerekend heeft *peilverhoging* weinig effect maar leidt *peilverlaging* tot een duidelijke toename van de oppervlaktegemiddelde opbrengst. Dat laatste is vrijwel geheel toe te schrijven aan het voor de akkerbouw in productie komen van die laagst gelegen 5% van het gebied.

Blijkens fig. 9.4b leidt *peilverhoging* *mèt* aanpassing van de draindiepte maar *zonder* aanpassing van de drainafstand tot een afname van de oppervlaktegemiddelde opbrengst met ca. 6%, zowel in de situatie waarin de gebiedsoppervlakte voor 95% wordt meegerekend als in de situatie waarin dat voor 100% het geval is. Bij *peilverlaging* spelen dezelfde effecten als eerder aangegeven voor fig. 9.3a: de oppervlaktegemiddelde opbrengst verandert nauwelijks als de 5% niet wordt meegewogen maar neemt toe met 4 à 5% als die 5% in productie komt.

### 9.3.4 Evaluatie voor peilgebied 623

De verschillen in drooglegging binnen peilgebied 623 zijn aanzienlijk maar minder groot dan binnen peilgebied 123. In de bestaande situatie heeft 95% van de oppervlakte een draindiepte van tenminste 0,9 m, bij een drooglegging van tenminste 1,0 m. De optimale draindiepte voor zavelgronden volgens tabel 3.2 is 1,05 à 1,20 m. Blijkens tabel 9.5 wordt het daartoe vereiste niveau van drooglegging over 75% van de oppervlakte van het peilgebied gehaald. Dieper draineren dan op 1,20 m geeft geen droogteschade van enige betekenis omdat het zavelprofiel blijkens fig. 9.3 nauwelijks droogtegevoelig is.

Peilverlaging zou tot verruiming van de mogelijkheden voor akkerbouw leiden doordat dan óók de laagste plekken in productie kunnen worden genomen. De minimale droogtegevoeligheid van het zavelprofiel waarmee gerekend is maakt dat peilverlaging nauwelijks tot een afname van de opbrengst als gevolg van een toename van de droogteschade leidt.

Bij peilverhoging komen de drains onder water te liggen, aannemende dat de drains in de bestaande situatie op 0,1 m boven zomerpeil uitmonden. Vooralsnog wordt aangenomen dat 'drains onder water' ongewenst is. Bij peilverhoging moet dus in ieder geval ondieper worden gedraineerd. Om een toename van de natschade in dat geval te voorkomen is het daarnaast noodzakelijk de drainageweerstand te verlagen door de drainafstand te verkleinen. Dat heeft uiteraard financiële gevolgen.

## **9.4 Peilgebieden 2301 en 2559 (Swettegebied)**

### **9.4.1 Berekeningen voor de peilgebieden 2301 en 2559**

Bij het vergelijken van fig. 8.4 met fig. 8.5 blijkt dat de drooglegging van peilgebied 2301 gemiddeld 0,3 m groter is dan die van peilgebied 2559 (zie ook tabel 8.1). Daarom is besloten om naast de bestaande situatie de volgende situaties met gewijzigd peil door te rekenen:

- peilgebied 2301: *peilverhoging* van 0,2 en 0,4 m, *peilverlaging* van 0,2 m;
- peilgebied 2559: *peilverhoging* van 0,2 m en *peilverlaging* van 0,2 m en 0,4 m.

Evenals voor peilgebied 123 gaat het bij het kwantificeren van de nat- en droogteschade voor beide peilgebieden om de volgende twee stappen:

- het vertalen van de drooglegging volgens fig. 8.4 en 8.5, dat wil zeggen van de indeling daarvan in de elf klassen, in GHG's en GLG's;
- het vertalen van GHG's en GLG's in natschade resp. droogteschade.

Voor het vertalen van de drooglegging DL in GHG's en GLG's kan in dit geval niet zonder meer gebruik gemaakt worden van de resultaten uit het onderzoek van Van Wijk et al. (1988). Die berekeningen hebben immers betrekking op bouwland en dus niet op het veenweidegebied. Daarom zijn GHG's op de volgende twee manieren berekend om de gevoeligheid van de natschade in beeld te brengen:

- op basis van resultaten van de modelberekeningen volgens Van Wijk et al. (1988) voor wat door hen is aangeduid als profielnr. 3: niet verbeterde veenkoloniale grond;
- op dezelfde wijze voor de bestaande situatie, met bij peilverhoging of verlaging *volledige* doorwerking van die peilverandering in de GHG's.

In het eerste geval is de volgende relatie afgeleid uit de gegevens van Van Wijk et al. (1988):

$$\text{GHG} = 0,27 \cdot \text{DL} + 0,10 \quad (9.3a)$$

Deze relatie is toegepast op zowel de huidige situatie als op de situaties waarin het peil met 0,20 en 0,40 m is verhoogd of verlaagd.

In het tweede geval is relatie (9.3a) alléén toegepast op de huidige situatie. Bij *peilverhoging* en *peilverlaging* zijn de bijbehorende GHG's berekend door de GHG's voor de bestaande situatie met 0,2 of 0,4 m te verkleinen of te vergroten. In feite is dat de meest extreme manier waarop peilveranderingen kunnen doorwerken in de GHG's. Wanneer via deze benadering bij peilverhoging negatieve GHG's worden berekend (freatisch niveau boven maaiveld) zijn die GHG's op nul gesteld. Deze situatie deed zich alléén voor bij peilgebied 2301 bij een peilverhoging van 0,4 m.

GLG's zijn in alle gevallen berekend op basis van de volgende empirische relaties, (gebaseerd op 'expert judgement' van Van Bakel):

$$\begin{aligned} \text{GLG} &= \text{DL} + 0,30 && \text{voor DL} < 0,6 \text{ m} \\ \text{GLG} &= 0,90 + (\text{DL} - 0,60)/2 && \text{voor } 0,6 < \text{DL} < 1,2 \text{ m} \quad (9.3b) \\ \text{GLG} &= \text{DL} && \text{voor DL} > 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

De tweede stap, dat wil zeggen het vertalen van GHG's en GLG's in nat- en droogteschades berust op de HELP-tabellen voor de desbetreffende HELP-profielen volgens tabel 8.2. Hierbij is weer gebruik gemaakt van het programmapakket BODEP (Voet, 1995).

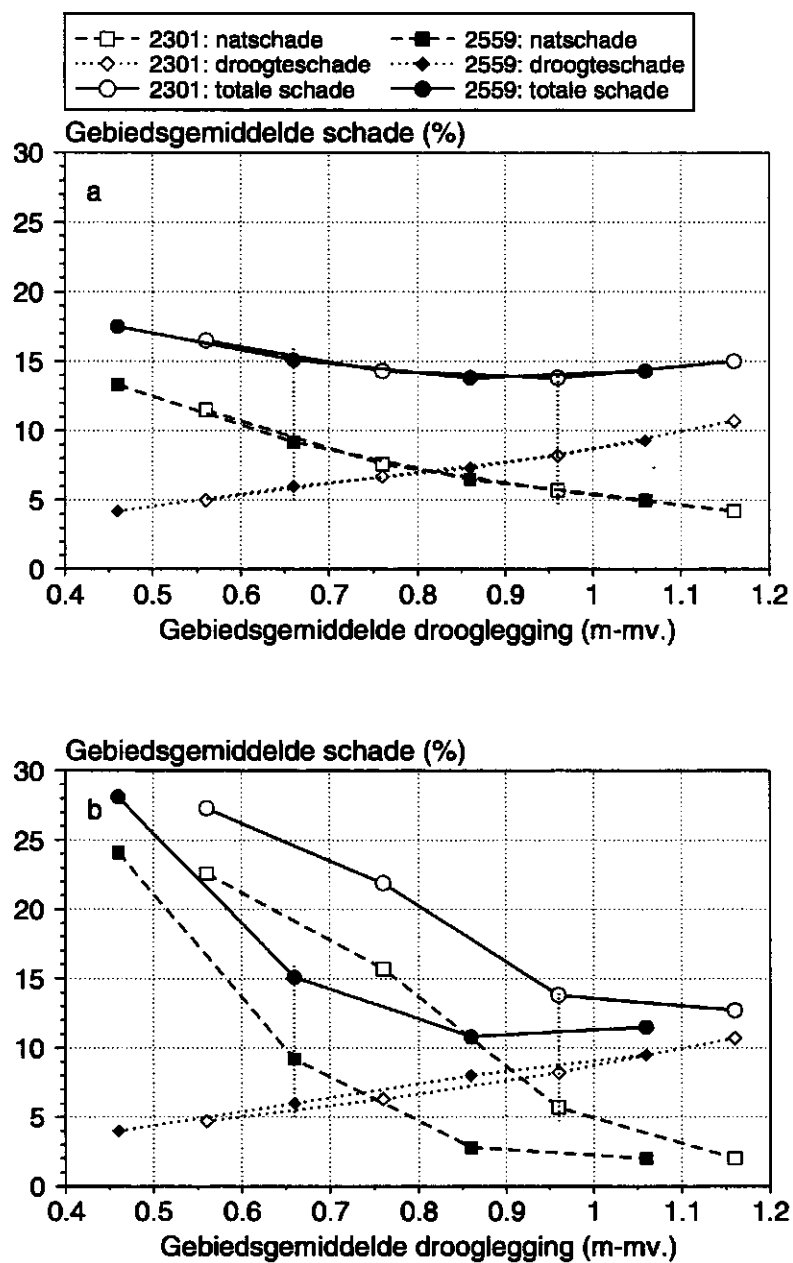
#### 9.4.2 Resultaten voor de peilgebieden 2301 en 2559

Gedetailleerde resultaten van de berekeningen zijn verwerkt in de tabellen 9.6 t/m 9.9:

- tabel 9.6 voor peilgebied 2301, bij doorwerking van de verandering van de drooglegging in de GHG's volgens relatie (9.3a) en in de GLG's volgens relatie (9.3b);
- tabel 9.7 voor peilgebied 2301, bij *volledige* doorwerking van verandering van de drooglegging in de GHG's en volgens relatie (9.3b) in de GLG's;
- tabel 9.8 voor peilgebied 2559, verder als tabel 9.6;
- tabel 9.9 voor peilgebied 2559, verder als tabel 9.7.

De gewogen gemiddelde schadepercentages voor de beide peilgebieden zijn verwerkt in fig. 9.5.

Peilgebied 2301 heeft in de bestaande situatie een gewogen gemiddelde drooglegging van 0,96 m en peilgebied 2559 van 0,66 m. Blijkens fig. 9.5a en de tabellen 9.6 en 9.8 is, ondanks het relatief grote verschil in drooglegging, het verschil in totale schade tussen de twee gebieden in de bestaande situatie zeer beperkt: 13,8% voor peilgebied 2301 tegenover 15,1% voor peilgebied 2559. In peilgebied 2301 is de natschade kleiner dan de droogteschade (5,7% tegenover 8,2%), in peilgebied 2559 is dat precies omgekeerd (9,2% tegenover 6,0%).



*Fig. 9.5 Gebiedsgemiddelde natschade, droogteschade en totale schade voor de peilgebieden 2301 en 2559 (proefgebied Swette), berekend voor de bestaande situatie (gebiedsgemiddelde drooglegging 0,96 m resp 0,66 m) en voor situaties waarin het peil is verhoogd of verlaagd met 0,2 m of 0,4 m; bij a: beperkte doorwerking van de peilveranderingen op GHG's en GLG's en bij b: volledige doorwerking*



Tabel 9.6 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 2301 (proefgebied Swette); GHG's berekend met relatie (9.3a), GLG's berekend met relatie (9.3b)

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,40 m verhoogd naar 1,40 m - NAP</b>						
0- 5	0,30	0,18	17	0,60	3	20
5- 10	0,36	0,19	16	0,66	3	19
10- 20	0,41	0,21	15	0,71	3	18
20- 30	0,46	0,22	14	0,76	4	18
30- 40	0,50	0,23	13	0,80	5	18
40- 50	0,53	0,24	12	0,83	5	17
50- 60	0,56	0,25	11	0,86	5	16
60- 70	0,59	0,26	9	0,89	6	15
70- 80	0,63	0,27	9	0,92	6	15
80- 90	0,70	0,29	8	0,95	6	14
90- 100	0,90	0,34	6	1,05	7	13
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>11,4</b>		<b>5,0</b>	<b>16,4</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verhoogd naar 1,60 m - NAP</b>						
0- 5	0,50	0,23	13	0,80	5	18
5- 10	0,56	0,25	11	0,86	5	16
10- 20	0,61	0,26	9	0,91	6	15
20- 30	0,66	0,28	8	0,93	6	14
30- 40	0,70	0,29	8	0,95	6	14
40- 50	0,73	0,30	7	0,97	7	14
50- 60	0,76	0,30	7	0,98	7	14
60- 70	0,79	0,31	7	1,00	7	14
70- 80	0,84	0,32	7	1,02	7	14
80- 90	0,90	0,34	6	1,05	7	13
90- 100	1,10	0,40	5	1,15	9	14
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>7,6</b>		<b>6,7</b>	<b>14,3</b>
<b>Bestaande situatie met peil op 1,80 m - NAP</b>						
0- 5	0,70	0,29	8	0,95	6	14
5- 10	0,76	0,30	7	0,98	7	14
10- 20	0,81	0,32	7	1,01	7	14
20- 30	0,86	0,33	6	1,03	7	13
30- 40	0,90	0,34	6	1,05	7	13
40- 50	0,93	0,35	6	1,07	8	14
50- 60	0,96	0,36	6	1,08	8	14
60- 70	0,99	0,37	5	1,10	8	13
70- 80	1,04	0,38	5	1,12	8	13
80- 90	1,10	0,40	5	1,15	9	14
90- 100	1,30	0,45	3	1,30	13	16
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>5,7</b>		<b>8,2</b>	<b>13,8</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verlaagd naar 2,00 m - NAP</b>						
0- 5	0,90	0,34	6	1,05	7	13
5- 10	0,96	0,36	6	1,08	8	14
10- 20	1,01	0,37	5	1,11	8	13
20- 30	1,06	0,39	5	1,13	9	14
30- 40	1,10	0,40	5	1,15	9	14
40- 50	1,13	0,40	5	1,17	10	15
50- 60	1,16	0,41	4	1,18	10	14
60- 70	1,19	0,42	4	1,20	11	15
70- 80	1,23	0,43	4	1,23	11	15
80- 90	1,30	0,45	3	1,30	13	16
90- 100	1,50	0,50	2	1,50	18	20
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>4,3</b>		<b>10,7</b>	<b>15,0</b>

Tabel 9.7 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 2301 (proefgebied Swette); bij volledige doorwerking van verandering van de drooglegging (DL) in GHG's; GLG's berekend met relatie (9.3b)

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,40 m verhoogd naar 1,40 m - NAP</b>						
0- 5	0,30	0,00	28	0,60	3	31
5- 10	0,36	0,00	28	0,66	3	31
10- 20	0,41	0,00	28	0,71	3	31
20- 30	0,46	0,00	28	0,76	4	32
30- 40	0,50	0,00	28	0,80	4	32
40- 50	0,53	0,00	19	0,83	4	23
50- 60	0,56	0,00	19	0,86	5	24
60- 70	0,59	0,00	19	0,89	5	24
70- 80	0,63	0,00	19	0,92	6	25
80- 90	0,70	0,00	19	0,95	6	25
90- 100	0,90	0,05	19	1,05	7	26
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>22,6</b>		<b>4,7</b>	<b>27,3</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verhoogd naar 1,60 m - NAP</b>						
0- 5	0,50	0,09	24	0,80	4	28
5- 10	0,56	0,10	21	0,86	5	26
10- 20	0,61	0,12	19	0,91	5	24
20- 30	0,66	0,13	18	0,93	6	24
30- 40	0,70	0,14	17	0,95	6	23
40- 50	0,73	0,15	16	0,97	6	22
50- 60	0,76	0,16	15	0,98	6	21
60- 70	0,79	0,17	15	1,00	6	21
70- 80	0,84	0,18	13	1,02	7	20
80- 90	0,90	0,20	12	1,05	7	19
90- 100	1,10	0,25	9	1,15	9	18
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>15,7</b>		<b>6,3</b>	<b>21,9</b>
<b>Bestaande situatie met peil op 1,80 m - NAP</b>						
0- 5	0,70	0,29	8	0,95	6	14
5- 10	0,76	0,30	7	0,98	7	14
10- 20	0,81	0,32	7	1,01	7	14
20- 30	0,86	0,33	6	1,03	7	13
30- 40	0,90	0,34	6	1,05	7	13
40- 50	0,93	0,35	6	1,07	8	14
50- 60	0,96	0,36	6	1,08	8	14
60- 70	0,99	0,37	5	1,10	8	13
70- 80	1,04	0,38	5	1,12	8	13
80- 90	1,10	0,40	5	1,15	9	14
90- 100	1,30	0,45	3	1,30	13	16
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>5,7</b>		<b>8,2</b>	<b>13,8</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verlaagd naar 2,00 m - NAP</b>						
0- 5	0,90	0,49	2	1,05	8	10
5- 10	0,96	0,50	2	1,08	8	10
10- 20	1,01	0,52	2	1,11	8	10
20- 30	1,06	0,53	2	1,13	9	11
30- 40	1,10	0,54	2	1,15	9	11
40- 50	1,13	0,55	2	1,17	10	12
50- 60	1,16	0,56	2	1,18	10	12
60- 70	1,19	0,57	2	1,20	11	13
70- 80	1,23	0,58	2	1,23	11	13
80- 90	1,30	0,60	2	1,30	13	15
90- 100	1,50	0,65	2	1,50	18	20
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>2,0</b>		<b>10,7</b>	<b>12,7</b>

**Tabel 9.8 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 2559 (proefgebied Swette); GHG's berekend met relatie (9.3a), GLG's berekend met relatie (9.3b)**

Oppervlakte-aandeel	DL	GHG	Wa	GLG	Dr	Wa+Dr
(%)	(m)	(m-mv.)	(%)	(m-mv.)	(%)	(%)
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verhoogd naar 1,30 m - NAP</b>						
0- 5	0,23	0,16	18	0,53	3	21
5- 10	0,27	0,17	18	0,57	3	21
10- 20	0,31	0,18	17	0,61	3	20
20- 30	0,36	0,20	16	0,66	3	19
30- 40	0,41	0,21	15	0,71	3	18
40- 50	0,46	0,22	14	0,76	4	18
50- 60	0,49	0,23	13	0,79	4	17
60- 70	0,52	0,24	12	0,82	5	17
70- 80	0,56	0,25	11	0,86	5	16
80- 90	0,60	0,26	9	0,90	6	15
90- 100	0,73	0,29	8	0,96	6	14
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>13,3</b>		<b>4,2</b>	<b>17,5</b>
<b>Bestaande situatie met peil op 1,50 m - NAP</b>						
0- 5	0,43	0,21	15	0,73	3	18
5- 10	0,47	0,23	14	0,77	4	18
10- 20	0,51	0,24	12	0,81	5	17
20- 30	0,56	0,25	11	0,86	5	16
30- 40	0,61	0,26	9	0,91	6	15
40- 50	0,66	0,28	9	0,93	6	15
50- 60	0,69	0,28	8	0,95	6	14
60- 70	0,72	0,29	8	0,96	6	14
70- 80	0,76	0,30	7	0,98	7	14
80- 90	0,80	0,31	7	1,00	7	14
90- 100	0,93	0,35	6	1,06	8	14
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>9,2</b>		<b>6,0</b>	<b>15,1</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verlaagd naar 1,70 m - NAP</b>						
0- 5	0,63	0,27	9	0,91	6	15
5- 10	0,67	0,28	8	0,94	6	14
10- 20	0,71	0,29	8	0,96	6	14
20- 30	0,76	0,30	7	0,98	7	14
30- 40	0,81	0,32	7	1,01	7	14
40- 50	0,86	0,33	6	1,03	7	13
50- 60	0,89	0,34	6	1,05	7	13
60- 70	0,92	0,35	6	1,06	8	14
70- 80	0,96	0,36	6	1,08	8	14
80- 90	1,00	0,37	5	1,10	8	13
90- 100	1,13	0,40	5	1,16	9	14
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>6,5</b>		<b>7,3</b>	<b>13,8</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,40 m verlaagd naar 1,90 m - NAP</b>						
0- 5	0,83	0,32	7	1,01	7	14
5- 10	0,87	0,33	6	1,04	7	13
10- 20	0,91	0,34	6	1,06	8	14
20- 30	0,96	0,36	6	1,08	8	14
30- 40	1,01	0,37	5	1,11	8	13
40- 50	1,06	0,38	5	1,13	9	14
50- 60	1,09	0,39	5	1,15	9	14
60- 70	1,12	0,40	5	1,16	9	14
70- 80	1,16	0,41	4	1,18	10	14
80- 90	1,20	0,42	4	1,20	11	15
90- 100	1,33	0,46	3	1,33	14	17
<b>Gebiedsgemiddeld schade</b>			<b>5,0</b>		<b>9,3</b>	<b>14,3</b>

**Tabel 9.9 Gemiddelde drooglegging (DL), GHG, natschade (Wa), GLG, droogteschade (Dr) en totale schade (Wa+Dr), per oppervlakte-aandeel (%), voor peilgebied 2559 (proefgebied Swette); bij volledige doorwerking van verandering van de drooglegging (DL) in GHG's; GLG's berekend met relatie (9.3b)**

Oppervlakte-aandeel (%)	DL (m)	GHG (m-mv.)	Wa (%)	GLG (m-mv.)	Dr (%)	Wa+Dr (%)
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verhoogd naar 1,30 m - NAP</b>						
0- 5	0,23	0,01	28	0,53	3	31
5- 10	0,27	0,03	28	0,57	3	31
10- 20	0,31	0,04	28	0,61	3	31
20- 30	0,36	0,05	28	0,66	3	31
30- 40	0,41	0,06	27	0,71	3	30
40- 50	0,46	0,08	26	0,76	4	30
50- 60	0,49	0,08	25	0,79	4	29
60- 70	0,52	0,09	22	0,82	4	26
70- 80	0,56	0,10	21	0,86	5	26
80- 90	0,60	0,11	20	0,90	5	25
90- 100	0,73	0,15	16	0,96	6	22
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>24,1</b>		<b>4,0</b>	<b>28,1</b>
<b>Bestaande situatie met zomerpeil op 1,50 m - NAP</b>						
0- 5	0,43	0,21	15	0,73	3	18
5- 10	0,47	0,23	14	0,77	4	18
10- 20	0,51	0,24	12	0,81	5	17
20- 30	0,56	0,25	11	0,86	5	16
30- 40	0,61	0,26	9	0,91	6	15
40- 50	0,66	0,28	9	0,93	6	15
50- 60	0,69	0,28	8	0,95	6	14
60- 70	0,72	0,29	8	0,96	6	14
70- 80	0,76	0,30	7	0,98	7	14
80- 90	0,80	0,31	7	1,00	7	14
90- 100	0,93	0,35	6	1,06	8	14
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>9,2</b>		<b>6,0</b>	<b>15,1</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,20 m verlaagd naar 1,70 m - NAP</b>						
0- 5	0,63	0,41	4	0,91	7	11
5- 10	0,67	0,43	4	0,94	7	11
10- 20	0,71	0,44	4	0,96	7	11
20- 30	0,76	0,45	3	0,98	8	11
30- 40	0,81	0,46	3	1,01	8	11
40- 50	0,86	0,48	3	1,03	8	11
50- 60	0,89	0,48	3	1,05	8	11
60- 70	0,92	0,49	2	1,06	8	10
70- 80	0,96	0,50	2	1,08	8	10
80- 90	1,00	0,51	2	1,10	8	10
90- 100	1,13	0,55	2	1,16	10	12
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>2,8</b>		<b>8,0</b>	<b>10,8</b>
<b>Peil tov bestaande situatie met 0,40 m verlaagd naar 1,90 m - NAP</b>						
0- 5	0,83	0,61	2	1,01	8	10
5- 10	0,87	0,63	2	1,04	8	10
10- 20	0,91	0,64	2	1,06	8	10
20- 30	0,96	0,65	2	1,08	8	10
30- 40	1,01	0,66	2	1,11	8	10
40- 50	1,06	0,68	2	1,13	9	11
50- 60	1,09	0,68	2	1,15	9	11
60- 70	1,12	0,69	2	1,16	10	12
70- 80	1,16	0,70	2	1,18	10	12
80- 90	1,20	0,71	2	1,20	11	13
90- 100	1,33	0,75	2	1,33	14	16
<b>Gebiedsgemiddelde schade</b>			<b>2,0</b>		<b>9,5</b>	<b>11,5</b>

Bij het vergelijken van fig. 9.3a en 9.3b blijkt dat de manier waarop een verandering van drooglegging doorwerkt in de GHG van grote invloed is op het resultaat. De situatie is vergelijkbaar met het beschrevene in par. 9.3.2. De situatie waarbij de verandering in drooglegging *volledig* doorwerkt in de GHG moet gezien worden als benadering van de situatie waarin de slootafstand en begreppeling *niet* op de verandering in drooglegging wordt aangepast. Peilverhoging geeft dan een relatief grote toename van de natschade. De situatie met *beperkte* doorwerking van de verandering in drooglegging op de GHG benadert de situatie waarbij de ontwatering *wèl* wordt aangepast, door de sloot- en greppelafstand bij peilverhoging te verkleinen en/of door andere maatregelen die de ontwatering bevorderen (omgekeerd ook: door de sloot- en greppelafstand te *vergroten* bij peilverlaging!).

### 9.4.3 Evaluatie voor de peilgebieden 2301 en 2559

In de bestaande situatie zijn de verschillen in schadepercentages tussen de peilgebieden 2301 en 2559 zoals eerder opgemerkt relatief klein, ondanks het relatief grote verschil in drooglegging. Dat lijkt met elkaar in tegenspraak en stemt ook niet overeen met de praktijkervaring. De beperkingen van de methode waarmee de schadepercentages zijn bepaald doen zich hier duidelijk voelen. Die beperkingen betreffen speciaal de bruikbaarheid van de relaties tussen drooglegging en GHG resp. GLG, dat wil zeggen de bruikbaarheid van de relaties (9.3a) en (9.3b). Die relaties impliceren dat de drainage-intensiteit op de drooglegging is afgestemd, inhoudende dat de sloot- en greppelafstanden in peilgebied 2559 kleiner zijn dan in peilgebied 2301. Of dat in werkelijkheid ook het geval is is niet onderzocht maar op zijn minst twijfelachtig.

Ook bij *peilverandering* speelt dit punt een rol. Praktische mogelijkheden tot het intensiveren van de drainage bij peilverhoging, zoals in het zand- en kleigebied, ontbreken hier zodat het realistischer is uit te gaan van de relaties volgens fig. 9.5b en van de getallen in de tabellen 9.7 en 9.9 als het gaat om de toename van de natschade resp. afname van de droogteschade.

Volgens tabel 9.7 neemt de gebiedsgemiddelde natschade voor peilgebied 2301 bij een peilverhoging van 0,2 m toe van 5,7% naar 15,7%. Daartegenover staat een beperkte afname van de droogteschade zodat per saldo de *totale* schade toeneemt van 13,8% naar 21,9%, dat wil zeggen met 8,1%. Dit percentage is uiteindelijk gebaseerd op de aanname dat de peilverhoging van 0,2 m volledig doorwerkt in de GHG. Anders gezegd: het is de maximaal mogelijke toename van de gebiedsgemiddelde schade. Overigens blijkt uit tabel 9.7 dat de toename van de natschade en totale schade op de laagst gelegen en dus natste plekken nog beduidend groter is dan de toename van de gebiedsgemiddelde schade.

Een peilverlaging van 0,2 m resulteert voor peilgebied 2301 in een gebiedsgemiddelde drooglegging van 1,16 m. Volgens de tabel 9.7 is het effect effect daarvan erg beperkt als het gaat om de *gebiedsgemiddelde* schadepercentages. Op de laagst gelegen plekken is de afname van de natschade groter dan de toename van de droogteschade. Op de hoogst gelegen plekken daarentegen is de toename van de droogteschade groter dan de afname van de natschade.

Voor peilgebied 2559 zou een *peilverhoging* van 0,2 m bij volledige doorwerking in de GHG volgens tabel 9.9 leiden tot een toename van de totale schade met 13% (van 15,1% naar 28,1%). Ook hier betreft het weer de maximaal mogelijke toename. Een *peilverlaging* met 0,2 m leidt voor dit gebied tot een daling van de natschade met 6,4% en een toename van de droogteschade met 2,0%. De totale schade daalt daardoor van 15,1% naar 10,8%.

## **10 Discussie, conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

### **10.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk worden allereerst de drie in par. 2.1 geformuleerde vragen beantwoord. Die beantwoording is uitgewerkt in par. 10.2. Vervolgens wordt in par. 10.3 ingegaan op de in Fryslân gangbare normen voor de drooglegging en afwatering en op de beperkingen van de methoden die in dit onderzoek zijn toegepast om de nat- en droogteschade voor de landbouw te kwantificeren. Dat is noodzakelijk om een en ander in het juiste perspectief te plaatsen en om daarna in par. 10.4 in te kunnen gaan op de betekenis van de resultaten voor de provincie en op de vraag: Hoe nu verder?

De analyse van de situatie met betrekking tot de landbouwwaterhuishouding in Fryslân is beperkt gebleven tot een viertal peilgebieden. De algemene geldigheid van de conclusies voor het (dek)zandgebied, het kleibouwlandgebied en het veenweidegebied wordt dus bepaald door het antwoord op de vraag in hoeverre de vier peilgebieden representatief zijn voor het landelijk gebied binnen de provinciegrenzen. Om die reden is enige reserve ten aanzien van de algemene geldigheid van de conclusies op zijn plaats.

### **10.2 Beantwoording van de vraagstelling**

Het onderzoek dat in dit rapport is beschreven, moet een bijdrage leveren aan het door de provincie op te stellen tweede waterhuishoudingsplan waarin onder meer aandacht besteed zal worden aan het gewenste waterbeheer. Daarbij staan de drie vragen, geformuleerd in par. 1.2, centraal. Voor zover mogelijk worden die vragen nu beantwoord.

#### *1. Hoe verhoudt het huidige peilbeheer in Fryslân zich tot wat voor de landbouw gewenst is?*

Het huidige peilbeheer komt neer op het instellen en handhaven van zomer- en winterpeilen en is daarmee in feite de meest simpele vorm van dynamisch peilbeheer. De vraag in hoeverre dat peilbeheer leidt tot de voor de landbouw gewenste situatie komt neer op de vraag in hoeverre de drooglegging in de bestaande situatie voor de landbouw optimaal is.

Om die vraag te beantwoorden zijn in eerste instantie de waterkwantiteits-beheersplannen van de elf voormalige waterschappen op dit onderdeel globaal bekeken. Daarbij blijkt dat de waterschappen over het algemeen de normen volgen die zijn gehanteerd bij het opstellen van de diverse ruilverkavelingsplannen, plannen voor A2-werken en herinrichtingsplannen. Het gaat veelal om normen zoals opgenomen in het Cultuurtechnisch Vademecuum. Wèl valt op dat er een zeker verloop in de droogleggingsnormen is. In de oudste ruilverkavelingsplannen is sprake van een tamelijk geringe drooglegging, dan volgt een periode met grotere

droogleggingen in de jaren zeventig en tachtig, terwijl daarna weer een tendens merkbaar is om de drooglegging enigszins te beperken.

Voor het veenweidegebied in het lage midden van Fryslân wijken de droogleggingsnormen volgens de waterkwantiteitsbeheersplannen van de desbetreffende waterschappen duidelijk af van de landelijke norm voor veenweidegebieden. Sinds het uitkomen van het advies van de Centrale Landinrichtingscommissie in 1991 (par. 4.4) is de landelijke droogleggingsnorm voor dit type gebieden 0,6 m, resulterend in grondwatertrap Gt II\*. In recente plannen voor peilaanpassing in het lage veenweidegebied van Fryslân wordt een droogleggingsnorm van 0,8 à 0,9 m aangehouden, resulterend in Gt III en III\*, wellicht zelfs in Gt IV (tabel 2.1).

In tweede instantie wordt ingegaan op de resultaten van de gedetailleerde analyse van de waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw in de vier geselecteerde peilgebieden, voor zover de toegepaste methoden van onderzoek dat toelaten. Voor drie van de vier gebieden benadert de bestaande drooglegging de landbouwkundig gezien optimale situatie, inhoudende dat de *gewogen gebiedsgemiddelde* som van de nat- en droogteschadepercentages bij benadering minimaal is. Dat geldt voor:

- peilgebied 123 in het dekzandgebied (gebied Meersloot) met een gemiddelde drooglegging van 1,30 m (50-percentielwaarde van de drooglegging: 1,21 m);
- peilgebied 623 in het kleigebied (gebied Roptazijl) met een gemiddelde drooglegging van 1,44 m (50-percentielwaarde van de drooglegging: 1,41 m);
- peilgebied 2301 in het veenweidegebied (Swettegebied) met een gemiddelde drooglegging van 0,96 m (50-percentielwaarde van de drooglegging: 0,94 m).

Voor peilgebied 2559, het andere peilgebied in het veenweidegebied, is de gemiddelde drooglegging met 0,66 m duidelijk beperkt. Dat niveau van drooglegging is voor de landbouw *niet* optimaal maar ligt wél goed in lijn met het landelijk beleid dienaangaande als besproken in par. 4.4.

De conclusie dat de voor de landbouw optimale drooglegging redelijk dicht wordt benaderd, verdient enige nuancering. Met nadruk wordt opgemerkt dat het gaat om de som van de *langjarig gemiddelde* nat- en droogteschadepercentages en om *gewogen gebiedsgemiddelde* percentages. Het eerstgenoemde aspect betreft beperkingen van de toegepaste methoden waarmee de nat- en droogteschades zijn berekend. Hierop wordt in par. 10.3 teruggekomen. Wat het tweede aspect betreft, wordt erop gewezen dat de verdeling van het landelijk gebied binnen de provinciegrenzen in aparte peilgebieden in belangrijke mate is afgestemd op de hoogteligging van het maaiveld, resulterend in een groot aantal peilgebieden. Toch zijn de resterende verschillen in maaiveldshoogte binnen peilgebieden nog aanzienlijk en daarmee in sterke mate bepalend voor de landbouwkundige mogelijkheden en beperkingen. Anders gezegd: een verdere opsplitsing van het landelijk gebied in aparte peilgebieden op basis van verschillen in maaiveldshoogte biedt perspectieven als het gaat om het verder optimaliseren van de waterhuishoudkundige situatie voor de landbouw. Daarbij kunnen zowel peilverhogingen ter beperking van de droogteschade als peilverlagingen ter beperking van de natschade aan de orde zijn.



## **2. Wat zijn de gevolgen van het hanteren van hogere peilen voor de landbouw?**

In dit rapport worden overwegingen gegeven en methoden aangereikt om per peilvak de gevolgen van peilverhogingen of verlagingen voor de landbouw te kwantificeren. De vraag heeft speciaal betrekking op *peilverhogingen*. Uit de berekeningen voor de vier peilgebieden blijkt dat de gevolgen van een peilverhoging in de orde van 0,2 m voor peilvak 123 in het zandgebied leidt tot een toename van natschade en een afname van de droogteschade. Per saldo neemt de gewogen peilvakgemiddelde totale schade daarbij toe met 2 à 3% (tabellen 9.2 en 9.4). Voor het peilvak 623 in het kleigebied heeft een peilverhoging van 0,2 m een toename van de totale schade met ca. 6% tot gevolg (tabel 9.5).

Met nadruk wordt nogmaals opgemerkt dat het gaat om gewogen *gebiedsgemiddelde* percentages, waarbij een toename van de natschade en een afname van de droogteschade elkaar grotendeels of zelfs vrijwel volledig kunnen compenseren. Op de laagst gelegen plekken echter leiden peilverhogingen al snel tot een toename van de natschade ter plaatse die maar zeer ten dele wordt gecompenseerd door een afname van de droogteschade. Omgekeerd kan op de hoogste plekken de afname van de droogteschade juist groter zijn dan de toename van de natschade op de hoogst gelegen plekken. Met andere woorden: het rekenen met *gebiedsgemiddelde* percentages is misleidend als het gaat om het beoordelen van de gevolgen van peilverhogingen voor individuele agrariërs.

Uit de resultaten van de berekeningen voor de vier voorbeeldpeilgebieden kan in ieder geval worden geconcludeerd dat de gevolgen van peilverhoging sterk afhankelijk zijn van de mogelijkheid om de ontwateringssituatie aan te passen door het verhogen van de drainage-intensiteit. Ook een verandering in grondgebruik op de laagstgelegen plekken of het verkleinen van peilvakken kunnen als effectbeprekende maatregelen dienen.

Het concrete antwoord op de vraag is dat, uitgaande van het huidige bodemgebruik en de bestaande indeling in peilgebieden, peilverhogingen in Fryslân nadelig uitpakken voor de landbouw, uitzonderingssituaties daargelaten. De directe effecten op het opbrengstniveau in termen van een toename van de natschade kunnen binnen zekere grenzen worden ondervangen door intensivering van de drainage. Dat vereist extra investeringen en leidt dus uiteindelijk tot hogere productiekosten.

## **3. Wat zijn de mogelijkheden in Fryslân voor het voeren van dynamisch peilbeheer?**

De nieuwe filosofie voor het waterbeheer vanuit het project WATERNOOD (Projectgroep WATERNOOD, 1998) is 'grondwater als leidraad'. Impliciet of expliciet houdt dit in dat het peilbeheer wordt afgestemd op de actuele hydrologische situatie, door het vergelijken van de actuele met de gewenste grondwaterstand. Deze vorm van actief peilbeheer is alléén zinvol als de grondwaterstand zich in zekere mate laat regelen via de open-waterstand. Afgezien van de voorwaarde dat er mogelijkheden tot aanvoer van water zijn moet óók aan de volgende twee voorwaarden worden voldaan:

- de open-waterstand is binnen zekere grenzen regelbaar;
- er is voldoende interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwater.

De regelbaarheid van de open-waterstand in een beheerseenheid hangt in de eerste plaats af van de aanwezige kunstwerken (gemalen, stuwen en inlaatwerken) en van de diepte van de waterlopen. Bijkomende aspecten zijn de onderhoudstoestand (tijdig maaien en schonen) van waterlopen en de aanwezigheid van zekere beperkingen, bijvoorbeeld de eis dat drains *niet* onder water komen te liggen of dat bepaalde peilen niet over- of onderschreden worden in verband met de stabiliteit van dijken, kaden of funderingen. Voor opnieuw in te richten gebieden kan het waterlopenstelsel uiteraard op maat worden gemaakt. Daarbij geldt altijd dat voor een rendabele investering gebruik moet worden gemaakt van het bestaande stelsel dat dan hooguit in afmetingen wordt aangepast.

Dit alles in ogenschouw nemend, geldt voor de Friese situatie dat dynamisch peilbeheer in het kleibouwlandgebied en het veenweidegebied voornamelijk weinig zinvol lijkt. Voor het zandgebied is het perspectief sterk afhankelijk van het profiterend oppervlak per regelbaar kunstwerk, dus met name van de topografie. Overigens kunnen ook andere motieven dan de zuiver landbouwkundige een rol spelen. Zo kan het bijvoorbeeld gaan om het al dan niet aanvoeren van gebiedsvreemd water, om het op peil houden van de grondwaterstand in bufferzones nabij natuurgebieden, om de verziltingsbestrijding door beperking van de kwel via peilverhoging en doorspoeling en om het beregenen vanuit oppervlaktewater. Alleen via een gebiedsgerichte analyse, waarbij ook modelmatig aan de effecten van dynamisch peilbeheer wordt gerekend, zal een meer concreet antwoord op de gestelde vraag kunnen worden gegeven.

### **10.3 Beperkingen van huidige normen en methoden voor het kwantificeren van de landbouwschade**

Normen voor de *afwatering* en *drooglegging* zijn opgenomen in de waterkwantiteits-beheersplannen van de elf voormalige waterschappen in de provincie. Wat betreft de *afwatering* worden de desbetreffende richtlijnen aangeduid als *afvoernormen* of *maatgevende afvoernormen* en uitgedrukt in  $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ . Volgens de terminologie van de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988) gaat het om de *afvoerintensiteit*, ook wel *specifieke afvoer*, als gedefiniëerd in par. 5.1. Die terminologie wordt hier verder gebezigd.

In genoemde beheersplannen wordt bij het ontwerpen van leidingen en bijbehorende kunstwerken onderscheid gemaakt tussen vrij afstromende en bemalen gebieden. Voor de vrij afstromende hoger gelegen zandgebieden wordt gerekend met afvoerintensiteiten uiteenlopend van 0,5 tot  $1,20 l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$  (4,3 tot  $10,4 mm \cdot d^{-1}$ ), voor de lager gelegen bemalen klei- en veengebieden met intensiteiten van 1,00 tot  $1,33 l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$  (8,6 à  $11,5 mm \cdot d^{-1}$ ). Deze afvoerintensiteiten voor de klei- en veengebieden zijn lager dan de richtlijn van  $1,33$  à  $1,67 l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$  (11,5 à  $14,4 mm \cdot d^{-1}$ ) van de Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988) (par. 5.2). De praktijk is echter dat bij het ontwerpen van waterlopenstelsels en kunstwerken in Fryslân wordt uitgegaan van de richtlijnen van genoemde werkgroep. Dit betekent dus dat met hogere intensiteiten wordt gerekend dan in de waterkwantiteits-beheersplannen van de waterschappen aangeven.

De *droogleggingsnormen* liggen in het verlengde van de normen volgens het Cultuurtechnisch Vademecum, waarbij een zeker verloop over de afgelopen decennia valt te constateren, als aangegeven in de voorgaande paragraaf. Verdere kenmerken van de droogleggingsnormen in de beheersplannen van de waterschappen zijn als volgt:

- de normen zijn eenduidig en strak, dat wil zeggen bestaan uit één enkel getal;
- de normen zijn gekoppeld aan de grondsoort waarbij de zaak wordt vereenvoudigd tot het onderscheid tussen zand-, zavel-, klei en veengrond, soms met een verder onderscheid tussen de boven- en ondergrond;
- er is geen duidelijkheid hoe met verschillen in maaiveldshoogte binnen peilgebieden wordt omgegaan (de praktijk waarbij de drooglegging wordt afgestemd op de natste plekken is een gangbare werkwijze om dit probleem te omzeilen);
- er is geen duidelijkheid in hoeverre tijdelijk, bijvoorbeeld in de periode buiten het groeiseizoen, afwijkingen van de droogleggingsnorm toelaatbaar zijn.

Ook de in dit onderzoek toegepaste methoden om de nat- en droogteschade of het opbrengstniveau bij landbouwkundig grondgebruik te kwantificeren hebben beperkingen. Voor grasland is de HELP-methode toegepast, voor bouwland is gebruik gemaakt van de resultaten van modelberekeningen volgens Van Wijk et al. (1988), verder aangeduid als de methode Van Wijk. Beide methoden vertonen veel overeenkomst en daarom worden de beperkingen hier verder alléén beschreven in termen van de HELP-methode.

Als het gaat om de schadebepaling op gebiedsniveau wordt bij het toepassen van de HELP-methode uitgegaan van alléén de volgende gebiedsspecifieke gegevens:

- de topografische kaart 1 : 50 000 ter bepaling van het bodemgebruik;
- de bodemkaart 1 : 50 000 of gedetailleerder;
- gegevens over de maaiveldshoogte (waaruit de drooglegging wordt afgeleid);

Het gebruik van Gt-gegevens volgens de bodemkaart voor het vaststellen van GHG's en GLG's geeft problemen omdat de desbetreffende bodemkarteringen in Fryslân zo'n 20 jaar geleden zijn uitgevoerd zodat de Gt-gegevens niet meer actueel zijn. Noodgedwongen zijn GHG's en GLG's voor de desbetreffende peilgebieden hier dan ook *berekend*, uit actuele gegevens over de drooglegging, met behulp van vuistregels. De aard van die vuistregels blijkt sterk van invloed te zijn op de berekende nat- en droogteschadepercentsages, niet alléén in de bestaande situatie maar vooral ook bij het evalueren van de landbouwkundige gevolgen van peilverhoging of verlaging.

Andere gebiedsspecifieke aspecten met betrekking tot de waterhuishouding, zoals drainageweerstanden en het voorkomen van kwel of wegzijging, kunnen in de HELP-methode niet op een bevredigende manier worden meegenomen. Dat geldt eveneens voor de dynamische aspecten van de waterhuishouding: de berekende schadepercentsages zijn langjarig gemiddelde percentsages waaraan geen conclusies kunnen worden verbonden voor wat betreft de situatie in specifiek droge of natte jaren, noch over de effecten van de dynamiek van de waterhuishouding gedurende een groei-seizoen.

Samenvattend moet worden geconcludeerd dat de gebruikte evaluatiemethoden (methoden HELP en Van Wijk) een aantal evidente beperkingen hebben. Dat is eerder ook al geconstateerd in het kader van het project WATERNOOD, als besproken in par. 6.5. Daarbij rijst automatisch de vraag hoe het dan anders zou kunnen en moeten.

#### 10.4 Hoe nu verder?

In de derde nota Waterhuishouding is aangegeven dat de provincies in hun waterhuishoudingsplannen per deelgebied de gewenste *grondwatersituatie* aan moeten geven. In de tweede ambtelijke versie van de Vierde Nota is de verplichting opgenomen dat vóór 2002 uit te voeren. Uit de kritische opmerkingen in de voorgaande paragraaf met betrekking tot de gebruikte methoden om het peilbeheer in relatie tot de landbouwwaterhuishouding te evalueren, volgt dat het ontwikkelen en toepassen van een meer adequate methode het overwegen waard is. In dat verband wordt teruggekomen op de deterministische methode als aangegeven in par. 7.3. Daarbij wordt een rekenprocedure aangegeven waarin de simulatie van de waterhuishouding van het bodemprofiel en ondiepe grondwater centraal staat.

Onlangs (1997) is een aanzet tot het ontwikkelen en toepassen van een dergelijke procedure gegeven in het kader van een onderzoek van SC-DLO bij het waterschap Wold en Wieden en Mepperlerdiep. Bij het toepassen van deze methode moeten de volgende stappen worden doorlopen:

- de maaiveldshoogtegegevens van een peilgebied worden opgedeeld in een aantal hoogteklassen (bijvoorbeeld 20 klassen die elk 5% van de oppervlakte van het gebied beslaan);
- de oppervlakte van elke hoogteklasse vormt een aparte rekeneenheid;
- per rekeneenheid wordt via een GIS-operatie het dominante bodemgebruik, de dominante bodemeenheid volgens de bodemkaart en de drainage-intensiteiten per waterloopklasse vastgesteld;
- deze karteerbare kenmerken worden omgezet in de voor berekeningen met het simulatiemodel noodzakelijke gegevens over de bodemfysische eigenschappen en de interactie tussen het grond- en oppervlaktewater;
- voor het peilgebied wordt een peilbeheer gedefiniëerd, bijvoorbeeld een grondwaterstandsafhankelijk peilbeheer waarbij rekening wordt gehouden met de tijd van het jaar en de gevoeligheid van het gewas voor wateroverlast en vochttekorten;
- voor een periode van minimaal 10 jaar wordt per rekeneenheid de waterhuishouding gesimuleerd met het model SWAP voor de onverzadigde zone, het ondiepe grondwater en het daaraan gekoppelde oppervlaktewater-systeem;
- als resultaat wordt per rekeneenheid het verloop van de gewasverdamping en van de grondwaterstand verkregen;
- uit het berekende grondwaterstandsverloop worden overschrijdingssommen van kritieke grondwaterstandsdiepten berekend;
- aan het grondwaterstandsverloop wordt een schadeberekening gekoppeld via schadefuncties uit de literatuur, aangevuld met gegevens uit nader onderzoek op dit terrein.

In de procedure zijn drie deelprocedures te onderscheiden: de eerste deelprocedure omvat de karakterisering van het desbetreffende peilgebied, de tweede deelprocedure het uitvoeren van de simulatieberekeningen en de derde deelprocedure het interpreteren van de resultaten in termen van schade voor de landbouw.

Zolang en voor zover schadefuncties (nog) niet beschikbaar zijn kan een tussenweg bewandeld worden waarbij alléén de eerste twee deelprocedures doorlopen worden en waarbij de resultaten van de simulatieberekeningen worden uitgewerkt en geïnterpreteerd in termen van GHG's en GLG's. Voor de vertaling in schade voor de landbouw kan dan vooralsnog teruggevallen worden op de HELP-tabellen. Ten opzichte van de in dit onderzoek toegepaste methode is ook dán al sprake van een duidelijke stap voorwaarts. Gebiedskennmerken worden immers meer volledig meegenomen en de relatie tussen drooglegging en GHG's resp. GLG's is niet meer op vuistregels en 'expert judgement' maar op modelberekeningen gebaseerd.

Samenvattend zijn de volgende argumenten aan te voeren om een ontwikkeling als aangegeven op te pakken:

- de opdracht aan provincies in waterhuishoudingsplannen meer aandacht te gaan besteden aan de grondwatersituatie;
- de noodzaak om de gevolgen van peilbesluiten voor de landbouw beter te onderbouwen en de gevoeligheden en marges aan te geven waardoor een meer verantwoorde afweging ten opzichte van andere belangen mogelijk wordt;
- de wens tot het verder optimaliseren van het peilbeheer ten behoeve van de landbouw, bijvoorbeeld via dynamisch peilbeheer en mede in het licht van beperkingen die uit andere belangen kunnen voortvloeien.

Wat betreft het ontwikkelen en operationaliseren van de procedure is in het kader van het eerder genoemde onderzoek voor het waterschap Wold en Wieden en Meppelderdiep een eerste opzet uitgewerkt. Uiteindelijk zou gekomen moeten worden tot een standaardprocedure die landelijk toepasbaar is, zoals nu de HELP-procedure. Het is te voorzien dat ook dán nog expertise op het gebied van de agrohydrologie vereist zal zijn voor een verantwoorde toepassing van de methode en interpretatie van rekenresultaten.

## Literatuur

Akker, J.H.H. van den en J. Beuving, 1997. Vijfentwintig jaar peilverlaging versus polderpeil. *Landinrichting* 37(3): 15-20.

Bakel, P.J.T. van, 1993. *De rol van de waterbalans bij waterconservering en -aanvoer*. PHLO-cursus 'De rol van de waterbalans in het waterbeheer: kwantiteit en kwaliteit'.

Beuving, J., K. Oostindie en Th. Vellinga, 1989. *Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 6.

Blaauw, H., 1962. Afvoernormen. *Cultuurtechnisch Tijdschr.* 2: 102-110.

Bleumink, J.A. en J.C. Buys, 1996. *Boeren met water. Verdrogingsbestrijding op agrarische bedrijven*. NOV-rapport 18-02. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

Bouwmans, J.J.M., 1994. *Problematiek, normen en Knelpunten bij ontwerpen waterbeheersingsplannen* (discussienota waterbeheersing). Utrecht, Landinrichtingsdienst.

Centrale Landinrichtingcommissie, 1991. *Herziene notitie inzake het te voeren beleid inzake peilverlaging in de diepe veenweidegebieden*. Utrecht.

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk and C.A. van Diepen, 1997. *Theory of SWAP version 2.0*. Wageningen DLO Winand Staring Centre. Technical Document 45.

Feddes, R.A., 1971. *Water, heat and crop growth*. Wageningen, Landbouwhogeschool. Proefschrift.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik en H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Wageningen, PUDOC. Simulation Monographs.

Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, 1986. *Verklarende hydrologische woordenlijst*. 's-Gravenhage, Commissie voor hydrologisch Onderzoek TNO. Rapporten en nota's no. 16.

Hoorn, J. van, 1958. Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soils. *Neth. J. Agr. Sci.* 6(1):1-10.

Huinink, J.Th.M., 1993. *Bodemgeschiktheidstabellen voor landbouwkundige vormen van grondgebruik*. Ede, IKC Akker- en Tuinbouw.

Laat, P.J.M. de, 1980. *Model for unsaturated flow above a shallow water-table applied to a regional sub-surface water flow problem*. Thesis. Agricultural University, Wageningen.

Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. *Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 527.1.

Peerboom, J.M.P.M., 1990. *Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 43.

Postma, J., 1992. *Kwantificering van de relatie tussen grondwaterstandsverloop en produktievermindering ten gevolge van wateroverlast op grasland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 190.

Projectgroep WATERNOOD, 1998. *Oppervlaktewater: grondwater als leidraad (een op het grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting, beheer en onderhoud van oppervlaktewatersystemen)*. Unie van Waterschappen en Dienst Landelijk Gebied van het Ministerie van LNV. Rapport in voorbereiding.

Schothorst, C.J., 1982. *Drainage and behaviour of peat soils*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Report 3.

Sieben, W.H., 1974. Over de invloed van de ontwatering op de stikstoflevering en de opbrengst van jonge zavelgronden in de IJsselmeerpolders. *Van Zee tot Land* 51, 180 pp.

Soesbergen, G.A. van, C van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens (systeem voor de geschiktheitsbeoordeling van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw)*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Rapport 1967.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. *Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Visser, W.C., 1958. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. Commissie Onderzoek Waterhuishouding Nederland-TNO. Rapport No. 1

Voet, H.A.L.J., 1995. *BODEP handleiding*. Utrecht, Dienst Landinrichting en Beheer landbouwgronden.

Walsum, P.E.V. van en A.A. Veldhuizen, 1996. *Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving. Simulatie van scenario's voor het waterbeheer met SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 399.

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

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch vademecum*. Utrecht, Cultuurtechnische Vereniging.

Wijk, A.L.M. van, R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk, 1988. *Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen*. Wageningen Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Rapport 31.

Wind, G.P., 1963. Gevolgen van wateroverlast voor de moderne landbouw. *Versl. en meded. CHO-TNO* nr 9: 55-72.

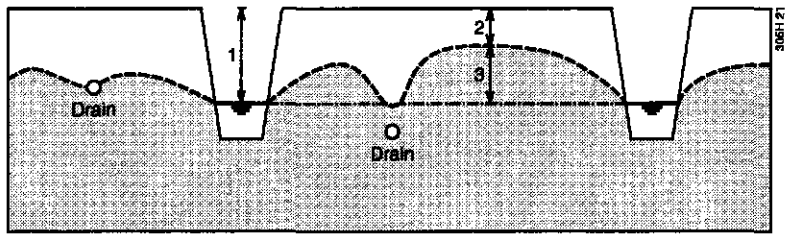
Wind, G.P., 1985. Slootpeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 25 (5): 321-330.

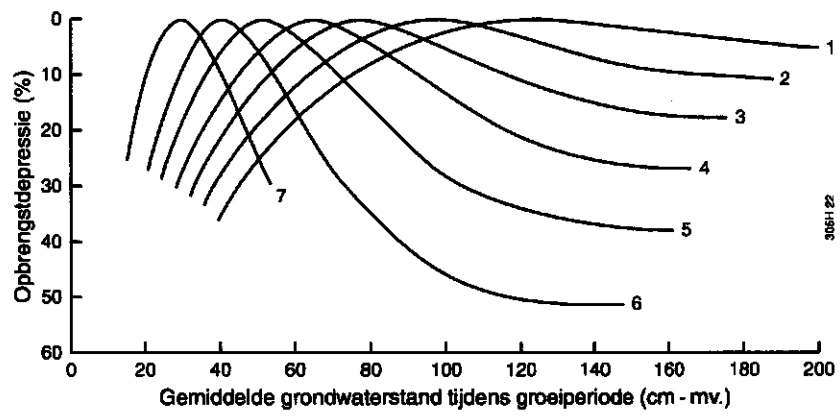
***Niet-gepubliceerde bronnen***

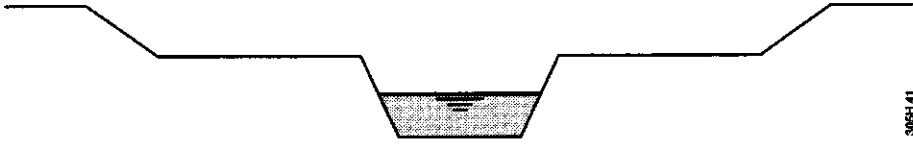
Belmans, C., J.G. Wesseling en R.A. Feddes, 1983. *Simulation model of field water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en waterhuishouding. Nota 1257.

LBL-Werkgroep waterbeheersing, 1995. *Herinrichting 'Swette-de Burd'*. Uitgangspunten voor een waterbeheersingplan voor het Swettegebied. Leeuwarden.









305H141

